

Jean-François Pichon
Christophe Guichou

**L'USINE
NOUVELLE**

Aide-mémoire
INJECTION
DES
MATIÈRES PLASTIQUES

4^e édition

DUNOD

Graphisme de couverture : Nicolas Hubert
Photo de couverture : © Gerhard Seybert – Fotolia.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2001, 2005, 2011, 2015

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-072693-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » [art. L. 122-4].

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	1
--------------	---

A

Fiches matières

1 • Utilisation des fiches matières	7
1.1 Rubriques	7
1.2 Désignation normalisée des charges et renforts	10
2 • Fiches matières	12
Avertissement	12
3 • Tolérances applicables aux TP injectés	93
3.1 Présentation	93
3.2 Tables numériques	94
3.3 Tolérances de formes	100

B

L'installation de production

4 • Technologie	103
4.1 Presse à injecter	103
4.2 Clapet de vis	130
4.3 Buses d'injection	133
4.4 Moule d'injection	134
4.5 Bridage des outillages	140
4.6 Régulateurs de température	149
4.7 Moulage en canaux chauds	160
4.8 Opérations courantes	167
5 • Principe de l'injection	171
5.1 Phase de remplissage	171
5.2 Phase de compactage	176
5.3 Phase de maintien	177
5.4 Typologie des paramètres	180
6 • Réglage d'une presse	183
6.1 Fiche de réglage	183
6.2 Principe du réglage par incomplets successifs	184
6.3 Groupe de fermeture	185
6.4 Réglage de la plastification	189
6.5 Réglage du dosage	193
6.6 Réglage de la vitesse d'injection	196
6.7 Réglage du remplissage et du maintien	198
6.8 Autres réglages	201
6.9 Modification des réglages	202
6.10 Exemple de réglage de l'injection	203
6.11 Réglage robuste	219
6.12 Exploitation des graphiques	222

C

Défauts sur pièces injectées

7 • Méthode d'identification des défauts	233
8 • Principaux défauts rencontrés	239
8.1 Bavure (toile)	239
8.2 Bulles de gaz	241
8.3 Bulles de vide (vacuoles) et retassures	242
8.4 Coup de feu (brûlure)	244
8.5 Déformation ou gauchissement	246
8.6 Délaminage	247
8.7 Dimension incorrecte	249
8.8 Givrage	250
8.9 Goutte froide	252
8.10 Hésitation	253
8.11 Incomplets	255
8.12 Jet libre	256
8.13 Ligne de soudure	258
8.14 Peau d'orange	259
8.15 Picot	261
8.16 Points noirs	262
8.17 Refusion des pièces	264
8.18 Rupture des pièces	265
8.19 Ségrégation de phase	268
8.20 Traces brillantes ou mates	269
8.21 Traces circulaires	271
8.22 Traces de flux (traces d'écoulement)	272
8.23 Traces noires	274
8.24 Bulle ouverte	275
8.25 Électricité statique	275
8.26 Insert fragile	276

8.27	Traces de fil	276
8.28	Traces d'éjection	276
9	Plans d'expériences par la méthode de Genichi Taguchi	277
9.1	Conditions d'utilisation	277
9.2	Objectifs	277
9.3	Généralités	278
9.4	Mise en œuvre de la méthode	280

D

Suivi et contrôle de la qualité

10	Indicateurs de productivité	293
10.1	TRS	293
10.2	TRG et TRE	296
10.3	Exemple d'application	297
11	Maîtrise statistique des procédés	299
11.1	Introduction	299
11.2	Principe	300
11.3	Mise en place	304
11.4	Études d'aptitudes (capabilité)	304
11.5	Fréquence de prélèvement	310
11.6	Cartes de Shewart : contrôle de la stabilité	312
11.7	Cartes de Shewart : contrôle de la conformité	322
11.8	Cartes EWMA	323
11.9	Histogramme	325
11.10	Droite de Henry	329

E

Gestion de production

12 • Les nomenclatures	339
12.1 Définition	339
12.2 Différentes natures de nomenclatures	339
12.3 Différents types de nomenclatures	340
13 • Le MRP	343
13.1 Présentation des objectifs du MRP	343
13.2 Contexte du MRP dans l'entreprise	343
13.3 Principe du calcul des besoins	344
13.4 Calcul des charges détaillées	348
14 • Kanban	349
14.1 Types d'applications	349
14.2 Historique	349
14.3 Objectif de la gestion par Kanban	349
14.4 Les trois principes du Kanban	350
14.5 Évolutions du système Kanban	351
14.6 Évaluation du lot de conditionnement et premier tableau de décision	352
14.7 L'étiquette	352
14.8 Cas particuliers	353
Index alphabétique	355
Illustrations des défauts d'injection	359

Objectif de l'aide-mémoire

L'industrie de l'injection des thermoplastiques est jeune et a rapidement et régulièrement dû se transformer pour suivre les évolutions historiques et économiques des marchés.

Ainsi, d'abord artisanale, la plasturgie est passée à la production de masse pendant la reconstruction de l'après-guerre pour répondre à la diversification et à l'explosion des demandes. Les bases technologiques ont alors été posées.

Pendant les années 1970-1980, l'essor se poursuit, appuyé par l'évolution des matières, qui deviennent des matériaux sophistiqués dotés de propriétés spécifiques, mais aussi par les capacités des presses hydrauliques et par la technicité des outillages, qui permettent de gagner à chaque nouvelle génération en vitesse et en précision.

Les années 1990 voient le développement de la robotisation et de l'automatisation, entraînant la suppression de certaines tâches répétitives et souvent pénibles dans les ateliers. Ceci offre aux entreprises un nouvel outil de gain de productivité, pour résister à la concurrence croissante des pays à main-d'œuvre très bon marché.

Parallèlement, les métiers de la transformation des matières plastiques injectées s'adaptent : les besoins massifs en opérateurs qui existaient pendant l'âge d'or sont remplacés progressivement par une évolution générale de la technicité. Les réglieurs ont donc vu leur champ de compétence s'élargir et leur niveau augmenter. De plus, l'injection est un procédé trop complexe et opaque pour permettre une capitalisation rapide du savoir. La nécessité de qualité impose au réglieur d'agir vite et bien afin de créer les réglages, puis de corriger les dérives dans le suivi du procédé.

Aujourd'hui, un nouveau virage s'amorce. Les asservissements des machines sont très précis et l'industrie chimique sait produire des matières plastiques avec des caractéristiques constantes. Par conséquent, dès lors qu'un outillage est bien conçu et réglé, il n'y a aucune raison qu'il produise des pièces non conformes. Lorsque cela survient, plutôt que de corriger les réglages, il faut trouver la ou les causes assignables et les corriger. L'industrie cherche donc maintenant à concevoir des outillages robustes du point de vue des réglages. Ils arrivent de plus en plus en main sur les lieux de production. Pour cela, les compétences et l'expérience du régleur sont toujours utiles et sont aidées par la puissance de prévision de l'ingénierie du calcul et de la simulation numérique. L'industrie de l'injection des thermoplastiques se caractérise aussi par la petite taille de ses entreprises, malgré de nombreuses fusions. Le morcellement et la diversité des sous-secteurs d'activités de la plasturgie ne favorisent pas l'émergence d'un langage commun. L'objectif de l'aide-mémoire est de participer à l'élaboration d'une méthodologie de réglage et d'analyse des problèmes d'injection.

Principes de l'aide-mémoire

1. Favoriser la mise en place d'une terminologie commune au sein de l'entreprise. Il ne peut y avoir de communication efficace sans langage commun.
2. Mettre à disposition immédiate des gens de terrain des références numériques fiables et complètes sur les matières, les contrôles, les caractéristiques des matériels utilisés.
3. Permettre au personnel débutant d'utiliser un capital d'expérience acquis par d'autres.
4. Fournir des modes opératoires clairs et complets décrivant les opérations de base des métiers de l'injection.
5. Mettre en place des méthodologies (ou des outils) nécessaires à la résolution de problèmes techniques spécifiques à l'entreprise.
6. Par sa forme compacte et son mode d'appropriation, être un support d'autoformation du personnel de production.

Utilisation de l'aide-mémoire

Ce document trouve sa place dans une caisse à outils, dans un bureau, dans une poche de blouse... Plus il s'éloigne de la presse, moins il est efficace. Il est judicieux de s'y référer pour résoudre un problème technique, mais on peut aussi se perfectionner dans un domaine par la lecture de quelques pages.

Remerciements

Je tiens à remercier les industriels et formateurs qui ont participé à la collecte des données nécessaires à la rédaction de cet ouvrage et en particulier Frédéric Alexandre, François Courbière, Francis Gadras, Philippe Nicolas, Hervé Faverjon... sans oublier Alain Gonon et Jean-Dominique Olivier qui m'ont donné envie de l'écrire.

Jean-François Pichon

PlastiqueJFP@aol.com

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Jean-François Pichon pour m'avoir témoigné toute sa confiance en m'offrant l'opportunité de collaborer à l'écriture de cette nouvelle édition. La plasturgie et en particulier l'injection des plastiques est une discipline nouvelle et difficile. Elle réclame des connaissances, de la réflexion, du pragmatisme, de la curiosité, mais aussi des remises en question fréquentes lors de sa pratique. Pour cela, je veux remercier tous ceux avec qui j'ai échangé : les collègues enseignants, les étudiants et les industriels.

Christophe Guichou

A

Fiches matières

1 • UTILISATION DES FICHES MATIÈRES

A

FICHES MATIÈRES

1.1 Rubriques

■ Nom de la matière

Nous donnons, ici, le nom usuel de la matière le plus utilisé actuellement.

■ Abréviation

Les abréviations utilisées sont majoritairement conformes à la norme NF X 50-050. Celles qui ne le sont pas sont placées entre guillemets.

■ Famille

Elle est fournie à titre indicatif, afin de permettre une comparaison entre les diverses propriétés de transformation. Lorsqu'aucune indication de famille n'est reportée, la matière n'appartient pas à une famille déterminée.

■ Masse volumique

Le symbole ρ placé à côté de l'indication de masse volumique (par rapport à l'eau aux CNTP) indique que la masse volumique peut être variable, selon les fournisseurs et les références.

■ Retrait

Le retrait indiqué est le retrait linéaire moyen.

■ Prix

Les prix fournis sont des fourchettes de prix indicatifs au kilogramme pour un achat minimum de 1 000 kg. Les prix des matières sont très fluctuants, c'est pourquoi les indications données peuvent être erronées et doivent être considérées comme des ordres de grandeur.

■ Température de démoulage

Lorsqu'une plage est indiquée, la température (T°) conseillée est dépendante de la référence et du fournisseur de la matière.

■ Température de dégradation

À cette température, se produisent les premiers dégagements gazeux mesurables.

■ Produits de dégradation

La nature des gaz de décomposition n'est pas indiquée, seulement leur éventuelle toxicité. Il faut noter que l'adjonction de charges ou d'adjuvants augmente souvent la toxicité (particulièrement la présence d'agents ignifugeants).

■ Vitesse de rotation de la vis

Ce sont les vitesses linéaires périphériques de la vis, préconisées par le fabricant et/ou validées par l'expérience. Pour la conversion en vitesse de rotation vous pouvez vous reporter à l'abaque suivant (figure 1.1, reproduite en couleurs en fin d'ouvrage).

■ Coefficient $K\Delta V$

Ce coefficient correspond au rapport de variation de volume de la matière entre 20 °C et sa température moyenne d'injection. On utilise $K\Delta V$ pour le calcul prévisionnel de la course de dosage.

■ Évaluation du temps de refroidissement

Les temps de refroidissement sont approximatifs, puisqu'ils ne tiennent pas compte de la qualité du maintien et de la géométrie de la pièce. Entre 1,5 mm et 2 mm d'épaisseur, un changement de modèle de calcul laisse apparaître une décroissance apparente du temps de refroidissement. La variation est fautive, mais les temps indiqués sont toujours de bonnes approximations. Il faut soustraire le temps de maintien au temps de refroidissement donné par l'aide-mémoire pour régler la consigne de temps de refroidissement de la presse (voir § 4.1.1, « Presse à injecter, Présentation »).

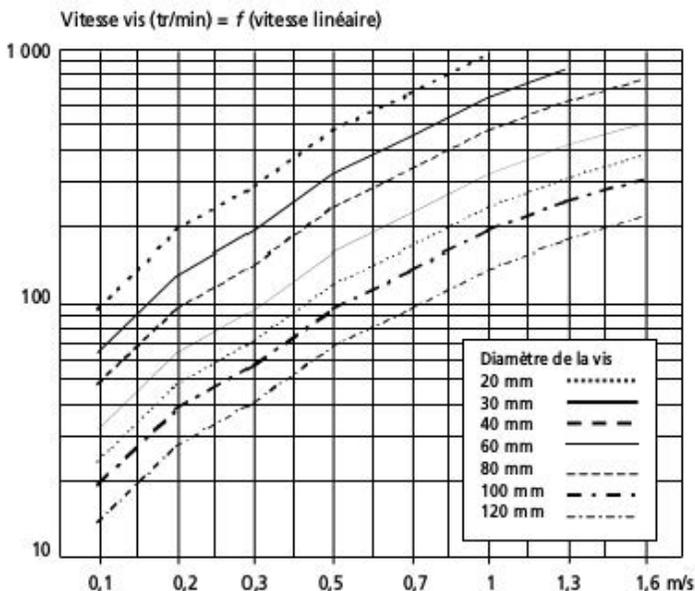


Figure 1.1 – Abaque de conversion des vitesses linéaires en vitesse de rotation de vis.

A

FICHES MATIÈRES

■ Pourcentage de recyclage

Le pourcentage de recyclage acceptable doit être confirmé au coup par coup par le fournisseur de matière, selon les caractéristiques matières nécessaires à l'application. La valeur indiquée correspond à une faible variation des caractéristiques de moulage du matériau.

■ Jeu d'infiltration

C'est une valeur typique de la matière indiquant quel jeu peut être admis dans l'empreinte sans générer de bavures à l'injection.

■ Particularités de moulage

Il s'agit d'une série de constatations d'ordre pratique. Elles ne sont pas contractuelles mais donnent, lorsqu'elles sont disponibles, des pistes pour l'installation et le suivi de la production.

■ Noms commerciaux

La liste indiquée n'est pas exhaustive. Le même nom commercial est parfois utilisé pour des matières de natures différentes.

■ Identification sommaire

Elle peut permettre une identification partielle de la nature d'une matière. Le recours au test à la flamme doit être exceptionnel et se faire dans des conditions de sécurité parfaites (risques d'incendie ou d'intoxication). Certains matériaux de nature très différente peuvent être difficiles à distinguer par cette méthode. De plus des matériaux modifiés ou chargés peuvent présenter des comportements différents de ceux de la matière vierge, lors d'un test d'identification sommaire.

■ Catégorie ISO 58-000

La norme ISO 58-000 préconise des tolérances applicables aux matières plastiques.

1.2 Désignation normalisée des charges et renforts

■ Normes de référence

ISO 1043-2 / 1874-1

■ Normes associées

ISO 1043-1 / ISO 1043-3

Le symbole de la matière est suivi du signe « - », puis de la nature du renfort et de son code de forme (voir tableau 1.1). La teneur pondérale en pourcentage termine la description de la charge. Exemple : « PA 6-6-GF30 » signifie « polyamide chargé de 30 % de fibres de verre ».

Si plusieurs charges sont incorporées au polymère, on séparera les descriptions de chaque charge par le signe « + » et l'ensemble des symboles sera placé entre parenthèses.

Dans le cas de charges minérales ou métalliques, on peut faire suivre la lettre M du symbole chimique de l'élément concerné.

Tableau 1.1 – Codes de matière et de forme, matières et formes (les éléments en italique ne sont pas utilisés comme charges de thermoplastiques injectables).

Code matière	Matière	Code de forme	Forme
C	Carbone	B	Billes, sphères, grains
E	Argile	C	Copeaux
G	Verre	D	Poudre, mélange sec
K	Craie	F	Fibres
L	Cellulose	G	Moulu, broyé
M	Minéral ou métal	K	<i>Tricot</i>
P	Mica	P	<i>Papier</i>
S	Synthétique ou organique	S	Paillettes
T	Talc	T	<i>Mèches</i>
W	Bois	X	Non spécifié
Y	Non spécifié	Y	<i>Fils</i>
Z	Autre	Z	Autre

■ Particularités de moulage

Les matières chargées voient leur température de transformation augmenter de 10 °C à 30 °C selon la nature et la teneur en charge. Le dosage doit tenir compte de la fragilité des charges ou de leur caractère abrasif, particulièrement si elles sont incorporées à des matières fluides (S/cristallines). À cet effet, une vitesse de rotation de la vis inférieure à 0,4 m/s est préconisée, ainsi qu'une contre-pression le plus faible possible (tout en maintenant un dosage régulier). La vitesse d'injection doit être faible afin d'éviter une importante ségrégation de phase. On s'attachera à travailler la matière, si possible, sur la partie inférieure de sa plage de transformation pour éviter la dégradation thermique de la matrice.

2 • FICHES MATIÈRES

Avertissement

Les indications données dans ces fiches sont indicatives. Elles ne peuvent, en aucun cas, se substituer aux préconisations de transformation données par vos fournisseurs.

Abréviation	Nom chimique	Page
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène	16
(ABS + PA 6)	Alliage ABS + PA 6	17
(ABS + PBT) GF 20	Alliage ABS + PBT GF 20	18
(ABS + PC)	Alliage ABS + PC	19
ASA	Acrylonitrile styrène acrylique	20
(ASA + PC)	Alliage ASA + PC	21
CA	Acétate de cellulose	22
CAB	Acéto-butyrates de cellulose	23
COC	Copolymère d'oléfines cycliques	24
CP	Propionate de cellulose	25
E/MAA ou IO	Éthylène / Acide méthacrylique ou ionomère	26
E/TFE	Éthylène/Tétrafluoroéthylène	27

EVAC (EVA)	Éthylène/Acétate de polyvinyle	28
LCP	Polymère à cristaux liquides	29
LCP-GF 40	Polymère à cristaux liquides GF 40	30
MABS	Méthacrylate/ABS	31
PA 6	Polyamide 6	32
PA 6-3T	Polyamide 6-3-acide téréphtalique	33
PA 66	Polyamide 6-6	34
PA 66-GF 30	Polyamide 6-6 GF 30	35
PA 66-GF 50	Polyamide 6-6 GF 50	36
PA 66 T	PA 6-acide téréphtalique	37
PA 6-12	Polyamides 6-12	38
PA 11 ou PA 12	Polyamides 11 ou 12	39
PAI-GF 30	Polyamide imide GF 30	40
PAMXD 6	Polyarylamide	41
PAMXD 6-GF 30	Polyarylamide GF 30	42
PBT	Polybutylène téréphtalate	43
PBT-GF 30	Polybutylène téréphtalate GF 30	44
PC	Polycarbonate	45
PCT-GF 30	Polytéréphtalate de cyclohexanol diméthylène GF 30	46
PCTG	Polytéréphtalate de cyclohexanol diméthylène et d'éthylène glycol	47
(PC + PBT)	Alliage PC + PBT	48

PI TP	Polyimide thermoplastique	49
PE-HD	Polyéthylène haute densité	50
PE-LD	Polyéthylène basse densité	51
PE-LLD	Polyéthylène basse densité linéaire	52
PEEK	Polyéther éther cétone	53
PEI	Polyétherimide	54
PES	Polyéthersulfones	55
PET	Polyéthylène téréphtalate	56
PET-GF 30	Polyéthylène téréphtalate GF 30	57
(PET + PBT) GF 30	Alliage PET + PBT GF 30	58
PET + PC	Alliage PET + PC	59
PLA	Acide polylactique	60
PMMA	Polyméthacrylate de méthyle	61
(PMMA + PC)	Alliage PMMA + PC	62
PMP	Polyméthyl pentène	63
POM	Polyoxyméthylène copolymère	64
POM	Polyoxyméthylène homopolymère	65
POM-GF 30	Polyoxyméthylène GF 30	66
PP	Polypropylène copolymère	67
PP-H	Polypropylène homopolymère	68
PP-GF 30	Polypropylène GF 30	69
PP-MD 40	Polypropylène MD 40	70

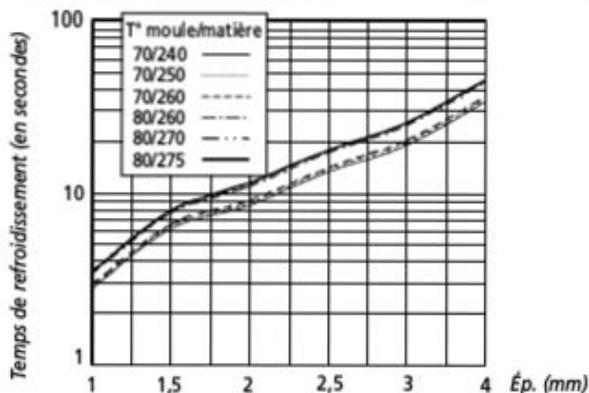
(PP + PA 6)	Alliage PP + PA 6	71
PPA GF 30	Polyphthalamide GF 30	72
PPC	Polyphthalate carbonate	73
PPE	Polyphénylène éther	74
PPE-GF 30	Polyphénylène éther GF 30	75
(PPE + PA)	Alliage PPE + PA	76
PPS-GF 40	Polysulfure de phénylène GF 40	77
PS	Polystyrène	78
(PS + PMMA)	Alliage PS + PMMA	79
PSU	Polysulfones	80
PSU-GF 30	Polysulfones GF 30	81
PVC	Polychlorure de vinyle rigide	82
PVC-P	Polychlorure de vinyle souple	83
PVDF	Polyfluorure de vinylidène	84
SAN	Styrène acrylonitrile	85
S/B	Styrène butadiène (PS Choc)	86
SBS (SEBS) ou HIPS ou TPS	Styrène/Butadiène styrène	87
SMA	Styrène/Anhydride maléique	88
SPS GF 15	Polystyrène syndiotactique 15% FV	89
TPE-A ou PEBA	Polyéther bloc amide	90
TPE-E ou « TEE »	Polyester élastomère	91
TPU-A	Polyuréthanes	92

Acrylonitrile butadiène styrène			ABS	
Famille : Styréniques	Amorphe	Translucide Transparent	Densité : 1,05 ~	Retrait : 0,6 %
Étuvage : En étuve Durée : 2 à 4 h T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : 2 à 4 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 210 à 270 °C	T° outillage : 30 à 80 °C	T° veille : 180 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 70 à 100 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Toxiques par inhalation				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 30/210 30/220 50/220 70/250 80/250 80/270 				
Recyclage : 30 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,2 mm		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> – Remplissage facile mais épaisseur minimale de 0,7 mm. – Présence fréquente de fils entre la carotte et la buse, à corriger par la température de la buse. – Givrage fréquemment dû à la décompression ou à une température de transformation trop basse. – Sensible à la rayure à chaud, le convoyage sur un tapis est conseillé. – Les qualités transparentes ne sont généralement pas des ABS, consultez les documents de votre fournisseur. 				
Quelques noms commerciaux :				
Terluran	Lastilac	Urtal		
Novodur	Lustran	Ugikral		
Cycolac	Lustropak	Ronfalin		
Identification sommaire Opaque et brillant, blanchit légèrement à la pliure. Facilement inflammable avec fumée noire et fuligineuse.				

Alliage ABS + PA 6

(ABS + PA 6)

Famille :	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,06	Retrait : 1,1 %
Étuvage : En étuve		Prix (kg) : 2 à 4 €		
Durée : 4 h		Vitesse de rotation vis :		
T° : 75 °C				
T° d'injection : 240 à 280 °C	T° outillage : 70 à 80 °C	T° veille : 100 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 100 °C	KΔV : 0,85		
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Toxique				

**Recyclage :****Jeu d'infiltration :****Particularités de moulage :****Quelques noms commerciaux :**

Triax
Stapron N
Terblend N

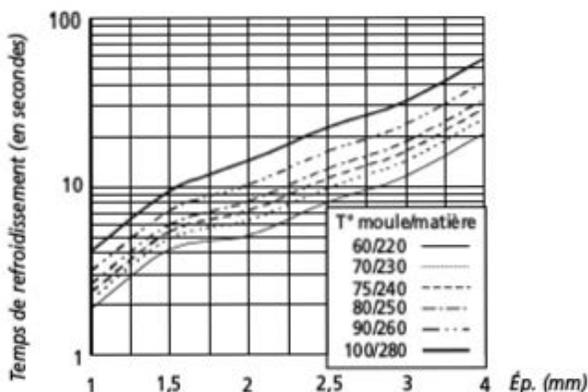
Identification sommaire

Alliage ABS + PBT GF 20			(ABS + PBT) GF 20	
Famille :	Cristallin	Opaque	Densité : 1,32	Retrait : 0,4 %
Étuvage : Durée: 4 à 8 h T°: 120 °C		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,4 m/s		
T° d'injection : 240 à 280 °C	T° outillage : 80 à 100 °C	T° veille :		
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 150 °C	KΔV : 0,91		
T° / Produits de dégradation :				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 80/240 80/250 80/260 90/260 100/270 100/280 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux : Pocan				
Identification sommaire				

Alliage ABS + PC

(ABS + PC)

Famille :	Amorphe	Opaque	Densité :	1,16	Retrait :	0,6 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 110 °C maximum			Prix (kg) : 3 à 5 €			
			Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,4 m/s			
T° d'injection : 220 à 280 °C		T° outillage : 60 à 100 °C		T° veille : 200 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC		T° démoulage : 120 °C		KΔV : 0,89		
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Extrêmement toxiques						



Recyclage : 20 % maximum

Jeu d'infiltration :

Particularités de moulage :

Ne jamais laisser la température du fourreau descendre en dessous de 160 °C (changer de matière avant l'arrêt des chauffes).

Quelques noms commerciaux :

Bayblend	Stapron C
Cycloy	Polyblend
Triax	

Identification sommaire

Acrylonitrile styrène acrylique			ASA	
Famille : Acryliques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,07	Retrait : 0,5 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : 2 à 4 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,5 m/s		
T° d'injection : 240 à 280 °C	T° outillage : 40 à 80 °C	T° veille : Purger le fourreau		
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 100 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Toxiques par inhalation				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 40/240 ——— 40/250 (pointillés) 50/260 - - - - (tireté) 60/270 - · - · - (tireté-pointillé) 70/280 - · - - - (tireté-triple) 80/280 ——— (épais) 				
Recyclage : 25 %	Jeu d'infiltration :			
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux :				
Luran S	Geloy ASA			
Centrex	Starex ASA			
Stylac				
Identification sommaire				
Brillant, ne blanchit absolument pas à la pliure.				
Facilement inflammable, avec fumée noire et fuligineuse.				

Acétate de cellulose			CA							
Famille : Cellulosiques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,26	Retrait : 0,5 %						
Étuvage : En étuve Durée : 2 à 4 h T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : 3 à 5 €								
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s								
T° d'injection : 170 à 250 °C	T° outillage : 40 à 65 °C		T° veille : 160 °C							
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 60 °C		KΔV : 0,89							
T° / Produits de dégradation : 175 °C / Irritants, allergisants										
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 40/170 40/190 50/210 50/230 60/240 65/250 <p>Ép. (mm)</p>										
Recyclage : 40 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,3 mm								
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - Viscosité très variable d'un lot de matière à l'autre. - Le CA change facilement de couleur en cas de surchauffe. 										
Quelques noms commerciaux : <table border="0"> <tr> <td>Cellidor S</td> <td>Setilithe</td> </tr> <tr> <td>Bergacell</td> <td>Tenite acétate</td> </tr> <tr> <td>Dexel</td> <td></td> </tr> </table>					Cellidor S	Setilithe	Bergacell	Tenite acétate	Dexel	
Cellidor S	Setilithe									
Bergacell	Tenite acétate									
Dexel										
Identification sommaire Transparent, ne casse pas à la première pliure. Pique la langue.										

Acéto-butyrate de cellulose			CAB	
Famille : Cellulosiques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,2	Retrait : 0,5 %
Étuve : En étuve Durée : 2 à 4 h T° : 70 °C maximum		Prix (kg) : 3 à 5 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 170 à 230 °C	T° outillage : 20 à 70 °C		T° veille : 160 °C	
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 80 °C		KΔV : 0,89	
T° / Produits de dégradation : 175 °C / Irritants, allergisants				
Recyclage :		Jeu d'infiltration : 0,3 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier régulièrement la qualité de la ventilation. Le CP a tendance à obstruer les événements. - Une ventilation insuffisante des empreintes peut provoquer du givrage. 				
Quelques noms commerciaux :				
Cellidor B Tenite butyrate				
Identification sommaire				
Transparent, ne casse pas à la première pliure. Odeur d'excrément particulièrement forte lors de la combustion.				

Propionate de cellulose

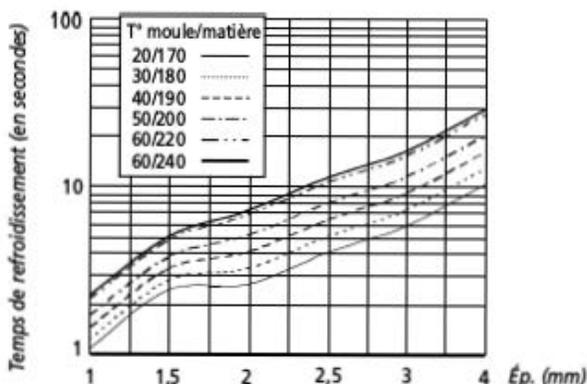
CP

Famille : Cellulosiques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,2	Retrait : 0,5 %
-----------------------------------	---------	-------------	-------------------------	---------------------------

Étuvage : En étuve Durée : 2 à 4 h T° : 70 °C maximum	Prix (kg) : 3 à 5 € Vitesse de rotation vis : De 0,1 à 0,6 m/s
--	--

T° d'injection : 170 à 240 °C	T° outillage : 20 à 60 °C	T° veille : 160 °C
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 80 °C	KΔV : 0,89

T° / Produits de dégradation : 175 °C / Irritants, allergisants



Recyclage :	Jeu d'infiltration : 0,3 mm
--------------------	------------------------------------

Particularités de moulage :

- Vérifier régulièrement la qualité de la ventilation. Le CP a tendance à obstruer les événements.
- Une ventilation insuffisante des empreintes peut provoquer du givrage.

Quelques noms commerciaux :

Cellidor CP
Tenite propionate

Identification sommaire

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit.

A

FICHES MATIÈRES

Éthylène /Acide méthacrylique ou ionomère			E/MAA ou IO	
Famille : Polyoléfines	Amorphe	Transparent	Densité : 0,94	Retrait :
Étuvage : Dessiccateur à vide Durée : 4 h T° : 60 °C maximum		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis :		
T° d'injection : 240 à 280 °C	T° outillage : 70 à 90 °C	T° veille :		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 150 °C	KΔV :		
T° / Produits de dégradation :				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 70/240 70/250 70/260 80/270 80/280 90/280 <p>1 10 100</p> <p>1 1,5 2 2,5 3 4 Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - La matière est livrée en emballages hermétiques qui doivent être utilisés immédiatement après ouverture. L'étuvage est presque impossible. - La matière ayant repris son humidité attaque chimiquement l'acier du groupe d'injection et perd ses qualités optiques et mécaniques. - La température de l'outillage et la nature de l'acier des empreintes ont une influence capitale sur le nappage de la matière sur l'empreinte (problèmes d'éjection et de bulles de surface). 				
Quelques noms commerciaux : Surlyn Iotek				
Identification sommaire Matière transparente et souple. Brûle avec une petite flamme orange et bleu. La matière pétille un peu lors de la combustion. Odeur de bougie très acide.				

Éthylène/Tétrafluoroéthylène

E/TFE

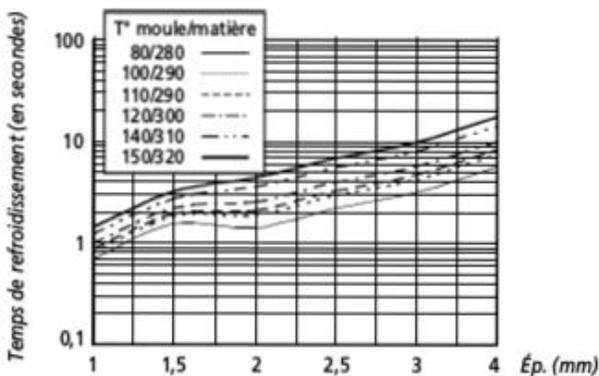
Famille : Fluorés	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,7	Retrait : 3 %
-----------------------------	--------------	-------------	-------------------------	-------------------------

Étuvage : Inutile	Prix (kg) : > 30 €
Durée :	Vitesse de rotation vis :
T° :	

T° d'injection : 280 à 320 °C	T° outillage : 80 à 150 °C	T° veille :
---	--------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 : 5	T° démoulage : 180 °C	KΔV : 0,74
---------------------------------	------------------------------	-------------------

Produits de dégradation : Nocifs. Très toxiques à 400 °C



Recyclage : 0 %	Jeu d'infiltration :
------------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :
Corrode les métaux à l'état fondu. Nécessite un ensemble de plastification spécialement adapté.

Quelques noms commerciaux :

Hostaflon ET

Identification sommaire

Éthylène/Acétate de polyvinyle			E/VAC (EVA)	
Famille : Vinyliques	Faiblement cristallin	Translucide	Densité : 0,94 ~	Retrait : 0,5 %
Étuvage : Sans		Prix (kg) : < 2 €		
Durée : 2 h		Vitesse de rotation vis :		
T° : 60 °C maximum		0,1 à 8 m/s		
T° d'injection : 120 à 170 °C	T° outillage : 5 à 50 °C	T° veille : 100 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 70 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Irritants, peu nocifs				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 5/120 10/130 20/140 30/150 40/160 50/170 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> – Se moule souvent en mélange avec du PP ou du PE, les deux matières étant compatibles. Dans ce cas, les paramètres de moulage utilisés sont ceux du PP. – Éjection très difficile. – De nombreuses références sont des copolymères à forte proportion d'éthylène. Dans ce cas, les paramètres de moulage sont ceux du PE-LD. 				
Quelques noms commerciaux : Greenflex Evathane				
Identification sommaire Transparent, très souple, flamme jaune à base bleue faiblement pétillante. Odeur de bougie et de vinaigre.				

Polymère à cristaux liquides

LCP

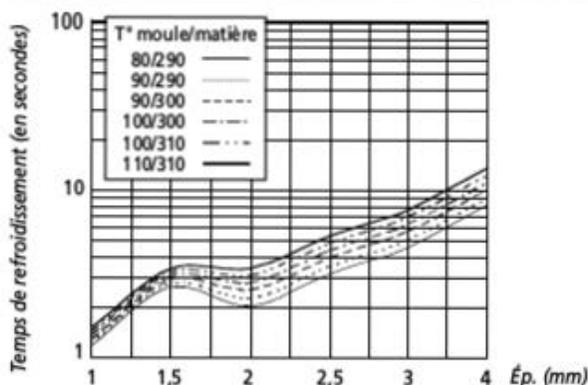
Famille : Polyesters	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,5	Retrait : 0 à 0,6 %
--------------------------------	--------------	-------------	-------------------------	-------------------------------

Étuvage : En étuve Durée : 4 à 6 h T° : 150 °C	Prix (kg) : > 20 € Vitesse de rotation vis :
---	---

T° d'injection : 285 à 310 °C	T° outillage : 80 à 110 °C	T° veille :
---	--------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 240 °C	KΔV : 0,91
----------------------------------	------------------------------	-------------------

T° / Produits de dégradation :



Recyclage :	Jeu d'infiltration : inférieure à 0,02 mm
--------------------	--

Particularités de moulage :

- Matière à solidification très rapide (pas de chaleur latente de cristallisation).
- Matière très fluide avec un retrait fortement différentiel.
- Il faut vérifier la résistance des lignes de soudure après moulage et injecter à très grande vitesse.

Quelques noms commerciaux :		
Vectra	Xydar	RTP 34
Sumika	Ultrax	
Zenite	Thermx LCP	

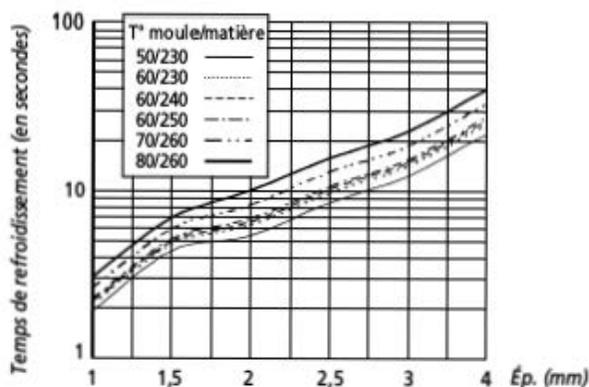
Identification sommaire

Polymère à cristaux liquides GF 40			LCP-GF 40	
Famille : Polyesters	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,7	Retrait : 0 à 0,6 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 150 °C		Prix (kg) : > 20 € Vitesse de rotation vis : 0,15 m/s		
T° d'injection : 285 à 325 °C	T° outillage : 90 à 110 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 240 °C		KΔV : 0,91	
T° / Produits de dégradation :				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 90/285 ——— 100/290 (pointillés) 100/300 - - - - (tireté) 100/310 - · - · (dash-dot) 100/320 - · · - (dash-dot-dot) 110/325 ——— (épais) 				
Recyclage :		Jeu d'infiltration : inférieur à 0,02 mm		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - Matière à solidification très rapide (pas de chaleur latente de cristallisation). - Matière très fluide avec un retrait fortement différentiel. - Il faut vérifier la résistance des lignes de soudure après moulage et injecter à très grande vitesse. 				
Quelques noms commerciaux :				
Vectra	Xydar	RTP 34		
Sumika	Ultrax			
Zenite	Thermx LCP			
Identification sommaire				

Méthacrylate/ABS

MABS

Famille :	Amorphe	Transparent	Densité : 1,08	Retrait : 0,5 %
Étuvage : En étuve		Prix (kg) : < 2 €		
Durée : 2 h		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s		
T° : 70 °C maximum				
T° d'injection : 230 à 260 °C	T° outillage : 50 à 80 °C	T° veille : 100 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 100 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation : 100 °C / Toxiques par inhalation				



Recyclage :

Jeu d'infiltration :

Particularités de moulage :

Quelques noms commerciaux :

Terlux

Identification sommaire

Polyamide 6			PA 6																																																		
Famille : Polyamides	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,15	Retrait : 1,8 %																																																	
Étuvage : Dessiccateur conseillé			Prix (kg) : 3 à 5 €																																																		
Durée : 4 h minimum			Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,8 m/s																																																		
T° : 80 °C maximum																																																					
T° d'injection : 230 à 260 °C	T° outillage : 60 à 100 °C	T° veille : 220 °C																																																			
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 140 à 180 °C	KΔV : 0,80																																																			
T° / Produits de dégradation : 300 °C / Faiblement toxiques																																																					
<p>Le graphique illustre le temps de refroidissement (en secondes) en fonction de l'épaisseur (Ép. (mm)) pour différents couples de température moule/matière. Les courbes indiquent que le temps de refroidissement augmente avec l'épaisseur et avec la température de la matière.</p> <table border="1"> <caption>Données estimées du graphique</caption> <thead> <tr> <th>Ép. (mm)</th> <th>60/230</th> <th>70/230</th> <th>80/240</th> <th>90/240</th> <th>100/250</th> <th>100/260</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~2</td> <td>~3</td> <td>~4</td> <td>~5</td> <td>~6</td> <td>~8</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>~4</td> <td>~5</td> <td>~6</td> <td>~8</td> <td>~10</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~6</td> <td>~8</td> <td>~10</td> <td>~12</td> <td>~15</td> <td>~20</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>~8</td> <td>~10</td> <td>~12</td> <td>~15</td> <td>~18</td> <td>~25</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~10</td> <td>~12</td> <td>~15</td> <td>~18</td> <td>~22</td> <td>~30</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~12</td> <td>~15</td> <td>~18</td> <td>~22</td> <td>~28</td> <td>~38</td> </tr> </tbody> </table>					Ép. (mm)	60/230	70/230	80/240	90/240	100/250	100/260	1	~2	~3	~4	~5	~6	~8	1,5	~4	~5	~6	~8	~10	~15	2	~6	~8	~10	~12	~15	~20	2,5	~8	~10	~12	~15	~18	~25	3	~10	~12	~15	~18	~22	~30	4	~12	~15	~18	~22	~28	~38
Ép. (mm)	60/230	70/230	80/240	90/240	100/250	100/260																																															
1	~2	~3	~4	~5	~6	~8																																															
1,5	~4	~5	~6	~8	~10	~15																																															
2	~6	~8	~10	~12	~15	~20																																															
2,5	~8	~10	~12	~15	~18	~25																																															
3	~10	~12	~15	~18	~22	~30																																															
4	~12	~15	~18	~22	~28	~38																																															
Recyclage : 30 % maximum			Jeu d'infiltration : 0,02 mm																																																		
Particularités de moulage :																																																					
<ul style="list-style-type: none"> - Le démontage de la buse machine ou de systèmes de canaux chauds doit s'effectuer avec un masque et des gants de protection car le PA 6, lorsqu'il se dégrade, fait des projections de matière fondue. - Le dosage parfois irrégulier se corrige par une contre-pression adaptée et une vitesse de rotation réduite. En dernier ressort on peut utiliser un profil décroissant de température du fourreau. - Contre-cône de buse indispensable. - La combustion dégage des gaz très toxiques. 																																																					
Quelques noms commerciaux :																																																					
Akulon K et S	Ultramid B	Trogamid	Latamid 6																																																		
Capron	Durethan B, C, K	Sniamid A	Technyl																																																		
Orgamid	Bergamid B	Toplamid	Shulamid																																																		
Grilon		Nilatron																																																			
Identification sommaire																																																					
Flamme grise à base pétillante. Odeur de corne brûlée.																																																					

Polyamide 6-3-acide téréphtalique

PA 6-3T

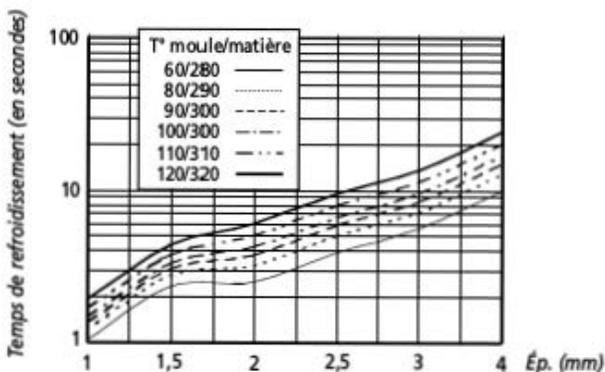
Famille : Polyamides	Amorphe	Transparent	Densité : 1,12	Retrait : 0,5 %
--------------------------------	---------	-------------	--------------------------	---------------------------

Étuvage : Dessiccateur Durée : 6 à 12 h T° : 120 °C maximum	Prix (kg) :
	Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s

T° d'injection : 280 à 320 °C	T° outillage : 60 à 120 °C	T° veille :
---	--------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 :	T° démoulage : 150 °C	KΔV : 0,90
-------------------------------	------------------------------	-------------------

T° / Produits de dégradation :



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
--------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :

Quelques noms commerciaux :
Trogamid T

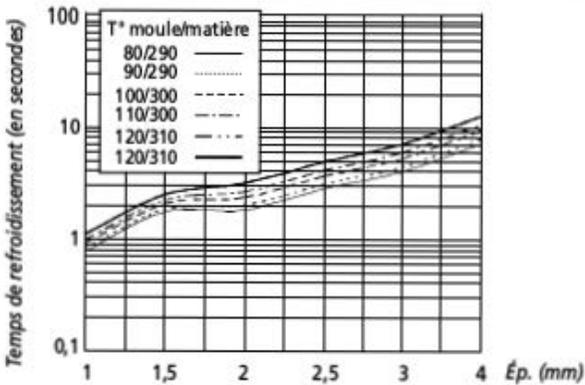
Identification sommaire

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit.

A

FICHES MATIÈRES

Polyamide 6-6			PA 66	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,14	Retrait : 2 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 h minimum T° : 90 °C maximum		Prix (kg) : 3 à 5 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,8 m/s		
T° d'injection : 270 à 280 °C	T° outillage : 60 à 110 °C		T° veille : 250 °C	
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 180 à 210 °C		KΔV : 0,79	
T° / Produits de dégradation : 300 °C / Faiblement toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 60/270 70/270 80/270 90/280 100/280 110/280 				
Recyclage : 30 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,02 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Le démontage de la buse machine ou de systèmes de canaux chauds doit s'effectuer avec un masque et des gants de protection car le PA6, lorsqu'il se dégrade, fait des projections de matière fondue. - Le dosage parfois irrégulier se corrige par une contre-pression adaptée et une vitesse de rotation réduite. En dernier ressort on peut utiliser un profil décroissant de température du fourreau. - Contre-cône de buse indispensable. - La combustion dégage des gaz très toxiques. 				
Quelques noms commerciaux :				
Akulon S	Minlon	Maranyl	Vydine	
Ultramid A	Sniamid s	Latamid 6-6	Technyl	
Durethan A	Zitel	Nylon		
Bergamid A	Grilon T	Shulamid 66		
Identification sommaire				
Flamme grise à base pétillante. Odeur de corne brûlée.				

Polyamide 6-6 GF 30			PA 66-GF 30	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,36	Retrait : 0,5 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé			Prix (kg) : 3 à 5 €	
Durée : 4 h minimum			Vitesse de rotation vis :	
T° : 90 °C maximum			0,1 à 0,4 m/s	
T° d'injection : 290 à 310 °C	T° outillage : 80 à 120 °C		T° veille : 250 °C	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 180 à 210 °C		KΔV : 0,89	
T° / Produits de dégradation : 300 °C / Faiblement toxiques				
				
Recyclage : 10 % maximum			Jeu d'infiltration : 0,02 mm	
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Le démontage de la buse machine ou de systèmes de canaux chauds doit s'effectuer avec un masque et des gants de protection car le PA 6-6, lorsqu'il se dégrade, fait des projections de matière fondue. - Le dosage souvent irrégulier se corrige par une contre-pression adaptée. On peut utiliser un profil décroissant de température du fourreau. - Rester au plus bas possible de la fourchette de température d'injection si l'on doit recycler la matière. - Contre-cône de buse indispensable. - La combustion dégage des gaz très toxiques. 				
Quelques noms commerciaux :				
Akulon S	Bergamid A	Zitel	Latamid 6-6	
Ultramid A	Minlon	Grlon T	Vydine	
Durethan A	Sniamid s	Maranyl	Technyl	
Identification sommaire				
Flamme grise à base pétillante. Odeur de corne brûlée.				
Aspect mat, les fibres sont généralement visibles.				

Polyamide 6-6 GF 50			PA 66-GF 50	
Famille: Polyamides	S/cristallin	Opaque	Densité: 1,57	Retrait: 0,4 %
Étuvage: Dessiccateur conseillé Durée: 4 h minimum T°: 90 °C maximum			Prix (kg): 3 à 5 €	
			Vitesse de rotation vis: 0,1 à 0,2 m/s	
T° d'injection: 290 à 310 °C	T° outillage: 80 à 140 °C		T° veille: 250 °C	
Catégorie ISO 58 000: 4		T° démoulage: 180 à 210 °C	KΔV: 0,90	
T° / Produits de dégradation: 300 °C / Faiblement toxiques				
Recyclage: 10 % maximum			Jeu d'infiltration: 0,02 mm	
Particularités de moulage:				
<ul style="list-style-type: none"> - Le démontage de la buse machine ou de systèmes de canaux chauds doit s'effectuer avec un masque et des gants de protection car le PA 6-6, lorsqu'il se dégrade, fait des projections de matière fondue. - Le dosage souvent irrégulier se corrige par une contre-pression adaptée. On peut utiliser un profil décroissant de température du fourreau. - Rester au plus bas possible de la fourchette de température d'injection si l'on doit recycler la matière. - Contre-cône de buse indispensable. - La combustion dégage des gaz très toxiques. 				
Quelques noms commerciaux:				
Akulon S	Bergamid A	Zitel	Latamid 6-6	
Ultramid A	Minlon	Grilon T	Vydine	
Durethan A	Sniamid s	Maranyl	Technyl	
Identification sommaire				
Flamme grise à base pétillante. Odeur de corne brûlée. Aspect mat, les fibres sont généralement visibles.				

PA 6-acide téréphtalique

PA 66 T

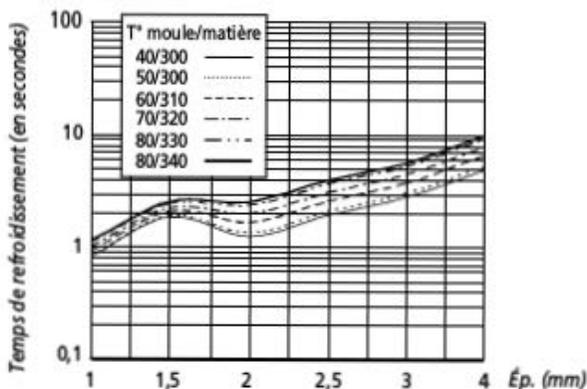
Famille : Polyamides	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,16	Retrait : 0,5 à 1 %
--------------------------------	--------------	-------------	--------------------------	-------------------------------

Étuvage : Dessiccateur	Prix (kg) : 6 à 10 €
Durée : 4 h	
T° : 90 °C	Vitesse de rotation vis :

T° d'injection : 300 à 340 °C	T° outillage : 40 à 80 °C	T° veille :
---	-------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 :	T° démoulage : 280 °C	KΔV : 0,91
-------------------------------	------------------------------	-------------------

T° / Produits de dégradation :



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
--------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :

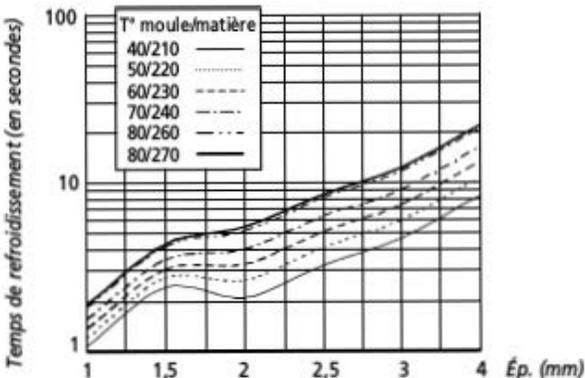
La combustion dégage des gaz très toxiques.

Quelques noms commerciaux :

Durethan T	Trogamid A
Ultramid T	Amodel

Identification sommaire

Polyamides 6-12			PA 6-12	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,04	Retrait : 1,5 %
Étuvage : En étuve		Prix (kg) : 6 à 10 €		
Durée : 4 h		Vitesse de rotation vis :		
T° : 80 °C maximum		0,1 à 0,7 m/s		
T° d'injection : 230 à 290 °C	T° outillage : 40 à 95 °C	T° veille : 180 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 120 à 130 °C	KΔV : 0,83		
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Faiblement toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 40/230 50/240 60/250 70/260 80/270 95/290 				
Recyclage : 60 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,03 mm		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux : Zytel 15 Grilon Vestamid D				
Identification sommaire Matière souple, même après démoulage. Flamme gris-jaune à base pétillante. Odeur de corne brûlée.				

Polyamides 11 ou 12			PA 11 ou PA 12	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,04	Retrait : 1,5 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 90 °C maximum		Prix (kg) : 10 à 13 € Vitesse de rotation vs : 0,1 à 1 m/s		
T° d'injection : 210 à 270 °C	T° outillage : 40 à 80 °C	T° veille : 180 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 100 à 130 °C	KΔV : 0,83		
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Faiblement toxiques				
				
Recyclage : 60 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,03 mm		
Particularités de moulage : Éjection difficile car la matière est souple à température de démoulage.				
Quelques noms commerciaux :				
Rilsan	Cristamid (transparent)			
Grilamid	Vestamid			
Latamid 12	Ubesta			
Identification sommaire Matière très souple, même après démoulage. Flamme jaune à base faiblement pétillante. Odeur de corne brûlée et de bougie.				

Polyamide imide GF 30			PAI-GF 30	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,61	Retrait : 0,5 %
Étuvage : En étuve Durée : 24 h T° : 120 °C maximum		Prix (kg) : > 60 €		
		Vitesse de rotation vis :		
T° d'injection : 335 à 375 °C	T° outillage : 110 à 180 °C	T° veille : 200 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 240 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation : 400 °C / Extrêmement toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 110/335 ——— 120/340 (pointillés) 140/350 - - - - (tireté) 150/360 - · - · (tireté-pointillé) 160/370 - · · · (tireté-triple-pointillé) 170/375 ——— (épais) 				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - La matière durcit lorsqu'elle stagne dans le fourreau, réduire les températures en cas d'interruption de production (même de quelques minutes). - La purge étant très difficile, le nettoyage de la vis et du fourreau est préconisé. 				
Quelques noms commerciaux : Torlon				
Identification sommaire Couleur brun-jaune. Auto-extinguible, combustion très difficile. Charbonne avant l'extinction (comme le PC). Légère odeur de corne brûlée.				

Polyarylamide

PAMXD 6

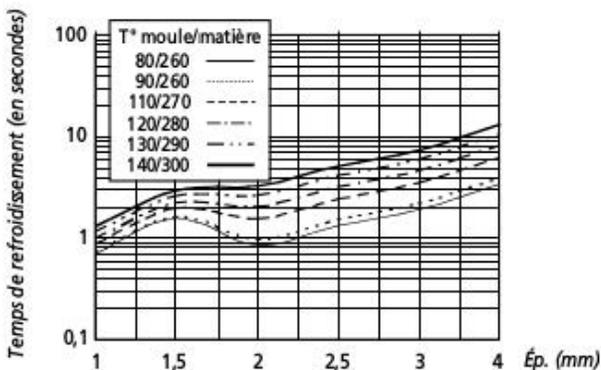
Famille : Polyamides	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,2	Retrait : 1,3 %
--------------------------------	--------------	--------	-------------------------	---------------------------

Étuvage : En étuve Durée : 4 à 12 h T° : 80 °C maximum	Prix (kg) : 6 à 8 €
	Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,8 m/s

T° d'injection : 260 à 300 °C	T° outillage : 80 à 140 °C	T° veille :
---	--------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 230 °C	KΔV : 0,84
---------------------------------	------------------------------	-------------------

T° / Produits de dégradation :



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
--------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :
Démoulage difficile pour des températures d'outillage comprises entre 80 et 100 °C (la matière est amorphe).

Quelques noms commerciaux :

Ixef

Identification sommaire

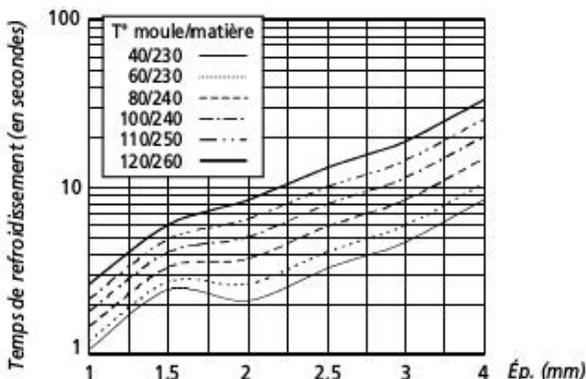
Opaque de couleur sombre. Extrêmement rigide et résistant. Auto-extinguible, la flamme s'éteint en charbonnant. Odeur identique à celle du polycarbonate.

Polyarylamide GF 30			PAMXD 6-GF 30	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,43	Retrait : 0,6 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 à 12 h T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : 6 à 8 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,4 m/s		
T° d'injection : 260 à 300 °C	T° outillage : 100 à 140 °C	T° veille :		
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 200 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation :				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage : Démoulage difficile pour des températures d'outillage comprises entre 80 et 100 °C (la matière est amorphe).				
Quelques noms commerciaux : Ixef				
Identification sommaire Opaque de couleur sombre. Extrêmement rigide et résistant. Auto-extinguible, la flamme s'éteint en charbonnant. Odeur identique à celle du polycarbonate.				

Polybutylène téréphtalate

PBT

Famille : Polyesters	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,31	Retrait : 2 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé		Prix (kg) : 3 à 5 €		
Durée : 4 h T° : 120 °C maximum		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,7 m/s		
T° d'injection : 230 à 260 °C	T° outillage : 40 à 120 °C	T° veille : 170 à 200 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 170 °C	KΔV : 0,79		
T° / Produits de dégradation : 270 °C / Faiblement irritants				



Recyclage : 20 % maximum

Jeu d'infiltration : 0,05 mm

Particularités de moulage :

- Veiller au respect des consignes d'étuvage car la dégradation par hydrolyse du PBT ne provoque pas toujours de trace visible sur le produit fini (pièces cassantes).
- Éviter d'utiliser la décompression.

Quelques noms commerciaux :

Arnite T	Pibiter	Later	Grilpet
Orgater	Vestodur	Techster	Cratsin
Ultradur	Dynalit	Celanex	
Pocan	Valox		

Identification sommaire

S'enflamme facilement, mais entretient mal la flamme. Flamme jaune, ne pétillant pas, avec fumée noire. Odeur fruitée.

Polybutylène téréphtalate GF 30			PBT-GF 30	
Famille : Polyesters	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,53	Retrait : 0,8 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé		Prix (kg) : 3 à 5 €		
Durée : 4 h		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,4 m/s		
T° : 120 °C maximum				
T° d'injection : 250 à 270 °C	T° outillage : 80 à 120 °C	T° veille : 170 à 200 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 170 °C	KΔV : 0,87		
T° / Produits de dégradation : 270 °C / Faiblement irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 80/250 90/250 90/260 100/260 110/270 120/270 				
Recyclage : 20 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,05 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Veiller au respect des consignes d'étuvage car la dégradation par hydrolyse du PBT ne provoque pas toujours de trace visible sur le produit fini (pièces cassantes). - Éviter d'utiliser la décompression. 				
Quelques noms commerciaux :				
Arnite T	Vestodur	Crastin		
Orgater	Dynalit	Celanex		
Ultradur	Valox	Enduran		
Pocan	Later			
Pibiter	Techster			
Identification sommaire				
Auto-extinguible. Flamme jaune, ne pétillant pas, avec fumée noire. Odeur fruitée.				

Polycarbonate			PC	
Famille : Polycarbonate	Amorphe	Transparent	Densité : 1,2	Retrait : 0,7 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé		Prix (kg) : 3 à 5 €		
Durée : 4 h		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s		
T° : 110 °C				
T° d'injection : 280 à 320 °C	T° outillage : 70 à 120 °C		T° veille : 170 °C minimum	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 130 °C		KAV : 0,91	
T° / Produits de dégradation : 320 °C / Très dangereux				
Recyclage : 20 % maximum		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Matière extrêmement visqueuse, la température de l'outillage est le paramètre de réglage primordial. - Une T° d'injection trop basse peut provoquer des traces marron ou des points noirs. - La forte adhérence des granulés sur le fourreau peut provoquer des variations apparentes de pression d'injection, et des irrégularités de dosage (effet tire-bouchon). - Il existe des qualités haute température (*) pour lesquelles toutes les températures doivent être augmentées de 10 °C. Température de démoulage de 160 °C dans ce cas. - Ne jamais laisser la température du fourreau descendre en dessous de 160°C (changer de matière avant l'arrêt des chauffes). - Lors de son refroidissement, la matière provoque une attaque mécanique de la surface de l'empreinte (arrachement de petites particules métalliques de certaines nuances d'acier). 				
Quelques noms commerciaux :				
Orgalan	Latilon	Lexan	Xenoy CL	Xantar
Makrolon	Apec HT ou DP9 (*)	Apes	Calibre	
Identification sommaire				
Transparent et rigide, plie sans casser. Auto-extinguible, la flamme s'éteint en charbonnant.				

Polytéréphthalate de cyclohexanol diméthylène GF30			PCT-GF 30	
Famille : Polyesters	Cristallin	Opaque	Densité : 1,63	Retrait : 0,3 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 à 6 h T° : de 70 à 120 °C selon références			Prix (kg) :	
			Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s	
T° d'injection : 295 à 310 °C	T° outillage : 80 à 120 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage :		KΔV : 0,91	
T° / Produits de dégradation :				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 80/295 90/295 90/300 100/300 110/310 120/310 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 20 %		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux : Thermx PCT Eastar				
Identification sommaire				

Polytéréphtalate de cyclohexanol diméthylène et d'éthylène glycol

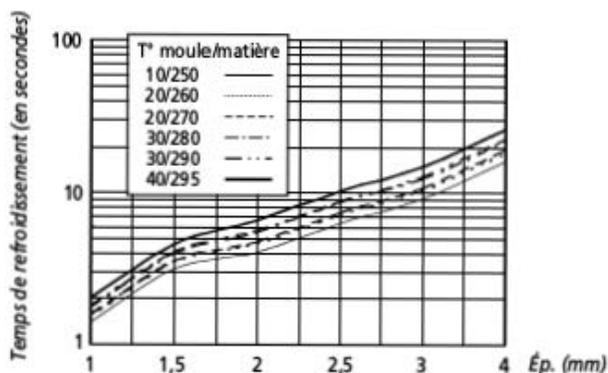
PCTG

Famille : Polyesters	Amorphe	Transparent	Densité : 1,23	Retrait :
--------------------------------	---------	-------------	--------------------------	------------------

Étuvage : Dessiccateur Durée : 6 h T° : 75 °C maximum	Prix (kg) : Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s
--	--

T° d'injection : 250 à 295 °C	T° outillage : 10 à 40 °C	T° veille : 190 °C
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 70 °C	KΔV :

T° / Produits de dégradation :



Recyclage : 20 % maximum	Jeu d'infiltration :
---------------------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :

Quelques noms commerciaux :

Eastar

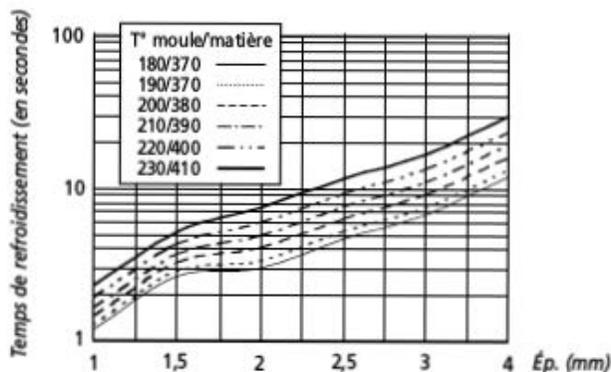
Identification sommaire

Alliage PC + PBT			(PC + PBT)	
Famille : Polyesters	Partiellement cristallin	Translucide	Densité : 1,25	Retrait : 0,7 à 1 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 110 °C maximum		Prix (kg) : 3 à 5 € Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,3 m/s		
T° d'injection : 250 à 280 °C	T° outillage : 80 à 100 °C	T° veille : 120 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 140 °C	KΔV : 0,88		
T° / Produits de dégradation : 270 °C / Extrêmement toxique				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 80/250 80/260 90/260 90/270 100/270 100/280 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 25 %	Jeu d'infiltration :			
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux :				
Pocan	Koblen Hi	Ultradur KR408		
Xenoy	Hybrid 3	Vylopet CA		
Polylux	Tekaloy			
Naxaloy	Spelloy K			
Identification sommaire				

Polyimide thermoplastique

PI TP

Famille : Polyimides	S/cristallin		Densité : 1,33 à 1,44	Retrait : 1 %
Étuvage : Dessiccateur		Prix (kg) :		
Durée :		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,4 m/s		
T° :				
T° d'injection : 370 à 410 °C	T° outillage : 180 à 230 °C	T° veille :		
Catégorie ISO 58 000 :	T° démoulage : 250 °C	KΔV : 0,86		
T° / Produits de dégradation : 570 °C				



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
Particularités de moulage :	
Quelques noms commerciaux : Vespel TP RTP 4200 Aurum 450	
Identification sommaire	

Polyéthylène haute densité			PE-HD	
Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Translucide	Densité : 0,95 ~	Retrait : 2,5 %
Étuvage : inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,3 m/s		
T° d'injection : 160 à 300 °C	T° outillage : 4 à 60 °C	T° veille : 250 °C maximum		
Catégorie ISO 58 000 : 5	T° démoulage : 80 à 110 °C	KΔV : 0,76		
T° / Produits de dégradation : 240 °C / Peu nocifs, irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 4/180 20/200 30/220 40/240 50/260 60/280 				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,04 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Remplissage facile mais éjection difficile car le PE-HD est souple. Maintien important (temps et pression). - Post-retrait très élevé, et retrait fortement différentiel : déformations à corriger par un profil de maintien étudié et par la température du moule. - Les PE collent à la peau à température de transformation, ne jamais toucher de purge à mains nues. 				
Quelques noms commerciaux :				
Lupolen	Vestolen	Moplen RO		
Rigidex	Hostalen	Marlex		
Natène	Stamylan	Eltex		
Norsoplast	Latene HD			
Identification sommaire				
Aspect gras, translucide, ressemble à de la cire.				
Facilement inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée.				
Odeur de bougie. Ne blanchit pas à la pluire.				

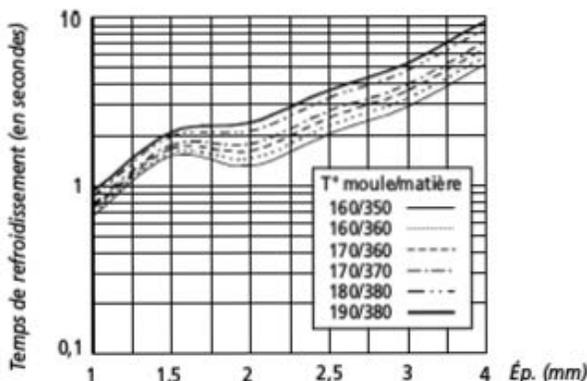
Polyéthylène basse densité			PE-LD	
Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Translucide	Densité : 0,92 -	Retrait : 2,5 %
Étuvage : inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,3 m/s		
T° d'injection : 150 à 260 °C	T° outillage : 4 à 60 °C	T° veille : 240 °C maximum		
Catégorie ISO 58 000 : 5	T° démoulage : 60 à 95 °C	KΔV : 0,76		
T° / Produits de dégradation : 240 °C / Peu nocifs, irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 4/150 10/170 20/190 30/220 40/240 50/260 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Remplissage facile mais éjection difficile car le PE-LD est souple. Maintien important (temps et pression). - Post-retrait très élevé, et retrait fortement différentiel: déformations à corriger par un profil de maintien étudié et par la température du moule. - Les PE collent à la peau à température de transformation, ne jamais toucher de purge à mains nues. - Il existe des références aux propriétés très diverses. 				
Quelques noms commerciaux :				
Lupolen	Daplene	Stamylan	Fertene	
Baylon	Escorene	Hostalen LD	Carlona	
Lotrene	Typolen	Alkaten		
Identification sommaire				
Aspect gras, translucide, ressemble à de la cire.				
Facilement inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée. Odeur de bougie.				
Ne blanchit pas à la pliure.				

Polyéthylène basse densité linéaire			PE-LLD																																																		
Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Translucide	Densité : 0,92 ~	Retrait : 2,5 %																																																	
Étuvage : inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €																																																			
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,3 m/s																																																			
T° d'injection : 150 à 260 °C	T° outillage : 4 à 60 °C	T° veille : 240 °C maximum																																																			
Catégorie ISO 58 000 : 5	T° démoulage : 60 à 95 °C	KΔV : 0,76																																																			
T° / Produits de dégradation : 240 °C / Peu nocifs, irritants																																																					
<p>Le graphique illustre le temps de refroidissement (en secondes) en fonction de l'épaisseur (mm) pour différents couples T° moule/matière. Les courbes indiquent que le temps de refroidissement augmente avec l'épaisseur et diminue avec la température du moule.</p> <table border="1"> <caption>Données estimées du graphique</caption> <thead> <tr> <th>Ép. (mm)</th> <th>4/150</th> <th>10/170</th> <th>20/190</th> <th>30/220</th> <th>40/240</th> <th>50/260</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~3</td> <td>~2</td> <td>~1.5</td> <td>~1.2</td> <td>~1</td> <td>~0.8</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>~5</td> <td>~4</td> <td>~3</td> <td>~2.5</td> <td>~2</td> <td>~1.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~8</td> <td>~6</td> <td>~5</td> <td>~4</td> <td>~3</td> <td>~2.5</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>~12</td> <td>~10</td> <td>~8</td> <td>~6</td> <td>~5</td> <td>~4</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~18</td> <td>~15</td> <td>~12</td> <td>~10</td> <td>~8</td> <td>~6</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~28</td> <td>~22</td> <td>~18</td> <td>~15</td> <td>~12</td> <td>~10</td> </tr> </tbody> </table>					Ép. (mm)	4/150	10/170	20/190	30/220	40/240	50/260	1	~3	~2	~1.5	~1.2	~1	~0.8	1,5	~5	~4	~3	~2.5	~2	~1.5	2	~8	~6	~5	~4	~3	~2.5	2,5	~12	~10	~8	~6	~5	~4	3	~18	~15	~12	~10	~8	~6	4	~28	~22	~18	~15	~12	~10
Ép. (mm)	4/150	10/170	20/190	30/220	40/240	50/260																																															
1	~3	~2	~1.5	~1.2	~1	~0.8																																															
1,5	~5	~4	~3	~2.5	~2	~1.5																																															
2	~8	~6	~5	~4	~3	~2.5																																															
2,5	~12	~10	~8	~6	~5	~4																																															
3	~18	~15	~12	~10	~8	~6																																															
4	~28	~22	~18	~15	~12	~10																																															
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration :																																																			
Particularités de moulage :																																																					
<ul style="list-style-type: none"> – Remplissage facile mais éjection difficile car le PE-LLD est souple. Maintien important (temps et pression). – Post-retrait très élevé, et retrait fortement différentiel : déformations à corriger par un profil de maintien étudié et par la température du moule. – Les PE collent à la peau à température de transformation, ne jamais toucher de purge à mains nues. – Il existe des références aux propriétés très diverses. 																																																					
Quelques noms commerciaux :																																																					
Lotrex	Engage																																																				
Dowlex	Polyéthylène CP 800																																																				
Scorene																																																					
Identification sommaire																																																					
Aspect gras, translucide, ressemble à de la cire.																																																					
Facilement inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée. Odeur de bougie.																																																					
Ne blanchit pas à la pliure.																																																					

Polyéther éther cétone

PEEK

Famille :	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,32	Retrait : 1,1 %
Étuvage : En étuve Durée : 3 h T° : 150 °C maximum		Prix (kg) : > 25 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,5 m/s		
T° d'injection : 350 à 380 °C	T° outillage : 160 à 190 °C	T° veïlle :		
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 300 °C	KΔV : 0,85		
T° / Produits de dégradation :				



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
Particularités de moulage :	
<ul style="list-style-type: none"> - Temps de séjour dans le fourreau très limité. - Matière visqueuse. 	
Quelques noms commerciaux :	
Victrex	Zenite
Xydar	
Ultrax	
Identification sommaire	
Couleur brun clair. Auto-extinguible, dégage une fumée noire lors de la combustion. Charbonne avant l'extinction (comme le PC).	

Polyétherimide			PEI	
Famille : Polyimides	Amorphe	Transparent	Densité : 1,27	Retrait : 0,7 %
Étuvage : Dessiccateur Durée : 6 h T° : 150 °C.		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 350 à 425 °C	T° outillage : 140 à 160 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 180 °C		KΔV : 0,88	
T° / Produits de dégradation : 420 °C / Extrêmement toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 140/350 140/360 150/380 150/400 160/410 160/420 				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux :				
Ultem		Thermocomp EC		
Ultem ATX (Alliage PCE/PEI)		RTP 2100		
Identification sommaire Auto-extinguible.				

Polyéthersulfones			PES	
Famille : Polysulfones	Amorphe	Transparent	Densité : 1,24	Retrait : 0,7 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 h T° : 130 °C maximum			Prix (kg) : 15 à 30 €	
			Vitesse de rotation vs : 0,1 à 0,6 m/s	
T° d'injection : 310 à 400 °C	T° outillage : 100 à 160 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 200 °C		KΔV : 0,88	
T° / Produits de dégradation : 380 °C / Irritants et toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>100 10 1 0,1</p> <p>1 1,5 2 2,5 3 4 Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 100/310 ——— 110/330 - - - - - 120/340 ····· 130/360 - · - · - 140/380 - - - - - 160/400 ——— 				
Recyclage : 20 % maximum			Jeu d'infiltration : 0,3 mm	
Particularités de moulage : Importants risques de projections, lors des purges.				
Quelques noms commerciaux : Ultrason E Radel				
Identification sommaire Transparents, de teinte jaunâtre, très rigides. Auto-extinguibles, fumée noire avec odeur de soufre.				

Polyéthylène téréphtalate			PET	
Famille : Polyesters	Amorphe S/cristallin	Transparent Opaque	Densité : 1,35	Retrait : 0,5 à 1,8 %
Étuvage : Dessiccateur obligatoire			Prix (kg) : 2 à 4 €	
Durée : 4 h			Vitesse de rotation vis :	
T° : 140 °C			0,1 à 0,7 m/s	
T° d'injection : 270 à 300 °C		T° outillage : Produit amorphe : 20 °C Produit semi-cristallin : de 80 à 140 °C		T° veille : 220 °C
Catégorie ISO 58 000 : Am 4/Cr 3		T° démoulage : Appliquer les recommandations du fabricant		KΔV amorphe : 0,90 KΔV cristallin : 0,81
T° / Produits de dégradation : 270 °C / Faiblement irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 20/240 30/240 40/250 90/260 120/270 140/270 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : Voir doc. fabricant			Jeu d'infiltration : 0,03 mm	
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> – Les conditions de transformation sont très variables en fonction des références. Il est recommandé de rechercher et d'appliquer les recommandations du fabricant. – Veiller au respect des consignes d'étuvage car la dégradation par hydrolyse du PET ne provoque pas toujours de trace visible sur le produit fini. – Éviter d'utiliser la décompression. – La présence d'une peau transparente à la surface des pièces cristallines est normale. – Un étuvage insuffisant se traduit par une fluidité accrue de la matière. – La reprise d'humidité, très rapide (quelques minutes), impose un étuvage en continu. Les alimentations automatiques de matière utilisent de l'air desséché. – Le talc est un très bon agent nucléant du PET. 				
Quelques noms commerciaux :				
Arnite A		Grilpet		
Rynite		Techster		
Tenite		Pocan		
Identification sommaire				
S'enflamme facilement, mais entretient mal la flamme. Flamme jaune, ne pétillant pas, avec fumée noire. Odeur fruitée.				

Polyéthylène téréphtalate GF 30

PET-GF 30

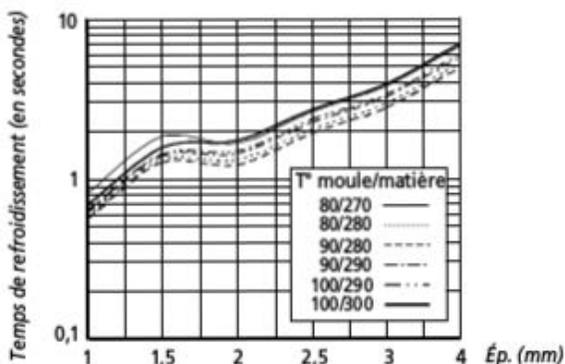
Famille : Polyesters	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,57	Retrait : 0,5 %
--------------------------------	--------------	--------	--------------------------	---------------------------

Étuvage : Dessiccateur obligatoire	Prix (kg) : 2 à 4 €
Durée : 4 h	Vitesse de rotation vis :
T° : 120 °C	0,1 à 0,4 m/s

T° d'injection : 270 à 300 °C	T° outillage : 80 à 100 °C	T° veille : 220 °C
---	--------------------------------------	------------------------------

Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : Appliquer les recommandations du fabricant	KΔV : 0,90
---------------------------------	--	-------------------

T° / Produits de dégradation : 270 °C / Faiblement irritants



Recyclage : Voir doc. fabricant	Jeu d'infiltration : 0,03 mm
--	-------------------------------------

Particularités de moulage :

- Les conditions de transformation sont très variables en fonction des références. Il est recommandé de rechercher et d'appliquer les recommandations du fabricant.
- Veiller au respect des consignes d'étuvage car la dégradation par hydrolyse du PET ne provoque pas toujours de trace visible sur le produit fini.
- Éviter d'utiliser la décompression.
- Un étuvage insuffisant se traduit par une fluidité accrue de la matière.
- La reprise d'humidité, très rapide (quelques minutes), impose un étuvage en continu. Les alimentations automatiques de matière utilisent de l'air desséché.

Quelques noms commerciaux :	
Arnite A	Gripet
Rynite	Techster
Tenite	Pocan

Identification sommaire
S'en flamme facilement, mais entretient mal la flamme. Flamme jaune, ne pétillant pas, avec fumée noire. Odeur fruitée.

Alliage PET + PBT GF 30		(PET + PBT) GF 30		
Famille : Polyesters	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,56	Retrait : 0,5 %
Étuvage : Dessiccateur Durée : 4 h T° : 120 °C maximum		Prix (kg) : 2 à 4 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,4 m/s		
T° d'injection : 260 à 300 °C	T° outillage : 40 à 80 °C	T° veille : 220 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 170 °C	KAV : 0,90		
T° / Produits de dégradation : 240 °C / Faiblement irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 40/260 40/270 50/280 60/290 70/300 80/300 <p>1 10 100</p> <p>1 1,5 2 2,5 3 4 Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Veiller au respect des consignes d'étuvage car la dégradation par hydrolyse ne provoque pas toujours de trace visible sur le produit fini. - Éviter d'utiliser la décompression. 				
Quelques noms commerciaux :				
Pocan Arnite TV44 Ultradur B4040				
Identification sommaire				

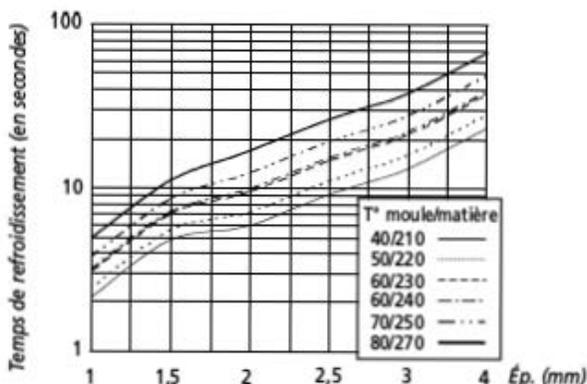
Alliage PET + PC			PET + PC	
Famille :	Cristallin	Opaque	Densité : 1,16 à 1,29	Retrait : 0,6 %
Étuvage : <i>Durée :</i> 6 h <i>T° :</i> 110 °C maximum		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 260 à 315 °C	T° outillage : 40 à 85 °C	T° veille : 170 °C		
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 90 à 110 °C	KΔV :		
T° / Produits de dégradation :				
<p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 40/260 50/270 60/280 70/290 80/300 85/315 <p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Purge obligatoire et sans polyoléfines. - Très grande dispersion des propriétés, consulter impérativement la documentation du fournisseur. 				
Quelques noms commerciaux :				
Naxaloy 79				
Eastalloy DA1				
Acculoy POLO6				
Stapron EM605				
Identification sommaire				

Acide polylactique			PLA	
Famille : Polyesters	Amorphe S/cristallin	Transparent Opaque	Densité : 1,25	Retrait : 0,4 à 1 %
Étuvage : Dessiccateur obligatoire Durée : 4 h T° : 55 °C (amorphe) ; 65 à 87 °C (S/cristallin)		Prix (kg) : 3 à 4 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,7 m/s		
T° d'injection : 145 à 190 °C	T° outillage : 20 à 30 °C	T° veille : 80 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 60 °C	KΔV : 0,94		
T° / Produits de dégradation : 235 °C				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p> T° moule/matière — 20/145 - - - 20/150 - · - · 20/160 - · - · 30/170 - · - · 30/175 — 30/180 </p>				
Recyclage : Biodégradable, compostable		Jeu d'infiltration : 0,03 mm		
Particularités de moulage : - Veiller au respect des consignes d'étuvage car la dégradation par hydrolyse du PLA fait rapidement chuter ses propriétés. Les sacs de stockage doivent être étanches et scellés. La reprise d'humidité qui est très rapide dans l'air ambiant impose des alimentations automatiques de matière qui utilisent de l'air desséché. Attention à respecter les températures maximales d'étuvage car les granules de PLA peuvent rapidement s'agglutiner et former un bloc. - C'est une matière thermosensible, on s'efforcera donc de l'injecter dans le bas de sa plage de transformation et d'éviter les stagnations. - Éviter la décompression. - Recristallisation à plus de 60 °C.				
Quelques noms commerciaux :				
BASF Ecovio	GEHR EcoGehr	Northstar		
Bio-Flex	NatureWorks Ingeo	Corbion Purac		
RTP	Tempia			
Identification sommaire				

Polyméthacrylate de méthyle

PMMA

Famille : Acryliques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,18	Retrait : 0,5 %
Étuvage : En étuve		Prix (kg) : 2 à 4 €		
Durée : 4 h		Vitesse de rotation vs : 0,1 à 0,6 m/s		
T° : 80 °C maximum				
T° d'injection : 210 à 270 °C	T° outillage : 40 à 80 °C	T° veille : 120 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 70 à 90 °C	KΔV : 0,92		
T° / Produits de dégradation : 100 °C / Irritants				



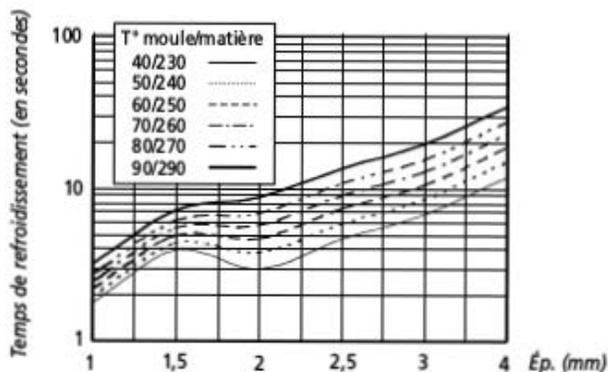
Recyclage : Perte de transparence	Jeu d'infiltration : 0,3 mm	
Particularités de moulage :		
<ul style="list-style-type: none"> - La viscosité élevée de PMMA n'est guère modifiée par sa température : il est plus efficace de modifier la température de l'outillage. - Des vitesses d'injection élevées, ou des paliers de vitesse très marqués, peuvent entraîner un défaut de qualité optique par variation de l'indice de réfraction de la lumière. - Givrage fréquemment dû à la décompression. - Points noirs fréquents, en cas de stagnation du PMMA dans le fourreau. 		
Quelques noms commerciaux :		
Degalan	Resarit	Lucryl
Lucite	Oroglas	Crystalite
Diakon	Plexiglas	Gujpol
Vedril	Altuglas	Akrylon
Identification sommaire		
Transparent et cassant. Facilement inflammable, avec une flamme très jaune qui crépite sans fumer. Fumée blanche à l'extinction, avec forte odeur d'ail.		

Alliage PMMA + PC			(PMMA + PC)	
Famille :	Amorphe	Transparent	Densité : 1,15	Retrait : 0,6 %
Étuvage : Dessiccateur Durée : 4 h T° : 110 °C maximum		Prix (kg) : Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,4 m/s		
T° d'injection : 240 à 260 °C	T° outillage : 60 à 100 °C	T° veille : 160 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 130 °C	KΔV : 0,92		
T° / Produits de dégradation : 280 °C / Très toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 60/240 70/240 70/250 80/250 90/260 100/260 				
Recyclage :	Jeu d'infiltration :			
Particularités de moulage : Assez sensible à l'oxydation (jaunissement facile). Sans conséquences, une simple purge du fourreau suffit à éliminer les traces.				
Quelques noms commerciaux : Cyrex RTP 1800				
Identification sommaire				

Polyméthyl pentène

PMP

Famille : Polyoléfinés	Cristallin	Translucide	Densité : 0,85	Retrait : 1,8 %
Étuvage : Inutile		Prix (kg) :		
Durée :		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 1 m/s		
T° :				
T° d'injection : 230 à 290 °C	T° outillage : 40 à 90 °C		T° veille : 180 °C	
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 150 °C		KΔV : 0,81	
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Peu nocifs, irritants				



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
Particularités de moulage :	
Quelques noms commerciaux : RTP 3000 TPX	
Identification sommaire	

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit.

A

FICHES MATIÈRES

Polyoxyméthylène copolymère			POM	
Famille : Polyacétal	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,42	Retrait : 2 %
Étuvage : Inutile Durée : T° : 70 °C maximum		Prix (kg) : 2 à 4 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,15 m/s		
T° d'injection : 180 à 205 °C	T° outillage : 60 à 120 °C		T° veille : Purge immédiate	
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 100 à 140 °C		KΔV : 0,81	
T° / Produits de dégradation : 190 °C / Très irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 60/180 ——— 70/185 (pointillés) 80/190 - - - - (tireté) 90/195 - · - · - (tireté-pointillé) 100/200 - - - - (tireté long) 120/205 ——— (plein épais) <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,03 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Purge immédiate en cas d'arrêt de plus de 5 minutes. - Le POM dégage un gaz très irritant lors de sa dégradation. - Lors du réglage, vérifier constamment que la vis ne recule pas d'elle-même. Dans ce dernier cas, purger la presse plusieurs fois en se protégeant d'éventuelles projections. - Post-retrait important, attendre 24 heures avant la stabilisation des dimensions. - Contre-cône de buse indispensable. - Mesure de la température matière en sortie de buse conseillée. 				
Quelques noms commerciaux :				
Hostaform		Celcon		
Ultraform		Duracon		
Tenac		Meraform		
Identification sommaire				
Matière rigide au toucher gras. Flamme bleue, comme lorsque l'on brûle de l'alcool, difficile à éteindre. Odeur violente de formol : la combustion dégage un gaz très irritant.				

Polyoxyméthylène homopolymère			POM	
Famille : Polyacétal	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,42	Retrait : 2 %
Étuvage : Inutile		Prix (kg) : 2 à 4 €		
Durée : T° : 70 °C maximum		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,15 m/s		
T° d'injection : 195 à 215 °C	T° outillage : 60 à 130 °C	T° veille : Purge immédiate		
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 100 à 150 °C	KΔV : 0,81		
T° / Produits de dégradation : 190 °C / Très irritants				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,03 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Purge immédiate en cas d'arrêt de plus de 5 minutes. - Le POM dégage un gaz très irritant lors de sa dégradation. - Lors du réglage, vérifier constamment que la vis ne recule pas d'elle-même. Dans ce dernier cas, purger la presse plusieurs fois en se protégeant d'éventuelles projections. - Post-retrait important, attendre 24 heures avant la stabilisation des dimensions. - Contre-cône de buse indispensable. - Mesure de la température matière en sortie de buse conseillée. 				
Quelques noms commerciaux :				
Delrin	Ultraform			
Kematal	Celcon			
Sniatal	Duracon			
Identification sommaire				
Matière rigide au toucher gras. Flamme bleue, comme lorsque l'on brûle de l'alcool, difficile à éteindre. Odeur violente de formol : la combustion dégage un gaz irritant.				

Polyoxyméthylène GF 30			POM-GF 30																																																		
Famille : Polyacétal	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,63	Retrait : 0,7 %																																																	
Étuvage : Inutile		Prix (kg) : 2 à 4 €																																																			
Durée : T° : 70 °C maximum		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,15 m/s																																																			
T° d'injection : 195 à 215 °C	T° outillage : 60 à 130 °C	T° veille : Purge immédiate																																																			
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 100 à 150 °C	KΔV : 0,88																																																			
T° / Produits de dégradation : 190 °C / Très irritants																																																					
<p>Le graphique illustre le temps de refroidissement (en secondes) en fonction de l'épaisseur (Ép. (mm)) pour différentes températures de moulage (T° moule/matière). Les courbes indiquent que le temps de refroidissement augmente avec l'épaisseur et diminue avec la température de moulage.</p> <table border="1"> <caption>Données estimées du graphique</caption> <thead> <tr> <th>Ép. (mm)</th> <th>60/195</th> <th>70/200</th> <th>80/200</th> <th>90/205</th> <th>110/210</th> <th>120/215</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~1,5</td> <td>~1,2</td> <td>~1,0</td> <td>~0,8</td> <td>~0,6</td> <td>~0,5</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>~2,5</td> <td>~2,0</td> <td>~1,5</td> <td>~1,2</td> <td>~0,9</td> <td>~0,7</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~4,0</td> <td>~3,0</td> <td>~2,2</td> <td>~1,8</td> <td>~1,4</td> <td>~1,1</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>~6,0</td> <td>~4,5</td> <td>~3,2</td> <td>~2,5</td> <td>~1,9</td> <td>~1,5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~8,0</td> <td>~6,0</td> <td>~4,5</td> <td>~3,5</td> <td>~2,7</td> <td>~2,1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~12,0</td> <td>~9,0</td> <td>~6,5</td> <td>~5,0</td> <td>~3,8</td> <td>~2,9</td> </tr> </tbody> </table>					Ép. (mm)	60/195	70/200	80/200	90/205	110/210	120/215	1	~1,5	~1,2	~1,0	~0,8	~0,6	~0,5	1,5	~2,5	~2,0	~1,5	~1,2	~0,9	~0,7	2	~4,0	~3,0	~2,2	~1,8	~1,4	~1,1	2,5	~6,0	~4,5	~3,2	~2,5	~1,9	~1,5	3	~8,0	~6,0	~4,5	~3,5	~2,7	~2,1	4	~12,0	~9,0	~6,5	~5,0	~3,8	~2,9
Ép. (mm)	60/195	70/200	80/200	90/205	110/210	120/215																																															
1	~1,5	~1,2	~1,0	~0,8	~0,6	~0,5																																															
1,5	~2,5	~2,0	~1,5	~1,2	~0,9	~0,7																																															
2	~4,0	~3,0	~2,2	~1,8	~1,4	~1,1																																															
2,5	~6,0	~4,5	~3,2	~2,5	~1,9	~1,5																																															
3	~8,0	~6,0	~4,5	~3,5	~2,7	~2,1																																															
4	~12,0	~9,0	~6,5	~5,0	~3,8	~2,9																																															
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,03 mm																																																			
Particularités de moulage :																																																					
<ul style="list-style-type: none"> - Purge immédiate en cas d'arrêt de plus de 5 minutes. - Le POM dégage un gaz irritant lors de sa dégradation. - Lors du réglage, vérifier constamment que la vis ne recule pas d'elle-même. Dans ce dernier cas, purger la presse plusieurs fois en se protégeant d'éventuelles projections. - Post-retrait important, attendre 24 heures avant la stabilisation des dimensions. - Contre-cône de buse indispensable. - Mesure de la température matière en sortie de buse conseillée. 																																																					
Quelques noms commerciaux :																																																					
Delrin	Ultraform	Tenac																																																			
Kematal	Celcon	Meraform																																																			
Sniatal	Duracon																																																				
Identification sommaire																																																					
Matière rigide au toucher gras. Flamme bleue, comme lorsque l'on brûle de l'alcool, difficile à éteindre. Odeur violente de formol : la combustion dégage un gaz irritant.																																																					

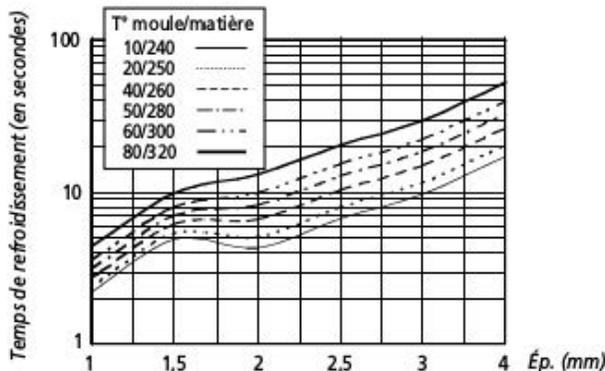
Polypropylène copolymère			PP	
Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Translucide	Densité : 0,91 -	Retrait : 2 %
Étuvage : inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,4 m/s		
T° d'injection : 210 à 290 °C	T° outillage : 4 à 80 °C	T° veille : 280 °C maximum		
Catégorie ISO 58 000 : 5	T° démoulage : 90 à 110 °C	KΔV : 0,78		
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Peu irritants, peu nocifs				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,04 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Éjection difficile car ce PP est souple. - Post-retrait très élevé, et retrait fortement différentiel à corriger par un profil de maintien étudié et par la température du moule. - Le PP colle à la peau au-delà de 250 °C, ne jamais toucher de purge à mains nues. - Sensible à la déformation et à la rayure à chaud (convoyage par tapis conseillé). En cas de dosage irrégulier, utiliser un profil décroissant de température du fourreau. En cas de traces blanches, voir le défaut « bulles de vide ». 				
Quelques noms commerciaux :				
Lacqtene	Typfen	Norsopryl	Latene	
Bergaprop	Tipphen	Mopfen	Dapfen	
Napryl	Hostalen PP	Eltex P	Appryl	
Propatene	Tenite	Ispfen		
	Stamylan P	Valtec		
Identification sommaire				
Aspect gras, translucide, ressemble à de la cire. Facilement inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée. Odeur de bougie. Blanchit à la pluire avec effet charnière.				

Polypropylène homopolymère			PP-H	
Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Translucide	Densité : 0,91 ~	Retrait : 2 %
Étuvage : Inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,4 m/s		
T° d'injection : 210 à 300 °C	T° outillage : 4 à 90 °C		T° veille : 280 °C maximum	
Catégorie ISO 58 000 : 5	T° démoulage : 110 à 130 °C		KΔV : 0,78	
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Peu nocifs				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 4/210 20/220 30/230 40/240 60/260 80/280 				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,04 mm		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - Post-retrait très élevé, et retrait fortement différentiel à corriger par un profil de maintien étudié et par la température du moule. - Le PP colle à la peau au-delà de 250 °C, ne jamais toucher de purge à mains nues. - Sensible à la déformation et à la rayure à chaud (convoyage par tapis conseillé). En cas de dosage irrégulier, utiliser un profil décroissant de température du fourreau. En cas de traces blanches, voir le défaut « bulles de vide ». 				
Quelques noms commerciaux :				
Lacqtene	Typfen	Norsopryl	Latene	
Bergaprop	Tipplen	Mopfen	Dapfen	
Napryl	Hostalen PP	Eltex P	Appryl	
Propatene	Tenite	Isphen		
	Stamylan P	Valtec		
Identification sommaire Aspect gras, translucide, ressemble à de la cire. Facilement inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée. Odeur de bougie. Blanchit à la pluie avec effet chamière.				

Polypropylène GF 30

PP-GF 30

Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,15 -	Retrait : 0,6 %
Étuvage : Inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : 3 à 5 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,5 m/s		
T° d'injection : 240 à 320 °C	T° outillage : 4 à 80 °C		T° veille : 280 °C maximum	
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 110 à 130 °C		KΔV : 0,89	
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Peu nocifs				



Recyclage : 30 %

Jeu d'infiltration : 0,04 mm

Particularités de moulage :

- Les fibres de verre se désolidarisent facilement de la matrice : ne pas toucher les granules et nettoyer la trémie et les convoyeurs après usage.
- Le PP colle à la peau au-delà de 250 °C, ne jamais toucher de purge à mains nues.
- En cas de dosage irrégulier, utiliser un profil décroissant de température du fourreau.

Quelques noms commerciaux :

Lacqtene	Typlen	Norsopryl	Latene
Bergaprop	Tipplen	Moplen	Daplen
Napryl	Hostalen PP	Eltex P	Appryl
Propatene	Tenite	Isplen	
	Stamylan P	Valtec	

Identification sommaire

Aspect gras, ressemble à de la cire. Les fibres font des traces en surface. Inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée. Odeur de bougie. Blanchit à la plière.

Polypropylène MD 40			PP-MD 40	
Famille : Polyoléfines	S/cristallin	Opaque	Masse vol. : 1,23 ~	Retrait : 0,9 %
Étuvage : Inutile T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1 m/s		
T° d'injection : 240 à 320 °C	T° outillage : 4 à 80 °C	T° veille : 280 °C maximum		
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 110 à 130 °C	KΔV : 0,89		
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Peu nocifs				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,07 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Éjection difficile car le PP est souple. - Le PP colle à la peau au-delà de 250 °C, ne jamais toucher de purge à mains nues. - La charge se désolidarise facilement de la matrice. Le talc bouche les événements, il faut régulièrement nettoyer l'outillage. - En cas de dosage irrégulier, utiliser un profil décroissant de température du fourreau. 				
Quelques noms commerciaux :				
Lacqtene	Typfen	Norsopryl	Latene	
Bergaprop	Tipplen	Moplen	Dapfen	
Napryl	Hostalen PP	Eltex P	Appryl	
Propatene	Tenite	Isplen		
	Stamylan P	Valtec		
Identification sommaire				
Aspect mat. Inflammable avec flamme jaune à base bleue, sans fumée. Odeur de bougie et de talc. Blanchit à la pluie.				

Alliage PP + PA 6			(PP + PA 6)	
Famille :	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,05	Retrait : > 1 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 110 °C		Prix (kg) : 2 à 4 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 1 m/s		
T° d'injection : 240 à 280 °C		T° outillage : 20 à 60 °C	T° veille : 180 °C	
Catégorie ISO 58 000 : NC		T° démoulage : 80 °C	KΔV :	
T° / Produits de dégradation : 400 °C / Irritants, peu toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 20/240 30/250 30/260 40/260 50/270 60/280 				
Recyclage : 50 %		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux : Orgalloy				
Identification sommaire				

Polyphthalamide GF 30			PPA GF 30	
Famille : Polyamides	Amorphe	Opaque	Densité : 1,8	Retrait : 0,4 %
Étuvage : Dessiccateur Durée : 8 h T° : 95 °C maximum		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,4 m/s		
T° d'injection : 320 à 340 °C	T° outillage : 150 à 180 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 190 °C		KΔV : 0,90	
T° / Produits de dégradation : Irritants et toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>100 10 1 0,1</p> <p>1 1,5 2 2,5 3 4 Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière 150/320 — 160/320 160/330 - - - 170/330 - · - · 170/340 - · - · - 180/340 —</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux :				
Verton UF	Edgetek CTX	Thermostran		
Thermocomp U	Laramid			
Amodel A	RTP 4000			
Identification sommaire				

Polyphthalate carbonate

PPC

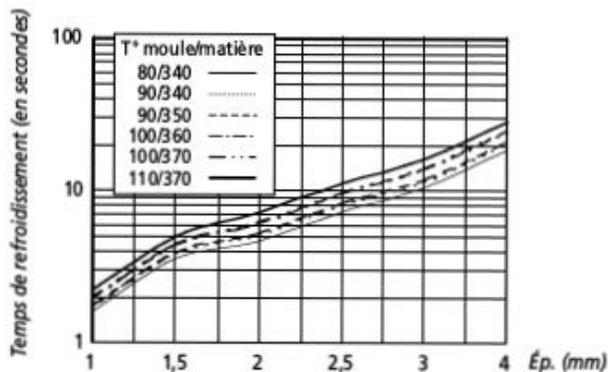
Famille : Polycarbonates	Amorphe	Transparent	Densité : 1,2	Retrait : 0,9 %
------------------------------------	---------	-------------	-------------------------	---------------------------

Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 à 6 h T° : 120 °C maximum	Prix (kg) : Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s
---	--

T° d'injection : 340 à 370 °C	T° outillage : 80 à 110 °C	T° veille :
---	--------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 140 °C	KΔV : 0,86
---------------------------------	------------------------------	-------------------

T° / Produits de dégradation :



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
--------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :

Quelques noms commerciaux :

Lexan 4701

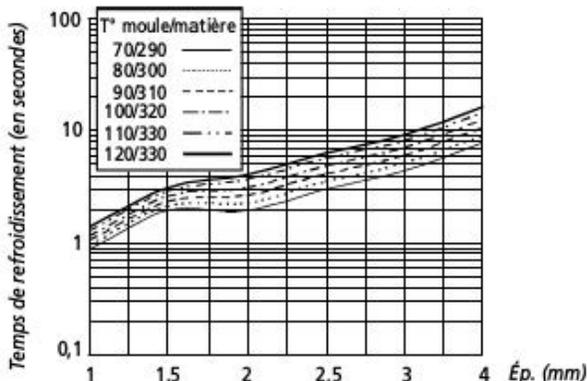
Identification sommaire

Polyphénylène éther			PPE	
Famille :	Amorphe	Opaque	Densité : 1,1	Retrait : 0,6 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 100 °C		Prix (kg) : 3 à 5 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 260 à 300 °C	T° outillage : 60 à 110 °C		T° veille : 200 °C	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 120 °C		KΔV : 0,89	
T° / Produits de dégradation : 310 °C / Irritants, peu toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 60/260 70/265 80/270 90/280 100/290 110/300 				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,3 mm		
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - Matière extrêmement visqueuse, la température de l'outillage est le paramètre de réglage primordial. - La forte adhérence des granulés sur le fourreau peut provoquer des variations apparentes de pression d'injection, et des irrégularités de dosage (effet tire-bouchon). 				
Quelques noms commerciaux : Noryl Laryl Luranyl Vestoran				
Identification sommaire Opaque et rigide. Auto-extinguible, brûle avec une fumée noire et fuligineuse. Fumée blanche à l'extinction avec odeur de vieux grenier (poussière).				

Polyphénylène éther GF 30

PPE-GF 30

Famille :	Amorphe	Opaque	Densité :	1,32	Retrait :	0,2 %
Étuve : En étuve			Prix (kg) : 3 à 5 €			
Durée : 4 h			Vitesse de rotation vis :			
T° : 100 °C			0,1 à 0,6 m/s			
T° d'injection :		T° outillage :		T° veille :		
290 à 330 °C		70 à 120 °C		200 °C		
Catégorie ISO 58 000 : 4		T° démoulage : 170 °C		KΔV : 0,92		
T° / Produits de dégradation : 310 °C / Irritants, peu toxiques						



Recyclage : 100 %

Jeu d'infiltration : 0,3 mm

Particularités de moulage :

- Matière extrêmement visqueuse, la température de l'outillage est le paramètre de réglage primordial.
- La forte adhérence des granules sur le fourreau peut provoquer des variations apparentes de pression d'injection, et des irrégularités de dosage (effet tire-bouchon).

Quelques noms commerciaux :

Noryl GFN	Vestoran
Laryl	Vestenamer
Luranyl	Xyron

Identification sommaire

Opaque et rigide. Auto-extinguible, brûle avec une fumée noire et fuligineuse. Fumée blanche à l'extinction avec odeur de vieux grenier (poussière).

Alliage PPE + PA			(PPE + PA)	
Famille :	Amorphe et cristallin	Opaque	Densité : 1,1	Retrait : 1 %
Étuvage : Durée : 4 à 8 h T° : 100 °C maximum		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 290 à 320 °C	T° outillage : 70 à 120 °C	T° veille : 200 °C		
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 140 °C	KΔV : 0,86		
T° / Produits de dégradation : 330 °C / Irritants, peu toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 70/280 80/290 90/290 100/300 110/310 120/320 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 25 %		Jeu d'infiltration : 0,04 mm		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux : Noryl GTX				
Identification sommaire Opaque et rigide. Auto-extinguible, brûle avec une fumée noire et fuligineuse. Fumée blanche à l'extinction avec odeur de vieux grenier (poussière) et de cheveux brûlés.				

Polysulfure de phénylène GF 40

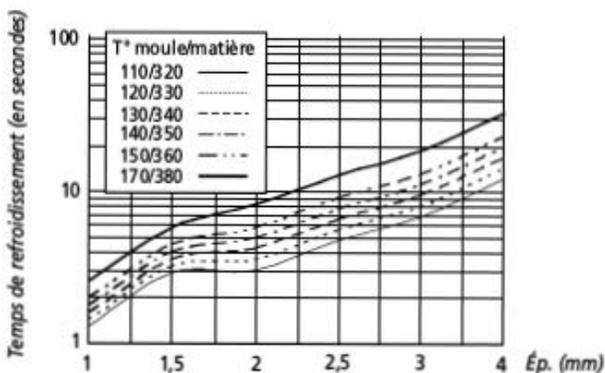
PPS-GF 40

Famille :	Cristalline	Opaque	Densité : 1,6	Retrait : 0,5 %
------------------	-------------	--------	-------------------------	---------------------------

Étuvage : Étuve conseillée	Prix (kg) : 4 à 6 €
Durée : 6 h	
T° : 150 °C maximum	Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,4 m/s

T° d'injection : 320 à 380 °C	T° outillage : 110 à 170 °C	T° veille :
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 190 à 230 °C	KΔV : 0,90

T° / Produits de dégradation : 400 °C / Très toxiques



Recyclage : 30 % maximum	Jeu d'infiltration :
---------------------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :

- Recuit à 130 °C conseillé, ou température moule à 170 °C.
- La pression mesurée lors du dosage doit être la plus faible possible si l'on utilise des qualités chargées de fibres longues.
- La matière première est riche en gaz et génère des poussières qui détériorent les dessiccateurs.

Quelques noms commerciaux :

Supec	Larton	RTP 13
Primef	Ryton	
Fortron	Tedur L	

Identification sommaire

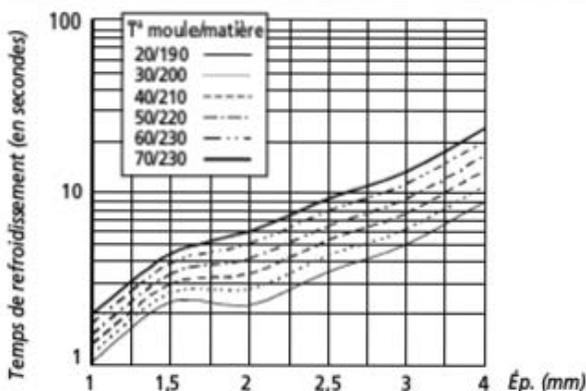
Auto-extinguible. Lors d'un choc, les pièces en PPS font un bruit métallique.

Polystyrène			PS	
Famille : Styréniques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,05	Retrait : 0,4 %
Étuvage : Facultatif, en étuve. Durée : 1 à 2 h T° : 60 °C maximum		Prix (kg) : < 2 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,3 m/s		
T° d'injection : 160 à 280 °C	T° outillage : 4 à 60 °C		T° veille : 240 °C maximum	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 60 à 85 °C		KΔV : 0,91	
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 10/160 10/180 10/200 20/220 20/240 40/260 				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,1 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Éjection difficile car le produit obtenu est fragile. - Présence fréquente de fils entre la carotte et la buse, à corriger par la température de la buse. - Givrage fréquemment dû à la décompression. - Le polyméthyl styrène (PMS) est appelé aussi « PS chaleur », ses conditions de transformation sont proches de celles du PS. 				
Quelques noms commerciaux :				
Lacqrène	Styrolux	Gedex		
Styron	Polystyrol	Vestron		
Hostyren N	Edistir	Carinex		
Stapron				
Identification sommaire				
Transparent sans teinte. Très fragile, rigide et cassant. Facilement inflammable avec fumée noire et fuligineuse.				

Alliage PS + PMMA

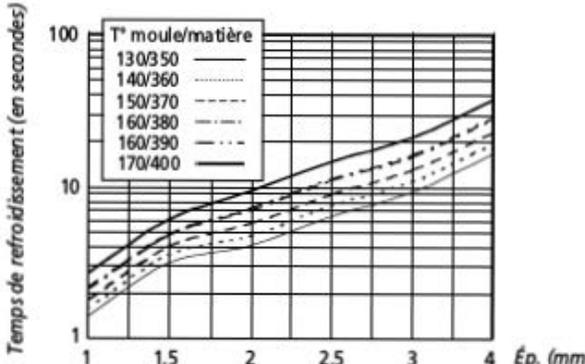
(PS + PMMA)

Famille :	Amorphe	Transparent	Densité :	1,1	Retrait :	0,6 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 70 °C maximum			Prix (kg) : 2 à 4 €			
			Vitesse de rotation vis :			
T° d'injection : 190 à 230 °C		T° outillage : 20 à 70 °C		T° veille : 150 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC		T° démoulage : 100 °C		KΔV : 0,89		
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Irritants						



Recyclage : 0 %	Jeu d'infiltration :
Particularités de moulage :	
Quelques noms commerciaux : Nas	
Identification sommaire Transparent sans teinte. Très fragile, rigide et cassant. Facilement inflammable avec fumée noire et fuligineuse. Impossible à distinguer du PS.	

Polysulfones			PSU	
Famille : Polysulfones	Amorphe	Transparent	Densité : 1,24	Retrait : 0,7 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 h T° : 130 °C maximum		Prix (kg) : 6 à 8 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,3 m/s		
T° d'injection : 310 à 400 °C	T° outillage : 100 à 160 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 190 °C		KΔV : 0,88	
T° / Produits de dégradation : 380 °C / Irritants et toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 100/310 110/330 120/340 130/360 140/380 160/400 				
Recyclage : 20 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,3 mm		
Particularités de moulage : Importants risques de projections, lors des purges.				
Quelques noms commerciaux :				
Ultrason S	Lasulf	RTP 900		
Udel	Thermocomp GC			
Radel	Mindel			
Identification sommaire Transparents, teinte jaunâtre, très rigides. Fumée noire avec odeur de soufre.				

Polysulfones GF 30			PSU-GF 30	
Famille : Polysulfones	Amorphe	Opaque	Densité : 1,45	Retrait : 0,4 %
Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 h T° : 130 °C maximum			Prix (kg) : 6 à 8 €	
			Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s	
T° d'injection : 350 à 400 °C		T° outillage : 130 à 170 °C	T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : NC		T° démoulage : 190 °C	KΔV : 0,90	
T° / Produits de dégradation : 380 °C / Irritants et toxiques				
 <p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 130/350 140/360 150/370 160/380 160/390 170/400 <p>1 10 100</p> <p>1 1,5 2 2,5 3 4 Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 20 % maximum			Jeu d'infiltration : 0,3 mm	
Particularités de moulage : Importants risques de projections, lors des purges.				
Quelques noms commerciaux :				
Ultrason S	Lasulf	RTP 900		
Udel	Thermocomp GC			
Radel	Mindel			
Identification sommaire Transparents, de teinte jaunâtre, très rigides. Fumée noire avec odeur de soufre.				

Polychlorure de vinyle rigide			PVC																																																		
Famille : Vinylques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,4	Retrait : 0,6 %																																																	
Étuvage : Facultatif Durée : 2 h T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,2 m/s																																																			
T° d'injection : 170 à 200 °C	T° outillage : 40 à 60 °C	T° veille : Purge immédiate																																																			
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 70 °C	KΔV : 0,89																																																			
T° / Produits de dégradation : 175 °C / Irritants, allergisants, cancérogènes																																																					
<table border="1"> <caption>Données du graphique de refroidissement</caption> <thead> <tr> <th>Ép. (mm)</th> <th>40/170</th> <th>45/170</th> <th>50/180</th> <th>55/180</th> <th>60/180</th> <th>60/200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~4</td> <td>~3</td> <td>~3</td> <td>~2</td> <td>~2</td> <td>~2</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>~8</td> <td>~6</td> <td>~5</td> <td>~4</td> <td>~3</td> <td>~3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~12</td> <td>~9</td> <td>~7</td> <td>~5</td> <td>~4</td> <td>~3</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>~18</td> <td>~12</td> <td>~9</td> <td>~6</td> <td>~4</td> <td>~3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~25</td> <td>~16</td> <td>~11</td> <td>~7</td> <td>~5</td> <td>~3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~35</td> <td>~22</td> <td>~15</td> <td>~9</td> <td>~6</td> <td>~4</td> </tr> </tbody> </table>					Ép. (mm)	40/170	45/170	50/180	55/180	60/180	60/200	1	~4	~3	~3	~2	~2	~2	1,5	~8	~6	~5	~4	~3	~3	2	~12	~9	~7	~5	~4	~3	2,5	~18	~12	~9	~6	~4	~3	3	~25	~16	~11	~7	~5	~3	4	~35	~22	~15	~9	~6	~4
Ép. (mm)	40/170	45/170	50/180	55/180	60/180	60/200																																															
1	~4	~3	~3	~2	~2	~2																																															
1,5	~8	~6	~5	~4	~3	~3																																															
2	~12	~9	~7	~5	~4	~3																																															
2,5	~18	~12	~9	~6	~4	~3																																															
3	~25	~16	~11	~7	~5	~3																																															
4	~35	~22	~15	~9	~6	~4																																															
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,2 mm																																																			
Particularités de moulage : – Machines prévues obligatoirement pour le moulage du PVC. – Se reporter impérativement aux consignes du fournisseur de matière et du fabricant de la machine.																																																					
Quelques noms commerciaux :																																																					
Ravinyl	Benvic	Solvic																																																			
Vestolit	Corvic	Lacqovyl																																																			
Trosiplast	Lonzavil	Vinidur																																																			
Hostalit	Ekavil	Lucalor																																																			
Identification sommaire Matière rigide, peu résistante au choc. Auto-extinguible avec flamme jaune et fumée noire. Odeur de chlore. Teinte verte de la base de la flamme.																																																					

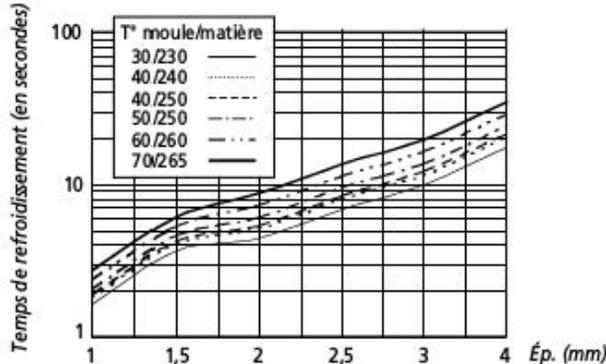
Polychlorure de vinyl souple			PVC-P	
Famille : Vynyliques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,3 -	Retrait : 1 à 2,5 %
Étuvage : Facultatif		Prix (kg) : < 2 €		
Durée : 2 h		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,4 m/s		
T° : 70 °C maximum				
T° d'injection : 140 à 190 °C	T° outillage : 20 à 60 °C	T° veille : 140 °C Purge conseillée		
Catégorie ISO 58 000 : 3 ou 5	T° démoulage : 60 °C	KΔV : 0,86 à 0,76		
T° / Produits de dégradation : 175 °C / Irritants, allergisants, cancérogènes				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 20/140 30/150 30/160 40/170 40/180 50/190 				
Recyclage : Voir doc. fournisseur		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas laisser la matière stagner dans le fourreau. - Éviter toutes les causes potentielles d'échauffement ou de stagnation de la matière. - Vitesse d'injection réduite pour éviter la ségrégation des plastifiants. - Selon la quantité et la nature des plastifiants, la température de moulage peut être très variable. 				
Quelques noms commerciaux :				
Vestolit	Benvic	Vinoflex		
Trosiplast	Solvic	Nakan		
Corvic	Ekavil			
Lonzavyl	Lacqovyl			
Identification sommaire				
Matière souple comme un élastomère. Auto-extinguible avec flamme jaune et fumée noire. Odeur de chlore. Teinte verte de la base de la flamme.				

Polyfluorure de vinylidène			PVDF	
Famille : Fluorés	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,77	Retrait : 2,5 %
Étuvage : En étuve Durée : 2 à 4 h T° : 80 °C		Prix (kg) : > 15 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,2 m/s		
T° d'injection : 220 à 240 °C	T° outillage : 70 à 90 °C	T° veille : 180 °C		
Catégorie ISO 58 000 : NC	T° démoulage : 160 °C	KΔV : 0,77		
T° / Produits de dégradation : 300 °C / Extrêmement toxiques				
<p>Graphique : Temps de refroidissement (en secondes) vs Épaisseur (mm). Légende : T° moule/matière : 70/220 (trait plein) 75/225 (trait pointillés) 80/230 (trait tireté) 80/235 (trait tireté-pointillés) 85/240 (trait tireté-triple) 90/240 (trait plein épais)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage : – Décomposition fréquente, avec dégagement de gaz toxiques et inodores. – Matière corrosive à l'état fondu, nécessite un ensemble de plastification spécialement adapté.				
Quelques noms commerciaux : Solef Dyflor Foraflon Kynar				
Identification sommaire				

Styrène acrylonitrile			SAN	
Famille : Styréniques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,08 -	Retrait : 0,3 %
Étuvage : En étuve Durée : 4 h T° : 80 °C maximum		Prix (kg) : < 2 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,6 m/s		
T° d'injection : 190 à 260 °C	T° outillage : 30 à 60 °C		T° veille : 190 °C	
Catégorie ISO 58 000 : 4	T° démoulage : 80 à 90 °C		K&V : 0,92	
T° / Produits de dégradation : 175 °C / Très toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>Ép. (mm)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 30/190 30/220 40/220 50/220 50/240 60/260 				
Recyclage : 30 % maximum		Jeu d'infiltration : 0,2 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Remplissage difficile avec les qualités très brillantes. - Grande sensibilité à la chaleur et au cisaillement lors du dosage. - Favorise l'effet tire-bouchon (traces marron), mettre une forte contre-pression. - Présence fréquente de fils entre la carotte et la buse, à corriger par la température de la buse. - Givrage fréquemment dû à la décompression. - Sensible au bon respect des conditions d'étuvage (bulles). 				
Quelques noms commerciaux :				
Luran		Kostil		
Tyril				
Lastil				
Identification sommaire				
Transparent teinté (souvent légèrement bleuté) et brillant.				
Cassant, rigide. Facilement inflammable avec fumée noire et fuligineuse.				

Styrène butadiène (PS Choc)				S/B	
Famille : Styréniques		Amorphe	Transparent Translucide	Densité : 1,04 ~	Retrait : 0,5 %
Étuvage : Facultatif, en étuve Durée : 1 à 2 h T° : 70 °C maximum			Prix (kg) : < 2 €		
			Vitesse de rotation vis : 0,1 à 1,3 m/s		
T° d'injection : 190 à 280 °C		T° outillage : 4 à 60 °C		T° veille : 250 °C maximum	
Catégorie ISO 58 000 : 4		T° démoulage : 65 à 80 °C		KΔV : 0,90	
T° / Produits de dégradation : 250 °C / Irritants, peu toxiques					
Recyclage : 100 %			Jeu d'infiltration : 0,1 mm		
Particularités de moulage :					
<ul style="list-style-type: none"> - Présence fréquente de fils entre la carotte et la buse, à corriger par la température de la buse. - Givrage fréquemment dû à la décompression. - Problème de traces blanches proches des éjecteurs, ou sous les zones de flexion de la pièce lors du démoulage. Réduire les efforts d'éjection en conséquence. - Sensible à la déformation après démoulage, le convoyage sur un tapis est conseillé. 					
Quelques noms commerciaux :					
Lacqène		Phostyren F		Gedex	
K-resin		Polystyrol		Vestyron	
Styron		Edistir		Carinex	
Hostyren S		Lastyrol			
Identification sommaire					
Facilement inflammable avec fumée noire et fuligineuse. Blanchit à la pliuere, aspect mat.					

Styrène/Butadiène styrène			SBS (SEBS) ou HiPS ou TPS	
Famille : Styréniques ou TPS	Amorphe	Opaque ou transparent	Densité : 0,96 à 1,15	Retrait : < 1 %
Étuvage : Sans		Prix (kg) : 1 à 3 €		
Durée : 1 h		Vitesse de rotation vs :		
T° : 60 °C maximum		0,15 à 0,8 m/s		
T° d'injection : 170 à 220 °C	T° outillage : 10 à 50 °C	T° veille : 150 °C		
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 60 à 80 °C	KΔV : 0,87		
T° / Produits de dégradation :				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 10/170 20/180 30/190 30/200 40/210 50/220 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Lors de la purge, la matière paraît extrêmement visqueuse, elle ne se soude pas sur elle-même. - Les formulations très variées de ces copolymères blocs rendent leur comportement et leurs propriétés très variables d'une référence à l'autre. Il est indispensable de se reporter à la documentation du fournisseur. - L'éjection des pièces est difficile. 				
Quelques noms commerciaux :				
Evoprène	Finaprène			
Bergaflex	Kraton			
Finadear	Eraflex			
Identification sommaire				

Styrène/Anhydride maléique			SMA	
Famille : Styréniques	Amorphe	Transparent	Densité : 1,07	Retrait : 0,5 %
Étuvage : En étuve Durée : 3 h T° : 90 °C maximum		Prix (kg) :		
		Vitesse de rotation vis : 0,15 à 0,8 m/s		
T° d'injection : 230 à 265 °C	T° outillage : 20 à 70 °C	T° veille :		
Catégorie ISO 58 000 : C	T° démoulage : 95 °C	KΔV : 0,90		
T° / Produits de dégradation :				
 <p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 30/230 40/240 40/250 50/250 60/260 70/265 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
Quelques noms commerciaux : Cadon SMA				
Identification sommaire				

Polystyrène syndiotactique 15 % FV

SPS GF 15

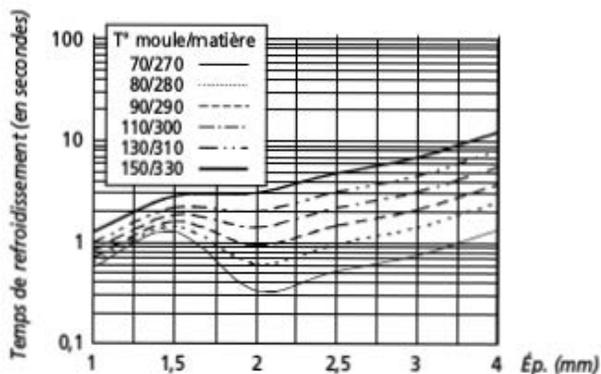
Famille : Styréniques	S/cristallin	Opaque	Densité : 1,1	Retrait : 0,6 %
---------------------------------	--------------	--------	-------------------------	---------------------------

Étuvage : Facultatif Durée : 2 h T° : 80 °C	Prix (kg) : Vitesse de rotation vis : 0,15 m/s
--	--

T° d'injection : 270 à 330 °C	T° outillage : 70 à 150 °C	T° veille :
---	--------------------------------------	--------------------

Catégorie ISO 58 000 :	T° démoulage : 240 °C	KΔV : 0,89
-------------------------------	------------------------------	-------------------

T° / Produits de dégradation :



Recyclage :	Jeu d'infiltration :
--------------------	-----------------------------

Particularités de moulage :

Quelques noms commerciaux :
 Questra
 Laestra
 RTP 46

Identification sommaire

Polyéther bloc amide			TPE-A ou PEBA	
Famille : Polyamides	Cristallin	Translucide	Densité : 1,01	Retrait : 0,7 %
Étuvage : Obligatoire Durée : 6 h T° : 70 °C		Prix (kg) : 7 à 12 €		
		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,5 m/s		
T° d'injection : 160 à 260 °C	T° outillage : 20 à 40 °C	T° veille :		
Catégorie ISO 58 000 : 3 ou 5	T° démoulage : 55 °C	KΔV : 0,88		
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Faiblement toxiques				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 20/160 25/180 30/200 35/220 40/240 40/260 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 20 %		Jeu d'infiltration : 0,04 mm		
Particularités de moulage : Faible vitesse d'injection recommandée.				
Quelques noms commerciaux : Pebax Vestamid E Grilamid ELY				
Identification sommaire				

Polyuréthanes			TPU-A	
Famille : Polyuréthanes	Très peu cristallin	Translucide/ Transparent	Densité : 1,2	Retrait : 1,2 %
Étuvage : En étuve Durée : 2 h T° : 110 °C maximum		Prix (kg) : 4 à 6 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,9 m/s		
T° d'injection : 180 à 240 °C	T° outillage : 5 à 40 °C		T° veille :	
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 50 à 70 °C		K&V : 0,85	
T° / Produits de dégradation : 200 °C / Allergisants, irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 5/180 10/190 15/200 20/210 30/220 40/240 <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage :		Jeu d'infiltration :		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Le moulage en moule très froid permet d'obtenir des pièces transparentes. - Recuit à 110 °C pendant 20 heures conseillé. - Démoulage difficile (très souple). 				
Quelques noms commerciaux :				
Desmopan		Pellethane		
Elastollan				
Fabeltan				
Identification sommaire				
Aspect translucide, presque transparent. Souple, s'enflamme difficilement, entretient mal la flamme. Flamme jaune à fumée noire. Après extinction, odeur forte et très écœurante.				

3 • TOLÉRANCES APPLICABLES AUX TP INJECTÉS

3.1 Présentation

Les matières thermoplastiques sont classées selon trois catégories de tolérances, conformément à la norme NFT 58-000. Les tableaux suivants précisent pour chaque catégorie, et pour chaque classe, les tolérances applicables. Il existe quatre classes de tolérances :

- *classe de tolérance normale*, obtenue par une surveillance réduite de la fabrication ;
- *classe de tolérance réduite*, obtenue par une surveillance rigoureuse de la fabrication ;
- *classe de tolérance de précision*, obtenue au prix d'importants moyens de production et de contrôle. Il existe des risques de rebuts ou de tris ;
- *classe de tolérance de grande précision*, employée exceptionnellement, obtenue au prix d'une conception exceptionnelle des outillages et des moyens de production.

Remarque

Certains élastomères sont classés simultanément en catégorie 3 et 5. Si leur dureté shore D est supérieure à 50, on considère qu'ils dépendent de la catégorie 3. Dans le cas contraire, on les classe dans la catégorie 5.

3.2 Tables numériques

Tableau 3.1 – Écart admissible pour les matières de catégorie 3
(cotes ne comportant pas de plan de joint).

Cote a (mm)	Classe normale	Classe réduite	Classe de précision	Classe de grande précision
$a < 1$	$\pm 0,13$	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,025$
$1 < a < 3$	$\pm 0,15$	$\pm 0,09$	$\pm 0,07$	$\pm 0,030$
$3 < a < 6$	$\pm 0,17$	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,035$
$6 < a < 10$	$\pm 0,20$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,040$
$10 < a < 15$	$\pm 0,22$	$\pm 0,13$	$\pm 0,10$	$\pm 0,050$
$15 < a < 22$	$\pm 0,25$	$\pm 0,15$	$\pm 0,11$	$\pm 0,060$
$22 < a < 30$	$\pm 0,28$	$\pm 0,17$	$\pm 0,13$	$\pm 0,070$
$30 < a < 40$	$\pm 0,32$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,080$
$40 < a < 53$	$\pm 0,37$	$\pm 0,24$	$\pm 0,17$	$\pm 0,090$
$53 < a < 70$	$\pm 0,44$	$\pm 0,28$	$\pm 0,20$	$\pm 0,100$
$70 < a < 90$	$\pm 0,50$	$\pm 0,34$	$\pm 0,24$	
$90 < a < 115$	$\pm 0,60$	$\pm 0,41$	$\pm 0,29$	
$115 < a < 150$	$\pm 0,75$	$\pm 0,50$	$\pm 0,35$	
$150 < a < 200$	$\pm 0,95$	$\pm 0,65$	$\pm 0,45$	
$200 < a < 250$	$\pm 1,20$	$\pm 0,80$	$\pm 0,55$	
$250 < a < 315$	$\pm 1,40$	$\pm 0,95$	$\pm 0,66$	
$315 < a < 400$	$\pm 1,80$	$\pm 1,20$	$\pm 0,82$	
$400 < a < 500$	$\pm 2,20$	$\pm 1,50$	$\pm 1,00$	
$500 < a < 630$	$\pm 2,80$	$\pm 1,90$	$\pm 1,20$	
$630 < a < 800$	$\pm 3,50$	$\pm 2,40$	$\pm 1,50$	
$800 < a < 1\ 000$	$\pm 4,40$	$\pm 2,90$	$\pm 1,90$	
$1\ 000 < a < 1\ 300$	$\pm 5,50$	$\pm 3,60$	$\pm 2,40$	
$1\ 300 < a < 1\ 600$	$\pm 7,00$	$\pm 4,40$	$\pm 3,10$	

Tableau 3.2 – Écart admissible pour les matières de catégorie 3
(cotes comportant un plan de joint).

Cote a (mm)	Classe normale	Classe réduite	Classe de précision	Classe de grande précision
$a < 1$	± 0,16	± 0,11	± 0,09	± 0,050
$1 < a < 3$	± 0,18	± 0,12	± 0,10	± 0,060
$3 < a < 6$	± 0,20	± 0,13	± 0,11	± 0,070
$6 < a < 10$	± 0,22	± 0,14	± 0,12	± 0,080
$10 < a < 15$	± 0,25	± 0,16	± 0,13	± 0,100
$15 < a < 22$	± 0,28	± 0,18	± 0,14	± 0,110
$22 < a < 30$	± 0,31	± 0,20	± 0,16	± 0,120
$30 < a < 40$	± 0,35	± 0,23	± 0,18	± 0,130
$40 < a < 53$	± 0,40	± 0,27	± 0,20	
$53 < a < 70$	± 0,47	± 0,31	± 0,23	
$70 < a < 90$	± 0,55	± 0,37	± 0,27	
$90 < a < 115$	± 0,65	± 0,44	± 0,32	
$115 < a < 150$	± 0,80	± 0,55	± 0,38	
$150 < a < 200$	± 1,00	± 0,70	± 0,48	
$200 < a < 250$	± 1,30	± 0,85	± 0,60	
$250 < a < 315$	± 1,50	± 1,00	± 0,70	
$315 < a < 400$	± 1,90	± 1,30	± 0,85	
$400 < a < 500$	± 2,30	± 1,60	± 1,10	
$500 < a < 630$	± 2,90	± 2,00	± 1,30	
$630 < a < 800$	± 3,60	± 1,50	± 1,60	
$800 < a < 1 000$	± 4,50	± 3,00	± 2,00	
$1 000 < a < 1 300$	± 5,60	± 3,70	± 2,50	
$1 300 < a < 1 600$	± 7,10	± 4,50	± 3,20	

Tableau 3.3 – Écart admissible pour les matières de catégorie 4
(cotes ne comportant pas de plan de joint).

Cote a (mm)	Classe normale	Classe réduite	Classe de précision	Classe de grande précision
$a < 1$	$\pm 0,13$	$\pm 0,06$	$\pm 0,04$	$\pm 0,025$
$1 < a < 3$	$\pm 0,15$	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$	$\pm 0,030$
$3 < a < 6$	$\pm 0,17$	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,035$
$6 < a < 10$	$\pm 0,20$	$\pm 0,09$	$\pm 0,07$	$\pm 0,040$
$10 < a < 15$	$\pm 0,22$	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,050$
$15 < a < 22$	$\pm 0,25$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,060$
$22 < a < 30$	$\pm 0,27$	$\pm 0,13$	$\pm 0,10$	$\pm 0,070$
$30 < a < 40$	$\pm 0,30$	$\pm 0,15$	$\pm 0,11$	$\pm 0,080$
$40 < a < 53$	$\pm 0,35$	$\pm 0,17$	$\pm 0,13$	$\pm 0,090$
$53 < a < 70$	$\pm 0,38$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,100$
$70 < a < 90$	$\pm 0,43$	$\pm 0,24$	$\pm 0,17$	
$90 < a < 115$	$\pm 0,50$	$\pm 0,29$	$\pm 0,20$	
$115 < a < 150$	$\pm 0,60$	$\pm 0,35$	$\pm 0,24$	
$150 < a < 200$	$\pm 0,75$	$\pm 0,44$	$\pm 0,30$	
$200 < a < 250$	$\pm 0,90$	$\pm 0,55$	$\pm 0,38$	
$250 < a < 315$	$\pm 1,10$	$\pm 0,70$	$\pm 0,44$	
$315 < a < 400$	$\pm 1,30$	$\pm 0,85$	$\pm 0,55$	
$400 < a < 500$	$\pm 1,50$	$\pm 1,00$	$\pm 0,65$	
$500 < a < 630$	$\pm 1,90$	$\pm 1,20$	$\pm 0,80$	
$630 < a < 800$	$\pm 2,40$	$\pm 1,50$	$\pm 1,00$	
$800 < a < 1\ 000$	$\pm 2,90$	$\pm 1,90$	$\pm 1,25$	
$1\ 000 < a < 1\ 300$	$\pm 3,60$	$\pm 2,40$	$\pm 1,70$	
$1\ 300 < a < 1\ 600$	$\pm 4,40$	$\pm 3,10$	$\pm 2,20$	

Tableau 3.4 – Écart admissible pour les matières de catégorie 4
(cotes comportant un plan de joint).

Cote a (mm)	Classe normale	Classe réduite	Classe de précision	Classe de grande précision
$a < 1$	$\pm 0,16$	$\pm 0,09$	$\pm 0,07$	$\pm 0,050$
$1 < a < 3$	$\pm 0,18$	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,060$
$3 < a < 6$	$\pm 0,20$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,070$
$6 < a < 10$	$\pm 0,23$	$\pm 0,12$	$\pm 0,10$	$\pm 0,080$
$10 < a < 15$	$\pm 0,25$	$\pm 0,13$	$\pm 0,11$	$\pm 0,100$
$15 < a < 22$	$\pm 0,28$	$\pm 0,14$	$\pm 0,12$	$\pm 0,110$
$22 < a < 30$	$\pm 0,30$	$\pm 0,16$	$\pm 0,13$	$\pm 0,120$
$30 < a < 40$	$\pm 0,33$	$\pm 0,18$	$\pm 0,14$	$\pm 0,130$
$40 < a < 53$	$\pm 0,36$	$\pm 0,20$	$\pm 0,16$	
$53 < a < 70$	$\pm 0,41$	$\pm 0,23$	$\pm 0,18$	
$70 < a < 90$	$\pm 0,46$	$\pm 0,27$	$\pm 0,20$	
$90 < a < 115$	$\pm 0,55$	$\pm 0,32$	$\pm 0,23$	
$115 < a < 150$	$\pm 0,65$	$\pm 0,38$	$\pm 0,27$	
$150 < a < 200$	$\pm 0,80$	$\pm 0,47$	$\pm 0,33$	
$200 < a < 250$	$\pm 0,95$	$\pm 0,60$	$\pm 0,39$	
$250 < a < 315$	$\pm 1,20$	$\pm 0,75$	$\pm 0,47$	
$315 < a < 400$	$\pm 1,40$	$\pm 0,90$	$\pm 0,60$	
$400 < a < 500$	$\pm 1,60$	$\pm 1,10$	$\pm 0,70$	
$500 < a < 630$	$\pm 2,00$	$\pm 1,30$	$\pm 0,85$	
$630 < a < 800$	$\pm 2,50$	$\pm 1,60$	$\pm 1,10$	
$800 < a < 1\ 000$	$\pm 3,00$	$\pm 2,00$	$\pm 1,30$	
$1\ 000 < a < 1\ 300$	$\pm 3,70$	$\pm 2,50$	$\pm 1,80$	
$1\ 300 < a < 1\ 600$	$\pm 4,50$	$\pm 3,20$	$\pm 2,30$	

**Tableau 3.5 – Écart admissible pour les matières de catégorie 5
(cotes ne comportant pas de plan de joint).**

Cote a (mm)	Classe normale	Classe réduite	Classe de précision	Classe de grande précision
$a < 1$	$\pm 0,13$	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,025$
$1 < a < 3$	$\pm 0,15$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,030$
$3 < a < 6$	$\pm 0,17$	$\pm 0,12$	$\pm 0,10$	$\pm 0,035$
$6 < a < 10$	$\pm 0,20$	$\pm 0,14$	$\pm 0,11$	$\pm 0,040$
$10 < a < 15$	$\pm 0,24$	$\pm 0,17$	$\pm 0,13$	$\pm 0,050$
$15 < a < 22$	$\pm 0,28$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,060$
$22 < a < 30$	$\pm 0,33$	$\pm 0,24$	$\pm 0,17$	$\pm 0,070$
$30 < a < 40$	$\pm 0,39$	$\pm 0,28$	$\pm 0,20$	$\pm 0,080$
$40 < a < 53$	$\pm 0,47$	$\pm 0,33$	$\pm 0,24$	$\pm 0,090$
$53 < a < 70$	$\pm 0,58$	$\pm 0,40$	$\pm 0,28$	$\pm 0,100$
$70 < a < 90$	$\pm 0,71$	$\pm 0,50$	$\pm 0,34$	
$90 < a < 115$	$\pm 0,87$	$\pm 0,60$	$\pm 0,41$	
$115 < a < 150$	$\pm 1,10$	$\pm 0,75$	$\pm 0,50$	
$150 < a < 200$	$\pm 1,40$	$\pm 0,95$	$\pm 0,60$	
$200 < a < 250$	$\pm 1,70$	$\pm 1,15$	$\pm 0,80$	
$250 < a < 315$	$\pm 2,10$	$\pm 1,45$	$\pm 1,00$	
$315 < a < 400$	$\pm 2,70$	$\pm 1,80$	$\pm 1,20$	
$400 < a < 500$	$\pm 3,30$	$\pm 2,20$	$\pm 1,50$	
$500 < a < 630$	$\pm 4,20$	$\pm 2,80$	$\pm 1,90$	
$630 < a < 800$	$\pm 5,20$	$\pm 3,50$	$\pm 2,40$	
$800 < a < 1\ 000$	$\pm 6,50$	$\pm 4,40$	$\pm 2,90$	
$1\ 000 < a < 1\ 300$	$\pm 8,00$	$\pm 5,50$	$\pm 3,60$	
$1\ 300 < a < 1\ 600$	$\pm 9,00$	$\pm 7,00$	$\pm 4,40$	

Tableau 3.6 – Écart admissible pour les matières de catégorie 5
(cotes comportant un plan de joint).

Cote a (mm)	Classe normale	Classe réduite	Classe de précision	Classe de grande précision
$a < 1$	± 0,23	± 0,20	± 0,18	± 0,050
$1 < a < 3$	± 0,25	± 0,21	± 0,19	± 0,060
$3 < a < 6$	± 0,27	± 0,22	± 0,20	± 0,070
$6 < a < 10$	± 0,30	± 0,24	± 0,21	± 0,080
$10 < a < 15$	± 0,34	± 0,27	± 0,23	± 0,100
$15 < a < 22$	± 0,38	± 0,30	± 0,25	± 0,110
$22 < a < 30$	± 0,43	± 0,34	± 0,27	± 0,120
$30 < a < 40$	± 0,49	± 0,38	± 0,30	± 0,130
$40 < a < 53$	± 0,57	± 0,43	± 0,34	
$53 < a < 70$	± 0,68	± 0,50	± 0,38	
$70 < a < 90$	± 0,81	± 0,60	± 0,44	
$90 < a < 115$	± 0,97	± 0,70	± 0,55	
$115 < a < 150$	± 1,20	± 0,85	± 0,60	
$150 < a < 200$	± 1,50	± 1,05	± 0,70	
$200 < a < 250$	± 1,80	± 1,25	± 0,90	
$250 < a < 315$	± 2,20	± 1,55	± 1,10	
$315 < a < 400$	± 2,80	± 1,90	± 1,30	
$400 < a < 500$	± 3,40	± 2,30	± 1,60	
$500 < a < 630$	± 4,30	± 2,90	± 2,00	
$630 < a < 800$	± 5,30	± 3,60	± 2,50	
$800 < a < 1 000$	± 6,60	± 4,50	± 3,00	
$1 000 < a < 1 300$	± 8,10	± 5,60	± 3,70	
$1 300 < a < 1 600$	± 9,90	± 7,10	± 4,50	

3.3 Tolérances de formes

Les tolérances de circularité, parallélisme, coaxialité et planéité sont égales au demi-intervalle de tolérance indiqué dans les tableaux 3.1 à 3.6.

Le décalage de positionnement de la partie fixe par rapport à la partie mobile de l'outillage ne doit pas excéder la valeur normalisée de 0,1 mm.

Remarques

Les tolérances données par la norme NF T 58-000 sont proches des tolérances js13, js14, et js15 utilisées en mécanique.

La norme NF T 58-000 est peu utilisée en industrie, mais donne un ordre de grandeur des tolérances applicables aux pièces de géométrie simple.

B

L'installation
de production

4 • TECHNOLOGIE

4.1 Presse à injecter

4.1.1 Présentation

■ Cycle de fonctionnement

La figure 4.1 présente le cycle de la presse sous ses deux aspects, d'une part en ① le cycle technologique de la presse à injecter, d'autre part en ② le cycle physique de transformation de la matière plastique.

Pour simplifier la représentation, la stagnation de la matière n'est représentée que durant un seul cycle.

■ Détail du cycle

Le cycle automatique de la presse peut être décrit par un Grafcet, l'enchaînement des étapes est lié au franchissement des transitions (réceptivités). Pour analyser une défaillance du fonctionnement automatique, on vérifie l'état de la réceptivité associé à la fin de l'étape défaillante. Chaque constructeur, chaque modèle de presse utilise des séries de réceptivités présentant de notables différences. De nombreuses machines permettent de choisir quelles réceptivités sont associées à certaines étapes. Le cycle présenté dans ces pages est simplifié par rapport au Grafcet décrivant la totalité de l'automatisme d'une presse moderne.

■ Analyse des réceptivités

La figure 4.2 indique les termes les plus couramment utilisés pour désigner les principaux éléments d'une presse.

Le tableau 4.1 définit quelles transitions sont utilisées pour commencer chaque étape.

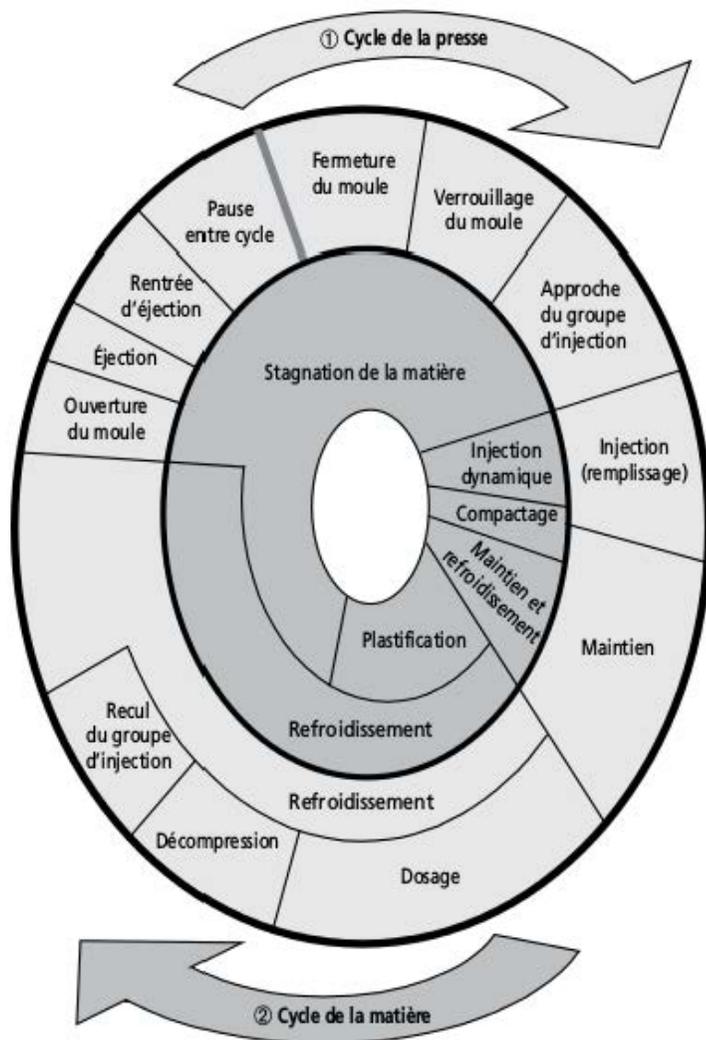
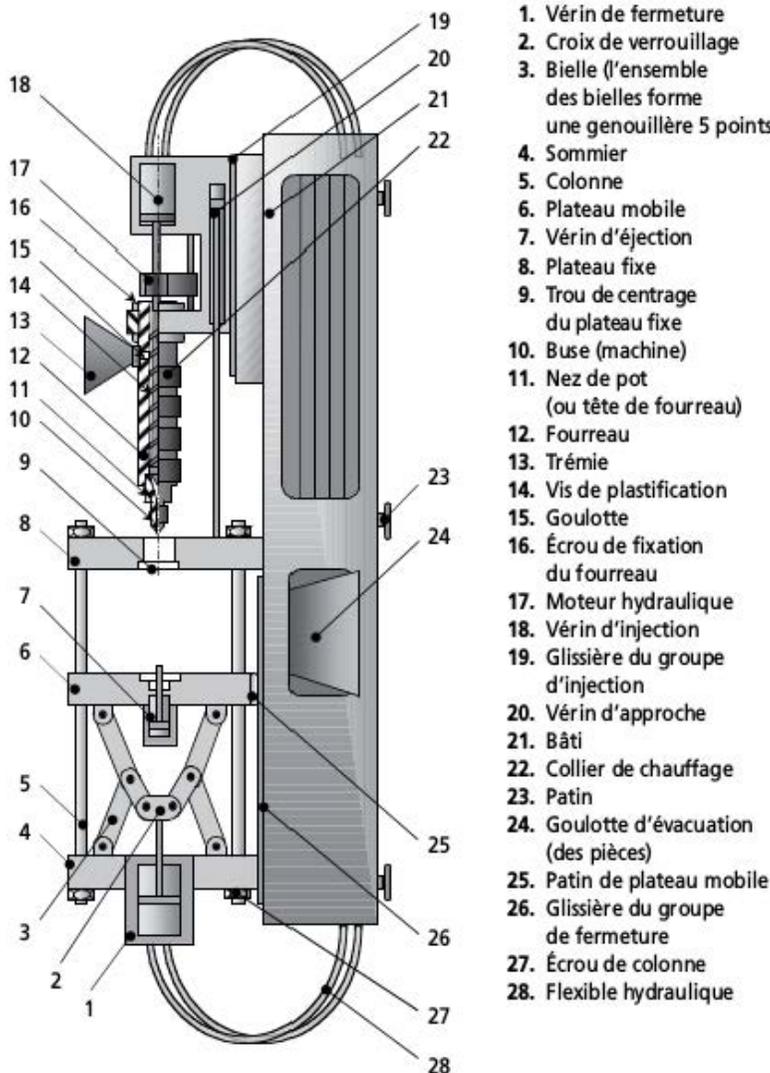


Figure 4.1 – Cycle d'une presse à injecter.



1. Vérin de fermeture
2. Croix de verrouillage
3. Bielle (l'ensemble des bielles forme une genouillère 5 points)
4. Sommier
5. Colonne
6. Plateau mobile
7. Vérin d'éjection
8. Plateau fixe
9. Trou de centrage du plateau fixe
10. Buse (machine)
11. Nez de pot (ou tête de fourreau)
12. Fourreau
13. Trémie
14. Vis de plastification
15. Goulotte
16. Écrou de fixation du fourreau
17. Moteur hydraulique
18. Vérin d'injection
19. Glissière du groupe d'injection
20. Vérin d'approche
21. Bâti
22. Collier de chauffage
23. Patin
24. Goulotte d'évacuation (des pièces)
25. Patin de plateau mobile
26. Glissière du groupe de fermeture
27. Écrou de colonne
28. Flexible hydraulique

Figure 4.2 – Schéma d'une presse à injecter.

Tableau 4.1 – Transitions pour chaque étape du cycle.

Nature de l'étape \ Type de transition	Course	Temps	Pression	Autres
Fermeture du moule				Conditions de départ et cycle automatique
Verrouillage du moule	Passage en haute pression			
Approche du groupe d'injection	Position 0 du moule	Délai de verrouillage	Pression de verrouillage	
Injection (remplissage)	Contact buse	Délai d'approche	Pression dans les vérins d'approche	
Maintien	Position de commutation	Temps de remplissage	Pression de commutation	
Dosage		Temps de maintien		
Décompression	Course de dosage			
Recul du groupe d'injection	Course de décompression			
Refroidissement		Temps de maintien		

Tableau 4.1 – Transitions pour chaque étape du cycle. (Suite)

Ouverture du moule	Course de dégagement ET Temps de refroidissement			
Éjection	Course de commande d'éjection			
Rentrée d'éjection	Éjection sortie ET Durée d'éjection			
Pause entre cycles	Éjection rentrée			

Remarque

La partie gauche du schéma, comportant les colonnes et les plateaux, est appelée « groupe de fermeture ». Le fourreau et les éléments hydrauliques qui lui sont associés sont dénommés « groupe d'injection ».

4.1.2 Maintenance préventive des presses**■ Maintenance hydraulique**

L'état de colmatage des filtres doit donner lieu à un contrôle périodique. Selon les modèles de presses, les indicateurs de colmatage sont soit des témoins lumineux, soit des indicateurs mécaniques placés de part et d'autre du porte-filtre. Sur des matériels anciens, un bruit de pompe anormalement fort est le seul indicateur de colmatage des filtres. Le changement des filtres est une opération simple, mais des consignes de sécurité et de propreté doivent être respectées (se reporter à la documentation du constructeur).

On distingue trois principaux types de filtres à huile :

- les filtres d'aspiration (ou crépines) qui sont installés en amont des pompes. Leur colmatage génère un fort bruit de pompe par effet de cavitation ;
- les filtres de refoulement (filtres de haute pression) situés en aval de la pompe. Leur colmatage provoque une baisse de la pression dans le circuit hydraulique. Un fort colmatage de ces filtres peut conduire à leur éclatement ;
- les filtres spéciaux placés en amont d'éléments hydrauliques sensibles aux impuretés (servovalves) ; leur fonction est de protéger l'élément hydraulique en cas de passage d'une impureté, et non de filtrer l'huile.

■ Maintenance mécanique

Le graissage des genouillères donne lieu, sur les presses mécaniques et hydro-mécaniques, à un contrôle visuel hebdomadaire, ainsi qu'à la vérification du niveau d'huile de graissage.

Le graissage des glissières et des bagues de guidage doit être vérifié chaque semaine, le passage du doigt sur les surfaces graissées doit laisser une empreinte nettement visible. Les principaux points de graissage sont :

- les bagues de guidage des plateaux sur les colonnes (plateaux fixes et plateaux intermédiaires) ;
- les glissières de guidages du plateau mobile, du plateau intermédiaire et du sommier ;
- les glissières de guidage du groupe d'injection ;
- les plateaux de fixation qui doivent être nettoyés, séchés et huilés lors de chaque changement d'outillage.

■ Autres opérations de maintenance

Il faut un nettoyage hebdomadaire de la presse et des périphériques.

Lors de chaque démarrage, on vérifie la bonne circulation d'eau dans le système de refroidissement de l'huile hydraulique dans le système de refroidissement de la goulotte. On vérifie aussi l'état des flexibles hydrauliques, de leurs attaches de sécurité, le niveau d'huile hydraulique.

4.1.3 Sécurité des presses à injecter

■ Les zones à risque d'une presse à injecter

Les zones à risque d'une presse à injecter sont repérées sur la figure 4.3 :

Repère 1 : Chute

La présence de granulés de matière plastique, d'huile ou d'eau, seuls ou mélangés, peut créer une surface extrêmement glissante et dangereuse. On peut aussi tomber du châssis lors du nettoyage ou du chargement de la trémie. Pensez à garder le sol propre, à porter des chaussures de sécurité à crampons antidérapants et à utiliser l'escabeau adéquat si vous avez besoin d'intervenir en hauteur.

Repère 2 : Brûlure

On peut se brûler par contact avec des éléments chauds comme la buse, le collier chauffant de buse, le moule s'il est thermorégulé à une température

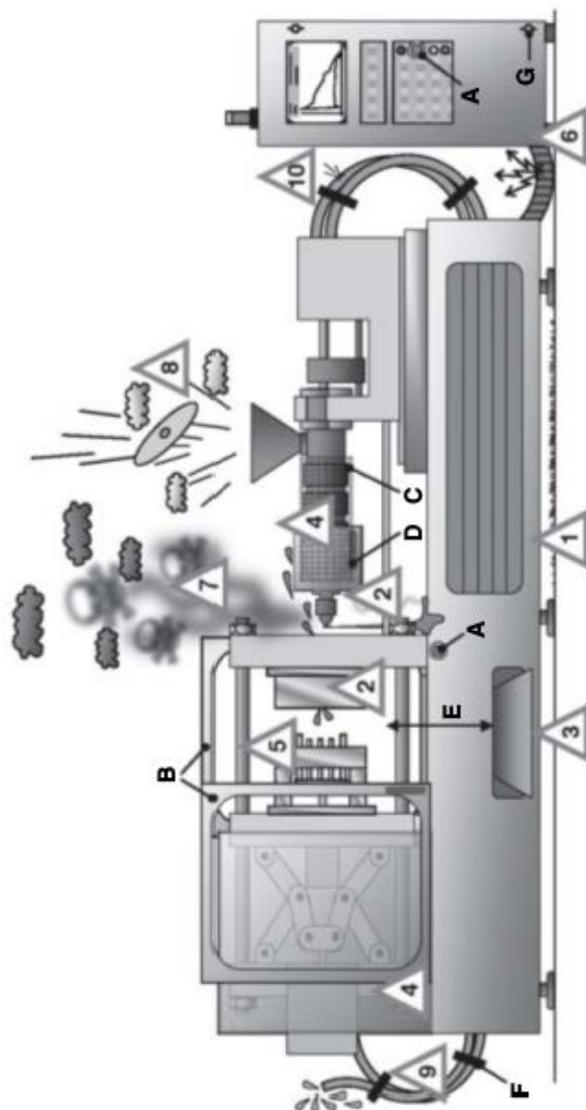


Figure 4.3 – Dispositifs de sécurité et zones à risque.

importante pour des raisons techniques de mise en œuvre, mais aussi avec de la matière plastique chaude. Lors d'une purge, les matières très fluides comme les polyamides peuvent rebondir contre la buse moule et se projeter vers l'arrière. Attention aussi dans le cas des canaux chauds où des projections peuvent se produire dans l'outillage. Enfin, une purge à l'air libre reste chaude longtemps. Portez une blouse, des gants de protection thermiques, des lunettes de sécurité, méfiez-vous lors des purges et éliminez-les au fur et à mesure. Si votre alimentation est à canaux chauds et que vous devez intervenir dans l'outillage, placez une protection, comme un bout de carton par exemple, entre les busettes et vos mains.

Repère 3 : Écrasements

La conception des presses actuelles fait qu'il est impossible de s'écraser une main lors des mouvements outillage si les protections machines n'ont pas été contournées. Par contre, le risque d'écrasement existe lors du montage ou démontage de l'outillage par chute de tout ou d'une partie de ce dernier. Respectez scrupuleusement les règles de manutention, vérifiez la fixation de l'anneau de lavage, vérifiez la présence de la barrette de sécurité, portez des chaussures de sécurité anti-écrasement et, surtout, écarter-vous, ne laissez rien traîner sous l'outillage une fois qu'il est en l'air !

Repère 4 : Pincements

Ils ont lieu essentiellement lors des mouvements des portes et capots mobiles. N'appuyez pas vos mains sur la machine, surtout si vous êtes plusieurs à intervenir.

Repère 5 : Coupure

Les éjecteurs sortis peuvent être très coupants. L'accident classique a lieu lors du dégageant d'une pièce coincée en partie fixe du moule : lorsque la pièce se détache, la main qui la tire vient heurter la partie mobile. Portez des gants anti-coupure et rentrez la batterie d'éjection avant d'intervenir dans l'outillage.

Repère 6 : Électrocution

Cet accident se produit par contact avec un élément électrique sous tension. Cela peut être un composant détérioré, comme un fil dénudé ou un collier de chauffe défaillant, mais aussi, hélas, simplement un conducteur lors de la visite d'un boîtier électrique ou d'un pupitre. Portez des

chaussures de sécurité isolantes, vérifiez l'état des éléments électriques apparents, méfiez-vous particulièrement des colliers de buse déformés. Vérifiez que les pupitres et armoires électriques sont fermés à clé et que seules les personnes qualifiées et accréditées puissent y accéder. Ce dernier risque est encore plus important avec les presses électriques, où la présence de courant continu sous forte tension (600 V) dans les boîtiers ne donne pas droit à l'erreur.

Repère 7 : Intoxication, empoisonnement aérien

Le non-respect des températures de transformation ou une stagnation trop longue dans le fourreau suite à un arrêt peuvent provoquer une dégradation de la matière plastique et le dégagement de gaz nocifs. Travaillez dans des locaux bien ventilés, respectez les consignes de mise en œuvre de la matière en vous référant à sa fiche, évitez les stagnations des matières à risque en les purgeant lors des arrêts. N'oubliez pas que le gaz le plus dangereux est celui qui est inodore, incolore et toxique !

Repère 8 : Explosion

C'est un accident rare provoqué par la dégradation de matière chargée qui crée des bouchons et des poches de gaz sous pression dans le fourreau. Si la pression arrive à chasser un des bouchons, généralement du côté de la trémie, le gaz se détend violemment et entraîne l'explosion. Respectez les consignes de températures, ne laissez pas les matières stagner et dégrader, purgez !

Repère 9 : Blessure par rupture de raccord hydraulique

Cet accident est rare. Néanmoins, lorsqu'un raccord hydraulique se rompt, c'est au niveau de son sertissage. S'il n'est pas tenu, il fouette en arrière et peut blesser sévèrement une personne qui se trouverait sur son chemin. Vérifiez le bon état des raccords, vérifiez qu'ils soient liés deux à deux, ou attachés par un dispositif (câble, chaînette) au châssis de la presse.

Repère 10 : Intoxication, empoisonnement à l'huile hydraulique

C'est un incident très rare qui peut avoir lieu si une personne se trouve longtemps à grande proximité d'un raccord hydraulique détérioré. À chaque montée en pression, une micro-quantité d'huile est injectée dans l'individu à son insu. Il s'ensuit une lente dégradation de son état de santé, proportionnelle à la quantité d'huile que son organisme reçoit. Vérifiez l'état des

raccords, évitez les postes de travail fixes à grande proximité (quelques centimètres) des raccords hydrauliques.

■ Dispositifs de sécurité des presses à injecter

□ Les arrêts d'urgence

Dès qu'un bouton d'arrêt d'urgence (figure 4.3, repère A) est enfoncé, l'ensemble des mouvements de la presse et le moteur sont stoppés. Tant qu'un arrêt d'urgence est enclenché, il est impossible de remettre le moteur en route. Les arrêts d'urgence sont de couleur rouge et sont situés en évidence sur les zones du poste de travail où un opérateur est censé travailler afin que ce dernier puisse très rapidement intervenir s'il détecte un danger. On en trouve au moins un sur le devant de la presse.

□ Les pictogrammes

Ce sont des informations schématiques sans texte qui doivent prévenir d'un danger et être comprises rapidement et naturellement par tous. Les figures 4.4 et 4.5 en donnent des exemples.



Figure 4.4 – Risque d'électrocution.



Figure 4.5 – Risque de brûlure.

□ Les protections du groupe de fermeture

Il s'agit de deux portes-écrans (figure 4.3, repère B), une sur le devant, une sur l'arrière de la presse, qui permettent d'accéder à l'outillage. L'ouverture d'une porte provoque l'arrêt immédiat des mouvements quel que soit le

mode de fonctionnement de la presse : montage moule, manuel, semi-automatique, automatique.

Les protections du groupe d'injection

Pour le fourreau :

Les colliers chauffants du fourreau sont recouverts par un dispositif anti-brûlure (figure 4.3, repère C). En effet, la surface des résistances en pleine chauffe peut atteindre facilement 400 °C, et le moindre contact direct provoquerait de graves lésions. La protection est formée soit par une grille qui entoure le fourreau, soit par des manchons isolants ajustés sur chaque collier. Ainsi, la possibilité de contact direct de l'opérateur avec les colliers chauffants du fourreau est évitée.

Pour la buse :

Deux approches sont proposées par les fabricants de presse à injecter :

- Les systèmes ouverts : seul un capot mobile protège la buse (figure 4.3, repère D). Dans ce cas, les éléments situés du côté du groupe d'injection sont accessibles, le chargement, l'entretien et la maintenance sont facilités. L'ouverture du capot mobile provoque l'arrêt de l'ensemble des mouvements de la presse.
- Les systèmes fermés : l'ensemble du groupe d'injection est capoté, et une porte-écran sur le devant de la presse permet l'accès au groupe d'injection. L'ouverture provoque là aussi l'arrêt immédiat des mouvements de la presse à injecter. La protection des personnes est meilleure, notamment lors de projections de matière. Par contre, l'entretien et la maintenance sont plus difficiles et il est recommandé d'opter pour un alimentateur de trémie afin de faciliter son chargement.

Distance minimale d'une zone à risque

La norme NF EN ISO 12100 impose aux fabricants de presse d'éloigner d'au moins 850 mm tout accès où le bras d'un homme pourrait passer et une zone dangereuse. Cette distance représente la longueur maximale estimée d'un bras humain (figure 4.3, repère E). Les accès supérieurs peuvent rester ouverts s'ils sont à plus de 2 m de haut.

Raccords hydrauliques

Les raccords hydrauliques doivent être liés deux à deux (figure 4.3, repère F), ou attachés par un dispositif (câble, chaînette) au châssis de la presse.

□ Sécurité électrique

Les armoires électriques et pupitres doivent être fermés à clé (figure 4.3, repère G) et seules les personnes qualifiées et accréditées peuvent les ouvrir.

■ Robot manipulateur

Lorsque la presse est équipée d'un robot, celui-ci doit être intégré au circuit de sécurité de la machine. L'appui sur le bouton d'arrêt d'urgence du robot stoppe donc tous les mouvements de l'automate et de la presse, quel que soit le mode de fonctionnement en cours. L'espace de descente de la main du robot en dehors de la zone moule doit être protégée et est soumise à la même réglementation que les protections de la machine. Pour accomplir cette tâche, une cage doit être mise en place. L'ouverture de la porte de la cage aura pour conséquence là aussi l'arrêt immédiat de tous les mouvements, comme l'ouverture d'une porte-écran de la presse. Lorsqu'une cage est de dimension importante, il est absolument interdit de s'enfermer dedans. Si on doit intervenir à l'intérieur on laissera la porte ouverte. Un affichage allant dans ce sens doit être mis en place (figure 4.6).



Figure 4.6 – Interdiction de s'enfermer dans la cage.

4.1.4 Désignation EUROMAP des presses à injecter

Historiquement, au vu de la diversité des presses à injecter et des options possibles, il était difficile, sans standardisation technique, de comparer les différents matériels, chaque fabricant pouvant mettre en avant des caractéristiques, souvent impossibles à obtenir simultanément. Un des paramètres de

choix des plus sensible est celui de la vis de plastification. Toutes choses égales par ailleurs, on obtient un grand volume injecté pour les grands diamètres de vis, ou une grande pression d'injection pour les petits.

Afin d'harmoniser les caractéristiques et les désignations des presses à injecter, les fabricants ont travaillé ensemble à partir des années 1970 dans le cadre du Comité européen des constructeurs de machines pour plastiques et caoutchouc et se sont entendus sur les recommandations EUROMAP. Celles-ci sont en constante évolution et s'adaptent progressivement aux avancées techniques. Il s'agit bien d'un ensemble de recommandations techniques et non de normes, ce qui implique que les constructeurs ne sont nullement obligés de les appliquer à la lettre pour la conception et la description de leurs machines. Néanmoins, elles sont dans l'ensemble bien suivies.

La recommandation EUROMAP 1, qui date de 1983 et qui s'intitule « description des presses à injecter », propose une dénomination standardisée qui permet de retrouver les principales caractéristiques. On parle couramment de dénomination ou de désignation EUROMAP. C'est celle qui est généralement inscrite en gros et en évidence sur le capotage des presses (figure 4.7).



Figure 4.7 – Désignation EUROMAP.

□ Quelques remarques

La force de verrouillage des presses s'exprime en kN, or l'unité parlante et très usitée du métier est la tonne. On devrait en fait préciser tonne-force. Une presse qui a une force de fermeture de 100 « tonnes » génère une force de verrouillage équivalente au poids d'une masse de 100 tonnes qui pèserait sur le moule pour le tenir fermé ; soit, en arrondissant la gravité terrestre à 10 N/kg, à 1 000 kN (figure 4.8).

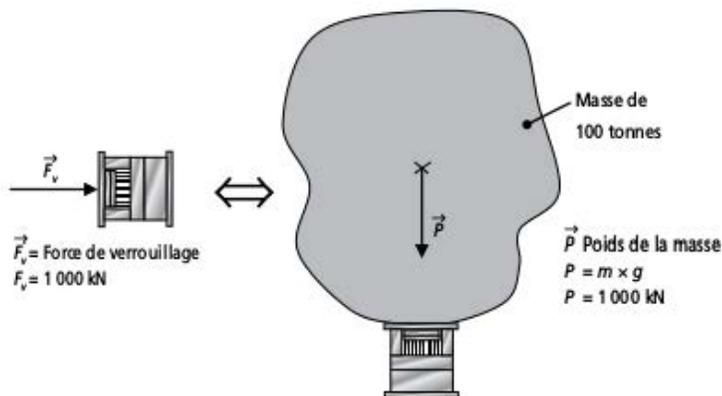


Figure 4.8 – Force de verrouillage des presses.

Les désignations EUROMAP de nombre d'anciennes presses expriment les forces de verrouillage en tonnes-force.

Le volume injectable est rapporté à une pression d'injection de 1 000 bar. Qu'est-ce que cela veut dire ? L'ordre de grandeur de la pression d'injection en bout de vis de la majorité des presses à injecter est environ de 1 500 à 2 000 bar, et est fonction du diamètre des vis qui les équipent. La commission EUROMAP, pour avoir une caractéristique harmonisée, a pris le problème à l'envers : quel serait le volume injecté si la presse était équipée d'une vis qui permettrait d'obtenir au maximum 1 000 bar en bout de vis ? Le volume injectable EUROMAP est le produit de la section de cette vis fictive par la course maximale d'injection :

$$V_{EUROMAP} = S_{vis\ EUROMAP} (1\ 000\ \text{bar}) \times C_{inj\ max}$$

L'intérêt de cette donnée est que l'on peut en déduire facilement la pression en bout de vis maximale, connaissant la course de déplacement et la section de la vis qui équipe réellement la presse, sans pour autant connaître les caractéristiques du vérin d'injection :

$$P_{bv\ max} = \frac{1\ 000 \times V_{EUROMAP}}{C_{inj\ max} \times S_{vis}}$$

avec :

$P_{br\max}$: pression en bout de vis maximale en bars,

$C_{inj\max}$: course maximale de la vis de plastification,

$S_{vis} = \frac{\pi \times \text{Diamètre vis}^2}{4}$: aire de la section transversale de la vis.

Le volume réel maximum injectable est presque toujours plus petit que le volume EUROMAP. C'est le produit de la section de la vis par la course maximale d'injection :

$$V_{inj} = S_{vis} \times C_{inj\max}$$

Attention, V_{inj} est un volume à chaud, n'oubliez pas de multiplier sa valeur par le $K\Delta V$ du thermoplastique transformé (voir la fiche matière correspondante) pour estimer le volume à froid maximal injectable :

$$V_{inj\text{ froid}} = S_{vis} \times C_{inj} \times K\Delta V$$

Lorsque la presse est équipée de plusieurs fourreaux, les volumes EUROMAP injectables en cm^3 sont listés dans la désignation et séparés par des traits obliques. Par exemple, 600 H – 35 / 60 pour une presse bi-matière.

Dans le cas d'une unité d'injection horizontale dans le plan de joint, le volume EUROMAP qui correspond est suivi d'un L.

4.1.5 Unité de fermeture

■ Introduction

Les forces de fermeture des presses à injecter industrielles s'échelonnent de quelques tonnes à plusieurs milliers de tonnes. Le choix d'une presse impose le contrôle de la conformité des caractéristiques de la fermeture avec le type de production envisagé. Il faut vérifier les points suivants :

- Dimensions maximales (largeur et hauteur) des moules.
- Épaisseurs (minimale et maximale) des moules acceptés par le système de fermeture.
- Course maximale d'ouverture : elle est généralement comprise entre 1,5 et 2,5 fois l'épaisseur maximale de moule.
- Force maximale de fermeture (et d'ouverture pour le moulage de pièces fines).
- Vitesse des mouvements : elle se définit par la mesure de la durée d'un cycle réalisé sans injection : c'est le temps de cycle « à vide ».
- Caractéristiques de l'éjection : course maximale, force maximale et accessibilité.

■ Conceptions classiques

Pour aider à la compréhension, les principes de conception et les schémas présentés dans ce paragraphe ont été simplifiés. La majorité des presses sont équipées de colonnes qui assurent le parallélisme du plateau fixe et du sommier arrière.

1. Le système de fermeture le plus simple est le système hydraulique à un seul vérin (figure 4.9).

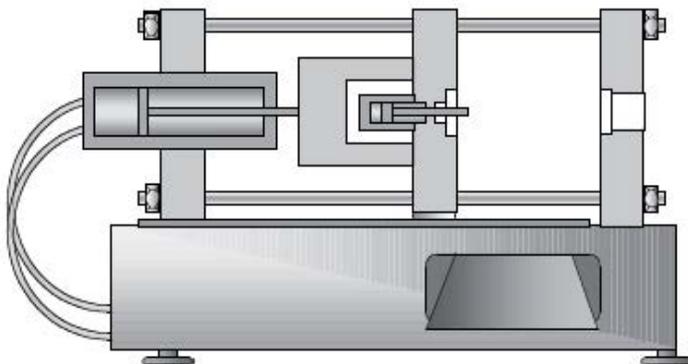


Figure 4.9 – Système de fermeture hydraulique à un seul vérin.

La réalisation est simple si la force de fermeture n'est pas importante. Par contre, les vitesses de fermeture restent faibles car le remplissage d'un vérin de fermeture de grosse section oblige à pomper un fort volume d'huile hydraulique. On réserve ce type de fermeture aux presses de petite capacité (force de fermeture inférieure à 500 kN).

2. Afin d'obtenir des vitesses de fermeture plus conséquentes, les fabricants de presses ont choisi de dissocier le système effectuant les mouvements du système de verrouillage du moule (figure 4.10).

Le petit vérin (1) assure une fermeture rapide, le gros vérin (2) aspire l'huile dans le réservoir hydraulique (comme le ferait une seringue). En fin de fermeture de l'outillage, une haute pression appliquée dans le gros vérin assure le verrouillage. L'ouverture du moule s'effectue dans l'ordre inverse. Ce type de fermeture oblige à réduire la distance entre le réservoir d'huile et le vérin de verrouillage, il est de surcroît fort consommateur d'huile hydraulique. De ce fait ce système n'est plus employé pour réaliser de grosse presse (plus de 10 000 kN).

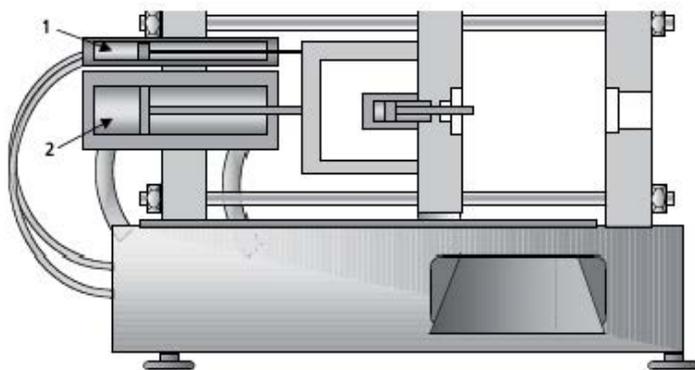


Figure 4.10 – Système de fermeture hydraulique à deux vérins en parallèle.

3. Pour réduire le volume d'huile et simplifier la réalisation du vérin de verrouillage, il est préférable de placer les deux vérins en série plutôt qu'en parallèle.

La fermeture se déroule en trois temps (figure 4.11) : fermeture rapide avec le vérin d'approche (1), fermeture de la noix (2) dans une gorge de la chandelle (4), puis verrouillage avec le gros vérin (3). La complexité de ce type de fermeture la réserve aux grosses presses (plus de 5 000 kN).

4. Pour obtenir une vitesse de fermeture élevée et une force de verrouillage importante avec un seul vérin, il est possible d'utiliser un système de démultiplication mécanique appelé *genouillère cinq points* (figure 4.12). Les bielles (1 et 2) doivent s'aligner lorsque le moule se verrouille, il faut donc pouvoir déplacer le sommier pour placer le système de fermeture dans la bonne position. Le déplacement du sommier est réalisé par les quatre écrous de colonne (3) dont la manœuvre est motorisée. Ce type de fermeture, dite *fermeture mécanique*, est le plus rapide. Elle est utilisée pour le moulage en grandes cadences (bouchons, emballages en paroi fine, etc.). Par contre, son entretien plus complexe, sa tendance à fatiguer les colonnes, son irrégularité des efforts de fermeture et son risque de coincement réduisent son utilisation pour des moules plus classiques.

5. Certains constructeurs ont choisi de faire effectuer le mouvement de fermeture par un système à démultiplication mécanique et le verrouillage par un vérin hydraulique de gros diamètre (figure 4.13). Ce type de fermeture, dite *mixte*, présente d'excellentes performances, mais au prix d'une certaine complexité de réalisation, qui la renchérit.

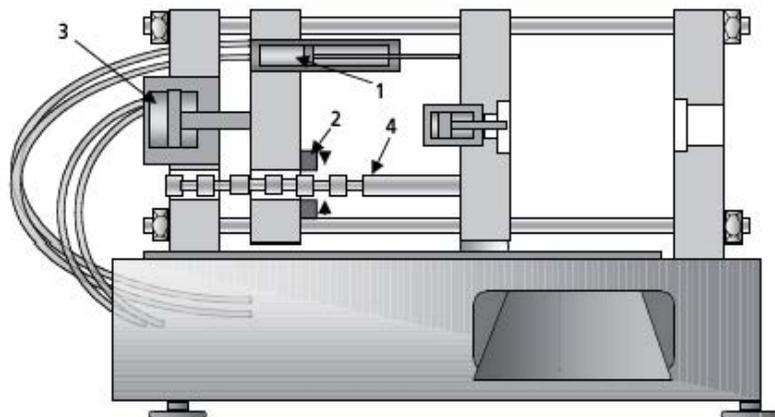


Figure 4.11 – Système de fermeture hydraulique à deux vérins en série.

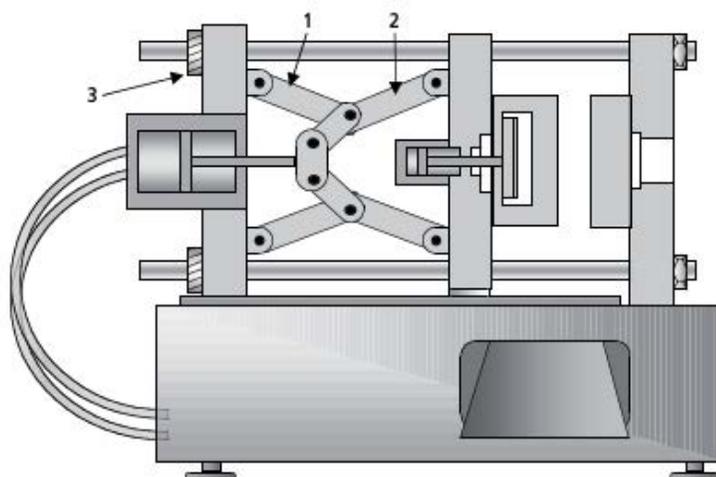


Figure 4.12 – Fermeture mécanique.

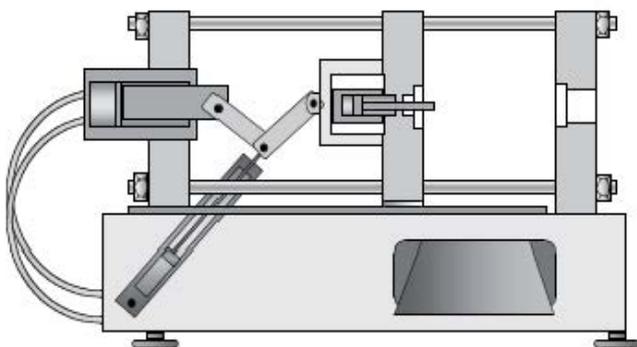


Figure 4.13 – Fermeture mixte.

■ Quelques conceptions particulières

Certains systèmes de fermeture ne sont pas équipés de colonnes car ces dernières réduisent l'accès aux plateaux (figures 4.14 et 4.15).

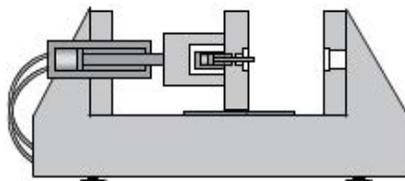


Figure 4.14 – Presse à bâti en U. Le bâti est sollicité en flexion, ce qui nécessite une correction régulière du parallélisme des plateaux.

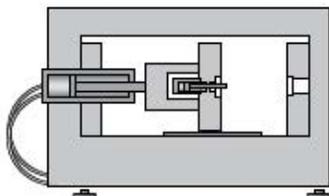


Figure 4.15 – Presse à cadre. Les moules peuvent être insérés horizontalement dans la presse. Ce type de fermeture est utilisable pour de très grosses unités.

4.1.6 L'éjection

L'éjection a pour fonction d'extraire la moulée de l'outillage une fois qu'elle est suffisamment solidifiée. En effet, pour la grande majorité des moules, les pièces restent accrochées sur les empreintes pendant l'ouverture et l'effet de la gravité ne suffit pas à les faire chuter.

■ Différents modes d'éjection

L'éjection peut être :

- **mécanique**, grâce à des éléments mobiles comme les éjecteurs cylindriques ou de forme, les plaques dévêtisseuses, les cales montantes ;
- **pneumatique**, grâce à une alimentation en air comprimé qui vient ouvrir des soupapes dans les empreintes afin de souffler sous les pièces pour les chasser.

Les deux systèmes peuvent être couplés : le mécanique pour vaincre des efforts importants de démoulage, et le pneumatique pour éviter l'effet ventouse et faire tomber plus rapidement les pièces.

Dans le cas de l'éjection mécanique, c'est en général le vérin d'éjection de la presse qui, par l'intermédiaire de la queue d'éjection et de la batterie d'éjection du moule, réalise les mouvements.

On peut avoir une **éjection poussée** (figure 4.16), pour laquelle il n'y a pas de liaison mécanique entre la queue et la batterie. Le retrait des éjecteurs est alors effectué :

- soit par un système de ressorts incorporé à l'outillage,
- soit par les rappels d'éjection pendant la fermeture de l'outillage.

Ces derniers servent, à l'origine, de sécurité pour les empreintes. S'ils viennent au contact du plan de joint de la partie fixe du moule, ils repoussent la batterie d'éjection et évitent ainsi que les éjecteurs puissent être sortis lorsque le moule est fermé. Cette solution de remise à zéro de la batterie à chaque fermeture est si possible à éviter car, d'une part, on finit par abîmer les zones qui viennent en contact (matage des rappels d'éjection, enfoncement du plan de joint partie fixe), d'autre part et par conséquent, elle ne permet pas des vitesses de fermetures importantes et impacte donc le temps de cycle.

L'**éjection attelée**, quant à elle, permet de maîtriser les déplacements de la batterie d'éjection tant en sortie qu'en rentrée puisque la queue d'éjection est fixée à la batterie et transmet donc tous les mouvements du vérin.

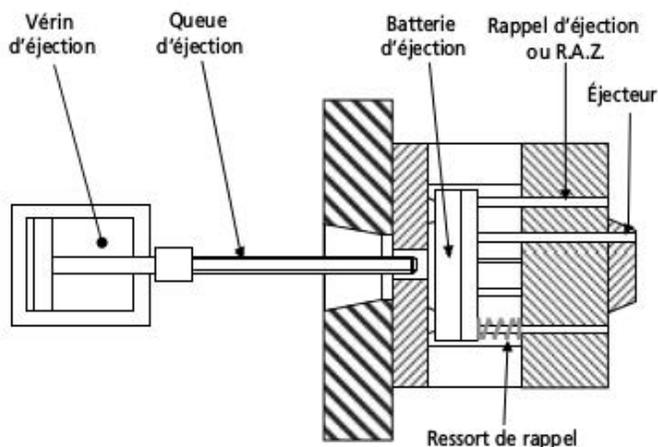


Figure 4.16 – Éjection mécanique poussée.

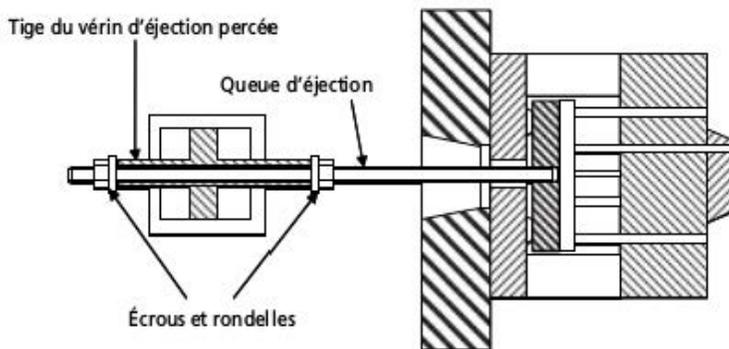


Figure 4.17 – Attelage à travers le vérin d'éjection.

Nombre de solutions mécaniques plus ou moins rapides à monter existent. On peut citer les plus courantes comme :

- *Attelage à travers le vérin d'éjection* : Pour ce montage, la presse doit être équipée d'un vérin dont la tige est percée de part en part. La queue d'éjection est une tige filetée qui est vissée dans le taraudage de la plaque arrière de la

batterie d'éjection de l'outillage, qui traverse le vérin et qui est boulonnée de part et d'autre de la tige de ce dernier (figure 4.17).

- *Attelages rapides* : Le principe de ces systèmes consiste en deux parties qui sont montées à demeure : d'un côté, sur le vérin d'éjection et, de l'autre, dans la batterie d'éjection (figure 4.18). Leur liaison est assurée par un système mécanique qui est formé d'une partie femelle du côté du vérin et d'une partie mâle du côté de l'outillage. Lors du montage, les deux morceaux s'emboîtent. Un verrouillage solidarise l'ensemble.

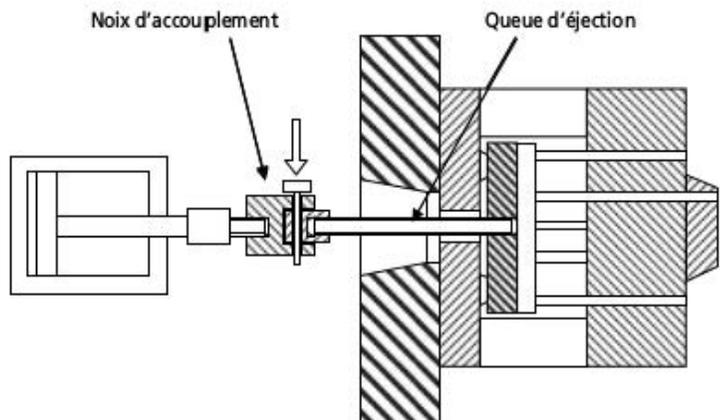


Figure 4.18 – Attelage rapide.

Les systèmes pour lesquels une fourchette réalise le verrouillage sont assez courants. D'autres solutions existent comme les systèmes à billes, ou encore les systèmes à baïonnettes qui se verrouillent en faisant tourner d'un quart de tour la partie femelle sur la partie mâle.

Il peut arriver que la force d'éjection de la presse ne soit pas suffisante pour extraire les pièces : citons l'exemple de certains bouchons vissés pour bouteilles d'eau gazeuse dont les filetages en contre-dépouille interne sont démoulés en force par déformation de la matière. Les efforts d'éjection peuvent dépasser 20 kN par pièce. Dans ce cas, le moule est équipé de vérins qui réalisent cette opération. On parle alors d'éjection par asservissement (figure 4.19). L'outillage est connecté électriquement et hydrauliquement à la presse, et c'est cette dernière, par l'intermédiaire d'un programme noyau, qui commande l'avance ou le recul de la batterie d'éjection.

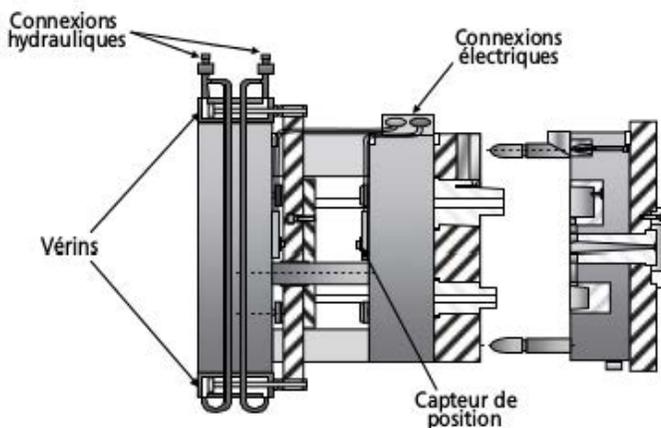


Figure 4.19 – Système d'éjection mécanique par asservissement.

■ Évaluation des efforts d'éjection

La force nécessaire à l'éjection d'une pièce peut être évaluée dans le cas de géométrie simple des pièces. L'exemple suivant décrit les mécanismes et les grandeurs physiques mis en œuvre.

La pièce (1), moulée autour du noyau (2), est éjectée suivant la direction de démoulage (3) (figure 4.20).

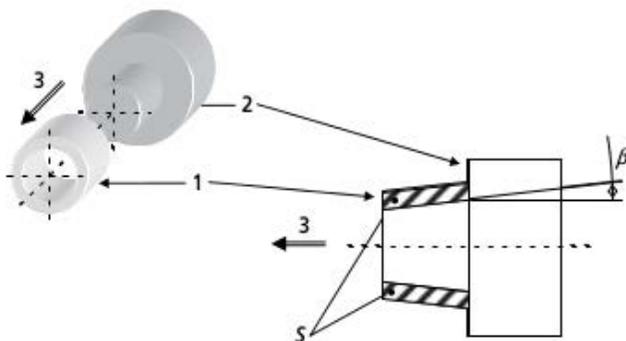


Figure 4.20 – Évaluation des efforts d'éjection.

Résolution

On commence par calculer la contrainte due au retrait :

$$\sigma = E \times \frac{\Delta l}{l}$$

$$\sigma \Leftrightarrow \sigma = E \times \text{Retrait unitaire}$$

$$\sigma \Leftrightarrow \sigma = \text{Module d'élasticité} \times \text{Retrait unitaire}$$

On continue en calculant l'effort de serrage de la pièce autour du noyau :

$$F = \sigma \times S$$

On termine par le calcul de l'effort de démoulage :

$$F_{\text{Démoulage}} = F \times \tan(\alpha - \beta)$$

Remarque

Quelques hypothèses simplifient le calcul :

1. La pièce peut être assimilée à un tube (β est négligeable pour la définition géométrique de la pièce).
2. Le coefficient d'adhérence de la matière sur l'acier est connu ($\tan \alpha = 0,15$).
3. L'empreinte ne subit pas de déformation durant l'injection.

Application numérique

Moulage d'une pièce en PA 6-6 GF30 ($E = 3\,000$ MPa), épaisseur de 3 mm, retrait de 0,2 %, hauteur de la bague de 30 mm. L'empreinte a une dépouille de 2°.

$$\sigma = 3\,000 \times \frac{0,2}{100} = 6 \text{ MPa}$$

$$F = 6 \times 30 \times 3 \times 2 = 1\,080 \text{ N}$$

$$F_{\text{Démoulage}} = 1\,080 \times \tan(8,53 - 2) = 123 \text{ N}$$

L'effort de démoulage est proportionnel au retrait, au coefficient d'adhérence de la matière sur l'empreinte et au module d'élasticité de la matière. Il est fortement dépendant de la pièce (épaisseur et quantité de surface perpendiculaire au plan de joint).

Lorsque l'on cherche à réduire l'effort de démoulage, on modifie les paramètres liés au retrait, on peut aussi effectuer un traitement de l'empreinte pour réduire le coefficient d'adhérence (sulfuration, titanisation, nickelage).

4.1.7 Presse à injecter électrique

■ Principe

Le développement de composants électroniques de puissance pour les machines d'usinage à commande numérique a permis, depuis une décennie, la fabrication de presses sans système hydraulique : les vérins et les moteurs sont remplacés par des moteurs électriques et des vis à billes (figure 4.21). Longtemps onéreuse cette technologie semble arriver à maturité : elle représente, en 2003, environ 40 % des ventes de presse à injecter au Japon et aux États-Unis.

■ Particularités de réglage

- Les mouvements se font sans inertie : la consigne de position est parfaitement respectée. En fait la commande de la presse vérifie à chaque instant la position et la vitesse sur tous les mouvements. Les inerties sont anticipées et les accélérations et décélérations sont appliquées automatiquement.
- Le pilotage des servomoteurs nécessite une consigne de position pour chaque mouvement. Le régleur doit s'assurer que cette consigne peut être atteinte sous peine d'infliger une surintensité constante au servomoteur. Ainsi la position « éjection rentrée » doit se situer un peu au-dessus du zéro mécanique.
- De nouveaux paramètres de réglage découlent du contrôle absolu des mouvements. On peut citer notamment : la possibilité d'utiliser la courbe de pression de remplissage comme consigne (la presse adaptera instantanément les vitesses d'injection), la possibilité de régler des courbes de vitesse d'injection, ou encore le réglage des limites d'effort de fermeture qui procurent une sécurité d'outillage incomparable.
- Les mouvements sont totalement indépendants. Il est possible de commencer l'approche du groupe d'injection et l'injection en cours de fermeture, ou de commander simultanément l'ouverture du moule, l'éjection et le dosage.

4.1.8 Système de plastification

■ Principe

La matière est plastifiée lors du dosage par l'action simultanée de la rotation de la vis de plastification et du système de chauffage du fourreau. Durant cette étape, la matière est convoyée de la goulotte jusqu'à l'avant de la vis car les frottements de la matière sont plus élevés sur le fourreau (plus chaud) que sur la vis (plus froide). La pression générée par le flux de matière plastifiée à

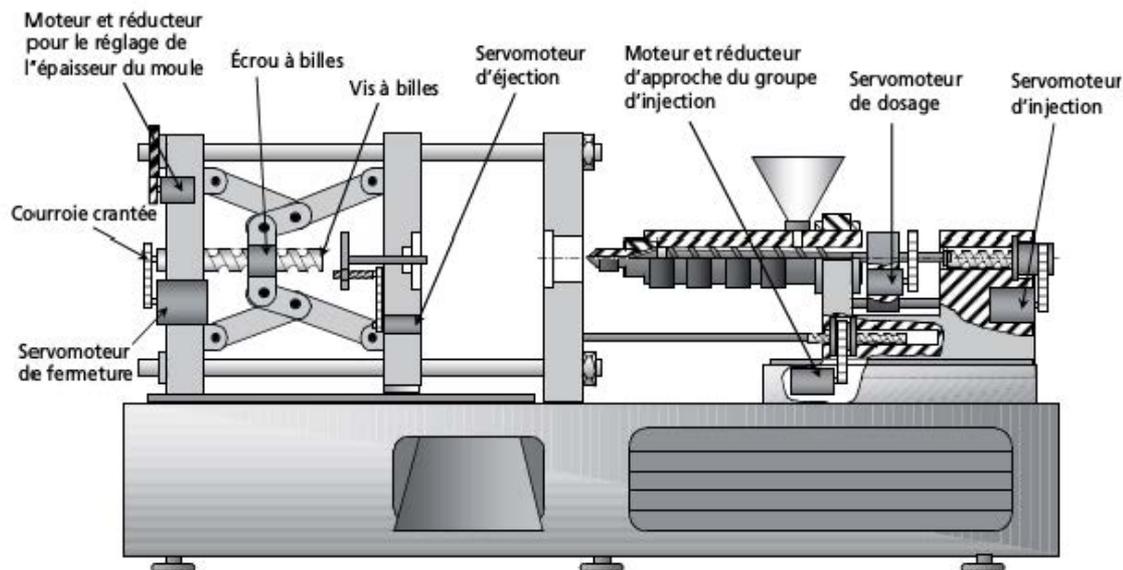


Figure 4.21 – Presse électrique.

La fermeture comporte toujours une démultiplication mécanique. Les mouvements de grande précision sont réalisés par les servomoteurs, les vis à billes permettent de convertir les rotations en translations. La mesure de position des éléments n'utilise plus de transducteurs : les résolveurs et codeurs des servomoteurs fournissent une mesure numérique bien supérieure. Le mouvement d'approche du groupe d'injection et le réglage de l'épaisseur du moule s'effectuent par de simples moto-réducteurs.

l'avant du fourreau repousse la vis vers l'arrière, et fait reculer le piston du vérin d'injection (figure 4.22).

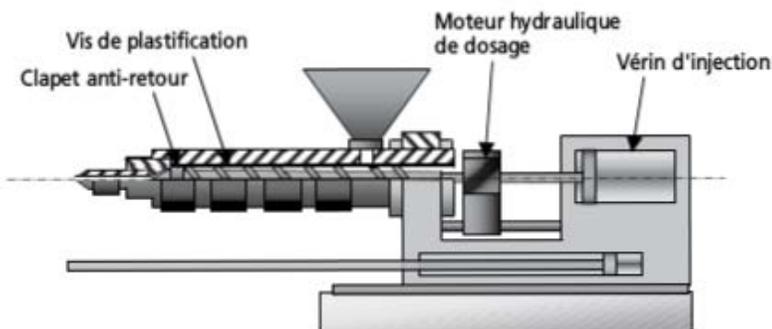


Figure 4.22 – Système de plastification.

Lors de l'injection, le piston du vérin d'injection avance et le reflux de matière le long de la vis ferme le clapet anti-retour, la vis fait alors office de piston.

■ Vis de plastification

Elle est réalisée en acier, et sa surface subit différents traitements qui augmentent sa dureté, diminuent son coefficient de frottement et améliorent sa résistance chimique. Pour obtenir une plastification parfaite, la vis doit être conçue en fonction de la matière à transformer. En injection, les changements de matière étant très fréquents, on utilise des vis universelles (dites standard) aux performances moindres mais adaptées à la majorité des matières. Certaines matières, comme le PVC rigide, ne peuvent être plastifiées avec une vis standard. L'utilisation de vis spécifiques est réservée aux matières thermosensibles ou au besoin de fortes capacités de plastification. Les indications de réglages données dans cet ouvrage sont applicables aux vis standard exclusivement.

■ Caractéristiques de la vis standard

- *Diamètre nominal* : c'est le diamètre de la vis au sommet des filets.
- *Longueur* : elle s'exprime en nombre de diamètre, c'est le rapport de la longueur de la zone filetée et du diamètre nominal. Ainsi une vis de diamètre 30 et de longueur filetée 660 s'appelle vis diamètre 30 de longueur 22 D (22 fois

le diamètre). Les vis d'injection mesurent de 18 à 28 D. On note que le pas d'une vis de plastification est sensiblement égal à son diamètre nominal.

- *Taux de compression* : il caractérise la capacité de la vis à malaxer la matière. Il est compris entre 1,6 et 2,2 pour les vis standard, plus il est élevé plus la matière subira un travail important. On le calcule à partir de la formule suivante :

$$TC = \frac{D^2 - D_e^2}{D^2 - D_s^2}$$

avec D le diamètre nominal, D_e le diamètre du noyau de la vis à la goulotte et D_s le diamètre du noyau à l'avant de la vis.

- *Profil* : c'est la dimension relative des trois zones de la vis ; sur une vis standard le profil est : un tiers de zone d'alimentation, un tiers de zone de compression et un tiers de zone d'homogénéisation (figure 4.23).



Figure 4.23 – Profil d'une vis de plastification.

4.2 Clapet de vis

4.2.1 But

Lors de l'injection, le clapet anti-retour de la vis de plastification empêche le reflux de la matière le long de la vis. L'étanchéité du clapet est indispensable à la robustesse du procédé.

4.2.2 Principe

Le clapet comporte trois pièces (figure 4.24) :

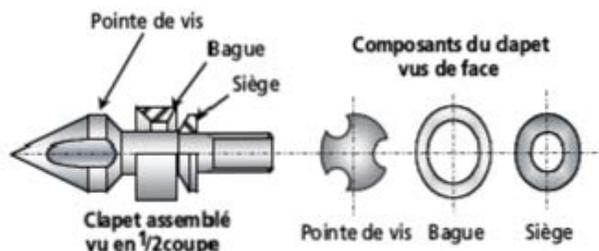


Figure 4.24 – Clapet de vis.

1. Durant le dosage (figure 4.25), la bague du clapet est repoussée contre la pointe de vis par l'afflux de matière plastifiée. Le flux de matière passe à l'intérieur de la bague, puis à travers les rainures de la pointe.

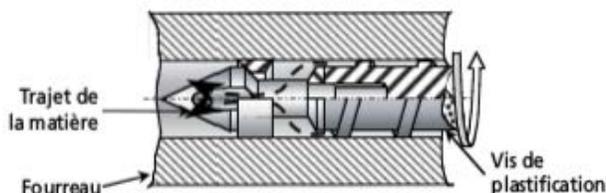


Figure 4.25 – Clapet anti-retour : 1. Dosage.

2. Lors de l'injection (figure 4.26), la vis de plastification avance et plaque le siège contre la bague. La matière ne peut plus refluer vers l'arrière du clapet.

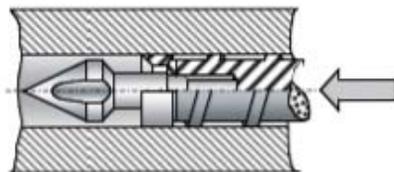


Figure 4.26 – Clapet anti-retour : 2. Injection.

4.2.3 Usure du clapet

Lors de l'injection, la pression élevée de la matière plastique soumet les éléments du clapet à des efforts importants (plusieurs tonnes, même sur des petites presses). La bague se dilate et se plaque sur l'intérieur du fourreau : le fourreau s'use au niveau du clapet, particulièrement lorsqu'il présente un défaut d'étanchéité (figure 4.27). L'usure du fourreau augmente son diamètre intérieur, et donc la dilatation de la bague du clapet. Cette dernière subit une fatigue importante qui provoque sa rupture prématurée. Il faut faire réparer le clapet dès qu'il présente un défaut d'étanchéité.

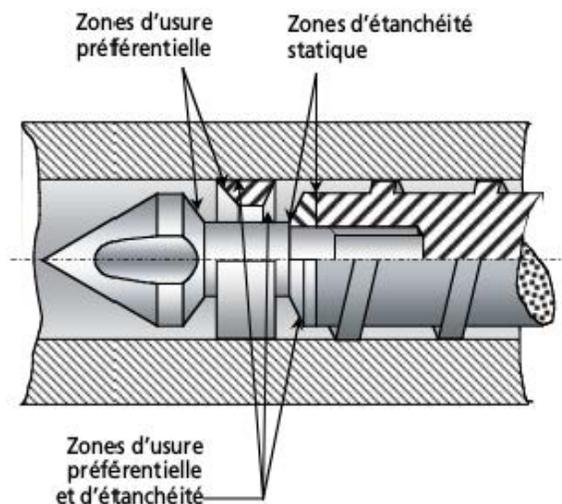


Figure 4.27 – Zones d'usure du clapet.

L'usure du clapet, inévitable, peut être réduite en modérant la vitesse de dosage et la contre-pression, particulièrement avec les matières additionnées de charges abrasives (fibres de verre, etc.).

Le clapet est particulièrement sensible aux démarrages à froid (tentatives de dosage ou d'injection alors que la matière est insuffisamment fondue). Lors d'une injection à froid la pointe de vis glisse le long d'un bloc de matière

infondue et fléchit. Dans ce cas, il y a détérioration du fourreau et/ou rupture de la pointe de vis.

4.2.4 Influence sur le réglage

Un réglage robuste suppose une fermeture régulière du clapet lors de chaque injection. Pour garantir que la bague soit toujours plaquée contre la pointe de vis après le dosage, il est courant de faire reculer la vis de quelques millimètres en fin de dosage (décompression). Pour accélérer la fermeture du clapet, une première vitesse d'injection élevée est préconisée: ce type de réglage est surtout utilisé pour des matières fluides (PA, POM, etc.).

4.3 Buses d'injection

4.3.1 Présentation

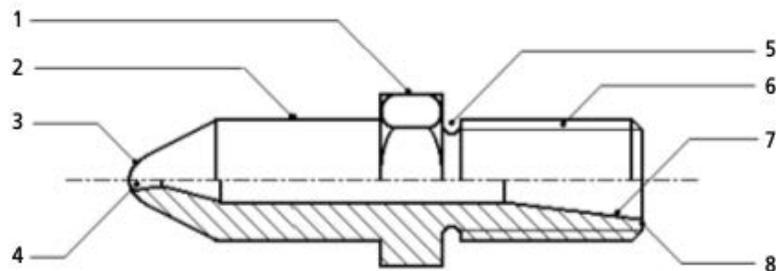


Figure 4.28 – Buse d'injection.

1. Six pans de manœuvre. 2. Nez de la buse. 3. Portée de buse. 4. Contre-cône de démoulage. 5. Gorge de dégagement. 6. Filetage. 7. Cône d'entrée. 8. Lèvre d'étanchéité.

4.3.2 Mise en place de la buse

- Il faut impérativement graisser le filetage avec de la graisse résistante à chaud.
- La lèvres d'étanchéité doit être parfaitement nettoyée, ainsi que la surface de joint correspondante du nez de pot.
- Les sorties de câble d'alimentation du collier de chauffage de la buse ne doivent pas se trouver dirigées vers le bas pour éviter des inclusions dans de la matière fondue.
- Le collier de chauffage et la buse seront resserrés à chaud.

4.3.3 Démontage de la buse

- Il faut purger le fourreau, particulièrement si l'on transforme des polymères thermosensibles (POM, PA...).
- Il faut chauffer l'avant du fourreau ainsi que la buse pour faciliter le dévissage. On peut utiliser soit le système de chauffage de la presse, soit un système extérieur à la presse.
- La régulation du collier de buse doit être arrêtée avant son démontage. Le collier chauffant doit être déconnecté.
- Pour assurer un effort de dévissage suffisant, on utilisera de préférence une clé à frapper ou une clé à ceil manœuvrée par un tube.

Remarques

L'usure de la portée est amplifiée par le recul et l'avance du groupe d'injection : travailler, si possible, sans recul du groupe d'injection en cours de cycle.

La portée de buse machine est rarement abîmée ; vérifier en priorité la buse moule (contre-buse) lorsqu'il y a un défaut d'étanchéité.

4.4 Moule d'injection

4.4.1 Structure générale de l'outillage

Voir figure 4.29 pp. 136-137 et p. 387.

4.4.2 Fonctionnement du moule d'injection

Voir figure 4.30 p. 138 et p. 388.

4.4.3 Maintenance du moule d'injection

■ Manipulation des outillages

Avant de manipuler un moule, il est indispensable d'évaluer sa masse. La formule suivante permet d'effectuer ce calcul à partir des dimensions extérieures de l'outillage :

$$\text{Masse (kg)} = \text{Épaisseur (cm)} \times \text{Largeur (cm)} \times \text{Hauteur (cm)} \times 0,0078$$

Les masses supérieures à 60 kg ne sont pas manipulables manuellement dans des conditions satisfaisantes de sécurité.

Pour déplacer ou démonter un outillage, le port de chaussures de sécurité est impératif. Des gants de manutention sont conseillés.

Le déplacement des moules s'effectue en position basse, les appareils de levage ne seront utilisés que lorsqu'ils sont indispensables (pour la mise en place du moule sur la presse ou pour son rangement). Lors du levage, le moule est retenu par son anneau de levage, correctement serré, au travers duquel passe un crochet de sécurité ou une sangle de manutention.

■ Démontage d'un outillage

Un démontage partiel de l'outillage peut être nécessaire afin d'effectuer un nettoyage ou une réparation. La figure 4.31 (ci-après et p. 389) présente le mode d'assemblage le plus courant des moules d'injection à un seul plan de joint. Le démontage d'un outillage plus complexe nécessite l'application d'un mode opératoire défini par un outilleur disposant du plan d'ensemble du moule.

□ Règles générales

Il est impératif d'agir avec certitude et de noter tous les repérages (chiffres ou lettres) qui garantissent un assemblage correct de l'outillage. Les vis d'assemblage sont stockées dans des boîtes au fur et à mesure du démontage. Les éléments d'empreintes sont stockés hors de la zone de travail afin de prévenir tout accident. Après démontage, les plaques sont immédiatement couchées pour raison de sécurité.

1. La batterie est l'assemblage d'une plaque et d'une contre-plaque.

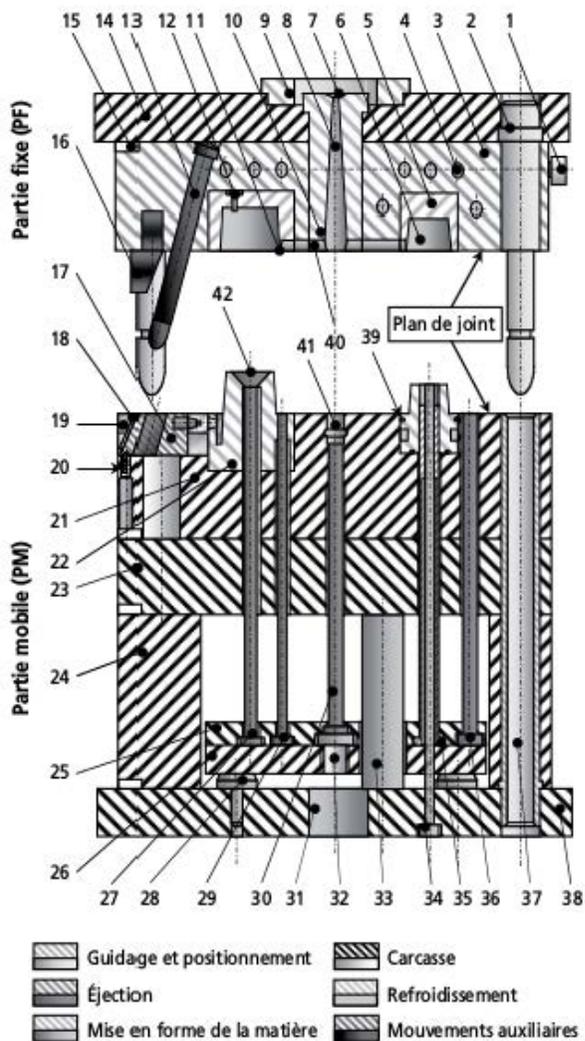


Figure 4.29 – Moule d'injection.

- | | |
|--|--|
| 1. Embout de régulation (raccord rapide) | 22. Bloc empreinte de partie mobile |
| 2. Colonne de guidage | 23. Plaque intermédiaire de PM |
| 3. Plaque porte-empreinte de partie fixe | 24. Tasseau (ou entretoise) |
| 4. Circuit de régulation | 25 et 26. Batterie d'éjection ¹ : contre-plaque d'éjection (25) et plaque d'éjection (26) |
| 5. Bloc empreinte de partie fixe | 27. Éjecteur porte-soupape |
| 6. Empreinte de partie fixe | 28. Repos d'éjection |
| 7. Portée de buse moule | 29. Éjecteur |
| 8. Cheminée de buse | 30. Éjecteur arrache-carotte |
| 9. Rondelle de centrage | 31. Passage d'éjection |
| 10. Buse moule | 32. Système d'attelage d'éjection |
| 11. Seuil d'injection | 33. Pilier (ou chandelle) |
| 12. Broche | 34. Broche centrale d'éjecteur tubulaire |
| 13. Doigt de démoulage | 35. Éjecteur tubulaire |
| 14. Plaque semelle de partie fixe | 36. Rappel d'éjection (ou RAZ) |
| 15. Prise de pince | 37. Douille de guidage |
| 16. Verrou de tiroir | 38. Plaque semelle de partie mobile |
| 17. Tiroir (ou chariot) | 39. Joint torique |
| 18. Plaquette d'usure du tiroir | 40. Canal d'alimentation |
| 19. Rainure de guidage du tiroir | 41. Arrache-carotte |
| 20. Bonhomme à bille (ou verrou à bille) | 42. Soupape d'éjection |
| 21. Plaque porte-empreinte de PM | |

Ouverture du moule

Dans le cas d'une partie fixe (PF) de moins de 20 kg, il suffit de disposer le moule à plat sur sa plaque semelle de partie mobile et de soulever d'un seul mouvement la partie fixe. Si la PF s'arc-boute, le moule sera refermé à l'aide d'un maillet, et l'opération renouvelée. Si la PF est lourde, on ouvre le moule en glissant des pinces dans les prises. Dans ce cas, le parallélisme des deux surfaces de joint doit être maintenu durant toute l'opération d'ouverture (sinon il y a « coincement » de la PF). Le plan de joint est très fragile, il ne faut pas le toucher avec un objet métallique. Les surfaces moulantes ne doivent en aucun cas être touchées (ni par un objet métallique, ni par du bois, ni par des mains nues, ni même par un chiffon).

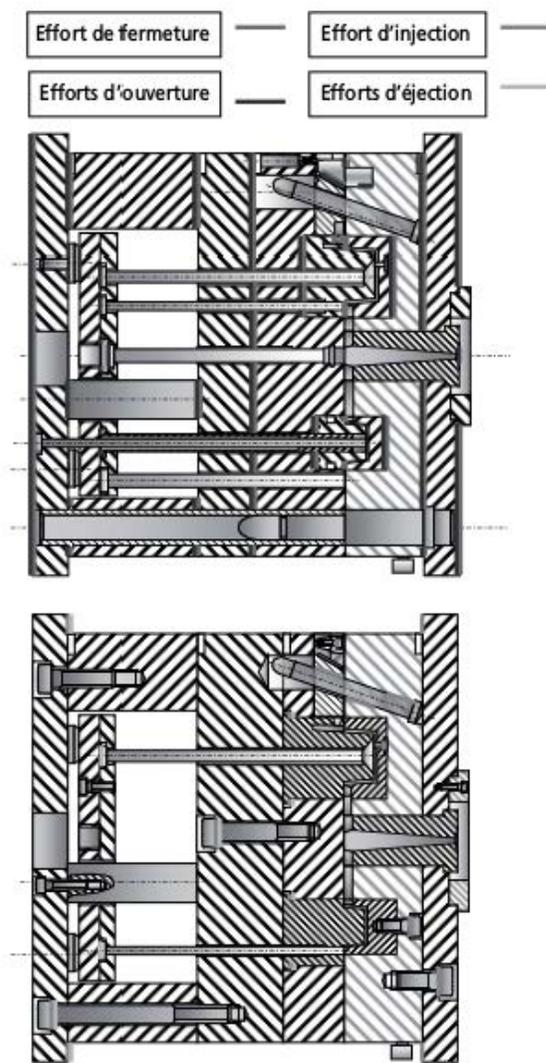


Figure 4.30 – Répartition des efforts dans le moule d'injection.

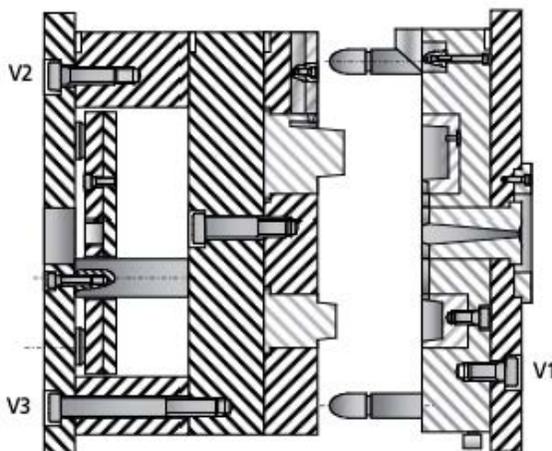


Figure 4.31 – Plan d'assemblage type d'un moule.

Pour fermer le moule, on le dispose à plat sur sa semelle de partie mobile (PM) et on place la PF en position dessus. Le moule se referme parfois violemment. Cette opération présente un risque certain pour les doigts ; c'est pourquoi elle doit être menée par un opérateur seul qui prendra garde à ne pas insérer ses doigts dans le plan de joint. Si le moule comporte des tiroirs, ceux-ci seront placés en position reculée avant la fermeture de l'outillage.

Démontage de la partie fixe (PF)

C'est une opération peu courante car la PF (qui ne comporte que rarement des éléments mobiles) nécessite peu d'entretien. On défait les vis V1 pour séparer la plaque semelle de la plaque porte-empreinte avec des pinces. Pour le démontage de la buse, après avoir démonté la rondelle de centrage, il est recommandé de placer la PF en appui sur la semelle entre deux longues cales en bois. On repousse la buse à l'aide d'un plot en bois tendre placé sur le plan de joint de la buse et que l'on frappe légèrement avec un maillet. Pour le démontage des blocs empreintes vissés, il faut retirer les vis d'assemblage et les remplacer par des vis plus longues qui serviront de poussoirs (frappées avec un maillet). Il faut noter que le démontage de joints du circuit de régulation oblige à nettoyer

parfaitement les surfaces de joints. Les joints qui peuvent être cisailés lors de leur remontage doivent être abondamment graissés.

Démontage de la batterie d'éjection

C'est une opération assez courante dans les cas de bris d'éjecteur, de grippage de la batterie, ou d'infiltration de matière. Il faut commencer par le démontage des vis V2 et V3 (repérées sur la figure 4.31). La batterie peut ensuite être retirée et désassemblée en maintenant les éjecteurs pointés vers le bas.

Le remontage se fait moule ouvert pour éviter tout contact des éjecteurs avec les surfaces moulantes de PF ou des tiroirs. Les éjecteurs sont placés dans la contre-plaque d'éjection et engagés dans leur logement. Ensuite chaque éjecteur est successivement poussé dans son alésage jusqu'à entrer dans le lamage de la contre-plaque. Enfin, la plaque d'éjection est vissée à la contre-plaque. Il faut noter qu'il est impossible de remettre les éjecteurs dans leurs alésages sans avoir désassemblé la batterie d'éjection. Les vis V2 et V3 sont toutes remises en place, puis serrées.

Démontage des tiroirs

C'est une opération fréquente qui peut être effectuée alors que le moule est monté sur les plateaux de la presse. On retire d'abord la butée de tiroir puis on tire sur le chariot selon sa direction de démoulage. Avant le remontage, il est impératif de vérifier la propreté des glissières et des surfaces de joints du chariot. Pour remonter le tiroir, on le remet en place, on fixe la butée et **on remet le chariot en position arrière**. Cette opération est indispensable pour éviter la rupture des doigts de démoulage lors de la fermeture du moule. La première fermeture de l'outillage s'effectue en basse vitesse et basse pression.

Démontage des blocs empreintes (BE) de partie mobile

Après démontage de la batterie d'éjection, les BE de la partie mobile sont démontés comme les BE de la partie fixe.

4.5 Bridage des outillages

4.5.1 Nombre et disposition des brides

Le nombre de brides nécessaire à la fixation de l'outillage dépend principalement de sa masse. Dans les cas où la partie fixe pèse moins de 20 kg, une paire de brides

sera suffisante. Lorsque la masse d'une partie du moule dépasse 250 kg, on fixe des points de blocage sous le moule afin d'empêcher son glissement accidentel sur le plateau. On peut aussi, dans ce cas, équiper la partie mobile de l'outillage d'une rondelle de centrage.

La disposition des brides ne doit pas gêner la mise en place de la régulation thermique du moule. Elle doit permettre une répartition équilibrée des efforts d'appui de la buse et d'éjection sur les brides. Les dispositions symétriques autour de l'axe de la presse (buse machine/vérin d'éjection) sont toujours correctes.

4.5.2 Mise en place d'une bride

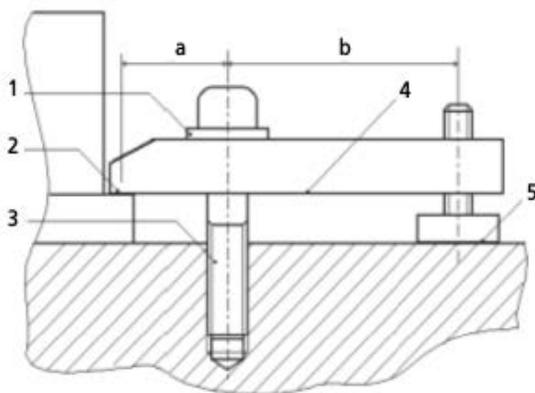


Figure 4.32 – Mise en place d'une bride.

1. On doit placer une rondelle épaisse sous la tête de la vis. Ainsi, lors du serrage, la rondelle ne sera pas fléchie par son appui entre les deux bords de la lumière de la bride. L'utilisation de plusieurs rondelles fines est inadéquate.
2. La surface d'appui de la bride sur la semelle du moule doit être importante afin d'éviter une déformation définitive du métal de la bride ou de la semelle.
3. L'implantation de la vis dans le plateau doit être d'au moins une fois et demie le diamètre nominal de la vis. De cette manière, si un effort de traction

trop important était appliqué à la vis, la rupture se produirait sur la section de la vis plutôt que par arrachement des filets.

4. La bride doit être disposée parallèlement au plateau, pour empêcher toute flexion de la vis lors du serrage.

5. La surface d'appui du talon de la bride sur le plateau doit être la plus importante possible pour prévenir l'apparition d'une déformation définitive du plateau.

6. Le rapport a/b doit être le plus petit possible. Ainsi, lorsque le trou de fixation est situé loin du talon du moule, on utilise des brides plus longues.

7. Les lumières des brides doivent être adaptées au diamètre des vis de fixation. Dans le cas contraire, la rondelle se déforme ainsi que le bord de la lumière. La bride n'assure pas une fixation correcte et sa déformation la rend inutilisable pour un usage normal.

8. Les brides doivent être placées d'une façon grossièrement perpendiculaire à l'outillage afin d'assurer la coplanéité des forces auxquelles elles sont soumises. Dans le cas contraire, la bride serait soumise à une sollicitation en torsion, nuisible à son efficacité.

9. Les vis de fixation doivent être serrées à l'aide d'un prolongateur (tube) afin de garantir un couple de serrage important. Le prolongateur sera manœuvré manuellement, sans efforts excessifs. Ainsi les vis de fixation pourront être desserrées sans difficulté. Le tableau 4.2 propose des longueurs de bras de levier selon les diamètres nominaux de vis.

Tableau 4.2 – Longueurs de bras de levier en fonction des diamètres de vis.

Diamètre de vis (en mm)	Longueur du levier (en mm)
10	200
12	300
14	400
16	500
20	800
24	1 200

4.5.3 Chronologie du bridage

- Positionnement du moule sur la partie fixe.
- Mise en place de la bride supérieure de partie fixe.
- Mise en place des autres brides de partie fixe.
- Serrage au tube des brides de partie fixe.
- Fermeture de la presse et réglage du verrouillage.
- Bridage de la partie mobile.
- Serrage au tube de toutes les brides.
- Ouverture du moule (enlever la bride de sécurité).

Remarque

Le démontage a lieu dans l'ordre strictement inverse.

4.5.4 Calcul de la force de serrage des vis et des brides

Cette formule empirique permet de calculer les efforts de serrage des vis en fonction de leurs géométries, du moment de vissage appliqué et des frottements :

$$S = \frac{2M}{d_m \tan \varphi + d_2 \tan \varphi' + \alpha}$$

avec :

S : tension dans la tige (effort de serrage),

M : moment de vissage,

d_m : diamètre moyen de la couronne d'appui de l'écrou,

d_2 : diamètre moyen du filetage,

$\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{\cos \beta}$, où β est le demi-angle au sommet du filet ($\beta = 30^\circ$),

α : angle d'indinaison de l'hélice, $\tan \alpha = \frac{\text{Pas}}{\pi \times d_2}$.

Dans les conditions de lubrification moyennes, on prend comme valeur pour les frottements $f = \tan \varphi = 0,15$ (0,20 à sec).

Le calcul de la force de serrage des différentes vis a été effectué pour un effort de vissage de 150 N au bout du levier, les longueurs de ce dernier étant égales à celles préconisées dans le tableau 4.2. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3 – Résultats du calcul de la force de serrage.

Diamètre d (en mm)	Effort de serrage S (tension dans la tige) (en kN)	Force à la limite élastique (en kN)	Force à la rupture (en kN)
10	15,4	33	42
12	19,5	49	61
14	22,3	67	84
16	24,6	92	115
18	28,3	112	140
20	31,6	144	180
24	42,9	180	225

Remarque

Les valeurs de force pour la limite élastique ont été calculées à partir des valeurs de contrainte pour une vis courante de classe 8.8, soit environ 640 MPa de contrainte limite élastique et 800 MPa de contrainte à la rupture, et appliquées aux sections minimales des noyaux des vis. Les valeurs montrent que l'ensemble des vis dans le cadre d'un serrage normal travaillent dans le domaine bas de leur domaine élastique, et que ceci est d'autant plus vrai que les vis sont grosses.

Pour obtenir les valeurs seuils de contraintes élastique et à la rupture des vis, il faut vous reporter à leur marquage, qui renseigne sur leur classe de qualité, conformément à la norme NF É 27-005 (figure 4.33).

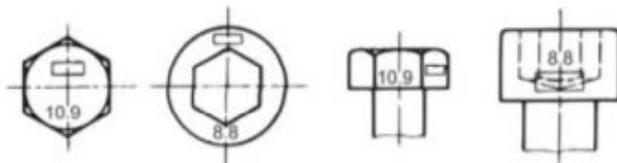


Figure 4.33 – Marquage des vis.

Le premier nombre multiplié par 100 donne la contrainte minimale de rupture à la traction en MPa.

Le produit des deux nombres multiplié par 10 donne la contrainte limite minimale d'élasticité à la traction en MPa.

Lors du bridage classique, l'effort de serrage S de la vis se répartit entre le talon de la bride et la plaque semelle du moule, le corps de la bride jouant le rôle de levier (figure 4.34).

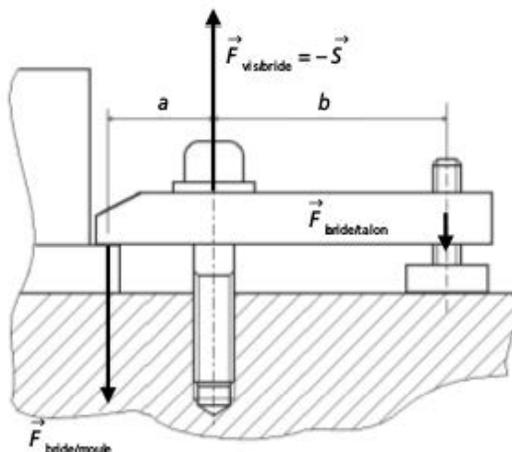


Figure 4.34 – Répartition de l'effort de serrage.

L'intensité de l'effort de serrage du moule sur le plateau par la bride est donc fonction de la position de la vis :

$$F_{\text{bride/moule}} = \frac{S \times b}{a + b}$$

4.5.5 Bridage rapide mécanique

Ce système est formé par des brides montées à demeure sur les plateaux de la presse (figure 4.35). Des coins poussés par des ressorts viennent serrer les plaques semelles de l'outillage sur les plateaux de la presse. Le déverrouillage est hydraulique : un vérin simple effet repousse les coins en arrière en comprimant les ressorts. Ce bridage nécessite une standardisation des dimensions des

plaques semelles. Il existe aussi des systèmes équivalents sans ressorts mais dotés d'un vérin double effet.

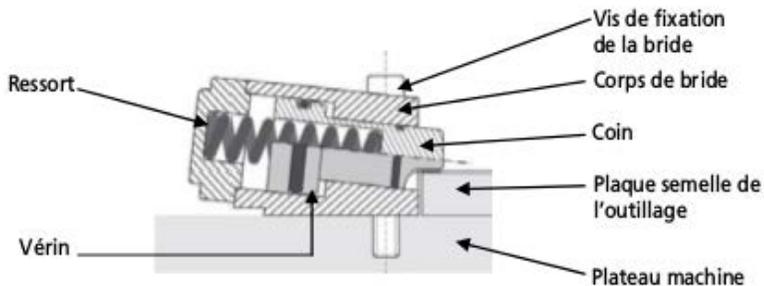


Figure 4.35 – Bridage rapide mécanique.

4.5.6 Bridage rapide magnétique

Le bridage magnétique représente la solution de bridage rapide la plus développée actuellement.

Le bridage magnétique est effectué grâce à des plateaux dans lesquels ont été intégrés des aimants permanents de maintien sur toute la surface utile (figure 4.36). Les plateaux magnétiques sont vissés à demeure sur les plateaux de la presse.

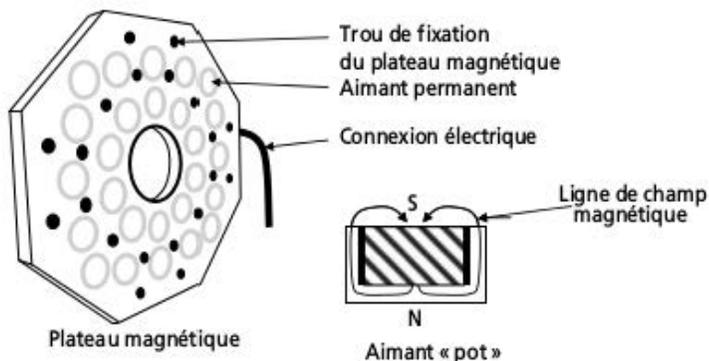


Figure 4.36 – Bridage rapide magnétique.

Les aimants de maintien ont pour mission de maintenir les objets qui sont posés sur eux. La forme de l'aimant privilégie donc la force d'attraction par rapport à l'effet en profondeur, ceci est obtenu en réduisant la distance entre les pôles.

Il faut penser, lors de l'équipement d'une presse en plateaux magnétiques, que l'on perd en épaisseur moule. En effet, la valeur de l'épaisseur des plateaux rapportés se retranche à l'espace disponible pour le moule. Si cette caractéristique limite l'emploi de moules épais et devient gênante, on peut, lors de l'achat d'une presse neuve, anticiper et la faire rallonger afin de compenser les surépaisseurs des plateaux rapportés.

■ Principe général de fonctionnement

Chaque élément d'aimantation est constitué de l'empilement d'un aimant permanent qui crée la force de bridage de l'outillage et d'un électroaimant situé en dessous (figure 4.37). Lors du montage ou du démontage des outillages, on fait passer un courant continu dans la bobine afin de créer un champ magnétique qui s'oppose et annule celui du champ permanent. Lorsque l'on veut activer le bridage, il suffit de couper le courant et il ne reste plus que le champ de l'aimant permanent. Ce dernier attire l'outillage contre le plateau.

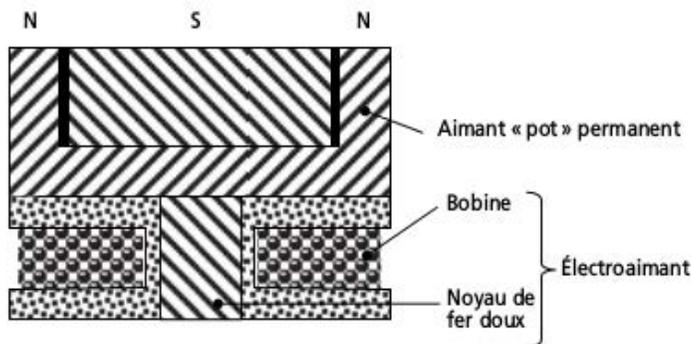


Figure 4.37 – Schéma de fonctionnement d'un élément d'aimantation.

La figure 4.38 donne l'allure typique de l'évolution de la force d'attraction d'un aimant de type « pot » en fonction de sa distance à l'objet à attirer.

On constate que la force chute rapidement avec la distance. Il faut donc prendre soin de ne monter que des moules dont les semelles sont propres et planes. Attention aux moules dont les semelles sont déformées et calaminées, le bridage ne serait pas garanti !

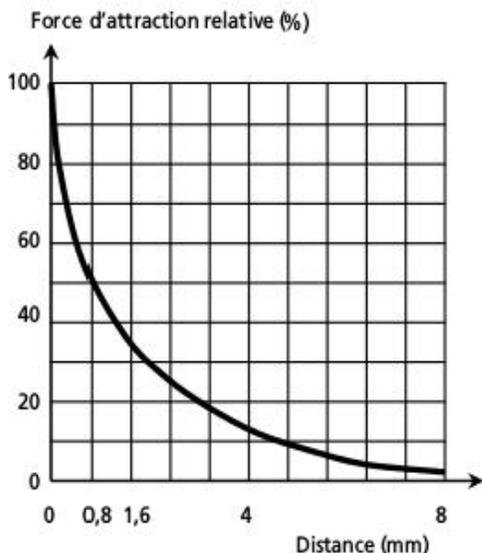


Figure 4.38 – Évolution de la force d'attraction en fonction de la distance.

Pour connaître la force d'attraction maximale de chaque élément, veuillez vous référer à la documentation du fabricant. L'ordre de grandeur est de plusieurs centaines de daN par élément, ce qui est largement suffisant pour supporter le poids des outillages.

Les plateaux magnétiques ne peuvent évidemment pas recevoir d'outillages équipés de plaques isolantes sur les semelles.

De plus, les constructeurs donnent une température maximale d'utilisation très variable, d'environ 100 à 250 °C pour les matériels standard, qui est fonction de la technologie d'aimant utilisée. Il faut donc bien se renseigner avant l'équipement pour des productions qui réclament des températures d'outillage élevées. En effet, plus on se rapproche de la température de Curie

du matériau ferromagnétique, plus on risque une désaimantation et donc un débridage accidentel en cours de production.

Les plateaux magnétiques récents intègrent une surveillance continue de la force d'aimantation, ce qui permet de prévenir les accidents.

4.6 Régulateurs de température

4.6.1 Définition

Les régulateurs de température d'outillage ont pour objectif de maintenir les empreintes des outillages à température constante, au moins supérieure de 20 °C à la température de l'eau de refroidissement de l'atelier de production. Une température élevée a pour conséquences :

- un meilleur nappage qui facilite l'écoulement de la matière dans l'empreinte lors du remplissage et améliore l'aspect de surface du produit moulé ;
- un retrait plus homogène lors du refroidissement des matières semi-cristallines.

4.6.2 Principe du régulateur à cuve ouverte

Ce type de régulateur, dans lequel le fluide caloporteur est indifféremment de l'eau ou de l'huile thermique, comporte deux circuits indépendants (tableau 4.4 et figure 4.39) :

- le premier fait circuler le fluide caloporteur dans l'outillage à l'aide d'une pompe (11). Le fluide est stocké dans une cuve (ou plusieurs) chauffée par des résistances électriques (9) ;
- le second refroidit le contenu de la cuve lorsque la température du fluide caloporteur revenant de l'outillage est trop élevée (3-5).

Tableau 4.4 – Éléments du régulateur de température à cuve ouverte.

Repère fig. 4.39	Désignation	Fonction et remarques
1	Cuve	Stockage du fluide caloporteur
2	Flotteur	Contrôle le niveau du caloporteur

Tableau 4.4 – Éléments du régulateur de température à cuve ouverte. (Suite)

3	Électrovanne de remplissage	Assure le remplissage initial et les remises à niveau
4	Arrivée d'eau froide (réseau atelier)	Les électrovannes ont un sens de passage du flux
5	Départ d'eau froide (réseau atelier)	Les électrovannes ont un sens de passage du flux.
6	Refroidisseur (serpentin)	
7	Électrovanne de refroidissement	Commandée pour refroidir le fluide caloporteur
8	Résistances de chauffage	Commandée pour chauffer le fluide caloporteur
9	Sonde de température (thermocouple)	Mesure la température du fluide caloporteur
10	Régulateur électronique	Selon l'état de la sonde 9, il commande le refroidissement ou le chauffage
11	Pompe	Envoie le fluide caloporteur vers l'outillage
12	Départ du caloporteur vers l'outillage	
13	Retour de caloporteur	Le fluide caloporteur revient de l'outillage par cette entrée
14	Moule	
15	Trop-plein	Évacue le trop-plein d'eau de la cuve

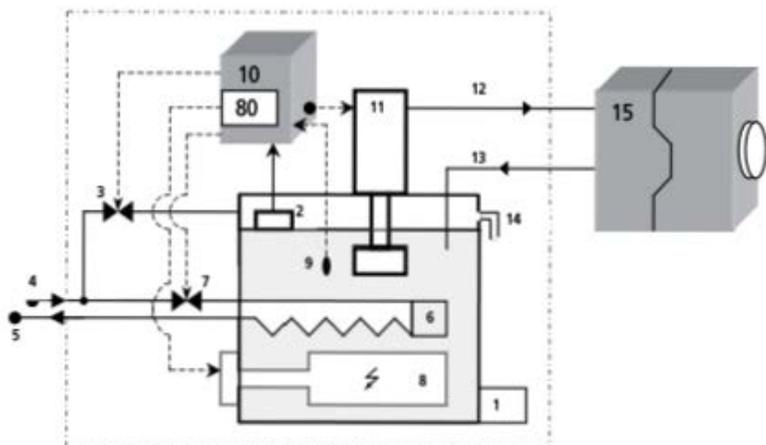


Figure 4.39 – Schéma de principe du régulateur de température à cuve ouverte.

4.6.3 Précautions d'emploi du régulateur à cuve ouverte

Il faut contrôler le niveau de fluide caloporteur avant de mettre ce type de régulateur en fonctionnement. Un défaut de fluide entraîne une détérioration de la pompe, qui est l'élément le plus cher du système. Les régulateurs modernes sont équipés d'un système d'alarme de niveau de fluide.

Le sens de circulation de l'eau de refroidissement doit être respecté car les électrovannes sont unidirectionnelles.

Certains régulateurs disposent d'une remise à niveau automatique du niveau de fluide ; dans ce cas le fluide caloporteur est uniquement de l'eau.

4.6.4 Différents régimes de travail du régulateur à cuve ouverte

■ Régime de remplissage

La pompe 11 est à l'arrêt, la résistance 8 est hors tension, l'électrovanne de refroidissement 7 est fermée. L'électrovanne de remplissage 3 est ouverte jusqu'à

ce que 2 capte le niveau d'eau voulu (on peut en vérifier le bon fonctionnement en visualisant la consommation d'eau au travers du débitmètre de la boîte à eau).

■ Régime de chauffage

La pompe 11 tourne et fait circuler le fluide caloporteur dans le moule. La résistance 8 chauffe jusqu'à ce que la sonde 9 capte la température demandée par le régulateur électronique 10. L'électrovanne 7 est fermée (pas de circulation dans le circuit de refroidissement).

■ Régime de refroidissement

La pompe 11 tourne et fait circuler le fluide caloporteur. La résistance 8 n'est pas alimentée et l'électrovanne 7 est ouverte jusqu'à ce que la sonde 9 mesure la température demandée par le régulateur électronique 10.

■ Régime stabilisé

La pompe 11 tourne, la résistance 8 n'est pas alimentée et l'électrovanne 7 est fermée. Tant que la sonde 9 mesure une température identique à celle demandée par le régulateur électronique 10, alors 7 et 8 restent inactifs.

4.6.5 Principe du régulateur à cuve sous pression

Dans ce type de régulateur, le fluide caloporteur est impérativement de l'eau. La cuve contient de l'eau sous pression (3 à 6 bar), dont la circulation est assurée par une pompe. Lorsque la température de la cuve devient trop élevée, un régulateur électronique de température (6) va faire sortir de l'eau chaude de la cuve. En réaction, le pressostat (8) va provoquer le complément du niveau de la cuve par de l'eau froide (figure 4.40 et tableau 4.5).

Remarque

La figure 4.40 est donnée à titre indicatif, de nombreuses variantes existent avec et sans cuve (dans ce cas on parle d'*appareil à refroidissement direct*). Pour faciliter la lecture, tous les organes n'ont pas été représentés.

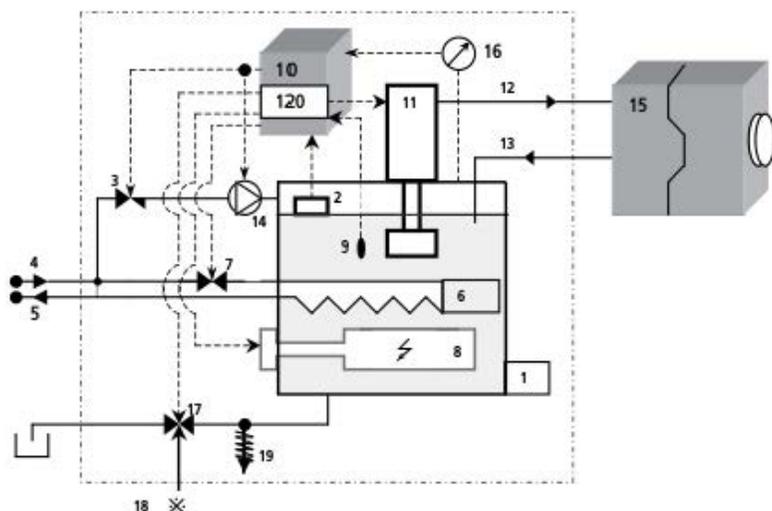


Figure 4.40 – Schéma de principe du régulateur de température à eau pressurisée.

Tableau 4.5 – Éléments du régulateur de température à eau pressurisée.

Repère fig. 4.40	Désignation	Fonction et remarques
1	Cuve	Stockage du fluide caloporteur
2	Flotteur	Contrôle le niveau du caloporteur
3	Électrovanne de remplissage	Assure le remplissage initial et les remises à niveau
4	Arrivée d'eau froide (réseau atelier)	Les électrovannes ont un sens de passage du flux
5	Départ d'eau froide (réseau atelier)	Les électrovannes ont un sens de passage du flux

Tableau 4.5 – Éléments du régulateur de température à eau pressurisée. (Suite)

6	Refroidisseur (serpentin)	
7	Électrovanne de refroidissement	Commandée pour refroidir le fluide caloporteur
8	Résistances de chauffage	Commandée pour chauffer le fluide caloporteur
9	Sonde de température (thermocouple)	Mesure la température du fluide caloporteur
10	Régulateur électronique	Selon l'état de la sonde 9, il commande le refroidissement ou le chauffage
11	Pompe	Envoie le fluide caloporteur vers l'outillage
12	Départ du caloporteur vers l'outillage	
13	Retour de caloporteur	Le fluide caloporteur revient de l'outillage par cette entrée
14	Pompe de remplissage	Assure la mise à niveau lorsque la pression de la cuve est supérieure à celle du réseau de l'atelier
15	Moule (consommateur)	
16	Manomètre	Indique la pression statique du système
17	Électrovanne de dépressurisation	Pilotée automatiquement et (ou) manuellement
18	Bouton poussoir de dépressurisation	Ouvre manuellement l'électrovanne de dépressurisation
19	Soupape de sécurité	S'ouvre si la pression dans le circuit est trop élevée

4.6.6 Raccordement du régulateur

Pour utiliser un régulateur de température d'outillage (figure 4.41), la série de consignes suivantes doit être appliquée :

- les raccords rapides doivent être démontés et remontés manuellement, sans l'aide d'aucun outil ;
- les tuyaux PVC (type Tricodair) ne doivent pas transporter de fluide dont la température excède 60 °C ;
- les tuyaux en élastomère ne doivent pas transporter de fluide dont la température excède 110 °C ;
- pour les températures supérieures à 110 °C, le fluide caloporteur préconisé est l'huile thermique. Les raccords à l'outillage doivent être blindés et la connexion du circuit extérieur sécurisée (risque d'éclatement des tuyaux, risque de détérioration du groupe de froid) ;
- la pression minimale du réseau de refroidissement est de 0,5 bar pour assurer l'ouverture effective des électrovannes ;
- lorsque le circuit régulé présente de fortes variations de section, on préférera utiliser un régulateur à cuve sous pression ;
- on évite dans la mesure du possible de mettre les circuits de régulation en série afin de maintenir un écoulement turbulent dans les canaux de l'outillage. La pompe centrifuge du régulateur ne peut assurer de gros débits que lorsque les pertes de charge du circuit sont faibles ;

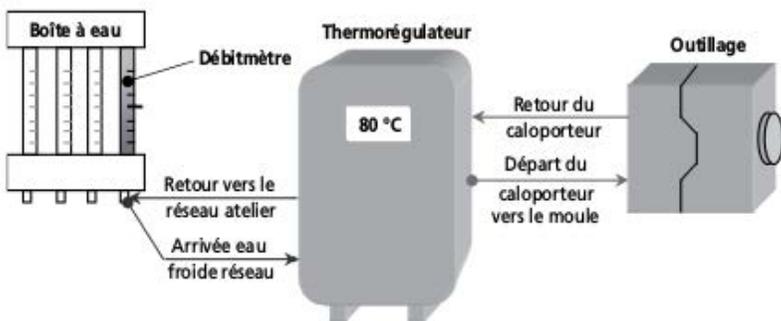


Figure 4.41 – Raccordement d'un régulateur de température pour une régulation à moins de 110 °C.

- il faut respecter les branchements de régulation indiqués sur la fiche de réglage, la fiche d'outillage ou l'outillage lui-même. En cas d'absence de repérage, appliquer les règles suivantes :
 - le fluide caloporteur entre dans la partie fixe, puis passe dans la partie mobile,
 - les entrées de fluide sont situées à un niveau plus bas que les sorties.

4.6.7 Raccords rapides

■ Principe

La connexion s'effectue très simplement en enfonçant le raccord mâle dans le raccord du moule (femelle) (figure 4.42). Il faut tenir le raccord par la pipe pour effectuer cette opération. Avant d'alimenter le circuit, il est impératif de tirer fermement sur chaque tuyau pour vérifier son bon verrouillage.

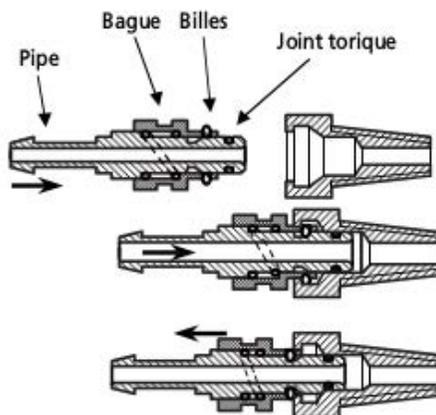


Figure 4.42 – Raccords rapides.

À ce stade, le dispositif est verrouillé et le fluide caloporteur peut circuler. Plus la pression est élevée dans le circuit, plus la pipe est repoussée vers l'arrière ; le dispositif anti-recul de la pipe n'a pas été représenté sur les schémas afin de simplifier leur lecture.

On déconnecte le raccord en l'enfonçant. Il faut pousser la pipe avant de tirer la bague vers soit pour que les billes de verrouillage se logent dans la gorge et libèrent le raccord mâle.

Remarque

Toutes les opérations décrites ci-dessus s'effectuent manuellement. Les outils tels que les tournevis, les pinces... sont proscrits.

■ Étanchéité des raccords rapides

Les fuites de circuit de régulation doivent être recherchées et supprimées ; en effet, elles détériorent les outillages et sont une cause de non-conformité des produits (pièces souillées ou incomplètes lorsque l'eau ruisselle dans l'empreinte). Lors de chaque intervention, le monteur de moule examine chaque raccord pour déceler une fuite éventuelle (figure 4.43). Il faut noter que beaucoup de fuites ne sont détectables que dix minutes après la mise en circulation du fluide.

- Fuite dans la zone 1 : resserrer ou changer le collier de serrage, sinon recouper le tuyau et le réinstaller sur la pipe.
- Fuite dans la zone 2 : il faut déconnecter le raccord rapide, vérifier l'état du joint torique et le changer si nécessaire. Si le joint paraît en bon état, on peut nettoyer l'intérieur du raccord femelle et graisser le joint avant de reconnecter le raccord.
- Fuite dans la zone 3 : il convient de démonter le raccord rapide femelle et de vérifier qu'il n'a pas été détérioré par un serrage excessif (les raccords sont réalisés en laiton chromé, et sont très fragiles malgré les apparences).

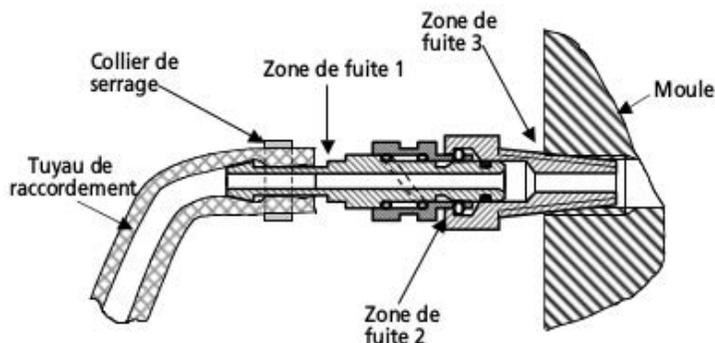


Figure 4.43 – Étanchéité des raccords rapides.

Le remontage se fera avec de la bande d'étanchéité Téfalon en épaisseur suffisante et en respectant le sens d'enroulement (figure 4.44).

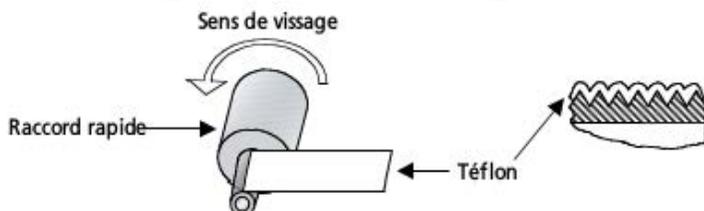


Figure 4.44 – Détail de la répartition du Téfalon sur les filets des raccords.

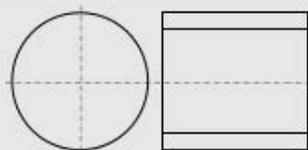
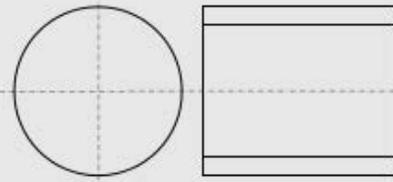
Remarque

Les raccords rapides femelles disposent d'un filet spécialement adapté à l'étanchéité, c'est un filetage de tube à gaz. Le tableau 4.6 présente les caractéristiques dimensionnelles des filetages « gaz » et leurs désignations. Les dessins sont à l'échelle 1/1, ce qui permet, en posant un raccord fileté dessus, de retrouver avec facilité les données qui lui correspondent. Ce tableau est aussi reproduit en toute fin d'ouvrage, au verso de la couverture.

Tableau 4.6 – Dimensions et désignations des filetages « gaz » de raccordement des circuits de régulation thermique.

Dimension Dessin à l'échelle 1/1	Diamètre extérieur en mm	Désignation en pouces	Désignation en mm	Diamètre de perçage avant taraudage en mm
	9,728	1/8 gaz	5/10	8,6
	13,157	1/4 gaz	8/13	11,4

Tableau 4.6 – Dimensions et désignations des filetages « gaz » de raccordement des circuits de régulation thermique. (Suite)

	16,662	3/8 gaz	12/17	15
	20,955	1/2 gaz	15/21	18,6

4.6.8 Régulation des outillages

La qualité de l'échange de chaleur entre le fluide de régulation et le moule dépend du débit du fluide dans les canaux. Il existe un débit minimal en dessous duquel la régulation de température est inefficace. Le tableau 4.7 indique les débits minimaux nécessaires à un refroidissement correct. Pour mesurer le débit, il suffit de chronométrer la durée nécessaire au remplissage d'un récipient de volume connu (un seau de 5 l ou une bouteille par exemple).

Tableau 4.7 – Régulation des outillages : débit d'eau (en l/min) assurant un flux turbulent ($Re = 3\ 500$) en fonction des diamètres du circuit de refroidissement.

T° eau	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
Diamètre						
Diamètre 8	2,2	1,32	0,79	0,56	0,45	0,40
Diamètre 10	2,8	1,65	0,99	0,71	0,57	0,49
Diamètre 12	3,4	1,97	1,19	0,85	0,68	0,59
Diamètre 14	4,0	2,30	1,39	0,99	0,79	0,69

4.6.9 Circuit de refroidissement

Une source de refroidissement est indispensable au fonctionnement d'un atelier de production. Les presses utilisent de l'eau réfrigérée pour éviter un échauffement progressif de la goulotte et pour refroidir l'huile hydraulique. Les outillages sont aussi régulés grâce à ce circuit, soit en les raccordant directement à la boîte à eau, soit par l'intermédiaire d'un thermostat.

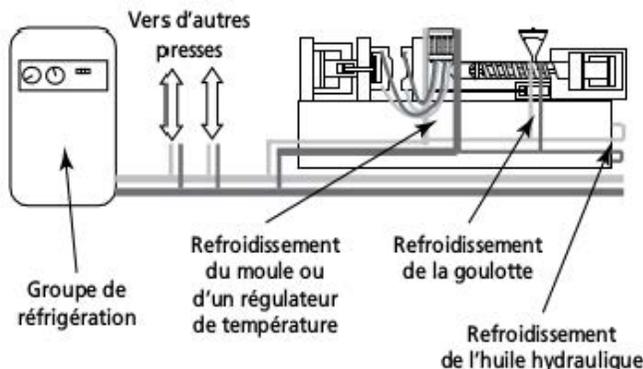


Figure 4.45 – Schéma de principe de la circulation d'eau réfrigérée.

4.7 Moulage en canaux chauds

4.7.1 Principe

L'impératif de réduction des déchets a amené un développement important des systèmes à canaux chauds. Le principe consiste à faire circuler la matière de la buse machine jusqu'à l'empreinte par un conduit chauffé dans lequel la matière ne se solidifie pas. On évite ainsi de produire des carottes dont le recyclage est onéreux. Il existe deux grandes familles de canaux chauds.

4.7.2 Canaux isolés

Ils sont aussi appelés *canaux chauds en bloc froid*. Le chauffage est assuré par des éléments noyés dans la matière, et la gaine solide refroidie au contact du

moule sert d'isolant et empêche la solidification à cœur de l'écoulement. La stagnation inévitable de la matière fondue restreint l'utilisation de ce type de canaux aux matières peu sensibles à la dégradation (styréniques et polyoléfines essentiellement). En cas de pollution des canaux, une surchauffe (+ 60 °C) momentanée associée à une purge des canaux nettoie les busettes de chauffage et renouvelle partiellement la gaine solide.

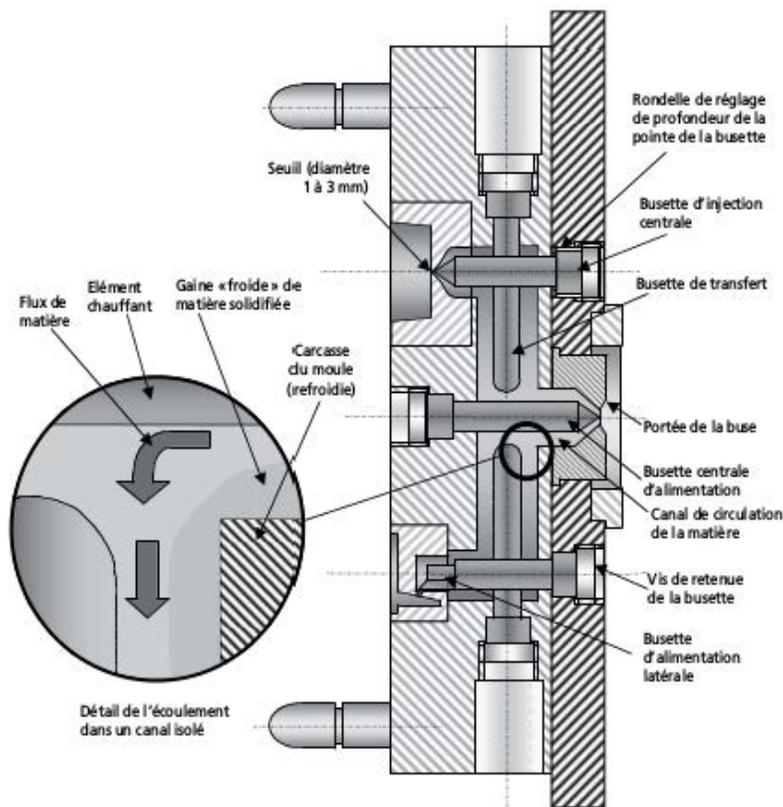


Figure 4.46 – Schéma de principe de l'alimentation en canaux isolés (partie fixe du moule seule).

Remarque

Pour simplifier la lecture de la figure 4.46, certains éléments ont été omis : plans de joints nécessaires au nettoyage, circuits de refroidissement, passages des fils d'alimentation, etc.

4.7.3 Canaux chauds en blocs chauds

Plusieurs familles de conception existent, et dans tous les cas la matière circule dans un canal dont les parois sont à température de transformation. De ce fait, il existe peu de zones de stagnation de la matière fondue, ce qui permet de transformer quasiment toutes les matières. Par contre, la différence de température entre la carcasse du moule et les blocs chauds, ainsi que les pressions élevées dans les canaux, augmentent la complexité de l'outillage, et donc son prix. La limite de pression d'injection sera réglée à 50 % du maximum lors du démarrage du moule car un surdosage accidentel risque de détériorer les blocs chauds. Pour purger les canaux, la pression sera aussi réduite.

Remarque

Pour simplifier la lecture de la figure 4.47, certains éléments ont été omis : circuits de refroidissement, passages des fils d'alimentation, etc.

4.7.4 Connexions

Les canaux chauds compliquent sensiblement l'installation de production et nuisent à sa stabilité. La capacité du procédé diminue, alors que la variance inter-empainte augmente car un tel procédé ne garantit pas des conditions d'écoulement invariables entre la buse machine et les seuils. Les puissances maximales des éléments chauffants de systèmes à canaux chauds correspondent à des densités thermiques importantes ($> 10 \text{ W/cm}^2$) nécessaires au fonctionnement d'un système à fort différentiel de température (blocs chauds dans un outillage froid). De ce fait les éléments chauffants sont facilement générateurs de points chauds qui réduisent leur durée de vie. Les systèmes électroniques de régulation de température pour canaux chauds, dont un schéma de principe est présenté sur la figure 4.48, sont particulièrement précis. Ils fournissent des puissances de chauffage variables, s'adaptent automatiquement aux conditions thermiques en présence (disposition des canaux et des sondes, masses à chauffer), et réduisent les chocs thermiques à l'aide de procédures de démarrage préétablies.

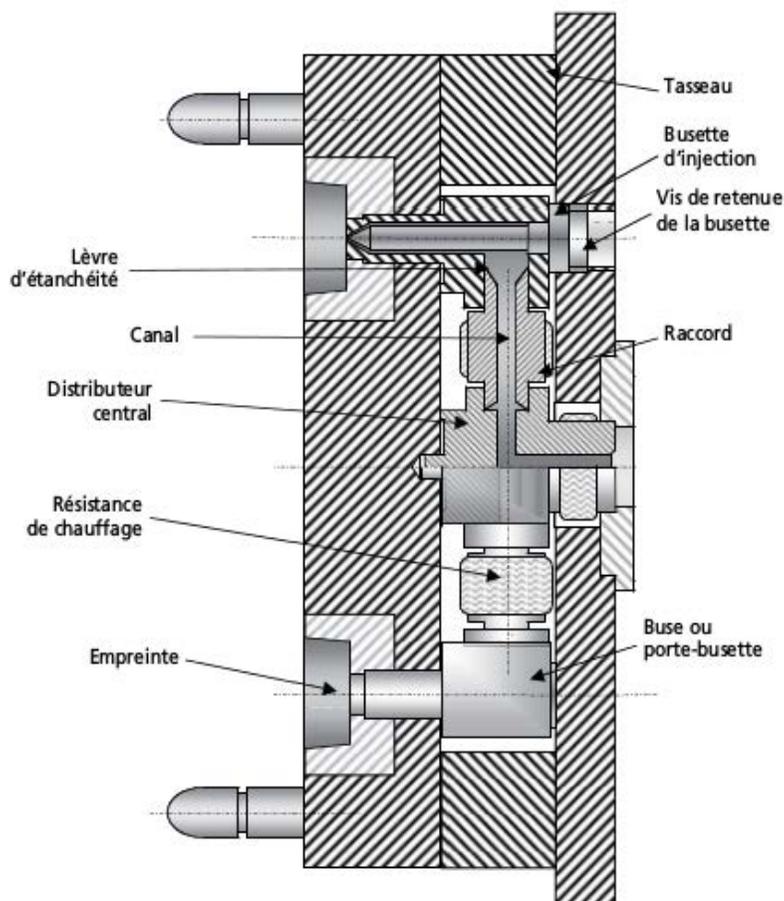


Figure 4.47 – Schéma de principe de l'alimentation en blocs chauds (partie fixe du moule seule).

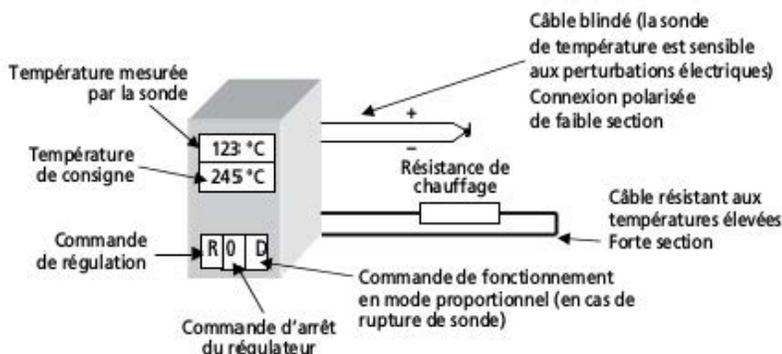


Figure 4.48 – Schéma de principe du système électronique de régulation de température d'un canal chaud.

Les correspondances entre les circuits de matière du moule et chaque bloc de régulation électronique doivent être repérées de façon claire et univoque. Quatre conducteurs sont connectés sur chaque bloc de régulation : les deux de plus forte section alimentent l'élément chauffant, les deux fils plus fins sont raccordés à la sonde de mesure de température (thermocouple de type J).

Pour vérifier l'élément chauffant, on mesure la résistance électrique (en Ω) entre les deux fils d'alimentation, puis on la compare avec sa valeur théorique :

$$R_{\text{théorique}} = \frac{220 \times 220}{\text{Puissance en W}}$$

La valeur mesurée doit être comprise entre plus ou moins 10 % de la valeur théorique. On mesure ensuite la résistance entre la carcasse du moule et un fil d'alimentation de l'élément chauffant, elle doit être supérieure à 50 000 Ω .

Pour vérifier la sonde, il faut d'abord contrôler sa polarité ; le fil positif se raccorde à la borne + du bloc de régulation. Ce fil est de couleur jaune (norme française) ; en cas de doute, on peut le reconnaître à l'aide d'un aimant car il est magnétisable (à l'inverse du fil négatif). La résistance entre les deux fils de la sonde doit être inférieure à 30 Ω . À chaud, la tension (E_{em}) mesurée à la sortie de la sonde est comprise entre 5 et 12 mV (à mesurer avec un voltmètre électronique).

Remarques

1. La plupart des régulateurs récents peuvent continuer de fonctionner en cas de rupture de sonde, ils fournissent alors à l'élément chauffant la puissance moyenne appliquée avant l'incident. Ce mode de fonctionnement dégradé ne peut être que provisoire et augmente visiblement la dispersion des caractéristiques du produit fabriqué.
2. Pour prolonger les fils de la sonde, il faut utiliser un câble spécial (câble de compensation).

4.7.5 Mode opératoire de démarrage

Les systèmes à canaux chauds ne sont vraiment fonctionnels qu'en mode automatique, c'est-à-dire lorsqu'un passage régulier de matière fondue équilibre les températures entre les différentes zones. Au démarrage, la matière qui stagne près des éléments chauffants se décompose, celle qui reste dans les points plus froids (comme le seuil d'injection) forme des bouchons plus ou moins difficiles à évacuer. On peut schématiser la procédure de démarrage par la courbe de température suivante (figure 4.49).

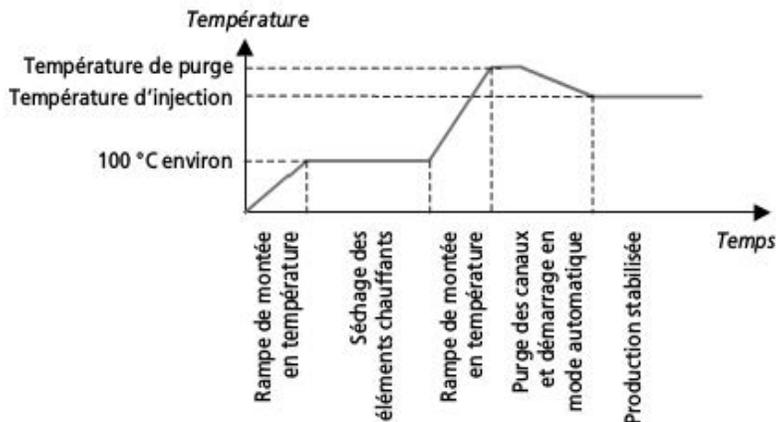


Figure 4.49 – Évolution des consignes de température lors du démarrage d'une alimentation par canaux chauds.

La température de purge se situe de 20 à 50 °C au-dessus de la température d'injection. La purge de canaux est réalisée selon la procédure suivante :

- Fermeture du moule et approche de l'unité d'injection.
- Ouverture du moule, mise en place d'une feuille de carton pour protéger les empreintes de partie mobile et éventuellement de partie fixe.
- Injection à pression réduite (de 30 à 60 % du maximum de la presse) à travers les canaux. Il existe un risque important de projection de matière fondue. Une protection des opérateurs s'avère indispensable pour les matières thermosensibles (PA, POM, etc.).
- Récupération de la matière purgée : des jets de gaz et/ou de matière sont fréquents en face des busettes d'alimentation. L'opérateur veille à ne jamais placer ses mains en face des zones à risque.
- Démarrage en mode automatique (les premières moulées seront rebutées) et baisse des températures des busettes.

Si l'opération de purge ne se fait pas correctement, on peut augmenter encore la température des busettes de 10 °C en 10 °C. Au-delà de 80 °C au-dessus de la température normale de fonctionnement, il faut vérifier le bon fonctionnement électrique de l'ensemble du système ainsi que l'adaptation de la matière moulée au système de canaux chauds de l'outillage. Il faut noter qu'une augmentation trop importante de la température est inefficace car elle dilate parfois les busettes jusqu'à obturation des seuils.

4.7.6 Particularités de réglage

Les canaux chauds induisent un défaut de maîtrise de la vitesse de remplissage. Des effets de gouttes froides accroissent la pression dans les canaux en début d'injection et provoquent parfois un défaut de flash (givrage en étoile centré sur le seuil). Ce phénomène se visualise sur la courbe des pressions de remplissage par l'apparition de multiples « puits » et « pics » en cours d'injection.

Un effet d'amortissement des changements de vitesse d'injection, car les thermoplastiques sont compressibles dans les canaux, perturbe le contrôle de l'écoulement ; ce phénomène peut être amplifié par des déformations des canaux.

Les pertes de charge dans les canaux sont loin d'être négligeables : le régleur doit toujours garder à l'esprit que les pressions d'injection ou de maintien vont engendrer de fortes contraintes dans les canaux. Les maintiens à pression

croissante sont proscrits et on ne peut pas se fier à la position de la vis pour réaliser un profil de maintien isochore.

Le dosage est précédé d'une courte succion afin de décompresser la matière dans les canaux chauds. Une décompression insuffisante génèrera un écoulement de matière dans l'empreinte à l'ouverture du moule (voir défaut de surmoulage d'un fil).

4.8 Opérations courantes

4.8.1 Arrêt de la presse

- Fermer la goulotte.
- Attendre que la machine ne puisse plus doser.
- Passer en manuel, ouvrir le moule, éjecter la pièce. Les deux dernières moulées sont rebutées.
- Fermer le moule et purger la presse, si nécessaire.
- Ouvrir le moule, mettre un agent protecteur sur les empreintes, puis fermer le moule sans le verrouiller.
- Couper le moteur, couper le chauffage (fourreau + moule), sectionner l'armoire électrique.
- Après refroidissement du fourreau, on pourra couper le circuit de refroidissement de la goulotte.

4.8.2 Nettoyage d'un broyeur (figure 4.50)

- Mettre le broyeur hors tension, le débrancher.
- Dévisser la vis de verrouillage de la chambre de broyage (1).
- Mettre des gants de protection, ouvrir la chambre (2) et retirer la grille (3).
- Nettoyer la grille, puis les lames (4) en gardant les gants.
- Ne pas utiliser l'air comprimé pour le nettoyage. Si l'utilisation de l'air est indispensable, l'opération doit s'effectuer hors de la zone de production (pour ne pas polluer la matière environnante), et l'opérateur doit s'équiper de lunettes de protection.
- Remettre la grille en place et vérifier l'état des couteaux et des contre-lames (5).
- Refermer la chambre de broyage.

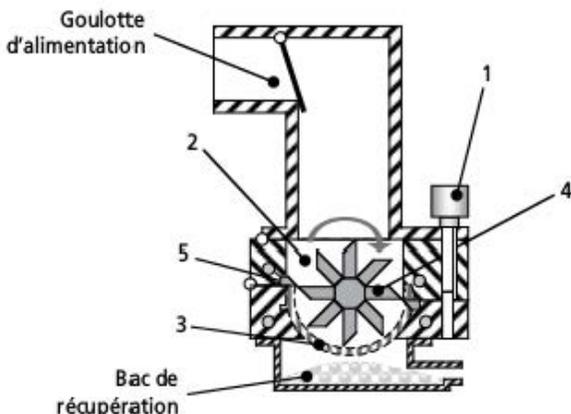


Figure 4.50 – Nettoyage d'un broyeur.

4.8.3 Stockage de la matière

Les matières thermoplastiques à mouler doivent être stockées dans un lieu sec et à l'abri de la lumière.

Sur chaque unité de conditionnement est inscrit le nom et la référence de la matière, ainsi que le numéro du lot de fabrication dont elle fait partie. La vérification de la référence, avant le moulage, est indispensable. Diverses procédures internes aux entreprises obligent à relever le numéro de lot afin d'assurer la traçabilité du produit. Les matières ne nécessitant pas d'étuvage doivent être amenées à la température de l'atelier avant l'ouverture du sac ou du container (pour éviter la condensation d'eau sur les granulés).

4.8.4 Préparation de la matière

Nombre de matières plastiques absorbent l'humidité de l'air, ce qui ne modifie généralement pas leurs caractéristiques, mais la vaporisation de l'eau à température de transformation va créer des défauts inacceptables. Il faut sécher certaines matières avant le moulage ; ce travail est confié à une étuve. Les durées et les températures d'étuvage sont très variables d'une matière à l'autre ; les conditions d'étuvage sont indiquées dans les fiches matières.

La figure 4.51 présente une trémie étuve. Industriellement, ces appareils (placés sur la presse à la place de la trémie) servent le plus souvent à limiter la reprise d'humidité d'une matière déjà étuvée.

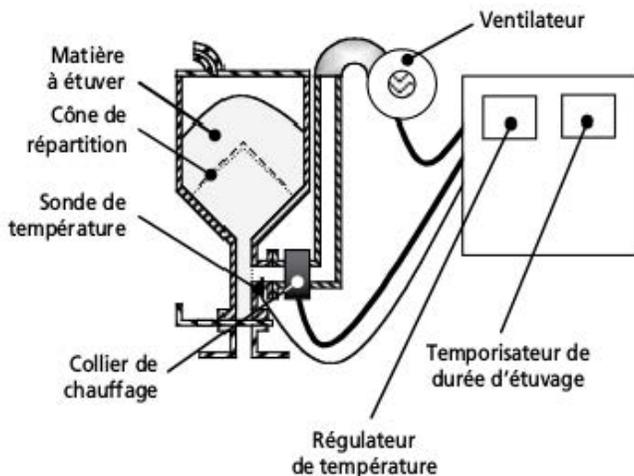


Figure 4.51 – Trémie étuve.

4.8.5 Réglage d'un colorateur à vis ou à barillet

- Mettre le colorant dans le colorateur.
- Faire X tours de vis (ou X godets de barillet) en recueillant le colorant obtenu.
- Peser le colorant (ainsi qu'une moulée, si nécessaire).
- Le nombre de tours (ou de godets) à régler est :

$$\text{Nombre de tours} = \frac{\text{Masse de la moulée} \times X \times \% \text{ désiré de colorant}}{100 \times \text{Masse de colorant pesée}}$$

Remarque

Si la carotte est broyée et réincorporée immédiatement, on pèsera les pièces seules (et non la moulée).

5 • PRINCIPE DE L'INJECTION

5.1 Phase de remplissage

5.1.1 Principes de l'écoulement

La qualité de l'écoulement de la matière dans l'empreinte conditionne l'aspect et, parfois, les qualités mécaniques des pièces moulées. La figure 5.1 présente les zones caractéristiques de la progression de la matière dans le moule.

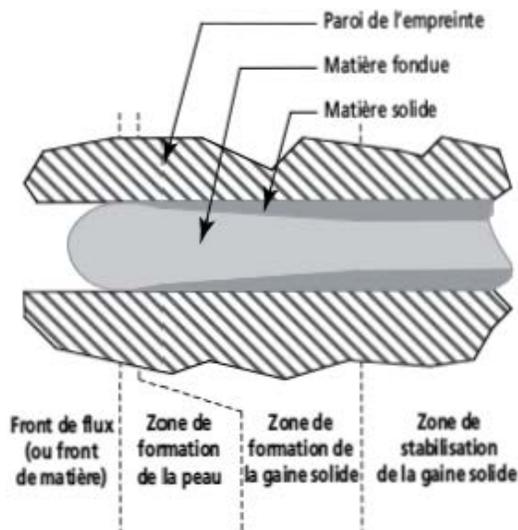


Figure 5.1 – Zones caractéristiques de la progression de la matière dans le moule.

■ Front de flux (ou front de matière)

Dans cette zone la température de la matière ($- T^{\circ}$ d'injection) est la même partout. La matière circule simultanément de l'arrière vers l'avant et du centre du flux vers la surface de l'empreinte (écoulement en fontaine).

■ Zone de formation de la peau

Un film de matière amorphe se forme instantanément lors du contact de la matière fondue contre l'empreinte. Le refroidissement très rapide de la matière génère d'importantes contraintes et conditionne l'aspect final de la pièce.

■ Zone de formation de la gaine solide

Une gaine de matière solidifiée apparaît sur la paroi de l'empreinte. Cette gaine solide s'épaissit au cours du temps, réduisant progressivement le passage disponible pour l'écoulement de la matière fondue.

■ Zone de stabilisation de la gaine solide

L'écoulement de la matière dans une section réduite provoque un échauffement qui empêche l'épaississement progressif de la gaine solide. Cette zone n'existe pas toujours, selon les vitesses d'injection et les épaisseurs de pièces.

5.1.2 Répartition des vitesses et des pressions

Chaque flèche (ou vecteur) représentée sur la figure 5.2 représente la vitesse et la direction de l'écoulement de la matière fondue. Il faut remarquer que la vitesse est nulle contre la paroi de l'empreinte. Lorsque, dans une même section de l'empreinte, les trajectoires de chaque particule de matière sont parallèles, l'écoulement est « laminaire ». L'écoulement est donc laminaire dans les zones de formation de la peau, de formation de la gaine solide et de stabilisation de la gaine solide.

- **P1.** La pression à l'avant du front de flux est légèrement supérieure à la pression atmosphérique, si l'empreinte est correctement ventilée (événets).
- **P2.** La pression dans la zone de formation de la peau est légèrement supérieure à P1. L'écart entre P2 et P1 empêche les inclusions d'air entre l'empreinte et la matière qui nuisent au bon nappage de l'empreinte.
- **P3.** La pression dans la zone de formation de la gaine solide est supérieure à P2. Dans cette zone, la pression est la même dans toute la section de l'écoulement.

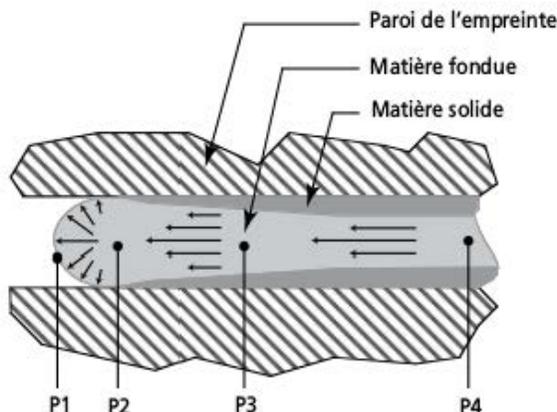


Figure 5.2 – Vitesse et direction de l'écoulement de la matière fondue.

- **P4.** La pression dans la zone de stabilisation de la gaine solide est élevée et supérieure à P3. Dans cette zone, la pression est la même dans toute la section de l'écoulement.

5.1.3 Pertes de charge

L'écart de pression mesuré entre deux positions le long de l'écoulement est appelé « perte de charge ». La perte de charge entre l'entrée du moule et le front de flux est égale à la pression mesurée dans la matière devant la vis de plastification.

5.1.4 Règles d'écoulement

Les règles suivantes permettent de comprendre l'écoulement de la matière lorsque la vitesse d'injection est constante.

- Plus la matière avance dans l'empreinte, plus la pression augmente dans les zones précédemment remplies.
- Plus on remonte vers l'arrière de l'écoulement plus la pression est élevée.
- Toute diminution de la section d'écoulement de la matière provoque une augmentation des pertes de charge.
- Toute perte de charge importante génère un échauffement de la matière injectée.

5.1.5 Applications pratiques

Pour que l'écoulement suive le modèle de la figure 5.2, certaines conditions doivent être réunies. Dans le cas contraire, des défauts peuvent apparaître sur les pièces produites. Quelques cas parmi les plus courants sont présentés ci-dessous.

■ Seuil de petite section

L'écoulement ne se fait pas normalement car la vitesse de la matière est trop élevée (de 20 à 100 fois la vitesse dans les canaux d'alimentation). La vitesse de la matière contre la paroi du seuil n'est pas nulle. Les frottements provoquent des pertes de charge élevées et une élévation de la température de la matière au passage du seuil (jusqu'à + 80 °C). L'addition des phénomènes mécaniques et thermiques au seuil empêche la formation de la gaine solide et de la peau : c'est pourquoi la matière ne se solidifie pas dans le seuil en cours d'injection. Trois défauts sont liés au passage d'un seuil de petite section : le jet libre (voir paragraphe 8.12), les traces noires (§ 8.23) et le délaminage (§ 8.6) aux seuils (figure 5.3).

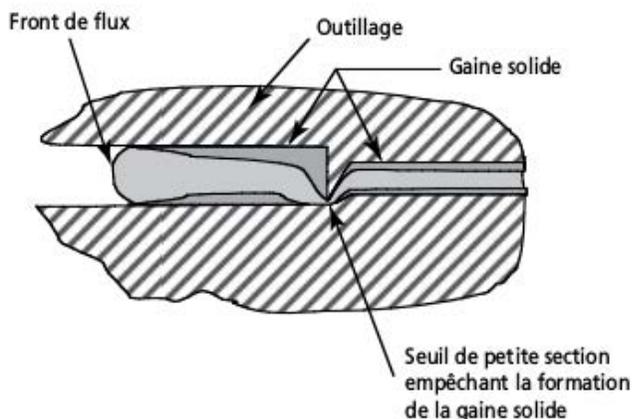


Figure 5.3 – Défauts liés au passage d'un seuil de petite section.

■ Fortes épaisseurs

Par manque de pertes de charge (P2-P1), la pression dans la zone de formation de la peau ne permet pas une adhérence suffisante de la peau contre la paroi de l'empreinte. Deux défauts sont associés à ces fortes épaisseurs : la peau d'orange (§ 8.14) et les traces mates ou brillantes (§ 8.20).

■ Faibles épaisseurs

Les pertes de charges élevées provoquent une forte dissipation de chaleur et, parfois, une dégradation localisée de la matière — délaminage (§ 8.6), pièce anormalement fragile, traces noires (§ 8.23). Si les pertes de charge atteignent la valeur limite de la pression d'injection, l'écoulement peut s'arrêter et la moulée sera incomplète.

■ Injection trop rapide

Les pertes de charge dans chaque section sont inutilement élevées. Si de faibles sections sont traversées, les pertes de charge provoquent des désordres thermiques dans la matière (fusion de la gaine solide en face du seuil, par exemple). Dans certains outillages, d'importants écarts de pression de part et d'autre d'une partie de l'empreinte génèrent des contraintes qui peuvent déformer ou détériorer des éléments moulants (figure 5.4 et photos 1 et 2 p. 359).

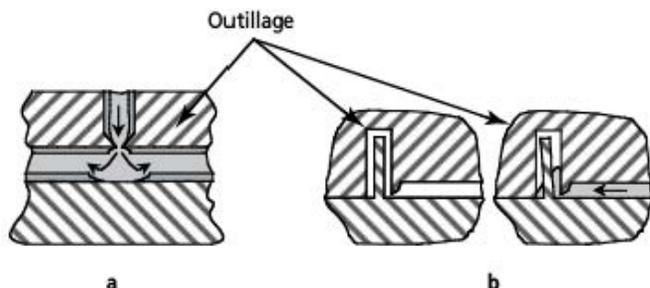


Figure 5.4 – Défauts liés à une injection trop rapide.

a) Fusion de la gaine solide en face du seuil d'injection. b) Flexion d'une broche due à l'écart de pression entre les deux côtés de la broche.

■ Injection trop lente

La gaine solide s'épaissit rapidement alors que le remplissage de l'empreinte n'est pas achevé. La gaine solide finit par obturer le passage de la matière, alors la pièce est incomplète (§ 8.11).

■ Ventilation insuffisante

La pression du front de flux est trop élevée ce qui provoque des coups de feu (§ 8.4), des incomplets (§ 8.11), des lignes de soudures (§ 8.13) ou des traces (§ 8.20).

5.2 Phase de compactage

Lorsque le front de flux atteint le fond de l'empreinte et s'arrête, sa pression cesse d'être nulle. Simultanément l'écoulement de la matière, tel que nous l'avons vu, s'arrête. La matière se comprime le long de l'écoulement jusqu'à ce que la pression soit quasiment identique en tout point de l'empreinte où la matière est encore liquide. Les pertes de charge sont nulles, l'écart résiduel de pression est dû au comportement viscoélastique de la matière (figures 5.5 et 5.6).

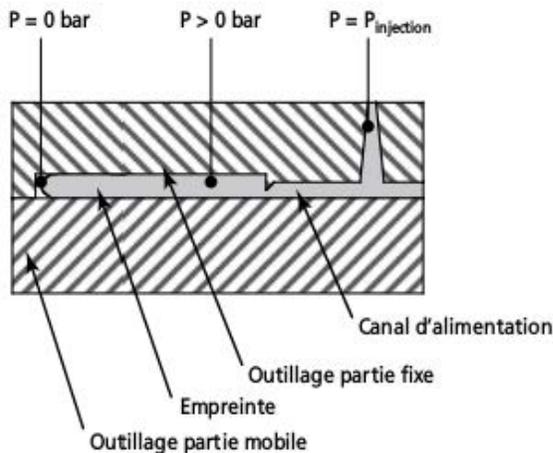


Figure 5.5 – Pressions au début de compactage.

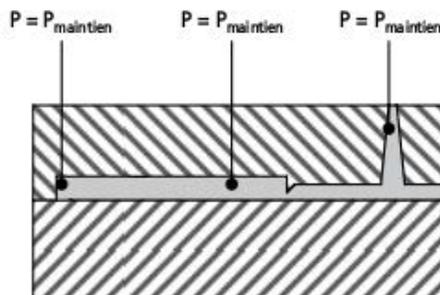


Figure 5.6 – Pressions en fin de compactage.

La disparition des pertes de charge fait rapidement croître la pression moyenne dans l’empreinte. Si la pression limite d’injection n’est pas réduite pendant le compactage, il est probable que le moule s’ouvrira — provoquant des bavures (voir paragraphe 8.1) — et/ou sera détérioré par des contraintes excessives. C’est pourquoi les presses à injecter sont pourvues d’un système de commutation qui détecte le début du compactage pour réduire instantanément la pression maximale appliquée à la matière.

5.3 Phase de maintien

5.3.1 Principe

Après le compactage (et donc la commutation), une pression réduite est appliquée sur la matière : c’est la pression de maintien. Cette pression empêche la matière fondue de refluer hors de l’outillage. Elle est maintenue le temps nécessaire à la solidification de la pièce ou du seuil d’injection (après solidification la matière ne peut plus refluer hors de l’empreinte).

5.3.2 Types de maintien

Selon les caractéristiques attendues du produit moulé, on peut opter pour différentes façons de faire varier la pression durant la période de maintien. Le profil de pression le plus utilisé est le profil quasi isochore, il est représenté avec d’autres (les plus courants) sur les diagrammes PVT suivants.

■ Maintien quasi isochore

Le maintien quasi isochore donne des pièces de bonne stabilité dimensionnelle. La pression est décroissante au cours du maintien, la vis de plastification est « immobile » (figure 5.7).

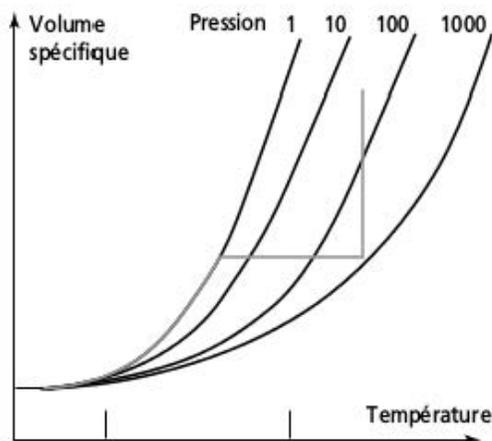


Figure 5.7 – Maintien quasi isochore.

■ Maintien isobare

Le maintien isobare est obligatoire sur les presses à injecter ne proposant pas de paliers de maintien. Une seule pression est maintenue durant toute la phase de maintien. Le retrait est faible (figure 5.8).

■ Absence de maintien

Pour les pièces à parois fines présentant des difficultés de démoulage. Il n'y a pas de pression de maintien, mais il faut conserver le temps de maintien calculé au départ. Le retrait est important (figure 5.9).

■ Maintien à effort constant sur la paroi de l'empreinte

Cette solution concerne les pièces d'aspect et de forte épaisseur ne présentant pas de difficulté de démoulage. La pression est croissante durant le maintien, le retrait est très faible (figure 5.10).

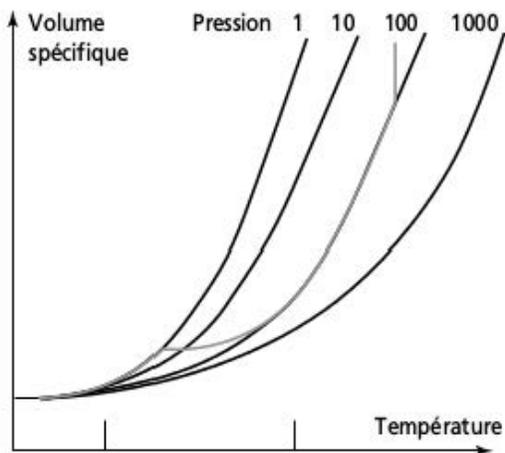


Figure 5.8 – Maintien isobare.

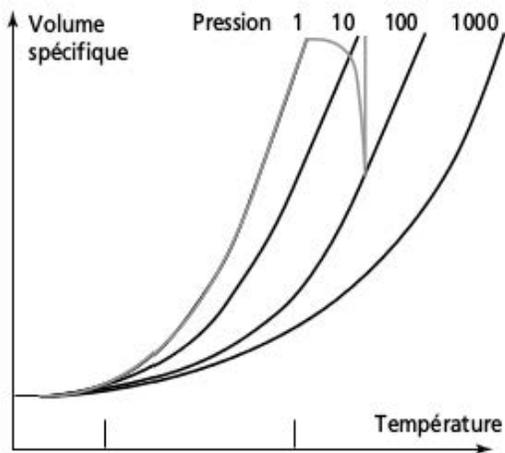


Figure 5.9 – Absence de maintien.

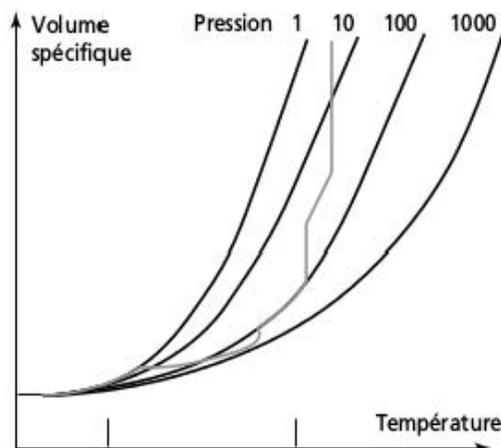


Figure 5.10 – Maintien à effort constant sur la paroi de l’empreinte.

5.4 Typologie des paramètres

Communément, lorsque l’on décrit le procédé d’injection des thermoplastiques, on présente les « paramètres du procédé » sans distinguer leur nature exacte. Il existe quatre types de paramètres de natures très différentes.

5.4.1 Paramètres mesurés

Ce sont des valeurs relevées sur la machine (ou ses périphériques), lors de son fonctionnement en cycle automatique. On peut aussi les appeler indicateurs. Les principaux paramètres mesurés sont :

- le temps de dosage,
- le temps d’injection dynamique (si la machine commute par une position ou une pression),
- les temps d’ouverture/fermeture/éjection,
- la température de la matière et du moule,
- les pressions mesurées dans l’empreinte durant l’injection dynamique...

5.4.2 Paramètres réglables

Ce sont les paramètres que l'on peut modifier (souvent dans des plages déterminées) afin de faire correspondre les caractéristiques du produit moulé avec les exigences du plan de contrôle. Ces paramètres sont regroupés en trois catégories :

1. les paramètres assurant la qualité de la plastification : température du fourreau, vitesse de rotation de la vis, contre-pression ;
2. les paramètres assurant la qualité du remplissage : vitesses d'injection et température de l'outillage ;
3. les paramètres assurant la qualité du maintien : pressions de maintien et température d'outillage.

5.4.3 Paramètres imposés

Ce sont des paramètres dont la valeur de consigne (modifiable) est imposée par les paramètres réglables, par la presse et par l'outillage. Par exemple, on sait que le temps de maintien dépend de la géométrie de la pièce et des canaux d'alimentation, de la nature de la matière injectée, de la température de la matière et de l'outillage, etc. Sa valeur est déterminée à l'aide d'une courbe de poids ; il est incorrect de modifier le temps de maintien afin de faire varier une caractéristique du produit car il fait partie des paramètres imposés. Les principaux paramètres de ce type sont :

- la course de dosage,
- le type de commutation et sa valeur de consigne,
- la limite de pression d'injection,
- les pressions associées à des mouvements (pressions de fermeture par exemple),
- les courses d'ouverture et d'éjection,
- le temps de maintien,
- le temps de refroidissement...

5.4.4 Paramètres de contrôle

Ce sont des tolérances appliquées aux paramètres mesurés. Elles permettent à la presse de détecter des anomalies dans le déroulement du cycle et de réagir en conséquence (par une interruption du cycle ou par un rejet de la moulée). Voici quelques-uns de ces paramètres :

- la durée maximale du cycle,
- la durée maximale de la fermeture...

Remarque

De nombreux paramètres ont conservé une dénomination datant de l'époque où l'injection se pratiquait avec des presses manuelles (sans moteur, ni automatismes). Ces termes sont souvent inadaptés aux techniques actuelles et peuvent parfois induire en erreur.

6 • RÉGLAGE D'UNE PRESSE

6.1 Fiche de réglage

6.1.1 Objectif

La fiche de réglage est un document qui permet de reproduire, lors de la mise en production, les mêmes conditions de moulage que lors de la mise au point de l'outillage (ou lors d'un moulage de référence).

6.1.2 Principes

On distingue deux types de relevés :

- les relevés de consigne de réglage qui permettent une reproduction approximative des réglages sur la même presse, ou sur une presse identique (même marque, même modèle, mêmes options, étalonnage comparable). La transcription de ces réglages sur une presse notablement différente est toujours complexe et hasardeuse ;
- les relevés de valeurs mesurées (valeurs réelles) qui permettent une reproduction très exacte des conditions de moulage, mais ne donnent pas d'indication directe des paramètres à afficher sur la presse.

Les fiches de réglage comportent les deux types de paramètres, mais les relevés de mesures du procédé sont de plus en plus nombreux sur les fiches de réglage, afin de satisfaire aux exigences actuelles de reproductibilité.

6.1.3 Utilisation

Les fiches de réglage sont spécifiques à chaque modèle de presse (il n'existe pas de fiche universelle facile d'utilisation).

Le plus grand danger réside dans le non-respect de la fiche de réglage, lors de l'entrée des paramètres d'injection dans la commande de la presse. La négligence de paramètres considérés comme secondaires est la principale cause de non-conformité au démarrage de la production. Afin de réduire ce risque, les presses récentes disposent de dispositifs d'enregistrement des paramètres de consigne et de certains relevés de mesures.

Une fiche de réglage doit aussi comporter toutes les indications nécessaires à la mise en production, c'est-à-dire :

- les réglages des périphériques ou la référence de leur fiche de réglage (les presses équipées de l'interface EUROMAP 17 peuvent transférer les réglages aux périphériques équipés de la même interface) ;
- le schéma de raccordement de l'outillage aux différents fluides (eau, huile thermique, huile hydraulique, air comprimé, électricité, etc.) ;
- les modes opératoires nécessaires au démarrage de la production (réglages de démarrage, temps de stabilisation, nombre de moulées à rebuter au démarrage, etc.).

6.2 Principe du réglage par incomplets successifs

La fabrication d'une pièce injectée peut être assimilée à la construction d'un produit manufacturé, c'est-à-dire à une suite d'opérations dont la réussite conditionne la qualité de la totalité de l'ouvrage. Dans ce cas, on résume la fabrication de la pièce par la succession d'étapes suivantes :

1. préparation de la matière fondue,
2. remplissage de l'empreinte,
3. maintien en pression dans l'empreinte et refroidissement,
4. évacuation de la pièce produite.

Chaque étape étant la réussite de la suivante, il faut valider sa qualité avant de commencer le réglage de la suivante.

Une pièce étant produite en un temps très court, on ne peut pas envisager de réaliser l'intégralité du réglage pendant la fabrication d'une pièce unique. On peut imaginer que les pièces successivement produites pendant la phase de réglage sont les images successives de « la pièce injectée ». La série de pièces produites durant le réglage de la presse ressemble aux images d'un film, qui se

succèdent pour présenter la fabrication de « la pièce injectée ». La condition impérative à la pertinence de ce raisonnement est de régler la presse en mode automatique, ce qui suppose d'avoir effectué un pré-réglage de chaque étape, et notamment de la course de dosage car les moules équipés de plaques dévêtisseuses ne peuvent pas éjecter les pièces incomplètes.

6.3 Groupe de fermeture

6.3.1 Présentation

Afin de réaliser la fermeture et l'ouverture de la presse en un temps réduit, les mouvements du moule se déroulent selon des vitesses étagées, avec des limitations de l'effort de fermeture (ou d'ouverture) selon la position du moule. Les paramètres de fermeture sont nombreux et varient d'un modèle de presse à l'autre. Toutefois certains réglages se présentent systématiquement. Ces derniers sont listés ci-après.

6.3.2 Course d'ouverture

C'est la position à laquelle on commande l'arrêt du mouvement d'ouverture, qui est adapté à la hauteur de la pièce ou pour le moins à l'espace nécessaire à son évacuation. Si l'ouverture est insuffisante, la pièce s'éjecte mal ou se salit, si elle est trop importante, la durée du cycle s'allonge inutilement. La course d'ouverture demandée à la presse est rarement respectée car l'inertie des éléments en mouvement est importante : la course réelle est (presque) toujours supérieure à la course demandée.

6.3.3 Pressions de fermeture

On en règle au moins trois, les deux premières sont en fait des limites de pression puisque durant la fermeture on donne des consignes de vitesse à la presse. La figure 6.1 donne une représentation possible des différents réglages de pression du groupe de fermeture.

Réglages des pressions de fermeture (en niveau et en position) :

- Pression de fermeture : plus elle est élevée, plus l'accélération du plateau mobile sera importante.
- Pression de sécurité : on recherche par essais successifs la plus basse pression à laquelle la presse arrive à se fermer ; si le moule n'est pas très fragile, on peut placer le réglage 5 à 10 bar au-dessus de cette pression.

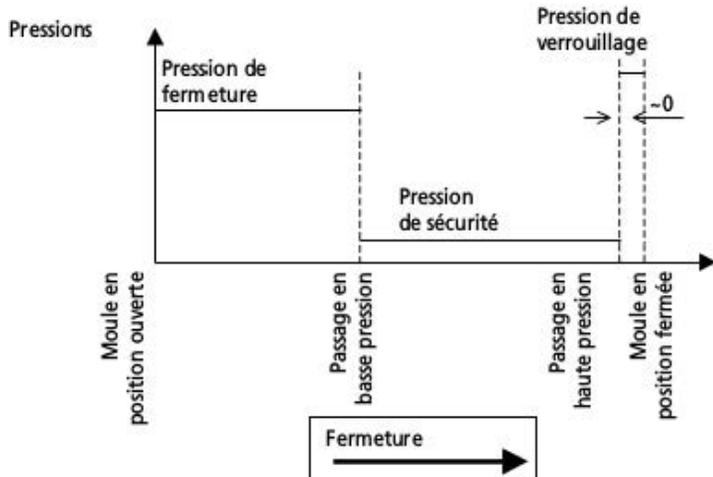


Figure 6.1 – Différents réglages de pression du groupe de fermeture.

- Pression de verrouillage : on la règle au maximum de la machine dans un premier temps ; lorsque le réglage de l'injection sera terminé, on pourra rechercher sa valeur minimale afin de réduire la consommation d'énergie de la presse.
- Passage en basse pression : c'est la position où la pression de sécurité s'applique. À partir de cette position, tout effort de fermeture important indique qu'une anomalie intervient dans la fermeture : soit une pièce ou une carotte coincée dans le plan de joint, soit le grippage d'un élément du moule. Cette position correspond à 10 mm avant l'accostage des colonnes du moule.
- Passage en haute pression : c'est la position de verrouillage du moule ; si elle est précoce il y a un risque de détérioration du moule. On la règle à 0 mm (ou à peine plus).

6.3.4 Vitesses de fermeture

Dans un premier temps, on réglera les vitesses selon un profil « universel » à trois vitesses : lent/rapide/lent. La spécificité du réglage des vitesses de fermeture (et d'ouverture) est l'inertie des mouvements. Une recherche itérative

(par essais successifs) permet d'obtenir le profil de vitesse recherché. Le profil finalement affiché (la consigne) peut être extrêmement différent du profil réalisé par la machine, particulièrement avec les fermetures mécaniques ou mixtes (figure 6.2).

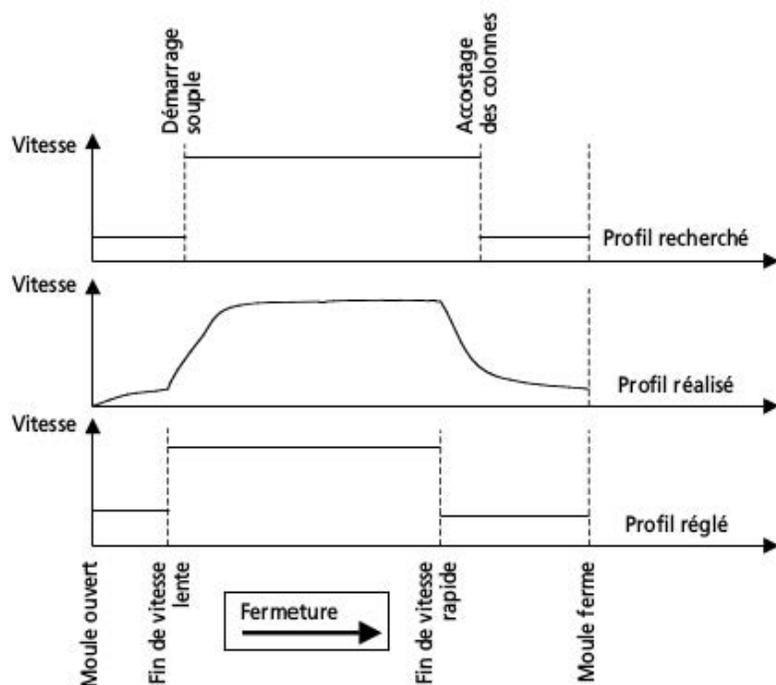


Figure 6.2 – Profils des vitesses de fermeture.

Remarque

La régularité est aussi importante que la rapidité de fermeture. Si les pressions de fermeture sont trop faibles, les accélérations deviennent dépendantes des frottements (donc irrégulières). On règle donc les pressions après avoir réglé les vitesses.

6.3.5 Pression d'ouverture

Il n'y a souvent qu'une pression d'ouverture : c'est une limite de pression que l'on adapte aux vitesses d'ouverture.

6.3.6 Vitesses d'ouverture

Dans un premier temps, un profil identique au profil de fermeture est utilisable. Le profil de vitesse affiché sera différent de celui de la fermeture puisque les inerties sont inversées.

L'optimisation du dernier palier d'ouverture permet d'obtenir une cote de fin d'ouverture précise. Ceci est nécessaire lors de l'utilisation d'un robot manipulateur ou d'un pic-carotte.

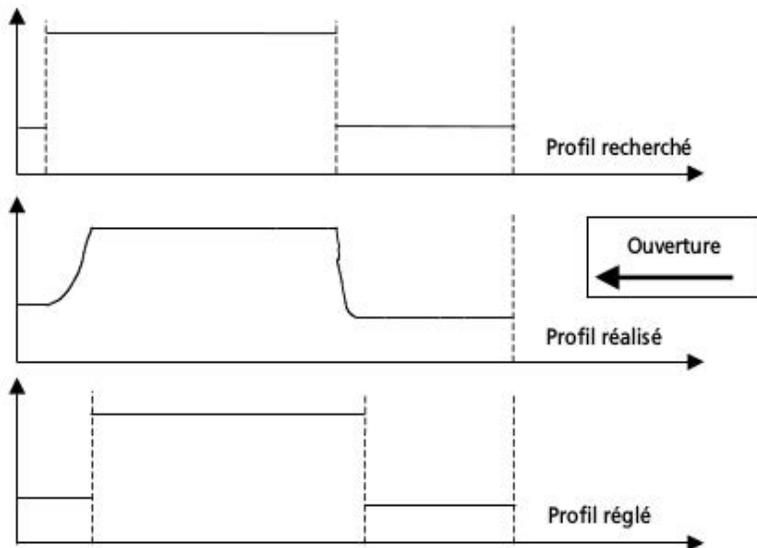


Figure 6.3 – Profils des vitesses d'ouverture.

6.4 Réglage de la plastification

6.4.1 Préréglage des températures

■ Principe

Chaque matière dispose d'une plage de température de transformation par injection. Cette plage est délimitée par la température à laquelle la fluidité du polymère le rend apte à l'injection et par la température à laquelle la matière se dégrade. Lors du réglage des températures du fourreau d'une presse à injecter, on choisit la température désirée (température cible) que l'on souhaite pour le polymère. Cette température sera appliquée à l'avant du fourreau afin de garantir une bonne homogénéité thermique de la masse fondue. On construit le profil de température à partir de la température cible choisie dans la plage des températures de transformation (dans le tiers inférieur de la fourchette si l'on n'a pas d'indication précise). On fait varier la température régulièrement le long du fourreau, en respectant un écart maximum estimé à la température cible plus ou moins 30 °C. Si l'on utilise une vis à profil standard, le tableau 6.1 indique quels paramètres font croître ou décroître la température autour de la température cible. On vérifiera, après utilisation du tableau, que le profil obtenu ne donne pas de températures supérieures à la température maximale de transformation.

Tableau 6.1 – Écart de température entre l'avant et l'arrière du fourreau pour une vis à profil standard : critères de réglage et calcul.

Critère	Choix à déterminer		
C ₁ : course de dosage	Course dosage < 1/3 du max. de la presse C ₁ = -10 °C	Course dosage < 2/3 du max. de la presse C ₁ = -5 °C	Course dosage > 2/3 du max. de la presse C ₁ = +10 °C
C ₂ : cristallinité de la matière	Matière amorphe C ₂ = -10 °C		Matière semi-cristalline C ₂ = +10 °C
C ₃ : cadence	Cadence réduite (pièces épaisses) C ₃ = -10 °C	Cadence normale C ₃ = -5 °C	Cadence élevée (pièces fines) C ₃ = +10 °C
Écart de température entre l'avant et l'arrière du fourreau : $\Delta T = C_1 + C_2 + C_3$			

■ Démarche

□ Recherche d'informations sur la matière

On exploite pour cela les fiches matières du producteur, du fournisseur, ou du présent ouvrage. Un essai de laboratoire comme la DSC (Differential Scanning Calorimetry, ou calorimétrie différentielle à balayage) permet aussi de mesurer les températures caractéristiques (transition vitreuse, fusion, dégradation) ainsi que le taux de cristallinité.

a) Quelle est la structure : amorphe ou semi-cristalline ?

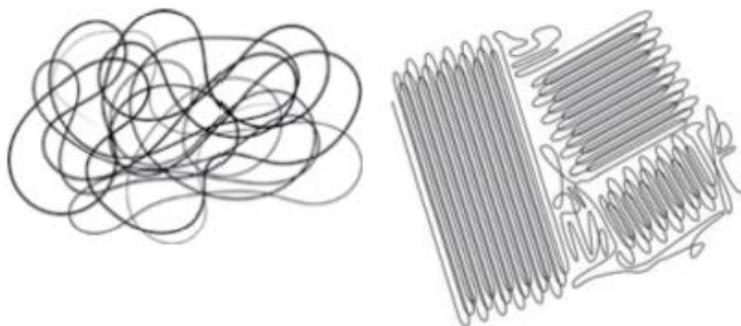


Figure 6.4 – Structure amorphe (à gauche) ou structure semi-cristalline (à droite). Les thermoplastiques semi-cristallins nécessitent plus d'énergie (ΔH_{fus} : enthalpie de fusion des zones cristallines) que les amorphes pour les amener à la température de mise en œuvre. À la température d'injection, tous les thermoplastiques se retrouvent à l'état amorphe.

b) Quelle est la plage de transformation ?

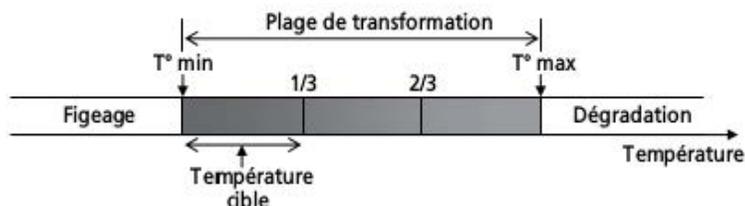


Figure 6.5 – Plage de transformation et choix de la température cible.

Choix de la température cible

Si on ne dispose pas d'information précise, la température cible est choisie dans le premier tiers de la plage de transformation comme le présente la figure 6.5.

Recherche d'informations sur la production

- La cadence.
- La course de dosage affichée.
- La course de dosage maximale de la presse utilisée.

Calcul de l'écart de température entre l'avant et l'arrière du fourreau

Vous disposez de tous les éléments pour calculer ΔT . Suivez les indications du tableau 6.1.

Établissement du profil de température

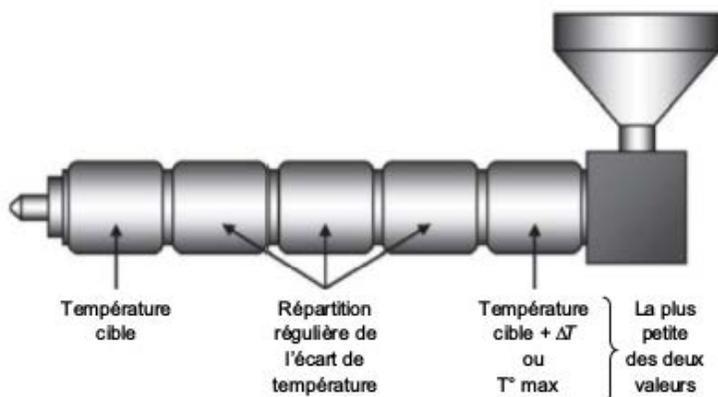


Figure 6.6 – Établissement du profil de température.

Dans le cas d'un profil décroissant (ΔT positif), on portera une attention particulière pour ne pas dépasser $T^{\circ} \text{max}$, c'est-à-dire la température maximale d'utilisation de la matière (limite supérieure de la plage de transformation).

■ Exemple de mise en place d'un profil de température

Une pièce est injectée en ASA (acrylonitrile styrène acrylique). C'est une matière *amorphe*. Sa plage de transformation s'étale de 240 à 280 °C.

La température cible choisie est de 250 °C.

La cadence est normale.

La course de dosage affichée est de 48 mm.

La course de dosage maximale de la presse est de 160 mm.

1/3 de la course de dosage maximale fait 53 mm

$$48 < 53 \text{ donc } C_1 = -10 \text{ °C}$$

Matière amorphe donc $C_2 = -10 \text{ °C}$

Cadence normale donc $C_3 = -5 \text{ °C}$

$$\text{Soit } \Delta T = -10 - 10 - 5 = -25 \text{ °C}$$

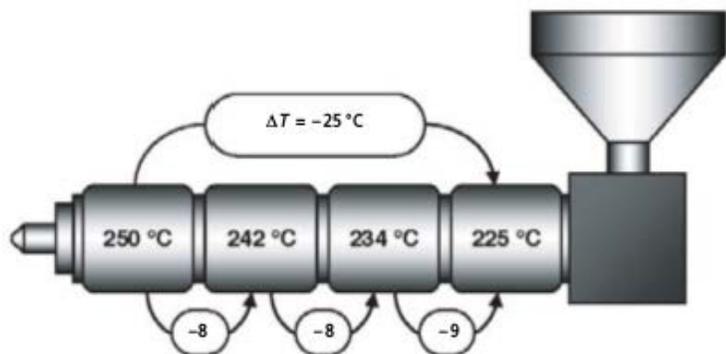


Figure 6.7 – Exemple de mise en place d'un profil de température.

6.4.2 Préréglage de température de la buse

Un écart de température important (+ 30 °C) entre la buse et le nez de pot ne sera obtenu qu'avec une buse longue (70 mm au moins).

Dans le cas de goutte froide, un polissage du contre-cône de démoulage est préconisé.

Une variation de la durée de l'appui de la buse équivaut à une modification de sa température.

6.4.3 Préréglage de la contre-pression

Elle est ajustée à une valeur minimale de 50 bar sur la matière, soit environ 5 bar dans le vérin d'injection.

La présence de bulles de grandes dimensions dans la purge est l'indice d'une contre-pression trop faible. Dans ce cas, l'adhérence de la vis sur le fourreau est suffisante pour faire reculer la vis : ce mode de plastification incorrecte est parfois appelé « effet tire-bouchon ».

6.4.4 Autres paramètres

■ Vitesse de dosage

Elle sera optimisée à partir des paramètres de chaque matière, mais fixée à 0,15 m/s comme première approximation (voir abaque de la figure 1.1, chapitre 1).

Remarque

On valide le réglage de l'unité d'injection par la mesure de la température d'une purge (- T° cible) et par la vérification de son état. La purge doit avoir un aspect lisse, ne pas fumer, être exempte de pollution ou de bulles, être homogène (pas de traces de colorant ou d'écoulement).

6.5 Réglage du dosage

6.5.1 Présentation

Le dosage est un des réglages les plus importants en injection : c'est lui qui conditionne la quantité de matière que l'on va injecter dans le moule. Le dosage peut s'exprimer en diverses unités (selon le modèle de presse et sa configuration) :

- en mm : c'est la position de l'index qui sert d'unité de dosage. Les anciennes machines n'utilisaient que cette unité, c'est pourquoi, dans les ateliers de production, on parle souvent de « course de dosage » ;
- en cm^3 : c'est le volume disponible pour le stockage de la matière fondue dans le fourreau. Les presses récentes permettent généralement de régler la valeur du dosage en cm^3 ;
- en % : c'est une fraction du dosage maximum de la machine qui sert d'unité. Cette unité est peu répandue, son intérêt essentiel est de simplifier la conception de la commande numérique de la presse.

6.5.2 Dosage utile

Lors de l'injection en cycle automatique, une petite quantité de matière dosée n'est pas injectée. Ce petit volume, réservé à une phase ultérieure du processus, est appelé *matelas* (figure 6.8). Dans un premier temps, on estime le matelas à 10 % de la course ou du volume de dosage.

Le dosage utile est la course (ou le volume) du dosage réellement utilisé pour remplir l'empreinte. La fin du remplissage de l'empreinte s'appelle la *commutation*.

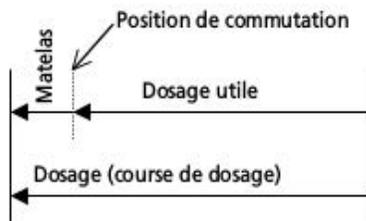


Figure 6.8 – Matelas.

Le schéma de la figure 6.9, plus complet, permet de visualiser les différents mouvements de la vis pendant les étapes du dosage, de la décompression après dosage et de l'injection dynamique. Une décompression avant dosage peut être aussi mise en place dans le cas des moules à canaux chauds, elle n'est pas représentée ici.

Lorsque la vis arrive tout en avant, il n'y a pas de contact entre la tête de vis et la buse machine. C'est le vérin d'injection qui atteint sa butée mécanique.

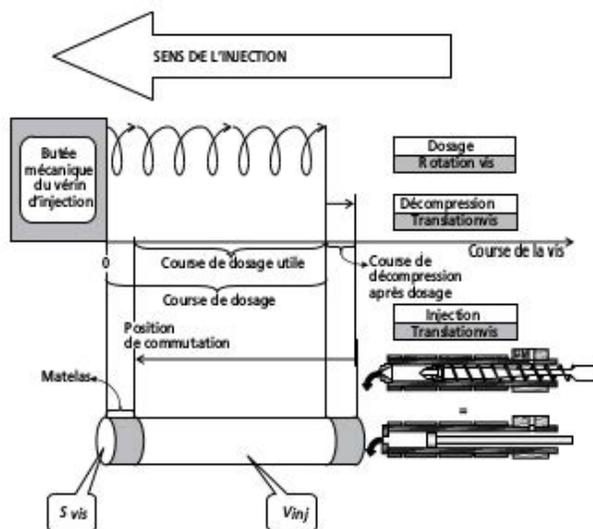


Figure 6.9 – Mouvements de la vis pendant les étapes de la plastification et de l'injection.

6.5.3 Évaluation de la course de dosage

La course de dosage dépend du volume de la moulée (pièces et carotte), de la nature de la matière transformée et du diamètre de la vis de plastification :

$$\text{Dosage utile (mm)} = \frac{[4 \times \text{Volume de la moulée (mm}^3)]}{\pi \times \text{Diamètre vis}^2 (\text{mm}) \times K\Delta V}$$

Le coefficient $K\Delta V$ correspond à la variation de volume de la matière entre sa température moyenne de transformation et la température ambiante (-20°C). Ce coefficient est disponible dans les fiches matières.

Le matelas sera ajouté au dosage utile pour avoir la course de dosage à afficher sur la machine. Il est fixé à 10 mm (ou 10 % du dosage) au départ ; par la suite il sera réduit. Le matelas final, c'est-à-dire la quantité de matière restant dans le fourreau à la fin de la phase de maintien, doit être supérieur à 3 mm. On ne connaît pas toujours le volume de la moulée, mais sa masse est connue (elle a été calculée avant même la conception de l'outillage lors de la réalisation

du devis). En divisant la masse de la moulée par sa masse volumique on obtient le volume de la moulée.

Pour vérifier le dosage avant la première injection, le régleur effectue un dosage puis injecte en manuel (hors du moule) jusqu'à la commutation. La purge réalisée doit avoir un poids inférieur ou égal à celui de la moulée.

Remarques

1. Il est dangereux, pour le moule, de tenter une injection en mode manuel. La totalité du dosage sera utilisée pour remplir le moule, ce qui provoquera des bavures (dans le meilleur des cas) ou une détérioration de l'empreinte. En effet, en mode manuel, la majorité des presses ne tient pas compte de la position de commutation.
2. De nombreux paramètres d'injection ont conservé une dénomination datant de l'époque où l'injection se pratiquait avec des presses manuelles (sans moteur ni automatisme). C'est pourquoi les termes utilisés sont souvent inadaptés aux techniques actuelles et induisent parfois même en erreur.

6.6 Réglage de la vitesse d'injection

6.6.1 Présentation

C'est la vitesse d'avance de l'index de la machine. Cette vitesse correspond aussi à un débit de matière injectée dans le moule. Selon les marques et les modèles de presses, cette « vitesse » s'exprime :

- en mm/s : c'est la vitesse de l'index lors de l'injection ;
- en % : c'est une fraction de la vitesse maximale de la machine ; les premières presses à injecter n'utilisaient que cette « unité » ;
- en cm^3/s : c'est le débit de matière plastifiée ; les machines les plus récentes utilisent cette unité car elle permet une adaptation rapide des outillages sur des presses différentes.

6.6.2 Optimisation de la vitesse d'injection

Il n'existe pas de méthode utilisable en atelier pour définir à l'avance quelle vitesse d'injection s'adapte le mieux au produit fabriqué. Une vitesse d'injection trop faible ne permet pas le remplissage de l'empreinte (car la gaine solide finit par obturer la veine fluide). Dans le même temps, une vitesse d'injection trop élevée impose des pertes de charges importantes qui nuisent

à la robustesse du réglage (si elles atteignent le maximum de la limite de la pression d'injection de la presse), dégradent le polymère et imposent de fortes contraintes à l'outillage. Il existe donc, dans tous les cas, une vitesse d'injection générant le minimum de pertes de charges le long de l'écoulement (figure 6.10). Cette vitesse peut être recherchée par des essais successifs d'injections incomplètes. Dans le cas de pièces fines, la vitesse optimale est parfois supérieure au maximum que la presse puisse atteindre : l'injection en parois fines nécessite l'utilisation de presses spéciales assurant des vitesses d'injection élevées.

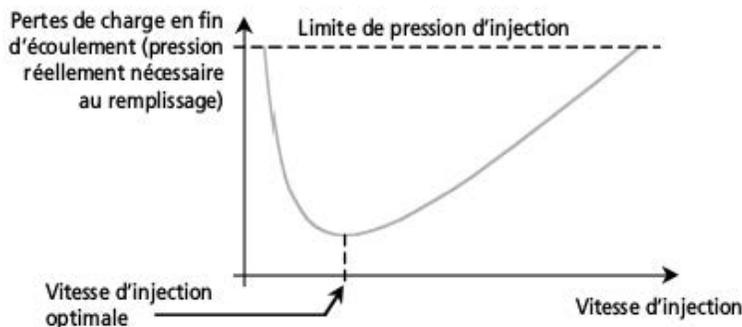


Figure 6.10 – Optimisation de la vitesse d'injection.

Remarque

Il ne faut pas confondre la vitesse d'injection (qui est, en fait, un débit de matière) et la vitesse d'avance du front de matière. Pour une vitesse d'injection constante, la vitesse d'avance du front dépend de la section de l'écoulement

$$(Q = Sv \text{ soit Débit} = \text{Section} \times \text{Vitesse}).$$

La vitesse d'avance de la matière est variable en tout point de l'écoulement et ne peut donc pas être facilement maîtrisée.

6.6.3 Pression d'injection

C'est la limite de pression assignée au système hydraulique d'injection. On peut schématiser le système d'injection de la façon indiquée figure 6.11.

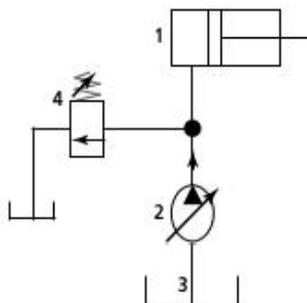


Figure 6.11 – Schématisation du système d'injection.

1. Vérin d'injection: la vitesse de sortie de ce vérin (vitesse d'injection) dépend du débit d'huile hydraulique fourni par la pompe 2. 2. Pompe hydraulique à débit variable: le débit est réglé électriquement par la commande de la machine. 3. Réservoir d'huile hydraulique. 4. Soupape de sûreté: lorsque la pression hydraulique entre la pompe 2 et le vérin 1 atteint la valeur de consigne de cette soupape, l'huile retourne partiellement ou en totalité au réservoir.

Le système hydraulique ne connaît que deux états : soit la soupape 4 est fermée et le vérin sort à une vitesse proportionnelle à la consigne de débit de la pompe, soit la soupape 4 est ouverte (suite à un excès de pression dans le circuit hydraulique) et la vitesse de sortie du vérin n'est plus maîtrisée car tout ou partie du débit de la pompe passe à travers la soupape.

On règle donc la pression d'injection (la consigne de la soupape de sûreté) à une valeur immédiatement supérieure à la pression réellement nécessaire au remplissage du moule. C'est une pression de sécurité (une limite de pression) à ne pas atteindre. Il faut noter que certaines presses se mettent en alarme lorsque la soupape de sécurité s'ouvre durant un cycle automatique, d'autres ne réagissent pas et admettent de fonctionner avec un réglage incorrect de la pression d'injection.

6.7 Réglage du remplissage et du maintien

6.7.1 Préréglage du remplissage

■ Course de dosage

Elle doit être réglée à une valeur inférieure à la valeur réellement nécessaire.

■ Commutation

On choisit la commutation par une course de 5 mm.

■ Vitesse d'injection

Elle est indéterminée en première approximation ; 10 % de la vitesse maximale d'injection de la presse est un compromis raisonnable.

■ Pression maximale d'injection

Elle est limitée à 25 % du maximum de la presse, moins si l'outillage présente des parties fragiles (broches fines, lames, tiroirs de grandes dimensions...).

6.7.2 Réglage du remplissage

Il faut augmenter progressivement la course de dosage en s'assurant que la pression mesurée dans le vérin d'injection n'atteint pas la limite de pression d'injection. Dans ce cas, on augmente la pression d'injection ou l'on modifie la vitesse d'injection.

Entre chaque réglage du dosage, on modifie, si nécessaire, la vitesse d'injection afin d'éliminer d'éventuels défauts des pièces.

6.7.3 Présentation du maintien

La phase de maintien complète la phase de remplissage du moule. Durant le maintien, on empêche la matière plastifiée sous pression de refluer hors du moule. De ce fait deux paramètres règlent le maintien :

- la *pression de maintien* : c'est le niveau de pression que l'on applique dans le vérin d'injection pour empêcher le reflux de la matière ;
- la *durée du maintien* (ou *temps de maintien*) : c'est la durée d'application de la pression de maintien ; elle doit être suffisante pour que ce soit le durcissement de la matière qui empêche le reflux hors des empreintes.

Le temps de maintien s'exprime en secondes et la pression de maintien en bars.

6.7.4 Pression de maintien

Pour éviter le reflux de matière, le niveau de pression de maintien doit être égal à la pression moyenne dans les empreintes lors de la commutation. On ne dispose pas de cette valeur moyenne de pression, mais on peut l'évaluer

(dans un premier temps) à la moitié de la pression d'injection mesurée lors de la commutation. Si la pression de maintien est trop importante, la déformation des empreintes du moule et la réduction du retrait peuvent provoquer la rupture des pièces ou leur accrochage en partie fixe. Si la pression de maintien est trop faible, le produit moulé présentera des vacuoles ou des retassures. Il est bien sûr préférable d'avoir une pression de maintien trop faible que trop forte.

6.7.5 Temps de maintien

On ne peut pas facilement le prévoir, car sa valeur dépend de nombreux facteurs. Dans un premier temps, on utilisera la durée du refroidissement telle qu'elle est donnée pour une pièce de 1 mm d'épaisseur sur le manuel d'aide au réglage. Lorsque la presse fonctionne en cycle automatique, on optimise le temps de maintien en surveillant l'évolution de la masse des pièces moulées en fonction du temps de maintien. En effet, si ce dernier est suffisant, le reflux de matière hors des empreintes est nul et la masse des pièces devient indépendante du temps de maintien. On visualise ce phénomène à l'aide de la courbe de masse donnée figure 6.12. La courbe ne présente plus de variation significative de masse à partir d'une certaine durée de maintien. Cette durée est le temps de maintien optimal.

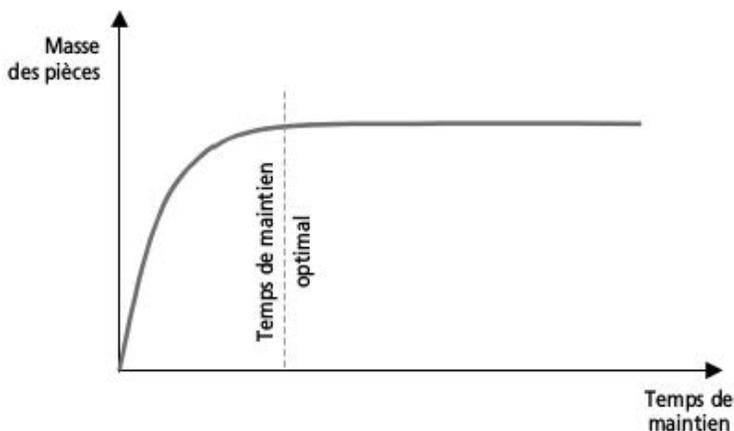


Figure 6.12 – Évolution de la masse des pièces moulées en fonction du temps de maintien.

6.7.6 Préréglage du maintien

- Pression de maintien : réglée à 0 bar.
- Temps de maintien : évalué à partir de l'épaisseur des seuils sur les graphiques des fiches matières (voir chapitre 2). Pour des seuils capillaires, on choisira une épaisseur équivalente de 1 mm.
- Temps de refroidissement évalué à partir des fiches matières.

6.8 Autres réglages

6.8.1 Réglage du maintien

La pression de maintien est réglée à 50 % de la pression relevée lors de la commutation.

On pèse les pièces produites, puis on augmente le temps de maintien et on pèse les nouvelles pièces produites. Il faut répéter l'opération jusqu'à obtenir une variation de masse inférieure au millième de la masse de la pièce. Si, au cours de la phase de réglage du temps de maintien, la pièce reste en partie fixe ou subit de trop importants efforts d'éjection, il faut réduire la pression de maintien de moitié puis recommencer le réglage du temps de maintien.

6.8.2 Préréglage de mouvement du groupe d'injection

- Course de recul : 5 à 10 mm.
- Vitesse d'avance : 5 %.
- Pression d'appui : 100 bar.
- Le temps de refroidissement est évalué à partir des abaques sur les fiches matières.

6.8.3 Réglage du mouvement du groupe d'injection

Le recul de groupe doit être supprimé si possible.
Il faut réajuster le temps de refroidissement après stabilisation du réglage.

6.8.4 Préréglage d'ouverture, éjection et fermeture

- Course d'ouverture : hauteur de la pièce et de la carotte.

- Temps entre cycles : 3 s.
- Vitesses d'ouverture et de fermeture faibles (10 % de vitesse maximale).
- Pression de sécurité : minimum assurant la fermeture de l'outillage + 10 %.
- Pression d'éjection : 20 % du maximum de la presse.
- Vitesse d'éjection : 10 % du maximum de la presse.

6.8.5 Réglage d'ouverture, éjection et fermeture

- Augmenter progressivement les vitesses d'ouverture et de fermeture. Si les pièces restent en partie fixe, on réduira la première vitesse d'ouverture (sur une course de 1 à 5 mm) afin d'éviter l'effet de coin.
- Augmenter les vitesses d'éjection, en réduisant simultanément la course d'éjection, afin d'éviter le choc de la batterie d'éjection sur la plaque porte-empreinte.
- Réduire les pressions de fermeture, d'ouverture et d'éjection, tant que cela n'augmente pas la durée du cycle.

6.9 Modification des réglages

Quatre règles permettent une recherche ou une modification efficace des réglages.

■ Sécurité

Lorsque l'on modifie un paramètre réglable, les paramètres imposés qui en dépendent doivent être systématiquement réévalués et modifiés afin de garantir la sécurité de l'outillage et/ou de la machine. Par exemple, si l'on augmente la vitesse d'injection, on réduit la consigne de pression de commutation, puis l'on réajuste la limite de pression de remplissage.

■ Efficacité

On cherche à estimer séparément l'influence de chaque paramètre réglable, c'est pourquoi on ne fait varier qu'un paramètre réglable à la fois. Par exemple, lorsque les dimensions du produit sont incorrectes, on peut modifier la température du moule ou la pression de maintien : on ne change que la valeur de l'un ou de l'autre (mais pas des deux). Si l'on choisit de modifier la température du moule, il faut effectuer un nouvel ajustement de la limite de pression

d'injection et du temps de maintien (avec une courbe de poids), avant de vérifier à nouveau la conformité des dimensions du produit.

Les paramètres thermiques doivent être remis en cause en priorité pour les pièces de forte épaisseur. La modification des paramètres de vitesse est prioritaire pour les pièces fines.

■ Rapidité

Lorsque l'on peut choisir entre plusieurs paramètres à modifier, on choisit celui qui intervient dans le minimum de phases de l'injection et dont la durée d'ajustement est la plus courte. Par exemple, lorsque les dimensions du produit sont incorrectes, il est plus rapide de modifier la pression de maintien que la température de l'outillage.

■ Traçabilité

Les réglages successifs doivent être consignés et commentés par écrit sur une fiche de mise au point de réglage. Elle sera conservée, ainsi que la fiche de réglage, dans le dossier de fabrication, pour être exploitée lors d'une éventuelle modification des paramètres.

6.10 Exemple de réglage de l'injection

6.10.1 Présentation

Il s'agit de bacs à glaçons réalisés en polypropylène copolymère (figure 6.13). L'outillage comporte douze empreintes alimentées chacune par deux seuils capillaires placés le long d'un canal central ; l'écoulement n'est pas équilibré, c'est-à-dire que le remplissage des empreintes n'est pas simultané. La moulée pèse 86,2 g et le temps de cycle attendu est de 18,5 s.

La presse à injecter retenue pour le moulage a une force de fermeture maximale de 1 000 kN (100 t) et un volume injectable de 164 cm³ avec une vis de diamètre 38 mm (course de dosage maximale de 145 mm).

6.10.2 Préréglages de la phase de dosage

La masse d'une moulée est de 86,2 g, et la masse volumique du PP copolymère est donnée dans la fiche matière : 0,91 g/cm³. On trouve un volume à froid de la moulée égal à $86,2/0,91 = 94,5$ cm³. On peut calculer la course de dosage utile avec un coefficient $K\Delta V$ de 0,78 (voir fiche matière du PP copolymère).

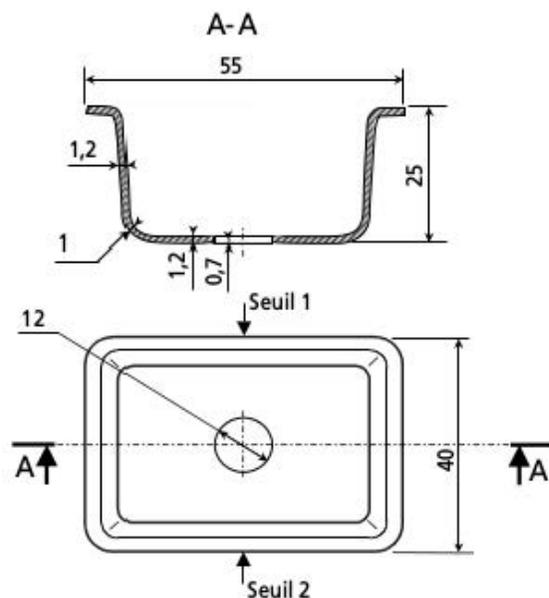


Figure 6.13 – Schéma de la pièce moulée (1 pièce parmi 12).

On trouve :

$$\begin{aligned} \text{Dosage utile (mm)} &= \frac{[4 \times \text{Volume de la moulée (mm}^3)]}{\pi \times \text{Diamètre vis}^2 (\text{mm}) \times K\Delta V} \\ &= \frac{4 \times (94\,500 \text{ mm}^3)}{\pi \times 38^2 \text{ mm} \times 0,78} = 106,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

La commutation par course sera réglée à 10 mm, qu'il faudra ajouter au dosage utile pour avoir la course de dosage complète, soit 106,5 + 10 mm = 116,5.

La contre-pression est réglée d'office à 5 bar hydraulique (50 bar sur la matière).

Figure 6.14 – Sections des canaux.

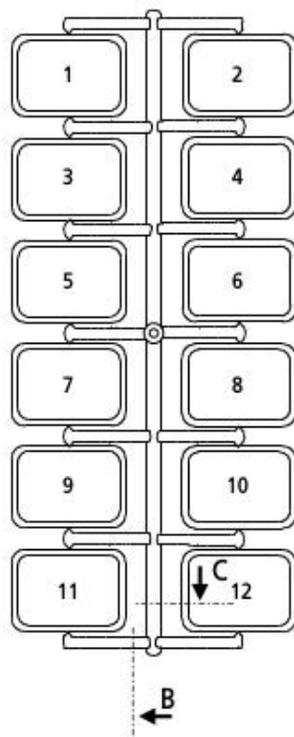
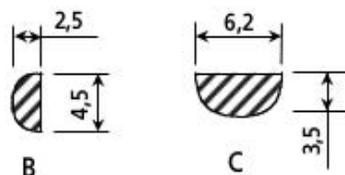


Figure 6.15 – Schéma de la grappe moulée et numérotation des empreintes.

La plage de vitesse de rotation vis est comprise entre 70 et 700 t/min (abaque) sachant que le PP supporte des vitesses linéaires allant de 0,15 à 1,4 m/s (fiche matière) avec une vis de plastification standard.

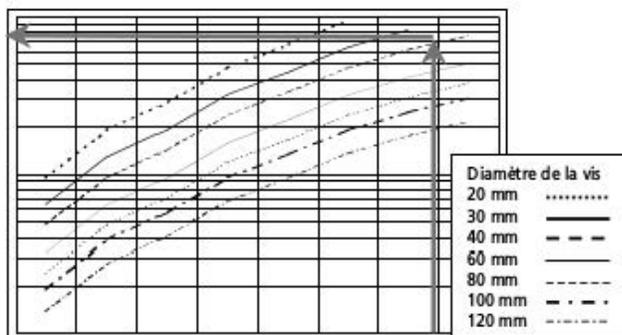


Figure 6.16 – Préréglages de la phase de dosage : conversion de la vitesse linéaire en vitesse de rotation vis.

6.10.3 Préréglage des températures

On choisit la température cible au tiers inférieur de la plage de température du PP soit :

$$\frac{300 - 210}{3} + 210 = 240 \text{ °C}$$

puis, à l'aide du tableau de préréglage, on détermine la température en entrée de fourreau :

$$240 + 10 \text{ (PP crist.allin sur fiche matière)} + 10 \text{ (dosage de 116,5 mm > 2/3 de 145 mm dosage maxi de la presse) - 5 (cadence normale, la pièce n'est ni fine ni épaisse)} = 255 \text{ °C}$$

Le fourreau comporte quatre zones de chauffage, le réglage obtenu est indiqué sur la figure 6.17. La buse ne dispose pas de système de chauffage.

6.10.4 Préréglage du temps de refroidissement

On choisit de démarrer avec un moule froid car les caractéristiques géométriques de la pièce ne justifient pas une thermorégulation. L'abaque d'évaluation des temps de refroidissement de la fiche matière propose un temps de refroidissement total de 2 s pour une épaisseur de 1,22 mm, une température de moulage de 220 °C et un moule à 20 °C. La température de moulage réelle étant de 240 °C, on sait que ce temps est légèrement optimiste. De plus la carotte présente une épaisseur importante de 3,5 mm : c'est elle qu'il faut prendre en compte.

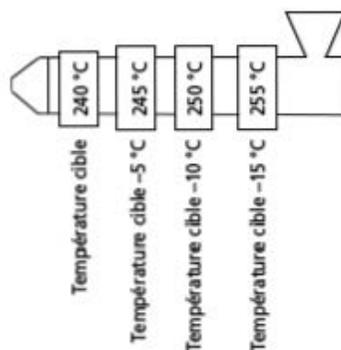


Figure 6.17 – Préréglage des températures.

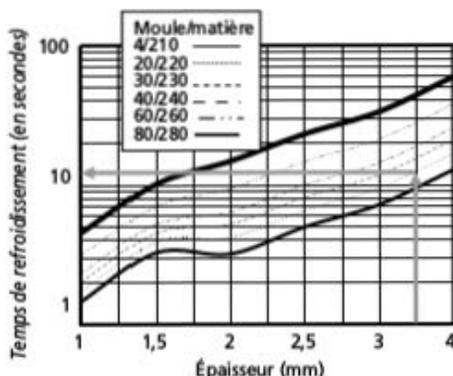


Figure 6.18 – Préréglage du temps de refroidissement.

Le temps de refroidissement réglé sera alors de 12 s + 10 s par sécurité, car on sait que l'absence de maintien augmente le temps nécessaire au refroidissement de la pièce. Le temps de refroidissement au démarrage sera donc de 22 s.

La circulation d'eau dans l'outillage se fera seulement après démarrage de la presse en mode automatique.

6.10.5 Préréglages de l'injection

On choisit la commutation par une course de 10 mm correspondant au calcul de la course de dosage.

La vitesse d'injection est fixée à 10 % de la vitesse maximale d'injection de la presse.

La pression maximale de la presse est de 180 bar hydraulique soit 1 650 bar sur la matière : la limite de pression d'injection est placée au quart de cette valeur, c'est-à-dire 45 bar hydraulique.

Les deux pressions et temps de maintien sont mis à zéro, de ce fait un retard de dosage de 5 s est nécessaire pour éviter de remplir l'empreinte par intrusion lors de la phase de dosage.

6.10.6 Préréglage du groupe d'injection

- Course de recul : 30 mm pour éviter la formation de fil.
- Vitesse d'avance et de recul : 10 %.
- Pression d'appui : 100 bar.

6.10.7 Préparation du moulage

Après avoir vérifié que le fourreau a atteint ses températures de consigne, on effectue le chargement du PP copolymère, puis on purge avec la course de dosage réglée à la valeur du dosage utile (106,5 mm). On vérifie impérativement la qualité de la purge, qui doit être propre, lisse et ne pas fumer. On pèse la purge de la dernière injection : sa masse est de 81,7 g, ce qui est légèrement inférieur au poids attendu pour la moulée (86,2 g). Le réglage du dosage est ainsi validé. On règle à nouveau le dosage en ajoutant les 10 mm de matelas prévus au départ. Moule fermé, on règle la position de contact buse. Le temps d'entre-cycle est réglé à 2 s pour pouvoir réagir facilement à un problème d'éjection, ce qui permet de faire fonctionner la presse en cycle automatique par défaut. La pression d'éjection est volontairement réglée à 0 bar pour la première moulée ; on effectuera la première éjection en manuel afin de contrôler que toutes les empreintes sont suffisamment remplies pour l'éjection des pièces.

6.10.8 Moulage

Lors du premier cycle, on surveille simultanément la position de la vis d'injection et la pression de remplissage. Le cycle semi-automatique est sélectionné.

Le tableau 6.2 résume la succession des moulages effectués. La colonne de gauche donne le comptage ordinal des moulées, et la colonne de commentaires présente les différentes modifications apportées aux réglages originaux.

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection.

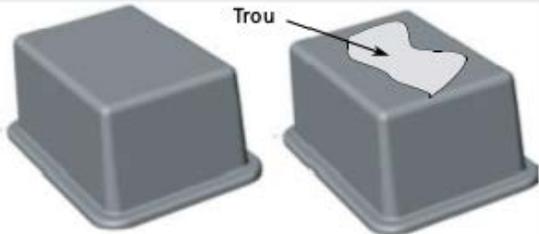
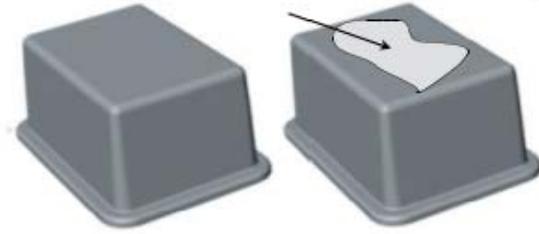
n°	Commentaires	Pièces produites
1	<p>Les pièces sont incomplètes, mais sont éjectées correctement.</p> <p>On remonte la pression d'éjection jusqu'à 40 bar hydraulique, puis on relance la presse en cycle automatique.</p>	 <p>Pièce 1 (la plus remplie) Pièce 8 (la moins remplie)</p>
2	<p>Les pièces sont toujours incomplètes.</p> <p>La pièce la moins remplie n'est plus la pièce 8 : on peut en déduire que l'ordre de remplissage des empreintes est aléatoire.</p> <p>Les moulées suivantes confirment cette hypothèse : on se trouve en présence d'un effet d'hésitation (voir § 8.10) car les pièces extrêmes de la moulée sont toujours les plus remplies (l'incomplet ne se trouve pas à la fin « normale » du remplissage).</p>	 <p>Pièce 2 (la plus remplie) Pièce 5 (la moins remplie)</p>

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

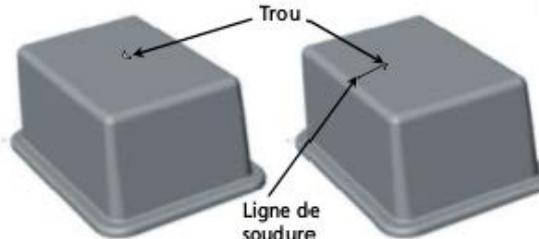
7	<p>On augmente le dosage de 3 mm (réglage à 119,5 mm) pour tenter de remplir complètement les pièces. La presse se met en alarme car la limite de pression de remplissage (45 bar) a été atteinte. Les pièces sont toujours incomplètes.</p>	 <p>Les pièces 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 sont incomplètes.</p>
10	<p>On augmente la limite de pression d'injection de 20 bar (réglage à 65 bar) hydraulique. Les pièces 3, 4, 5 et 8 présentent de légers manques placés soit au centre du fond de la pièce (sur la partie fine), soit sur le bord de cette partie fine. Des lignes de soudure restent nettement visibles sur toutes les empreintes.</p>	
13		

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

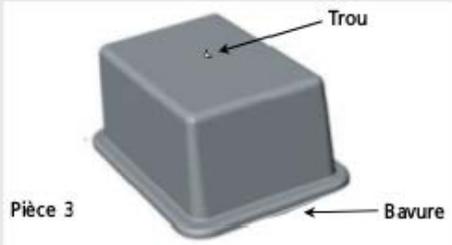
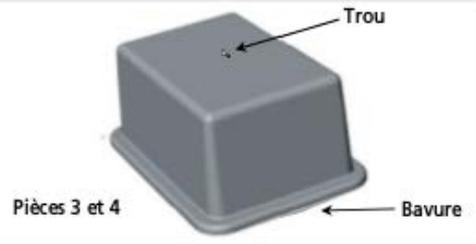
<p>14</p>	<p>On retarde la commutation de 2 mm (réglage à 8 mm) : les pièces ne semblent pas modifiées. On la retarde à nouveau de 2 mm (réglage à 6 mm) : de très légères bavures apparaissent sur la pièce 3.</p>	
<p>La présence simultanée d'incomplets, d'hésitations et de lignes de soudure évoque trois paramètres de la phase de remplissage : la vitesse d'injection, les températures du moule et de la matière (voir chap. 8 à propos des défauts de moulage). La présence de bavures et d'incomplets donne à penser que le front de matière se fige avant la fin du remplissage : la vitesse d'injection est le paramètre le plus facile à modifier (effet immédiat, voir § 6.9).</p>		
<p>19</p>	<p>On augmente la vitesse d'injection de 5 % (réglage à 15 %) et simultanément on met la commutation à la position 8 mm (qui ne générerait pas de bavures). Les pièces 3 et 4 présentent simultanément des incomplets et des bavures.</p>	
<p>26</p>		

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

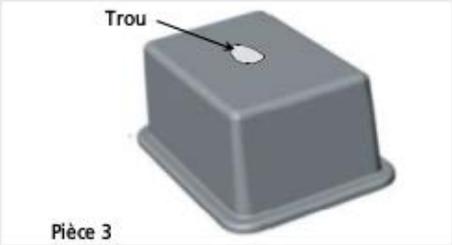
27	Arrêt de la presse	
	<p>Les températures de la matière ou du moule sont certainement en cause. Dans le cas d'une pièce fine, la température du moule est prépondérante pour la qualité de l'écoulement, la température du moule étant peu élevée (20 °C pour une plage de température allant de 4 à 80 °C), on choisit de réguler la température du moule à 35 °C, c'est-à-dire au minimum possible avec notre équipement. On replace la commutation à 10 mm pour éviter un éventuel sur-remplissage du moule, et la vitesse d'injection à 10 % (réglage d'origine). Le temps de refroidissement est évalué à 17 s + 10 s de sécurité à l'aide de l'abaque de refroidissement du PP copolymère.</p>	
28	<p>Démarrage en automatique. On attend 5 moulées avant de contrôler les pièces. La moulée présente des incomplètes, les pièces 3, 4 et 8.</p>	
34		

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

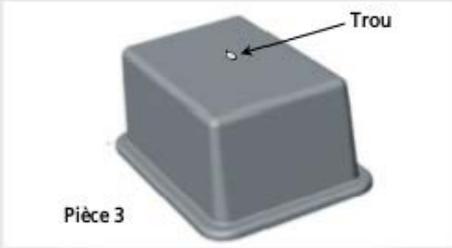
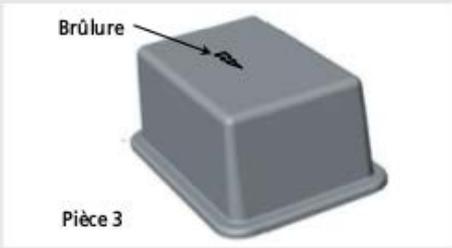
35	<p>On place la commutation à 8 mm pour essayer de remplir la totalité des empreintes. Les empreintes 3 et 8 présentent toujours un petit manque placé au centre du fond dans la partie la plus fine.</p>	
38	<p>On augmente la vitesse d'injection de 5 % (réglage à 15 %). Seule la pièce 3 présente encore un manque.</p> <p>On augmente encore la vitesse de 5 % (réglage à 20 %). La pièce 3 reste à peine incomplète.</p> <p>On règle la vitesse d'injection à 25 %.</p> <p>Les pièces 3 et 8 présentent des brûlures.</p>	
48		

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

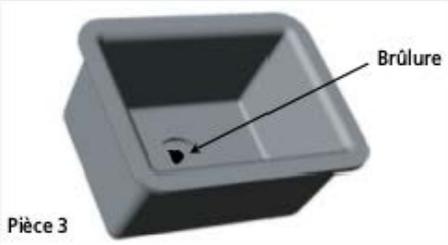
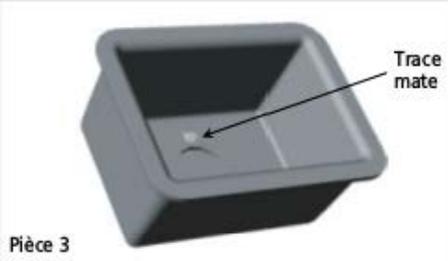
49	<p>Les vitesses et températures sont apparemment correctes ; c'est l'évacuation de l'air prisonnier de l'empreinte qui pose problème. Pour favoriser l'échappement de l'air en début d'injection, on va réduire la force de fermeture de la presse progressivement de 100 à 70 t (à 60 t la carotte présente des bavures).</p>	
62	<p>Seule la pièce 3 conserve une brûlure.</p>	
63	<p>La brûlure restante est située dans une zone non ventilée de l'empreinte où deux fronts de matière se rencontrent. Il est difficile de déplacer la ligne de soudure car les deux fronts de matière traversent des sections identiques, heureusement pas simultanément. Il faut donc prévoir deux vitesses de remplissage ; de 116 à 60 mm, la vitesse d'injection sera de 40 %, puis de 20 % jusqu'à la commutation (20 % est le plus rapide sans faire de brûlures). La pièce 3 présente des traces mates, mais la ligne de soudure s'est déplacée hors de la zone de faible épaisseur.</p>	
67		

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

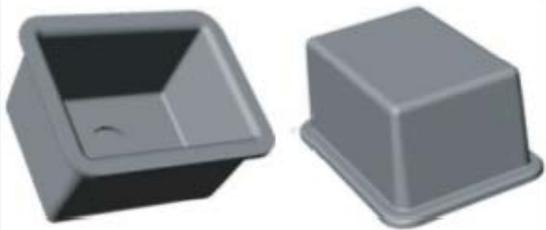
68	<p>La première vitesse d'injection est ramenée à 32 %. La pièce 3 ne présente plus que de légères lignes de soudure identiques à celles présentes sur les autres pièces, acceptées par le client et ne contrevenant pas aux exigences fonctionnelles (étanchéité du bac). Le réglage obtenu manque de robustesse, les différentes teintes de matière induiront des réglages différents, on proposera d'améliorer la ventilation des empreintes en donnant un jeu supplémentaire à l'éjecteur moulant la partie la plus fine de l'empreinte.</p>	 <p>Toutes les pièces sont conformes au plan de contrôle.</p>
78	<p>La pression hydraulique relevée en fin de remplissage est de 56 bar. On choisit une pression de maintien de 30 bar (~ 1/2 de 56), et un temps de maintien de 2 s, donné par l'abaque de refroidissement du PP copolymère pour une épaisseur de 1 mm. Les pièces éjectées étant presque froides, on décide de réduire d'office le temps de refroidissement de 27 à 17 s (ce qui donne un temps de refroidissement réel de 17 s + 2 s de maintien, soit 19 s). On supprime le retard de dosage devenu inutile.</p>	<p>Masse des pièces sans maintien : 71,4 g</p> <p>Masse des pièces avec 2 s de maintien : 72,3 g</p>
87		

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

88	On augmente le temps de maintien de 2 s : la masse des trois moulées augmente significativement. On allonge encore la durée du maintien de 2 s : la masse de trois moulées augmente encore...	Numéro du réglage	1	2	3	4	5
		Temps de maintien (s)	2	4	6	8	10
112	Le tableau ci-contre résume l'évolution de la masse des pièces en fonction du temps de maintien.	Temps de refroidissement réglé (s)	17	15	13	11	9
		Temps de refroidissement total (s)	19	19	19	19	19
		Masse moyenne des pièces de 5 moulées (g)	72,31	72,96	73,23	73,36	73,33
		Écart de masse avec la moulée précédente (g)		0,65	0,27	0,13	0,03

En prenant un pas de progression de 2 s (estimation première de la durée du maintien), on évite de multiplier les mesures inutiles. On peut aussi pratiquer une recherche par dichotomie lorsque l'on presse un temps de maintien très long ou lorsque l'on souhaite une grande précision. Le graphique obtenu à partir du relevé de réglage est donné ci-contre. La pression de maintien n'est pas optimisée, mais le produit fabriqué est conforme au plan de contrôle. On remarque que les lignes de soudure et les petites inclusions d'air restantes semblent s'être estompées lors de la mise en place du maintien, les pièces ne présentent ni bulles ni retassures. On se réserve la possibilité de régler différemment la pression de maintien soit pour réduire encore les défauts d'aspect, soit pour modifier la dimension du produit.

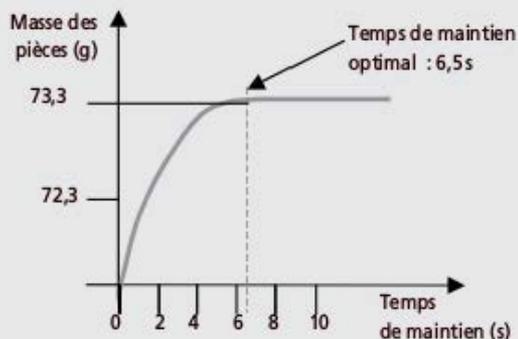


Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

113	La pièce étant correcte, on cherche à réduire la durée du cycle en réduisant l'entre-cycle de 1,3 s (réglage à 0,2 s). On vérifie la vitesse d'éjection, la course d'ouverture du moule et la pression de sécurité de fermeture pour trouver d'éventuelles pertes de temps.	Temps de cycle avant modifications : 26,7 s																												
118		Nouveau temps de cycle : 25,1 s																												
119	La température de démoulage des pièces est très inférieure à 90 °C, température de démoulage maximale acceptable par ce PP (voir fiche matière). On réduit le temps de refroidissement de seconde en seconde. Mais on est limité à 7 s minimum qui est la durée du dosage.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Numéro du réglage</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temps de refroidissement réglé (s)</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>13</td> <td>11</td> <td>9</td> <td>7,5</td> </tr> <tr> <td>Temps de refroidissement réel (s)</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>13,8</td> </tr> <tr> <td>Temps de cycle (s)</td> <td>25,1</td> <td>23,4</td> <td>22,4</td> <td>21,4</td> <td>20,4</td> <td>19,9</td> </tr> </tbody> </table>	Numéro du réglage	1	2	3	4	5	6	Temps de refroidissement réglé (s)	17	15	13	11	9	7,5	Temps de refroidissement réel (s)	19	19	19	19	19	13,8	Temps de cycle (s)	25,1	23,4	22,4	21,4	20,4	19,9
Numéro du réglage	1	2	3	4	5	6																								
Temps de refroidissement réglé (s)	17	15	13	11	9	7,5																								
Temps de refroidissement réel (s)	19	19	19	19	19	13,8																								
Temps de cycle (s)	25,1	23,4	22,4	21,4	20,4	19,9																								
127																														

Tableau 6.2 – Exemple de déroulement d'une mise au point d'un réglage d'injection. (Suite)

128	<p>La durée du dosage empêche de réduire la durée du cycle, mais on sait que le PP supporte une vitesse de rotation de vis de 700 tr/min : on peut amener la vitesse de rotation au maximum accepté par la presse (soit 350 tr/min). La durée du dosage est maintenant de 5 s, on continue à baisser la durée du refroidissement.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Numéro du réglage</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temps de refroidissement réglé (s)</td> <td>7</td> <td>6,5</td> <td>6</td> <td>5,5</td> <td>5,8</td> </tr> <tr> <td>Temps de refroidissement réel (s)</td> <td>13,3</td> <td>12,8</td> <td>12,3</td> <td>11,8</td> <td>12,1</td> </tr> <tr> <td>Temps de cycle (s)</td> <td>19,4</td> <td>18,4</td> <td>18,4</td> <td>17,9*</td> <td>18,2**</td> </tr> </tbody> </table>	Numéro du réglage	7	8	9	10	11	Temps de refroidissement réglé (s)	7	6,5	6	5,5	5,8	Temps de refroidissement réel (s)	13,3	12,8	12,3	11,8	12,1	Temps de cycle (s)	19,4	18,4	18,4	17,9*	18,2**
Numéro du réglage	7	8	9	10	11																					
Temps de refroidissement réglé (s)	7	6,5	6	5,5	5,8																					
Temps de refroidissement réel (s)	13,3	12,8	12,3	11,8	12,1																					
Temps de cycle (s)	19,4	18,4	18,4	17,9*	18,2**																					
168	<p>La carotte de la moulée est très chaude, elle se déforme légèrement à l'éjection et les carottes collent parfois aux pièces dans le bac de réception. Le temps de cycle est conforme à la prévision : les pièces seront éjectées sur un tapis lent afin de laisser refroidir la carotte hors du bac de réception.</p>	<p>* Réglage incorrect : après 11 moulées, la carotte colle sur ses éjecteurs, elle semble tomber difficilement. Sa température est trop élevée au moment du démoulage.</p> <p>** Réglage retenu.</p>																								
169	<p>Le temps de refroidissement étant réglé, et le cycle étant stabilisé, on essaye de travailler sans reculer la buse. On réussit 10 moulées conformes, sans effets de goutte froide visibles lors de l'injection : le réglage en buse collée est validé.</p>	<p>Temps de cycle avant modifications : 18,2 s Nouveau temps de cycle : 18,1 s Temps de cycle attendu : 18,5 s Masse moyenne d'une moulée : 86,29 g Masse attendue : 86,2 g</p>																								
189																										

6.11 Réglage robuste

6.11.1 Normes

■ Normes de référence

NF X 06-050, NF X 06-032, NF X 06-042

■ Normes associées

NF X 06-065, NF X 06-063, NF X 06-062, NF X 06-031

6.11.2 Définition et principe

Le réglage d'une installation de production est robuste lorsque la variation naturelle d'un paramètre n'engendre pas de variations significatives d'un caractère mesurable du produit.

La distribution d'une variable aléatoire suit une loi normale si :

- le nombre de paramètres qui l'influe est élevé ;
- l'influence séparée de chaque paramètre est faible ;
- les paramètres qui l'influent sont indépendants.

Pour s'assurer de la normalité d'une distribution, on doit faire une étude statistique de cette normalité (NF X 06-050) puis s'assurer de la stabilité (tendance centrale et dispersion) de la distribution du caractère mesuré (NF X 06-031). La robustesse du réglage favorise la normalité de la distribution, la réduction de sa dispersion ainsi que sa stabilité dans le temps.

6.11.3 Application à l'injection

Lorsqu'un paramètre a une influence prépondérante par rapport aux autres, la courbe de distribution devient multimodale ou aplatie ce qui provoque une dégradation de Ppk (voir chapitre 11 sur le contrôle statistique). Ce paramètre prépondérant s'appelle une « cause assignable ». La recherche de la nature des causes assignables peut être menée par planification expérimentale. C'est une méthode lourde et onéreuse. Il est plus judicieux de s'assurer, par la robustesse du réglage, de la faible probabilité d'apparition d'une cause assignable.

La maîtrise des points suivants favorise la robustesse du réglage :

- stabilité thermique de l'outillage,

- stabilité générale du comportement de la presse,
- stabilité de la durée du cycle,
- stabilité des caractéristiques de la matière,
- stabilité de la plastification.

■ Indicateurs de robustesse

Le tableau 6.3 propose quelques indicateurs de robustesse du réglage.

Tableau 6.3 – Indicateurs de robustesse du réglage.

Indicateurs	Sens de variation ou bornes	Causes assignables éventuelles
Écart de température entre l'entrée et la sortie du moule	Inférieur à 5 °C	Type 1
Débit d'eau dans chaque circuit d'eau	Voir tableau 4.7, « Régulation des outillages »	Type 1 ou type 2
Dispersion de la durée du dosage	À réduire	Type 3
Dispersion de la course de dosage	À réduire	Type 3
Dispersion de la durée de l'injection dynamique	À réduire	Type 4
Dispersion du matelas	À réduire	Type 5
Dispersion de la pression à la commutation ou de la position de commutation	À réduire	Type 4 ou type 5
Dispersion de l'intégrale de la courbe de pression de remplissage	À réduire	Type 4
Dispersion de la durée du cycle	À réduire	Type 4 ou type 6

Remarque

La stabilité de la température de la pièce au démoulage est un excellent indicateur de robustesse, qui est associé à tous les types de cause assignable.

6.11.4 Recherche de causes assignables

Lorsqu'un indicateur présente une stabilité médiocre, on met en œuvre une recherche de la cause assignable. La liste suivante propose des pistes de recherche simples, qui peuvent être rapidement mises en œuvre en conditions de production. Cette liste n'est pas exhaustive, ni classée par ordre de fréquence. On peut remarquer que l'essentiel des problèmes est dû à une utilisation incorrecte du matériel, à des oublis, à une vérification incomplète du bon fonctionnement de l'installation ou à des réglages approximatifs non vérifiés.

■ Type 1

- Tuyaux d'alimentation coudés ou écrasés.
- Déséquilibre des débits entre des circuits de refroidissement parallèles.
- Branchement incorrect du régulateur.
- Capacité du régulateur insuffisante (débit de pompe, puissance de chauffage).
- Fonctionnement du régulateur (pompe...).

■ Type 2

- Circuits de régulation encrassés ou bouchés.

■ Type 3

- Température de la goulotte trop élevée.
- Proportion de broyé (ou de colorant) trop élevée.
- Granulométrie du broyé inadaptée.
- Alimentation automatique défectueuse.
- Température des granulés irrégulière.
- Profil de température du fourreau inadapté.
- Vitesse de dosage trop élevée.
- Contre-pression incorrecte.
- Pression limite de dosage trop faible. (On peut volontairement baisser la pression limite de dosage afin de régulariser le dosage par d'autres paramètres.)

■ Type 4

- Contre-cône de buse ne démoulant pas.
- Effets de goutte froide.
- Pression limite d'injection insuffisante.
- Température outillage ou canaux chauds irrégulière.
- Défaut d'étanchéité du clapet de vis.
- Température matière trop basse ou matière polluée.
- Vitesse d'injection inadaptée.

■ Type 5

- Clapet de vis défectueux.
- Première vitesse d'injection trop faible.
- Décompression insuffisante.

■ Type 6

- Pression de sécurité trop faible.
- Première vitesse de fermeture du moule trop élevée ou première pression limite de fermeture trop faible.
- Pression d'éjection insuffisante.
- Temps de cycle conditionné par la durée du dosage.
- Filtres hydrauliques colmatés ou huile hydraulique trop froide.
- Refroidissement de l'huile hydraulique irrégulier ou inopérant.

6.12 Exploitation des graphiques

6.12.1 Présentation

■ Introduction

La maîtrise du procédé d'injection des thermoplastiques comporte de multiples difficultés essentiellement liées aux nombreux paramètres mis en jeu, à leur interdépendance, et surtout au manque d'informations sensorielles retournées par les matériels. Pour améliorer le réglage, il est nécessaire de disposer d'instruments de mesure adaptés aux différents points clés du procédé ainsi qu'à la méthodologie d'optimisation choisie. Lors de l'optimisation du processus

d'injection de thermoplastiques, il est utile de disposer d'une table traçante mesurant la position de la vis de plastification, la pression hydraulique et, éventuellement la pression de la matière dans l'empreinte. Les constructeurs de presse intègrent, depuis de nombreuses années, à leur commande numérique, des fonctions graphiques équivalentes à une table traçante. Ce chapitre ne traite explicitement que de la table traçante, mais il est évident que les courbes obtenues sur les pages graphiques de presses, ainsi que leur interprétation sont identiques.

■ Principe

Selon la variable que l'on souhaite mesurer, on effectue une affectation différente des voies de la table traçante. L'interprétation des résultats obtenus est objective ; par contre, le choix de la représentation graphique reste livré à l'appréciation de l'utilisateur. Les exemples suivants sont classés suivant l'ordre des phases que l'on désire optimiser et selon le mode d'optimisation choisi.

6.12.2 Courbes

■ Courbes « Pression = f (Temps) »

Pour visualiser l'injection, la représentation courante est : X = temps et Y = pression hydraulique de la presse. La courbe obtenue est celle d'une application dont l'interprétation est aisée, notamment par l'outil informatique. De nombreuses presses utilisent l'intégrale d'un intervalle (repère 2 à 3) de cette courbe comme indicateur de robustesse du réglage (figure 6.19 ci-après).

■ Courbes « Pression = f (Position vis) »

Une représentation plus significative est fournie par X = position de la vis et Y = pression hydraulique, mais sa lecture demande plus de réflexion, le tracé obtenu donnant plusieurs valeurs de y pour une seule valeur de x (figure 6.20 p. 225).

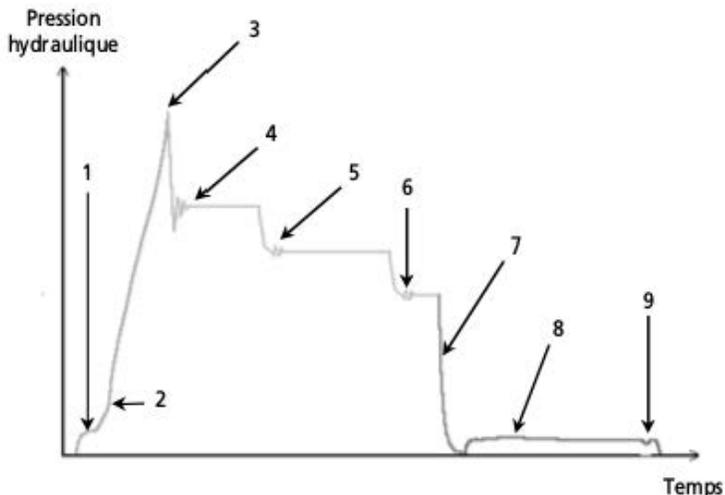


Figure 6.19 – Courbes « Pression = f (Temps) ».

1. Compensation de la suction en début d'injection, la pression mesurée correspond aux efforts de frottement de la vis sur le fourreau.
2. Augmentation de la pente correspondant à un accroissement rapide de la pression d'injection lorsque le front de matière passe les seuils d'injection capillaires.
3. Commutation ; la pression relevée sera la pression hydraulique maximale mesurée dans le vérin d'injection.
4. Premier palier de pression de maintien, la portion de courbe présentant une variation rapide de pression signale un réglage mal adapté des paramètres PID de contrôle de la pression de maintien. La durée de stabilisation de la pression est de 0,7 s.
5. Deuxième palier de pression de maintien.
6. Troisième palier de pression de maintien.
7. Décompression du matelas de matière en fin de maintien.
8. Dosage ; la pression mesurée est la contre-pression, ses variations indiquent un recul irrégulier de la vis dont les causes restent à déterminer.
9. Décompression après dosage, la contre-pression reste active durant cette phase afin de minimiser l'effet de l'inertie de la vis.

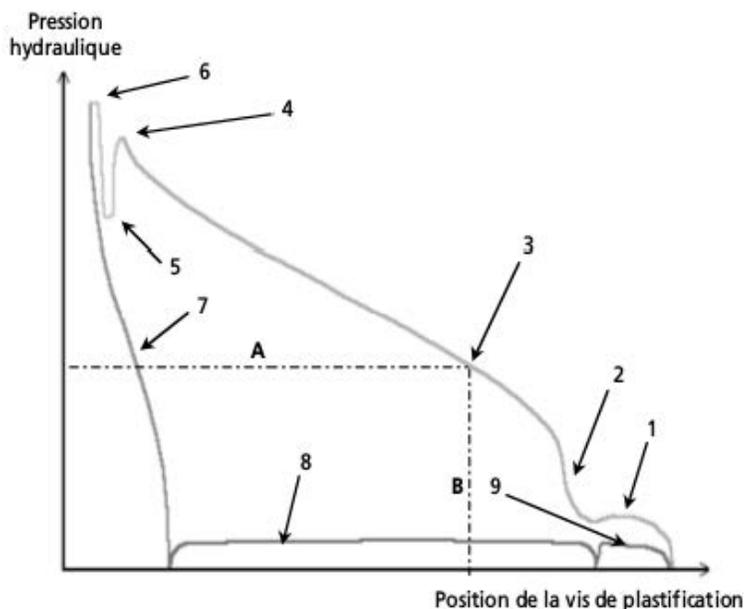


Figure 6.20 – Courbes « Pression = f (Position vis) ».

1. Compensation de la succion en début d'injection, la pression mesurée correspond aux efforts de frottement de la vis sur le fourreau.
2. Augmentation de la pente indiquant un accroissement rapide de la pression d'injection lorsque le front de matière passe les seuils d'injection capillaires.
3. La pression A correspond au volume injecté B.
4. Commutation ; la pression hydraulique de la machine atteint son maximum.
5. Premier palier de pression de maintien.
6. Deuxième palier de pression de maintien.
7. Décompression du matelas de matière en fin de maintien. Un recul aussi important est le signe d'une durée globale de maintien insuffisante ou de la décompression de canaux chauds.
8. Dosage ; la pression mesurée est la contre-pression.
9. Décompression après dosage, la contre-pression reste active durant cette phase afin de minimiser l'effet de l'inertie de la vis.

6.12.3 Exploitation

■ Optimisation de la phase de remplissage

Les éléments clefs de l'optimisation de la phase dynamique de l'injection sont intimement liés à la conception et à la réalisation de la pièce et de l'outillage : on ne peut pas généraliser sur la forme d'une courbe de remplissage optimal. On peut, par contre, citer quelques cas typiques d'utilisation de la table traçante dans la recherche de caractéristiques de remplissage :

- recherche d'une pression minimale en un point précis du remplissage, pour préserver une partie fragile de l'outillage ou une caractéristique géométrique de la pièce (flexion de broche par exemple) ;

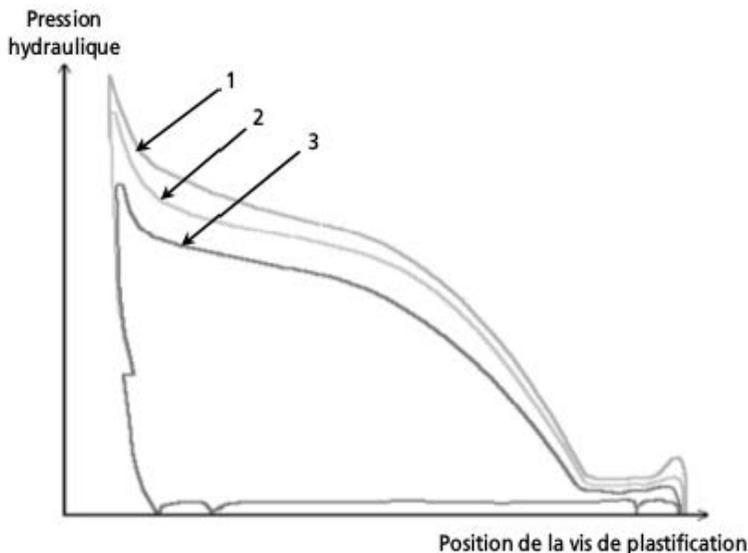


Figure 6.21 – Recherche de la vitesse optimale.

1. Courbe obtenue avec une vitesse de 15 % de v_{max} . 2. Courbe obtenue avec une vitesse de 9 % de v_{max} . 3. Courbe obtenue avec une vitesse de 5 % de v_{max} . On considère que cette vitesse permet une réduction optimale de la force de verrouillage du moule.

- recherche d'une pression minimale de commutation pour éviter des bavures sur un moule à empreintes multiples non équilibrées ;
- recherche du profil de vitesse donnant la plus faible pression maximale au cours de remplissage, pour des pièces de grande surface projetée (figure 6.21).

■ Optimisation de la phase de maintien (isochore)

Pour régler cette phase, la représentation courante est : X = position de la vis et Y = pression hydraulique de la presse. Ce type de relevé est assez bien adapté à la réalisation de maintien quasi isochore (à volume massique constant) utilisé pour la réalisation de pièces dimensionnellement stables. Un réglage de maintien quasi isochore a pour objectif de réduire les contraintes internes de

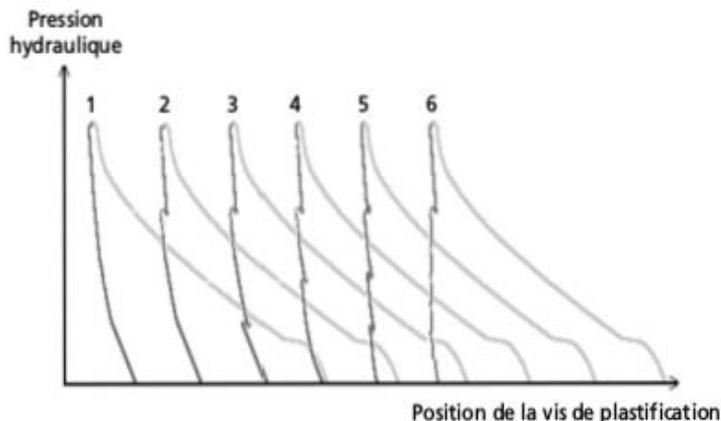


Figure 6.22 – Optimisation d'un maintien quasi isochore grâce à une succession de courbes « Pression hydraulique = f (Position de la vis) » (les phases de dosage et de décompression ne sont pas représentées ; les courbes 1 à 6 ont été décalées régulièrement sur l'abscisse).

- Réglage 1 : pas de pression de maintien.
- Réglage 2 : une pression de maintien de 40 bar.
- Réglage 3 : deux pressions de maintien, la seconde (10 bar) est trop faible.
- Réglage 4 : deux pressions de maintien.
- Réglage 5 : trois pressions de maintien.
- Réglage 6 : cinq pressions de maintien optimisées.

la pièce. Pour cela, on recherche un profil de pression qui assure un volume spécifique constant de la matière. Un profil de pression adapté au maintien quasi isochore se caractérise par l'immobilité de la vis durant la phase de maintien (figure 6.22).

■ Optimisation de la phase de maintien (effort constant)

Pour optimiser la phase de maintien on peut aussi utiliser la représentation $X = \text{temps}$ et $Y = \text{pression matière dans l'empreinte}$. Ce type de relevé est adapté à la réalisation de maintien à force constante. Le maintien à effort constant est utilisé pour la réalisation de pièces aux larges tolérances dimensionnelles, présentant des caractéristiques d'aspect prépondérantes, ou de grandes surfaces. Ce type de maintien compense une grande part du retrait au détriment des autres propriétés du matériau, son utilisation présuppose une connaissance approfondie des caractéristiques mécaniques de l'outillage. Les courbes de la figure 6.23 présentent les étapes de la mise en place de ce type de maintien. Le tableau donne les pressions hydrauliques appliquées. Cette recherche aboutit à une série de pressions croissantes.

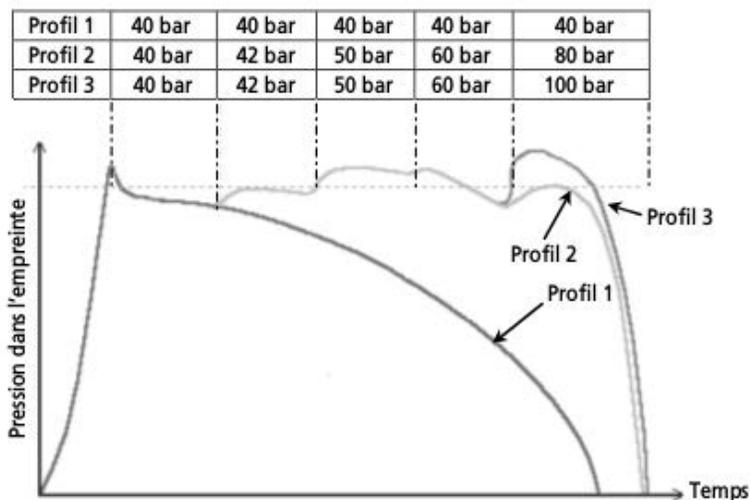


Figure 6.23 – Optimisation d'un maintien à effort constant.

La pression apparente dans l'empreinte est constante : il faut augmenter la pression en bout de vis pour compenser l'épaississement de la gaine solide. Le premier réglage dispose d'une seule pression de maintien (repère 1). Le second réglage maintient la pression apparente dans l'empreinte constante grâce à cinq paliers de pression (repère 2). La pression du cinquième palier du dernier réglage est volontairement trop élevée, la courbe obtenue (repère 3) confirme l'impossibilité de maintenir la pression plus longtemps.

6.12.4 Visualisation du compactage

Pour mettre en évidence le compactage, on utilise la représentation X = pression hydraulique de la machine et Y = pression de la matière dans l'empreinte. Le compactage caractérise le passage d'un flux de matière de l'état dynamique à l'état statique. On obtient la courbe de la figure 6.24 (des flèches, reportées sur la courbe, précisent le sens de tracé).

6.12.5 Conclusion

Toutes les mesures faites à l'occasion de la manipulation de la table traçante ne doivent pas faire perdre de vue que l'on effectue des mesures ponctuelles et partielles de phénomènes localisés. Ainsi dissocier le remplissage du compactage et du maintien permet une bonne identification des paramètres de la presse à injecter avec un modèle simple de procédé d'injection, mais ne correspond pas à la dispersion réelle des états physiques du matériau. L'histoire d'un élément infinitésimal de polymère situé au cœur de la pièce est très différente de celle d'un autre élément situé à la surface, ce dernier n'ayant connu ni compactage ni maintien. Tel autre élément situé dans un flux de matière précocement arrêté aura connu un compactage lent et une pression de maintien très élevée.

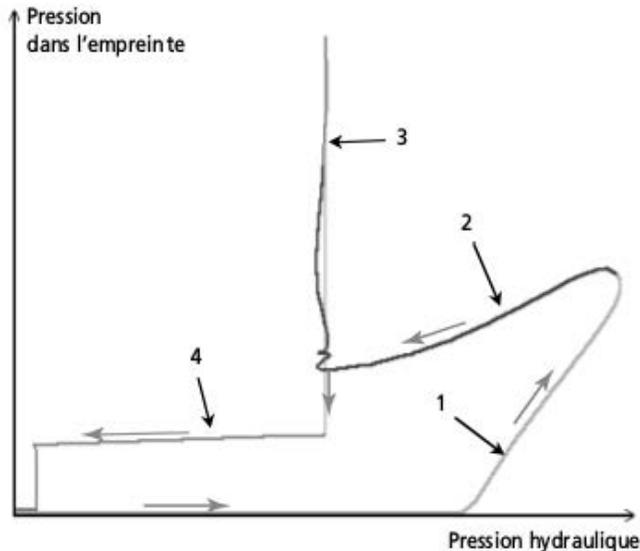


Figure 6.24 – Pression dans l'empreinte en fonction de la pression hydraulique.

1. Remplissage de l'empreinte : la pression hydraulique croît constamment, la pression dans l'empreinte n'est mesurée qu'à partir du passage du front de flux sur le capteur de pression.
2. Compactage : la pression hydraulique décroît rapidement suite à la commutation, la pression matière croît pour atteindre une valeur supérieure à la pression de commutation. (La légère décroissance de pression dans l'empreinte au début du compactage indique une commutation légèrement précoce.)
3. Maintien : la pression hydraulique ne varie pas, la pression apparente dans l'empreinte diminue suite au refroidissement de la matière.
4. Dosage : les seuils d'injection étant figés, la pression hydraulique est dissociée de la pression dans l'empreinte.

C

Défauts sur pièces injectées

7 • MÉTHODE D'IDENTIFICATION DES DÉFAUTS

Lorsque l'on désire contrôler la qualité d'une pièce injectée, il faut, après avoir consulté les fiches matières, prélever plusieurs pièces moulées successivement et provenant de toutes les empreintes. Ensuite, il est nécessaire de situer, sur chaque pièce, la position du seuil d'alimentation et l'ordre de remplissage des différentes parties de la pièce. Enfin, on peut rechercher la nature d'éventuels défauts à l'aide de l'arbre de la figure 7.1 : ce sont les fiches descriptives des défauts qui confirmeront ou non la justesse de l'identification du défaut. En cas d'incertitude, il est judicieux de parcourir la totalité de l'arbre afin de trouver si d'autres défauts peuvent aussi correspondre aux critères de reconnaissance. Les numéros entre parenthèses renvoient au chapitre 8.

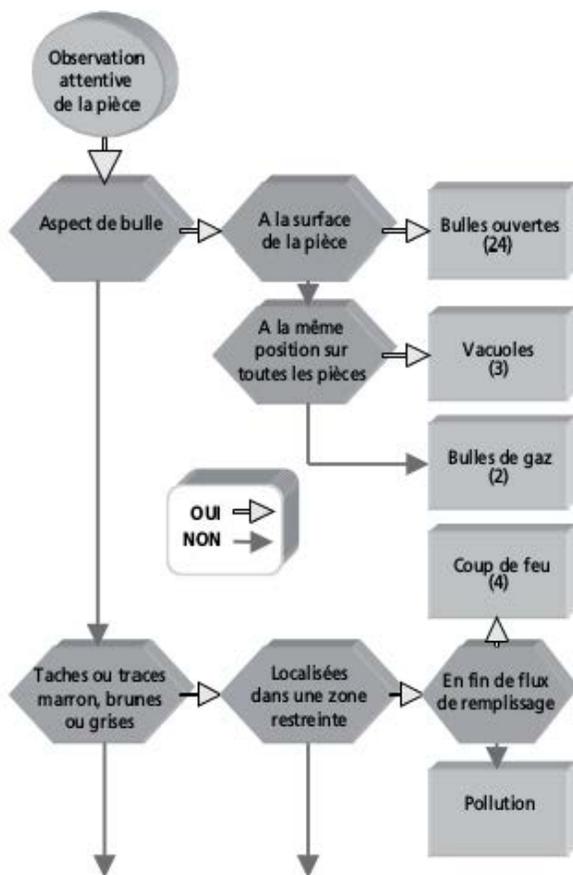


Figure 7.1 – Méthode d'identification des défauts.

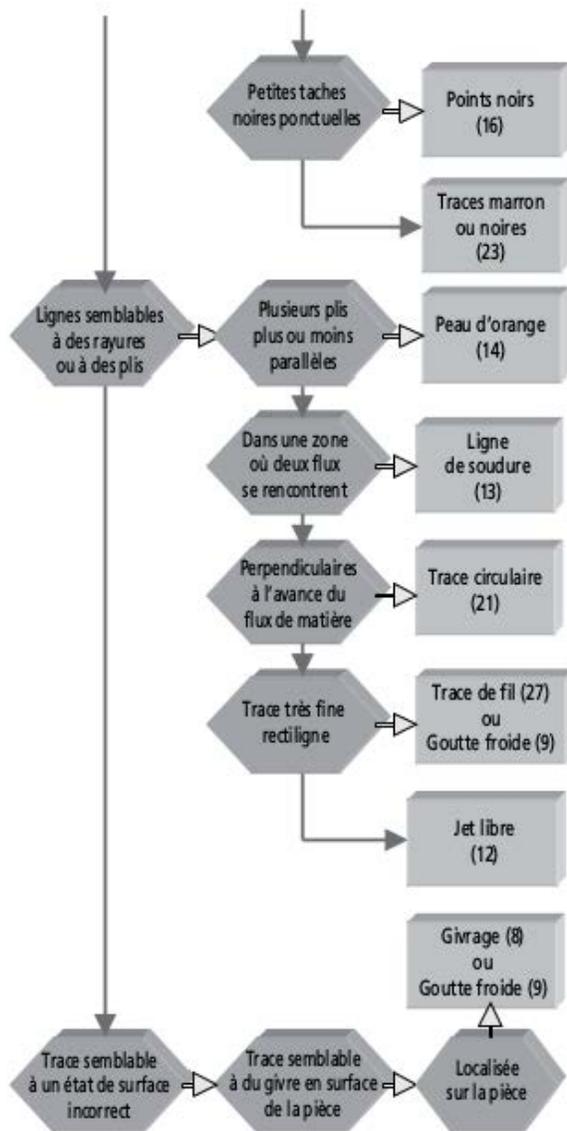


Figure 7.1 – Méthode d'identification des défauts. (Suite)

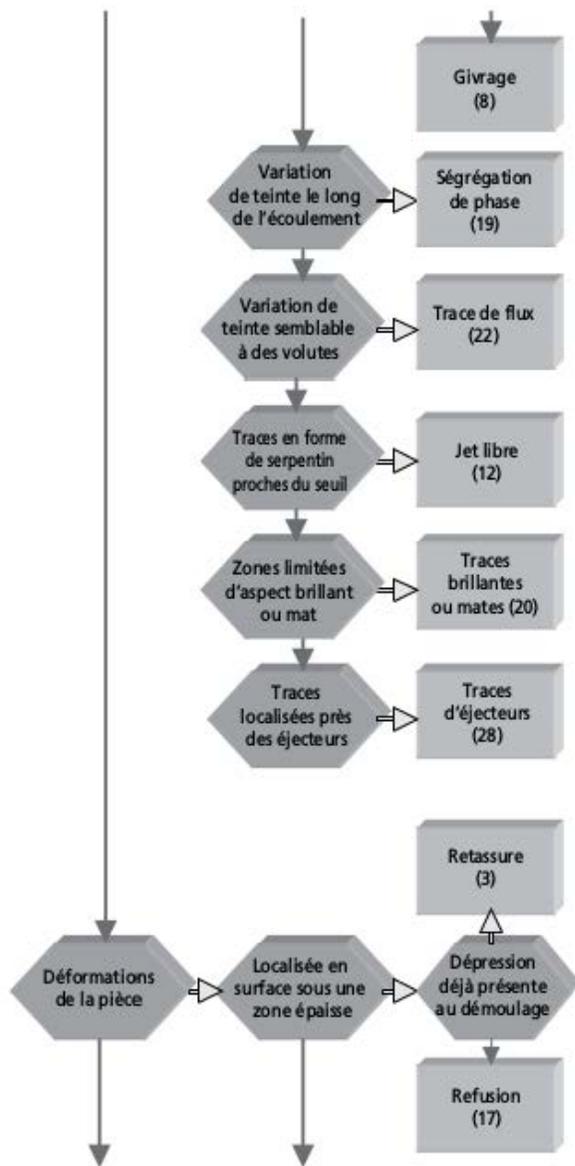


Figure 7.1 – Méthode d'identification des défauts. (Suite)

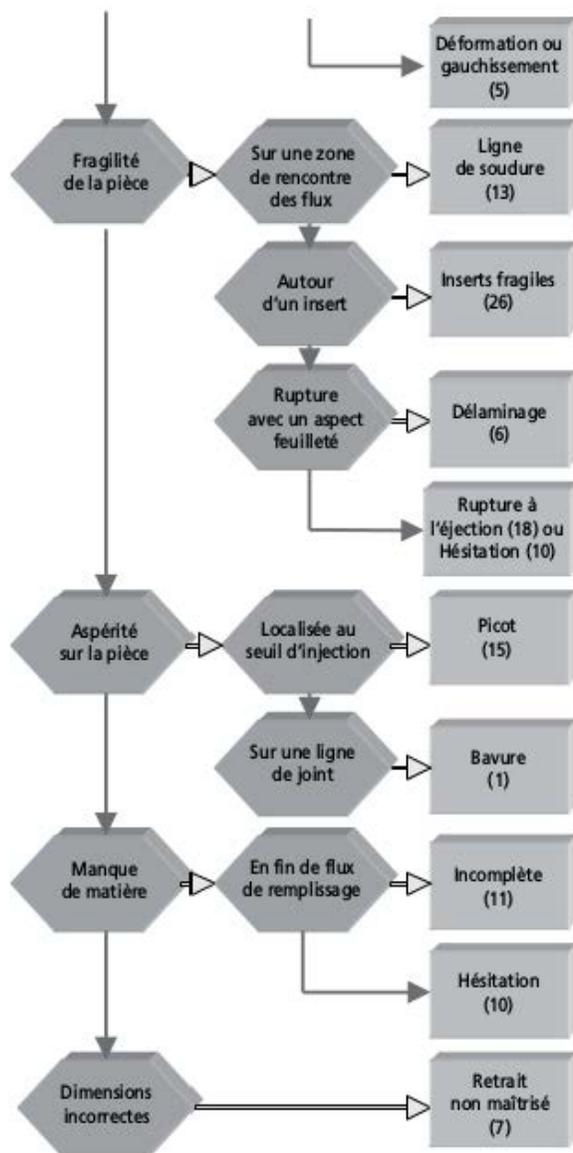


Figure 7.1 – Méthode d'identification des défauts. (Suite)

8 • PRINCIPAUX DÉFAUTS RENCONTRÉS

Le lecteur trouvera en fin d'ouvrage les photos mentionnées dans ce chapitre et illustrant les différents types de défauts traités ici.

8.1 Bavure (toile)

8.1.1 Aspect (photos 3 et 4)

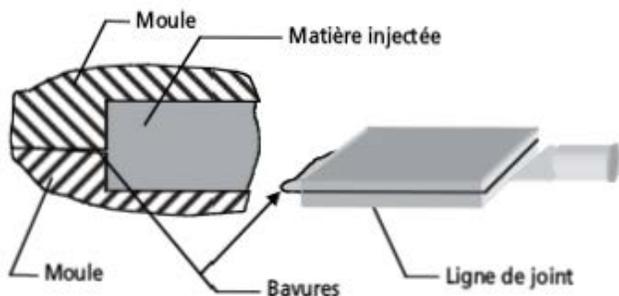


Figure 8.1 – Bavure.

La bavure se présente sous l'aspect d'une fine toile de matière située sur une partie de la pièce où apparaît normalement une ligne de joint (figure 8.1). Sur des surfaces fonctionnelles, une bavure invisible à l'œil nu est parfois inacceptable. La mesure des bavures peut se faire à l'aide d'une loupe (compte-fils) ou d'un projecteur de profil.

8.1.2 Origine du défaut

Durant l'injection, la matière s'infiltré dans un plan de joint. Cette infiltration peut avoir deux origines :

- un jeu trop important entre deux éléments d'empreinte (voir *jeux d'infiltration* sur les fiches matières) ;
- une pression dans l'empreinte suffisante pour vaincre l'effort de verrouillage des éléments mobiles de l'empreinte.

Dans ce dernier cas, le réglage de la phase dynamique ou du verrouillage est incorrect (photos 3 et 4).

8.1.3 Position

Le défaut est souvent situé sur une zone d'arrêt des fronts d'écoulement de la matière, ou près d'un seuil (zone sans gaine solide).

8.1.4 Causes possibles

Machine/moule

- Fermeture incorrecte du moule ou d'un élément mobile de l'empreinte.
- Jeux trop importants.

Méthode

- Températures du moule ou de la matière trop élevées.
- Pression de maintien trop forte.
- Vitesse d'injection trop élevée lors du remplissage de la zone de la bavure.

Matières favorisantes

- Matières fluides (cristallines).

8.1.5 Remarques

Lorsqu'une bavure apparaît sur le plan de joint, on peut essayer d'augmenter la force de fermeture. La toile ne doit pas dépasser 0,3 mm de saillie en classe normale selon la norme NF T 58-000.

Dans certains cas, la bavure peut apparaître suite à une déformation de l'outillage sous l'action de la pression (flexion de plaque intermédiaire, de frette, de verrou, etc.).

8.2 Bulles de gaz

8.2.1 Aspect (photos 5 et 6)

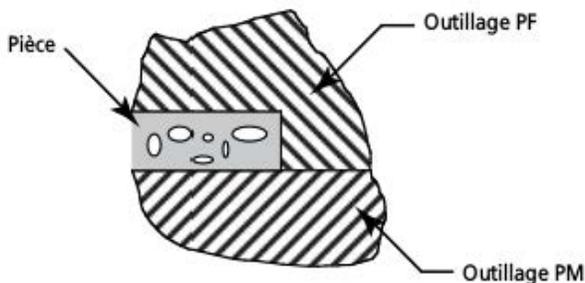


Figure 8.2 – Bulles de gaz.

La pièce présente une ou plusieurs bulles sphériques ou de profil ovale. D'une injection à l'autre, la position des bulles varie, sauf s'il s'agit d'une bulle unique dans le cas d'un moulage en canal chaud (figure 8.2).

8.2.2 Origine du défaut

Lors de la plastification ou de la décompression des canaux chauds, des gaz (air ou produits de dégradation) ont été mélangés à la matière. Durant la phase d'injection, ces gaz provoquent des inclusions dans la pièce (photos 5 et 6).

8.2.3 Position

Si les bulles sont multiples, elles sont réparties dans la totalité de la pièce.

8.2.4 Causes possibles

Méthode

- Profil de température inadapté.
- Contre-pression insuffisante.
- Vitesse de rotation de la vis trop élevée.

Matière

- Étuvage insuffisant.

Matières favorisantes

- Matières favorisant l'effet tire-bouchon, PC et ses alliages, TPU, IO.

8.2.5 Remarque

Lors du moulage en canal chaud, une étanchéité insuffisante de la portée de buse peut provoquer une bulle d'air, suite à la décompression.

8.3 Bulles de vide (vacuoles) et retassures

8.3.1 Aspect (photos 7 à 11)

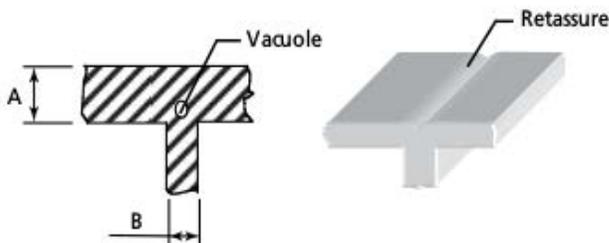


Figure 8.3 – Bulles de vide.

La norme NF T 58-000 propose en classe normale :

- $(B/A) < 1$: tolérance = 0,1 mm maximum de profondeur de retassure ;
- $1 < (B/A) < 2$: tolérance = 0,2 mm maximum de profondeur de retassure ;
- $(B/A) > 2$: tolérance = 0,3 mm maximum de profondeur de retassure.

La bulle de vide se présente sous l'aspect d'une ou plusieurs bulles situées dans des parties massives de la pièce et/ou sous des surfaces cylindriques ou sphériques. D'une injection à l'autre, la position des bulles de vide ne varie pas.

La retassure se présente sous l'aspect d'une dépression située près des parties massives de la pièce et sur des surfaces planes. D'une injection à l'autre, la position des retassures ne varie pas.

8.3.2 Origine du défaut

Lors du refroidissement, le retrait absolu des zones de forte épaisseur étant plus important, la surface de la matière est excessivement tirée en arrière par le retrait (retassure). Si la surface est peu déformable, la matière va se rompre à l'intérieur de la pièce et produire une bulle de vide (photos 7 à 11).

8.3.3 Position

Les défauts sont situés sur des parties massives de la pièce.

8.3.4 Causes possibles

Machine/moule

- Seuil d'injection trop petit.

Méthode

- Température du moule insuffisante.
- Pression de maintien trop faible.
- Profil de pression de maintien inadapté (essayer un profil à pression croissante).

Matières favorisantes

- Matières cristallines non chargées, matières amorphes visqueuses.

8.3.5 Remarques

Le PP peut présenter des chapelets de petites bulles de vides qui ressemblent à des taches blanches au cœur des pièces. Ces traces, dues aux contraintes apparaissant durant le retrait de la matière, se développent encore plusieurs minutes après le démoulage.

L'utilisation d'un maintien à pression croissante nécessite de gros seuils d'injection (sauf pour l'ABS).

La position centrée des bulles et leur éloignement du seuil permettent d'identifier formellement les vacuoles.

8.4 Coup de feu (brûlure)

8.4.1 Aspect (photos 12 à 14)

Le coup de feu se présente sous l'aspect d'une tache grise ou noire très localisée ; cette dégradation locale rend parfois la matière un peu colleuse. Le coup de feu génère souvent un bruit sec parfaitement audible lors de l'injection (figure 8.4).

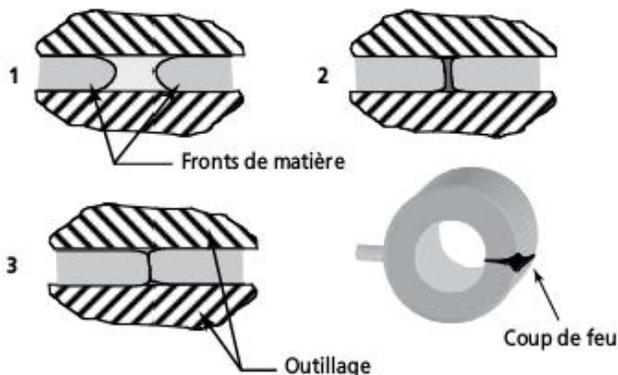


Figure 8.4 – Coup de feu.

8.4.2 Origine du défaut

Durant le remplissage (figure 8.4), les gaz, contenus dans l'empreinte ou produits par la matière, sont insuffisamment évacués (1). À la fin du remplissage, leur brusque montée en pression fait augmenter leur température, provoquant la dégradation de la matière (2). Le mélange gazeux produit s'enflamme spontanément de manière explosive (3).

8.4.3 Position

Le coup de feu se situe en fin de remplissage, sur la zone d'arrêt du front d'écoulement de la matière (photos 12 à 14).

8.4.4 Causes possibles

Machine/moule

- Événements insuffisants.

Méthode

- Températures de la matière ou de l'outillage trop élevées.
- Vitesse d'injection trop élevée.
- Force de fermeture trop élevée (si le coup de feu est situé sur le plan de joint).

Milieu

- Événements colmatés (nettoyer le moule).

8.4.5 Remarques

Si une série de réglages donne soit un coup de feu, soit une ligne de soudure, ayant une localisation identique sur la pièce, un problème d'événement est la cause prépondérante d'apparition du défaut.

La température atteinte, lors du coup de feu, détériore la surface de l'empreinte. Il faut donc corriger ce défaut dans les plus brefs délais.

8.5 Déformation ou gauchissement

8.5.1 Aspect (photos 15 et 16)

La pièce présente une forme différente de celle de l'empreinte. Les angles entre les faces des pièces sont plus aigus que les angles correspondants dans l'empreinte, les surfaces planes se gauchissent et les pièces présentent des formes ovalisées orientées selon la direction du remplissage (figure 8.5).

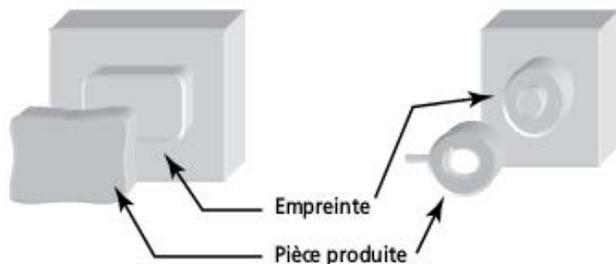


Figure 8.5 – Déformations.

8.5.2 Origine du défaut

La matière présente un retrait fortement différentiel suite à une vitesse de refroidissement variable en différents points de l'empreinte. L'écart de température dans l'épaisseur de la pièce peut être :

- inhérent à la géométrie de l'empreinte (angles vifs par exemple) ;
- lié aux directions de l'écoulement (ovalisation d'une pièce cylindrique par exemple) ;
- provoqué par une régulation thermique incorrecte d'éléments de l'empreinte (photo 15).

8.5.3 Position

Le défaut n'est pas localisé, sauf exception (refroidissement incorrect de certaines parties de l'empreinte, photo 16).

8.5.4 Causes possibles

Machine/moule

- Écarts de température trop importants entre différents points de l'empreinte.
- Point d'injection mal situé ou mal dimensionné.

Méthode

- Température de l'outillage trop faible.
- Profil de pression de maintien incorrect.

Matières favorisantes

- Matières cristallines car le retrait est plus important.

8.5.5 Remarques

La norme NF T 58-000 donne une tolérance angulaire de ± 15 minutes autour de la valeur nominale de l'angle plus la dépouille.

Le retrait présente autant de directions préférentielles qu'il y a de seuils d'injection. Ainsi une pièce avec un seul seuil s'ovalise, une pièce avec trois seuils est dite « tiercée ».

Dans le cas de simples déformations planes, il faut vérifier, avant toute action, que les efforts d'éjection ne soient pas la cause de défaut.

8.6 Délaminage

8.6.1 Aspect (photos 17 à 19)

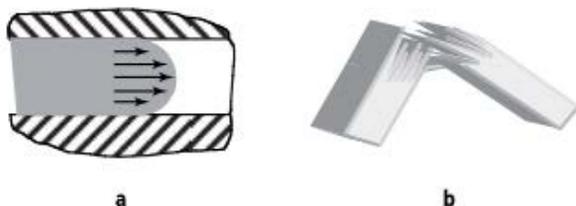


Figure 8.6 – a. Excès de cisaillement. b. Rupture par délaminage.

Le délaminage produit des pièces d'apparence normale ou, parfois, nacrée (figure 8.6). Ces pièces sont anormalement fragiles lors d'une sollicitation en flexion. À la rupture, elles présentent une structure lamellaire (souvent comparée à de la pâte feuilletée).

8.6.2 Origine du défaut

Durant le remplissage, la matière a été soumise à un gradient de vitesse trop important. La contrainte de cisaillement engendrée dans l'épaisseur de la pièce a provoqué la rupture des macromolécules orientées perpendiculairement à la paroi de l'empreinte (photos 17 à 19).

8.6.3 Position

Le délaminage se situe préférentiellement dans les zones de faible section d'écoulement.

8.6.4 Causes possibles

Méthode

- Outillage trop froid.
- Matière trop froide.
- Vitesse d'injection trop élevée.

Matière

- Mélange de matières incompatibles.
- Mélange maître inadapté.

8.6.5 Remarques

Un fort délaminage est très souvent dû à un mélange de matières incompatibles. Pour favoriser le dégrappage d'une pièce, on peut favoriser volontairement le délaminage au seuil d'injection. On augmente alors la vitesse d'injection.

Il existe un type de délaminage particulier dans lequel une seule couche de matière se désolidarise de la pièce. Il est dû à un excès de contrainte entre la peau amorphe de la pièce et la gaine solide de remplissage qui est très cristalline. Ce défaut est limité à quelques polymères très cristallins, présentant un fort retrait.

8.7 Dimension incorrecte

8.7.1 Aspect

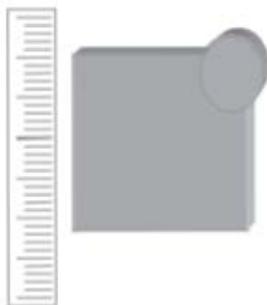


Figure 8.7 – Dimensions incorrectes.

Les dimensions de la pièce sont situées en dehors de l'intervalle de tolérance fixé par le plan de contrôle (figure 8.7).

8.7.2 Origine du défaut

Les conditions de refroidissement de la pièce moulée, et dans une moindre mesure les conditions de remplissage, ont généré un retrait différent de celui attendu.

8.7.3 Position

Des dimensions incorrectes se trouvent situées dans les zones de faibles tolérances (dimensionnelles ou de formes). Il est plus facile de maîtriser le retrait dans les zones proches du point d'injection.

8.7.4 Causes possibles

Matière

- Étuvage insuffisant.
- Proportion de broyé.

Méthode

- Pression de maintien à modifier.
- Température du moule incorrecte ou instable.
- Temps de refroidissement insuffisant.
- Vitesse d'injection trop élevée (matière amorphe ou chargée).

Matières favorisantes

- Matières cristallines.

8.7.5 Remarques

Un temps de maintien insuffisant peut générer ce type de défaut. Dans ce cas, il faut refaire la recherche du temps de maintien optimal (courbe de poids).

Pour obtenir une bonne stabilité des dimensions d'une pièce injectée, il faut attendre environ trente minutes. On ne mesure les pièces qu'après ce délai, sauf indication contraire du mode opératoire de contrôle.

Les tolérances dimensionnelles applicables aux thermoplastiques injectés sont données par la norme NF T 58-000.

8.8 Givrage

8.8.1 Aspect (photos 20 et 21)

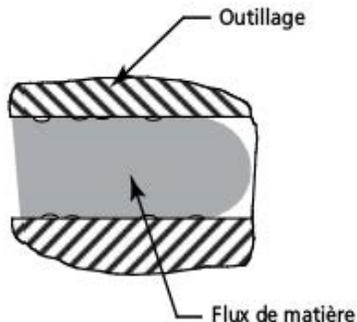


Figure 8.8 – Givrage.

La surface de la pièce présente des traces d'aspect rugueux, semblables à des traces de givre (figure 8.8).

8.8.2 Origine du défaut

Durant le remplissage, des micro-bulles de gaz apparaissent à la surface de la pièce. Ces gaz proviennent d'une dégradation de la matière, de la condensation d'eau dans l'empreinte à l'avant du front d'écoulement ou de la présence de vapeur d'eau dans la matière. La présence de givrage n'est pas systématiquement liée aux qualités mécaniques des pièces (photos 20 et 21).

8.8.3 Position

Généralement le givrage n'est pas localisé. Dans le cas contraire, un excès de décompression est la cause la plus vraisemblable.

8.8.4 Causes possibles

Matière

- Étuvage insuffisant.

Méthode

- Température de la matière trop élevée.
- Température du moule trop basse.
- Vitesse d'injection trop élevée.
- Décompression excessive.

Matières favorisantes

- Matières hygroscopiques (même faiblement).

8.8.5 Remarques

Un givrage localisé autour du point d'injection peut provenir d'un effet de goutte froide (ce type de givrage est aussi appelé *flash*).

Les huiles supports de colorants liquides peuvent participer au givrage en dégageant des gaz lors de l'injection.

Un excès de température des canaux chauds peut engendrer du givrage.

Une purge fumante et d'aspect grumeleux indique que le givrage provient d'un étuvage insuffisant de la matière.

8.9 Goutte froide

8.9.1 Aspect (photo 22)

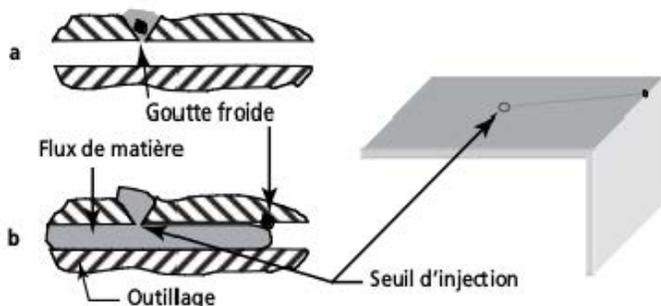


Figure 8.9 – Goutte froide.

Une goutte froide est une trace plus ou moins rectiligne qui prend naissance à côté du seuil d'injection et se termine par une marque nette de forme variable (figure 8.9 et photo 22).

8.9.2 Origine du défaut

Lors du remplissage, un bouchon de matière froide, venu de la buse machine ou d'une busette de canal chaud, est poussé à l'avant du front d'écoulement de la matière, provoquant un défaut de surface (sans fragilisation de la pièce dans cette zone). Ce bouchon est surmoulé par la matière lors d'un changement de direction ou de section de l'écoulement.

8.9.3 Position

La position est souvent aléatoire d'une injection à l'autre, particulièrement si la matière suit un écoulement radial.

8.9.4 Causes possibles

Moule/machine

- Contre-cône de buse détérioré.
- Busette trop reculée.
- Pointe de busette hors service.
- Étanchéité buse moule/machine insuffisante.

Méthode

- Température de la busette trop basse.
- Pas assez de décompression avant dosage.
- Température du moule trop basse.
- Température de la buse trop basse.

Matières favorisantes

- Matières amorphes.

8.9.5 Remarques

La goutte froide peut parfois prendre l'apparence d'une trace de givrage très localisée.

Une goutte froide peut provoquer des pics de pression de remplissage lors du début de l'injection ou du passage des seuils.

Des déchets de la moulée précédente, prisonniers du moule peuvent provoquer un défaut semblable. On vérifiera la qualité de l'éjecteur arrache-carotte et l'absence de bavures autour des éjecteurs.

8.10 Hésitation

8.10.1 Aspect (photo 23)

L'hésitation est un défaut qui présente deux caractéristiques :

- la pièce est incomplètement remplie, alors que le dosage est largement suffisant ;
- la partie incomplète de la pièce est placée dans une zone ne correspondant pas à la fin normale du remplissage de l'empreinte.

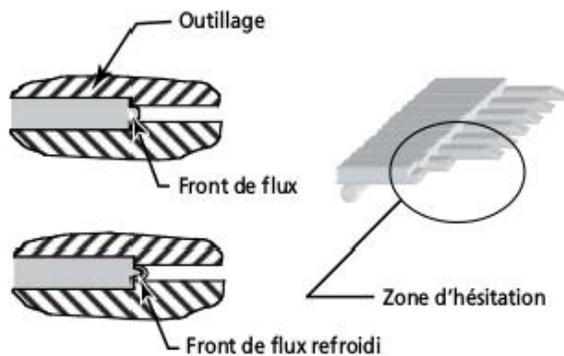


Figure 8.10 – Hésitations.

8.10.2 Origine du défaut

Une hésitation est un incomplet dû à une faute de conception de l'outillage ou de la pièce. Durant le remplissage, un front de matière est très ralenti par suite d'un brusque changement de section d'écoulement. Lorsque les autres fronts d'écoulement s'arrêtent, le premier, figé, ne peut continuer sa progression (photo 23).

8.10.3 Position

Le défaut est placé dans une zone ne correspondant pas à la fin normale du remplissage de l'empreinte (souvent une zone de faible épaisseur).

8.10.4 Causes possibles

Machine/moule

- Fortes variations de la section d'écoulement.
- Seuil d'injection mal situé.

Méthode

- Températures du moule et de la matière insuffisantes.
- Vitesse d'injection trop faible.

8.10.5 Remarques

L'hésitation peut provoquer des « encoches » le long d'écoulements de section en forme de biseau.

Lorsqu'un outillage prédispose à l'hésitation, on voit parfois apparaître des « puits » sur la courbe de pression d'injection.

Une hésitation peut générer une amorce de rupture sans faire de pièce incomplète : la peau de surface du front de matière ralenti ayant cédé sous la pression se trouve incorrectement plaquée sur la paroi de l'empreinte.

8.11 Incomplets

8.11.1 Aspect (photos 24 et 25)

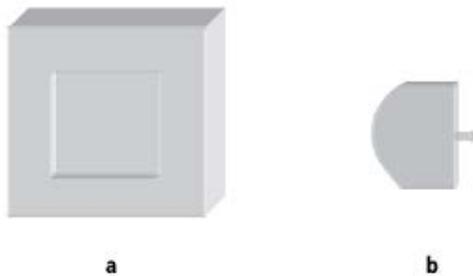


Figure 8.11 – Incomplet : a. empreinte ; b. pièce produite.

La pièce présente un ou plusieurs fronts de matière figés en cours de progression. L'empreinte est incomplètement remplie, dans les zones normales de terminaison de la progression des flux (figure 8.11).

8.11.2 Origine du défaut

Lors de l'injection, la pression maximale de remplissage fournie par la presse à injecter est égale aux pertes de pression le long du flux d'écoulement (appelées « pertes de charge »). Le front de matière ne progresse plus normalement puis s'arrête (photos 24 et 25).

8.11.3 Position

Ce défaut intervient en fin de flux de remplissage. Si le défaut est placé dans une zone ne correspondant pas à la fin normale du remplissage de l'empreinte, il s'agit d'une **hésitation** (autre défaut, voir § 8.10).

8.11.4 Causes possibles

Méthode

- Pression limite d'injection insuffisante.
- Température du moule insuffisante.
- Vitesse d'injection trop faible.
- Température de la matière insuffisante.

Machine/moule

- Le clapet de vis est défectueux.

Matières favorisantes

- Matières visqueuses (PPE, PC, etc.).

8.11.5 Remarques

Un réglage incorrect du dosage ou de la commutation peut entraîner des incomplets (voir chapitre 6).

La capacité à respecter la consigne de vitesse d'injection, quelle que soit la pression nécessaire au remplissage des empreintes, est une qualité des systèmes hydrauliques d'injection performants. Sur des machines équipées de vannes proportionnelles ou modulantes, de fortes pertes de charges entraînent une irrégularité de la vitesse d'injection qui nuit à la robustesse du réglage.

Une recherche de la vitesse d'injection générant de moindres pertes de pression peut être envisagée si la longueur des flux est importante (voir § 6.8.3).

8.12 Jet libre

8.12.1 Aspect (photos 26 à 28)

C'est une trace filiforme à la surface de la pièce injectée (figure 8.12). Cette zone fragilisée commence près du seuil d'injection, et peut se propager sur une grande surface plane ou de faible courbure.

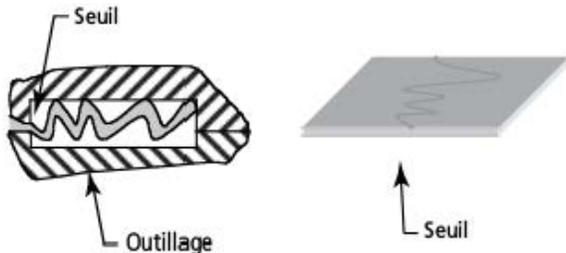


Figure 8.12 – Jet libre.

8.12.2 Origine du défaut

Lors de l'arrivée de la matière au seuil d'injection, la matière a « giclé » (phénomène d'extrusion) dans l'empreinte. L'écoulement de la matière ne se fait plus en nappe selon l'effet fontaine, mais forme un jet qui progresse anarchiquement dans l'empreinte. Lorsque ce jet s'arrête, près du point d'injection, l'écoulement en nappe reprend et surmoule le jet de matière (photos 26 à 28).

8.12.3 Position

Le jet libre se trouve sur une surface plane, près du seuil d'injection.

8.12.4 Causes possibles

Machine/moule

- Seuil trop petit.

Méthode

- Vitesse d'injection trop élevée.
- Vitesse d'injection trop basse (on essaye de rendre le flux « turbulent » au passage du seuil).
- Température de la matière trop basse.

Matières favorisantes

- Matières amorphes, très visqueuses.

8.12.5 Remarque

Une augmentation de la température du moule ne supprime pas le défaut, mais peut le rendre moins visible.

8.13 Ligne de soudure

8.13.1 Aspect (photos 29 à 31)

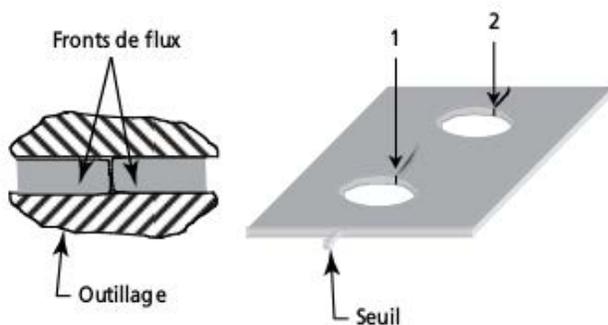


Figure 8.13 – Ligne de soudure.

La ligne de soudure se présente sous l'aspect d'un pli rectiligne ou légèrement incurvé à la surface de la pièce (figure 8.13).

8.13.2 Origine du défaut

Durant le remplissage (1), ou à la fin du remplissage (2), deux fronts de matière se rejoignent (figure 8.13). Il existe de nombreuses pièces dont la géométrie impose l'apparition de lignes de soudure. Ces dernières correspondent toujours à une zone fragilisée de la pièce (la ligne de soudure est la partie visible d'une surface qu'aucune macromolécule ne traverse). On peut atténuer une ligne de soudure, mais on ne peut pas la supprimer (photos 29 à 31).

8.13.3 Position

La ligne de soudure se situe derrière des évidements de la pièce, sur une zone de rencontre des fronts d'écoulement de la matière.

8.13.4 Causes possibles

Machine/moule

- Événements insuffisants.
- Seuil d'injection mal situé.

Méthode

- Températures de la matière ou de l'outillage trop faibles.
- Vitesse d'injection trop faible.
- Force de fermeture trop élevée (si la ligne de soudure est située sur le plan de joint).
- Première pression de maintien trop faible.

Milieu

- Événements colmatés (nettoyer le moule).

8.13.5 Remarques

Lorsque la ligne de soudure est située derrière un élément flexible ou mobile de l'empreinte, une vitesse d'injection élevée peut l'accentuer. Si les deux flux de matière traversent des sections d'épaisseurs très différentes, il est possible de déplacer légèrement la ligne de soudure par une modification de réglage (vitesse d'injection ou température). S'il y a plusieurs seuils d'injection, un écart de température des busettes d'alimentation permet d'obtenir le même résultat.

8.14 Peau d'orange

8.14.1 Aspect (photos 32 et 33)

La pièce présente une surface plissée, comme la peau d'une orange. Les plis sont orientés perpendiculairement à la direction de l'écoulement de la matière (figure 8.14).

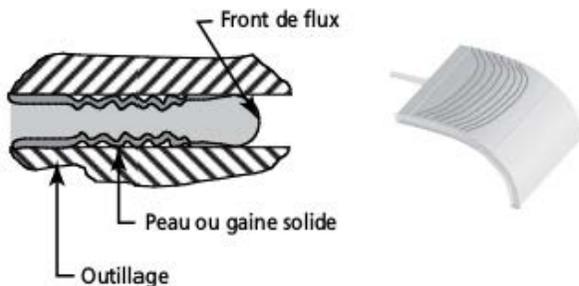


Figure 8.14 – Peau d'orange.

8.14.2 Origine du défaut

Lors de l'écoulement de la matière, la vitesse à la paroi n'est pas nulle : il y a glissement de la peau refroidie de la pièce contre la paroi de l'empreinte. L'aspect de peau d'orange est provoqué par les plis que fait la peau de la pièce ; plus les plis sont rapprochés, plus la peau est fine lors de l'apparition du défaut (photos 32 et 33). Ce défaut apparaît immédiatement à l'arrière du front de matière (dans la zone de formation de la peau).

8.14.3 Position

La peau d'orange est localisée sur les surfaces planes polies de l'empreinte, dans des zones où la matière s'écoule facilement car le gradient de pression le long de l'écoulement est trop faible. Une pression plus élevée plaquerait la peau sur la paroi de l'empreinte.

8.14.4 Causes possibles

Méthode

- Températures de la matière ou de l'outillage trop faibles.
- Vitesse d'injection trop faible.

Matières favorisantes

- Matières amorphes, particulièrement les styréniques.

8.14.5 Remarques

Une peau d'orange placée sur une surface grainée ou sablée peut ressembler à des traces brillantes ou mates.

La peau d'orange donne aux pièces transparentes un aspect trouble. En passant l'ongle perpendiculairement aux stries, on perçoit une succession d'aspérités.

8.15 Picot

8.15.1 Aspect (photos 34 et 35)

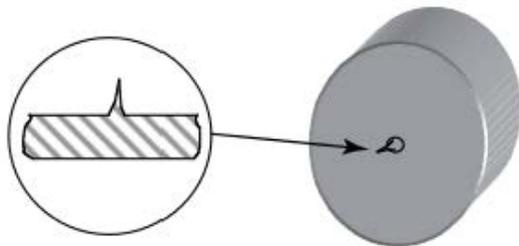


Figure 8.15 – Détail du picot (vue en coupe).

La pièce présente une protubérance anormale au seuil d'injection, après dégrappage de la carotte (figure 8.15).

8.15.2 Origine du défaut

Lors du dégrappage de la pièce ou de l'ouverture d'un moule à canaux chauds, la rupture du seuil d'injection laisse apparaître une protubérance nuisible à l'assemblage ou à la décoration de la pièce (photos 34 et 35). On distingue trois causes possibles :

- les busettes n'assurent pas leur rôle lors de la rupture des seuils ;
- le seuil d'injection est abîmé (angle de coupe ou section de passage) ;
- la matière présente une résistance mécanique trop élevée.

8.15.3 Position

Le défaut se trouve au seuil d'injection.

8.15.4 Causes possibles

Machine/moule

- Seuils abîmés.
- Pointe de busette trop reculée ou busettes défectueuses.
- Étanchéité buse moule/buse machine insuffisante (décompression inopérante).

Méthode

- Température des busettes insuffisante.
- Décompressions avant et/ou après dosage insuffisantes.
- Vitesse d'injection insuffisante.

8.15.5 Remarques

Si le problème de picot ne trouve pas de solution par les moyens classiques, on peut tenter de le résoudre par une augmentation du temps et de la pression de maintien.

La norme NF T 58-000 indique en classe normale les tolérances de picot en saillie (+) ou en creux (-) suivantes :

- seuil cassé : + 1 mm/- 0,5 mm,
- seuil coupé : $\pm 0,2$ mm.

8.16 Points noirs

8.16.1 Aspect (photos 36 et 37)

Ce sont de petites taches sombres dont le diamètre est inférieur à deux millimètres.

8.16.2 Origine du défaut

Ce sont des particules de matière carbonisées ou des impuretés apportées par la matière (photos 36 et 37). La majorité des produits injectés comporte des points noirs (souvent microscopiques).

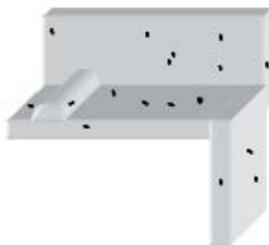


Figure 8.16 – Points noirs.

8.16.3 Position

Ils peuvent être situés n'importe où sur la pièce s'ils proviennent d'une pollution de la matière. S'ils sont provoqués par l'outillage, leur localisation est quasiment constante.

8.16.4 Causes possibles

Machine/moule

- Buse ou nez de pot dévissés ou pollués.
- Usure du système d'injection (fourreau, vis, clapet, obturateur).

Matière

- Pollution de la matière avant son conditionnement.
- Broyeur ou monte-matière pollués.
- Absence de couvercle de trémie.

Milieu

- Atmosphère polluée.

Méthode

- Température de la matière trop élevée.
- Vitesse de rotation de la vis trop élevée.
- Contre-pression trop élevée.
- Température des canaux chauds trop élevée.

Matières favorisantes

– Matières claires ou transparentes.

8.16.5 Remarques

On peut trouver des points noirs de surface dus à des impuretés (graisses) présentes dans l’empreinte. Pour distinguer ce type de point noir, on vérifie qu’il est en surface.

Des points noirs de gros diamètre (> 2 mm) peuvent provenir d’une détérioration de la vis de plastification, notamment si l’on moule du PC ou l’un de ses alliages.

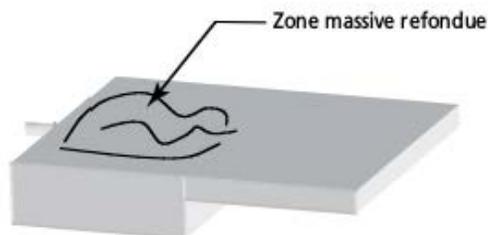
8.17 Refusion des pièces**8.17.1 Aspect (photos 38 à 40)**

Figure 8.17 – Refusion.

8.17.2 Origines du défaut

Lors du démoulage, la température de surface des pièces augmente car le refroidissement par convection qu’elles subissent est moins important que le refroidissement par conduction dans l’empreinte. Dans le cas de pièces très épaisses, il est possible que la surface de la pièce atteigne une température supérieure à la température de ramollissement de la matière : la pièce se déforme et fond localement plusieurs minutes après son moulage (photos 38 à 40).

8.17.3 Position

Ce défaut se trouve sur des zones de fortes épaisseurs.

8.17.4 Causes possibles

Méthode

- Conditionnement trop rapide (transférer la pièce sur un tapis convoyeur lent).
- Température d'injection trop élevée.
- Temps de refroidissement insuffisant.
- Conformation de la pièce indispensable (par un conformateur à température régulée ou par immersion de la pièce dans l'eau, après moulage).

Matières favorisantes

- Polyoléfinés et matières allégées.

8.17.5 Remarque

L'absence de maintien peut générer ce défaut car la pièce peut subir un décollement précoce de la paroi de l'empreinte nuisant à son refroidissement.

8.18 Rupture des pièces

8.18.1 Aspect (photos 41 et 42)

Voir la figure 8.18.

Matières favorisantes

- Matières amorphes et élastomères.

8.18.2 Rupture de type 1

■ Origine du défaut

La pièce est restée accrochée partiellement en partie fixe, et partiellement en partie mobile. Lors de l'ouverture, la pièce entre en rotation et se rompt par effet de « coin ».

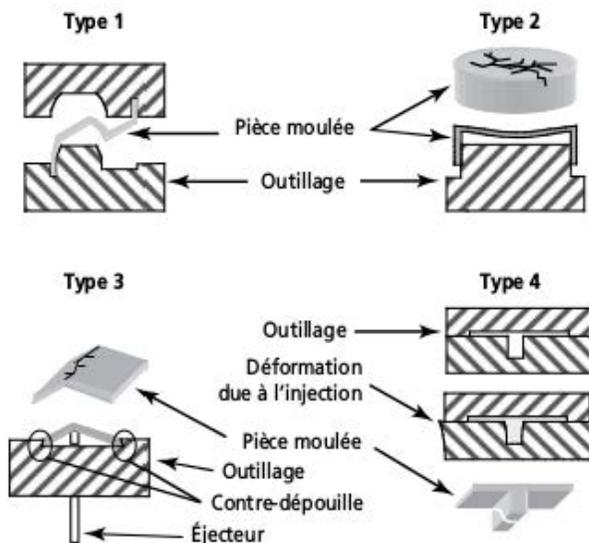


Figure 8.18 – Rupture des pièces.

■ Causes possibles

Machine/moule

Zones de serrage de la pièce sur les PF et PM déséquilibrées, ajouter une contre-dépouille en PM.

Méthode

- Pression de maintien trop élevée.
- Première vitesse d'ouverture trop élevée.
- Temps de refroidissement insuffisant.

8.18.3 Rupture de type 2

■ Origine du défaut

Sur une zone plane et mal éventée, la pièce est cassée par la dépression de l'air lors de l'éjection. Ce type de rupture est généralement bruyant (photo 42).

■ Causes possibles

Machine/moule

La ventilation du moule est incorrecte. Il faut ajouter des événements ou même une soupape, et nettoyer les événements et les logements des éjecteurs.

Méthode

Éjection trop rapide.

8.18.4 Rupture de type 3

■ Origine du défaut

L'empreinte présente une contre-dépouille qui engendre des efforts d'éjection trop importants.

■ Causes possibles

Méthode

Réduction de la pression de maintien.

8.18.5 Rupture de type 4

■ Origine du défaut

L'outillage subit des déformations trop importantes lors de l'injection (quelques centièmes de millimètres). Après refroidissement, l'empreinte est serrée sur la pièce et empêche son éjection (photo 41).

■ Causes possibles

Machine/moule

Moule insuffisamment rigide.

Méthode

Pression de maintien trop importante.
Vitesse d'injection générant trop de pression.

8.18.6 Remarque

Il existe d'autres causes de ruptures, plus rares.

8.19 Ségrégation de phase

8.19.1 Aspect (photo 43)

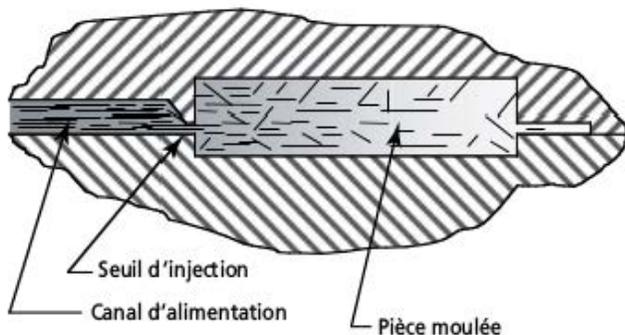


Figure 8.19 – Ségrégation de phase.

La pièce présente une variation de teinte ou de brillance répartie plus ou moins régulièrement, et accentuée sur les zones de faible épaisseur (figure 8.19).

8.19.2 Origine du défaut

Lors du remplissage, la charge de la matière se désolidarise de la matrice. De ce fait, le taux de charge diminue fortement le long de l'écoulement. Ce défaut peut influencer l'aspect de la pièce ; il a toujours une action négative sur les qualités mécaniques et électriques du produit moulé (photo 43). La ségrégation de phase est inévitable, mais on peut la réduire par un réglage adapté.

8.19.3 Position

Ce défaut peut se trouver partout sur la pièce, mais particulièrement dans des zones de faible épaisseur.

8.19.4 Causes possibles

Moule/machine

- Seuils d'injection trop petits.
- Pièces trop fines (rapport épaisseur/longueur de l'écoulement insuffisant).

Méthode

- Vitesse d'injection inadaptée.
- Température de l'outillage insuffisante.
- Température de la matière trop élevée.

Matières favorisantes

- Matières cristallines chargées à indice de fluidité élevé.

8.19.5 Remarques

Certains alliages ou copolymères blocs peuvent présenter une ségrégation entre deux « phases liquides » lorsqu'ils sont injectés en fine épaisseur (ABS par exemple).

Lorsque la gaine solide est trop épaisse, il peut apparaître une ségrégation de phase dans l'épaisseur de la pièce (fibres de verre retenues par la peau de la pièce). La pièce présente dans ce cas une surface d'aspect écailleux.

L'absence de pression de maintien peut créer un défaut d'apparence similaire.

8.20 Traces brillantes ou mates

8.20.1 Aspect (photos 44 et 45)

Les traces se présentent sous l'aspect de taches mates sur des pièces brillantes ou de taches brillantes sur des surfaces mates (grainées ou sablées). Voir la figure 8.20.

8.20.2 Origine du défaut

Durant le remplissage, la pression dans la matière a été insuffisante pour plaquer parfaitement la matière sur les parois de l'empreinte ; des inclusions d'air subsistent entre l'empreinte et la matière injectée. La surface de la pièce présente par endroits un état de surface différent de celui de l'empreinte (photos 44 et 45).

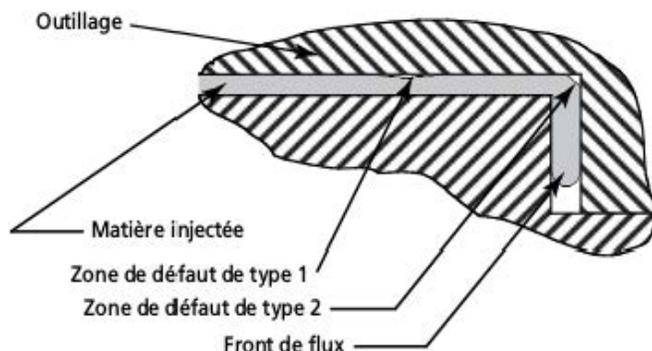


Figure 8.20 – Traces brillantes ou mates.

8.20.3 Position

Ce défaut apparaît lorsque l'écoulement de la matière est trop facile, c'est-à-dire sur des pièces de forte épaisseur et/ou dans des écoulements radiaux (type 1). Il est parfois dû à une inclusion d'air entre la surface de l'empreinte et la matière lors de variations de la direction de l'écoulement (type 2).

8.20.4 Causes possibles

Moule/machine

- Conception incorrecte de la ventilation du moule.

Méthode

- Température de l'outillage incorrecte.
- Température de la matière incorrecte.
- Vitesse d'injection trop faible.

8.20.5 Remarques

Lorsque le défaut est situé en face du seuil, il est dû à la fusion de la peau sous l'effet de la matière injectée. Dans ce cas, il faut réduire la température de l'outillage et la vitesse d'injection.

Ce défaut apparaît plus facilement sur des pièces de forte épaisseur.

8.21 Traces circulaires

8.21.1 Aspect (photos 46 et 47)

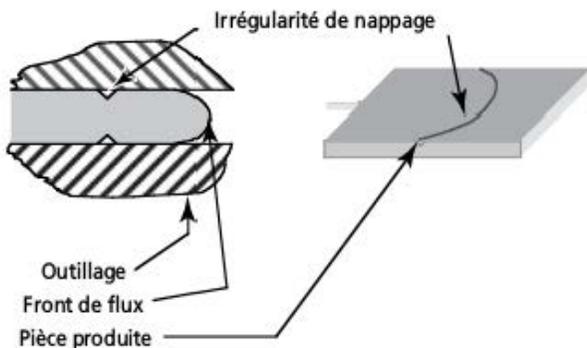


Figure 8.21 – Traces circulaires.

La pièce présente une ligne plissée sur la surface, correspondant à une position instantanée du front d'écoulement de la matière durant le remplissage. La ligne est souvent semi-circulaire (écoulement radial). Dans le cas de pièces transparentes, le défaut peut être optique, sans déformation visible de la surface de la pièce (figure 8.21).

8.21.2 Origine du défaut

Durant le remplissage, une brusque variation de la vitesse de remplissage a provoqué une irrégularité du nappage de la matière sur les parois de l'empreinte. Ce défaut est courant dans le cas de parois épaisses où la pression est faible à l'arrière du front de flux.

8.21.3 Position

Ce défaut apparaît sur une surface plane, le plus souvent.

8.21.4 Causes possibles

Méthode

- Trop forte variation de la vitesse d'injection.
- Température du moule trop faible.
- Température de la matière trop faible.

Matières favorisantes

- Matières visqueuses.

8.21.5 Remarques

Ce défaut apparaît aussi dans le cas de commutation précoce (erreur de réglage). Dans ce cas, la fin du remplissage de l'empreinte est assurée par la pression de maintien, sans maîtrise de la vitesse d'injection.

La trace circulaire très proche du seuil est parfois la conséquence d'une goutte froide : lors de l'éjection de la goutte froide la chute instantanée de la pression projette le front de flux vers l'avant à une vitesse élevée mais pendant un temps très court. La vitesse de la matière durant ce bref instant n'est pas imposée par la régulation hydraulique de la presse, mais par l'augmentation de volume de la matière injectée et par la diminution des dilatations d'enveloppe du circuit hydraulique de la presse.

8.22 Traces de flux (traces d'écoulement)

8.22.1 Aspect (photos 48 à 50)

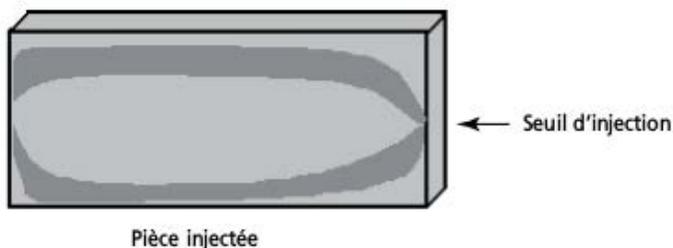


Figure 8.22 – Traces de flux.

La pièce présente des traces de coloration irrégulière réparties dans l'épaisseur de la pièce, la transparence du polymère est généralement affectée (figure 8.22).

8.22.2 Origine du défaut

Le mélange de la matière et d'un colorant reste hétérogène, les traces d'écoulement se matérialisent selon la concentration en colorant de chaque zone (photos 48 à 50).

8.22.3 Position

Les traces de flux sont particulièrement visibles près des lignes de soudure.

8.22.4 Causes possibles

Matière/machine

- Base du colorant maître incompatible avec la matière.
- Vis de plastification inadaptée.

Méthode

- Contre-pression trop faible.
- Vitesse de rotation de la vis insuffisante.
- Température de la matière insuffisante.
- Température des canaux chauds insuffisante.

Matières favorisantes

- Polyoléfines, polycarbonate et ses alliages.

8.22.5 Remarques

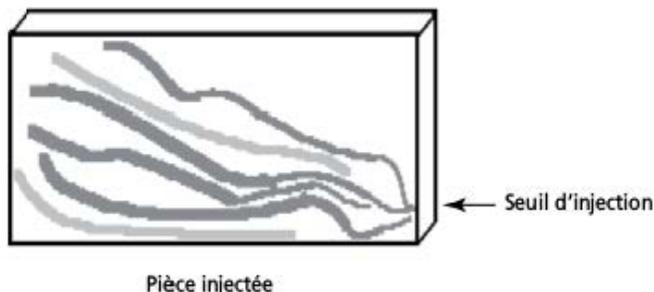
Certains pigments de forme géométrique orientée (paillettes, colorants d'aspects métallisés) provoquent des traces de flux dues à des orientations préférentielles des pigments.

L'orientation préférentielle des charges peut aussi provoquer un effet de flux. Dans ce cas, la température du moule est un paramètre modifiable pour atténuer le défaut.

Augmenter la température des canaux chauds provoque à la fois un échauffement de la matière et une diminution de la section du seuil (car la pointe de busette se dilate et avance).

8.23 Traces noires

8.23.1 Aspect (photos 51 et 52)



Pièce injectée

Figure 8.23 – Traces noires.

La matière présente une coloration anormale semblable à des traces noires, marron ou jaunes, diffuses suivant les lignes de flux, donnant à la pièce un aspect jaspé (figure 8.23).

8.23.2 Origine du défaut

La matière injectée a subi une dégradation légère, mais répartie dans une grande quantité de matière (une dégradation locale produit des points noirs). Cette dégradation est souvent antérieure au passage des seuils (photos 51 et 52). Dans certains cas des inclusions d'air oxydent la matière fondue.

8.23.3 Position

Ce défaut peut se trouver n'importe où sur la pièce, dans un endroit différent d'une injection à l'autre.

8.23.4 Causes possibles

Machine/moule

- Buse ou nez de pot desserrés ou présentant un défaut d'étanchéité.
- Clapet de vis abîmé ou usure anormale de la vis ou du fourreau.

Méthode

- Température d'injection trop élevée.
- Vitesses de rotation de la vis ou contre-pression trop élevées.
- Contre-pression trop faible générant un effet tire-bouchon.
- Température des canaux chauds trop élevée.
- Vitesse d'injection trop élevée (rarement).

Matières favorisantes

- Polymères thermosensibles et/ou transparents.

8.23.5 Remarque

Certaines matières (SAN, ABS...) peuvent présenter des traces noires accompagnées de bulles, suite à un étuvage insuffisant.

La sensibilité du PC à l'oxydation à chaud le prédispose à ce défaut, il faut supprimer la succion et vérifier que la contre-pression est suffisante.

8.24 Bulle ouverte (photo 53)

C'est une inclusion d'air (voir § 8.20, « Traces brillantes ou mates ») qui favorise un retrait anormalement élevé. Ce défaut est typique du ionomère (IO) et du polycarbonate (PC) (photo 53).

8.25 Électricité statique

Les pièces sont chargées d'électricité statique lors du démoulage ; elles se couvrent de poussières préjudiciables à leur utilisation future.

Résolution du défaut

- Augmenter l'humidité relative de l'air ambiant.
- Placer les pièces dans un flux d'air ionisé.
- Vaporiser un agent chimique réduisant la résistance électrique de surface.

Remarque

Si l'on ne peut pas supprimer ce défaut, un emballage hermétique est indispensable.

8.26 Insert fragile

Les prisonniers surmoulés présentent un accrochage insuffisant avec la matière.

Résolution du défaut

- Température des inserts insuffisante.
- Inserts insuffisamment dégraissés.

8.27 Traces de fil (photos 54 et 55)

C'est une trace rectiligne verticale sur la pièce due au surmoulage de la pièce autour d'un fil de matière. Ce fil s'est produit lors du démoulage de la carotte de l'injection précédente. Pour supprimer le fil, on peut modifier la température de la buse ou rectifier le contre-cône de la buse machine (photos 54 et 55).

8.28 Traces d'éjection (photos 56 et 57)

Ces traces, placées près des éjecteurs, sont parfois blanches (avec le S/B et l'ABS). Des efforts de démoulage trop importants sont en cause (photos 56 et 57).

Résolution du défaut

- Vérifier l'état de l'empreinte, pour détecter d'éventuelles contre dépouilles.
- Réduire la pression de maintien.
- Réduire l'adhérence de la matière sur l'outillage (avec un agent de démoulage, par exemple).

Remarque

On peut trouver (rarement) des traces d'éjection semblables au blanchissement ou à la détérioration d'une surface grainée parallèle à la direction de démoulage. Dans ce cas, c'est la dépouille ou la rigidité de l'outillage qui peuvent être insuffisantes.

L'écart de relief des traces d'éjecteur, en classe normale selon la norme NF T 58-000, doit être compris entre 0,05 mm et 0,3 mm.

9 • PLANS D'EXPÉRIENCES PAR LA MÉTHODE DE GENICHI TAGUCHI

9.1 Conditions d'utilisation

Dans le domaine de l'injection, la correction des défauts est compliquée et peut parfois être très difficile. En effet, chaque outillage est un cas particulier, le nombre de paramètres à régler est très important, un défaut peut être généré par plusieurs paramètres, et la modification d'un paramètre peut générer plusieurs défauts. On peut donc se retrouver dans une situation délicate, où :

- les méthodes classiques de résolution des défauts du chapitre 7 ont échoué ;
- le problème rencontré est inconnu et les essais pour déterminer les paramètres influents et leurs influences sont restés vains.

Dans ces cas et uniquement ceux-là, on peut appliquer la méthode des plans d'expériences. Sa mise en œuvre doit rester exceptionnelle. Toute utilisation pour résoudre un défaut en faisant varier des paramètres dont l'influence sur le problème est connue serait une pure perte de temps et reviendrait à utiliser un char d'assaut pour défoncer une porte ouverte !

9.2 Objectifs

La méthode des plans d'expériences permet d'étudier l'influence de facteurs sur un système tout en diminuant le nombre d'essais comparativement à un plan complet.

Elle permet d'étudier un très grand nombre de facteurs, de détecter des éventuelles interactions entre ceux-ci, de modéliser facilement le système et de déterminer les résultats avec une bonne précision.

9.3 Généralités

Le technicien est amené à comprendre comment réagit un système en fonction des différents facteurs qui sont susceptibles de le modifier. Pour vérifier l'évolution du processus, il mesure une réponse et, à partir de différents essais, va tenter d'établir des relations de cause à effet entre la (ou les) réponse(s) et les différents facteurs (figure 9.1).

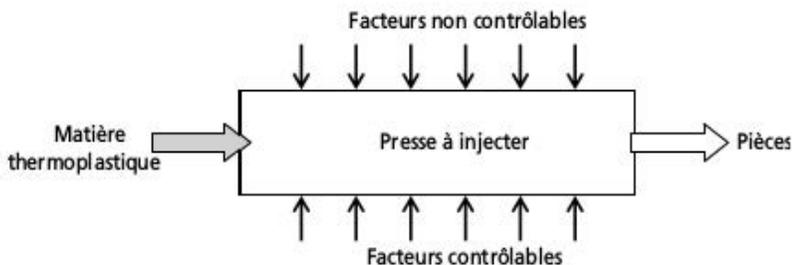


Figure 9.1 – Facteurs influençant le processus.

Les facteurs contrôlables dépendent directement du choix du technicien (choix d'un matériau, d'une pression...).

Les facteurs non contrôlables varient indépendamment des choix du technicien (conditions climatiques, environnement d'utilisation...).

Il n'est pas simple de réaliser de telles relations entre réponses et facteurs, surtout s'il existe des interactions entre les facteurs. Les plans d'expériences permettent de réaliser ce type de relation en minimisant le nombre d'expériences tout en maximisant la précision du résultat.

La démarche expérimentale reste la méthode classique d'acquisition des connaissances dans le domaine industriel. Le technicien fonde sa démarche d'acquisition des connaissances sur des essais en avançant progressivement, puis il réoriente ses expériences en fonction des résultats obtenus. Il recherche en général à augmenter la productivité de ses essais.

Pour cela, il doit :

- faire un minimum d'essais ;
- obtenir un maximum de précision sur les résultats ;
- mettre en évidence des phénomènes secondaires comme des interactions entre facteurs.

Les plans d'expériences selon Genichi Taguchi répondent à ces attentes, ils s'inscrivent donc dans une logique d'amélioration de la qualité et de réduction des coûts (figure 9.2).

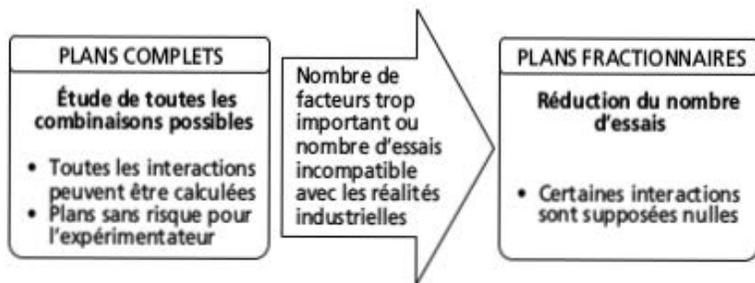


Figure 9.2 – Plans complets ou fractionnaires.

Définitions

Facteur : un facteur est une variable, ou un état, qui agit sur le système étudié. Un facteur peut être de type continu (température, vitesse, pression) ou discret (marque de l'outil, robinet ouvert ou fermé).

Réponse : la réponse du système est la grandeur que l'on mesure pour connaître l'effet des facteurs sur le système. La réponse peut être de type quantitatif (poids d'une pièce, cote, déformation...) ou qualitatif (présence ou non d'un défaut). Les réponses quantitatives sont en général plus faciles à traiter.

Facteur significatif : un facteur significatif est un facteur qui, lorsqu'il est modifié, modifie la réponse du système. Évidemment, un facteur non significatif sera un facteur qui n'a aucun effet sur la réponse du système ou dont l'effet est trop faible pour pouvoir être apprécié.

Niveaux d'un facteur : les niveaux d'un facteur indiquent les valeurs que prend ce facteur au cours des essais. Par exemple, si le facteur « temps » a deux niveaux, 10 s et 15 s, il prendra au cours des essais soit la valeur 10 s, soit la valeur 15 s.

Interaction : une interaction se produit lorsque l'effet d'un facteur est fonction des niveaux d'un ou de plusieurs autres facteurs.

9.4 Mise en œuvre de la méthode

9.4.1 Étape n° 1 : définir l'objectif et sa mesure

On décrit précisément :

- le défaut rencontré et l'objectif à atteindre ;
- la méthode de mesure : qu'est ce que l'on observe, comment on mesure, où, sur combien de pièces, quand, avec quoi et avec quelle précision ?

On fixe un budget.

9.4.2 Étape n° 2 : sélectionner les facteurs et choisir les niveaux

Un groupe de travail qui réunit tous les acteurs est formé. Il dresse la liste exhaustive de tous les facteurs. On peut pour cela organiser une réunion de type « brainstorming ». Pour explorer toutes les voies possibles, on peut s'aider des 5M articulés sur un diagramme d'Ishikawa (figure 9.3).

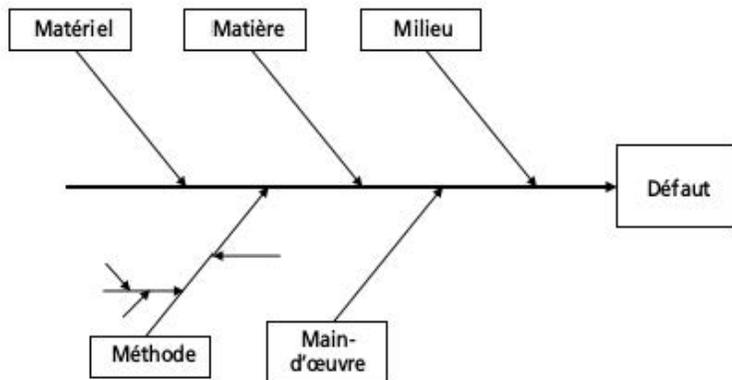


Figure 9.3 – Diagramme d'Ishikawa.

Il faut d'abord faire le tri. L'avis des techniciens qui connaissent bien le procédé est très important pour retenir certains facteurs. On fait ensuite le choix du nombre de niveaux pour chaque facteur et on définit les valeurs de chaque niveau. On choisit aussi à ce moment d'étudier ou non certaines interactions.

Les facteurs sont représentés par des lettres majuscules. On classe les facteurs en ordre alphabétique du plus difficile au plus facile à modifier.

Un facteur difficile à modifier est par exemple une température d'outillage car il faudra attendre longtemps pour que la modification soit effective et que le procédé soit stabilisé. Un facteur facile à modifier est par exemple la vitesse d'éjection, dont l'effet du changement est immédiat.

On écrit alors le modèle qui exprime synthétiquement combien de facteurs et d'interactions ont été retenus (figure 9.4).

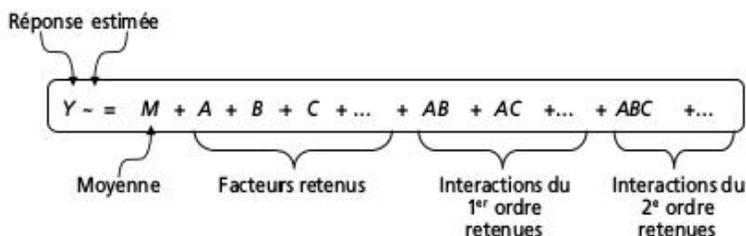


Figure 9.4 – Modélisation des facteurs et interactions.

Un tableau qui liste les facteurs retenus est dressé, il précise les niveaux de chaque facteur (tableau 9.1).

Tableau 9.1 – Facteurs retenus.

Repère	Facteur	Niveau 1	Niveau 2	...
A	Température d'outillage	40 °C	60 °C	...
B	Vitesse d'éjection	15 mm/s	30 mm/s	...
...

Le graphe du système est dessiné : les facteurs sont représentés par des disques, les interactions entre facteurs par des traits qui les relient. Plus le disque est blanc, plus le facteur est difficile à modifier (tableau 9.2).

Tableau 9.2 – Signification des symboles.

Symbole	Groupe	Difficulté de modification des niveaux
○	1	Difficile
⊙	2	Assez difficile
◐	3	Assez facile
●	4	Facile

La figure 9.5 donne un exemple de graphe de modélisation d'un système représentant trois facteurs A , B et C et une interaction AB entre les facteurs A et B .

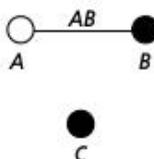


Figure 9.5 – Exemple de graphe de modélisation.

9.4.3 Étape n° 3 : choisir la table orthogonale

On recherche parmi les tables de Taguchi (dont la structure générale est présentée en figure 9.6) celle sur laquelle le système peut s'appliquer : elle doit comporter au moins autant de facteurs et d'interactions que le système à modéliser, et un nombre de niveaux des facteurs égal. Par exemple, si on cherche à modéliser un système pour lequel on a retenu cinq facteurs, qui ont chacun deux niveaux, et une interaction entre deux facteurs, il faut chercher une table dans laquelle on peut placer au moins cinq facteurs à deux niveaux et une interaction.

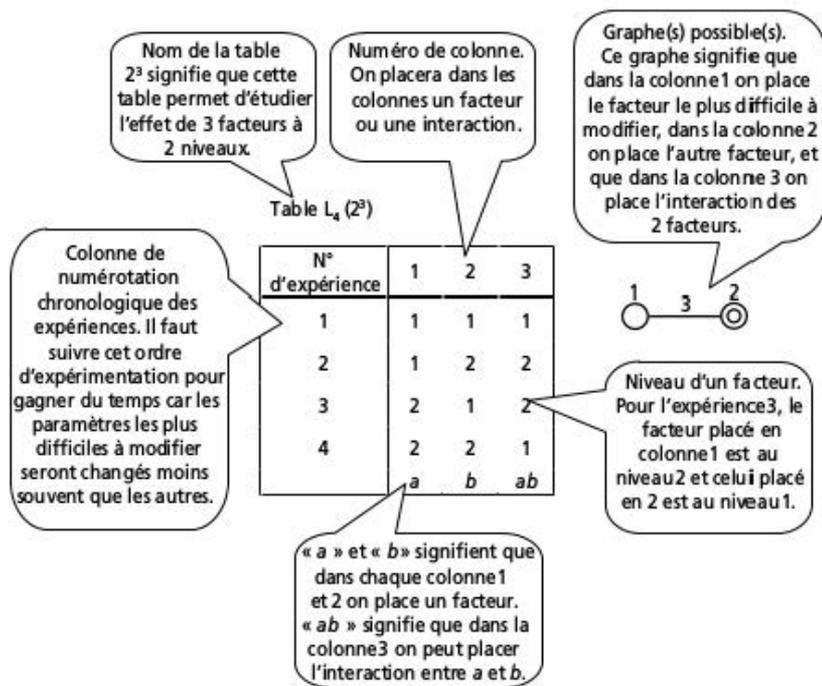


Figure 9.6 – Structure générale d'une table de Taguchi.



Le triangle des interactions complète certaines tables. Il permet de tracer son propre graphe (figure 9.7).



Figure 9.7 – Triangle des interactions de la table $L_4 (2^3)$.

Toutes les colonnes d'une table peuvent être utilisées pour des facteurs. Pour la table $L_4 (2^3)$ (figure 9.7), on peut donc placer trois facteurs à deux niveaux dans chacune des trois colonnes, par contre il ne restera plus de place pour étudier une interaction.

Les figures 9.8 à 9.10 présentent quelques tables utiles.

N°	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	a	b	ab	c	ac	bc	abc

Sans interaction, L_8 permet d'étudier l'effet de 7 facteurs à 2 niveaux.

	2	3	4	5	6	7
(1)	3	2	5	4	7	6
(2)	1	6	7	4	5	
(3)	7	6	5	4		
(4)	1	2	3			
(5)	3	2				
(6)	1					

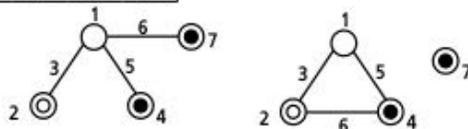


Figure 9.8 – Table $L_8 (2^7)$.

N°	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
	a	b	ab	ab ²

Sans interaction, L_9 permet d'étudier l'effet de 4 facteurs à 3 niveaux.

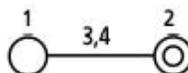


Figure 9.9 – Table L_9 (3^4).

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

L_{12} est une table spéciale dans laquelle les interactions sont distribuées dans toutes les colonnes uniformément. Elle est uniquement utilisée pour étudier l'effet de facteurs sans interaction, il n'y a donc pas de graphe.

Figure 9.10 – Table L_{12} (2^{11}).

Autres tables de Taguchi : L_{16} (2^{15}), L_{18} ($2^1 \times 3^7$), L_{20} (2^{19}), L_{25} (5^6), L_{27} (3^{13}), L_{32} (2^{31}), L_{36} ($2^{11} \times 3^{12}$) et L_{36} ($2^3 \times 3^{13}$).

9.4.4 Étape n° 4 : réaliser les essais

À partir de la table choisie et de l'emplacement des facteurs, on dresse le tableau d'expérimentation en reportant les valeurs des paramètres qui correspondent à chaque niveau (tableau 9.3), on l'applique à la lettre et on mesure les réponses du système comme défini à l'étape 1.

Tableau 9.3 – Tableau d'expérimentation.

N° d'expérience	Température d'outillage (°C)	Vitesse d'éjection (mm/s)	...	...	Réponse $Y =$
1	40	15	...	...
2	40	30	...	...
3	40	30	...	...
4	60	15	...	...
...	

9.4.5 Étape n° 5 : analyser les résultats

Le premier calcul à effectuer est la moyenne des réponses, elle est notée M . On calcule ensuite les effets moyens des facteurs.

Effet moyen du facteur X au niveau i :

$$E_{Xi} = \text{Moyenne des réponses lorsque } X \text{ est au niveau } i - M$$

Les tables de Taguchi sont orthogonales, par conséquent la somme des effets d'un facteur est nulle.

Effet moyen de l'interaction de X au niveau i et Y au niveau j :

$$I_{Xij} = \text{Moyenne des réponses lorsque } X \text{ est au niveau } i \\ \text{et } Y \text{ au niveau } j - E_{Xi} - E_{Yj} - M$$

On dresse le tableau des moyennes pour les interactions retenues (tableau 9.4) en recherchant sur les tables les essais qui correspondent aux configurations afin de compléter le graphique des interactions (figure 9.11).

Tableau 9.4 – Tableau des moyennes pour les interactions retenues.

XY	Y = 1	Y = 2
X = 1	Moyenne des essais lorsque X = 1 et Y = 1	Moyenne des essais lorsque X = 1 et Y = 2
X = 2	Moyenne des essais lorsque X = 2 et Y = 1	Moyenne des essais lorsque X = 2 et Y = 2

On trace le graphique des effets moyens et des interactions (figure 9.11). Les effets moyens sont en ordonnée et les niveaux des facteurs sont en abscisse.

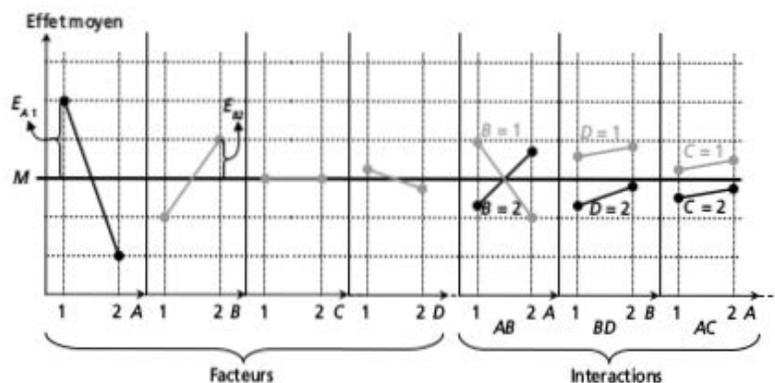


Figure 9.11 – Graphique des effets moyens et des interactions.

Interprétation du graphique

Sur l'exemple de la figure 9.11, l'effet du facteur A est important, celui de B moyen, celui de C nul et celui de D faible.

Pour les interactions, plus les droites sont parallèles plus l'effet est faible. On observe donc une interaction AB forte, BD faible, et AC nulle.

En fonction de l'objectif à atteindre défini à l'étape 1, on cherche soit à minimiser la réponse, soit à maximiser la réponse, soit à tendre vers une valeur optimale.

La configuration des facteurs qui donne la réponse maximale est donnée par tous les points hauts : dans notre cas, A au niveau 1, B au niveau 2 et D au niveau 1.

Réciproquement, la réponse minimale est donnée par tous les points bas : dans notre cas, A au niveau 2, B au niveau 1 et D au niveau 2.

La recherche d'un optimum est plus compliquée. Il faut trouver une configuration qui permette de s'en rapprocher. On essaiera si possible de donner aux paramètres les valeurs les plus économiques, c'est-à-dire celles, d'une part, qui font gagner de la cadence comme les vitesses élevées, les temps courts, les températures fourreau, busette et outillage basses, et, d'autre part, qui permettent d'économiser de la matière comme l'utilisation de rebroyé.

Le calcul de la réponse du système dans une configuration donnée est aisé. Il s'agit d'ajouter à la moyenne la somme des facteurs et des interactions qui correspondent :

$$Y_{-} = M + \sum E_{X_i} + \sum I_{X_i Y_i}$$

Dans notre exemple, pour calculer la réponse minimale il faudrait faire :

$$Y_{-} = M + E_{A2} + E_{B1} + E_{D2} + I_{A2B1} + I_{B1D2}$$

On peut faire le même calcul en utilisant l'expression matricielle du modèle :

$$Y_{-} = M + [E_{A1} \ E_{A2} \ \dots] A + [E_{B1} \ E_{B2} \ \dots] B + \dots + {}^t A \begin{bmatrix} I_{A1B1} & I_{A1B2} \\ I_{A2B1} & I_{A2B2} \end{bmatrix} B \\ + {}^t A \begin{bmatrix} I_{A1C1} & I_{A1C2} \\ I_{A2C1} & I_{A2C2} \end{bmatrix} C + \dots$$

A, B, \dots sont des vecteurs-colonne normés qui donnent la configuration des facteurs.

Par exemple, pour un facteur A à deux niveaux, $A = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ exprime que A est au niveau 1, et $A = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ que A est au niveau 2.

9.4.6 Étape n° 6 : vérifier les résultats

Quelques essais complémentaires confirment les tendances ou l'exactitude du modèle.

Attention à certains facteurs qui peuvent avoir des effets non linéaires. Le choix du nombre de niveaux et de leurs valeurs est primordial pour la qualité des résultats.

La figure 9.12 présente un exemple de réponse non linéaire d'un facteur. Si on modifiait de façon continue la valeur du niveau du facteur étudié en observant son effet, on obtiendrait la courbe en pointillés. Celle-ci passe par un minimum et n'est donc pas linéaire. Or le choix dirigé mais arbitraire de deux niveaux et de leurs valeurs pour le plan 1 entraîne que le minimum observé est assez éloigné du minimum réel. Le choix de trois niveaux pour le plan 2 diminue l'erreur.

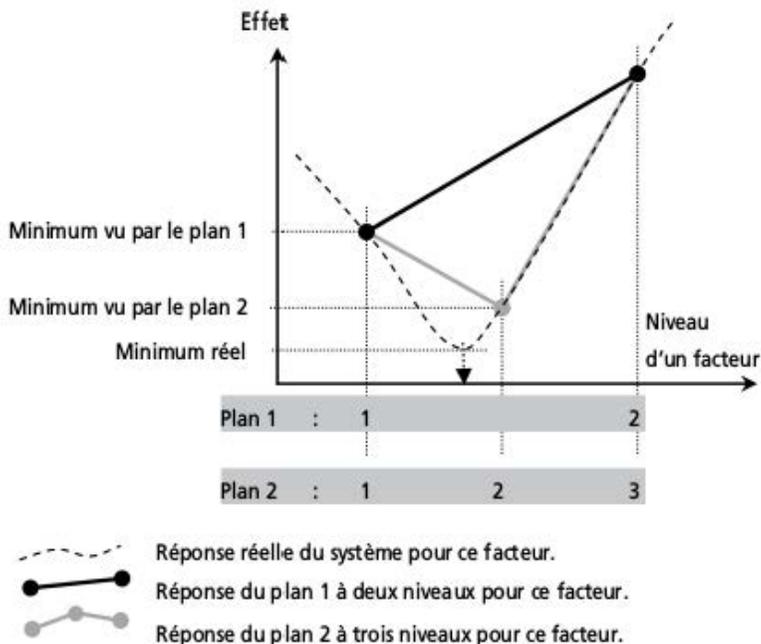


Figure 9.12 – Exemple de réponse non linéaire d'un facteur.

D

Suivi et contrôle
de la qualité

10 • INDICATEURS DE PRODUCTIVITÉ

10.1 TRS

Le *taux de rendement synthétique* (ou TRS, en anglais *OEE* : *Overall Equipment Effectiveness*, en allemand : *Gesamtanlageneffektivität*) est le plus connu. C'est un indicateur de performance de productivité des moyens de production. Pour simplifier, il est destiné à suivre le taux d'utilisation de machines. La norme NF E 60-182 propose une harmonisation des notations, des définitions et de la méthode de calcul. La présentation qui suit la respecte.

Le TRS décompose la productivité selon trois axes et définit pour chacun des taux (figure 10.1).

Les arrêts propres correspondent aux temps d'arrêts imputables au moyen de production. Ils se décomposent en :

- temps de panne t_P ;
- temps d'arrêt d'exploitation t_{AE} provoqué par l'utilisateur par exemple pour les arrêts de service dus à l'impossibilité du personnel de remplir sa fonction, à des problèmes de qualité... ;
- temps d'arrêt fonctionnel, qui peut se décomposer en :
 - t_{COP} : temps de changement d'outil programmé,
 - t_{RF} : temps de réglage fréquentiel,
 - t_{DC} : temps de contrôle,
 - t_{CF} : temps de changement de fabrication,
 - t_{EF} : temps d'entretien fréquentiel ;
- temps de micro-arrêt t_{MA} constitué de temps d'arrêt difficilement mesurables dont le seuil est défini par l'entreprise.

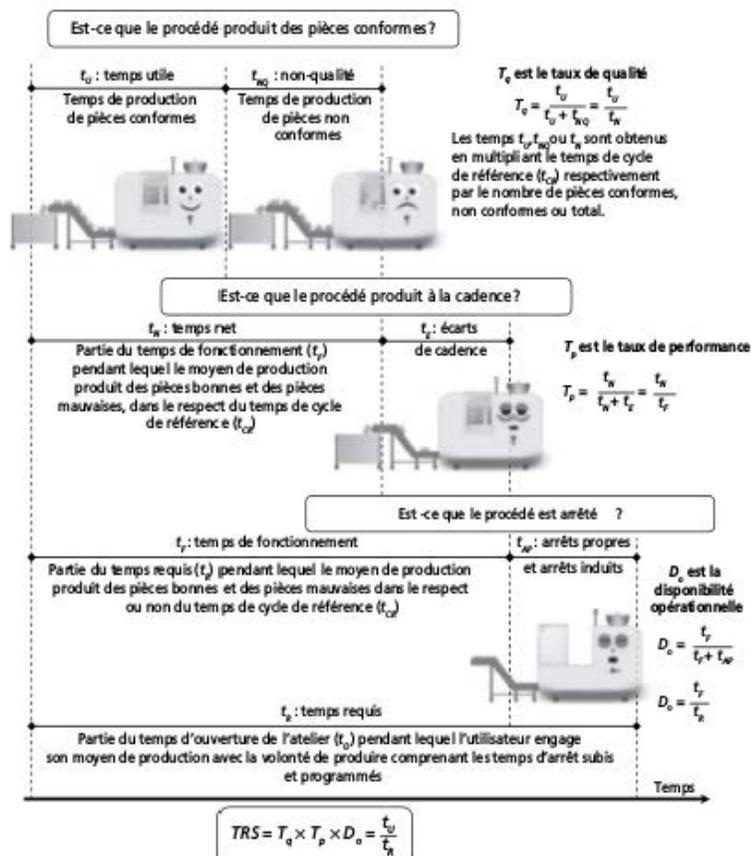


Figure 10.1 – Les trois axes de productivité du TRS et les taux associés.

Les arrêts induits correspondent au temps d'arrêt pendant lequel le moyen de production ne peut accomplir sa fonction pour des causes externes : défaut d'approvisionnement, saturation de pièces, manque de personnel, manque de ressources extérieures, défaut d'énergie.

Le TRS est le produit des trois taux suivant :

- le taux de qualité T_q , qui est affecté par les non-conformités ;

- le taux de performance T_p , qui est affecté les écarts de cadence ;
- la disponibilité opérationnelle D_o , qui met en évidence les temps d'arrêt.

Par exemple, avec une disponibilité opérationnelle de 0,85, un taux de performance de 0,95 et un excellent taux de qualité de 0,99, on obtient un TRS à 0,80, ce qui est déjà un assez bon résultat.

Chacun des taux est compris entre 0 et 1. De par son calcul, le TRS sera donc toujours plus petit que le plus petit des taux qui le composent. Ainsi, le TRS est un indicateur très sensible qui tient compte de tous les paramètres qui affectent la productivité d'un système. Si l'un des taux se dégrade, le TRS chute.

On améliore le TRS principalement grâce aux méthodes :

- TPM : la « Total Productive Maintenance », traduit par « maintenance productive totale » a pour objectifs de maintenir en bon état – réparer, nettoyer, graisser et accepter d'y consacrer le temps nécessaire –, d'assurer la maintenance tout en produisant, ou en pénalisant le moins possible la production, et enfin de considérer tous les aspects et y associer tout le monde ;
- SMED : le « Single Minute Exchange of Die », littéralement « changement d'outil en un nombre de minutes à un seul chiffre », ou plus simplement « changement rapide d'outil », a pour but de réduire le temps de changement d'outillage ;
- 5S : cette méthode permet de ranger, alléger et organiser l'espace de travail de façon efficace, d'améliorer l'état de propreté des lieux, de prévenir l'apparition de la saleté et du désordre et enfin d'encourager les efforts allant dans ce sens.

Avant l'utilisation des outils qualité précités, il n'est pas rare de constater des TRS initiaux de l'ordre de 0,5.

Les données pour calculer le TRS sont obtenues classiquement grâce à l'exploitation des données de production que l'on trouve dans le journal de bord du procédé, les fiches de suivi des non-conformités et les ordres de fabrication.

Remarques

1. Il arrive très souvent que les taux soient exprimés en pourcentages, ce qui est plus parlant. Cette conversion est obtenue en multipliant par 100 les expressions.
2. Le taux de qualité et la disponibilité opérationnelle sont mécaniquement compris entre 0 et 1. Seul le taux de performance pourrait être supérieur à 1, ce qui signifierait que l'on produirait à une cadence supérieure à celle de référence. Si cette situation se révélait pérenne, le temps de cycle de référence serait rapidement corrigé, pour ramener T_p à 1.
3. Fonction prévision : si on considère que le TRS est stabilisé pour une production donnée, on peut se baser sur les valeurs des différents taux afin de prévoir les quantités de matière et les durées des fabrications à venir.

10.2 TRG et TRE

Il existe d'autres indicateurs comme le *TRG* (*taux de rendement global*) et le *TRE* (*taux de rendement économique*), qui sont des extensions du TRS (figure 10.2).

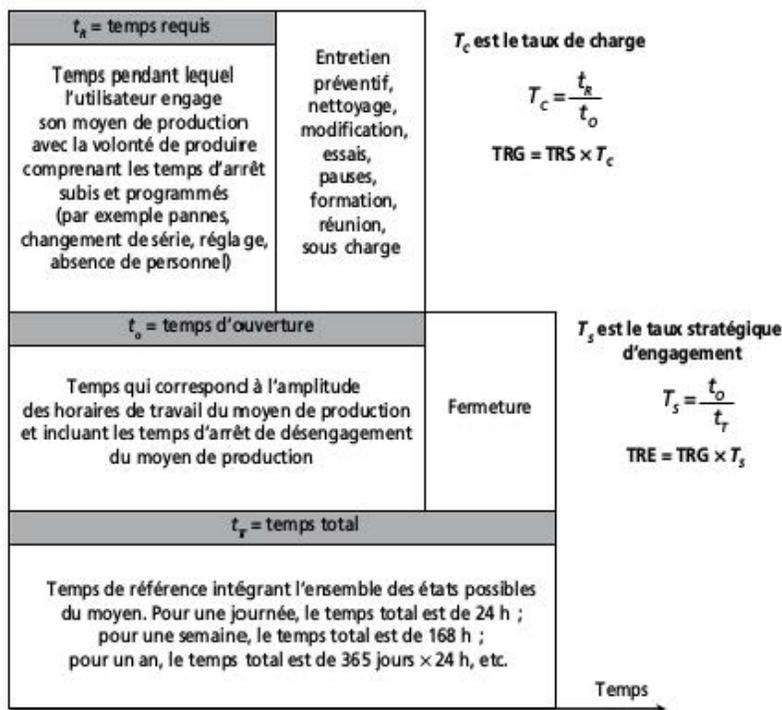


Figure 10.2 – Définitions du TRG et du TRE.

Le TRS compare le temps utile de production de pièces conformes dans le respect du temps de cycle avec le temps requis. Pourquoi s'arrêter là ? Pourquoi ne pas étendre la mesure de productivité au temps d'ouverture de l'atelier ? C'est ce que fait le taux de rendement global :

$$TRG = T_q \times T_p \times D_o \times T_c = \frac{t_u}{t_o}$$

Le *TRG* est intéressant dans un marché non saturé, fortement demandeur, contexte dans lequel toute unité produite peut être vendue et où l'on a intérêt à maximiser le temps de production.

On peut pousser à l'extrême en cherchant les facteurs d'érosion de la productivité sur le temps total disponible dans l'absolu. Le taux de rendement économique prend alors le relais :

$$TRE = T_q \times T_p \times D_o \times T_c \times T_r = \frac{t_u}{t_T}$$

Le *TRE* traduit une vision de financier ou d'investisseur, soucieux de rentabiliser son investissement sur la plus longue durée possible d'utilisation.

10.3 Exemple d'application

10.3.1 Données

Considérons la journée de production d'une presse à injecter.
Les pièces non conformes se répartissent selon le tableau 10.1.

Tableau 10.1 – Non-conformités.

Défaut	Quantité
Manque	6
Brûlure	21
Casse	9
Pollution : trace de colorant	32
Total	68

La quantité de pièces produites étant de 4 736, la quantité acceptée est donc de 4 668.

Le moule dispose de deux empreintes et le temps de cycle de référence est de 24 s. La cadence de référence est donc égale à 300 pièces/h.

Le temps d'ouverture t_o de l'entreprise est de 18 h ce jour-là. 1 h est utilisée pour réaliser le nettoyage, la maintenance préventive et une réunion. Il reste donc 17 h pendant lesquelles le moyen de production est engagé, c'est le temps requis t_R .

Le journal de bord indique qu'une demi-heure a été utilisée pour le démarrage et l'arrêt de la presse, et qu'un arrêt machine de 15 min a permis de réparer un raccord de régulation qui fuyait. Le temps de fonctionnement t_F est donc de 16,25 h.

10.3.2 Exploitation

$$T_q = \frac{t_U}{t_N} = \frac{4\,668}{4\,736} = 0,986, \text{ soit } 98,6 \%$$

$$T_p = \frac{t_N}{t_F} = \frac{\frac{4\,736}{300}}{16,25} = 0,971, \text{ soit } 97,1 \%$$

$$D_o = \frac{t_F}{t_R} = \frac{16,25}{17} = 0,956, \text{ soit } 95,6 \%$$

$$\text{TRS} = 0,986 \times 0,971 \times 0,956 = \frac{4\,668}{17} = 0,915, \text{ soit } 91,5 \%$$

$$\text{TRG} = 0,915 \times \frac{17}{18} = \frac{\frac{4\,668}{300}}{18} = 0,864, \text{ soit } 86,4 \%$$

$$\text{TRE} = 0,864 \times \frac{18}{24} = \frac{4\,668}{24} = 0,648, \text{ soit } 64,8 \%$$

11 • MAÎTRISE STATISTIQUE DES PROCÉDÉS

D

SUIVET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

11.1 Introduction

11.1.1 Norme de référence

ISO 3534-2

Remarque importante

La notation utilisée dans la première édition (juin 2000) de l'aide-mémoire était conforme à la norme française. Depuis, la norme américaine QS9000 s'est imposée : cette nouvelle édition utilise la notation de la norme QS9000.

11.1.2 Notations

α	Risque de première espèce
β	Risque de deuxième espèce
C_p	Capabilité (ou aptitude) intrinsèque à court terme du procédé
C_{pk}	Capabilité (ou aptitude) réelle à court terme du procédé
P_p	Performance (ou capabilité) intrinsèque du procédé à long terme
P_{pk}	Performance (ou capabilité) réelle du procédé à long terme
C_{pm}	Capabilité « perte » à court terme
P_{pm}	Performance (ou capabilité) « perte » à long terme
δ	Déréglage
δ_1	Déréglage maximal admissible
μ	Moyenne d'une population

μ_0	Moyenne vraie de la population lorsque le processus est bien réglé
m_0	Ordonné de la ligne centrale de la moyenne d'une carte de contrôle (moyenne cible)
n	Effectif des échantillons (nombre de pièces des échantillons)
S_0	Estimation de l'écart-type d'une population
T_i	Tolérance inférieure
T_s	Tolérance supérieure
u_α et u_β	Fractile de la loi normale pour le risque considéré
w ou R	Étendue
X	Variable mesurée
x_j	Valeur mesurée sur la $j^{\text{ème}}$ pièce d'un échantillon ($j \leq n$)
\bar{x}	Moyenne de l'échantillon

Remarque

Les notations présentées et utilisées dans les pages suivantes ont été volontairement simplifiées. Ainsi l'amalgame entre les grandeurs statistiques et leurs estimateurs permet d'alléger l'écriture des formules sans altérer leur sens. De la même façon, les différents calculs d'aptitude ont été réduits à leur plus simple expression et les méthodes d'échantillonnage ont été simplifiées tout en restant conformes aux normes en vigueur.

11.2 Principe

11.2.1 Normes de référence

NF X 06-050 / NF X 06-030 / NF X 06-031-0

NF X 06-031-1 / NF X 06-031-3

11.2.2 Objectifs

Les objectifs de la maîtrise statistique des procédés (MSP) sont décrits avec précision par la norme NF X 06-030. Appliquée à l'injection, la MSP permet, dans le cadre de production de moyenne ou grande série, d'obtenir à coût réduit, de bonnes garanties quant à la conformité des produits. De surcroît, elle offre une base intéressante de recherche et/ou de surveillance des causes assignables. (Voir § 6.11, « Réglage robuste ».)

11.2.3 Principe

On choisit, selon divers critères, une variable statistique de la population des pièces produites (masse, dimension...). Cette population s'appellera : population de référence. À l'aide de prélèvements de deux types, on va préalablement définir quelles sont les caractéristiques de dispersion, de tendance centrale et de distribution de cette variable statistique dans la population. Lorsque ces trois paramètres sont connus, on peut mettre en place des indicateurs graphiques appelés « cartes de contrôle » ou, parfois, « cartes de maîtrise ». Ces cartes permettent de vérifier statistiquement, à l'aide de mesures ponctuelles d'un échantillon de pièce, l'hypothèse que les pièces produites sur de longues périodes appartiennent à :

1. une population identique à la population de référence. Dans ce cas, on parle de contrôle de la stabilité ;
2. une population dans laquelle les caractéristiques de moyenne et de dispersion de la variable statistique garantissent la conformité d'une caractéristique du produit. Dans ce cas, on parle de carte de contrôle de la conformité.

L'expérience montre que quatre types de cartes sont utilisables en injection, selon l'objectif assigné à la MSP.

■ Cartes de Shewart

Ce sont des cartes de contrôle de la stabilité majoritairement employées en injection. Elles permettent de vérifier ponctuellement la stabilité d'une installation de production (figure 11.1).

Elles présentent l'intérêt de réagir rapidement lorsque l'installation subit un dérèglement important. Elles offrent la possibilité de surveiller une caractéristique du produit non définie dans le plan de contrôle ou le CDC. Ainsi on peut surveiller la masse d'une pièce ou un indicateur du procédé (voir § 6.11, « Réglage robuste »).

■ Cartes de type Shewart de maîtrise de la conformité

Elles permettent de vérifier la conformité du produit à une caractéristique du CDC ou du plan de contrôle. Elles sont utilisées lorsque l'on recherche la certitude de la conformité du produit (figure 11.2). Si le coefficient d'aptitude du procédé (C_p) est important, ce type de carte diminue le risque de fausse alarme (POM_0 plus importante).

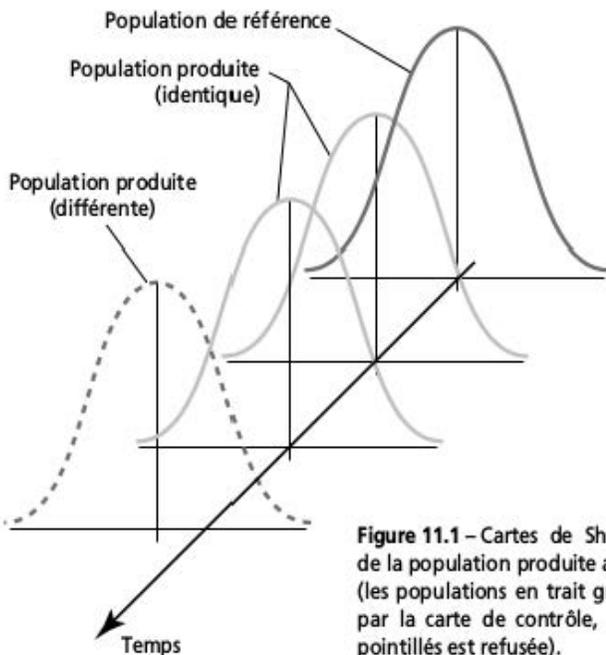


Figure 11.1 – Cartes de Shewart : évolution de la population produite au cours du temps (les populations en trait gris sont acceptées par la carte de contrôle, la population en pointillés est refusée).

■ Cartes EWMA de maîtrise de la stabilité

Ces cartes sont très efficaces pour la détection des dérives lentes du procédé. Dans le cadre de l'injection, on les utilise majoritairement pour la recherche des causes assignables lors de l'évaluation de C_p et Ppk ou lors de l'industrialisation pour l'évaluation du temps de stabilisation du procédé.

Ces cartes utilisant les mêmes données que les cartes de Shewart de maîtrise de la stabilité, on utilise parfois simultanément les deux types de cartes.

■ Cartes de contrôle aux attributs

Ces cartes sont théoriquement utilisables pour la maîtrise d'une quantité de non-conformité d'un produit ou d'une production. Il est indispensable de consulter la norme NF X 06-031-2 ou QS 9000 afin de cerner la variété des applications, ainsi que la complexité de ce domaine.

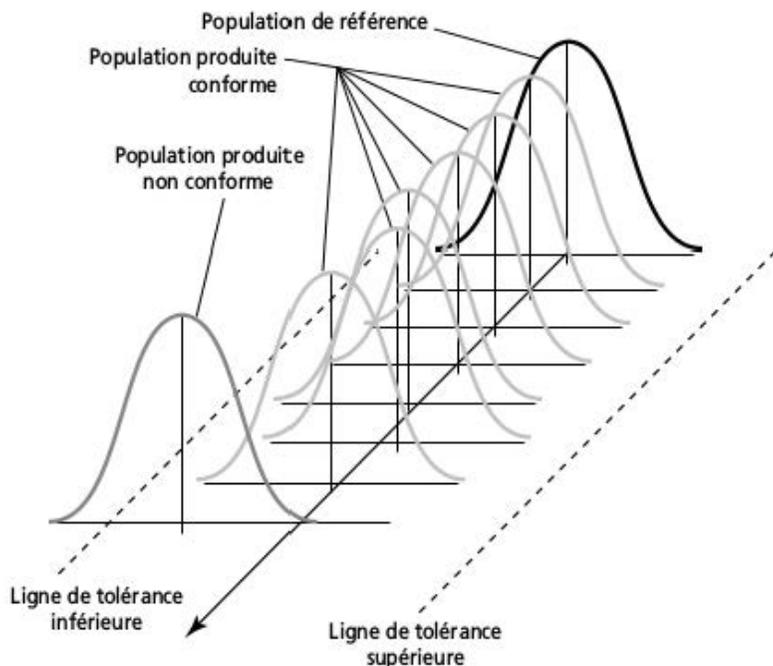


Figure 11.2 – Cartes de type Shewart de maîtrise de la conformité.

11.2.4 Choix de la caractéristique mise sous contrôle

La masse de la pièce est une caractéristique aisément mesurable, qui est adaptée à un contrôle de la stabilité de la production. Le prix d'une balance, sa fragilité, et son manque de précision relative pour les petites pièces limitent néanmoins l'usage de ce critère.

Une dimension du produit est souvent la caractéristique la plus pertinente, mais elle est handicapée par la reproductibilité médiocre des pieds à coulisse ou des micromètres. Si l'on utilise une carte de maîtrise de la conformité, la dimension choisie est la plus difficile à obtenir ou celle dont l'AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) a révélé la plus grande criticité. Pour une carte de maîtrise de la stabilité, on utilisera

une dimension facile à mesurer et qui favorisera la précision relative du moyen de mesure.

Un indicateur de robustesse peut aussi être utilisé, mais la mesure indirecte n'assure qu'une faible maîtrise de la stabilité et aucune maîtrise de la conformité. Cette méthode présente l'intérêt de pouvoir être totalement automatisée et/ou intégrée à la presse. On envisage de l'utiliser pour des productions de très grande série.

11.2.5 Problème des empreintes multiples

Lorsque l'on utilise un moule à empreintes multiples, il est théoriquement nécessaire d'effectuer un suivi séparé pour chaque empreinte. En pratique, une carte de maîtrise de la stabilité permet de suivre le procédé d'injection si le prélèvement se fait toujours sur le même groupe d'empreinte (sauf en cas de défaillance de canaux chauds). Toute autre carte de maîtrise pour un moule multi-empreintes doit faire l'objet d'une étude statistique complète.

11.3 Mise en place

11.3.1 Normes de référence

NF X 06-050 / NF X 06-030 / NF X 06-031-0

NF X 06-031-1 / NF X 06-031-3

11.3.2 Démarche générale

Voir figure 11.3 ci-contre.

11.4 Études d'aptitudes (capabilité)

11.4.1 Norme de référence

NF X 06-030

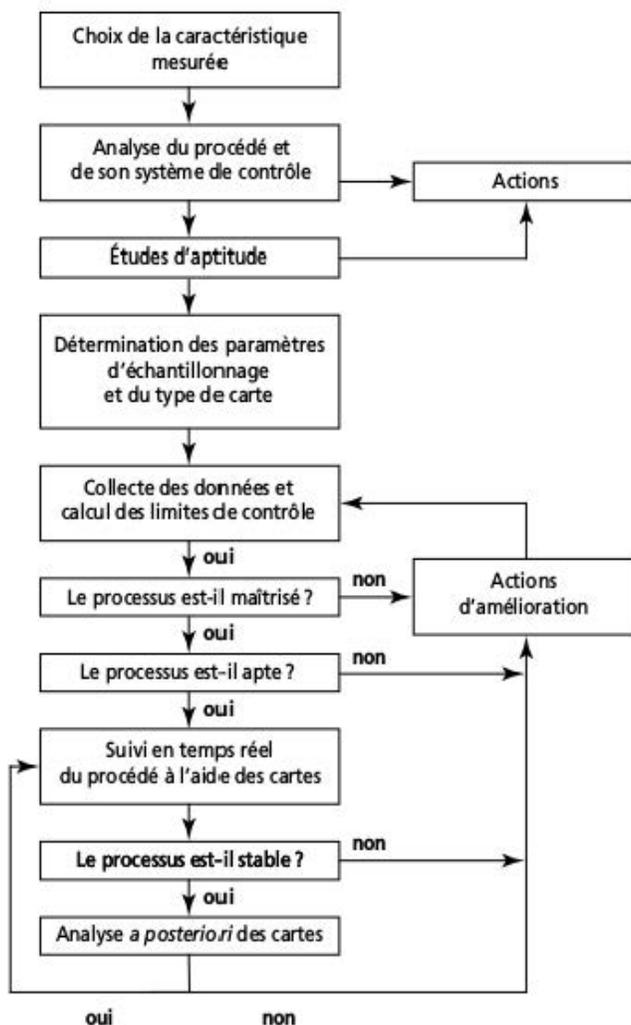


Figure 11.3 – Enchaînement chronologique des différentes phases de la mise en place de la MSP (norme NF X 06-030).

11.4.2 Objectif

Les études d'aptitude (appelée aussi capabilité) ont pour objectif la caractérisation de la population des pièces produites. À l'aide de ces caractéristiques, on déterminera l'aptitude des matériels de production à produire (ou pas) des produits conformes aux spécifications. On réutilisera aussi les données relevées pour évaluer les caractéristiques de la population mère pour la MSP.

11.4.3 Aptitude du système de mesure

Il n'existe pas de norme spécifique au moulage des thermoplastiques fournissant des exigences en matière de justesse, répétabilité et reproductibilité du moyen de mesure. Empiriquement, on considère que la résolution du moyen de mesure doit être supérieure au dixième de l'étendue du procédé.

11.4.4 Aptitude du moyen de production

L'objectif de cette étude est de vérifier l'adéquation de l'ensemble « presse/moule/périphérique/moyen de mesure » et des tolérances spécifiées par le plan de contrôle ou le CDC du produit.

On prélève un échantillon ordonné de 30 à 100 pièces produites consécutivement. Cet échantillon permet de caractériser la population instantanée produite par la machine, à l'aide de trois paramètres.

■ Moyenne de la variable statistique (μ)

On l'obtient en divisant la somme des mesures effectuées par l'effectif de l'échantillon.

$$\mu = \frac{\sum x_i}{n}$$

■ Écart-type de la variable statistique (S_0)

C'est la racine carrée de la moyenne du carré des écarts entre la moyenne et chaque valeur.

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}}$$

■ Distribution de la variable statistique

Dans le cas de l'injection, que la variable statistique soit une masse ou une dimension, on recherche une distribution normale. La norme NF X 06-050 propose des tests graphiques ou numériques qui permettent de vérifier l'hypothèse de la normalité d'une distribution. Il faut souligner que l'histogramme et la droite de Henry, bien que présentés par la norme, ne sont pas des tests certifiants. Seuls les tests de Kolmogorov et du Khi carré (χ^2) donnent une indication précise de la normalité d'une distribution.

Si les tests confirment la normalité de la distribution de la variable statistique dans la population, alors on peut faire le calcul des coefficients d'aptitude intrinsèque (C_p) et réelle (C_{pk}) du moyen de production à l'aide des formules suivantes :

$$C_p = \frac{\text{Intervalle de tolérance de la caractéristique mesurée}}{6 \times (\text{Écart-type})}$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left[\frac{\text{Tolérance supérieure} - \mu}{3 \times \text{Écart-type}} ; \frac{\mu - \text{Tolérance inférieure}}{3 \times \text{Écart-type}} \right]$$

■ Interprétation de C_p (aptitude intrinsèque à court terme) et C_{pk} (aptitude réelle à court terme)

Un coefficient $C_p > 1,33$ garantit statistiquement que la machine est capable de produire ponctuellement 99,994 % de pièces conformes à la tolérance spécifiée (figure 11.4). Un C_p élevé indique une proportion importante de produits conformes.

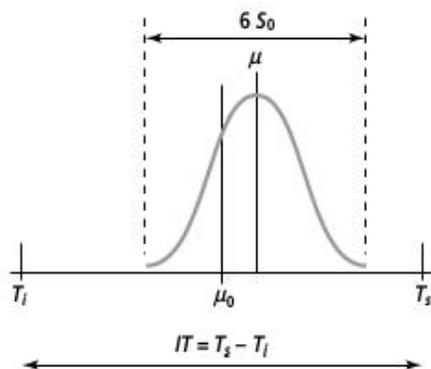


Figure 11.4 – Distribution normale de la variable statistique dans la population.

Un coefficient $Cpk > 1,33$ garantit que la machine est capable de produire ponctuellement, et avec son réglage actuel, plus de 99,994 % de pièces conformes à la tolérance spécifiée.

Cp n'existe que lorsqu'il existe un intervalle de tolérance ; il est toujours supérieur à Cpk .

■ Actions induites par Cp et Cpk

Trois cas peuvent survenir :

1. Cpk est supérieur à 1,33. On continue normalement l'étude d'aptitude par la mesure de l'aptitude du procédé.

2. Cpk est inférieur à 1,33, mais Cp est supérieur à 1,33. Il faut recentrer la moyenne de la caractéristique mesurée de manière à faire correspondre la moyenne des prochaines mesures avec le milieu de l'intervalle de tolérance. On réalise ensuite une nouvelle étude de l'aptitude du moyen. Dans le cas de l'injection, on modifie la pression de maintien, la température de l'outillage ou tout autre paramètre. Si cela s'avère insuffisant, on modifiera l'outillage.

3. Cp est inférieur à 1,33. L'ensemble « moule/matière/machine/périphérique » est inapte à la réalisation du produit désiré. On doit vérifier la qualité du réglage (voir § 6.11, « Réglage robuste ») et prendre des mesures pour diminuer la dispersion de la caractéristique mesurée du produit. On réalise ensuite une nouvelle étude de l'aptitude de la machine.

Le système d'organisation de la qualité de l'entreprise, ou le client, peuvent imposer des valeurs minimales pour Cpk différentes de 1,33. Certains donneurs d'ordres imposent des Cpk de 2 ou 3.

11.4.5 Aptitude intrinsèque à long terme du moyen de production (ou performance du procédé)

L'objectif de cette étude est de vérifier sur une longue période (contrairement à l'aptitude du moyen) l'adéquation de l'ensemble des moyens de production et des tolérances spécifiées par le plan de contrôle ou le CDC du produit.

Après stabilisation de la presse et de ses périphériques, on prélève un échantillon aléatoire ordonné de 100 pièces non consécutives. Dans le cas de l'injection, la durée de prélèvement doit être d'au moins quatre heures, ne comportant pas de changement d'opérateur. Le prélèvement est ordonné pour être utilisable à une recherche éventuelle de cause assignable. Cet échantillon permet d'estimer les caractéristiques de la population des pièces produites sur une longue période présumée représentative d'une campagne de production.

On calcule la moyenne et l'écart-type de la caractéristique mesurée sur l'échantillon, puis on effectue le calcul des coefficients d'aptitude intrinsèque et réelle du procédé de production : Pp et Ppk .

$$Pp = \frac{\text{Intervalle de tolérance de la caractéristique mesurée}}{6 \times S_0}$$

$$Ppk = \text{Min} \left[\frac{\text{Tolérance supérieure} - \bar{x}}{3 \times S_0}; \frac{\bar{x} - \text{Tolérance inférieure}}{3 \times S_0} \right]$$

Pp et Ppk sont soumis à la même analyse que Cp et Cpk . Si Pp est très inférieur à Cp , il faut vérifier l'hypothèse de normalité de la distribution de la population (histogramme, droite de Henry, test numérique...). Une recherche de cause assignable doit être envisagée.

Si Ppk est conforme à l'exigence du client ou du système d'organisation de la qualité, les études d'aptitude sont terminées.

11.4.6 Capabilité perte

Le développement de la cotation statistique modifie aujourd'hui l'appréciation des différents indicateurs d'aptitude. En effet, il est plus facile de garantir la conformité d'un assemblage lorsque le centrage de la distribution se rapproche du centre de l'intervalle de tolérance. Deux nouveaux indicateurs résument cette capabilité « perte » :

$$Cpm = \frac{\text{Intervalle de tolérance}}{6 \times \sqrt{S_0^2 + (x + \mu_0)^2}} = \frac{Cp}{\sqrt{1 + 9(Cp - Cpk)^2}}$$

Cpm est la capabilité perte à court terme avec S_0 calculé à partir d'un échantillon de même type que Cp et Cpk , c'est-à-dire prélevé sur une durée très courte.

$$Ppm = \frac{\text{Intervalle de tolérance}}{6 \times \sqrt{S_0^2 + (x + \mu_0)^2}} = \frac{Pp}{\sqrt{1 + 9(Pp - Ppk)^2}}$$

Ppm est la capabilité perte à long terme avec S_0 calculé à partir d'un échantillon de même type que Pp et Ppk , c'est-à-dire prélevé sur une durée de quatre heures environ.

Le client peut donc imposer soit un intervalle de tolérance étroit, soit une capacité perte élevée, c'est-à-dire obliger le réglage à être plus centré sur le milieu de l'intervalle de tolérance.

Remarque

Les études d'aptitude sont indispensables à la mise en place de la MSP, mais elles sont aussi utilisées dans le cadre d'une simple validation de mise en production.

11.5 Fréquence de prélèvement

11.5.1 Norme de référence

NF X 06-031-0

11.5.2 Méthode proposée par la norme NF X 06-031-0

La fréquence de prélèvement des échantillons dépend de la vitesse de dérèglement, c'est-à-dire de la vitesse de déplacement de la moyenne de la caractéristique mesurée. Dans le cadre de l'injection des thermoplastiques, cette variation est soit très rapide s'il apparaît une cause assignable, soit très lente car les phénomènes d'usure des machines et des outillages sont très lents.

Puisqu'il est très difficile d'apprécier la fréquence de dérèglement, une période de dérèglement de quatre heures est empiriquement retenue pour déterminer la fréquence d'échantillonnage. Il suffit d'appliquer la règle de Cavé, comme le préconise la norme NF X 06-031-0 :

$$q = 100 \times \sqrt{\frac{n}{M \times 100}}$$

avec :

q = proportion de pièces prélevées (en %).

n = effectif de l'échantillon.

M = nombre moyen de pièces fabriquées entre deux dérèglages.

La période d'échantillonnage p , exprimée en heures, est donnée par la formule :

$$p = \frac{100 \times n}{\text{Cadence horaire} \times q}$$

Lorsque l'on disposera d'un historique de production suffisant, la fréquence de dérèglement sera réévaluée.

11.5.3 Détermination de la fréquence par la méthode de Colin

Pour rechercher un optimum financier de la fréquence de prélèvement on considère que le coût du contrôle effectué doit être inférieur au coût de l'action corrective engagée en cas de non-conformité de la production. On fait l'hypothèse que les risques (α et β) sont nuls et qu'une carte de maîtrise de la stabilité est comparable à une carte de maîtrise de la conformité. Il faut disposer des données suivantes :

C_u = Coût unitaire de la moulée (sans prendre en compte bien sûr le coût du contrôle statistique).

C_m = Coût de traitement de l'échantillon (essentiellement, le coût de la mesure).

C_{nd} = Coût de traitement unitaire de chaque moulée non conforme (par exemple coût du rebutage, du tri ou de la retouche d'une moulée).

O_c = Proportion estimée ou mesurée de risque de dérèglement en pour-cent. Pour estimer cette valeur, on utilise l'occurrence évaluée par l'AMDEC. O_c est réactualisé lorsque l'historique de la production le permet ou suite à une amélioration significative du procédé.

La proportion de pièces contrôlées q (en pour-cent) est donnée par la formule suivante :

$$q = \frac{-C_u + \sqrt{C_u^2 + \frac{C_m \times C_{nd} \times O_c}{50}}}{2 \times C_m} \times 100$$

La période d'échantillonnage p exprimée en heure est donnée par la formule :

$$p = \frac{100}{\text{Cadence horaire (en nombre de moulées)} \times q}$$

Cette méthode est la plus rigoureuse, mais aussi la plus délicate à utiliser. Elle n'engendre pas de coût de contrôle excessif tant que L est inférieur à 10.

$$L = q \times n$$

Remarque

La formule peut donner une proportion supérieure à 100 % lorsque le coût de la non-conformité est très élevé ou le coût du contrôle très bas. Dans ce cas, le contrôle statistique doit être abandonné au profit d'un contrôle systématique de la totalité des produits fabriqués.

11.6 Cartes de Shewart : contrôle de la stabilité

11.6.1 Norme de référence

NF X 06-031-1

11.6.2 Objectif

Ce sont des cartes de maîtrise de la stabilité du procédé. Elles assurent que les échantillons successifs relevés appartiennent à une population de même dispersion et de même moyenne que la population de référence (celle pour laquelle on a mesuré le $C_p \hat{k}$).

11.6.3 Effectif de l'échantillon

L'effectif peut être quelconque, mais supérieur à 1 : il existe des cartes pour un échantillon d'effectif unitaire, mais elles ne sont pas utilisées en injection. Un effectif important garantit une meilleure détection des instabilités du procédé. Les courbes d'efficacité permettent de déterminer un effectif d'échantillon à partir de risques α et β choisis, et d'un dérèglement maximal autorisé arbitrairement.

11.6.4 Risque α

On ne peut supprimer le risque de se tromper lorsque l'on effectue le contrôle statistique d'un produit. Si l'on prélève, par exemple, un échantillon de cinq pièces parmi cent produites, il existe un risque, certes faible, de prélever les cinq pièces les plus petites et de conclure à tort que la dimension moyenne des pièces a notablement évolué. Le risque de conclure à un dérèglement alors que le procédé est toujours maîtrisé est appelé risque α (ou risque de première espèce).

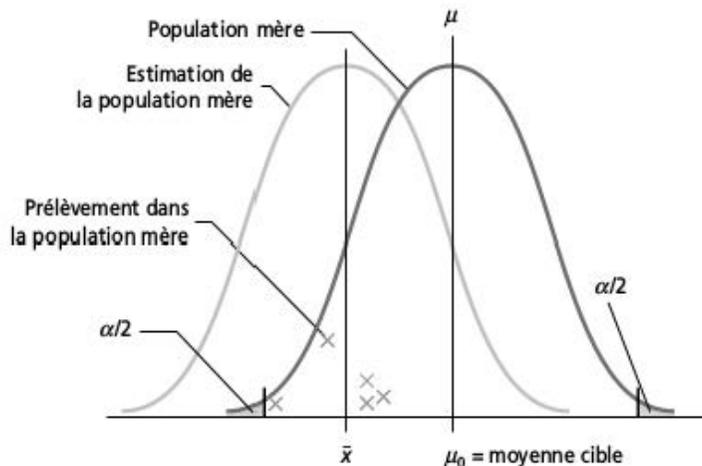


Figure 11.5 – Échantillonnage et détermination du risque α .

La figure 11.5 montre que le risque α correspond l'intervalle de tolérance fixé à x (moyenne de l'échantillon) autour de la valeur m_0 (moyenne de la population de référence). Dans le cas représenté, la moyenne m de la population mère est égale à m_0 , il n'y a donc aucun dérèglement de la presse. On fixe généralement le risque α à 0,27 %, ce qui correspond à un intervalle de tolérance pour x de $m_0 \pm 3 \times S_0 / \sqrt{n}$. On peut prendre une valeur différente, mais dans ce cas les courbes d'efficacité (voir paragraphe 11.6.9) ne sont plus utilisables. La formule donnée avec les courbes d'efficacité permet d'en tracer de nouvelles pour ce nouveau risque α .

Le risque α est obligatoirement fixé à une faible valeur. En effet, le risque cumulé de fausse alarme augmente avec le nombre de prélèvement d'échantillons. Ceci signifie que le risque α nous induira certainement en erreur.

Par exemple, avec un risque α choisi à 0,27 % il est quasiment certain d'avoir une fausse alarme tous les 1 100 échantillons. Avec un risque α de 1 %, il y aura une fausse alarme tous les 300 échantillons.

11.6.5 Risque β

C'est le risque de deuxième espèce. Si l'on prélève, par exemple, un échantillon de cinq pièces parmi cent produites par une machine dérégulée, il existe un risque de prélever cinq pièces conformes aux tolérances et de conclure à tort que la dimension moyenne des pièces n'a pas évolué. Ce risque de non-détection d'un dérèglement, appelé risque β , est variable. Il dépend de l'écart entre la distribution de la population mère de l'échantillon et la distribution de la population de référence. Plus l'écart entre les deux populations est important, plus le risque β est faible. L'écart de la moyenne de ces deux populations est appelé dérèglement (δ), et s'exprime en nombre d'écart-type :

$$\delta = \frac{x - \mu_0}{S_0}$$

On voit ici que les risques sont liés puisque le risque α est égal à $1 - \beta$ lorsque le dérèglement δ est nul (voir paragraphe 11.6.9, « Courbes d'efficacité »).

11.6.6 Préparation pratique de la carte de contrôle

On utilise des cartes de contrôle vierges sur lesquelles il faut reporter les valeurs calculées à partir des données prélevées lors des études d'aptitude ou de normalité.

Sur le graphique de maîtrise des moyennes on reporte la moyenne de référence, les limites de contrôle supérieure et inférieure (Lci et Lcs) et les limites de surveillance (Lsi et Lss) (figure 11.6).

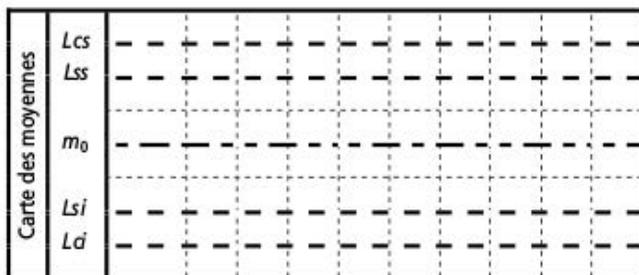


Figure 11.6 – Cartes de contrôle de Shewart : carte des moyennes.

Lorsque l'effectif (n) a été choisi, à l'aide des courbes d'efficacité, le calcul des paramètres de la carte des moyennes s'effectue grâce aux formules suivantes :

$$Lci = \mu_0 - 3 \times \frac{S_0}{\sqrt{n}} \qquad Lcs = \mu_0 + 3 \times \frac{S_0}{\sqrt{n}}$$

$$Lsi = \mu_0 - 2 \times \frac{S_0}{\sqrt{n}} \qquad Lss = \mu_0 + 2 \times \frac{S_0}{\sqrt{n}}$$

Sur le graphique de maîtrise des écarts-types on reporte l'écart-type de référence (S_0) ainsi que les limites de surveillance et de contrôle de l'écart-type (figure 11.7).

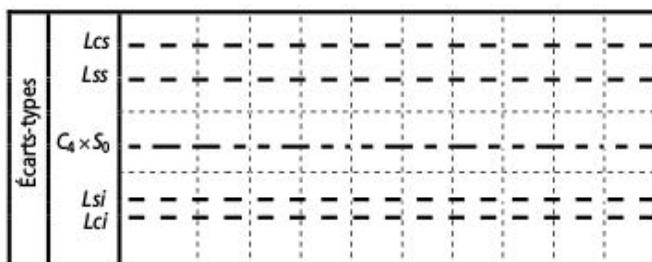


Figure 11.7 – Cartes de contrôle de Shewart : carte de l'écart-type.

La recherche du paramètre C_4 dans le tableau 11.1 permet d'effectuer les calculs. Si l'effectif de l'échantillon est supérieur à quinze, la formule suivante donne directement la valeur de C_4 :

$$C_4 = \frac{4 \times n - 4}{4 \times n - 3}$$

$$Lcs = S_0 \times (C_4 + 3\sqrt{1 - C_4^2}) \qquad Lss = S_0 \times (C_4 + 2\sqrt{1 - C_4^2})$$

$$Lsi = S_0 \times (C_4 - 2\sqrt{1 - C_4^2}) \qquad Lci = S_0 \times (C_4 - 3\sqrt{1 - C_4^2})$$

Tableau 11.1 – Paramètre C_4 pour différentes valeurs de n .

n	2	3	4	5	6	7	8
C_4	0,7979	0,8862	0,9213	0,9400	0,9515	0,9594	0,9650
n	9	10	11	12	13	14	15
C_4	0,9693	0,9727	0,9754	0,9776	0,9794	0,9810	0,9823

Lorsque l'effectif de l'échantillon est petit, il est possible de calculer des valeurs de L_{ci} ou L_{si} négatives. Dans ce cas les limites inférieures ne sont pas utilisées.

Lorsque l'effectif de l'échantillon est inférieur à dix, on peut utiliser un graphique de maîtrise de l'étendue à la place du graphique de maîtrise de l'écart-type. L'étendue est la différence entre la plus petite valeur et la plus grande valeur relevée dans l'échantillon. Ainsi, la carte obtenue est plus simple d'utilisation, mais elle est moins précise (figure 11.8).

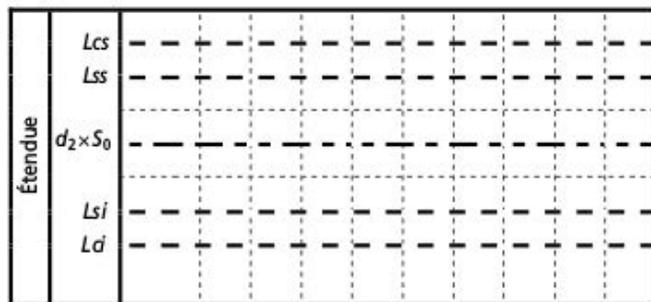


Figure 11.8 – Cartes de contrôle de Shewart : carte de l'étendue.

La recherche des paramètres d_2 , D_1 , D_2 , D_1' , D_2' dans le tableau 11.2 permet de calculer l'étendue de référence, ainsi que les limites de contrôle et de surveillance.

Tableau 11.2 – Paramètres d_2 , D_1 , D_2 , D_1' , D_2' pour différentes valeurs de n .

n	d_2	D_1	D_2	D_1'	D_2'
2	1,128	–	3,686	–	2,834
3	1,693	–	4,358	–	3,469
4	2,059	–	4,698	0,299	3,819
5	2,326	–	4,918	0,598	4,054
6	2,534	–	5,078	0,838	4,230
7	2,704	0,205	5,203	1,038	4,370
8	2,847	0,387	5,307	1,207	4,487
9	2,970	0,546	5,394	1,354	4,586
10	3,078	0,687	5,469	1,484	4,672

$$\text{Étendue de référence} = d_2 \times S_0$$

$$Lci = D_1 \times S_0 \qquad Lc\sigma = D_2 \times S_0$$

$$Lsi = D_1' \times S_0 \qquad Ls\sigma = D_2' \times S_0$$

Lorsque l'effectif de l'échantillon est petit, il est possible de calculer des valeurs de Lci ou Lsi négatives. Dans ce cas, les limites inférieures ne sont pas utilisées.

11.6.7 Utilisation des cartes de contrôle

À intervalles réguliers (voir § 11.5, « Fréquence de prélèvement »), l'opérateur va prélever un échantillon de pièces en sortie de presse. Cet échantillon sera mesuré et les résultats seront reportés sur la fiche de MSP. L'opérateur

calculera ensuite la moyenne et la dispersion de l'échantillon, puis il reportera ces valeurs sur la fiche de MSP et enfin il complétera le graphique selon les valeurs trouvées (figure 11.9). Si l'un des points reportés se situe à l'extérieur des limites de contrôle, l'opérateur doit avertir le responsable d'ilot qui prendra les mesures prévues par la procédure de contrôle. Il est impératif, dès cet instant, d'isoler les pièces produites depuis le contrôle précédent.

11.6.8 Interprétation des cartes de contrôle

Lorsque le graphique sort des limites de contrôle, on ne doit pas conclure instantanément à la non-conformité des pièces produites. Simplement, le procédé n'est plus maîtrisé, c'est-à-dire que certains paramètres du procédé ont changé pour une cause indéterminée. Le travail du régleur est de trouver quels paramètres ont évolué et la cause de cette évolution. C'est ensuite que l'on pourra remédier à l'anomalie.

Les pièces présumées non conformes seront contrôlées et traitées selon les procédures qualité de l'entreprise.

L'analyse *a posteriori* des cartes fournit une base intéressante de recherche de causes assignables. Les recherches de séquences, proposées par la norme NF X 06-031-1, ne donnent que peu de résultats. Par contre, en injection, la comparaison de cartes provenant de machines différentes mais produisant simultanément mettent parfois en évidence des causes assignables liées à l'environnement de la presse (fluides, opérateurs...).

Remarque

En injection, les phénomènes de dérive naturelle du procédé sont extrêmement rares. Lorsqu'une carte de Shewart de maîtrise de la stabilité indique un dérèglement, on peut raisonnablement conclure à l'apparition d'une cause assignable. De ce fait le dérèglement (δ) est souvent supérieur à deux écart-types, ce qui permet de choisir un effectif d'échantillon inférieur à dix (voir § 11.6.9).

11.6.9 Courbes d'efficacité des cartes de Shewart

■ Utilisation

La figure 11.10 permet de choisir l'effectif de l'échantillon à partir d'un dérèglement δ et d'un risque β choisis arbitrairement.

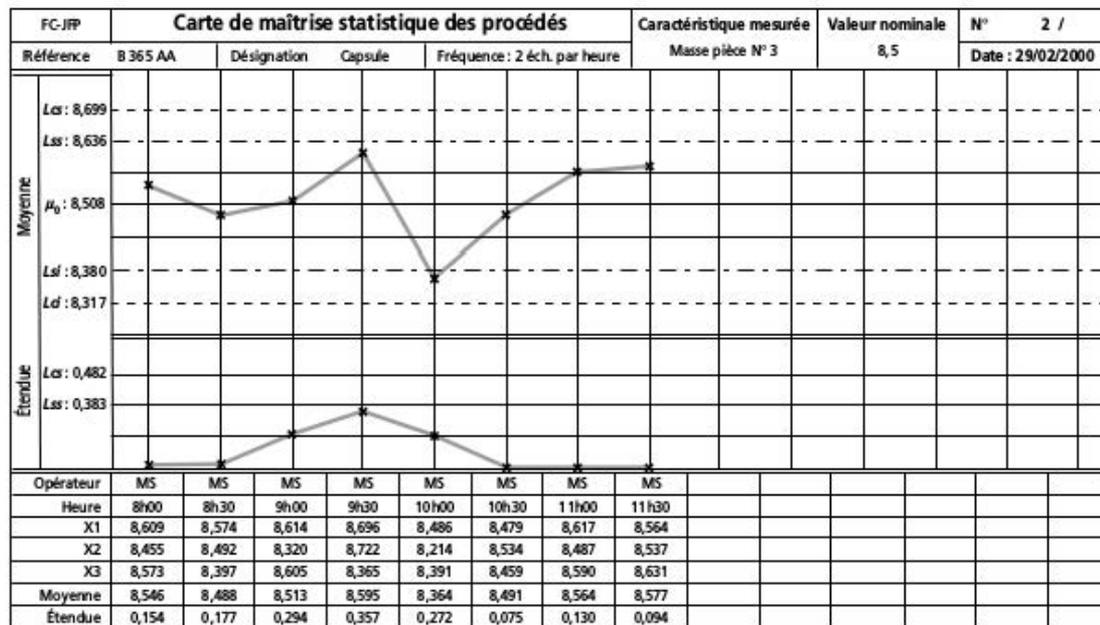


Figure 11.9 – Exemple de fiche de MSP (en cours d'utilisation).



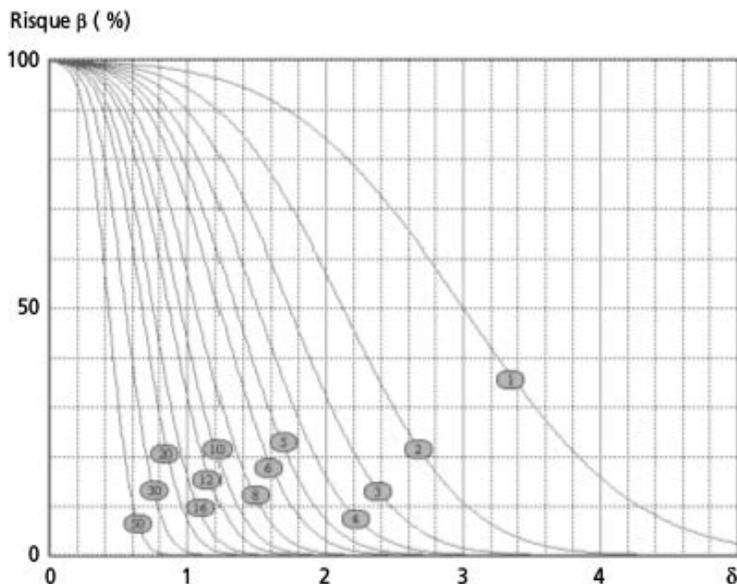


Figure 11.10 – Courbes d'efficacité des cartes de Shewart aux mesures pour un risque α de 0,27 % sur les moyennes.

On peut calculer d'autres faisceaux de courbes avec la formule :

$$\delta = \frac{u_{\alpha} + u_{\beta}}{\sqrt{n}}$$

avec :

u_{α} = Fractile de la loi normale pour le risque α

u_{β} = Fractile de la loi normale pour le risque β

δ = Déréglage (exprimé en nombre d'écart-types)

n = Effectif des échantillons

11.6.10 Table des fractiles de la distribution normale

Le tableau 11.3 permet de connaître l'efficacité des cartes de contrôle et de déterminer l'effectif de l'échantillon d'une carte de maîtrise de la conformité.

Tableau 11.3 – Table des fractiles de la distribution normale.

Risque α (en %)	Risque β (en %)	Fractile de la loi normale	
0,0064	0,0032	4	Valeurs courantes du risque α
0,046	0,023	3,5	
0,1	0,05	3,29	
0,2	0,1	3,09	
0,27	0,135	3	
0,4	0,2	2,88	
1	0,5	2,57	
1,24	0,62	2,5	
2	1	2,33		Valeurs courantes du risque $\beta$
4	2	2,05	
4,56	2,28	2	
10	5	1,65	
15	7,5	1,44	
20	10	1,28	
31,74	15,87	1	
40	20	0,84	
60	30	0,52	

11.7 Cartes de Shewart : contrôle de la conformité

De nombreuses notions nécessaires à la compréhension de ce chapitre sont développées dans la présentation des cartes de contrôle de Shewart (voir § 11.2 et 11.6).

11.7.1 Norme de référence

NF X 06-031-1

11.7.2 Objectif

Ce sont des cartes qui assurent qu'un caractère mesuré des pièces produites est conforme au plan de contrôle. Elles garantissent que les échantillons successifs produits appartiennent à une population comprise dans un intervalle de tolérance.

11.7.3 Déréglage maximum admissible

Les limites de contrôle de ce type de carte sont imposées par les tolérances affectées à la caractéristique mesurée (une dimension le plus souvent). La carte doit garantir que la proportion de pièce hors tolérance est faible (< 0,135 %). Ainsi on définit le déréglage maximal admissible (δ_1) :

$$\delta_1 = \min \left[\frac{(T_s - 3 \times S_0 - m_0)}{S_0} ; \frac{(m_0 - T_l \times 3 - S_0)}{S_0} \right]$$

L'étude préalable de C_{pk} permet l'utilisation de la formule simplifiée :

$$\delta_1 = 3 \times (C_{pk} - 1)$$

11.7.4 Effectif de l'échantillon

Il est déterminé par les courbes d'efficacité des cartes de Shewart en imposant à δ la valeur δ_1 .

La formule suivante permet de retrouver numériquement le même résultat :

$$n = \left(\frac{u_\alpha + u_\beta}{\delta_1} \right)^2$$

u_α = Fractile de la loi normale pour le risque α

u_β = Fractile de la loi normale pour le risque β

δ_1 = Déréglage (exprimé en nombre d'écart-types)

Si n n'est pas une valeur entière, il sera arrondi à la valeur entière immédiatement supérieure.

11.7.5 Détermination des limites de contrôle

Les limites de contrôle du graphique des écarts-types ou des étendues sont identiques à celles utilisées dans les cartes de Shewart. Les limites du graphique des moyennes sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$$Lcs = Ts - 3 \times S_0 - \frac{u_\beta \times S_0}{\sqrt{n}} \quad Lci = Ti + 3 \times S_0 + \frac{u_\beta \times S_0}{\sqrt{n}}$$

11.8 Cartes EWMA

De nombreuses notions nécessaires à la compréhension de ce chapitre sont développées dans la présentation des cartes de contrôle de Shewart (pages précédentes).

11.8.1 Norme de référence

NF X 06-031-3

11.8.2 Objectif

Dans le cadre de l'injection, la carte EWMA n'a pas d'application pour la maîtrise statistique du procédé. Par contre, elle s'avère précieuse pour la recherche des causes assignables en vue d'améliorer l'aptitude intrinsèque de l'installation de production (augmentation de C_{pk}).

11.8.3 Principe

Pour visualiser les faibles dérives du procédé, on reporte sur le graphique des moyennes une valeur calculée :

- à partir de la moyenne de la caractéristique mesurée sur l'échantillon ;
- et à partir des moyennes mesurées sur les échantillons précédents.

La valeur z_i reportée sur le graphique et représentant le $i^{\text{ème}}$ échantillon est calculée avec la formule :

$$z_i = 0,3 \times \bar{x}_i + 0,7 \times z_{i-1}$$

Les bornes du graphique sont estimées à l'aide de la formule :

$$\min = m_0 - 1,5 \times \frac{S_0}{\sqrt{n}} \qquad \max = m_0 + 1,5 \times \frac{S_0}{\sqrt{n}}$$

Remarque

On peut construire un graphique EWMA directement sur une carte de Shewart, en utilisant une autre couleur de tracé et en appliquant la procédure EWMA aux moyennes échantillonnales successives, comme illustré sur la figure 11.11. On peut ainsi rechercher la cause d'un incident de production.

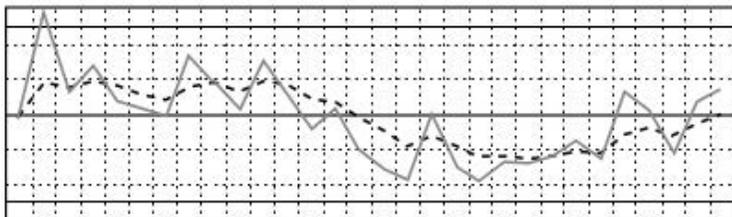


Figure 11.11 – Exemple de tracé d'un graphique EWMA sur une carte de Shewart.

Le tracé en trait plein sur le graphique des moyennes est celui d'une carte de Shewart, les irrégularités ne permettent pas de conclure à une dérive de la moyenne. Le tracé en pointillés, effectué à partir des mêmes données selon la procédure EWMA indique clairement la présence d'une cause assignable provoquant une variation régulière de la moyenne.

11.9 Histogramme

11.9.1 Objectif

Un histogramme permet d'obtenir une représentation graphique de la distribution d'une population ou d'un échantillon afin d'évaluer la nature d'une distribution.

11.9.2 Mise en œuvre

Dans l'étude suivante, un échantillon de 25 pièces a été prélevé arbitrairement à titre d'exemple. L'histogramme se construit en cinq étapes.

■ Classement des valeurs relevées par ordre croissant

Tableau 11.4 – Relevé des valeurs.

13,486	13,657	13,973	13,224	12,838
13,806	13,117	13,407	12,860	13,912
14,202	13,404	12,913	13,105	13,701
13,421	13,563	13,486	13,156	13,334
13,771	13,320	13,547	13,885	13,062

Tableau 11.5 – Valeurs triées.

12,838	13,117	13,404	13,547	13,806
12,860	13,156	13,407	13,563	13,885
12,913	13,224	13,421	13,657	13,912
13,062	13,320	13,486	13,701	13,973
13,105	13,334	13,486	13,771	14,202

■ Calcul du nombre de classes

Il est généralement choisi à une valeur proche de la racine carrée de l'effectif de l'échantillon. La norme NF X 06-050 n'impose aucun calcul :

$$\text{Nombre de classes} = \sqrt{25} = 5$$

■ Détermination des bornes de classe

On divise l'étendue de la mesure (c'est-à-dire l'écart entre la plus grande et la plus petite valeur relevée) par le nombre de classes afin d'obtenir la largeur d'une classe :

$$\frac{(14,202 - 12,838)}{5} = 0,2728$$

Les bornes de chaque classe se calculent ainsi :

$$\text{Borne inf.} = \text{Valeur mini.} + (\text{N}^\circ \text{ de classe} - 1) \times \text{Largeur de classe}$$

$$\text{Borne sup.} = \text{Valeur mini.} + \text{N}^\circ \text{ de classe} \times \text{Largeur de classe}$$

Pour la classe 1 on trouve :

$$\text{Borne inf.} = 12,838 + (1 - 1) \times 0,2728 = 12,838$$

$$\text{Borne sup.} = 12,838 + 1 \times 0,2728 = 13,111$$

Tableau 11.6 – Bornes de classes.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Borne inf.	12,838	13,111	13,384	13,656	13,929
Borne sup.	13,111	13,384	13,656	13,929	14,202

■ Détermination de l'effectif de chaque classe

Chaque valeur relevée est placée dans la classe qui lui correspond (la valeur est comprise entre ses deux bornes). Si une valeur est placée sur une borne entre deux classes, on l'affecte à la classe de plus petit numéro (tableau 11.7).

Tableau 11.7 – Affectation d'une classe à chaque valeur.

12,838 → 1	13,117 → 2	13,404 → 3	13,547 → 3	13,806 → 4
12,86 → 1	13,156 → 2	13,407 → 3	13,563 → 3	13,885 → 4
12,913 → 1	13,224 → 2	13,421 → 3	13,657 → 4	13,912 → 4
13,062 → 1	13,32 → 2	13,486 → 3	13,701 → 4	13,973 → 5
13,105 → 1	13,334 → 2	13,486 → 3	13,771 → 4	14,202 → 5

Effectif de chaque classe :

La classe 1 a un effectif de 5.

La classe 2 a un effectif de 5.

La classe 3 a un effectif de 7.

La classe 4 a un effectif de 6.

La classe 5 a un effectif de 2.

■ Tracé de l'histogramme

L'histogramme est le graphique sur lequel on reporte en abscisse le numéro de la classe et en ordonnée l'effectif de chaque classe (figure 11.12).

11.9.3 Interprétation de l'histogramme

Lorsque l'on fait un histogramme, on cherche souvent à vérifier l'hypothèse de normalité de la distribution. On conclura à la normalité de la distribution si les classes les plus extrêmes ont un effectif sensiblement plus petit que les classes centrales et si l'étendue apparente de la distribution est proche de six fois l'écart-type. Une méthode intéressante consiste à reporter la distribution normale théorique sur l'histogramme : les logiciels informatiques proposent tous cette fonction, présentée sur la figure 11.13.

Une distribution dont la normalité n'est pas assurée peut faire l'objet d'un test numérique. Si le test est négatif, l'interprétation de l'histogramme est l'affaire d'un spécialiste en statistiques descriptives.

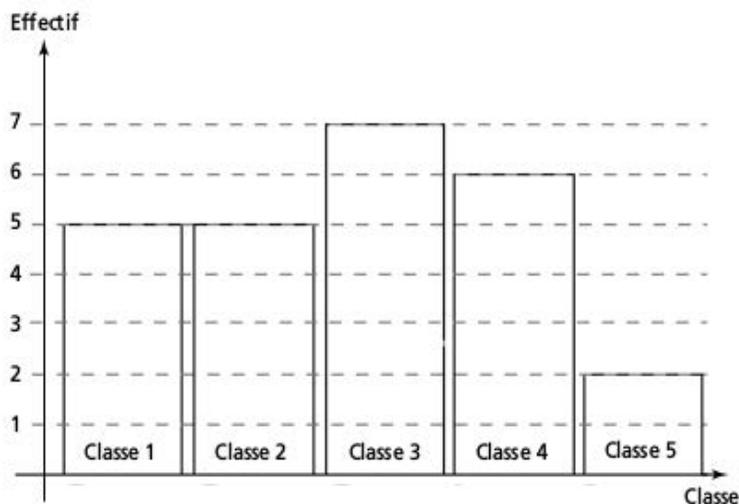


Figure 11.12 – Histogramme.

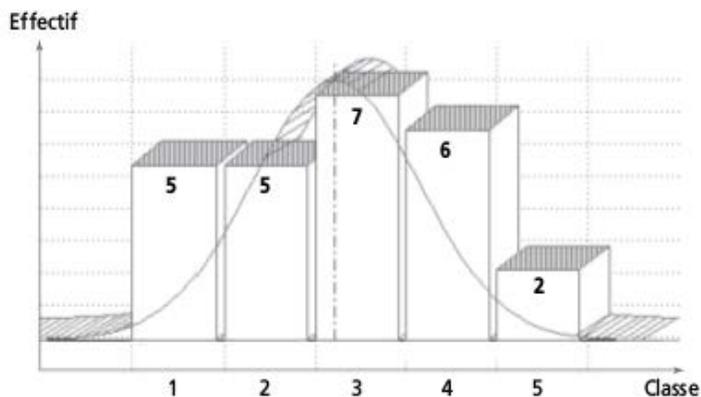


Figure 11.13 – Distribution normale théorique sur un histogramme.

11.9.4 Conclusion

Le tracé de l'histogramme est impératif, mais il n'est pas suffisant pour valider l'hypothèse de normalité de la distribution. Lorsque l'on doit impérativement s'assurer de la normalité (par exemple, évaluation d'une proportion de non-conformes dans un lot ou MSP avec petit effectif d'échantillon), il est nécessaire de faire le test graphique de la droite de Henry et conseillé d'effectuer un test numérique (test de Kolmogorov ou test du χ^2).

11.10 Droite de Henry

11.10.1 Normes de référence

NF X 06-050

NF X 06-065

11.10.2 Principe

Le test de la droite de Henry est un test graphique non certifiant, c'est-à-dire peu rigoureux, de normalité d'une distribution. Cette méthode est basée sur la comparaison entre la fréquence cumulée réelle de la distribution observée et la fréquence cumulée d'une distribution normale. Pour comparer simplement les deux distributions, on utilise un repère graphique qui linéarise un large intervalle de la courbe des fréquences cumulées de la loi normale centrée réduite. Le repère obtenu présente un axe des ordonnées à progression gauss-arithmétique (figures 11.14 et 11.15).

11.10.3 Application

On prélève un échantillon d'effectif au moins égal à dix (de préférence trente). On trie les valeurs mesurées par ordre croissant que l'on appellera, par commodité $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. On calcule la moyenne m et l'écart-type σ de l'échantillon.

Pour chaque valeur x_i , on calcule les coordonnées d'un point, qui sera reporté sur le graphique de Henry, à l'aide des formules suivantes :

$$X_i = \frac{x_i - \mu}{S_0} \quad Y_i = \frac{i}{\text{Effectif} + 1}$$

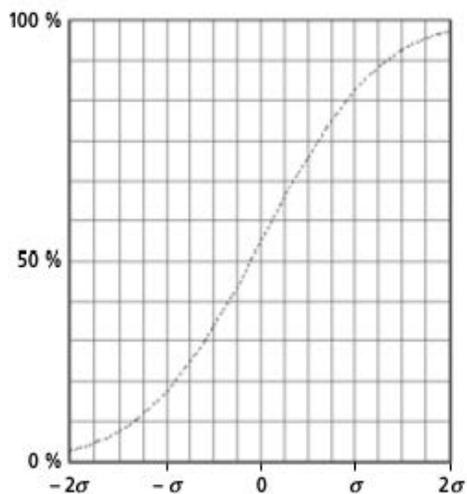


Figure 11.14 – Fréquences cumulées en échelle linéaire.

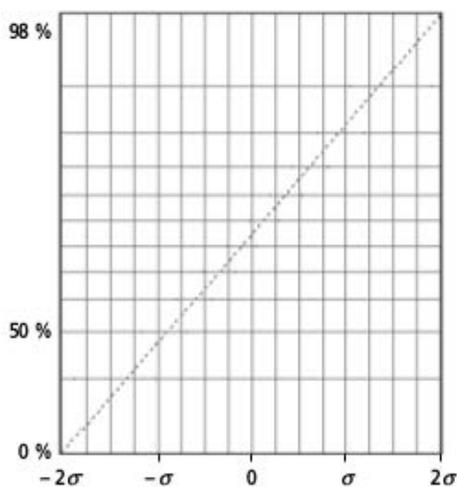


Figure 11.15 – Fréquences cumulées en échelle gaussio-arithmétique.

On compare la position des points obtenus avec la droite de référence. Si les points sont alignés l'hypothèse de normalité peut raisonnablement être validée.

11.10.4 Remarques

Lorsque l'effectif est important, la norme autorise de ne représenter qu'un point sur deux, ou trois, ou quatre... Les valeurs utilisées seront espacées le plus régulièrement possible parmi les valeurs triées.

Lorsque l'effectif de l'échantillon est supérieur à cent, on peut représenter par un point une classe entière de l'histogramme : le nombre de point à reporter est considérablement réduit, mais chaque point tracé ne correspond pas au même nombre de mesure. Cette méthode est tolérée par la norme, mais l'interprétation du graphique obtenu est réservée à des spécialistes de la statistique.

Si l'on observe les formules de calcul, on constate que les valeurs successives de X_i ne peuvent pas être décroissantes et que les valeurs successives de Y_i sont toujours croissantes. On en déduit que les points obtenus ne peuvent guère se disperser loin de la droite de référence. Une interprétation hâtive du nuage de point autour de la droite de Henry induit souvent en erreur.

Les graphiques de Henry du paragraphe 11.10.6 proposent une méthode graphique d'interprétation du nuage de point obtenu qui permet de s'assurer de la normalité (ou non-normalité) de la distribution. Ces graphiques ne sont pas compatibles avec un effectif autre que ceux pour lesquels ils sont prévus.

Le tableau 11.8 et la figure 11.16 permettent de tester la normalité pour un effectif de dix, le tableau 11.9 et la figure 11.17 font la même chose pour un effectif de trente.

11.10.5 Autres tests de normalité

Il existe deux autres tests statistiques de la normalité d'une distribution, couramment utilisés :

Le test de Kolmogorov compare l'écart le plus grand relevé entre la distribution de l'échantillon et la distribution normale à un écart théorique admissible. Sa principale faiblesse est sa très grande sensibilité à une valeur erronée.

Le test du χ^2 compare la variance de la distribution de l'échantillon autour de la distribution normale à une variance admissible donnée par la distribution de la loi du χ^2 . Ce test, extrêmement performant, demande de nombreux calculs : il est toujours confié à des ordinateurs.

11.10.6 Feuille de test pour un effectif de dix

■ Feuille de test

Tableau 11.8 – Feuille de test pour un effectif de dix.

Valeurs mesurées	i	Valeurs triées	X_i
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
$\mu =$	$\hookrightarrow \frac{x_i - \mu}{S_0} = \hookrightarrow$		
$S_0 =$			

■ Test graphique (figure 11.16)

Pour conclure à la normalité de la distribution, il faut vérifier que chaque point placé sur le graphique est situé entre les points disposés autour de la droite.

Rang de la mesure (Y_i)

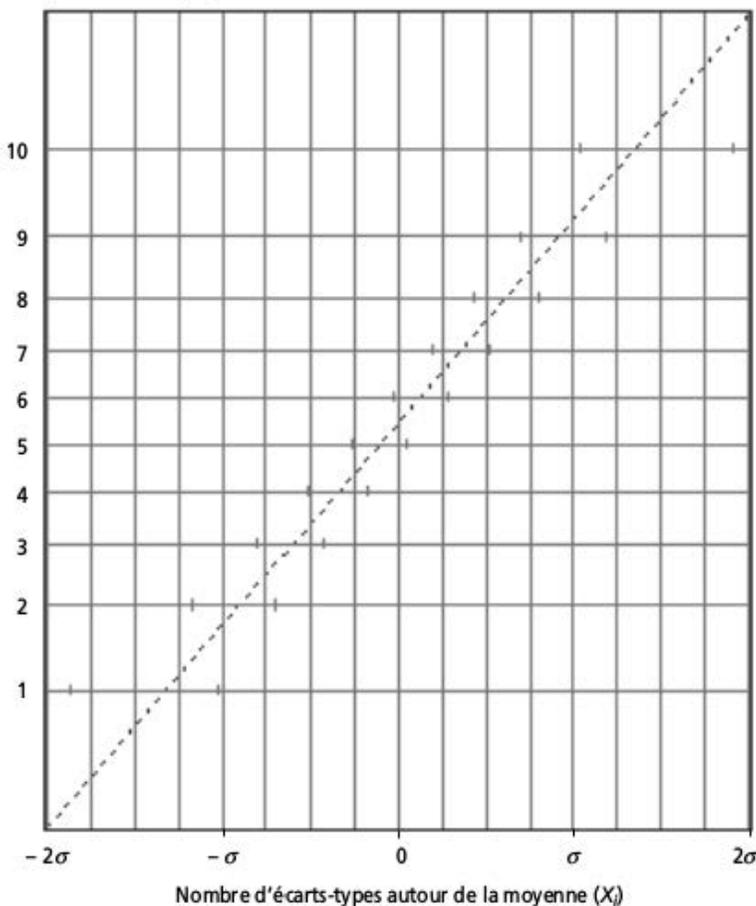


Figure 11.16 – Droite de Henry pour un effectif de dix.

11.10.7 Feuille de test pour un effectif de trente

■ Feuille de test

Tableau 11.9 – Feuille de test pour un effectif de trente.

Valeurs mesurées	i	Valeurs triées	X_i	Valeurs mesurées	i	Valeurs triées	X_i
	1				16		
	2				17		
	3				18		
	4				19		
	5				20		
	6				21		
	7				22		
	8				23		
	9				24		
	10				25		
	11				26		
	12				27		
	13				28		
	14				29		
	15				30		
$\mu =$		$\hookrightarrow \frac{x_i - \mu}{S_0} = \hookrightarrow$				$\hookrightarrow \frac{x_i - \mu}{S_0} = \hookrightarrow$	
$S_0 =$							

■ Test graphique

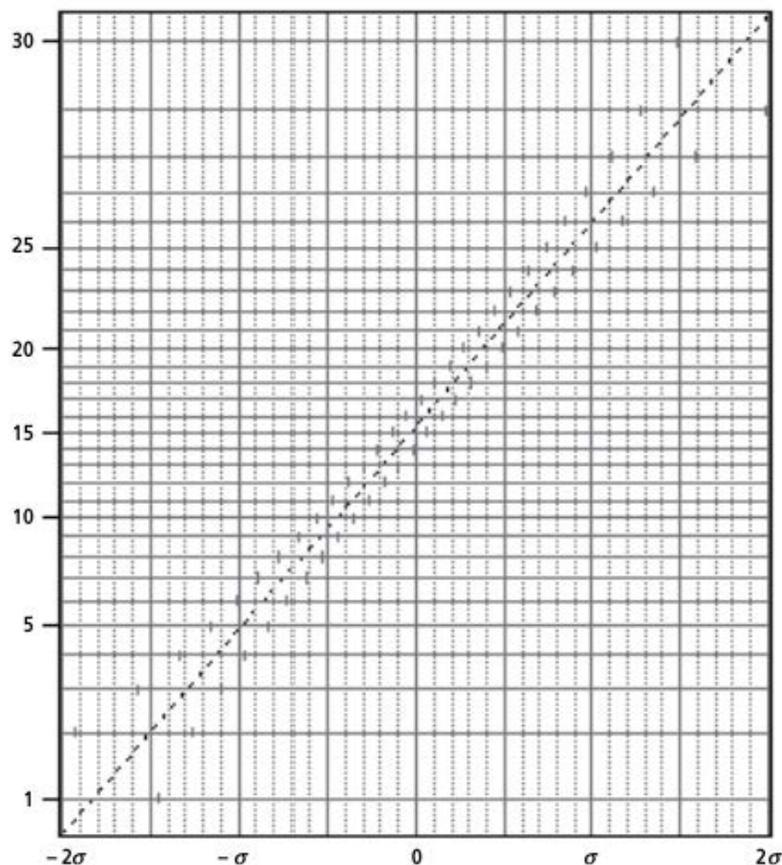


Figure 11.17 – Droite de Henry pour un effectif de trente.

E

Gestion
de production

12 • LES NOMENCLATURES

12.1 Définition

Une nomenclature est un document de synthèse qui présente la composition d'un produit à travers une liste de composants, éventuellement jusqu'à la matière première, et permet une visualisation rapide des relations entre les différents composants.

Plusieurs types de nomenclatures existent de façon à satisfaire les besoins spécifiques des diverses fonctions de l'entreprise. De même, les nomenclatures peuvent être présentées sous des formes multiples, chacune étant adaptée à une utilisation spécifique.

12.2 Différentes natures de nomenclatures

12.2.1 La nomenclature d'étude

Elle est établie par le bureau d'études, qui ignore, au moment de sa rédaction, les contraintes de fabrication, qui ne seront précisées qu'en aval par le service des méthodes. C'est une liste de pièces dont la présentation et l'ordre dans lequel elles apparaissent sont liés à une logique de travail d'étude plutôt qu'à une logique de fabrication. On peut déjà observer un premier regroupement, lié aux fonctions des pièces.

12.2.2 La nomenclature de fabrication

Elle est établie par le service des méthodes après le bureau d'études et cette fois en fonction de l'ordre dans lequel sont utilisés les composants suivant les

gammas d'assemblage et de montage. On l'utilise au niveau du GANTT, du MRP et du Kanban.

12.2.3 La nomenclature d'approvisionnement

Il arrive qu'un même composant se trouve à différents niveaux de la nomenclature d'un produit.

Les approvisionnements doivent tenir compte de ce phénomène et procéder à un groupage de ces pièces communes avant un lancement. Ils préfèrent donc une liste de pièces par ordre numérique à une décomposition logique du produit.

On l'utilise au niveau du MRP et du Kanban.

Remarque

Des pièces communes peuvent être regroupées sous des numéros différents si le besoin de ces pièces intervient à des périodes différentes.

12.2.4 Les nomenclatures commerciales

Ce sont des listes classées selon des critères commerciaux (catalogues).

12.3 Différents types de nomenclatures

12.3.1 La nomenclature par niveau ou cascade

Tous les produits sont décrits selon le processus de réalisation ou d'assemblage en atelier. Cette nomenclature, qui définit pour chaque composé tous les éléments qui la composent, est la plus répandue en gestion de production. Le produit fini est représenté au niveau 0 (figure 12.1).

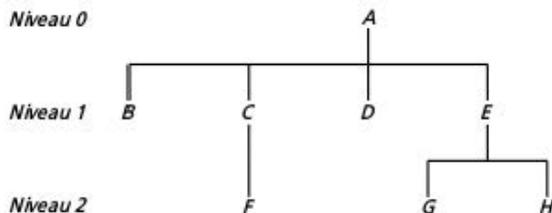


Figure 12.1 – Nomenclature par niveau ou cascade.

12.3.2 La nomenclature à plat

Elle est utilisée dans les bureaux d'études (tableau 12.1).

Tableau 12.1 – Nomenclature à plat.

Repère	Nb	Désignation	Matière

12.3.3 La nomenclature en liste

On place tous les éléments qui constituent la nomenclature afin d'assurer les approvisionnements et les encours (figure 12.2).

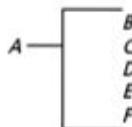


Figure 12.2 – Nomenclature en liste.

12.3.4 La nomenclature matricielle

Elle consiste en un tableau à deux entrées, « composants » et « assemblage ». À l'intersection d'une ligne et d'une colonne, on relève la quantité d'une fourniture entrant dans la composition d'un assemblage.

Ce type de nomenclature est utilisé lorsqu'une série de composants intervient dans un grand nombre d'assemblages (tableau 12.2).

Tableau 12.2 – Nomenclature matricielle.

		Composants					
		a	b	c	d	e	...
Assemblages	A	1	8	2			
	B		3	4		1	
	C	10			5		
	D	5	5		5		
	...						

13.1 Présentation des objectifs du MRP

Le MRP (Manufacturing Resource Planning) est une méthode de régulation de la production, de planification et d'ordonnancement des lots à fabriquer. C'est une gestion synchronisée des stocks de fabrication à partir des nomenclatures des produits. L'objectif est de produire en quantité suffisante et juste à temps en maintenant des niveaux de stocks faibles.

Cette méthode est aussi nommée en France sous le nom de « planification des besoins en composants ».

13.2 Contexte du MRP dans l'entreprise

Le MRP est l'élément central qui permet de passer des commandes prévisionnelles à la fabrication. Il s'organise de la façon indiquée en figure 13.1.



Figure 13.1 – Contexte du MRP dans l'entreprise.

13.2.1 Le plan industriel et commercial (PIC)

Le PIC est établi par le service commercial en relation avec la direction de l'entreprise. Il prévoit les fabrications par famille de produits pour les semaines ou mois à venir. Il peut être basé sur un historique. On peut déjà entrevoir l'utilisation des moyens et des ressources.

13.2.2 Le programme directeur de production (PDP)

Le PDP est établi par le directeur de production de l'entreprise. Il consiste en un calcul détaillé des charges de travail dans l'atelier avec les ressources disponibles pour les jours ou les semaines à venir.

13.2.3 Le calcul des besoins

Le MRP est établi à partir des nomenclatures de gestion, des prévisions commerciales et des commandes. Il tient compte des stocks résiduels, il déclenche les achats et permet de passer à la planification de l'atelier.

13.2.4 La planification de l'atelier

Elle consiste à organiser les différents flux de production en fonction des charges des machines. Elle comprend : l'ordonnancement des postes de charges et le choix des priorités, le lancement grâce aux ordres de fabrication (OF) puis leur suivi et leur contrôle.

13.3 Principe du calcul des besoins

À partir du PDP, des commandes fermes et des nomenclatures, le calcul des besoins consiste à définir les besoins en matières et en composants de chaque produit en commençant par le produit fini et en remontant jusqu'aux matières premières.

Le calcul des besoins s'effectue en deux étapes. On détermine d'abord les besoins bruts, qui sont directement issus des commandes et de la nomenclature. Ensuite, on en déduit le calcul des besoins nets, qui tiendront compte des stocks existants et des encours :

$$\text{Besoins nets} = \text{Besoins bruts} - \text{Stocks}$$

Remarque

L'estimation des stocks et des encours, qui doit être connue à chaque instant, peut poser problème à cause de différentes raisons : détériorations, rebuts, pièces manquantes.

13.3.1 Premier exemple de calcul des besoins

La figure 13.2 et le tableau 13.1 correspondent à un exemple de nomenclature multi-niveau simple.

Les ordres de fabrication (ou lots de commande) sont :

- pour E : lots de 250 ;
- pour P : lots de 250 ;
- pour M : lots de 250.

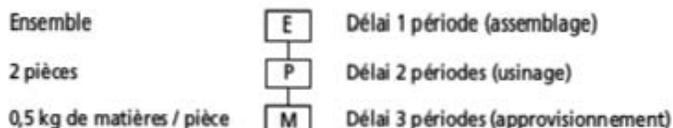


Figure 13.2 – Exemple de nomenclature multi-niveau simple.

Tableau 13.1 – Calculs associés à l'exemple de multi-niveau simple.

		Périodes					
		0	1	2	3	4	5
Ensemble E Niveau 0	BB		100	150	150	200	250
	RA		0	0	0	0	0
	SD	300	200	50	150	200	200
	Fin	OP			250	250	250
	Début	OP		250	250	250	
Pièce P Niveau 1	BB			500	500	500	
	RA		0	500	0	0	0
	SD	150	150	150	150	150	
	Fin	OP			500	500	
	Début	OP		500	500		
Matière M Niveau 2	BB		250	250			
	RA		0	200	0	0	0
	SD	300	50	0			
	Fin	OP					
	Début	OP					

BB : Besoin brut

SD : Stock disponible (non affecté)

RA : Réception attendue

OP : Ordre de production

Les valeurs en italique sont celles calculées, les autres sont les données initiales.

13.3.2 Deuxième exemple de calcul des besoins

La figure 13.3 et le tableau 13.2 correspondent à un exemple de nomenclature dans laquelle une pièce intervient dans deux produits différents.

Les ordres de fabrication (ou lots de commande) sont :

- pour E1 : lots de 250 ;
- pour E2 : lots de 200 ;
- pour P : lots de 600.

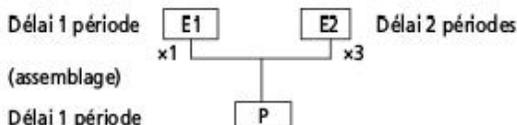


Figure 13.3 – Exemple de nomenclature où une pièce intervient dans deux produits différents.

Tableau 13.2 – Calculs associés à l'exemple de nomenclature où une pièce intervient dans deux produits différents.

		Périodes					
		0	1	2	3	4	5
Ensemble E1	BB		100	150	150	200	250
	Niveau 0						
	RA		0	0	0	0	0
	SD	300	200	50	150	200	200
	Fin	OP			250	250	250
	Début	OP		250	250	250	
Ensemble E2	BB		0	100	0	100	0
	Niveau 0						
	RA		0	0	0	0	0
	SD	150	150	50	50	150	150
	Fin	OP				200	
	Début	OP		200			
Pièce P	BB		0	850	250	250	0
	Niveau 1						
	RA		0	0	0	0	0
	SD	300	300	50	400	150	150
	Fin	OP			600	600	
	Début	OP	600	600			

BB : Besoin brut

RA : Réception attendue

SD : Stock disponible (non affecté)

OP : Ordre de production

Les valeurs en italique sont celles calculées, les autres sont les données initiales.

13.3.3 Troisième exemple de calcul des besoins

La figure 13.4 et le tableau 13.3 correspondent à un exemple de nomenclature dans laquelle deux pièces interviennent pour constituer un produit.

Les ordres de fabrication (ou lots de commande) sont :

- pour E : lots de 250 ;
- pour P1 : lots de 200 ;
- pour P2 : lots de 400.

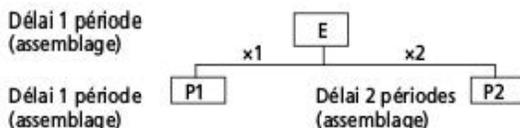


Figure 13.4 – Exemple de nomenclature où deux pièces interviennent pour constituer un produit.

Tableau 13.3 – Calculs associés à l'exemple de nomenclature où deux pièces interviennent pour constituer un produit.

		Périodes					
		0	1	2	3	4	5
Ensemble E	BB		100	150	150	200	250
	RA		0	0	0	0	0
	SD	300	200	50	150	200	200
	Fin OP				250	250	250
	Début OP			250	250	250	
Pièce P1	BB		0	250	250	250	0
	RA		0	100	0	100	0
	SD	150	150	0	150	0	0
	Fin OP				400		
	Début OP			400			
Pièce P2	BB		0	500	500	500	0
	RA		0	0	0	0	0
	SD	300	300	200	100	0	0
	Fin OP			400	400	400	
	Début OP	400	400	400			

BB : Besoin brut

SD : Stock disponible (non affecté)

RA : Réception attendue

OP : Ordre de production

Les valeurs en italique sont celles calculées, les autres sont les données initiales.

13.4 Calcul des charges détaillées

Après avoir calculé les besoins en composants, il faut vérifier que la charge de travail demandée est compatible avec la capacité de la ressource considérée. Ceci va mettre en évidence les surcharges ou les sous-charges.

13.4.1 Charge globale

À partir de la capacité instantanée (cadence théorique) et du taux de rendement synthétique de la (ou des) ressource(s), on peut calculer la quantité maximale produite par unité de temps. On compare cette quantité aux délais et aux besoins en composants correspondants.

13.4.2 Plan de charge

Lorsque la nomenclature comporte de nombreux niveaux et que le nombre de ressources apte à effectuer l'opération est réduit, il est nécessaire de vérifier que la ressource sera disponible. On doit dans ce cas construire un diagramme de Gantt simultanément au calcul des besoins. Les débuts d'opération et fins d'opération seront déplacés afin de placer les éventuelles attentes de disponibilité d'une ressource.

Une certaine souplesse réside dans la différence des échelles de temps du tableau de calcul des besoins (en jours) et du plan de charge (en heures).

13.4.3 Le contrôle d'exécution du plan de charge

On vérifie que les ordres de fabrication (OF) arrivent sur un poste au même moment que celui prévu sur le plan de charge. Un écart entre la prévision et la réalité est incontournable, on s'attache à faire en sorte qu'il soit le plus réduit possible. Le plan de charge est réactualisé « en bas », en reportant les aléas de production sur le plan de charge, et « en haut », par la révision hebdomadaire du PDP selon l'état des stocks et les nouvelles prévisions de vente.

On met ainsi en évidence les trois limitations de la gestion de production par la MRP :

- son incapacité à voir les besoins des clients précisément sur de longues périodes ;
- sa tendance naturelle à générer des stocks inutiles : le PDP est en général en avance sur les prévisions de vente ;
- son incapacité à fournir des solutions souples aux problèmes de production : ordonnancement fastidieux, impossibilité de gérer des commandes urgentes, complexité qui entraîne de nombreuses erreurs ou une gestion informatique très lourde.

14.1 Types d'applications

La méthode de gestion de production dite « Kanban » s'adresse aux productions de grande série par lots. Elle est particulièrement adaptée aux flux de production réguliers. Dans certains cas, elle concurrence la méthode MRP.

14.2 Historique

La méthode Kanban est née en 1952 du fruit d'une longue démarche de réflexion entreprise par Taiichi Ohno, ingénieur de la firme Toyota (*kanban* signifie *étiquette* en japonais).

Rapidement, elle a conquis l'ensemble du secteur automobile. L'application à grande échelle de la méthode Kanban a permis une *réduction importante des stocks* ; elle est la démonstration de la supériorité du concept Kaizen, clef de la réussite de l'industrie japonaise.

Cette méthode fut ensuite exportée aux États-Unis puis en France à partir de 1985. Elle est aujourd'hui complètement intégrée à nombre de productions, généralement celles des biens de consommation (automobile, électroménager, etc.).

14.3 Objectif de la gestion par Kanban

Selon Taiichi Ohno, on peut classer les gaspillages de production en *sept catégories* :

- la surproduction ;
- le gaspillage de temps machine ;
- le gaspillage logistique ;
- le gaspillage dans le traitement du produit ;
- le gaspillage de la tenue de stocks ;

- le gaspillage des mouvements ;
- le gaspillage dû aux produits défectueux.

La surproduction est le mal qui cache tous les autres ; c'est donc à elle que la méthode Kanban s'attaque en priorité. Dans un cas classique de production, les pièces produites sont systématiquement acheminées au poste suivant. Le Kanban prend le contre-pied de cette proposition : c'est le poste de production situé en aval qui prend livraison des pièces qui lui sont nécessaires.

On envisage alors la production en termes de flux de produit et de flux d'information.

14.4 Les trois principes du Kanban

14.4.1 Premier principe

On définit une unité de conditionnement qui est la plus petite quantité de produit identifiable. Une étiquette (le kanban) est placée sur chaque lot de conditionnement. Le nombre total d'étiquettes pour une référence produit est établi lors de la mise en place du système Kanban pour cette référence.

Le stock maximal pour cette référence est donc le produit du nombre de kanbans par la taille du lot de conditionnement.

14.4.2 Deuxième principe

Les kanbans circulent du fournisseur vers le client accompagnés des lots de conditionnement de produit correspondants. Lorsque le client a consommé un lot de conditionnement, le kanban associé est renvoyé au fournisseur (figure 14.1).

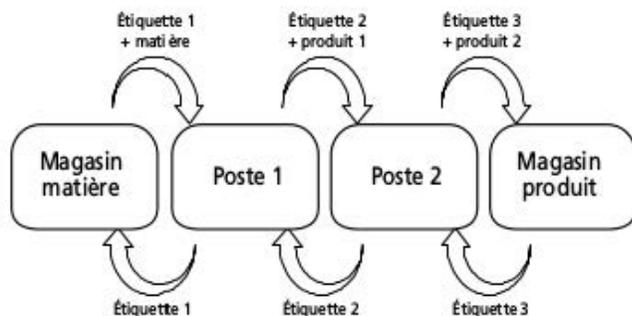


Figure 14.1 – Circulation des kanbans.

14.4.3 Troisième principe

Les kanbans qui ne sont pas associés à un lot de conditionnement sont placés sur un tableau de décision (tableau 14.1). Lorsque le nombre de kanbans dans le tableau de décision atteint une certaine valeur, représentée par une entrée en zone orange, une campagne de fabrication doit être lancée.

Tableau 14.1 – Tableau de décision.

Embout 46-21-23		↗ Zone de référence produit
Sens de remplissage du tableau		↗ Zone rouge
	↑	↗ Zone orange
	↑	
	↑	
	↑	↗ Zone verte
	↑	

E

GESTION DE PRODUCTION

14.5 Évolutions du système Kanban

L'intérêt primordial de cette méthode réside dans la faculté d'adaptation continue de la taille des stocks, qui permet une mise en évidence régulière des goulets de production. Dans cette optique, on doit considérer la taille du lot de conditionnement et le nombre de kanbans affectés à un produit comme une variable qui dépend de nombreux paramètres liés à l'efficacité globale du système de production.

Ainsi la méthode Kanban est simultanément une *méthode de gestion* des stocks et des flux de production, et une *méthode d'amélioration* des performances

globales de l'outil de production. C'est pourquoi nombre d'entreprises ajoutent au système traditionnel des outils de traçabilité des mouvements d'étiquettes.

Lorsque le système fonctionne correctement, les entreprises japonaises mettent en place le second outil du « juste à temps », qui est *l'autonomation du système de production* (Jidoka).

14.6 Évaluation du lot de conditionnement et premier tableau de décision

Lors de la mise en place du système Kanban, il faut faire une première évaluation du lot de conditionnement à partir d'informations diverses :

- le nombre de kanbans doit être compris entre trois et trente, idéalement de cinq à vingt ;
- le lot de conditionnement doit être un diviseur entier de l'unité logistique, qui est généralement la palette ;
- le stock maximal sera évalué à partir d'un historique des temps de réponse de la chaîne de production de l'entreprise et des fournisseurs ;
- le stock maximal est égal au stock tampon correspondant à la consommation maximale du produit pendant le délai maximal de mise en production et le délai maximal d'approvisionnement en produits affectables.

On définira aussi la *zone orange* à partir de la consommation moyenne et des délais moyens. La *zone rouge* de mise en production d'urgence sera définie à partir des consommations moyennes et des délais maximaux.

Le premier tableau établi, on mettra en place un outil de traçabilité des mouvements.

14.7 L'étiquette

Elle doit comporter les informations suivantes :

- identification du produit ;
- quantité de produit (avec l'unité) ;
- nom du service émetteur (fournisseur) ;
- nom et localisation du service récepteur (client) ;
- numéro du kanban et nombre total de kanbans pour la référence.

Dans certains cas, on indique aussi :

- nom du service devant renvoyer le kanban à l'émetteur (voir kanban long, au paragraphe 14.8.2) ;
- des indications techniques plus ou moins précises selon la politique qualité de l'entreprise.

14.8 Cas particuliers

La méthode Kanban n'est pas figée : de nombreuses variantes existent qui améliorent telle ou telle performance au détriment d'une autre, ou s'adaptent à des conditions spécifiques de production. Toute méthode de production basée sur *l'appel par l'aval* (ou « *pull system* ») est, de fait, une forme plus ou moins édulcorée de la méthode Kanban.

14.8.1 Kanban sans étiquette

Dans ce cas, le Kanban est remplacé par le contenant du produit, qui doit alors être réutilisable.

14.8.2 Kanban long

Lorsque, au sein d'une même entreprise, plusieurs services doivent travailler sans stock intermédiaire sur une ou plusieurs productions, le temps de réponse de la boucle Kanban croît comme la somme des temps de réponse de chaque service. Dans une série de boucles Kanban courtes, le temps de réponse total est égal au temps de réponse du service le moins réactif.

14.8.3 Kanban virtuel

Lorsque les clients et fournisseurs sont distants, le temps de retour des étiquettes non affectées peut devenir pénalisant. Dans ce cas, on peut séparer la boucle Kanban en deux parties complétées par un tableau « image virtuelle » de l'état des stocks. Diverses techniques permettent de maintenir la cohérence des deux tableaux.

INDEX ALPHABÉTIQUE

Numériques

5M 280

A

aptitude 304, 306
du moyen de production 306, 308
arrêt 167
assemblage 139

B

batterie d'éjection 140
bavure (toile) 239
bridage 140
des outillages 140
rapide 145
broyeur 167
brûlure 244
bulles
de gaz 241
de vide (vacuoles) 242
ouvertes 275
buse 105, 133
préréglage 192

C

calcul des besoins 344
canaux chauds 160, 222, 242
capabilité 304, 306, 309
carotte 137, 169, 201
cartes
de contrôle 301, 314, 317, 318
de maîtrise 301
de Shewart 301, 312, 322
EWMA 302, 323
causes assignables 221
Cavé (règle de) 310
charges 10, 268

clapet 130
anti-retour 130, 131
classe de tolérance
de grande précision 93
de précision 93
normale 93
réduite 93
codes de matière et de forme 11
coefficient KDV 8
Colin (méthode de) 311
colorateur 169
commutation 177, 199, 224, 225
compactage (phase de) 176, 229
conformité (contrôle) 301, 322
contre-pression 193, 273
contrôle aux attributs 302
coup de feu (brûlure) 244
courbes d'efficacité 312, 313, 315, 318
cycle 103
d'une presse à injecter 104

D

décompression 133, 241
défauts 233, 239, 339
déformation 246
dégradation 8, 161
température et produits 8
dé laminage 247
démontage 135
démoulage (température) 8
dépouille 247
déréglage 322
désignation EUROMAP 114
diagrammes PVT 177
dimension 249
incorrecte 249
dispersion 219

distribution normale 219, 307, 320
dosage 104, 193, 194

E

écart-type 306
échantillon (effectif) 312, 322
écoulement 173
 de la matière 173
effets 287
 tire-bouchon 193, 242
efforts d'éjection 125
éjection 122, 276
élastomères 93
électricité statique 275
essais 278, 286
étanchéité 157
étendue 316
étuvage 168
événements 172, 245
expérimentation 283

F

facteur 278, 280
fermeture 117, 241
 hydraulique 120
 mécanique 120
 mixte 121
fiche de réglage 183
fil 276
filtres 107
flash (givrage) 251
fluide caloporteur 149, 151, 152
force 117, 143
 de verrouillage 115
fourreau 105, 132
fréquence de prélèvement 310
front de flux 172

G

gaine solide 172, 173
gauchissement 246
genouillère 105, 108, 119

gestion de production 337
givrage 250, 253
goutte froide 252
graphe 284
graphiques 222
groupe de fermeture 185

H

Henry (droite de) 329
hésitation 253
histogramme 325

I

incomplets 255
indicateurs 180
infiltration 9
injection 196, 197
insert fragile 276
interactions 280
Ishikawa 280

J

jet libre 256
jeu d'infiltration 9

K

Kanban 349
KΔV 8
Kolmogorov (test de) 329, 331

L

ligne de soudure 258
limites
 de contrôle 314, 315, 323
 de surveillance 314, 315
loi normale 219, 307, 320

M

maintenance 108
 hydraulique 107
 mécanique 108
 préventive 107

- maintien 178, 199
 - isobare 178, 228
 - isochore 178, 227
 - phase de 177, 201
 - réglage 198
 - masse 135
 - volumique 7
 - matelas 194
 - moulage 208
 - particularités 9, 11
 - moule 134, 368
 - moyenne statistique 306
 - MRP 343
 - MSP (maîtrise statistique des procédés) 300
- N**
- nappage 271
 - nettoyage 167
 - nez de pot 105, 263
 - NF T 58-000 93, 241, 243, 247, 250, 262, 276
 - NF X 06-030 300, 304, 305
 - NF X 06-031 219, 300, 302, 304, 310, 312, 322, 323
 - NF X 06-032 219
 - NF X 06-042 219
 - NF X 06-050 219, 300, 304, 307, 326, 329
 - NF X 06-062 219
 - NF X 06-063 219
 - NF X 06-065 219, 329
 - NF X 50-050 7
 - niveaux 280
 - nomenclatures 339
- O**
- OEE 293
- P**
- paramètres d'injection 180
 - peau 172
 - d'orange 259
 - performance 293
 - pertes de charge 173-175
 - picot 261
 - plan
 - d'expériences 277
 - de charge 348
 - de joint 136, 137
 - industriel et commercial 344
 - plastification 189
 - plateaux magnétiques 146
 - points noirs 262
 - population 301, 313
 - préparation de la matière 168
 - préréglage 198-201, 203-208
 - presse à injecter 103, 167, 183, 198
 - électrique 127
 - maintenance 107
 - pression d'injection 197, 199
 - productivité 293
 - profil de température 192
 - programme directeur de production 344
 - purge 134, 193
- R**
- raccords 155
 - rapides 156, 159
 - recyclage 9
 - refroidissement 8, 160, 264
 - refus des pièces 264
 - réglage
 - de l'injection 203
 - du maintien 198
 - du remplissage 198
 - modifications 202
 - par incomplets successifs 184
 - robuste 133, 219, 256
 - régulateurs 149
 - de température 149
 - régulation 164
 - remplissage 184, 198, 199
 - maintien 198
 - phase de 171

renforts 10
 retassures 242
 retrait 7, 178, 246, 249
 risque
 α 312
 β 314
 robustesse 220
 rotation 8
 rupture 265
 des pièces 265

S

sécurité 108
 ségrégation de phase 268
 serrage 143
 seuil 137, 174, 252, 256
 stabilité 220, 301
 contrôle 312
 stockage de la matière 168

T

table 284, 285
 traçante 223
 Taguchi 277
 test du χ^2 331
 thermorégulateur 155

toile 239
 tolérances 93, 100, 307, 309, 313
 traces
 brillantes ou mates 269
 circulaires 271
 d'écoulement 272
 d'éjection 276
 de fil 276
 de flux 272
 noires 274
 transitions 106
 triangle des interactions 284
 TRS 293

V

ventilation 172, 176, 245
 vis 129
 de plastification 105, 129–130
 viscoélasticité 176
 vitesse
 d'injection 196
 de rotation de la vis 8, 273

Z

zones à risque 108

ILLUSTRATIONS DES DÉFAUTS D'INJECTION



Photo 1 – Injection trop rapide : les deux pièces ci-dessus ont été produites avec des réglages identiques, seule la vitesse d'injection a été augmentée pour le moulage de la pièce 2.



Photos 2 – (a) Pièce incomplète pour cause de flexion de la broche centrale. Un travail d'optimisation de la vitesse d'injection et de la température de la matière s'impose pour optimiser le réglage. S'il avait été possible de placer le seuil en (1), la soudure se serait effectuée sans difficulté.
(b) Trace due à la fusion de la peau et de la gaine solide en face du seuil (il faut réduire la vitesse d'injection).

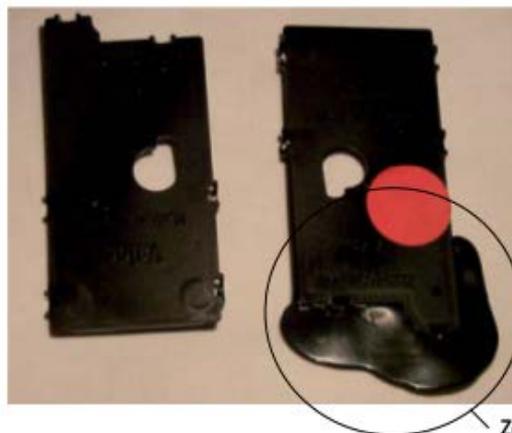


Photo 3 – Exemple de bavure.

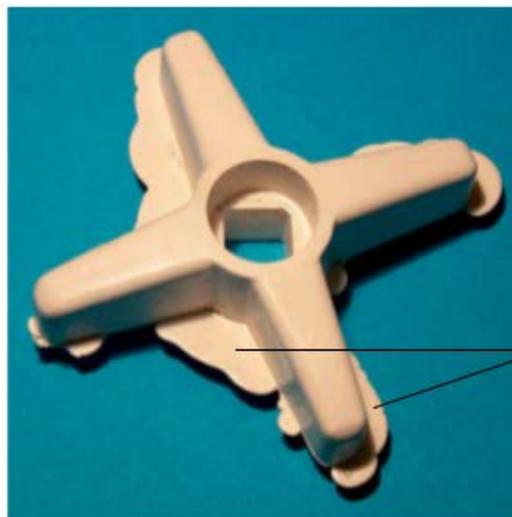
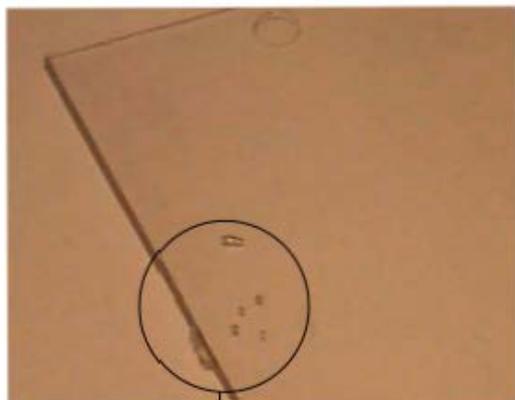


Photo 4 – Une bavure généralisée sur le pourtour de l’empreinte est le signe d’un verrouillage incorrect du moule.



Bulles

Photo 5 – Bulles de gaz : les bulles ont une position aléatoire d'une pièce à l'autre. La proximité du seuil (alors que le maintien est correctement réglé) est un indice de la nature des bulles.



Photo 6 – Bulle d'air unique et importante due à un défaut d'étanchéité de la buse (moulage en canal chaud).



Photo 7 – Bulles de vide (vue de l'épaisseur).



Photo 8 – Bulles de vide (vue à plat).



Photo 9 – Retassure (la retassure généralisée est caractéristique d'un maintien inefficace).



Photos 10 et 11 – Retassures ponctuelles dues à la présence d'une nervure ou d'un godron sur la face postérieure de la pièce.



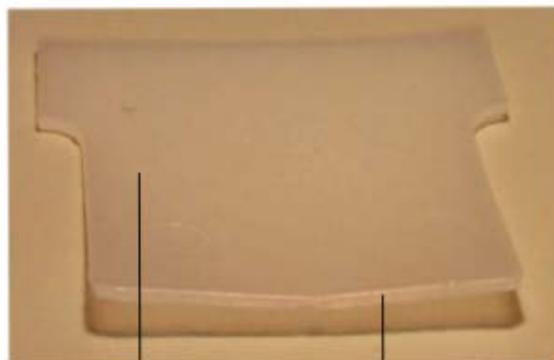
Photo 12 – Coup de feu en fin de remplissage.



Photo 13 – Détail d'un coup de feu placé à la rencontre de deux fronts de flux.



Photo 14 – Coup de feu à la rencontre de deux fronts de flux.



Surface plus chaude

Surface plus froide

Photo 15 – Déformation : la courbure de cette pièce est due aux écarts de température entre la partie fixe et la partie mobile de l'outillage. Les matières semi-cristallines sont particulièrement sensibles à ce défaut.



Photo 16 – Déformation en as de carreau, typique d'un matériau cristallin moulé dans un outillage trop froid.



Photo 17 – Rupture après délaminage. Les traces claires indiquent la présence d'un mélange de matières incompatibles, ou un excès de colorant maître.



Photo 18 – Délaminage très important, suite à une purge insuffisante du fourreau.



Photo 19 – Rupture d'un seuil par délaminage.



Photo 20 – Givrage réparti sur la totalité de la pièce. Lorsqu'il est aussi étendu, un étuvage insuffisant de la matière est la cause la plus vraisemblable du givrage.

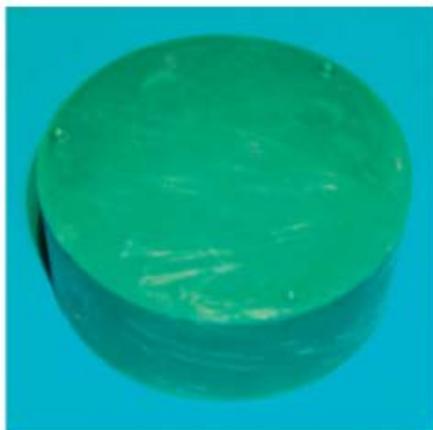


Photo 21 – Givrage localisé provoqué par un excès de décompression (pièce en ABS).



Photo 22 – Goutte froide.



Partie incomplète

Photo 23 – Hésitation (la partie incomplète de la pièce est la plus proche du seuil).

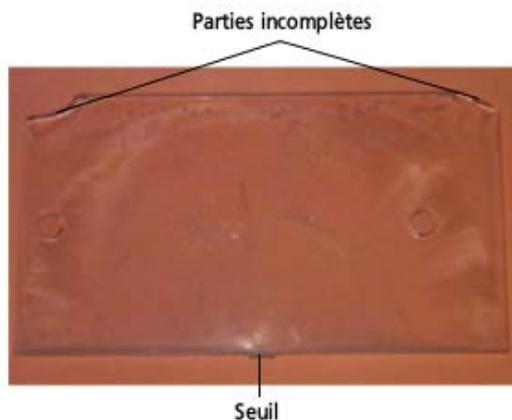


Photo 24 – Les parties incomplètes de la pièce sont situées aux positions normales de fin de remplissage de l’empreinte : c’est-à-dire les points les plus éloignés du seuil.

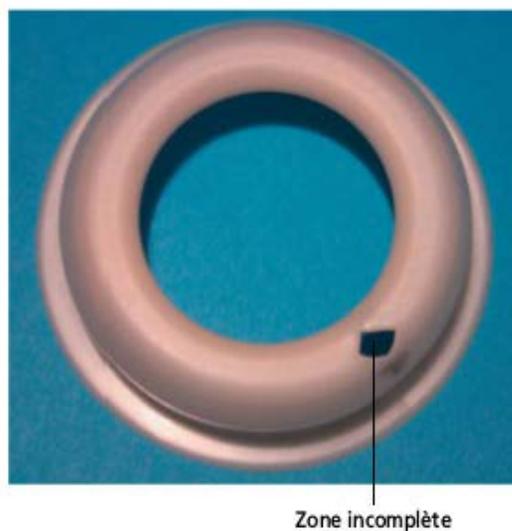


Photo 25 – Zone incomplète située à la jonction de deux flux de matière.



Photo 26 – Sur une pièce transparente, le jet libre prend l'aspect d'une trace translucide.

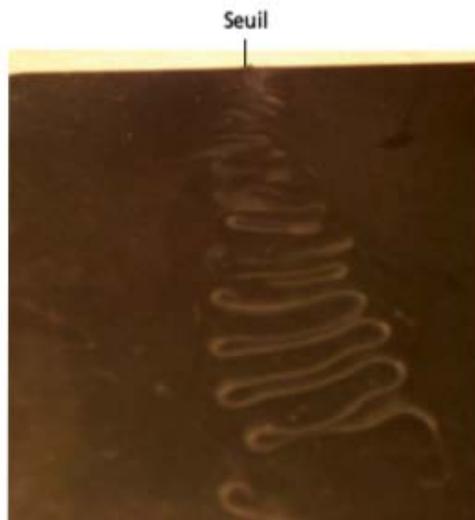


Photo 27 – Jet libre.

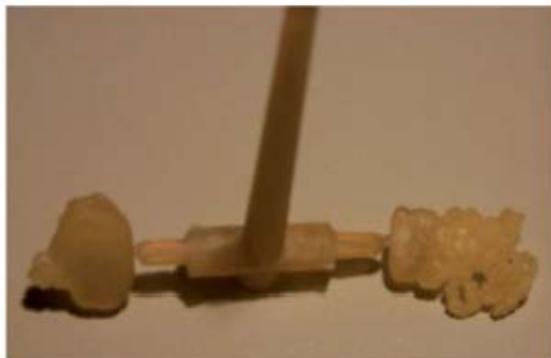


Photo 28 – Formation d'un jet libre (pièce de droite) mise en évidence par un moulage incomplet. Le serpentin de matière s'est formé, mais n'a pas été surmoulé.



Ligne de soudure

Photo 29 – Les lignes de soudure sont particulièrement nettes sur des surfaces brillantes.

Ligne de soudure



Photo 30 – Une ligne de soudure sinueuse apparaît sur les pièces dont les épaisseurs ne sont pas constantes.

Ligne de soudure en éventail



Photo 31 – Ligne de soudure en éventail.

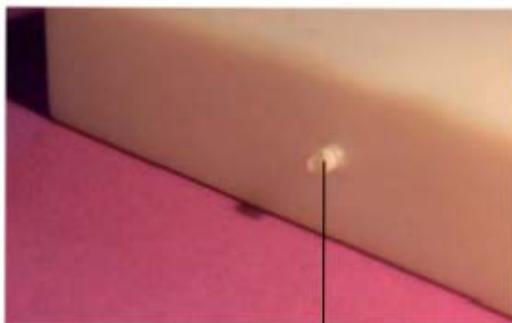
Peau d'orange



Photo 32 – Peau d'orange sur une pièce transparente.



Photo 33 – Peau d'orange (photo 32 grossie dix fois : la peau d'orange apparaît comme une succession de vaguelettes à la surface de la pièce).



Picot

Photo 34 – Picot provoqué par un défaut de l'arête du seuil d'injection de l'outillage.



Photo 35 – Seuil blanchi par la rupture (ce défaut est typique du S/B, de l'ABS et, dans une moindre mesure, du PP).



Photo 36 – Points noirs de fortes dimensions, regroupés dans une zone limitée de la pièce. C'est une dégradation localisée de la matière qui est en cause.

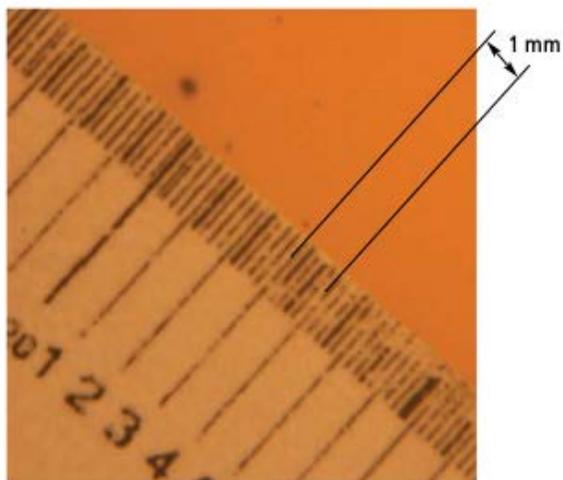


Photo 37 – Points noirs de petites dimensions ($< 0,1$ mm), uniquement visibles avec une loupe et un éclairage important.



Photo 38 – Refusion d'une pièce massive en PE-LLD (détail).



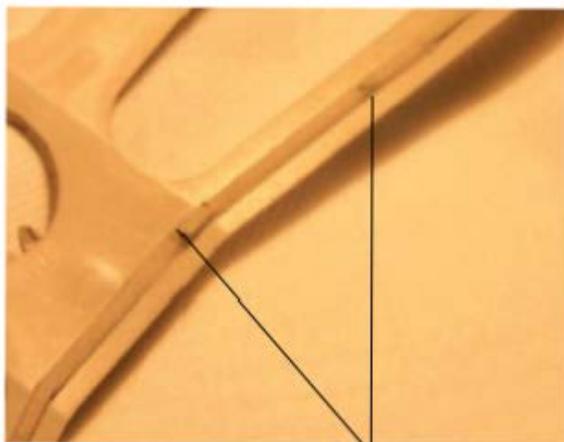
Photo 39 – Refusion tardive sur des pièces aux formes arrondies (ce type de refusion peut être difficilement repérable).



Photo 40 – Refusion avec fortes dépressions dues à un maintien insuffisant.



Photo 41 – Rupture de type 2 : la pièce de gauche a éclaté sous l'effet de la dépression au moment de l'éjection.



Rupture

Photo 42 – Rupture de pièce de type 4 : la nervure est restée bloquée dans l’empreinte.



Photo 43 – Ségrégation de phase (l’aspect « martelé » de la surface est dû aux fibres de verre prisonnières de la gaine solide).

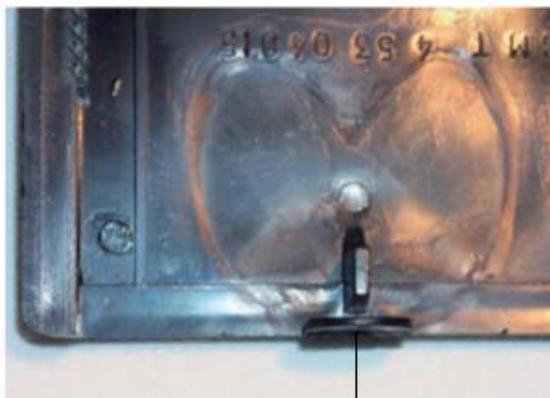


Traces mates

Photo 44 – Traces mates de grandes dimensions : le refroidissement insuffisant de la pièce dans les zones qui ne sont pas au contact des parois de l’empreinte provoque des retassures sous les traces mates.



Photo 45 – Trace de fusion de la peau en face du seuil d’injection vu à la loupe (le diamètre réel est de 6 mm).



Seuil

Photo 46 – Une trace circulaire est la matérialisation d'une position instantanée du front de flux.



Seuil

Photo 47 – Trace circulaire.



Traces de flux

Photo 48 – Traces de flux dues à une retenue de colorant maître au seuil de la pièce.



Traces de flux

Photo 49 – Traces de flux provoquées par l'orientation des pigments d'un colorant d'aspect métallisé.



Photo 50 – Trace de flux provoquée par une température insuffisante des canaux chauds.

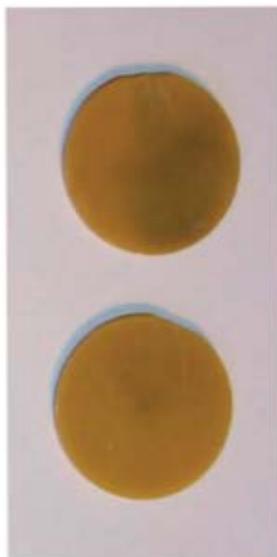


Photo 51 – Traces noires dues à la décomposition de la matière dans le fourreau.



Photo 52 – Traces marron dues à la dégradation de la matière dans des canaux chauds. Cette dégradation est normale si la presse a subi un long arrêt (on ne peut pas toujours purger les canaux chauds).

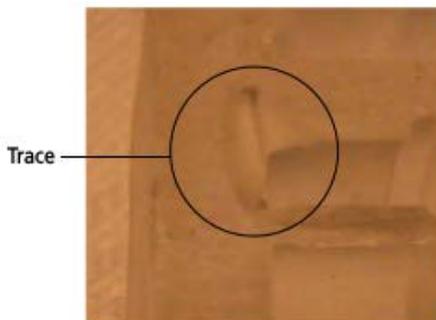


Photo 53 – Traces d'éjection (la pièce ci-contre a été coupée afin de mettre en évidence la bulle ouverte).



Photo 54 – Trace de fil (le fil de matière est resté accroché à la buse moule, puis il a été surmoulé à l'injection suivante).



Photo 55 – Surmoulage accidentel d'un extrudat de moule à canal chaud (ce défaut est semblable au surmoulage d'un fil).



Trace d'éjection

Photo 56 – Trace d'éjection.



Trace d'éjection

Photo 57 – Trace d'éjection semi-circulaire provoquée par les efforts de démoulage excessif d'une pièce en ABS.

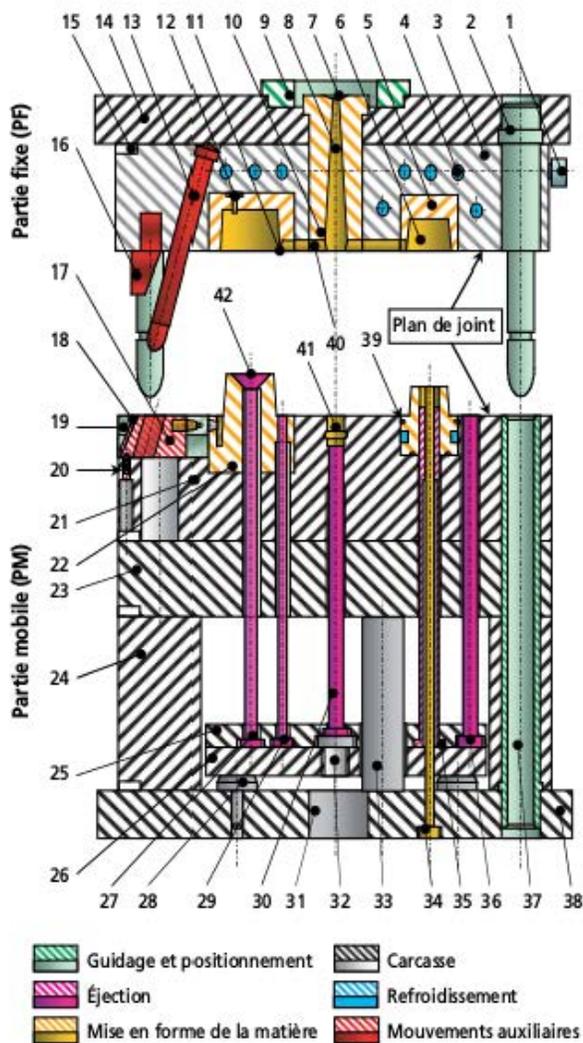


Figure 4.29 – Moule d'injection.

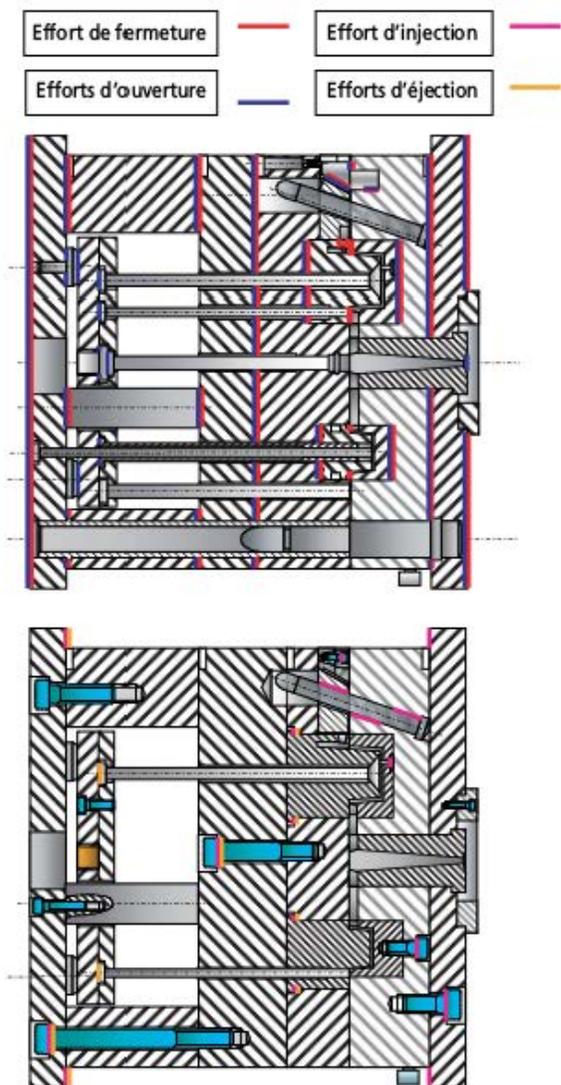


Figure 4.30 – Répartition des efforts dans le moule d'injection.

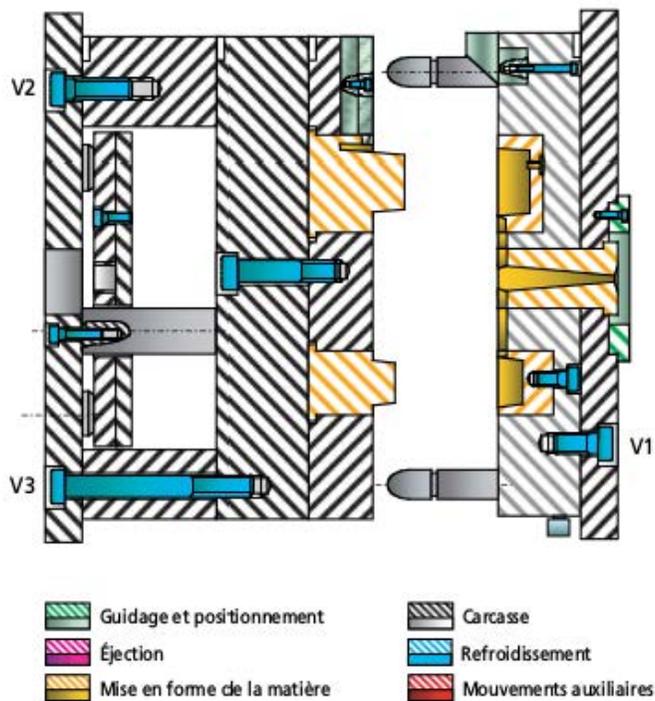


Figure 4.31 – Plan d'assemblage type d'un moule.

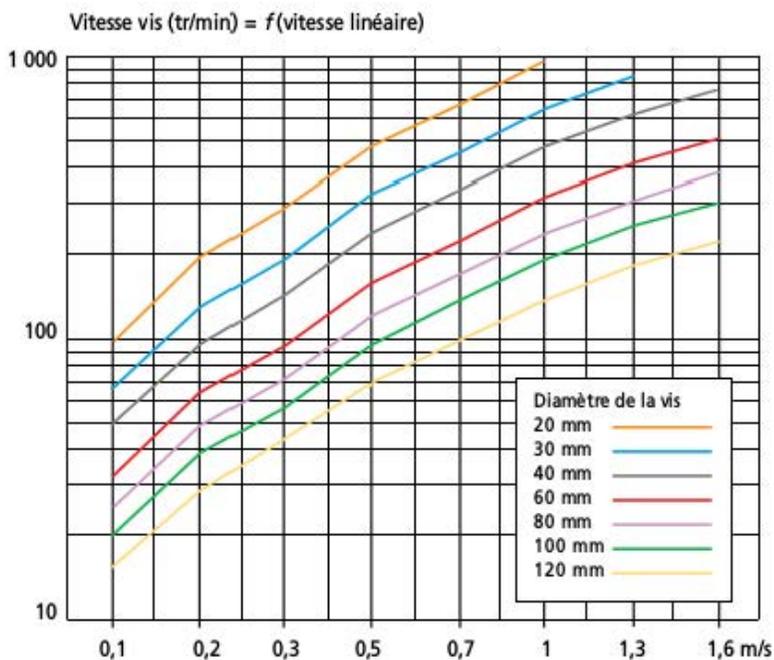


Figure 1.1 – Abaque de conversion des vitesses linéaires en vitesse de rotation de vis.