La qualité d’un objet injecté dépend de trois critères :

1. La conception des formes de la pièce.
2. La conception et la qualité de réalisation de l’outillage (le moule).
3. Les conditions et les paramètres de moulage (injection).

Seul un travail collaboratif entre les différents spécialistes de ces trois domaines permet d’optimiser la fonctionnalité de la pièce.

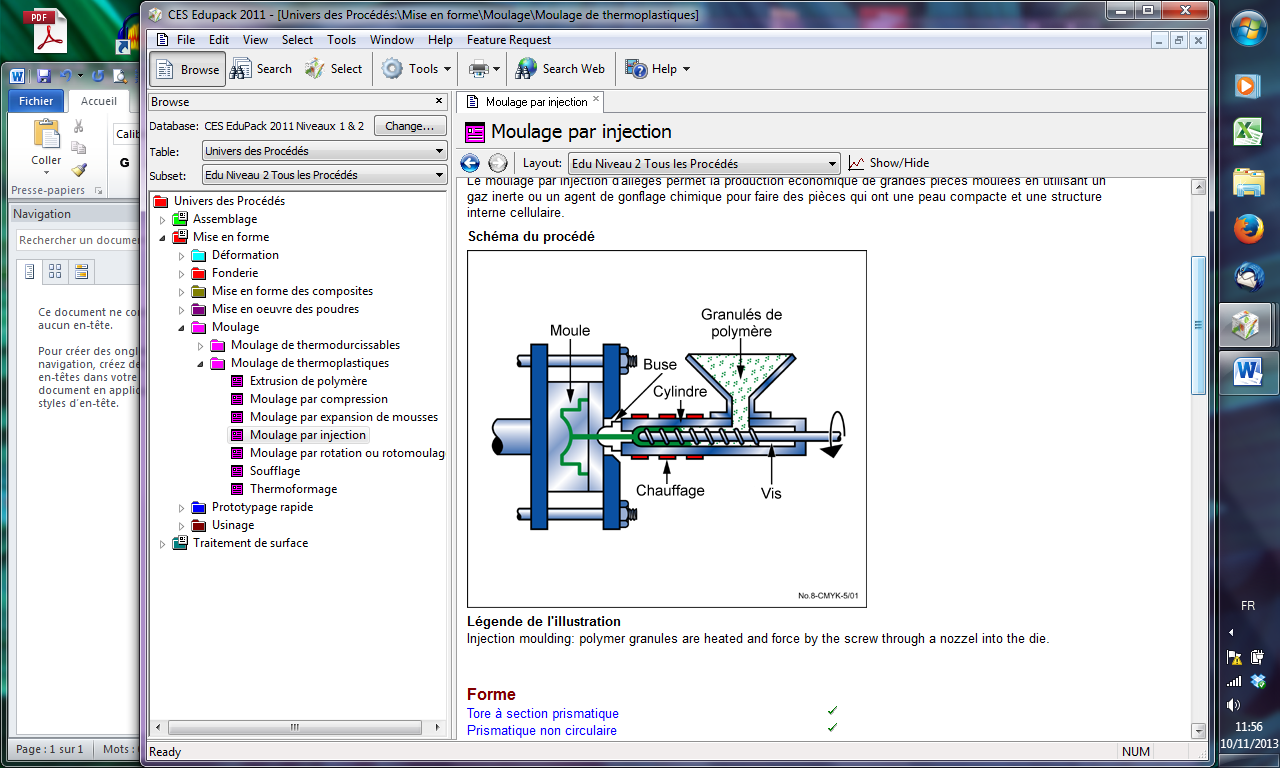
# Le procédé d’obtention par moulage

Ce procédé d’obtention permet de produire très rapidement (*en une seule opération*) des objets de qualité en grande quantité, même si les formes sont complexes, dans des gammes de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

On utilise l’injection plastique dans de très nombreux domaines : l’automobile, le jouet, l’électronique, la robotique, l'aéronautique, l'aérospatial, le médical...

Téléphones, seringues, pare chocs, capots, carters, boîtes…

### Déroulement du cycle d’injection



***La trémie est alimentée en granulés***

***Nouveau cycle***

Fourreau

### La matière plastique (exemple : PP, PE, ABS, …) se présente sous forme de **granulés** dans la **trémie**.

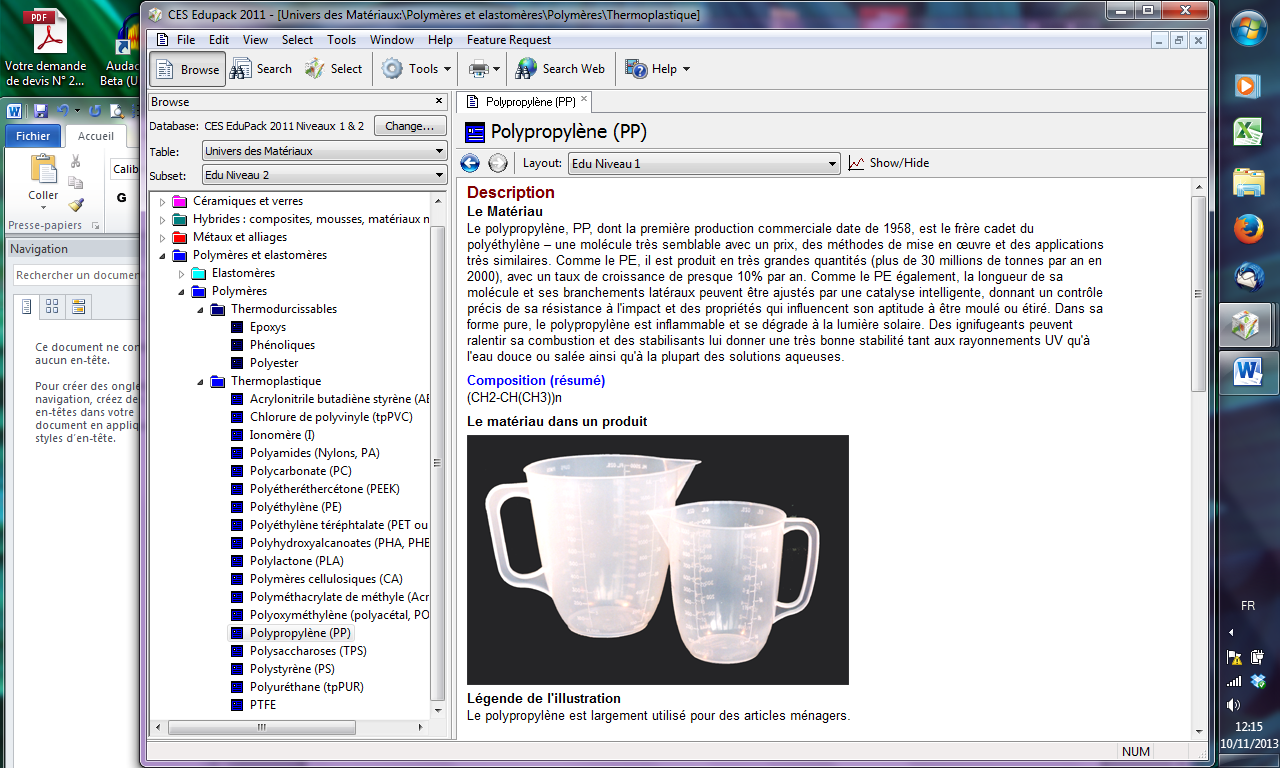
Celle-ci doit subir une première transformation, elle est chauffée à l’intérieurdu fourreau puis malaxée par une vis. Cette première étape s’appelle la ***plastification***.

A la suite de cette opération la matière visqueuse est poussée dans le ***moule*** par un piston. C’est l’***injection***.

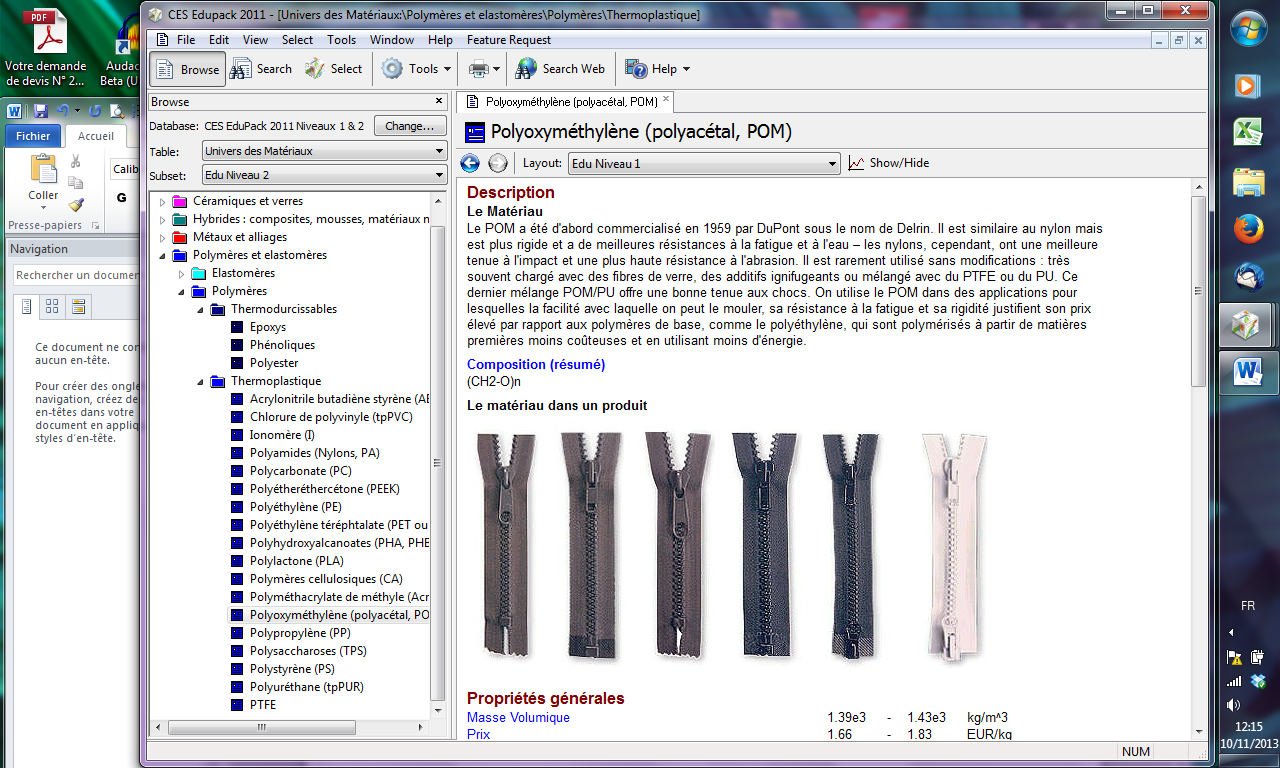
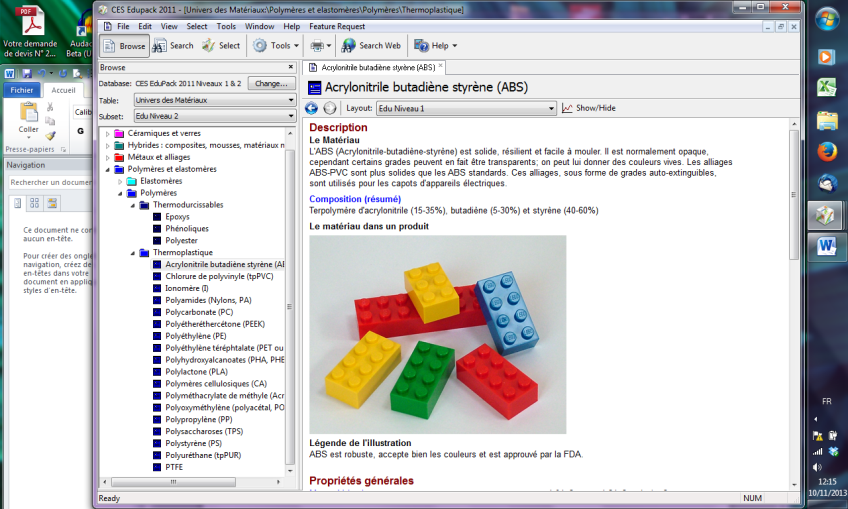
Pour que la matière puisse se solidifier, il est ensuite nécessaire de ***thermo réguler*** le moule.

La pièce moulée peut alors être éjectée après ***ouverture*** du moule grâce à un système d***’éjection***.

### Les matièresinjectables

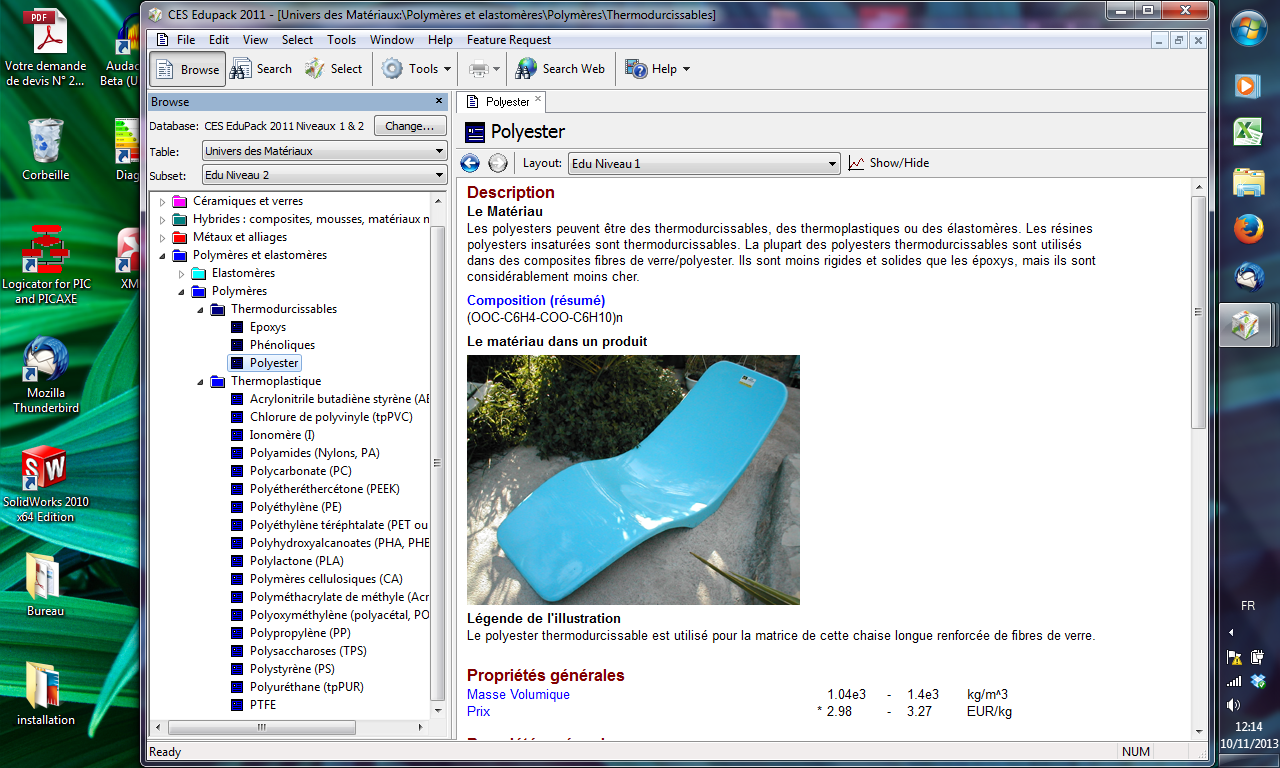
Les polymères (*thermoplastiques et thermodurcissables*) et les élastomères peuvent être moulés par injection.

***Les Thermoplastiques***se déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur. Ils reprennent leur forme initiale en refroidissant sauf dans le cas de réchauffements répétés.

* + Les molécules de ces polymères sont constituées de longues chaînes seulement reliées par des liaisons faibles.

Lorsque les thermoplastiques sont chauffés, les liaisons peuvent être rompues. Les molécules peuvent glisser les unes sur les autres, les thermoplastiques deviennent donc souples. Les chaînes moléculaires se modifient pour prendre une forme différente.

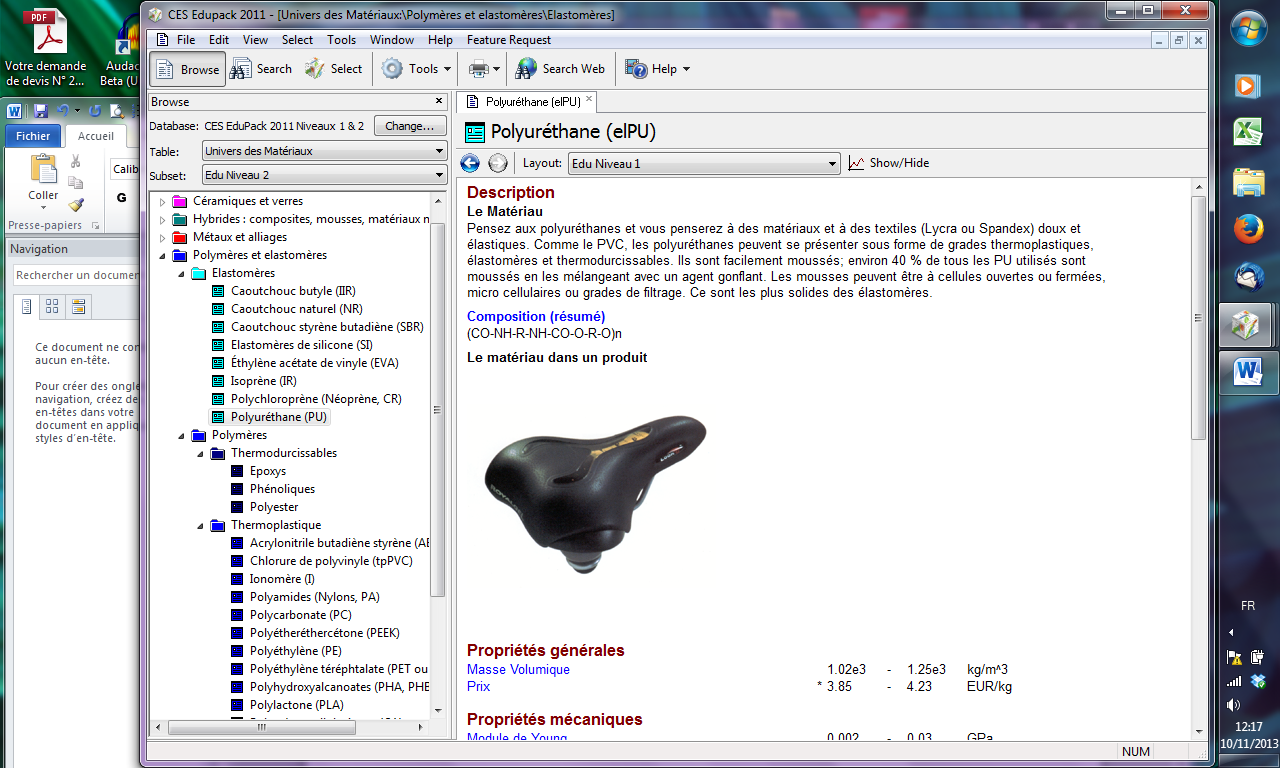
Quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme tout en conservant leurs propriétés plastiques.

***Les thermodurcissables***

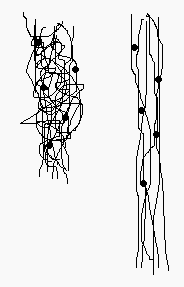
Ce sont des plastiques qui prennent leur forme définitive au premier refroidissement, la réversibilité est impossible.

* + Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes comprenant un grand nombre de liaisons chimiques solides entre elles.

Les liaisons sont si solides qu’elles ne peuvent pas être rompues quand le plastique est chauffé.

***Les élastomères :***

Ils présentent les mêmes qualités élastiques que le **caoutchouc**. Ils sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants ou des pneus.



**A**

**B**

* + Ils sont constitués de longues chaînes moléculaires rassemblées, au repos, en « pelotes » et reliées entre elles par des nœuds de reseau. Fig A.

Lorsque le polymère est soumis à une contrainte de traction, les chaines se réarrangent permettant ainsi de grandes déformations avant rupture.Fig B. Quand la contrainte sera supprimée, il reprend sa configuration initiale.

*La co-injection permet le moulage de pièces avec des matériaux, des couleurs ou des caractéristiques différentes.*

### La presse à injecter

Unité de plastification et d’injection

Elle est constituée de trois parties.

Unité de fermeture



Unité de refroidissement

# L’outillage d’injection

### Extrait du cahier des charges de l’outillage d’injection

« Requirement »

**Obtenir des pièces moulées**

**Text=** «L’outillage d’injection (moule) permet une fois positionné sur la presse d’obtenir les pièces moulées. »

**Id = 1e**

«FunctionallRequirement »

**Traverser la partie fixe**

**Text**= « La matière doit traverser la partie fixe (supérieure) du moule de la buse d’injection jusqu’au plan de joint».

**Id = 1.2 e**

« Block »

**Outillage d’injection**

«FunctionalRequirement »

**Alimenter**

**Text**= « Le cheminement de la matière plastique à l’état visqueux entre la buse d’injection et l’empreinte doit être possible.

.»

**Id = 1. 7 e**

«FunctionalRequirement »

**Acheminer la matière vers l’empreinte**

**Text**= « La matière doit être acheminé vers l’empreinte. »

**Id = 1.4 e**

«FunctinalRequirement »

**Refroidir**

**Text**= « La matière doit ensuite être refroidi afin de se solidifier. »

**Id = 1.6 e**

«FunctinalRequirement »

**Mettre en forme**

**Text**= « L’obtention d’une pièce plastique n’est possible que par le biais d’une empreinte creusé dans un bloc de métal.»

**Id = 1.1e**

«FonctionalRequirement »

**Permettre l’extraction de la grappe**

**Text**= « Lors de l’ouverture du moule, la « grappe » de pièce doit être maintenu du côté du système d’éjection».

**Id = 1.3 e**

«FunctinalRequirement »

**Ejecter**

**Text**= « La pièce moulée doit être évacuée de l’outillage.»

**Id = 1.5 e**

« Block »

**Bloc empreinte mobile et bloc empreinte fixe**

«FunctinalRequirement »

**Positionner**

**Text**= « Les différentes parties du moules doivent se positionner parfaitement les unes par rapport aux autres. »

**Id = 1.6 e**

« Block »

**Carotte**

« Block »

**Arrache carotte**

« Block »

**Canal et seuil d’alimentation**

« Refine »

« Refine »

« Refine »

« Block »

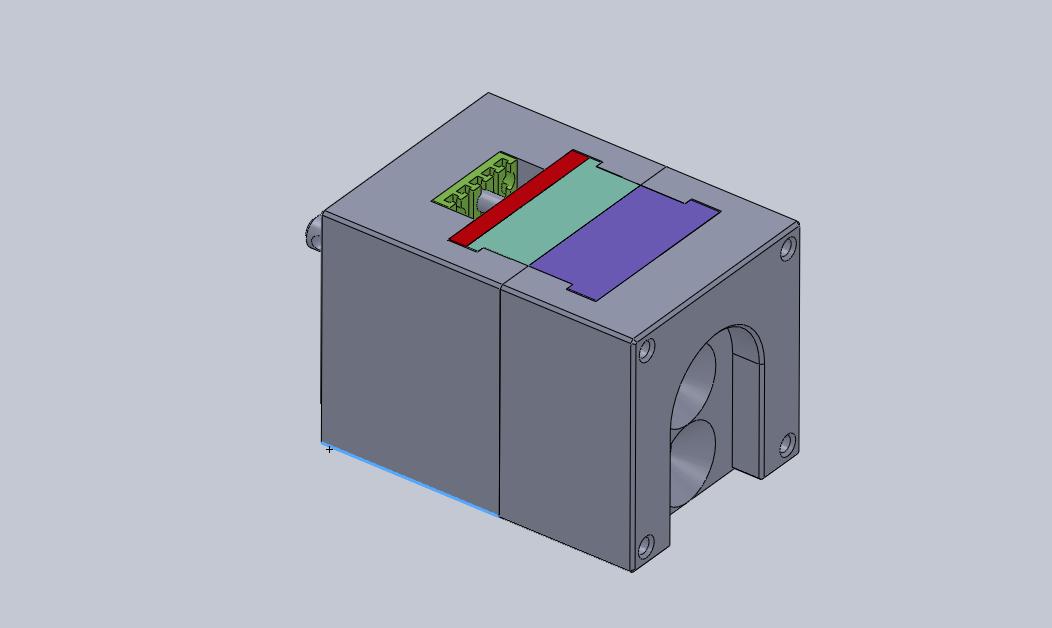
**Ejecteurs, plaque d’éjection, RAZ et queue d’éjection**

La mise en adéquation de ces différentes fonctions est le résultatde l’étude de moulage et dépend fortement des compétences du concepteur d’outillage.

Pour nous affranchir partiellement de ces compétences ‟métier”, un outillage modulaire a été créé : Le moule à cassette. Il va nous permettre de réaliser rapidement des pièces plastiques lors des projets ou des activités pratiques.

### Structure du moule à cassette

Plaque d’éjection



Partie fixe

Partie mobile

Course d’éjection maxi : 8mm

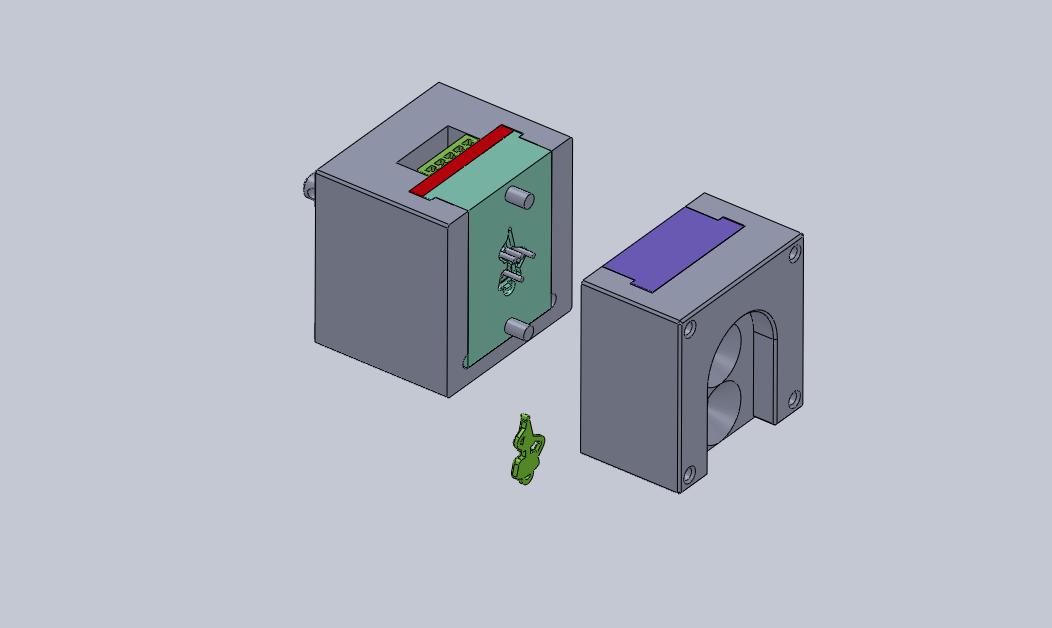
Plaque de support d’efforts

Bloc empreinte fixe

Bloc empreinte mobile

Rappels d’éjection (RaZ)

Queue d’éjection



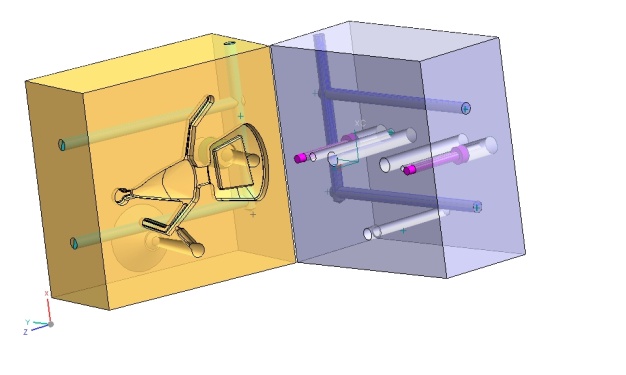
Reçu de buse position centrée ou basse

Volume ‟capable” de la pièce injectable :

*34 x 43 x 24 (12empreinte fixe+12empreinte mobile)*

Volume matière injectable : 4 cm3

### Les fonctions de l’outillage



Plan de joint

Empreinte

#### La fonction : Mettre en forme

La forme de la pièce est creusée dans les éléments appelés bloc empreinte fixe et bloc empreinte mobile. Elle se sépare au niveau du plan de joint.

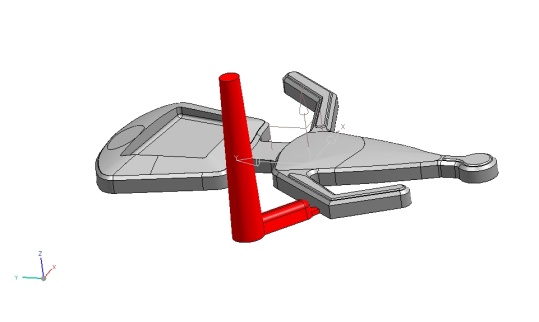
#### La fonction : Alimenter

La matière plastique dans son état visqueux doit être acheminée depuis la buse jusqu’à l’empreinte.

(*Le moule à casette permet une alimentation centré ou basse*).

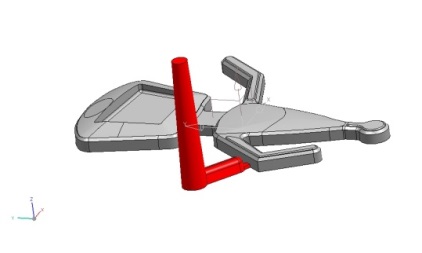
Le canal d’alimentation permet d’acheminer la matière plastique depuis la buse machine jusqu’à la pièce à mouler.

Il est constitué de 2 parties principales :



Carotte

* La ‟**carotte”** permet de traverser le bloc empreinte fixe jusqu’au plan de joint.Sa conicité favorise le démoulage.
* Le **canalsecondaire** permet d’acheminer la matière depuis la carotte au plan de joint jusqu’au seuil d’injection. Son tracé doit faciliter l’écoulement et garantir une distribution homogène et suffisante.



Canal secondaire

Il doit être le plus court possible pour limiter les pertes de pression et de température et de matière.

Section du canal :

Le refroidissement dans les canaux est directement proportionnel au périmètre de la section du canal.

- La section circulaire est la géométrie optimale à privilégier mais étant partagée entre la partie fixe et la partie mobile, elle est contraignante à usiner. (*Privilégier les sections parabolique et trapézoïdale*).

- Les sections semi circulaire et carré sont à proscrire.

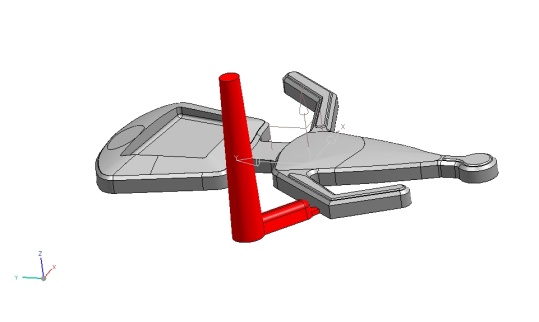
Le **seuil d’injection** établit la relation entre le canal d'alimentation et l'empreinte. Sa section doit être minimum afin de laisser peu de trace sur la pièce.La séparation de la pièce et du déchet d’alimentation (*carotte +canaux*) est ainsi facilitée.

La réduction importante de la section d’entrée impose à la matière une accélération violente et unréchauffement considérable. On limitera la longueur du seuil à 0,5 - 1,5 mm.

La position du **seuil** influe sur le remplissage de la cavité.

Il doit :

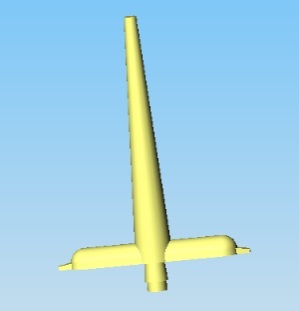
* assurer la continuité d’alimentation de la pièce moulée pendant la durée de solidification de la matière plastique dans l’empreinte. La pression de maintien permet cette alimentation. Il doit donc être situé à proximité des zones massives.



Seuil

* permettre le dégrappage des pièces moulées.
* déterminer le remplissage correct et la direction de l’écoulement de la matière plastique dans l’empreinte.

**L’arrache carotte** favorise l’extraction de la carotte lors de l’ouverture du moule et permet ainsi de maintenir la « grappe » de pièce du côté du système d’éjection.



Arrache carotte

La matière plastique contenue dans la carotte et les canaux se solidifie à chaque cycle. Elle doit être démoulée, dégrappéepuis rebutée ou recyclée (*broyée*).

* + Il existe aussi une alimentation sans déchets par canaux chauds mais nous ne l’utiliserons pas en STi2D

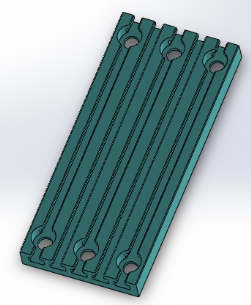
#### La fonction : Ejecter

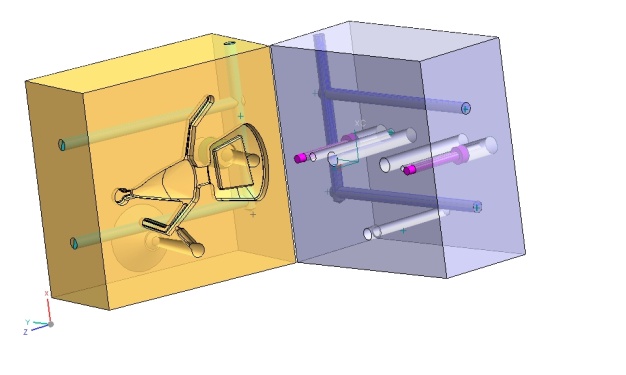
Lors de l’ouverture du moule après solidification de la matière injectée, la pièce formée doitêtreéjectée.

Les éjecteurs employés sont ici des tiges cylindriques de Ø2.

Ils doivent être situés judicieusementsur la pièce et en nombre suffisant (2 à 3), de façon àéjecter la pièce sans dommage ni déformation, ni rupture.

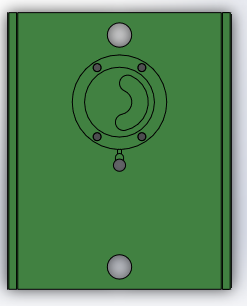
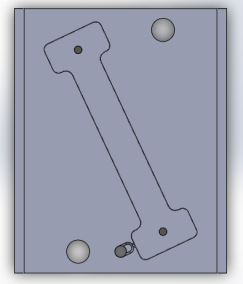
Ejecteurs





Ils sont positionnés dans les rails de la plaque d’éjection.

Pour reculer la plaque d’éjection, il faut positionner des rappels d’éjections (RAZ). Ce sont des éléments standards.



Rappels d’éjection (RaZ)

Alimentation centrée

Alimentation basse

.

Leur position varie en fonction de la position de l’alimentation matière

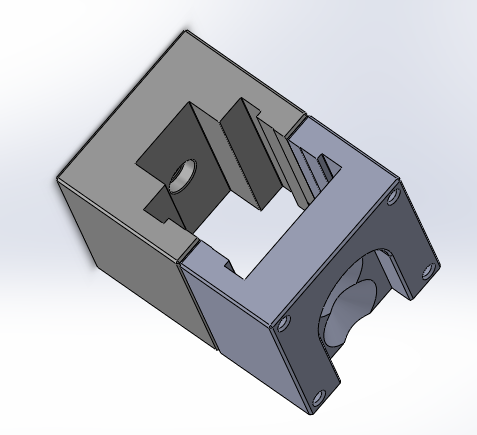
#### La fonction : Réguler

La régulation thermique de l’outillage permet de contrôler la solidification du polymère afin d’obtenir une structure optimal avec un temps de cycle de production minimum.

La matière qui a rempli l’empreinte apporte une grande quantité de chaleur aux éléments moulants qu’il faut dissiper afin de maintenir ces éléments à une température optimale pour un bon remplissage et une bonne qualité de pièce.

* + En STI2D, nous ne réalisons que des prototypes, le temps de cycle ne sera donc pas un paramètre primordial. Nous ne nous attacherons pas à la mise en œuvre de cette fonction.

#### La fonction : Positionner



Partie fixe

Partie mobile

Cette fonction est réalisée par le moule à casette. Il permet de positionner :

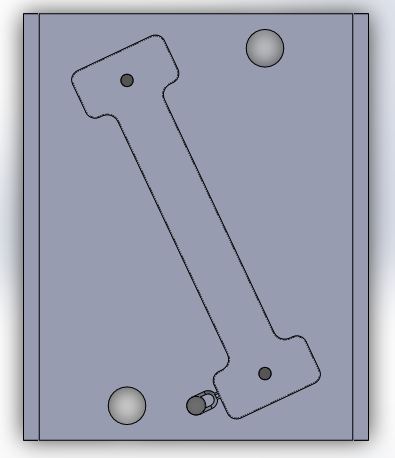
* Le bloc empreinte fixe face à la buse,
* Les deux blocs empreintes fixe et mobile en face l’un de l’autre.

La plaque de support d’effort permet d’assurer la résistance à la flexion de l’empreint mobilequi doit résister aux efforts importants générés par la pression d’injection.

### La conception des éléments du moule à cassette

Le matériau utilisé pour la fabrication des empreintes doit être résistant à l’érosion de la matière plastique et aux chocs thermiques (température d’injection : 230°C).

#### *Le bloc empreinte mobile*



Passage d’éjecteur

Empreinte

Arrache carotte, canal et seuil d’alimentation

Passage du rappel éjecteurs

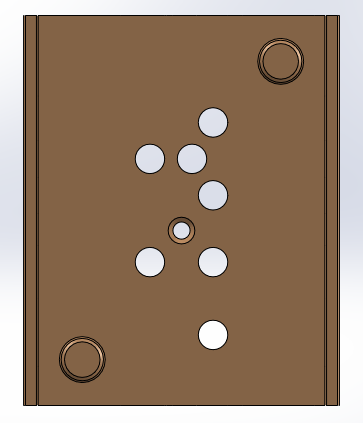
Passage d’éjecteur

Passage du rappel éjecteurs

***Les fonctions à assurer :***

* Mettre en forme la pièce avec le bloc empreinte fixe.
* Alimenter l’empreinte.
* Ejecter la pièce.
* Positionnement par rapport au bloc empreinte mobile (si nécessaire).

#### *Le bloc empreinte fixe*

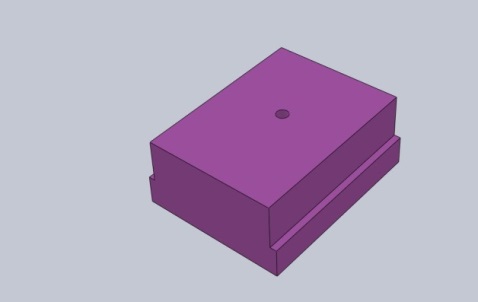


***Les fonctions à assurer :***

* Mettre en forme la pièce avec le bloc empreinte fixe.
* Alimenter l’empreinte.
* Positionnement par rapport au bloc empreinte mobile (si nécessaire).

L’empreinte si nécessaire

Carotte



Carotte

Element assurant le positionnement L’empreinte si nécessaire

#### La plaque de support d’efforts (*passages d’éjecteurs à percer*)

Il faut permettre le passage des éjecteurs. (Perçage)

### Méthode d’obtention des empreintes

* Réalisation par usinage (*Enlèvement de matière*).
* Réalisation par coulée sous vide.
* Réalisation par fonte à cire perdue.
* Réalisation par ajout de matière.

# personnage de moule.jpgEtude de moulage

Plan de joint

La conception de pièces destinées à l’injection doit respecter des règles de conception.

### La direction de démoulage

Dans l’outillage la pièce doit être orientée pour que le démoulage par l’intermédiaire des éjecteurs soit possible. Lors de l’ouverture du moule, la pièce doit rester sur la partie mobile avant d’êtreéjectée. Les parties creuses seront donc préférentiellement orientées du côté du bloc empreinte mobile.

### Le plan de joint

Son emplacement ne doit pas faire apparaître de contre dépouille et garantir le maintien de la pièce coté éjection.

***Exemple :*** Pour injecter la pièce ci-contre plusieurs positions de plan de joint sont possibles.

Position 1 :

Bloc empreinte fixe

Bloc empreintemobile

|  |  |
| --- | --- |
| Avantages | Inconvénients |
| L’empreinte dans la partie fixe est relativement simple  L’éjection de la pièce est facilitée | Usinage des deux coté du moule  Le positionnement des deux blocs empreintes doit être assuré. |

Position 2 :

|  |  |
| --- | --- |
| Avantages | Inconvénients |
| L’empreinte dans la partie fixe est relativement simple | Apparition d’une ligne de joint sur la pièce Usinage des deux coté du moule  Le positionnement des deux blocs empreintes doit être assuré.  Difficulté d’éjection de la pièce. |

Bloc empreinte

fixe

Bloc empreintemobile

Position 3 :

|  |  |
| --- | --- |
| Avantages | Inconvénients |
| Partie fixe du moule non usinée (=face miroir)  Pas de positionnement des deuxblocs empreintes à assurer. | Ejection encore plus difficile |

Bloc empreinte

fixe

Bloc empreintemobile

Position 4 :

|  |  |
| --- | --- |
| Avantages | Inconvénients |
| Partie mobile du moule non usinée (=face miroir) | La pièce reste bloquée dans la partie fixe.  (donc position impossible) |

Bloc empreinte

fixe

Bloc empreinte

mobile

On privilégie la position 1.

### Retrait

Lors du refroidissement de la pièce dans l’outillage, un retrait de la matière apparait. Il s’agit d’une contraction volumique.

Pour obtenir une pièce moulée de bonne dimension, il faut donc appliquer une anamorphose à l'empreinte.

|  |  |
| --- | --- |
| Matière | Retrait en % |
| PMMA | 0.3 à 0.6 |
| PS | 0.5 à 0.6 |
| ABS | 0.3 à 0.6 |
| PVC | 0.4 à 0.5 |
| PC | 0.5 à 0.7 |
| PA6 | 1.5 |
| PA11 | 1 à 2.5 |
| POM | 1.6 à 3.6 |
| PEhd | 2.1 à 4.5 |
| PEbd | 2 |
| PP | 1 à 2.5 |

**Cote de l’empreinte = cote pièce x**

La valeur du retrait s’exprime en % et dépend :

* Du polymère injecté,
* De la structure macromoléculaire,
* De l’épaisseur de la pièce,
* Des conditions de moulages (*pressions, température, vitesse*).
  + Le retrait est dit *différentiel* lorsque la contraction diffère selon les zonesde la pièce. Il est généralement dû à un refroidissement déséquilibré.

*La structure macromoléculaire influe directement sur le retrait :*

*Amorphe : 0,2 à 1% et homogène ;*

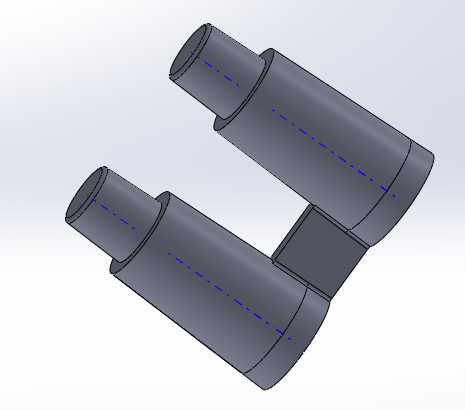
*Cristalline : 1 à 4% et différentiel.*

* + La fonction « empreinte » de Solidworkspermet de générer l’empreinte d’une pièce préalablement modélisé en fonction de la valeur du retrait du matériau.

### Règles de conception d’une pièce injectée

La conception d’une pièce destinée à être moulée doit prendre en compte des paramètres spécifiques à ce procédé d’obtention.

Direction de démoulage



Dépouille

#### Dépouille

C’est une inclinaisonprévue sur les partiesverticales de la pièce.

La dépouille est indispensable pour permettre l’extraction de la pièce du moule.

L'angle de dépouilledépend du polymère et varie entre 0.5 à 2°.

* + On utilisera la fonction  de Solidworks.

#### Congés

On privilégiera des rayons de 0,3 à 0,5 .mm à la place des angles vifs.

* + On utilisera la fonction  de Solidworks.

#### Épaisseurs

Les fortes épaisseurs entraînent :

* Un prix de matière élevé,
* Une augmentation des durées de cycle,
* Un retrait important avec risques de retassures, porosités, soufflures

Les trop faibles épaisseurs provoquent.

* Une solidification trop rapide,
* Des risques de fragilité.

Les épaisseurs les plus courantes vont de 0, 7 à 3 mm.

On choisira des conceptions à épaisseur constante.

* + On utilisera la fonction  de Solidworks.

Lorsque de fortes épaisseurs s’avèrent indispensable pour satisfaire notamment des caractéristiques mécaniques, des nervures se substitueront à ces surépaisseurs.

* + Elles doivent être de plus faibles épaisseur que la paroi à renforcer (0,3 à 0,6 fois l'épaisseur de cette paroi).

On utilisera la fonction  de Solidworks.

#### Localisation des traces de moulage :

Les traces de lignes de soudure, seuils d'alimentation, éjecteurs, sont à localiser dans des endroits peu visibles pour ne pas nuire à l'aspect de la pièce.

#### Tolérances

Elle dépend de la précision du moule et peut aller jusqu'à une qualité 8.

**La conception d’une pièce destinée à être moulée doit aussi intégrer les contraintes de réalisation du moule, d’usinage des éléments et la nécessité de maintenance.**

# L’injection de la matière plastique

### Les défauts géométriques des pièces moulés

On observe fréquemment deux types de défauts géométriques sur les pièces réalisées par injection plastique :

#### Retassures (*Cavités inattendues*)

À mesure que le polymère se solidifie dans le moule, il se refroidit à partir de l’extérieur de la pièce (*à proximité de la surface du moule*) vers l’intérieur. Dans les sections épaisses, ceci se traduit par des contraintes qui causent des marques appelées retassures à la surface de la pièce.

#### Gauchissement

Ce sont des surfaces réputées planes qui ne le sont pas.

Comme les sections plus minces se solidifient plus rapidement que les sections plus épaisses, une accumulation de contraintes entre les sections épaisses et fines peut se traduire par un gauchissement de la pièce.

### Les paramètres d’injections

#### Injection moule fermé.

Le groupe de plastification de la presse injecte la matière plastique fluidifiée sous pression(40 à 100 MPa) dans l’empreinte du moule à travers le réseau d’alimentation. Cette pression génère un effort de séparation proportionnel à la surface projetéede la pièce dans le plan de joint. Le verrouillage du groupe de fermeture doit supporter cet effort (*voir* **5.** *fermeture*).

***Paramètres*** : vitesse d’injection, pressions d’injection.

#### Refroidissement :

Le moule possède un circuit de régulation thermique qui permet à la matière plastique de se solidifier.

***Paramètres*** : temps de solidification.

#### Ouverture:

Le moule s’ouvre au plan de joint par déplacement du plateau mobile de la presse.

***Paramètres*** : vitesse d’ouverture et course.

#### Ejection :

La pièce moulée et son réseau d’alimentation (*déchets*) sont évacués par un système d’éjection.

***Paramètres*** : nombre de coups d’ejection et course.

#### Fermeture :

Le groupe de fermeture de la presse ferme et verrouille le moule. Un nouveau cycle peu recommencer.

***Paramètres*** : vitesse d’ouverture et course.