

Jean-François **Pichon**
Christophe **Guichou**

AIDE-MÉMOIRE

Injection des **matières plastiques**

5^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, 2001, 2005, 2011, 2015, 2021

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-081368-1

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
Objectif de l'aide-mémoire	1
Principes de l'aide-mémoire	2
Utilisation de l'aide-mémoire	3
Remerciements	3

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
15	• Laboratoire d'analyse	355
15.1	Température de fléchissement sous charge (TFC) ou <i>Heat Deflection Temperature</i> (HDT)	355
15.2	Température de ramollissement Vicat	359
15.3	Indice de fluidité à chaud	361
15.4	Calorimétrie différentielle à balayage	366
	Index alphabétique	373

AVANT-PROPOS

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 régleurs 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 régleur 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 clefs 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

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 \sim 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 »).

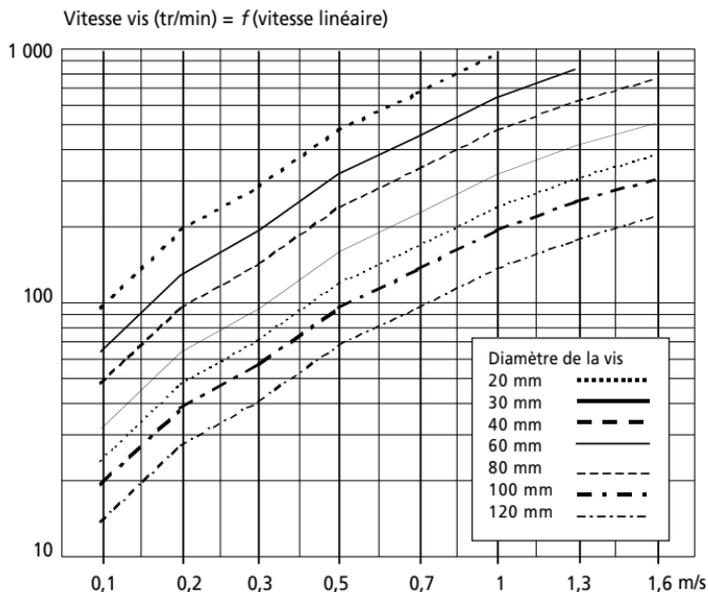


Figure 1.1 – Abaque de conversion des vitesses linéaires en vitesse de rotation de vis.

■ 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

A

FICHES MATIÈRES

■ 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 la 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'oléfinés cycliques	24
CP	Propionate de cellulose	25
E/MAA ou IO	Éthylène/Acide méthacrylique ou ionomère	26
E/TFE	Éthylène/Tétrafluoroéthylène	27

E/VAC (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