

## TECHNIQUES DE MISE EN FORME

# Moulage par injection

ROB THOMPSON

*Voici un chapitre de l'ouvrage « Design : Les procédés de fabrication » (éd. Vial, 2012) présenté dans « Technomag » (p. 24). Le support de son « étude de cas », la Pedalite, a déjà fait l'objet d'un article dans la revue (Pascale Costa, Nicolas Malésys, « Bien vu, la pédale ! Étude de cas en EE SI », n° 175, sept.-oct. 2011).*

Le moulage par injection est largement répandu et très bien développé ; il est excellent pour produire rapidement des pièces identiques avec une très faible tolérance. On le retrouve dans de très nombreux produits quotidiens. Les moules usinés avec précision et hautes pressions d'injection sont essentiels pour obtenir une finition de surface et une reproduction de détails excellentes. Mais ce procédé ne convient que pour de grandes séries de production.

Il existe de nombreuses variantes sur le même principe. Les plus connues sont le moulage par injection assistée au gaz, le moulage multimatière et le moulage à décoration en moule.

## Applications courantes

Les pièces injectées se trouvent dans tous les secteurs du marché, en particulier dans l'automobile, les produits industriels et domestiques, tels que paniers de courses, papeterie, mobilier de jardin, claviers, boîtiers de produits électroniques, boutons et poignées de casseroles.

## Procédés connexes

L'adéquation relative des procédés connexes dépend de facteurs tels que la taille des pièces et leur géométrie, les matériaux employés, des besoins esthétiques et fonctionnels et du budget.

Bien que le moulage par injection soit souvent le procédé le plus souhaitable étant donné sa répétitivité, le thermoformage est une alternative utile pour certaines formes à base de plaques. L'extrusion est plus rentable dans la production de profilés continus.

Certaines pièces à fabriquer par injection peuvent être prototypées et produites en petites quantités par moulage sous vide et RIM. Ces deux procédés sont employés pour mouler de la résine polyuréthane (PU). Cette résine thermodurcissable est disponible dans un grand nombre de qualités, couleurs

## Mots-clés

design industriel, matière & structure, matériaux, procédé

et duretés. Elle peut être pleine ou en mousse. Le RIM est utilisé pour divers types de produits tels que les moulages de mousse habillant du mobilier et des sièges automobiles, les petites séries de pare-chocs et tableaux de bord de voiture.

## Qualités

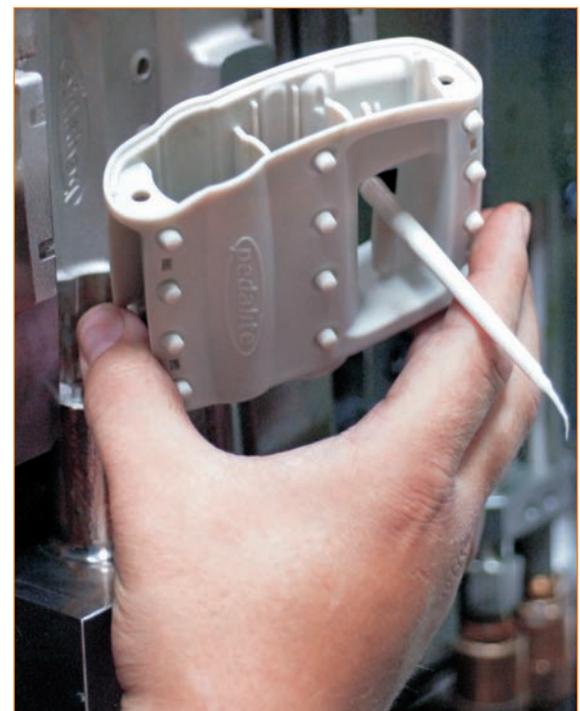
Les hautes pressions utilisées pendant le moulage par injection garantissent une bonne finition de surface, une reproduction de détails fins et, surtout, une répétitivité excellente.

L'inconvénient de la pression est que le polymère figé tend à rétrécir et se déformer. Ces défauts peuvent être évités en prévoyant des nervures et une bonne analyse du flux d'injection.

Les défauts de surface incluent des retassures, lignes de soudure et moirures de pigment. Les retassures sont des creux de surface apparaissant sur une face opposée à un raidisseur et les lignes de soudure apparaissent lorsque la matière est forcée à contourner un obstacle.

## Intérêts pour le design

Il y a tant de possibilités avec le moulage par injection que les limites ne sont généralement qu'économiques. Le procédé est moins cher lorsque le moule



© ROB THOMPSON

Coûts	Applications courantes	Pertinence
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le coût d'outillage est très élevé, mais il dépend de la complexité et du nombre d'empreintes</li> <li>• Coût à l'unité très bas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie automobile</li> <li>• Appareils électroniques et électroménagers</li> <li>• Produits industriels et domestiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production de grandes séries</li> </ul>
Qualités	Procédés connexes	Rapidité
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très bonne finition de surface</li> <li>• Parfaite reproduction de pièces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moulage RIM</li> <li>• Thermoformage</li> <li>• Moulage sous vide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le cycle d'injection dure généralement de 30 à 60 secondes</li> </ul>

n'a que deux parties. Les formes complexes sont les plus coûteuses, réalisables en différentes tailles, des grands pare-chocs de voiture aux plus petits gadgets. Les noyaux rétractables contrôlés par cames ou vérins hydrauliques peuvent réaliser des dépouilles simultanément sur le haut ou le bas depuis les côtés, sans augmentation notable du coût unitaire, selon la complexité de l'action.

Des décors sont souvent intégrés dans le cycle de moulage, éliminant ainsi la phase de finition telle que l'impression. Il existe aussi une gamme de pigments produisant des effets métalliques, nacrés et de couleurs vives fluorescentes ou plus classiques. Inserts et assemblages encliquetables peuvent aussi être moulés dans la pièce pour aider au montage.

Le moulage par injection multimatières peut associer jusqu'à 6 matières différentes dans un même produit. Les combinaisons possibles incluent densité, rigidité, couleur, texture et différents niveaux de transparence.



© PRODUCT PARTNERS DESIGN

**Paramètres pour le design**

Concevoir pour le moulage par injection est une tâche complexe et exigeante qui implique designers, spécialistes en polymères, ingénieurs et moulistes. Un bon travail d'équipe contribue à tirer parti des atouts de ce procédé.

Le moulage par injection s'opère à de très hautes températures et injecte les matières plastiques sous de fortes pressions. Ceci expose au risque de retrait et accumulation de tensions dans la matière. Le retrait peut aussi impliquer déformations, distorsions, craquelures et retassures. Les tensions peuvent s'accumuler dans les angles aigus et dépouilles trop faibles. Les dépouilles doivent être d'au moins 0,5° pour éviter tout stress à l'éjection de la pièce.

Le plastique injecté suit le chemin le moins contraignant lorsqu'il entre dans le moule, donc la matière doit pénétrer dans la partie où la section est la plus épaisse et finir dans les plus fines.

Pour un meilleur résultat, l'épaisseur de paroi est uniforme ou varie de moins de 10 %. Les sections irrégulières auront un refroidissement irrégulier, source de déformation de la pièce. L'épaisseur optimale est déterminée, entre autres, par le coût, la fonctionnalité de la pièce et les paramètres de moulage.

Les nervures ont un double rôle dans le design de la pièce : d'une part elles augmentent la solidité de la pièce tout en réduisant l'épaisseur globale de la paroi et d'autre part elles facilitent le flux de la matière au moulage. Il est donc préférable d'opter pour de multiples nervures peu profondes plutôt que de grandes en petite quantité.

Tous les détails saillants sont traités comme des nervures et doivent être reliés aux parois de la pièce pour éviter les poches d'air et les éventuels points de concentration de tensions. Les trous et évidements sont souvent intégrés dans le design de la pièce afin d'éviter les opérations secondaires coûteuses.

Les pièces moulées par injection ont souvent une fine texture de surface dissimulant les imperfections. Les grandes surfaces brillantes sont plus coûteuses que celles mates ou texturées.

**Matières compatibles**

Presque tous les thermoplastiques peuvent être moulés par injection. Il est aussi possible de mouler certains thermodurcissables et les poudres de métaux dans une matrice thermoplastique.

**Coûts**

Très coûteux, l'outillage dépend du nombre d'empreintes, de noyaux et de la complexité de la forme.

Le moulage par injection produit très rapidement de petites pièces, car les outils à plusieurs empreintes augmentent considérablement la production. Le cycle est de 30 à 60 secondes, même pour

les outils à plusieurs empreintes. Les plus grandes pièces prennent plus de temps, surtout parce que le polymère refroidit moins vite et doit donc rester dans l'outil pendant le refroidissement et le figeage.

Le coût de main-d'oeuvre est peu élevé. Toutefois, les opérations manuelles telles que la préparation de moules et le démoulage augmentent nettement le coût.

**Impact environnemental**

Dans ce procédé, les déchets thermoplastiques peuvent être directement recyclés. Certaines applications telles que l'emballage médical ou alimentaire requièrent une grande part de matière vierge, tandis que le mobilier de jardin ne doit en avoir que 50 % pour une solidité et capacité de coloration adéquates.

Le plastique moulé par injection est couramment associé à la production de masse de produits peu durables et à usage unique. Toutefois, il est possible de concevoir des produits facilement démontables, ce qui est avantageux tant pour les réparations que pour le recyclage. Si différents types de matières sont employés, les encliquetages ou autres attaches mécaniques facilitent le démontage, le tri des matières et le recyclage optimal pour limiter l'impact environnemental. ■



© ROB THOMPSON

## Description technique

Les granulés de polymère sont amenés exactement au bon degré d'hydro-métrie avant d'être versés dans la trémie, 0,5 à 5 % de pigments sont ajoutés à cette étape.

La matière est acheminée dans le fourreau où elle est simultanément chauffée, mélangée et poussée vers le moule par la vis d'Archimède. Le polymère est maintenu momentanément dans le fourreau tandis que la pression monte avant l'injection.

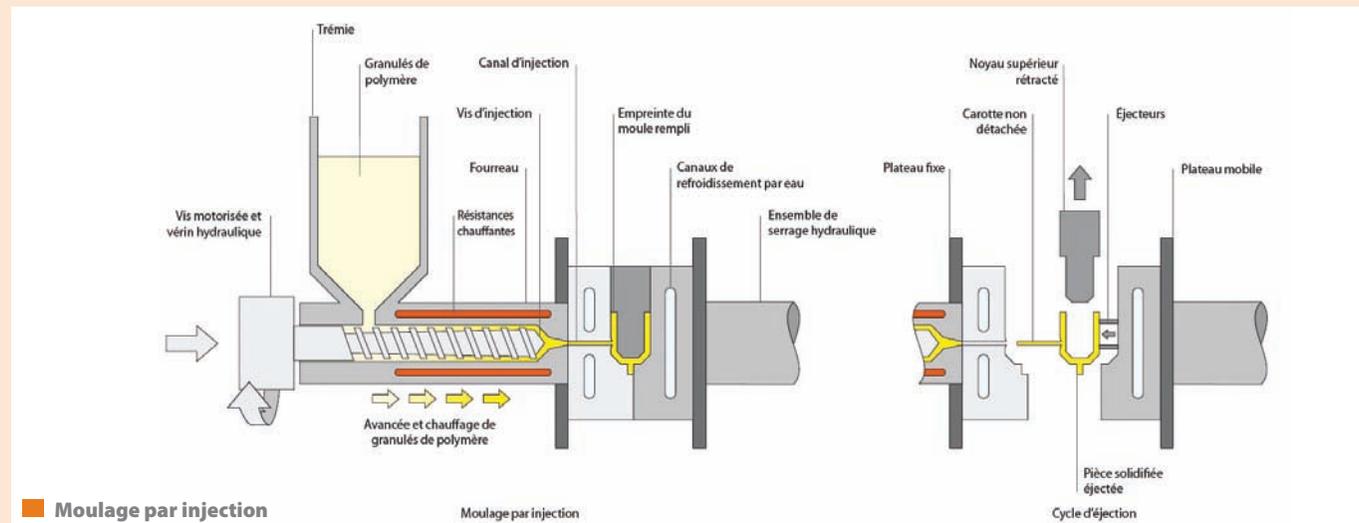
Lorsque la pression correcte est obtenue, le plastique fondu est injecté dans le moule. La durée du cycle dépend de la taille des pièces et du temps de solidification du polymère, soit généralement de 30 à 60 secondes.

La pression de serrage maintenue après l'injection limite la déformation et le retrait après démoulage.

Pour éjecter les pièces, les parties du moule se séparent, le noyau se rétracte et les éjecteurs sont poussés pour décoller les pièces de la surface du moule.

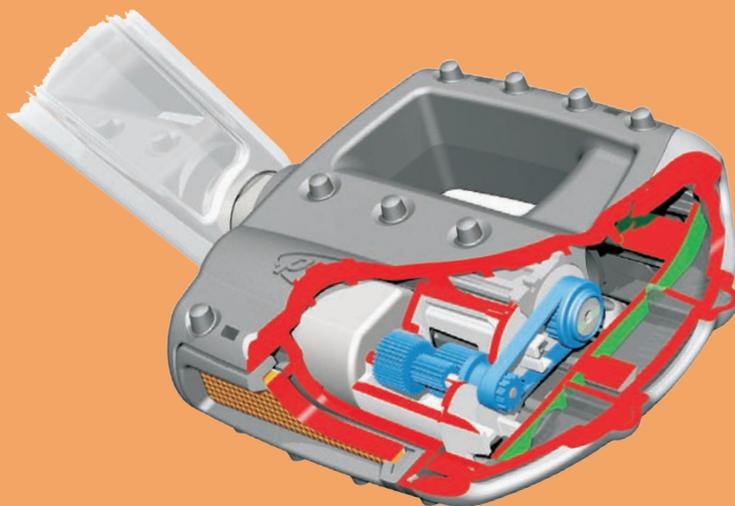
Celles-ci sont ensuite déposées sur un tapis roulant ou un contenant, parfois par un bras robotisé.

Les moules et noyaux sont usinés dans de l'aluminium ou de l'acier. Ce sont des éléments complexes du moulage par injection. Ils comportent des canaux de refroidissement par eau (pour le contrôle de la température), un point d'injection, des canaux d'alimentation (moule multiempreinte) et un équipement de mesures électronique pour continuellement maîtriser la température. La répartition de chaleur dans l'outil est essentielle pour garantir un flux régulier du polymère fondu. À cette fin, certains noyaux sont usinés dans du cuivre, dont les propriétés conductives sont bien meilleures que celles de l'aluminium ou l'acier. L'outil de moulage par injection le plus économique est en deux parties, mâle et femelle. Mais les ingénieurs et outilleurs moulistes poussent constamment les limites du procédé avec un outillage de plus en plus complexe avec des noyaux rétractables, points d'injection multiples et injection multimatière.



## ÉTUDE DE CAS

### Fabrication et assemblage d'une Pedalite



Cette pédale lumineuse de bicyclette est alimentée par un condensateur et un microgénérateur au lieu d'une simple pile. Elle est conçue par Product Partners, en collaboration avec le client (Pedalite limited),

l'outilleur-mouliste (ENL limited), le fabricant de boîtes de vitesses (Davall Gears) et le distributeur de polymères (Distrupol limited).

Un partenariat étroit avec ENL a assuré le développement pertinent des idées de Product Partners, la mise au point et la fabrication de l'outillage, et garantit un produit « bon du premier coup ». Par exemple, le défi technique des surmoulages fut validé dès les essais des premières pièces.

Pour garantir la faisabilité du projet de changement de vitesse, Davall Gears a apporté son expertise dans les rapports de vitesse, les détails de conception, les spécificités des matériaux et la fabrication. Le polyamide (PA) est choisi pour sa grande résistance à l'usure et ses propriétés autolubrifiantes.

Le dessin (ci-contre) présente l'anatomie des pièces injectées, des mécanismes et des pièces internes. Les boîtiers moulés par injection doivent souvent contenir un volume prédéfini. Ici, les roulements à cylindres répondent aux exigences légales et le système de changement de vitesse est conçu pour une production d'énergie optimale.

.../...

ÉTUDE DE CAS (SUITE)

Fabrication et assemblage d'une Pedalite

Simulation de moulage

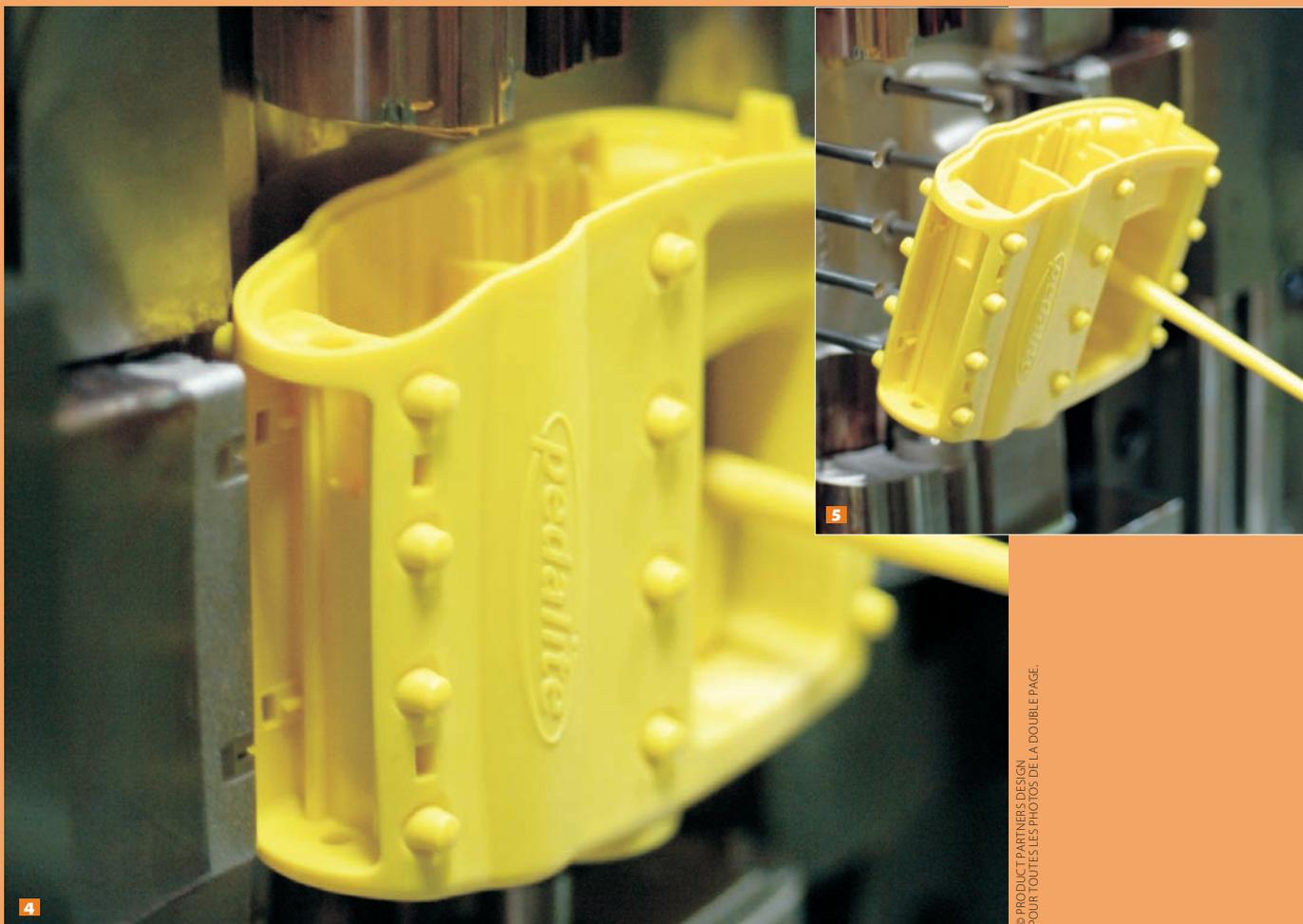
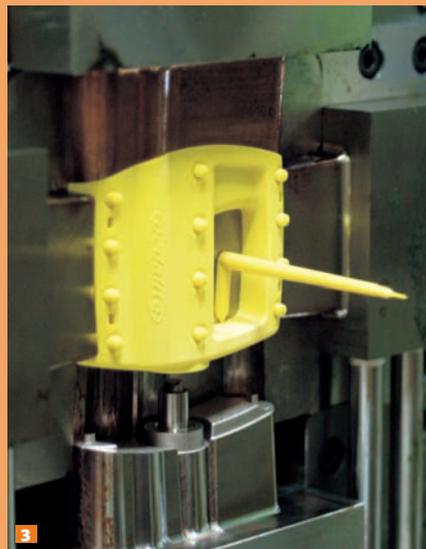
Le distributeur de polymères Distrupol fut consulté pour la sélection de matériaux et la simulation de moulage. Un retour sur le design a conduit à la modification des composants en CAO afin de réduire les problèmes de retassures, de traces de flux et de soudures, et autres.

Moulage de la Pedalite

La matière première est un polyamide renforcé de fibres de verre courtes, blanc à l'état brut. Pour obtenir une pièce en couleur il faut ajouter un pigment ; ici, une petite quantité de « mélange maître » (masterbatch) Clariant jaune 1. Le résultat est d'un jaune particulièrement vif.

En temps normal, le moulage par injection se passe dans la machine derrière une vitre de protection 2, mais, pour les besoins de la photo, les moules sont ici montrés en gros plan.

Le polymère est fondu et mélangé avant injection dans le moule. Une fois que celui-ci est rempli, et que le polymère tassé et serré s'est figé, les parties mâle et femelle du moule se séparent. La pièce est tenue dans la partie mobile par les broches rétractables supérieures, inférieures et latérales 3. La carotte, restée intacte, montre le point d'injection ; elle est détachée à la main ou automatiquement. Les 4 broches sont retirées successivement pour laisser apparaître la réelle complexité de ce moulage 4. Enfin, la pièce est éjectée du moule par une série d'éjecteurs 5.



© PRODUCT PARTNERS DESIGN  
POUR TOUTES LES PHOTOS DE LA DOUBLE PAGE.

### Assemblage de la pedalite

La Pedalite est composée de nombreuses pièces (voir photo page 32). Toutes les parties en plastique sont moulées par injection. Le roulement à cylindres est maintenu par serrage, ce qui requiert une tolérance plus précise que ce que le moulage par injection peut atteindre. Il est donc percé en postfinition **6** puis l'axe de rotation est inséré. Le bouchon latéral surmoulé est fixé au boîtier de la pédale par des vis **7**. Les réflecteurs s'encliquent en place **8** et garantissent le maintien de tous les composants. Le clippage peut être défait pour l'entretien et le recyclage de la Pédalite **9**. Le produit fini est installé de manière standard sur une bicyclette **10**.

La conception de pédales de bicyclette est sujette à des réglementations de sécurité et techniques. Pedalite élimine le coût et l'inconvénient du remplacement de piles et de la pollution due à leur rejet dans la nature. Le rendement lumineux ne remplace pas l'éclairage de sécurité de la bicyclette, mais le complète et produit un mouvement lumineux haut/bas permettant aux automobilistes d'estimer la distance entre eux et le cycliste.

