

| | | |
|----------|---|---------|
| 9.1. | Définition | 298 |
| 9.2. | Additifs aux résines | 300 |
| 9.3. | Matières plastiques d'origine animale et végétale | 304 |
| 9.3.1. | La galalithe | 304 |
| 9.3.2. | Le celluloid, l'acétate de cellulose | 304 |
| 9.4. | Les caoutchoucs | 306 |
| 9.4.1. | Caoutchouc naturel | 306 |
| 9.4.2. | Caoutchouc synthétique | 306 |
| 9.5. | Principaux duroplastés | 307 |
| 9.5.1. | Les résines phénoplastes | 309 |
| 9.5.2. | Les résines aminoplastes | 309 |
| 9.5.3. | Les résines mélamine-formol | 309 |
| 9.5.4. | Résines époxydes | 309 |
| 9.5.5. | Les silicones | 309 |
| 9.6. | Les stratifiés | 310 |
| 9.6.1. | Définition | 310 |
| 9.6.2. | Constitution | 310 |
| 9.6.3. | Présentation | 310 |
| 9.6.4. | Procédés de fabrication | 310 |
| 9.6.4.1. | Moulage à haute pression | 310 |
| 9.6.4.2. | Moulage à basse pression | 310 |
| 9.6.5. | Propriétés | 310 |
| 9.6.6. | Usinage | 310 |
| 9.6.7. | Vernissage | 311 |
| 9.7. | Mise en forme des duroplastés | 312 |
| 9.7.1. | Moulage par compression | 312 |
| 9.7.2. | Moulage par transfert | 316 |
| 9.8. | Les thermoplastés | 319 |
| 9.8.1. | Polychlorure de vinyle PVC | 322 |
| 9.8.2. | Le polystyrène | 322 |
| 9.8.3. | Les polyoléfines | 324 |
| 9.8.4. | Les polyacétals | 324 |
| 9.8.5. | Les résines polyacryliques | 325 |
| 9.8.6. | Les polyamides | 325 |
| 9.8.7. | Le rilsan | 325 |
| 9.8.8. | Le polytétrafluoréthylène | 326 |
| 9.9. | Mise en forme des thermoplastés | 326 |
| 9.9.1. | Moulage par injection | 326 |
| 9.9.2. | Extrusion | 330 |
| 9.9.3. | Fabrication de feuilles par soufflage | 331 |
| 9.9.4. | Soufflage de corps creux | 332 |
| 9.9.5. | Fabrication de feuilles par calendrage | 333 |
| 9.9.6. | Formage sous vide ou par soufflage | 334 |
| 9.10. | Soudage des thermoplastés | 335 |
| 9.10.1. | Soudage au miroir | 336 |
| 9.11. | Les plastiques expansés | 338 |
| 9.12. | Collage des matières plastiques | 339 |
| | Propriétés de matières plastiques (Tableaux) | 340-341 |

9. 1. Définition

On nomme matières plastiques certains produits chimiques dont les composants de base sont des résines. Ces résines contiennent toutes du carbone et dérivent des ressources naturelles, telles que charbon, cellulose, pétrole, air, sel marin, substances grasses, etc. Les résines ont la propriété commune de se ramollir à chaud avec ou sans pression; cette propriété, très importante lors de la mise en forme, permet de classer les matières plastiques en deux groupes:

1. Duroplastés D

Sous l'effet de la chaleur, lors de la mise en forme, les matières thermodurcissables passent par une phase pâteuse, puis se solidifient. Le processus est irréversible.

2. Thermoplastés T

Par contre, les matières thermoplastiques se ramollissent à la chaleur, se durcissent au refroidissement. L'opération peut se répéter au risque d'une certaine dégradation de la matière. Le processus est donc réversible.

La macromolécule

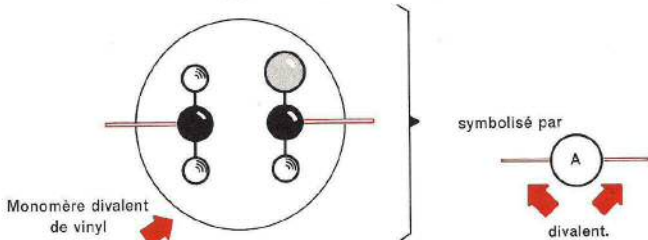
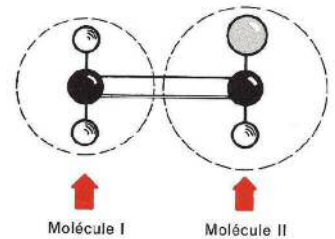
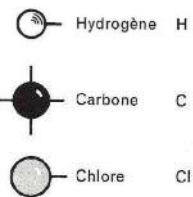
Du point de vue chimique, les résines se schématisent par des molécules géantes dites **macromolécules**, formées de longues chaînes d'atomes. Par exemple, la cellulose, principal composant des végétaux, se compose d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène qui s'assemblent en macromolécules linéaires. Ces chaînes s'unissent à leur tour pour former des fibres. Les macromolécules sont obtenues synthétiquement (artificiellement) par les deux réactions ci-contre qu'on désigne sous le terme général de **polymérisation**.

Mécanisme de formation des monomères et des macromolécules

a) Les monomères sont des groupes de molécules.

Exemple: monomère divalent de vinyle

Atomes:



b) Ces monomères identiques divalents s'associent en grand nombre pour former une macromolécule

appelée dans ce cas **polymère linéaire**.

c) Deux types de monomères différents et divalents **A** et **B** s'associent en grand nombre pour former une macromolécule

appelées **copolymères linéaires**.

Toutes les formations linéaires sont des **résines thermoplastiques**.

La polycondensation

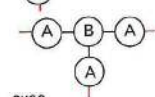
L'élimination d'un résidu de réaction (le plus souvent de l'eau) entre molécules identiques ou différentes caractérise la polycondensation. Son mécanisme de formation peut se schématiser comme suit:

1. L'association des monomères **A** divalent et **B** trivalent donne un premier maillon



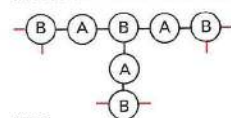
- avec
- 1 liaison libre en A
- 2 liaisons libres en B

2. L'association de trois monomères **A** avec les trois liaisons libres de **B** conduit à la structure suivante:



avec 3 liaisons libres pour les **A**

3. Enfin l'association de monomères **B** avec les liaisons libres des **A** aboutit au réseau ci-dessous



avec 6 liaisons libres pour les **B**

Ces molécules géantes tridimensionnelles caractérisent les **résines thermodurcissables**.

La répétition du motif structural dans la macromolécule s'appelle l'**indice de polymérisation**; il peut varier de quelques milliers au million, tandis que l'**indice de polycondensation** ne se situe qu'entre quelques centaines et quelques milliers.

Les polycondensats sont thermoplastiques quand ils sont linéaires (tels les polyamides: nylon). Les polycondensats sont thermodurcissables quand ils sont tridimensionnels (tels les crésols-formols: Bakélite®).

La polyaddition

Le durcissement des résines s'obtient par des réactions d'addition de petites molécules (durcisseur) à la résine (époxyde) sans aucune élimination de substance au cours de la réaction. Voir tableau récapitulatif page 302-303.

9. 2. Additifs aux résines

On ajoute généralement aux résines les corps suivants:

a) **Les charges**: en faible proportion dans les thermoplastés, en plus grande quantité dans les duroplastés. Ces charges sont le plus souvent ajoutées pour abaisser le prix de revient de la matière plastique. Elles peuvent également contribuer à l'amélioration de certaines caractéristiques.

La résistance mécanique est améliorée par des charges fibreuses: fragments de tissu, fils, fibres végétales, farine de bois, etc. La résistance à la chaleur est augmentée par différents produits minéraux: amiante, fibre de verre, ardoise, etc. La résistance électrique, par l'adjonction de mica, de silice, etc.

b) **Les plastifiants**: substances de très faible volatilité, qu'on ajoute en vue de modifier les propriétés plastiques ou élastiques de la matière (8 à 15%), tels le camphre pour le celluloid, les huiles et phtalates pour le chlorure de polyvinyle PVC, etc. Selon la quantité de plastifiant, on obtient des qualités dure, mi-dure, ou souple.

c) **Les stabilisants**: matières ajoutées (1 à 5%) pour éviter la détérioration de la matière plastique sous l'effet de divers agents nocifs tels que l'action de la chaleur, de l'oxygène ou des rayons ultraviolets. Les stabilisants les plus courants sont: des dérivés de l'étain ou des composés de baryum, de cadmium ou de plomb.

d) **Les colorants**: pigments organiques ou minéraux (non solubles) ou colorants solubles, ces derniers étant utilisés généralement pour les coloris transparents. Parmi les plus connus, citons: les pigments blancs: sulfate de baryte, craie, talc, blanc de titane; pigments noirs: noir de fumée et graphite; pigment jaune: jaune de chrome; pigments bruns: minium d'alumine, rouge d'Angleterre; pigments rouges: minium de plomb et rouge de cadmium; pigment vert: vert oxyde de chrome; pigment gris: ardoise en poudre; pigments métalliques: or, argent, aluminium, etc.

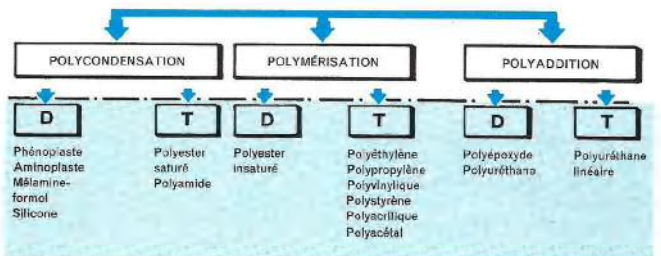
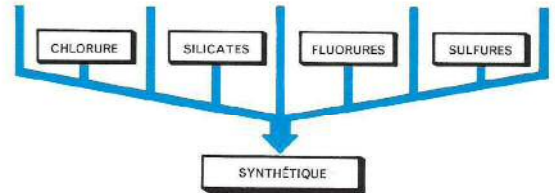
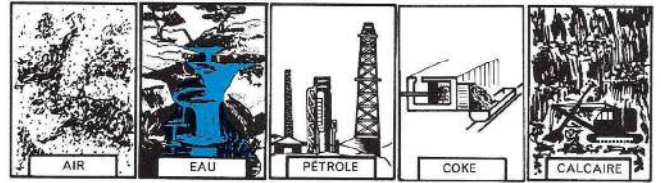
e) **Accélérateurs**: activent la polycondensation des duroplastes; ce sont des bases, des oxydes, des acides, des sels (1 à 8%).

f) **Inhibiteurs**: retardent la polycondensation.

g) **Adjuvants divers**: désodorisants, antistatiques, lubrifiants, agents moussants, fongicides (contre les moisissures).

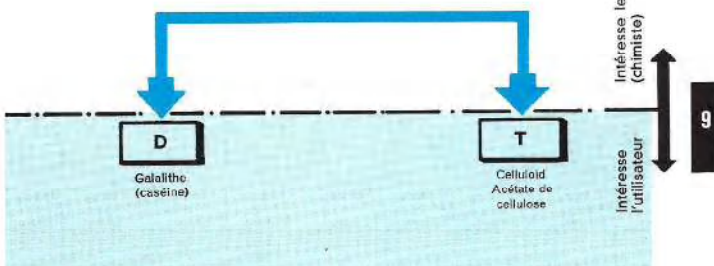
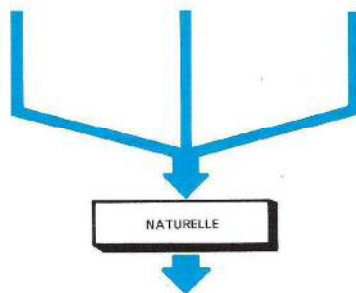
h) **Les solvants**: utilisés pour conférer à la résine une mobilité temporaire permettant la transformation par filage (alcool, éther).

Origine minérale



9

Origine animale et végétale



9

9. 3. Matières plastiques d'origine animale et végétale

Les premières matières plastiques apparues sur le marché furent des produits tirés de la caséine (albumine du lait) ou de la cellulose.

9. 3. 1. La galalithe

On donne le nom de galalithe aux matières à base de caséine. La caséine est séparée du petit-lait par coagulation (le lait en contient 3%). Les opérations successives de séchage, d'addition de colorants, de charges, de solvants, suivies d'un malaxage, confèrent à la caséine une certaine plasticité. La mise en forme se fait par les procédés courants: la presse pour les plaques, la machine à extruder pour l'obtention des joncs, des tubes et des profils. Ces opérations sont suivies d'un durcissement de la matière par immersion des pièces dans un bain de formol.

Utilisation: Ustensiles de ménage, ornements, bijoux; les colles à base de caséine sont également très répandues.

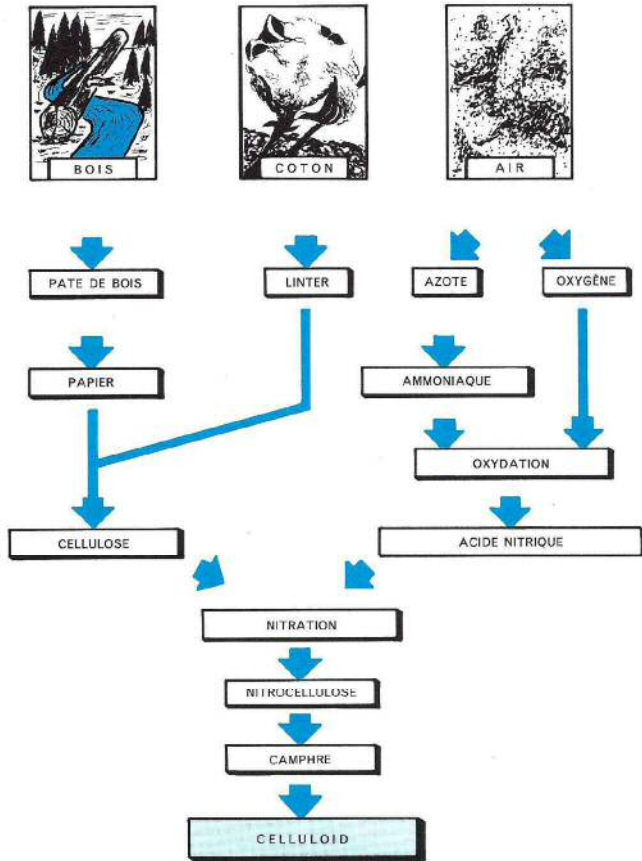
9. 3. 2. Le celluloïd, l'acétate de cellulose

La cellulose est extraite de végétaux tels que le bois et le coton; dans ce dernier, elle se trouve presque à l'état pur.

En traitant par voie chimique cette cellulose avec de l'acide nitrique, on obtient un nitrate de cellulose qui, additionné d'un plastifiant (camphre), s'appelle celluloïd. Sa grande inflammabilité, qui a produit de graves accidents, en a fortement diminué l'emploi (voir tableau).

Pour pallier ce grave défaut, l'acide nitrique est remplacé par de l'acide acétique. L'acétate de cellulose ainsi obtenu est une matière pratiquement ininflammable, parfaitement limpide, d'une belle surface brillante, qui laisse passer les rayons ultraviolets et qu'on peut facilement colorer. Il se prête très bien au soufflage, au pressage, à l'étrépage ou à l'extrudage (boudinage) en joncs, en profils et en tuyaux.

Fabrication du celluloid



9

9. 5. Principaux duroplastes

Les résines de condensation

Un duroplaste sous l'action de la chaleur et en présence d'un catalyseur devient stable. Cette transformation intervient en trois phases:

Etat A: le produit à condenser est liquide, semblable à une résine naturelle, c'est un **monomère soluble** dans l'alcool et l'acétone.

Etat B: Sous l'action d'un catalyseur, la polycondensation apparaît; la matière est prête à être moulée. La solubilité a fortement diminué.

En augmentant le degré de polycondensation, la durée de compression lors de la mise en forme est fortement réduite.

Etat C: la condensation complète apparaît lors du moulage par compression, sous l'effet de la chaleur et de la pression. Produit fini: dur, **insoluble**, infusible.

Les duroplastes sont surtout employés pour le moulage. La matière plastique est introduite sous forme de poudre dans un moule (état B), puis simultanément comprimée et chauffée à environ 170° C; cette opération combinée la rend pendant un instant plastique; le durcissement ne progresse que lentement (environ une minute par millimètre d'épaisseur de paroi).

La pièce terminée présente les caractéristiques suivantes: bonne résistance à la chaleur, haute résistance électrique, insolubilité.

Par contre, la matière thermodurcissable avant cuisson (état A) se laisse dissoudre par la plupart des solvants à part l'eau, d'où son emploi courant pour la fabrication des produits d'imprégnation, des laques, des stratifiés, des isolants électriques (micafil), etc. La fabrication des différents duroplastes peut se résumer par le schéma suivant:

9

9. 4. Les caoutchoucs

9. 4. 1. Caoutchouc naturel

La préparation du caoutchouc naturel se fait à partir du latex végétal, matière tirée surtout de l'hévéa du Brésil. Le latex que l'on obtient par incision opérée sur le tronc de l'arbre subit un affinage qui le débarrasse de son eau et de ses impuretés. Le caoutchouc est constitué de chaînes linéaires (macromolécules, hydrocarbures) présentant des doubles liaisons; par vulcanisation à chaud, au moyen du soufre, on crée des liaisons transversales entre les chaînes linéaires, ce qui confère à la matière une certaine rigidité.

Si l'on augmente le pourcentage de soufre, on obtient une vulcanisation plus poussée et par là un produit de plus en plus rigide, mais par contre plus fragile; c'est l'ébonite.

Cette matière, livrée généralement en joncs et en plaques, permet de confectionner par usinage les objets les plus divers, tels que peignes, porte-mines, pièces pour le matériel électrique, etc. Le caoutchouc peut être travaillé à la presse, à la calandre et à l'extrudeuse.

9. 4. 2. Caoutchouc synthétique - Elastomère

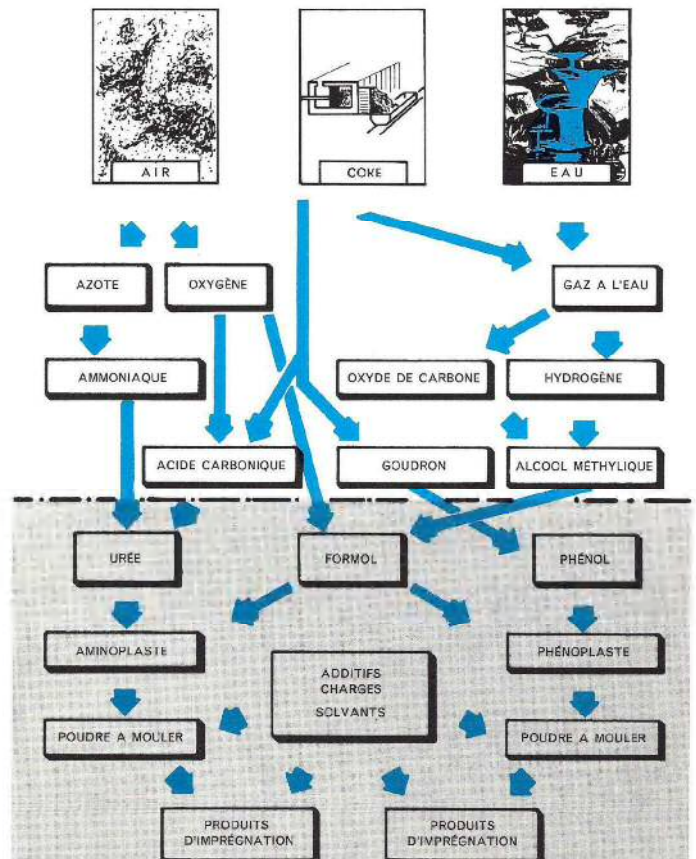
La situation particulière des plantations d'hévéas a obligé les fabricants de caoutchouc, durant les deux dernières guerres, à créer des produits de remplacement, qui se sont révélés sur bien des points supérieurs au caoutchouc naturel. Les polymères et copolymères synthétiques les plus courants sont le polychloroprène (néoprène), le caoutchouc butyle, le caoutchouc styrène butadiène, le caoutchouc butadiène acrylonitrile.

Résistance comparée des caoutchoucs

| Matière caoutchouc | à l'huile minérale | au froid | à la flamme | à la chaleur | à l'abrasion | au vieillissement | à l'eau |
|-------------------------|--------------------|----------|-------------|--------------|--------------|-------------------|---------|
| naturel | × | ○ | × | ■ | ● | ★ | ★ |
| styrène butadiène | × | ★ | × | ★ | ★ | ★ | ■ |
| butadiène acrylonitrile | ○ | ★ | × | ○ | ○ | ★ | ○ |
| polychloroprène | ● | ★ | ★ | ○ | ● | ● | ● |
| butyle | ★ | ★ | × | ★ | ★ | ★ | ○ |

● Excellent ○ Très bon ★ Bon × Moyen ■ Faible

Fabrication des duroplastes D



9

Les duroplastes les plus courants sont:

9. 5. 1. Les résines phénoplastes (Bakélite)®

La résine de base est un condensat de phénol et de formol.

Les poudres à mouler phénoplastes permettent d'obtenir des objets qui ont d'excellentes qualités mécaniques, physiques, chimiques et électriques (sauf en très hautes fréquences). Utilisées avant tout pour les applications industrielles.

Inconvénients: produits de teintes foncées, dégageant une odeur de phénol.

9. 5. 2. Les résines aminoplastes (Pollopas)®

La résine de base est un condensat urée-formol absolument incolore.

Même genre que les phénoplastes, mais moins bonne que ces dernières, tant au point de vue mécanique qu'électrique.

Avantages: possibilité d'obtenir par moulage des objets translucides ou opaques, de teintes vives et tendres et d'une excellente stabilité à la lumière. Les objets moulés en aminoplaste ne présentent aucun goût ni aucune odeur et sont ininflammables. Ils sont peu fragiles et résistent bien à l'eau froide et chaude. Ils présentent également une bonne résistance aux huiles, aux graisses, aux savons et aux alcools.

9. 5. 3. Les résines mélamine-formol (CIBA)®

A base d'une sorte particulière d'urée et de formol. Plus difficiles à mouler que les phénoplastes et les aminoplastes. Possèdent de bonnes qualités électriques, notamment une excellente résistance aux arcs électriques; résistance à la chaleur, sans goût ni odeur.

9. 5. 4. Résines époxydes (Araldite® et polyester)

Les résines époxydes et les polyesters

sont transformés en résines solides, dures et infusibles par l'action de corps polyfonctionnels appelés durcisseurs. Ces durcisseurs réagissent avec ces résines pour donner des composés à liaisons tridimensionnelles rigides.

9. 5. 5. Les silicones

Les éléments principaux entrant dans la fabrication des silicones sont: le silicium Si et le chlore Cl, corps tirés des matières courantes, soit le sable SiO₂ quartz, le sel de cuisine NaCl. Selon le degré de polymérisation, nous obtenons par exemple, pour une chaîne contenant une dizaine d'atomes de silicium, une huile aux caractéristiques suivantes: un indice de viscosité ne variant que de 7 pour des températures de -40° à +40° C, tandis que l'huile minérale, dans les mêmes conditions, subit une variation d'indice de 1800. Poussons la polymérisation à 2000 et plus d'atomes de silicium dans la chaîne de silicone, nous aurons une matière élastique, genre caoutchouc, ou un corps solide aux particularités suivantes: bon isolant électrique résistant aux agents chimiques, mais avant tout cette matière supporte des variations de température allant de -60° à +360° C, de même que les graisses à base de silicone maintiennent leur consistance jusqu'à des températures de +200° C.

Usages particuliers des silicones: isolation des moteurs électriques fortement surchargés, produit antimoussant employé dans la fabrication des laques.

Sa nature non hygroscopique est utilisée dans l'imprégnation et le recouvrement du bois, des tissus. Les fluides à base de silicone sont aussi d'excellents agents de démoulage pour les plastiques organiques, particulièrement utiles pour le moulage par injection.

9. 6. Les stratifiés (plastiques renforcés)

9. 6. 1. Définition

Les stratifiés sont des corps constitués de lamelles ou de nappes élémentaires (supports) empilées ou enroulées et liées entre elles par des résines duroplastiques.

9. 6. 2. Constitution

- Support: Papier (cellulose)
Tissu de coton
Papier d'amiante
Tissu d'amiante
Bois
Feuilles de mica (splittings)
Feutre de mica
Mats de verre
Tissus de verre

- Liant: Gomme laque
Résines phénoliques
Aminoplastes
Polyesters non saturés
Epoxydes

9. 6. 3. Présentation

Plaques, tubes, cylindres ou pièces moulées en forme (formes simples).

9. 6. 4. Procédés de fabrication

9. 6. 4. 1. Moulage à haute pression (Phénoliques, aminoplastes, en partie époxydes)

Préimprégnation du support avec résine en solution, et prépolymérisation. Pressage ou enroulage avec pression (150 à 400 bars) et température (150 à 200° C).

Durcissement dans la presse ou en étuve sous température pendant une à huit heures.

9. 6. 4. 2. Moulage à basse pression (Polyester, époxydes)

Sous presse: support préimprégné humide
résine répartie sur le support au moment du pressage.

Sur forme: (moulage par contact) support enduit de résine couche après couche au pinceau.

Procédés du tapis ou du sac de caoutchouc (imprégnation sous vide).

Procédés de la presse à chapeau ou du ballon de caoutchouc avec fluide sous pression.

Imprégnation par vide et pression dans un moule.

9. 6. 5. Propriétés

Les matériaux stratifiés sont anisotropes, c'est-à-dire que leurs propriétés dépendent fortement du sens des contraintes.

L'anisotropie des stratifiés est fonction du type de supports employés.

9. 6. 6. Usinage

Les stratifiés se laissent facilement usiner, mais exigent certaines précautions:

Outils de métal dur, bien affûtés avec angle d'attaque aigu (comme pour le bois).

Grandes vitesses de coupe.

1. Echauffement des pièces et des outils.
2. Délamellage (arrachage des couches).
3. Poussière (spécialement pour le verre).



9

9. 6. 7. Vernissage

Par un vernis de surface, à l'huile ou synthétique, les pièces stratifiées et spécialement les parties usinées sont protégées contre:

les poussières (surface lisse),

les chocs (surface dure),
l'imprégnation d'eau (sans l'empêcher).

Les vernis glycérophtaliques favorisent la formation de gouttes d'eau séparées, contrariant l'apparition d'un film continu conducteur.

9. 7. Mise en forme des duroplastés D

9. 7. 1. Moulage par compression

La poudre à mouler est introduite chaude dans le moule (état B), pour diminuer la durée du cycle de moulage. La matière est préchauffée, soit dans une étuve, soit entre les plaques d'un four à haute fréquence, la poudre formant le diélectrique (échauffement par perte diélectrique). Fig. 9-1.

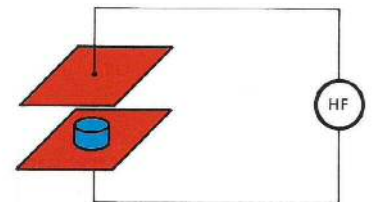


Fig. 9-1.

Pour diminuer le volume de la chambre de chargement, il est indiqué de pastiller ou préformer la poudre à mouler. Fig. 9-2.

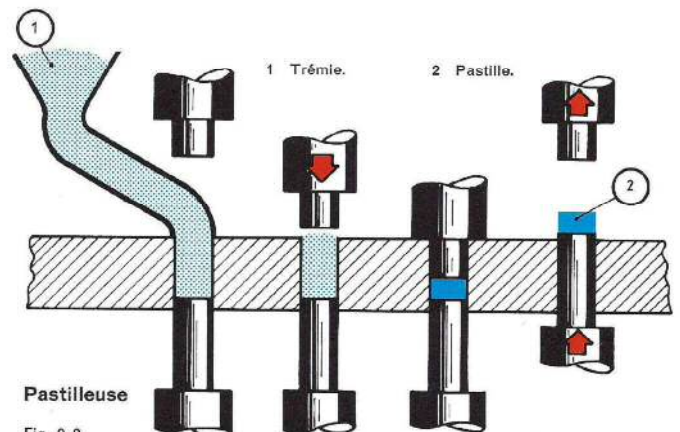


Fig. 9-2.

9

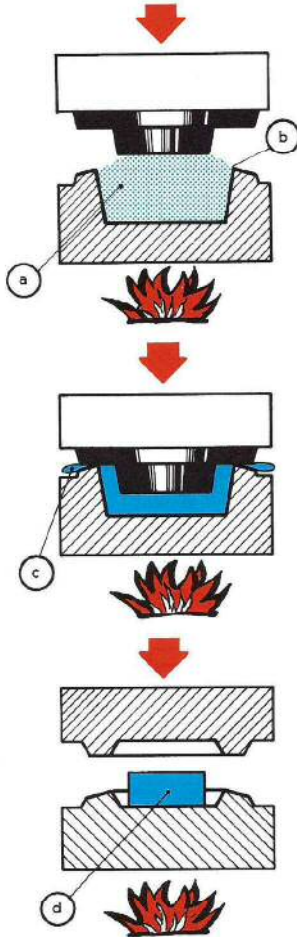
Propriétés des stratifiés

| Produits | Avantages | Désavantages |
|------------------------------------|---|---|
| Papier phénolique | Bonne qualité électrique, faible teneur en résine, bon marché | Absorption élevée d'humidité |
| Tissu, coton imprégné (phénolique) | Bonne résistance mécanique dans le sens des fibres, faible coefficient de glissement | Délamellage (séparation des couches) |
| Amiante phénolique | Résiste à des températures élevées (130° C) | Propriétés mécanique et électrique moyenne à faible |
| Verre polyester | Polymérisé à froid, donc fabrication facile, bonnes propriétés mécaniques, résiste à l'humidité | |
| Verre époxyde | Bonnes qualités électrique et mécanique, résistance thermique élevée (suivant les résines), bon comportement à l'humidité | |

Moule à couteau

Ce moule, très simple, évite souvent l'emploi d'éjecteurs; par contre, la pression est difficilement contrôlable; les pièces peu précises doivent être retouchées pour éliminer la bavure; usure rapide des couteaux.

- a) Chambre de charge
- b) Couteau
- c) Bavure à éliminer



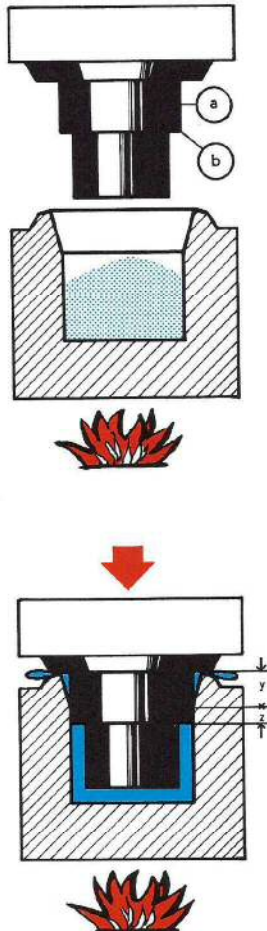
Lorsque la chambre de charge présente un volume trop faible, on a recourt au pastillage.

- d) Pastille

Moule semi-positif

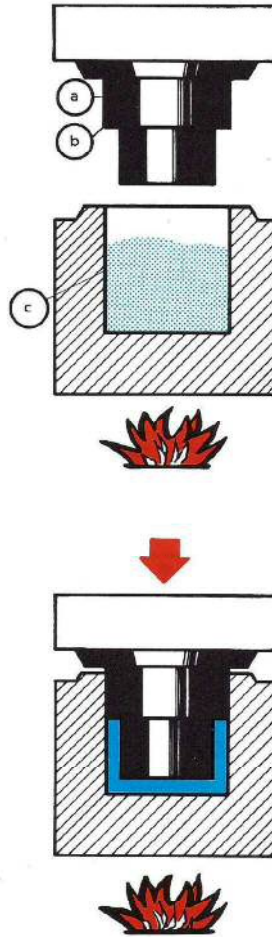
Il est un compromis entre le moule à couteau et le moule positif.

La partie cylindrique (a) du piston ne ferme entièrement l'empreinte qu'en fin de course; cela suffit pour obtenir une bonne compression de la matière. Quand l'arête (b) parcourt la trajectoire y, la matière en excès ainsi que l'air peuvent s'échapper, comme dans le moule à couteau; par contre, en fin de course (trajectoire z), le moule travaille comme un moule positif.



Moule positif

La partie cylindrique (a) du piston est ajustée dans l'empreinte (c). L'arête (b) arrive au contact de celle-ci avant que la poudre ne puisse s'échapper. Toute la matière participe donc à la formation de la pièce moulée et supporte intégralement l'effort de compression fourni par la presse. L'ajustage du piston dans l'empreinte, du fait de la température de moulage et de la présence de poudre à tendance abrasive, rend délicat le fonctionnement de ce type de moule (risque de grippage). Son ouverture difficile et son usure rapide limitent son champ d'application.



9. 7. 2. Moulage par transfert

Ce procédé permet de réaliser à une grande cadence des pièces en D; il est semblable au procédé de l'injection des T, mais le moule est chauffé en permanence afin d'obtenir un durcissement de la matière (polycondensation).

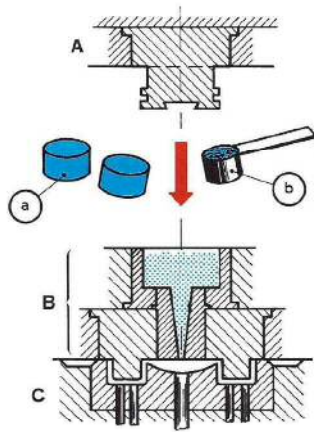
Cette technique s'applique couramment lors de l'exécution de grandes séries de pièces précises, aux parois minces et compliquées; ce procédé garantit une grande homogénéité de la matière.

Par contre, le coût élevé du moule, les risques de grippage du piston, les pertes de matière (carottes) et l'énergie nécessaire, beaucoup plus élevée que pour le moulage normal par compression, limitent ce procédé.

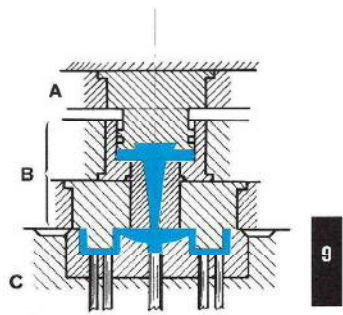
A titre comparatif, quelques conditions de moulage des D: en compression, un phénoplaste se moule entre 200 et 600 bars sous une température de 140° à 200° C. Par contre, la pression peut atteindre 1500 bars et la température oscille entre 135° et 175° en appliquant la méthode transfert.

Fonctionnement du moule transfert

La matière à mouler est introduite dans la chambre de charge, sous forme de pastilles (a) ou de poudre (granulés) (b).



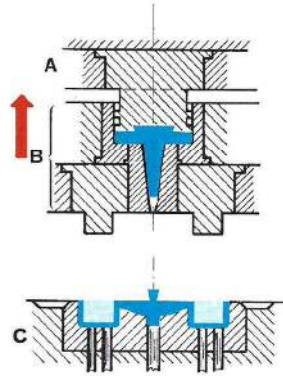
Le moule est refermé, le piston chasse et comprime la poudre dans l'empreinte durant la fermeture.



9

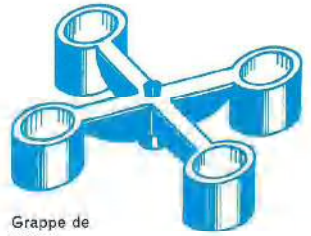
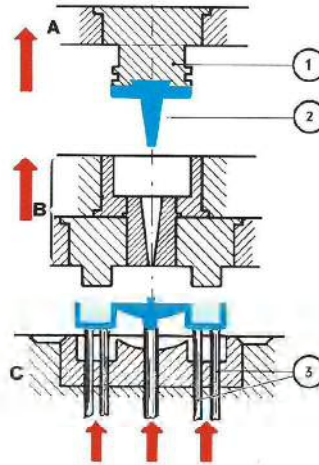
Fonctionnement du moule transfert (suite)

Après moulage de la pièce, les parties A et B s'ouvrent, la carotte se sépare de la pièce.



- 1 Piston.
- 2 Carotte.
- 3 Ejecteurs.

La partie A se sépare de B pour permettre l'extraction de la carotte, les éjecteurs chassent la grappe de pièces de l'empreinte.



Grappe de pièces injectées

9. 8. Les thermoplastes T

Les thermoplastes peuvent être mis en œuvre de plusieurs manières :

- par extrusion :**
tuyaux, fils, barres, profilés;
- par injection :**
moulage;
- par emboutissage :**
feuilles mises en forme à chaud
1 sous vide,
2 par pression,
3 entre poinçon et matrice;
- par usinage :**
tournage, fraisage, sciage, perçage,
etc.;
- par soudage :**
les thermoplastes peuvent être soudés au chalumeau (air chaud) ou par soudure à haute fréquence (la soudure à haute fréquence est utilisée avant tout pour le travail des plastiques souples, de la maroquinerie, des vêtements, des emballages).

Les principaux thermoplastes obtenus par polymérisation sont les chlorures de polyvinyl, les polystyrènes, les polyoléfinés et les polyacétals. Les monomères activés se lient à d'autres monomères ou à des molécules déjà enchaînées. Cette polymérisation intervient par les moyens suivants: apport de chaleur, élévation de pression, irradiation, emploi d'un catalyseur.

9

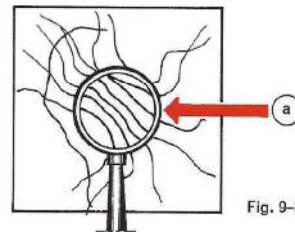


Fig. 9-3

Ces diverses conditions de polymérisation confèrent aux matières plastiques des qualités cristallines, si les chaînes se rassemblent en faisceaux (cristallites) (a) (fig. 9-3).

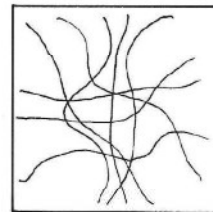
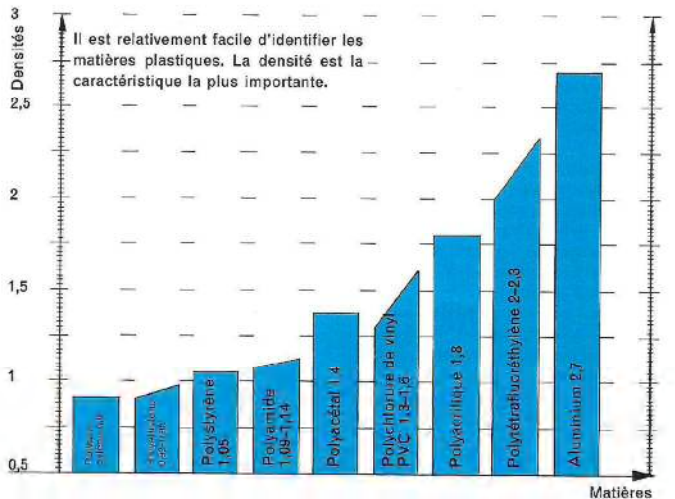


Fig. 9-4

Par contre, la masse est amorphe, si ces chaînes sont entremêlées (fig. 9-4).



L'identification à la flamme des matières plastiques

| Identification | Matières | | | | |
|----------------|--------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | Polychlorure de vinyl PVC | Polystyrène PS | Polyoléfine PE et PP | Polyamide PA | Celluloïd CN |
| Flamme | jaune-vert à la base | jaune orangé | jaune au sommet, bleu à la base | jaune au sommet, bleu à la base | jaune éclatant |
| Fumée | blanche | noire | | | |
| Combustion | la flamme s'éteint hors du bec | modérée | facile | modérée | très vive |
| Odeur | chlorée | fleur (souci) | paraffine brûlée | végétaux brûlés | camphre |
| Divers | éclatements verts et jaunes | flocon épais | goutte comme une bougie | | aucune cendre |

On distingue aisément les polyéthylènes à haute et à basse pression: ils se laissent facilement rayer avec l'ongle; en outre, ils présentent un toucher savonneux, rappelant celui de la paraffine. Le polystyrène produit une sonorité métallique au choc.

9. 8. 1. Polychlorure de vinyl PVC

La fabrication du chlorure de polyvinyl est schématisée dans le tableau II. Selon la quantité de plastifiant ajoutée aux résines de base, on obtient des qualités dure (fabrication de tubes, de feuilles, de plaques, etc.), mi-dure et souple (emballages, vêtements, maroquinerie, housses). Les qualités principales du vinyl sont: résistance chimique particulièrement élevée, bonnes qualités mécaniques et électriques. Par contre, il présente une mauvaise tenue à la chaleur; le point de ramollissement se situe entre 60° et 90° C, pour se carboniser vers 400° C, sans pour autant devenir liquide. En outre, il se laisse souder vers 200° C.

9. 8. 2. Le polystyrène PS

Il fait également partie de la famille des vinyliques. Surtout utilisé pour le moulage, il se présente sous forme de granules, utilisables directement dans les presses à injecter ou dans les extrudeuses.

On trouve deux types de polystyrènes:

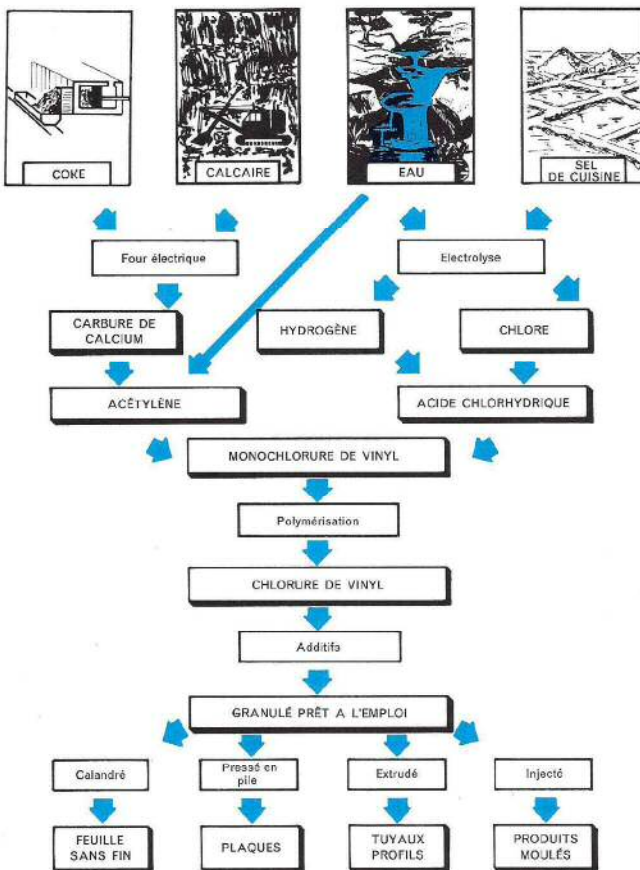
1. Les polystyrènes ordinaires transparents comme le verre, indice de réfraction $n = 1,5$ à $1,6$, et les opaques.
2. Les polystyrènes chocs sont des polystyrènes modifiés par des copolymères de styrène butadiène, qui leur communiquent des caractéristiques mécaniques intéressantes et notamment une excellente résistance à l'impact.

Propriétés: les objets fabriqués avec des polystyrènes ordinaires ont une brillance et un éclat remarquables. Les polystyrènes chocs donnent des articles dont l'état de surface est beaucoup moins brillant, surtout lorsqu'il s'agit de la qualité superchoc.

Les polystyrènes se colorent assez facilement et peuvent être livrés dans une gamme de coloris extrêmement étendue.

Utilisation: objets domestiques, boîtes, peignes, etc., ainsi que pour des pièces électriques, de bobines, de pièces de radio, etc. Résistance à la chaleur: 80° à 100° C.

Fabrication des polychlorures de vinyl PVC



9. 8. 3. Les polyoléfines

Sous cette appellation, nous trouvons:

1. Le polyéthylène PE
2. Le polypropylène PP

Le polyéthylène s'exécute en deux variétés principales:

a) Le polyéthylène à haute pression qui est polymérisé sous une pression de 2000 bars et à une température de 200° C en présence de faibles quantités d'oxygène servant de catalyseur. Les macromolécules de ce polyéthylène forment de longues chaînes fortement ramifiées en des chaînes latérales elles-mêmes relativement longues. Densité 0,92, point de fusion 105-115° C.

b) Dans le procédé à basse pression, l'éthylène est polymérisé différemment, à l'aide de catalyseurs organométalliques à base de titane et d'aluminium. Les catalyseurs de ce genre permettent d'effectuer la polymérisation dans des solvants, et cela sous une pression faible ou même nulle, ainsi qu'à des températures peu élevées. Les macromolécules du polyéthylène à basse pression ainsi obtenu sont essentiellement linéaires, non ramifiées et par conséquent cristallines; elles ont donc des qualités mécaniques et thermiques supérieures aux PE à haute pression. Densité 0,95 point de fusion 120° C. Le polypropylène se fabrique lui aussi suivant le procédé à basse pression, mais possède des qualités mécaniques nettement supérieures aux PE, grâce à sa structure moléculaire formée de chaînes ramifiées. Très faible densité (0,9), résistance à des températures supérieures à 100° C, résistance mécanique et à l'usure élevée, grande inertie chimique. La ténacité du PP baisse plus rapidement aux basses températures que celle du PE.

Les polyoléfines sont des matières présentant le plus faible facteur de perte diélectrique (également en haute fréquence). Ils se laissent très facilement injecter grâce à leur fluidité. Simplification de mise en forme: ils peuvent être injectés dans une zone de température de 100° C. Résistance chimique très élevée. Propriétés mécaniques moyennes, conservées néanmoins jusqu'à une température très basse, -50° C.

Champs d'application: moulages industriels avec ou sans âme métallique, tuyauterie et accessoires, matériel de laboratoire, joints, accessoires électroniques, emballages de toute nature. Désavantages: perméables à l'oxygène, ne possèdent aucun solvant, ne peuvent donc pas être collés, ne se laissent pas souder par haute fréquence.

9. 8. 4. Les polyacétals (polymères linéaires du formol)

En raison de la structure linéaire de leurs chaînes moléculaires, les polyacétals présentent un taux de cristallinité élevé, qui détermine dans une forte mesure leurs caractéristiques physiques. Ils se distinguent par une grande dureté, une grande rigidité, ainsi qu'une excellente stabilité dimensionnelle dans une vaste zone de températures s'étendant de -40° C à environ +165° C, c'est-à-dire jusqu'au voisinage de la plage de fusion des cristallites. La température limite d'utilisation continue est voisine de 100° C. Le polyacétal résiste à presque tous les solvants organiques ainsi qu'aux lessives, même à température élevée. Il est peu perméable aux gaz et à la vapeur d'eau et n'absorbe l'eau que dans une mesure insignifiante.

La bonne résistance dans le temps et l'excellent effet de ressort du copolymère d'acétal sont également remarquables.

Le polyacétal est transformable sur toutes les machines telles que presses à injection ou à compression, boudineuses et installations de soufflage habituellement utilisées dans le cas des thermoplastiques; les températures appropriées sont comprises entre 180° et 240° C.

La dureté, la rigidité du polyacétal supérieures à celles des autres thermoplastiques et sa bonne stabilité dimensionnelle dans les pièces finies en font un matériau de choix pour la fabrication de pièces techniques dans les domaines de la construction mécanique, de la mécanique de précision, de la construction automobile ainsi que de l'électrotechnique. Il trouve souvent des applications réservées jusqu'ici au zinc, au laiton et à l'aluminium coulés sous haute pression ou aux thermodurcissables. En outre, il se laisse très bien métalliser.

On peut citer, entre autres exemples d'applications courantes: les cames et les roues dentées, les coussinets et les douilles de palier, les relais de commande, les corps de bobine, les rotors de soufflante et les rouets de ventilateur, les pièces de machines de bureau, d'appareils ménagers, de machines à laver le linge et la vaisselle, les coulisseaux pour rideaux et les flacons pour aérosols. Densité 1,40, point de fusion 175° C.

9. 8. 5. Les résines polyacriliques

(verres organiques, plexiglas)

Le plexiglas polyméthacrylate de méthyle présente une transparence supé-

rieure à celle du cristal, avec indice de réfraction de 1,49. Température de ramollissement environ: 110°. Peut être collé, gravé, soudé, formé à chaud. Désavantages: faible dureté superficielle (rayures) sensibilité aux solvants.

9. 8. 6. Les polyamides PA
(nylon, rilsan, etc.)

Les nylons: du point de vue technique les polyamides nylon peuvent être divisés en deux groupes principaux:

1. Des polyamides de point de fusion élevé, au maximum 260° C, n'admettant pratiquement aucun solvant, conformables par des processus purement thermiques (moulage, extrusion, etc.) et présentant les qualités mécaniques les plus élevées. Désignation internationale: nylon 6.6.

2. Des polyamides de point de fusion moins élevé, au minimum 175° C, de propriétés mécaniques légèrement inférieures à celles du groupe précédent, mais par contre présentant certains caractères de solubilité filmogène très nette, d'où la possibilité de leur emploi comme base de vernis spéciaux. Désignation internationale: 6 et 6.10.

9. 8. 7. Le rilsan

Ce polyamide d'origine végétale (ricin) est le plus léger des polyamides. C'est aussi le plus résistant à l'humidité. Son point de fusion élevé, 186° C, ainsi que sa grande chaleur spécifique, 2424 [J/kg. °K], font de ce plastique un isolant remarquable, pouvant absorber de brusques échauffements locaux.

Ces caractéristiques et ces propriétés rappellent celles des nylons. Les polyamides sont en général opaques et blanchâtres, ils présentent certaines difficultés à la coloration.

9

9. 8. 8. Le polytétrafluoréthylène PTFE
(téflon)

Ce thermoplaste se caractérise surtout par sa haute résistance à la chaleur, 375° C, et par un facteur de perte diélectrique insignifiant. Sa mise en forme présente quelques difficultés: la matière sous forme de poudre doit être comprimée à très haute pression sous une température de 130° C. Résistance chimique très élevée.

9. 9. Mise en forme des thermoplastes

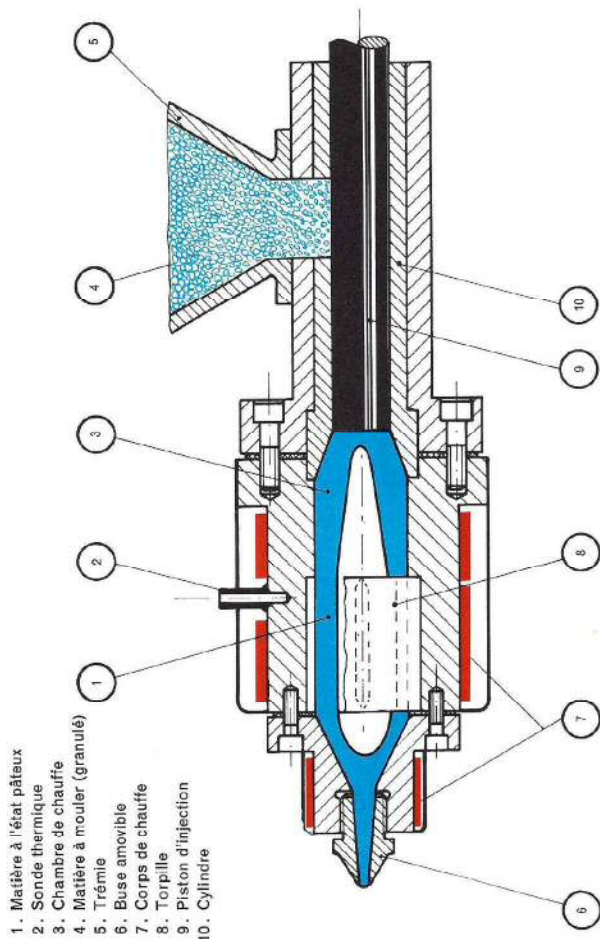
9. 9. 1. Moulage par injection

Contrairement aux D, l'injection des thermoplastes (état pâteux, voire liquide pour les polyamides) s'exécute en moule, refroidi à l'eau. Le moule est parfois maintenu à une certaine température afin d'obtenir des pièces bien homogènes.

Le tableau 1 représente le schéma de principe d'une machine à injecter.

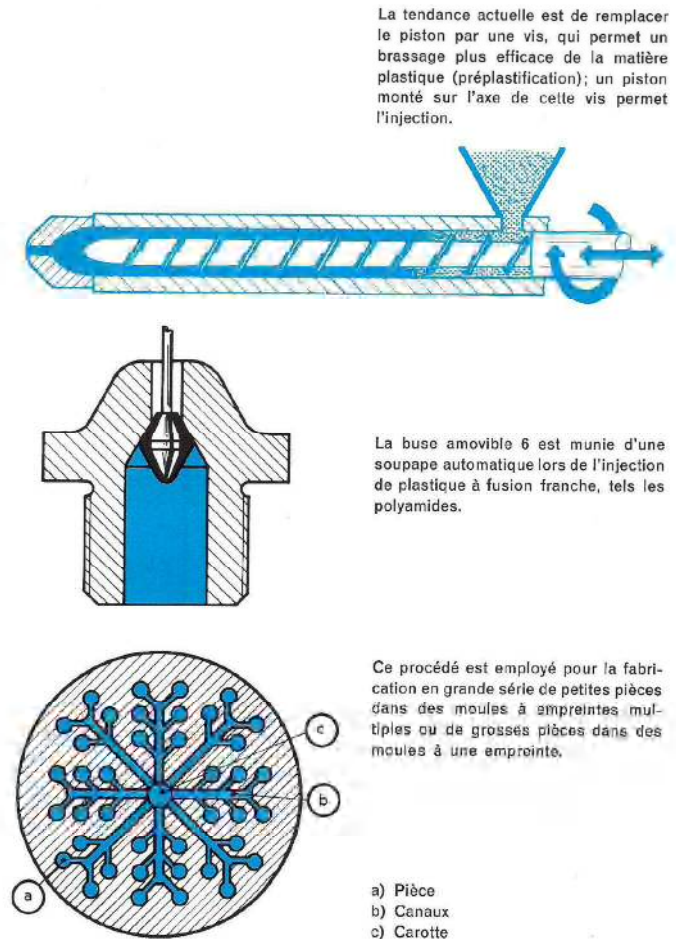
La matière à mouler 4 (poudre ou granulé) chute de la trémie 5 dans le cylindre 10; de là, elle est transportée par le piston 9 dans la chambre de chauffe 3.

Les matières plastiques, mauvaises conductrices de chaleur, doivent être brassées pour être chauffées uniformément; à cet effet, un organe appelé torpille assure le fractionnement et le réchauffement de toute la masse au moyen d'ailettes. Celles-ci sont chauffées (conductibilité thermique) par les colliers chauffants décrits ci-dessus.



- 1. Matière à l'état pâteux
- 2. Sonde thermique
- 3. Chambre de chauffe
- 4. Matière à mouler (granulé)
- 5. Trémie
- 6. Buse amovible
- 7. Corps de chauffe
- 8. Torpille
- 9. Piston d'injection
- 10. Cylindre

Tableau 1



La tendance actuelle est de remplacer le piston par une vis, qui permet un brassage plus efficace de la matière plastique (préplastification); un piston monté sur l'axe de cette vis permet l'injection.

La buse amovible 6 est munie d'une soupape automatique lors de l'injection de plastique à fusion franche, tels les polyamides.

Ce procédé est employé pour la fabrication en grande série de petites pièces dans des moules à empreintes multiples ou de grosses pièces dans des moules à une empreinte.

- a) Pièce
- b) Canaux
- c) Carotte

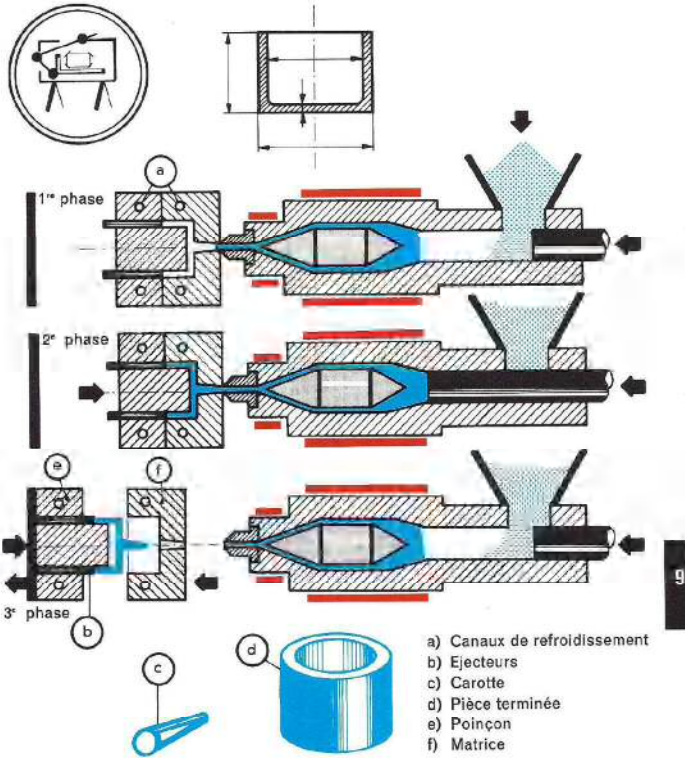
6

L'injection se déroule en 3 phases:

1^{re} phase: fermeture du moule, introduction de la matière plastique dans le cylindre;

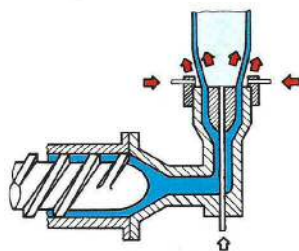
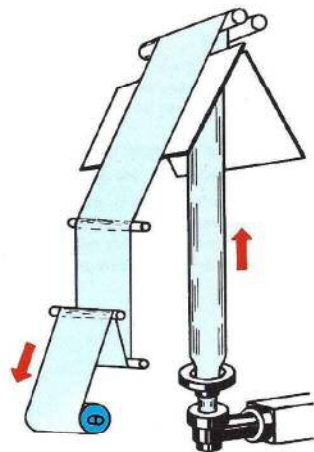
2^e phase: injection; le piston pousse la matière (pression de l'ordre de 1000 bars dans le moule);

3^e phase: éjection, le moule s'éloigne de la buse, les deux parties (e) et (f) du moule se séparent, les éjecteurs (b) chassent les pièces.



9. 9. 3. Fabrication de feuilles par soufflage

La fabrication des feuilles par soufflage est réalisée en introduisant une certaine pression d'air dans la gaine extrudée. La gaine dilatée et refroidie par l'air est roulée sur un cylindre.



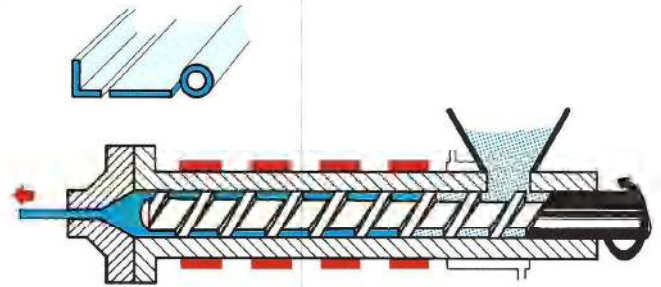
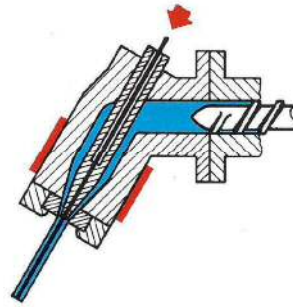
9. 9. 2. Extrusion (boudinage)

L'extrusion est une injection continue; à cet effet, le piston est remplacé par une vis sans fin. La matière chauffée par les corps de chauffe, malaxée par la vis, est poussée au travers de la buse, appelée filière.

Ces machines permettent d'extruder toutes sortes de profils, tels que tubes, gaines, feuilles, fils.

Le revêtement des fils électriques peut se faire soit par le passage du fil nu au travers de la vis ou d'une tête d'équerre inclinée.

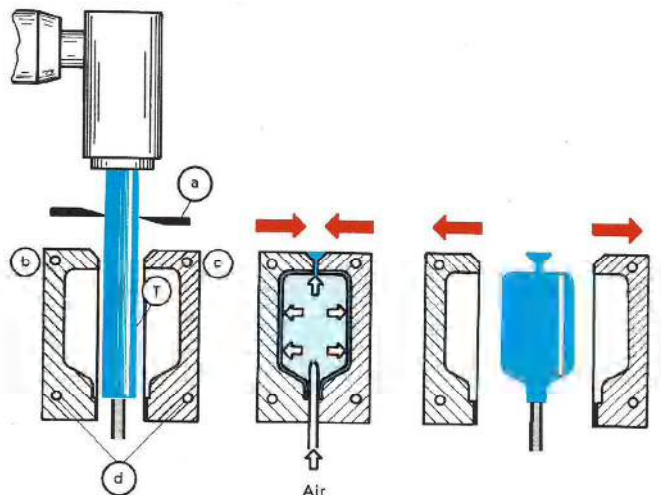
Tous les produits sortant des extrudeuses doivent être immédiatement refroidis, pour éviter toute déformation du profil.



9. 9. 4. Soufflage de corps creux

Procédé semblable au précédent, soufflage d'une ébauche extrudée dans un moule, système très employé dans le flaconnage.

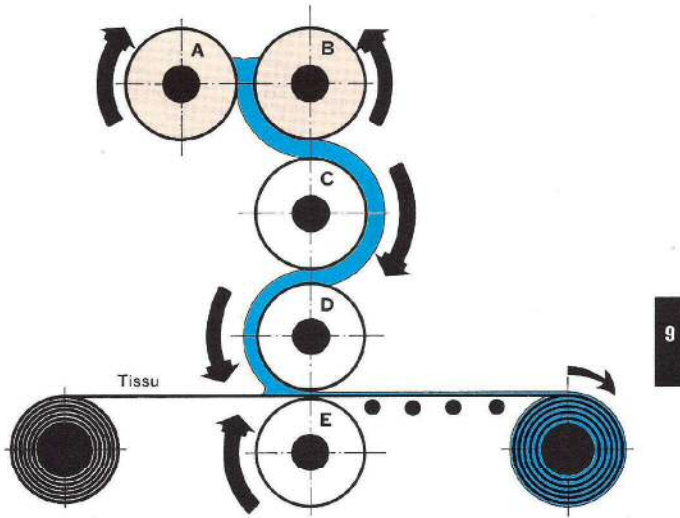
Le tube T est sectionné par les couteaux (a) après avoir été serré entre les deux parties (b et c) du moule. L'air comprime l'ébauche extrudée contre les parois froides du moule; au contact de celles-ci la matière plastique se durcit.



9. 9. 5. Fabrication de feuilles par calandrage

Calandrage et imprégnation de tissus s'appliquent avant tout au PVC et au caoutchouc; la masse plastique est malaxée à chaud (cylindres chauffés A et B). Premier calibrage (cylindre C), deuxième calibrage, polissage de la feuille de plastique et imprégnation d'un tissu (cylindres D et E).

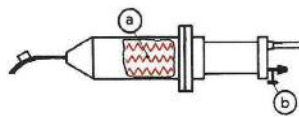
Supprimons le tissu, nous obtenons une feuille polie de plastique. Un gravage en relief sur le dernier cylindre donnera à la feuille plastique l'apparence du cuir, du tissu ou tout autre motif.



9. 10. Soudage des thermoplastes

Ce procédé ressemble en bien des points à la soudure autogène des métaux. Les chalumeaux fonctionnent au gaz ou à l'électricité.

Les chalumeaux électriques comportent: une résistance interchangeable chauffante (a) (180 à 400 W), un robinet de réglage du débit du gaz à chauffer (b) (air, parfois azote), une soufflerie indépendante ou incorporée au chalumeau.



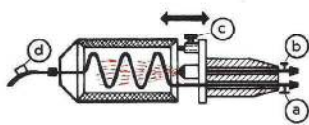
Le chalumeau à gaz comporte un brûleur débouchant sur un serpentin dans lequel le gaz de la buse se réchauffe.

a) robinet (a) réglage de l'air chaud (débit à la buse)

b) robinet (b) réglage du gaz (combustible)

c) robinet (c) réglage du gaz (comburant air)

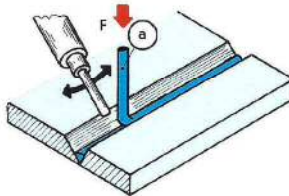
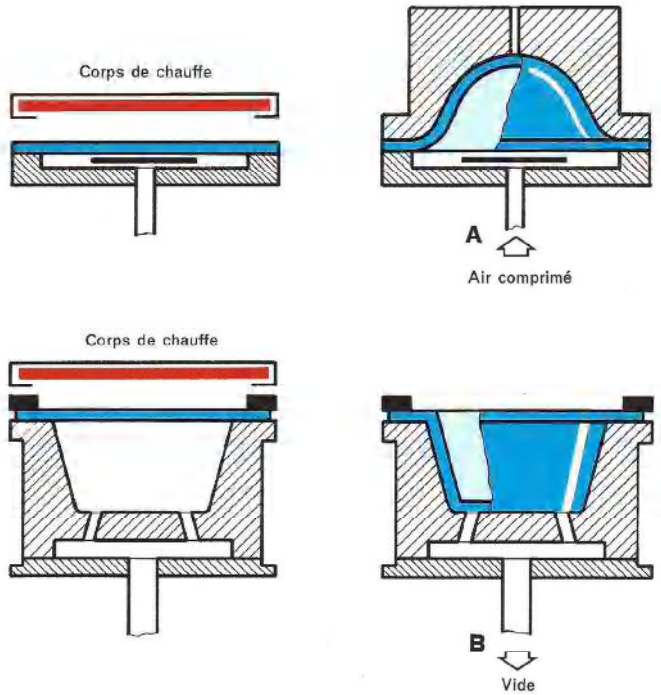
d) couteau



La différence fondamentale entre le soudage des métaux et des matières plastiques réside dans le fait que ni la baguette d'apport ni les bords des pièces à assembler ne sont en fusion. Le soudage intervient par pression de la baguette d'apport contre les matières à assembler, le tout à l'état plastique. Des baguettes d'apport de section triangulaire ou ronde de 1 à 5 mm de diamètre permettent de souder aisément des matières telles que les PVC, le polyéthylène, l'acétate de cellulose.

9. 9. 6. Formation sous vide ou par soufflage

Une feuille de plastique préalablement chauffée, tendue dans un cadre, est appliquée sur les bords d'une empreinte. Soit par pression d'air A soit par vide B, on obtient un emboutissage parfait.

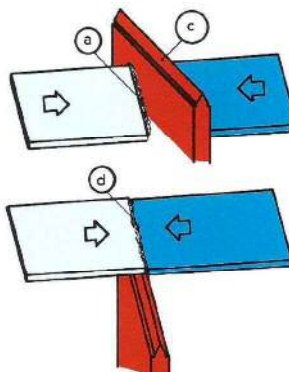
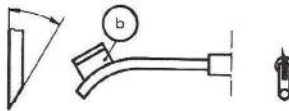


La baguette (a) sera coupée en biais au moyen du couteau (b) fixé sur le chalumeau. La force (F) sera fonction du diamètre de la baguette et de la matière; elle varie par exemple de 1 à 3 kp pour des fils de PVC de 2 à 4 mm de diamètre.

9. 10. 1. Soudage au miroir

Une autre méthode, appelée soudage au miroir (c) permet d'obtenir des résultats supérieurs au soudage par baguettes d'apport. Il suffit d'appliquer sur chacune des faces du miroir (chauffé électriquement) les pièces à assembler, jusqu'à la formation de bourrelets (a) (la matière devient pâteuse).

Présenter ensuite les parties à assembler l'une contre l'autre et presser, les bourrelets augmenteront (bourrelets de soudure (d)). Ces renflements peuvent être coupés après refroidissement.



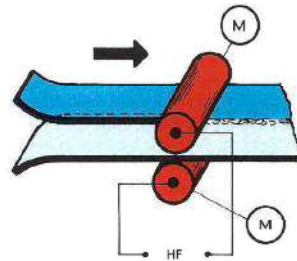
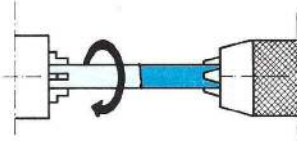
9

La chaleur peut être également communiquée sur la tranche des pièces (tubes) par **friction**; cette opération se pratique aisément au tour.

Le soudage à haute fréquence (HF) convient particulièrement bien pour le soudage de longues bandes de feuilles minces.

Les molettes M sont remplacées par des mâchoires ou des poinçons en aluminium ou en laiton chromé. L'appareil permet de réaliser un soudage par points ou en ligne.

Dans ces deux procédés, les feuilles à assembler jouent le rôle de diélectrique d'un condensateur dont les molettes (ou les mâchoires) forment les armatures.



9

9. 11. Les plastiques expansés

De multiples cavités intercommunicantes ou non caractérisent les **plastiques expansés**.

L'expansion est produite:

- a) par insufflation d'un gaz inerte dans la masse de matière plastique à l'état liquide ou pâteux;
- b) par décomposition d'un agent gonflant introduit préalablement au sein de la matière, qui libère un gaz (gaz carbonique ou azote);
- c) par réaction chimique entre différents composants qui conduit à la formation d'un gaz.

Les deux types de matériaux expansés sont:

Les matériaux à cellules fermées, non communicantes, dits matériaux cellulaires (sika-styrène ou sagex).

Les autres, à cellules communicantes; ils absorbent abondamment l'eau (matériaux spongieux).

Le plastique expansé au polystyrène est le plus connu; ses caractéristiques sont:

- masse volumique extrêmement faible, 0,02 kg/dm³,
 - bonne résistance à la compression,
 - excellente tenue au froid,
 - résistance satisfaisante à la chaleur,
 - isolant thermique de premier ordre.
- Le gonflement est provoqué par détente de chlorure de méthyle qui se gazéifie au sein du mélange. La mise en forme se fait en deux phases:

- a) La préexpansion s'effectue à la vapeur à 100°-105° ou dans l'eau chaude à 85°-100° C. (Masse volumique 0,05 à 0,4 kg/dm³.)

b) L'expansion pour la mise en forme finale s'exécute dans des moules au moyen de vapeur ou d'eau chaude; dans ce but, les moules sont construits en alliage résistant à la corrosion. La pénétration de l'eau ou de la vapeur est facilitée, dans les grands moules, par la perforation de petits trous au travers des parois.

Le moulage en deux phases permet un remplissage du moule plus uniforme, une durée de moulage réduite, et un abaissement du poids spécifique.

9. 12. Collage des matières plastiques

Deux théories:

1° Accrochage par infiltration.
2° Réaction chimique dans laquelle interviennent des forces moléculaires et intermoléculaires.

Des énergies (positives ou négatives) peuvent agir en attraction ou en répulsion (incompatibilité polaire).

Des solvants, des solutions ou des colles adhésives permettent d'assembler des matières plastiques à d'autres corps de même ou de différentes natures.

Les adhésifs à base de duroplastés sont supérieurs par leur réseau tridimensionnel aux adhésifs à base de résines thermoplastes (bidimensionnelles). Par l'adjonction de certains corps, des liaisons supplémentaires peuvent être créées (durcisseur).

L'emploi de solvants provoque fréquemment des gonflements, des craquelures, des déformations ou des actions néfastes sur les plastifiants et sur la pigmentation des plastiques.

Les conditions élémentaires pour obtenir un bon collage sont: une parfaite correspondance des surfaces; une légère rugosité (sablage), et une grande propreté (élimination de toute trace de graisse, d'huile, d'oxyde, etc.)

9

Propriétés des duroplastés D

| MATIÈRES | Résistance à la traction | Résistance à la flexion | Résilience K | Rigidité diélectrique | Coefficient · 10 ⁻³ de dilatation | Température de ramollissement | Température max. d'emploi |
|---|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|--|-------------------------------|---------------------------|
| Unités | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{J}{cm^2}$ | $\frac{kV}{mm}$ | | °C | °C |
| Phénoplastes (Bakélite®) | 40 60 | 80 | 1-2 | 12-16 | 5-10 | 130 | 100 |
| Aminoplastes (Pollopas®) | 40 90 | 80 | 0,7 | 8-16 | 2,7 | 130 | 65 |
| Résines mélamine-formol + fibres papier | 35 70 | 80 | 0,7 | 10-16 | 3-4 | 200 | 100 |
| Caséine (Galalithe®) | 70 | 100 | 2-4 | 15-30 | 4-7 | 150 | 60 |
| Polyesters Stratifiés basse pression | 140 210 | 400 | 5-15 | 18 | | 80 | 120 |

Propriétés des thermoplastes

| MATIÈRES | Résistance à la traction | Allongement à la rupture | Point de ramollissement | Température maximale d'emploi | Reprise d'eau en 24 heures (à environ 20°C) | Module d'élasticité E | Résilience K | Rigidité électrique |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|------------------|---------------------|
| Unités | $\frac{N}{mm^2}$ | % | °C | °C | % | $\frac{N}{mm^2}$ | $\frac{J}{cm^2}$ | $\frac{kV}{mm}$ |
| Polychlorure de vinyl PVC dur | 30 40 | 100-200 | 80 | 50-60 | 0,2 | 2500 | 15 | 20-40 |
| Polystyrène PS | 40 60 | 2-4 | 90 | 50-70 | 0,04 0,06 | 3000 | 7,5 | 20-25 |
| Polyéthylène PE mou | 8-10 | 800 | 80 | 70 | 0,01 | 400 | | 20-40 |
| Polypropylène PP | 30 45 | 650 | | 100-140 | 0,01 | | | |
| Polyacétal | 22 44 | 0-13 | | | | | | |
| Résines acryliques | 57 80 | 2-10 | 80 | | | 2400 3000 | 5 | 16-20 |
| Polyamides | 380 600 | 20-50 | 175 | | 14-20 | 2000 | 13 | 15 |
| Celluloïd | 40 70 | | 40-70 | 90 | 80-90 | | 10-20 | 10-20 |

9

