

Chapitre IV

Les procédés de transformation des caoutchoucs

- **Site** : <https://choucheneslim.wordpress.com/>
- **Article** cours et TP : [10- Procédés de mise en forme des matières plastiques](#)
- **PLAYLIST YOUTUBE « CAOUCHOUCS »** :
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLVdWnPZXu-OhzxJMFzbbQaCt1lxHBbfVi>

Perfectionnement au moulage

1. INTRODUCTION

- Le moulage
- Le matériel de moulage
- Les opérations

2. LES PROCÉDÉS DE MOULAGE

- Les différents procédés de moulage
- Ébauchage
- Les différents types de moulage : moulage par compression, moulage par transfert, moulage par injection

3. LE TEMPS DE VULCANISATION

4. LE RETRAIT

- Principe
- Calcul du retrait

5. Annexe :

- Liaisons chimiques
- Les caouchoucs
 - Le caoutchouc naturel
 - Les caoutchoucs synthétiques
- Les Applications des caoutchoucs

Le moulage

On utilise les techniques de moulage suivantes :

- **Compression ;**
- **Transfert ;**
- **Injection.**



Les procédés de moulage

Il existe plusieurs procédés de moulage qui se différencient principalement par le mode de remplissage des empreintes.

On distingue ainsi le moulage par:

- **Compression** : on ferme le moule sur le mélange préalablement placé en excédant dans l'empreinte.
- **Transfert** : la matière est placée dans une cavité auxiliaire appelée pot et transportée dans l'empreinte par la force même qui ferme le moule.
- **Injection** : le moule et l'empreinte étant fermés, le mélange est injecté par une force auxiliaire

Les trois méthodes recouvrent ce que l'on considère comme un moulage classique.

On peut schématiser les opérations dans les trois types de moulage de la manière suivante:

Phases	Procédés		
	Compression	Transfert	Injection
Remplissage	Placement de l'ébauche Fermeture du moule Fermeture de la presse	Fermeture du moule Pot ouvert Placement de l'ébauche Fermeture du pot Transfert de la matière par fermeture de la presse	Fermeture du moule Injection de la matière
Vulcanisation	Vulcanisation	Vulcanisation	Vulcanisation
Extraction	Ouverture de la presse Ouverture du moule Extraction de la pièce	Ouverture de la presse Ouverture du pot Extraction de la "peau" Ouverture du moule Extraction de la pièce Moule ouvert	Ouverture du moule Extraction-éjection de la pièce Moule ouvert

Le choix entre les trois procédés dépend de nombreux facteurs, mais surtout du nombre de pièces à fabriquer et de la cadence à laquelle elles doivent sortir.

Les procédés de moulage

Les caractéristiques de ces trois procédés, ainsi que les avantages et inconvénients propres à chacun d'eux sont résumées ci après :

1) Ebauchage :

- **Compression** : Souvent complexe et long, pesées exactes.
- **Transfert** : Simple découpe d'une feuille ou d'un jonc, pesées rapides.
- **Injection** : Pas de découpe, pas de pesées.

2) Remplissage du moule :

- **Compression** : Peut être complexe.
- **Transfert** : Simple.
- **Injection** : Totalement mécanisé.

3) Durée de vulcanisation :

- **Compression** : Très variable, la température devant être fonction de la durée des manœuvres.
- **Transfert** : On peut gagner quelques degrés de température, le temps est aussi raccourci par l'échauffement dû au transfert.
- **Injection** : Peut être courte (quelques secondes) en raison de la rapidité du remplissage et des températures élevées ainsi autorisées.

4) Extraction :

- **Compression** : Parfois délicate.
- **Transfert** : Parfois délicate.
- **Injection** : Presque totalement mécanisée.

Les procédés de moulage

Les caractéristiques de ces trois procédés, ainsi que les avantages et inconvénients propres à chacun d'eux sont résumées ci après :

5) Rapport de poids : pièce/ébauche :

- **Compression** : Ebauche 10% plus lourde que la pièce.
- **Transfert** : Très variable, pouvant aller jusqu'à plusieurs fois le poids de la pièce.
- **Injection** : 30 à 10% de déchets suivant les cas.

6) Moules :

- **Compression** : Simples ou compliqués, plus ou moins chers.
- **Transfert** : Plus complexe que les moules à compression, plus chers.
- **Injection** : Complexes et très chers.

7) Production :

- **Compression** : Cadence très variable, permet les petites séries.
- **Transfert** : Comme la compression.
- **Injection** : Grandes séries seulement, cadences élevées.

8) Machines :

- **Compression** : Presses ordinaires, relativement simples.
- **Transfert** : Presses plus ou moins aménagées.
- **Injection** : Presses spéciales et complexes automatisées.

2 L'ébauchage

2.1 Détermination de la forme

On détermine expérimentalement la meilleure forme d'ébauche, c'est-à-dire celle:

- Qui assure la continuité de la fabrication de pièces correctes avec un pourcentage de déchets réduit;
- Dont le coût est le plus faible;
- Qui est la plus facile à placer dans le moule.



2 L'ébauchage

2.1 Détermination de la forme

Quelques règles générales :

- ❑ **La conception de l'ébauche diffère suivant le mode de moulage :**
 - Par injection : Pas d'ébauche ;
 - Par transfert : ébauche de forme très simple (plaque ou cylindre) ;
 - Par compression : la forme de l'ébauche varie avec la forme de la pièce et la construction du moule ; en fait, c'est le seul mode de moulage qui possède des problèmes de confection d'ébauche.

- ❑ **La forme de l'ébauche peut :**
 - Soit s'approcher plus ou moins de la forme de la pièce ;
 - Soit n'avoir aucun rapport avec cette forme, le mélange s'adaptant à la forme de l'empreinte après un fluage très important, à partir d'une masse dont la seule caractéristique est d'avoir le volume suffisant pour que le remplissage puisse s'effectuer.

- ❑ **Dans les moules à empreintes multiples, on peut avoir une ébauche pour chaque empreinte, ou une seule ébauche pour l'ensemble des empreintes.**

- ❑ **D'une façon générale, on peut dire que :**
 - Les pièces plates s'ébauchent à partir de feuilles calandrées ;
 - Les pièces de révolution à partir de profilés extrudés ou de feuilles roulées ;
 - Les pièces épaisses par empilage de feuilles.

2.2 Ebauchage à partir de semi-produits calandrés

Il s'agit de découper:

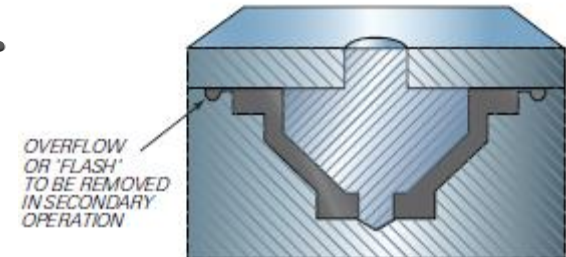
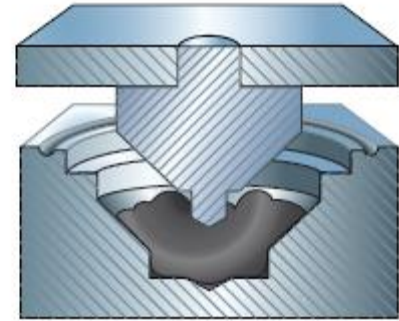
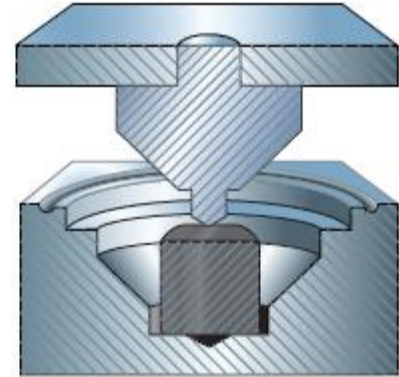
- **Des bandes;**
- **Des plaques (carrées, rectangulaires...);**
- **Des rondelles ou des disques ;**
- **Des pièces de formes diverses ;**

Dans des feuilles calandrées à l'épaisseur voulue.

3. Les différents types de moulage

3.1 Le moulage par compression

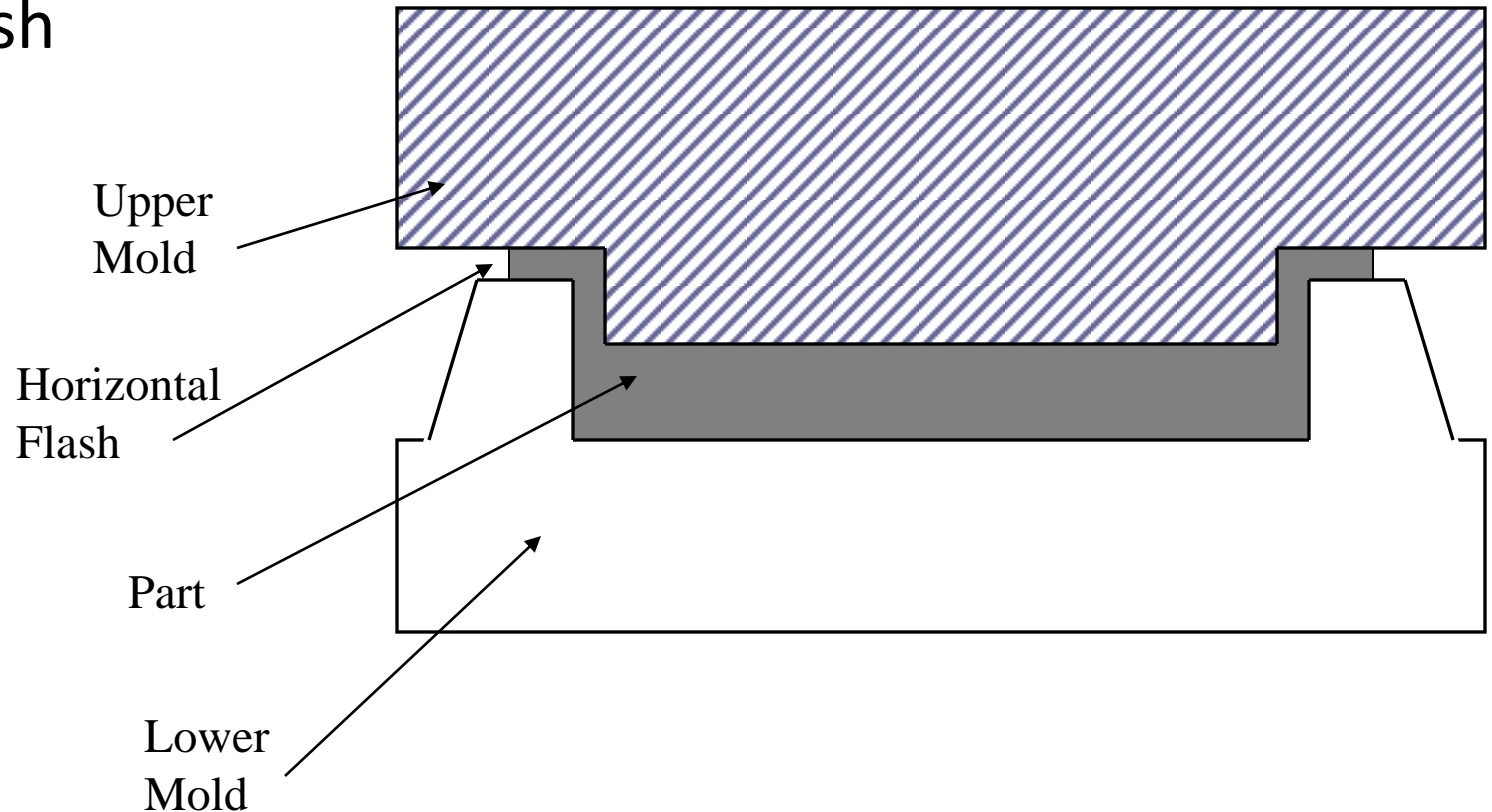
- Le moulage par compression consiste à mettre un morceau pré-coupé de mélange dans un moule à deux pièces.
- On referme les deux pièces, puis on applique une pression qui force le caoutchouc à adhérer à la forme du moule.
- Le mélange excédentaire coule de chaque côté du moule et forme ce qu'on appelle une bavure.



Compression Molding

- Mold closure types

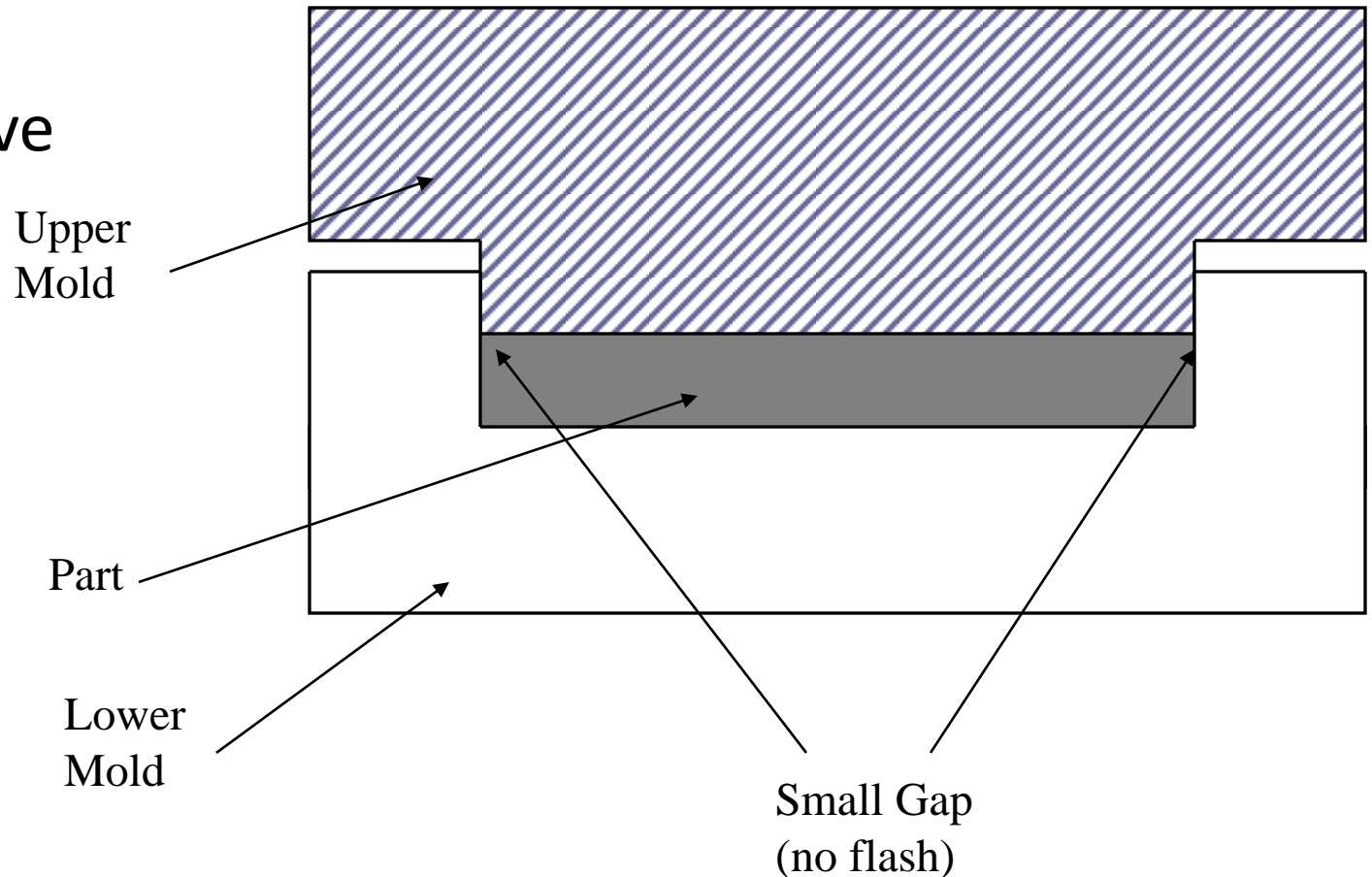
- Flash



Compression Molding

- Mold closure types

- Flash
- Positive

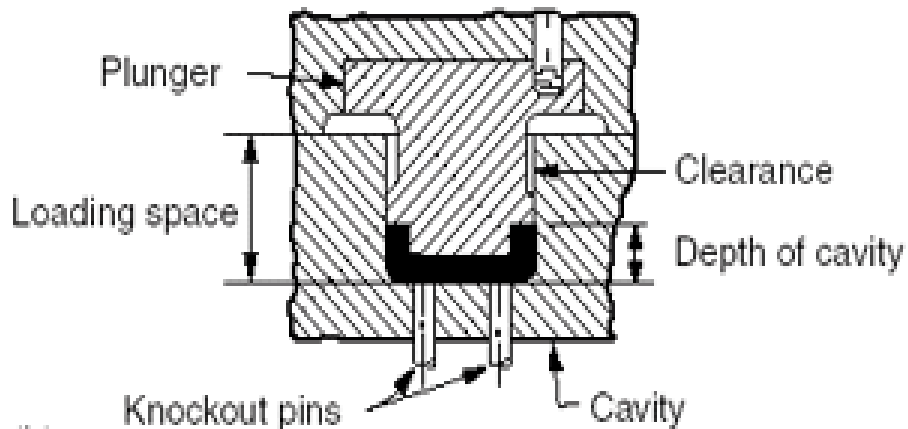


Les procédés de moulage

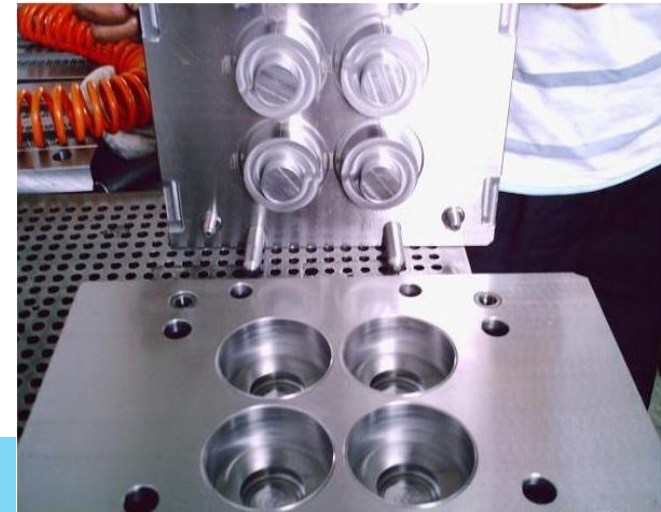
3. Les différents types de moulage

3.1 Le moulage positif ou pistonnant

- La partie supérieure de l'empreinte est usinée dans un piston ;
- Cette technique permet d'obtenir une très forte pression sur le caoutchouc et est recommandée pour mouler les mélanges de viscosité : Soit très faible ou Soit très forte.
- La forte pression permet aux mélanges de forte viscosité de fluer pour épouser la forme de l'empreinte et aux mélanges mous d'éviter d'emprisonner de l'air.
- Dans ce type de moulage, l'évacuation de l'excédent du mélange est pratiquement impossible.
- Il est donc nécessaire de calibrer avec précision les ébauches.



(b) A positive mold. Knockout pins could extend through plunger instead of through cavity



Les procédés de moulage

3. Les différents types de moulage

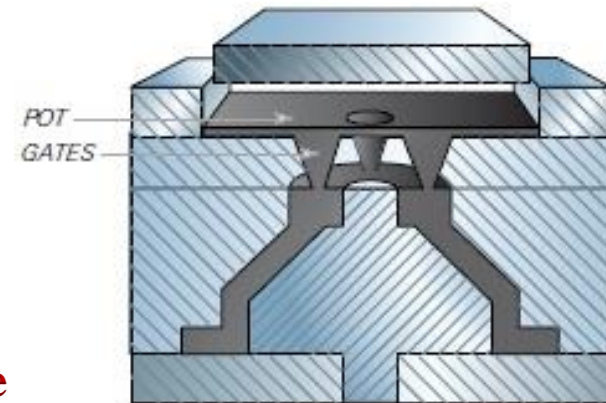
3.2 Le moulage par transfert :

Principe:

- Cette méthode implique le transfert du mélange d'une cavité, où il est stocké à l'état cru, dans les empreintes dans lesquelles il se met en forme et vulcanise.
- Dans le moule transfert schématisé sur la figure suivante, la partie supérieure ou couvercle d'un moule compression a été usinée pour former un réservoir ou un 'pot de transfert' dans lequel est placée manuellement une ébauche de forme simple.
- Un piston ajusté à cette cavité est ajouté à la partie supérieure du moule. Il permet lors de la fermeture de la presse, de comprimer, puis de transférer le mélange du pot vers la ou les empreintes grâce à des buses généralement coniques.
- Après vulcanisation, le moule est ouvert pour extraire l'objet vulcanisé et la nappe dans le pot permettant d'extraire le mélange ayant vulcanisé dans les buses.



Piston sur le couvercle et buses dans le pot



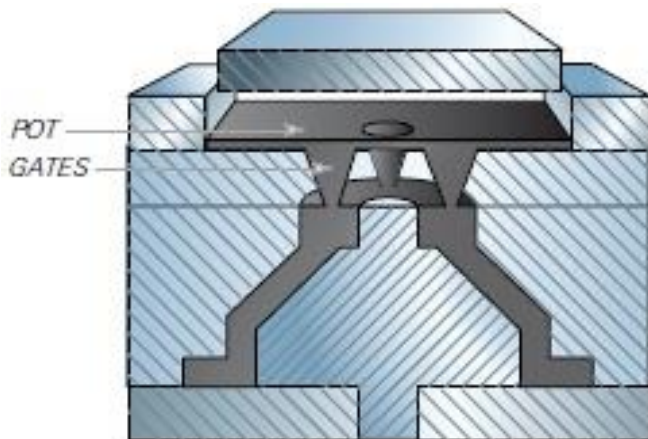
Les procédés de moulage

3. Le moulage par transfert

3.2 Moulage par transfert (transfert simple et injection transfert)

Technique de moulage

- Le remplissage d'une chambre de transfert permet l'injection de mélange dans la (ou les) empreinte (s) d'un moule fermé.
- La chambre peut être alimentée par une ébauche ou directement par une extrudeuse.



Piston sur le couvercle et buses dans le pot

Le moulage par transfert

Quels en sont les avantages

- Pour des pièces de faibles dimensions, la possibilité de **mouler des pièces différentes** dans un même moule avec un nombre d'empreintes maximum pour une surface de plateau déterminée ;
- pour un moule avec plusieurs empreintes, le remplissage simultané des empreintes, d'où une **homogénéisation** de l'état de vulcanisation ;
- la possibilité de mouler **des pièces avec insert** dans des conditions très favorables.

Processus de moulage

Le chauffage du moule ayant été assuré correctement, quelles sont les opérations qu'effectue le mouleur :

1. Ouverture du moule ;
2. Placement de l'ébauche ;
3. Fermeture du moule et introduction du moule dans la presse ;
4. Fermeture de la presse et dégazages éventuels ;
5. Vulcanisation ;
6. Ouverture de la presse quand la durée de vulcanisation est écoulée ;
7. Sortie et ouverture du moule ;
8. Démoulage et extraction de la pièce ;
9. Nettoyage et éventuellement lubrification du moule ;
10. Reprise du cycle de l'opération 2.

LE MOULAGE

Vidéos :

1. [14 07 Moulage par compression 1 ;](#)
2. [14 07 Moulage par compression 2 ;](#)
3. [14 07 Moulage par compression 3 ;](#)

Le retrait

Le retrait

Le principe

- **Le fait de vulcaniser industriellement un mélange à des températures de 140°C à 220° provoque**, après refroidissement, **un retrait dimensionnel** lié à la différence des coefficients de dilatation thermique linéaire respectifs du moule et du matériau à mouler.
- On doit impérativement **tenir compte de ce facteur** lors de la conception du moule, **afin d'obtenir les dimensions finales correctes de la pièce moulée**.
- Dans la pratique, on sépare les objets à mouler selon leur géométrie :
 - D'une part, les **pièces massives** pour lesquelles le **retrait** peut être considéré comme **constant dans les trois dimensions** (hauteur, largeur, profondeur) .
 - Dans ce cas, c'est le retrait volumique qui est pris compte.
 - D'autre part, **les pièces dont une dimension est nettement supérieure** aux deux autres (objets longiligne par exemple)
 - dans ce cas, c'est le **retrait linéaire** selon cette direction qui est seul pris en compte.

- **Le retrait est fonction** de la **nature du mélange**, c'est-à-dire du type de **l'élastomère de base** et de la **dureté** du vulcanisât.
- C'est généralement le laboratoire qui donne les valeurs du retrait sous forme de courbes, des abaques ou tableaux.
- Ce retrait est habituellement déterminé à partir du moulage de pièces de géométrie simple (plaques standard d'essais par exemples).
- **Le retrait est également très sensible à la variation de la Température du moule.**

Le retrait

Un grand nombre d'essais ont permis d'établir une formule permettant de l'évaluer :

$$R\% = T \cdot A \cdot K$$

Dans laquelle :

- **R** est le **retrait**;
- **T** est la **différence** entre la **température de moulage** et la **température ambiante**.
- **A** est la **différence** des coefficients de dilatation thermique du caoutchouc et du matériau constituant le moule;
- **K** est le pourcentage d'élastomère dans la formule

Le retrait

Le **tableau** suivant donne le **coefficient de dilatation thermique** de quelques **matériaux**.

Tableau A
Exemple de coefficients de dilatation linéaire.

Types de caoutchoucs	Coefficient de dilatation linéaire en $10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
NR	216
SBR	216
NBR	196
CR	206 à 216
IIR	194
Charges	5 à 10
Aciers	11
Métaux légers: Aluminium	12

Le retrait

❑ EXEMPLES de calcul du retrait d'un mélange :

- On doit **mouler à 180°C**, dans un moule en **acier**, un mélange dont la **formule** de base est la suivante :

INGREDIENTS	PARTS
SBR	100
ZNO (oxyde de zinc)	5
Acide stéarique	1
N 550	45
Plastifiant	12
Soufre	2,25
CBS	1
Accélérateur DTMT	0,4
Agents protecteurs	2
TOTAL des parts	166,65

Le retrait

□ EXEMPLES de calcul du retrait d'un mélange :

➤ Les paramètres sont alors les suivants :

- $K = (100/166,65) = \underline{0,6}$;
- $A = 216.10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} - 11.10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = \underline{205.10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}$;
- $T = 180 - 20 = \underline{160 \text{ }^\circ\text{C}}$;

→ Le **retrait R%** = $0,6 \cdot 205.10^6 \cdot 160 = \underline{0,0196}$ soit **1,96%**.

➤ La **température du moule et celle de l'ébauche** ont une très **grande influence sur le retrait**,

➤ Ainsi ce même mélange moulé à 140°C donnerait :

- **K** et **A** = idem ;
- $T = 140 - 20 = \underline{120 \text{ }^\circ\text{C}}$;

→ Le **retrait R%** = $0,6 \cdot 205.10^6 \cdot 120 = \underline{1,45\%}$.

□ EXEMPLES de calcul du retrait d'un mélange :

➤ Si de plus, on place **une ébauche préchauffée à 70°C** dans le moule on obtient :

▪ À 140 °C : $T = 140 - 70 = \underline{70} \text{ °C}$;

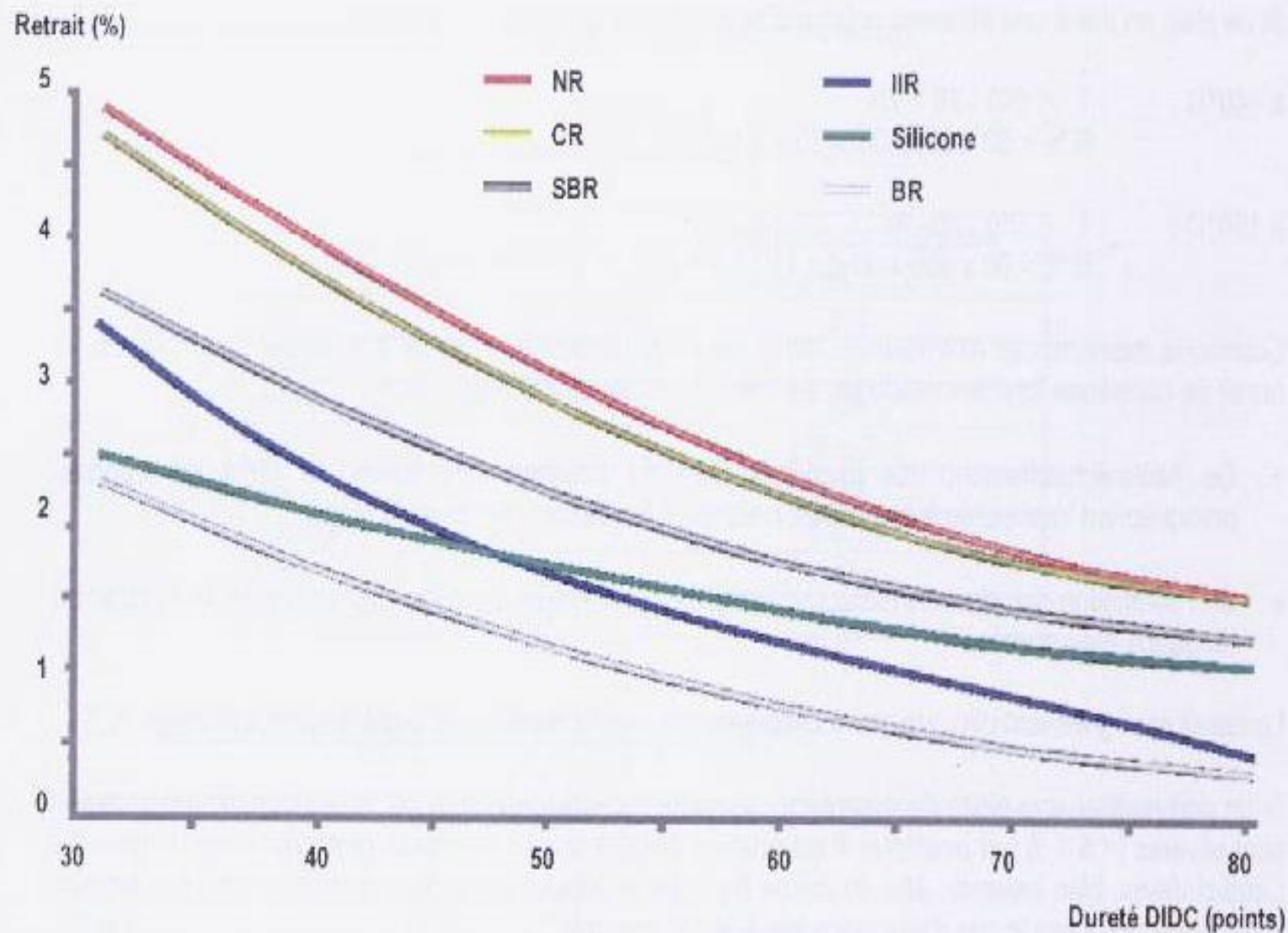
→ Le **retrait R%** = $0,6 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 70 = \underline{0,86\%}$.

- Comme le montre ces exemples, le retrait est un paramètre très délicat à maîtriser. Le problème du retrait se complique lors des moulages par transfert et par injection en raison :
- De l'auto-échauffement très important créé au passage des buses ou dans les canaux, pratiquement impossible à déterminer mais qui a tendance à diminuer le retrait,
 - De l'orientation des chaînes macromoléculaires à leur entrée dans les empreintes qui au contraire a tendance à augmenter,
 - Le retrait est également diminué, voire supprimé, par la présence d'inserts métalliques adhésés.

Le retrait

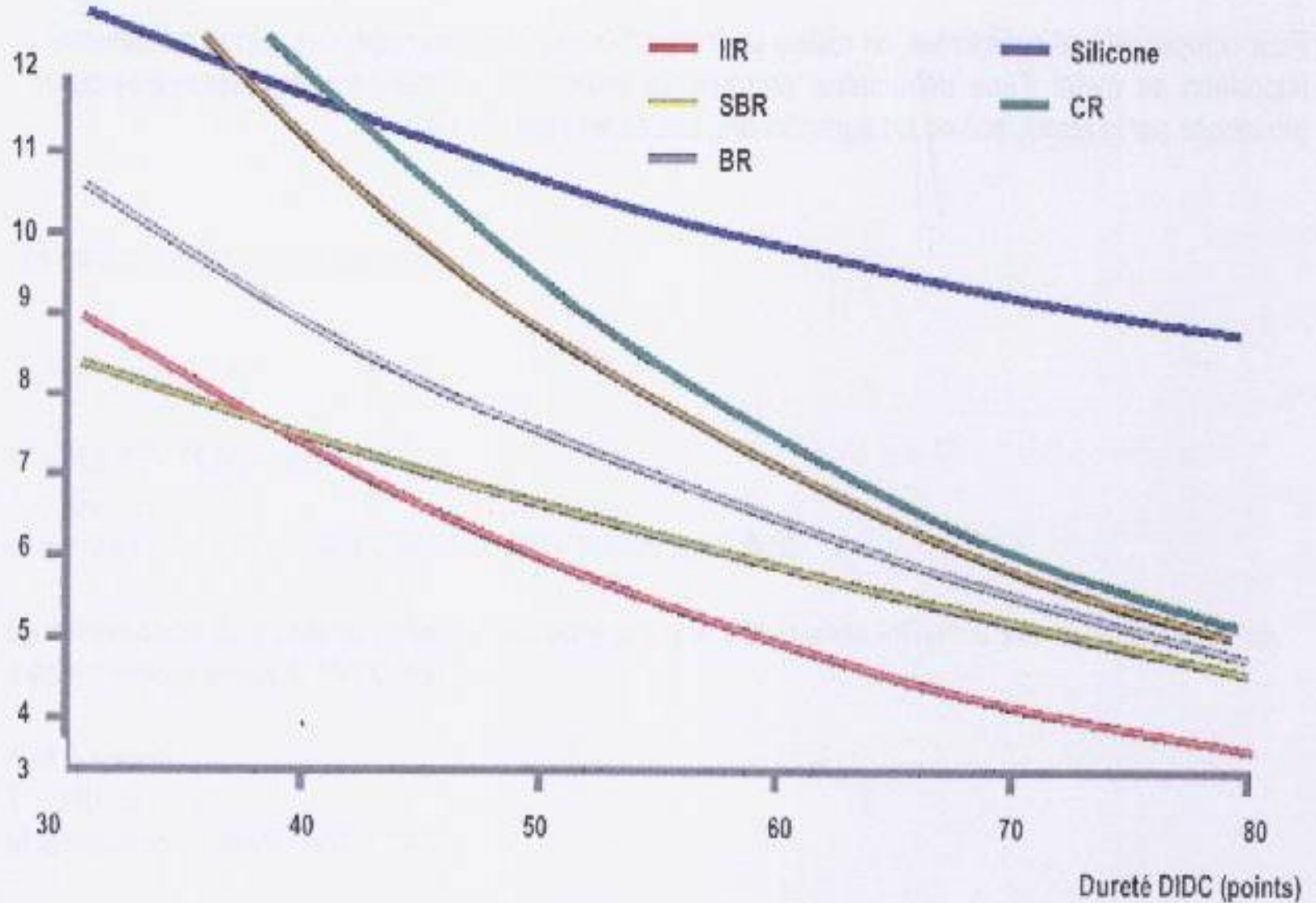
Si on doit réaliser une pièce de géométrie complexe ou une pièce dont les tolérances dimensionnelles sont sévères ($< 1\%$ par exemple), il est prudent de faire réaliser un moule prototype mono-empreinte. Celui-ci devra, bien entendu, être du même type que le moule de production multi-empreintes : moule "proto" injection dans le cas d'une pièce injectée par exemple.

Le retrait



Influence du type d'élastomère et de la dureté du mélange sur son retrait volumique

Le retrait



Influence du type d'élastomère et de la dureté du mélange sur son retrait linéaire

La vulcanisation

Vidéos :

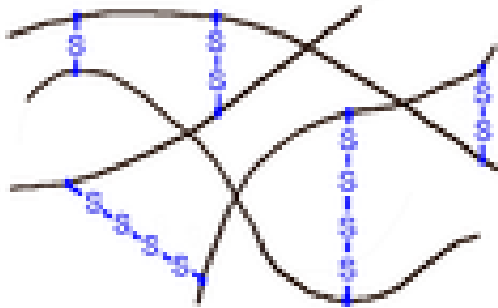
1. [14 05 La vulcanisation 1](#)
2. [14 05 La vulcanisation 2](#)
3. [14 05 La vulcanisation 3](#)

8. La vulcanisation

introduction

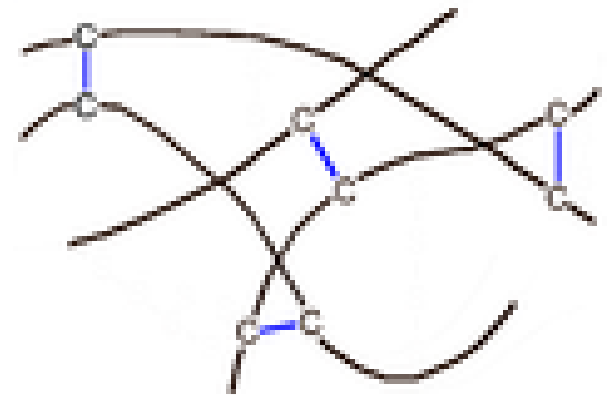
La vulcanisation est l'opération irréversible faisant passer le caoutchouc de son état plastique à l'état élastique

1. Vulcanisation au soufre



Formation de **ponts sulfure** (en bleu) entre les chaînes d'un élastomère insaturé (en noir)

2. Vulcanisation au peroxyde



Formation de **ponts C-C** entre les chaînes d'un élastomère

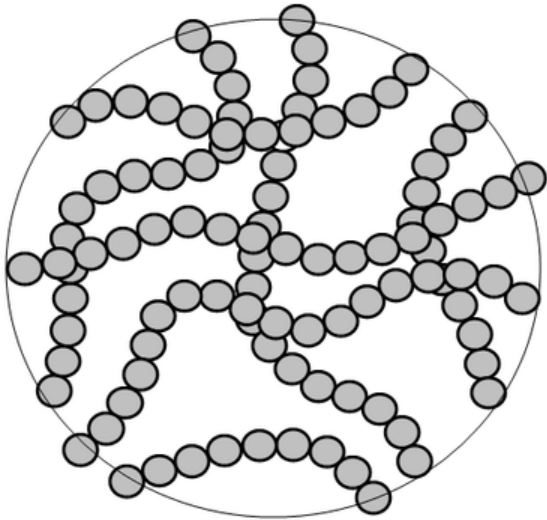
- Le soufre crée des ponts entre les chaînes macromoléculaires pour former un réseau tridimensionnel.
- La réaction du soufre avec le caoutchouc a lieu à des températures supérieures à 1430°C.

ANNEXE

5.1 Liaisons chimiques

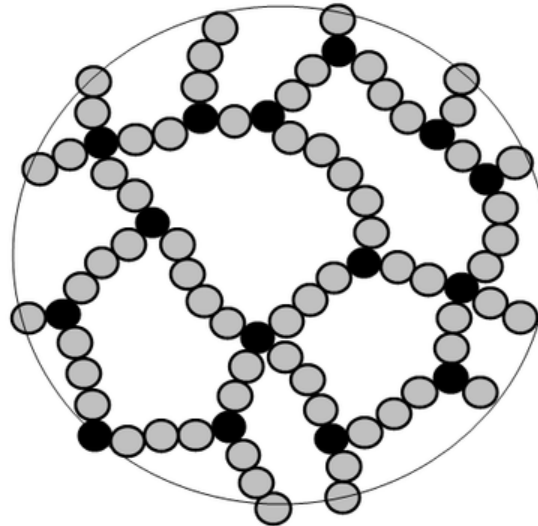
Thermoplastique :

On remarque le faible nombre de liaisons.



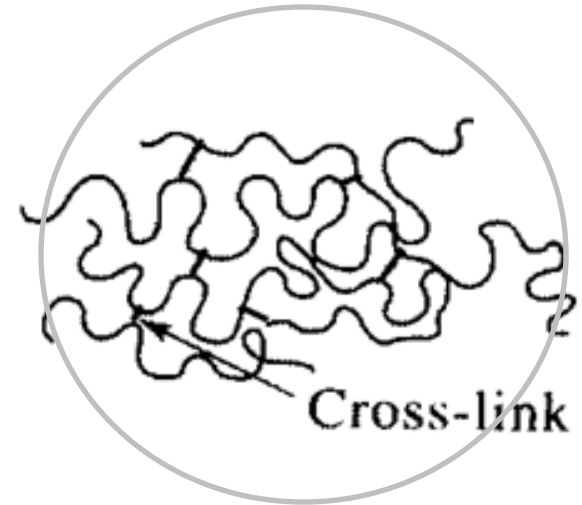
Thermodurcissable :

On remarque le nombre important de liaisons chimiques solides.



Élastomères

On remarque le nombre faible de liaisons chimiques solides.



5.2 Les Élastomères (Rubber)

- Il possède des **propriétés élastique** et supporte de très grandes déformations avant la rupture.
- Il est plus connu sous le nom de caoutchouc.



Naturel

Comme le latex

Ci-contre un hévéas,
arbre à caoutchouc

Synthétique

Comme le SBR

Ci-contre, un pneu
fabriqué en SBR



5.2.1 Le caoutchouc naturel

Le Caoutchouc Naturel (NR*)

Naturellement technique :

- **Excellentes propriétés physiques**
- **Caractéristique élastique**
- **Amortissement, antivibratoire**
- **Étanche à l'eau, à l'air, au gaz, au bruit**
- **Association de matériaux**

Vidéo : Caoutchouc Naturel

5.2.2 Les caoutchoucs synthétiques

Les différentes familles d'élastomères

1. Les caoutchoucs à usages généraux

- ❖ **non résistants** aux **huiles** ;
- ❖ il s'agit du **caoutchouc naturel** (NR) et de **son homologue**, *le polyisoprène de synthèse (IR), des copolymères butadiène-styrène (SBR), des polybutadiènes (BR).*

2. Les caoutchoucs à usages spéciaux

- ❖ présentant en particulier une bonne résistance vis-à-vis des **liquides agressifs** (solvants, acides, bases...) d'une part,
- ❖ ou vis à vis **des huiles et carburants** d'autre part,
- ❖ ainsi qu'un **meilleur comportement à haute température.**

Il s'agit des terpolymères d'éthylène, de propylène et d'un diène (EPDM), des copolymères d'isobutylène et d'isoprène (IIR), des polychloroprènes (CR), et des copolymères butadiène acrylonitrile (NBR).

- ❖ Les caoutchoucs techniques sont d'un **prix plus élevé.**
- ❖ Leur consommation est forcément plus limitée (**1 à 10 % de la consommation totale par famille**).

5.2.2 Les caoutchoucs synthétiques

Les différentes familles d'élastomères


3. Les caoutchoucs à usages très spéciaux,

- ❖ qui présentent le plus souvent d'excellentes **tenues thermiques**
- ❖ et/ou **une inertie chimique remarquable.**

On peut citer les élastomères de silicone, les polyacryliques, les polyépichlorhydrines, les polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés, les élastomères fluorés, les polyuréthannes.

- ❖ Cette catégorie représente environ **5% de la consommation totale.**
- ❖ Les caoutchoucs de spécialité sont d'un **prix élevé.**

Les caoutchoucs (formule chimique)

Caoutchouc naturel Polyisoprène	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \cdots \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} \cdots \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x$	NR IR
Polybutadiène	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \cdots \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} \cdots \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x$	BR
Butadiène-styrene	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \cdots \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} \cdots \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$ 	SBR
Isobutène-Isoprène ("caoutchouc butyle")	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \cdots \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} \cdots \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x$	IIR

Autres :

Ethylène-Propylène-Diène Monomère

Polychloroprène

Butadiène-acrylonitrile

EPDM

CR

NBR

Pour plus d'informations sur :
Les Applications des caoutchoucs
(à partir du diapo 36)

Vidéos :

1. **14 01 Présentation générale Applications du caoutchouc**

fin