

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.

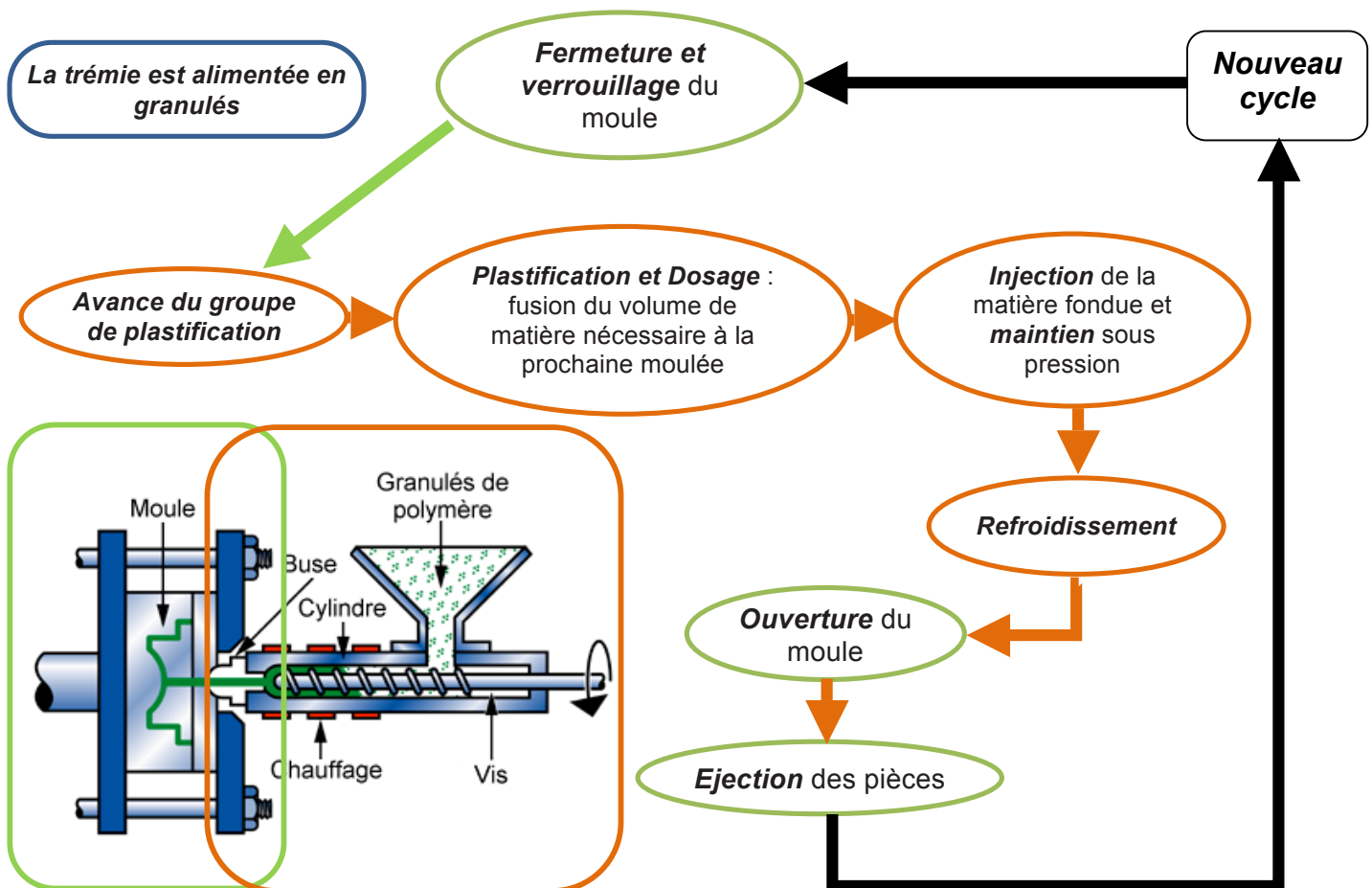
I. Le procédé d'obtention par moulage

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...

1. Déroulement du cycle d'injection



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'intérieur du 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**.

2. Les matières injectables

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

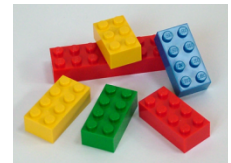
Les Thermoplastiques se déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur. Ils reprennent leur forme initiale en refroidissant sauf dans le cas de réchauffements répétés.



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 :

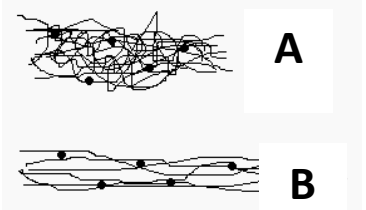


Ils présentent les mêmes qualités élastiques que le **caoutchouc**. Ils sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants ou des pneus.



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

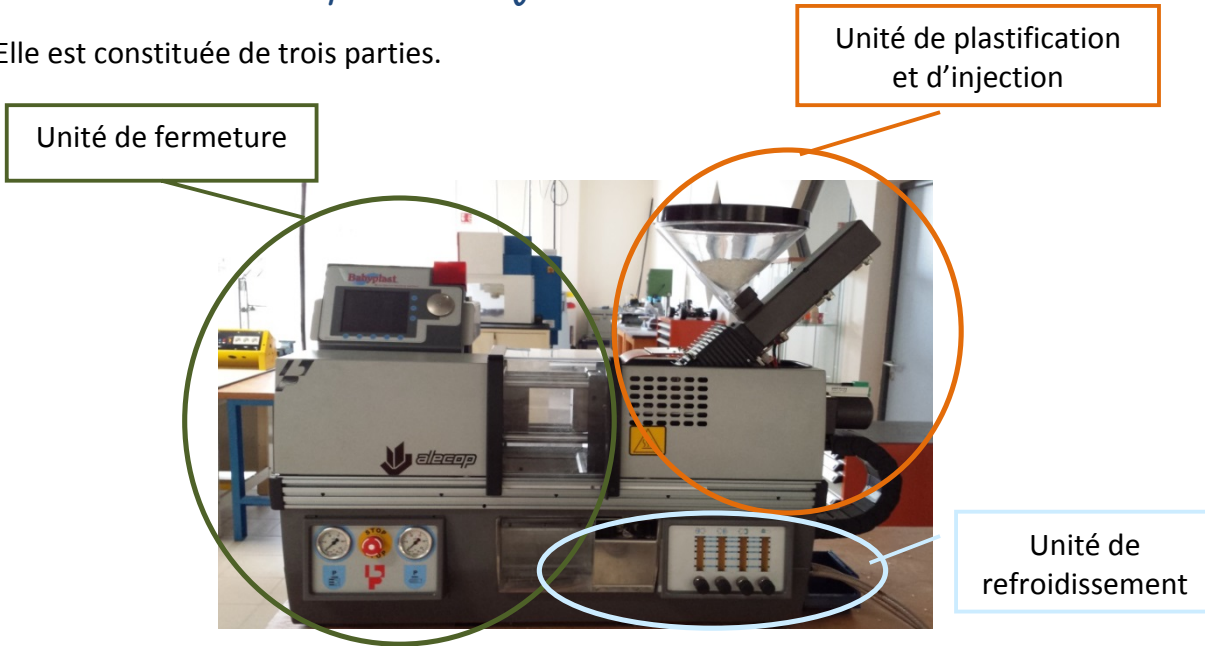
Lorsque le polymère est soumis à une contrainte de traction, les chaînes se réarrangent permettant ainsi de grandes déformations avant rupture. Fig B. Quand la contrainte sera supprimée, il reprend sa configuration initiale.



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

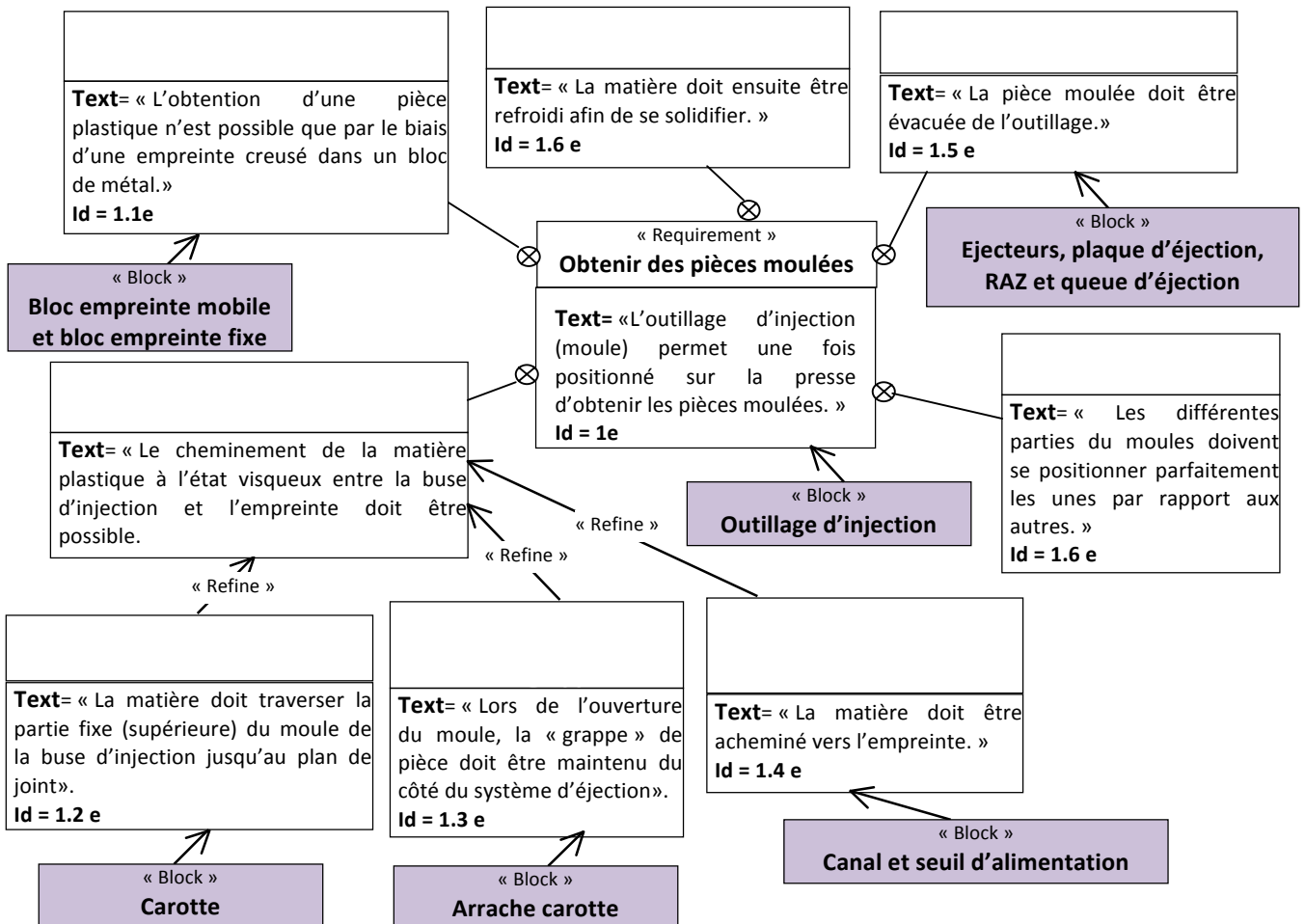
3. La presse à injecter

Elle est constituée de trois parties.



II. L'outillage d'injection

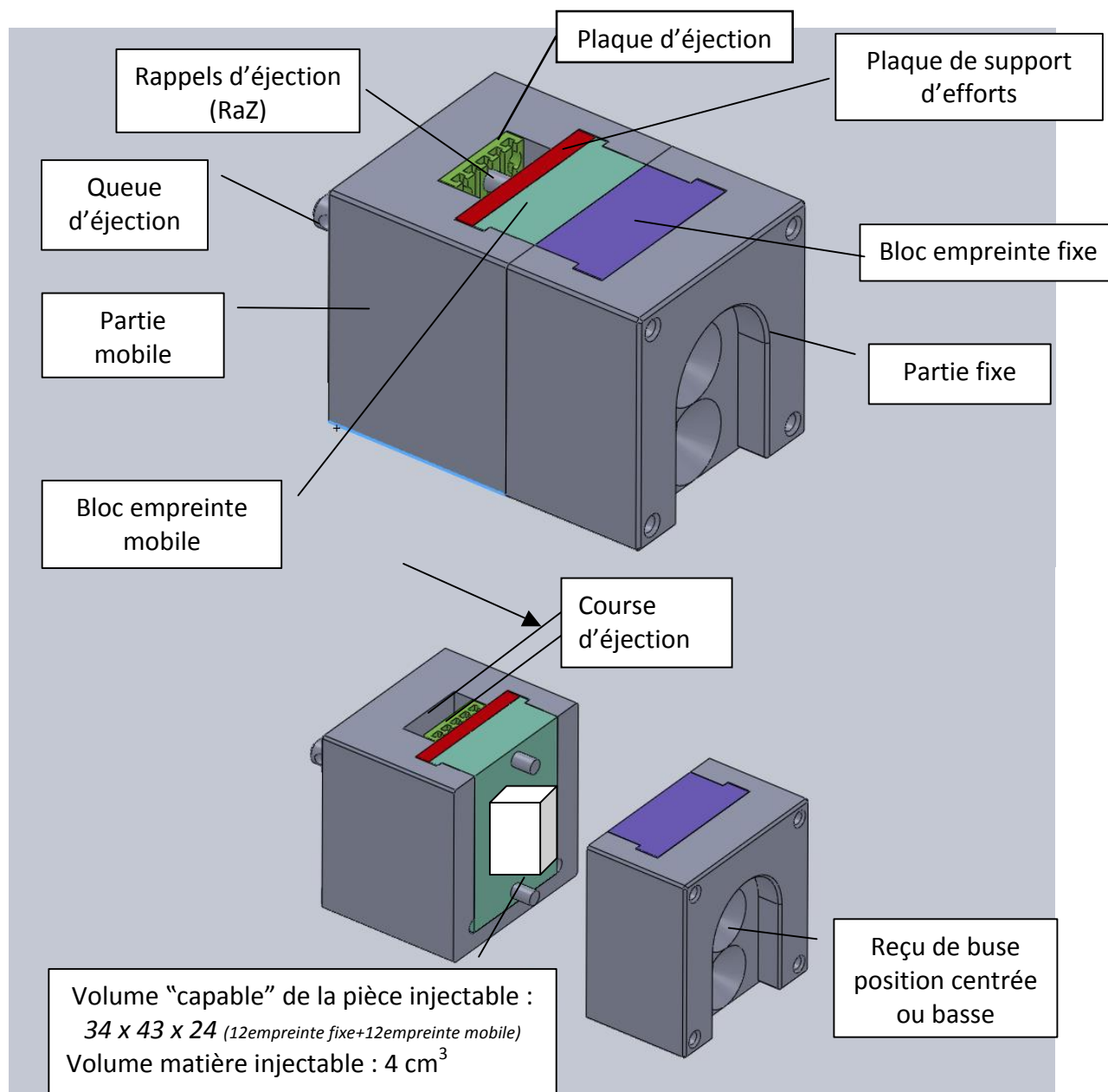
1. Extrait du cahier des charges de l'outillage d'injection



La mise en adéquation de ces différentes fonctions est le résultat de 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.

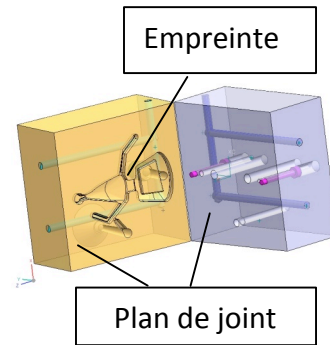
2. Structure du moule à cassette



3. Les fonctions de l'outillage

a) 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.



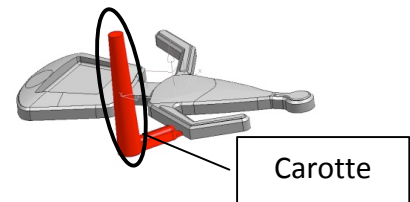
b) La fonction : Alimenter

La matière plastique dans son état visqueux doit être acheminée depuis la buse jusqu'à l'empreinte. (Le moule à cassette permet une alimentation centrée ou basse).

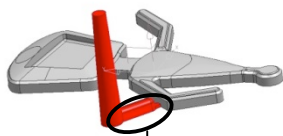
Le canal d'alimentation permet d'acheminer la matière plastique depuis la buse machine jusqu'à la pièce à mouler.

Il est constitué de 2 parties principales :

- La "**carotte**" permet de traverser le bloc empreinte fixe jusqu'au plan de joint. Sa conicité favorise le démoulage.



- Le **canal secondaire** 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.



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.

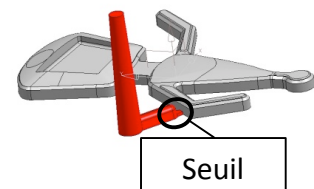
Le **seuil d'injection** établit la relation entre le canal d'alimentation et l'empreinte. Sa section doit être minimum afin de laisser peu de trace sur la pièce. La séparation de la pièce et du déchet d'alimentation (*carotte + canaux*) est ainsi facilitée.

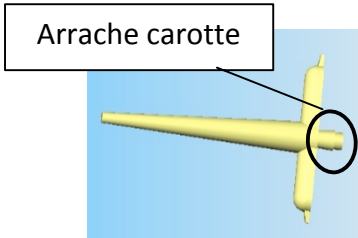
La réduction importante de la section d'entrée impose à la matière une accélération violente et un réchauffement considérable. On limitera la longueur du seuil à 0,5 - 1,5 mm.

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.
- 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.

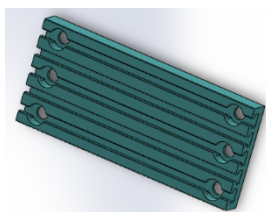
La matière plastique contenue dans la carotte et les canaux se solidifie à chaque cycle. Elle doit être démoulée, dégrappée puis rebutée ou recyclée (*broyée*).

i Il existe aussi une alimentation sans déchets par canaux chauds mais nous ne l'utiliserons pas en STi2D

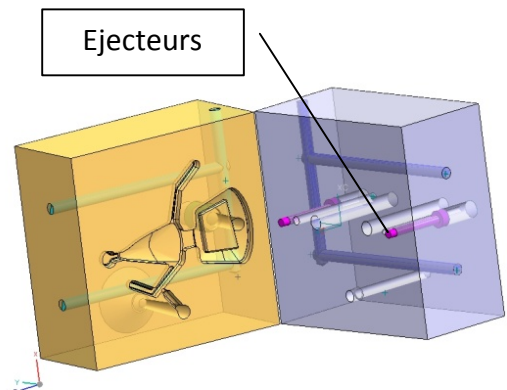
c) La fonction : Ejecter

Lors de l'ouverture du moule après solidification de la matière injectée, la pièce formée doit être éjectée. Les éjecteurs employés sont ici des tiges cylindriques de $\varnothing 2$.

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

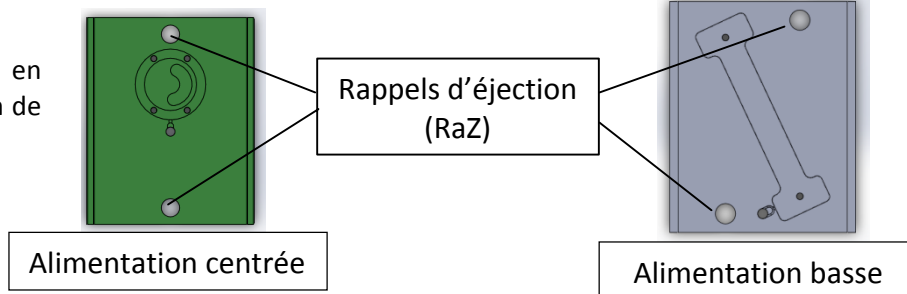


Ils sont positionnés dans les rails de la plaque d'éjection.



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

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



d) La fonction : Réguler

La régulation thermique de l'outillage permet de contrôler la solidification du polymère afin d'obtenir une structure optimale 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.

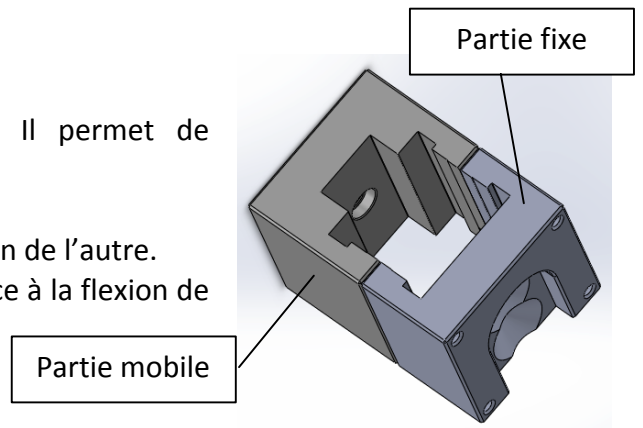
! En STi2D, nous ne réalisons que des prototypes, le temps de cycle ne sera donc pas un paramètre primordial. Nous ne nous attacherons pas à la mise en œuvre de cette fonction.

e) La fonction : Positionner

Cette fonction est réalisée par le moule à cassette. 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'empreinte mobile qui doit résister aux efforts importants générés par la pression d'injection.



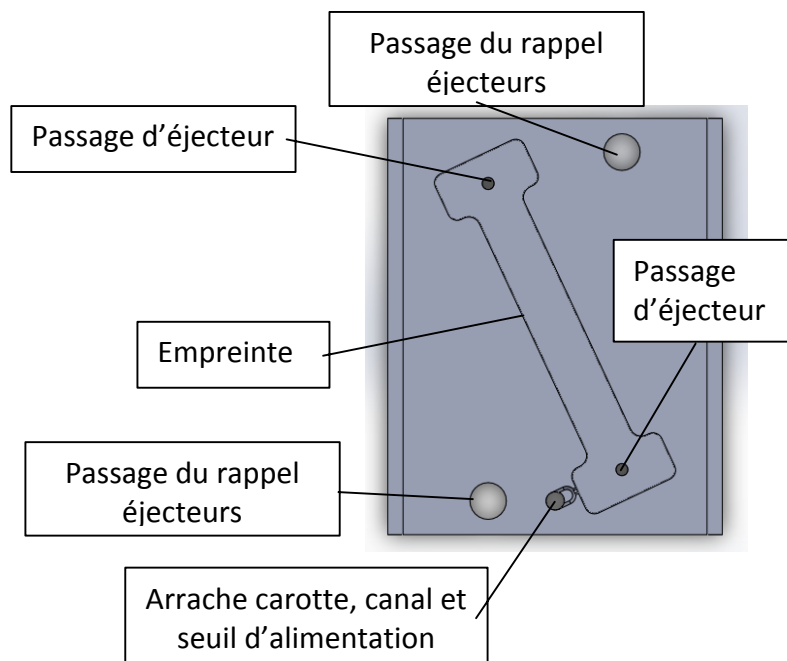
4. La conception des éléments du moule à cassette

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).

a) Le bloc empreinte mobile

Les fonctions à assurer :

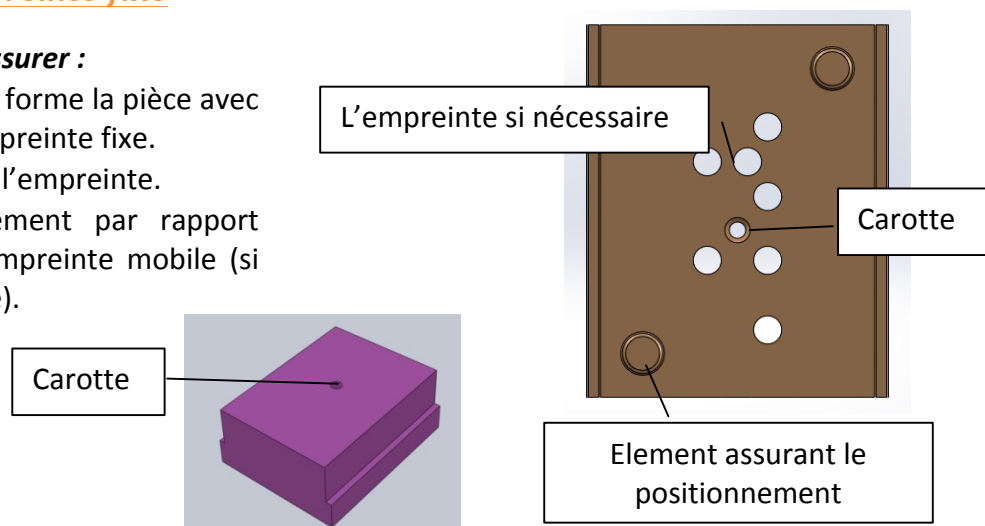
- Mettre en forme la pièce avec le bloc empreinte fixe.
- Alimenter l'empreinte.
- Ejecter la pièce.
- Positionnement par rapport au bloc empreinte mobile (si nécessaire).



b) 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).



c) **La plaque de support d'efforts (passages d'éjecteurs à percer)**

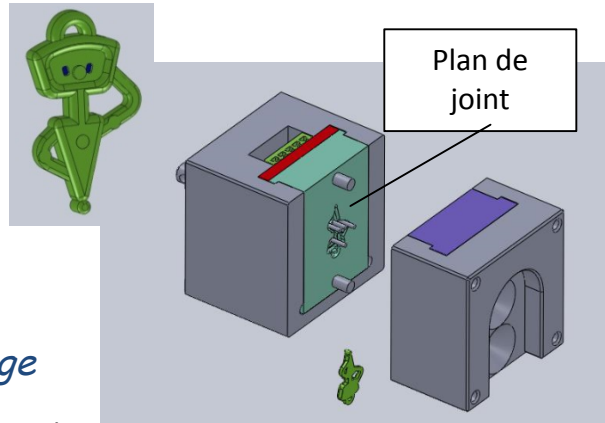
Il faut permettre le passage des éjecteurs. (Perçage)

5. *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.

III. Etude de moulage

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



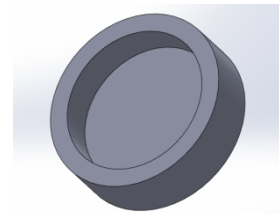
1. *La direction de démoulage*

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'être éjectée. Les parties creuses seront donc préférentiellement orientées du côté du bloc empreinte mobile.

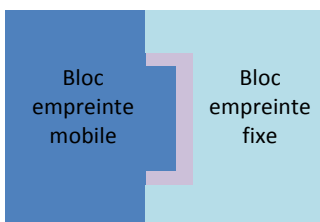
2. *Le plan de joint*

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.

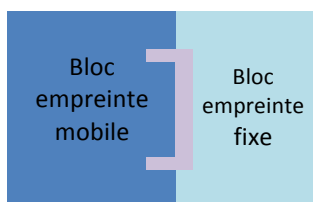


Position 1 :



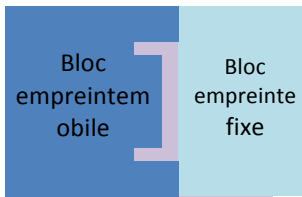
Avantages	Inconvénients
L'empreinte dans la partie fixe est relativement simple L'éjection de la pièce est facilitée	Usinage des deux coté du moule Le positionnement des deux blocs empreintes doit être assuré.

Position 2 :



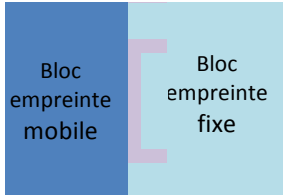
Avantages	Inconvénients
L'empreinte dans la partie fixe est relativement simple	Apparition d'une ligne de joint sur la pièce Usinage des deux coté du moule Le positionnement des deux blocs empreintes doit être assuré. Difficulté d'éjection de la pièce.

Position 3 :



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

Position 4 :



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

On privilégie la position 1.

3. Retrait

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

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

Cote de l’empreinte = cote pièce x $\frac{1}{1 - \text{Retrait}}$

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*).

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

⚠ Le retrait est dit *différentiel* lorsque la contraction diffère selon les zones de 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.

i La fonction « empreinte » de Solidworks permet de générer l’empreinte d’une pièce préalablement modélisé en  fonction de la valeur du retrait du matériau.

4. Règles de conception d'une pièce injectée

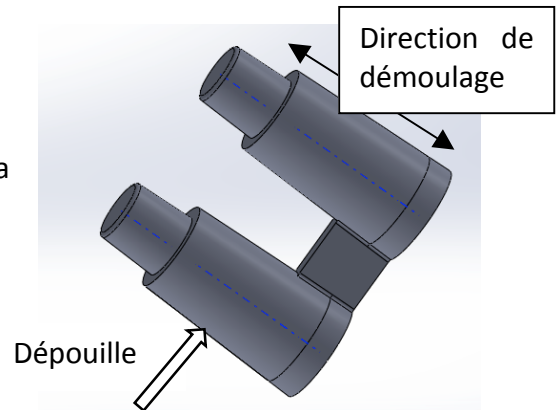
La conception d'une pièce destinée à être moulée doit prendre en compte des paramètres spécifiques à ce procédé d'obtention.

a) Dépouille

C'est une inclinaison prévue sur les parties verticales de la pièce. La dépouille est indispensable pour permettre l'extraction de la pièce du moule.

L'angle de dépouille dépend du polymère et varie entre 0,5 à 2°.

 On utilisera la fonction  Dépouille de Solidworks.



b) Congés

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

 On utilisera la fonction  Congé de Solidworks.


c) Épaisseurs

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

On choisira des conceptions à épaisseur constante.

 On utilisera la fonction  Coque 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  Nervure de Solidworks.

d) 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.

e) 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'usage des éléments et la nécessité de maintenance.

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.

IV. L'injection de la matière plastique

1. Les défauts géométriques des pièces moulés

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

a) 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.

b) 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.

2. Les paramètres d'injections

a) 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 projetée de 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.

b) Refroidissement :

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

Paramètres : temps de solidification.

c) Ouverture:

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

Paramètres : vitesse d'ouverture et course.

d) Ejection :

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

Paramètres : nombre de coups d'éjection et course.

e) Fermeture :

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

Paramètres : vitesse d'ouverture et course.