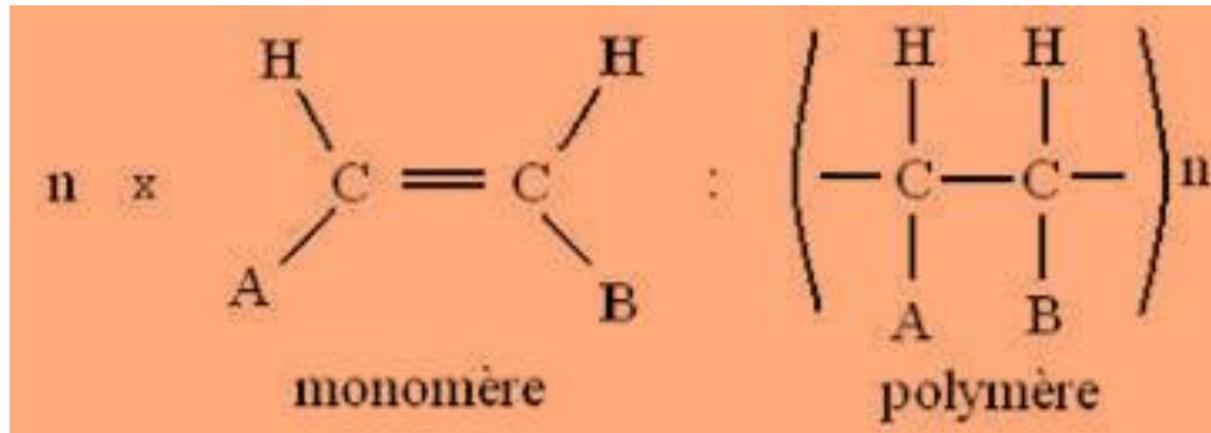




# 1-Matériaux polymères

## 1-1-Définition

Le terme polymère (du grec polys signifie « nombreux, plusieurs » et mēros qui signifie « unité, partie »). Ce terme regroupe toute matériau formées par la répétition d'un très grand nombre « n » de petites molécules de faible masse moléculaire appelées « monomères » qui liés entre eux par des liaisons primaires (liaisons covalentes).



# 1-Matériaux polymères

## 1-2-Historique

**1838:** A.PAYEN réussi à extraire du bois la cellulose.

**1844:** C.GOODYEAR met au point la vulcanisation du caoutchouc naturel.

**1919:** H.Staudurger introduit la notion de macromolécule.

**1933:** E.FAWCETT et R.GIBSON réalisent la polymérisation radicalaire de l'éthylène sous haute pression.

**1943:** O.BAYER synthétise les premiers polyuréthanes.

**1960:** Découverte des élastomères thermoplastiques.

...

ET PLUS

# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Les polymères peuvent être classés selon :

- \***Leur nature chimique** : On distingue, les polymères minéraux, organiques et mixtes
- \***Leur origine** : On distingue, Les polymères naturels, artificiels et synthétiques.
- \***Leur domaine d'application**: On distingue, Ceux de grande diffusion, techniques et spéciaux.

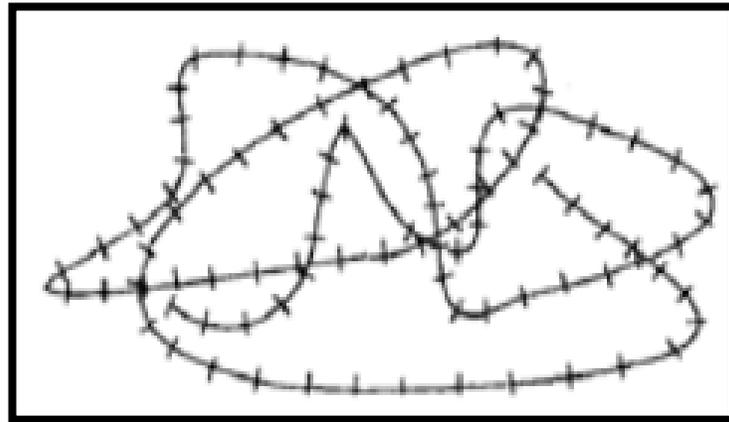
# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Selon leur structure, les polymères peuvent être classés en trois catégories :

### \*Polymères linéaires ou monodimensionnels:

Chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères; La macromolécule est schématiquement représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité monomère.



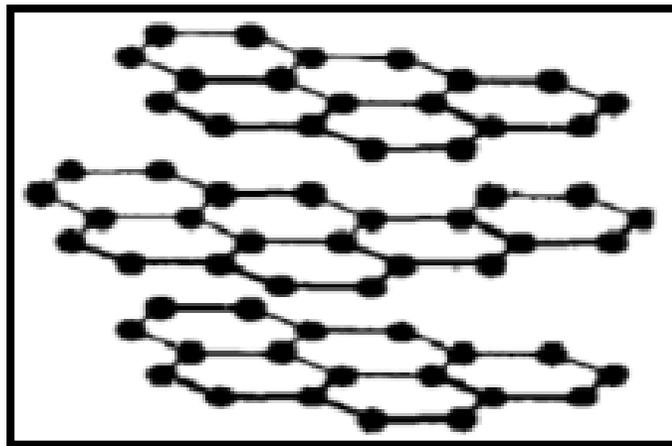
# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Selon leur structure, les polymères peuvent être classés en trois catégories :

### \*Polymères bidimensionnels:

Certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...). Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples.



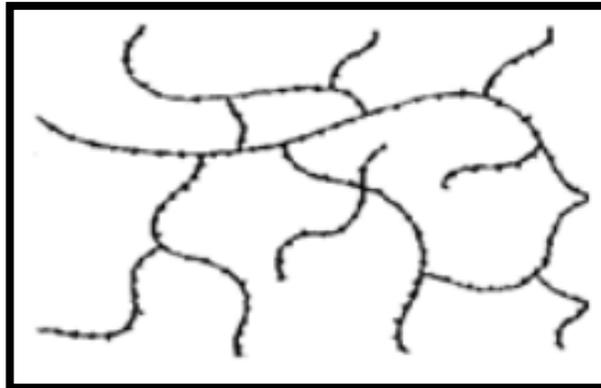
# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Selon leur structure, les polymères peuvent être classés en trois catégories :

### \*Polymères tridimensionnels:

C'est le résultat de la polymérisation de monomères ou de la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnels), par voie physique ou chimique, de polymères linéaires. La dimension de tels polymères peut être considérée comme infini et les liaisons se développent dans les trois dimensions.



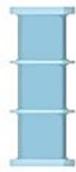
# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Selon leur comportement thermique, les polymères peuvent être classés en trois catégories :

### °Les thermoplastiques:

Un thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié pouvant être ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique.

PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
Polyethylene terephthalate	High-density polyethylene	Polyvinyl chloride	Low-density polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other plastics
						
						

# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Selon leur comportement thermique, les polymères peuvent être classés en trois catégories :

### °Les thermodurcissables :

C'est un produit transformé irréversiblement par polymérisation. La réticulation s'effectue sous l'action de la chaleur et/ou de catalyseurs.

# 1-Matériaux polymères

## 1-3-Classification des polymères

Selon leur comportement thermique, les polymères peuvent être classés en trois catégories :

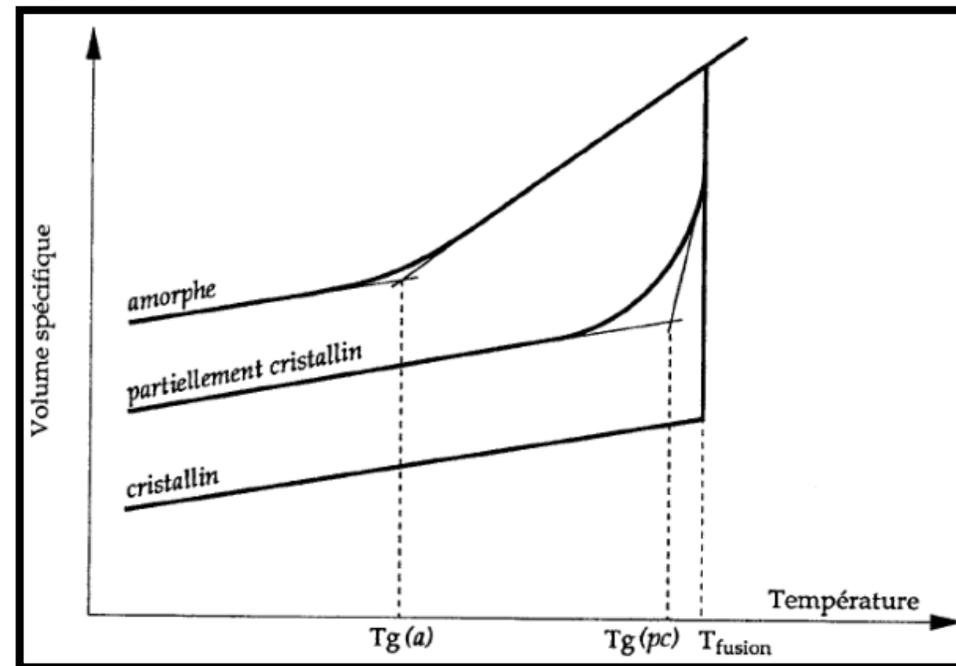
### °Les élastomères :

C'est un polymère linéaire ou ramifiée transformé par vulcanisation en un réseau tridimensionnel faiblement réticulé infusible et insoluble. Ils se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchoutique, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contrainte mécaniques.

# 1-Matériaux polymères

## 1-4-Transition de phase

Une transition de phase correspond à un changement d'état du polymère induit par un changement de la température. La température de transition vitreuse «  $T_g$  » et la température de fusion «  $T_f$  » sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères.



## 1-Matériaux polymères

### 1-4-Transition de phase

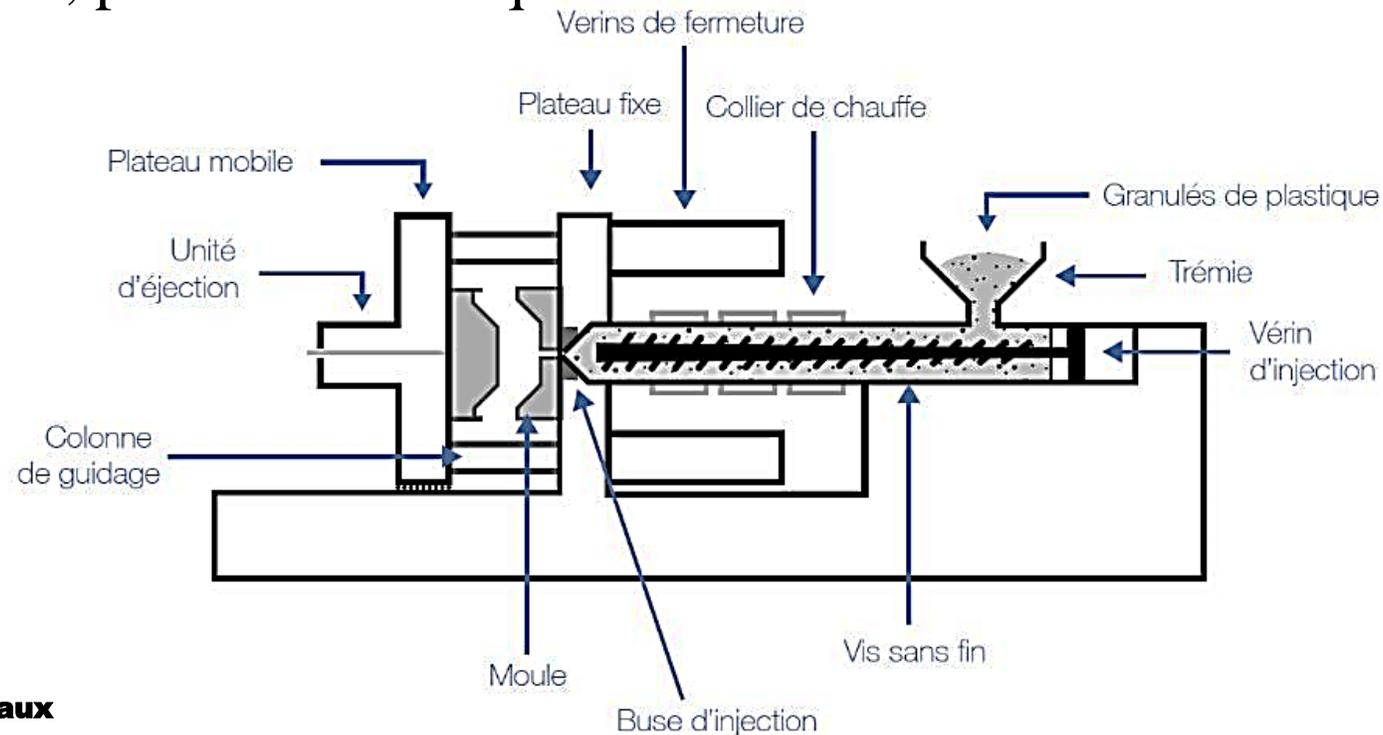
**La transition vitreuse** est caractéristique d'un polymère amorphe (chaînes dans un état désordonné). À basses températures, les chaînes sont figées (le polymère est solide, dur, et fragile). En augmentant la température à «  $T_g$  », les mouvements de chaînes sont permis; le polymère s'amollit et entre dans l'état caoutchouteux (chaînes enchevêtrées).

**La fusion** est caractéristique d'un polymère cristallin (chaînes organisées de façon ordonnée). En augmentant la température à «  $T_f$  », les mouvements de chaînes se déclenchent; la structure cristalline est détruite et le polymère devient un liquide visqueux.

# 1-Matériaux polymères

## 1-5-Mise en forme

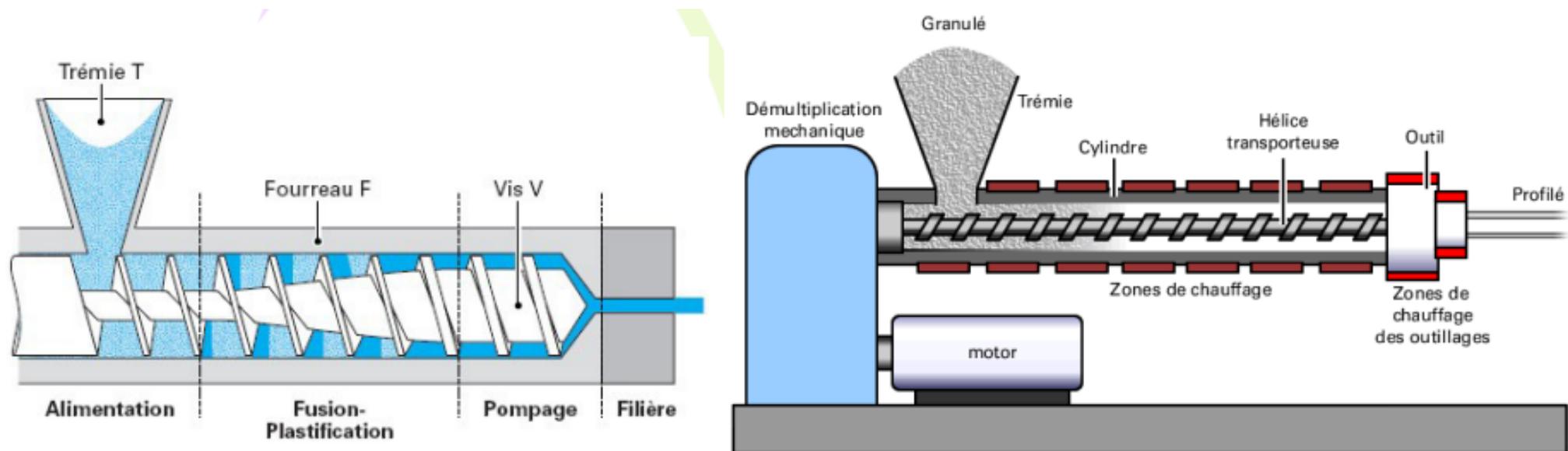
**\*L'injection:** La matière plastique, ramollie et mélangée par une vis tournant dans un cylindre chauffant, est injectée sous pression dans un moule fermé refroidi par circulation d'eau. Ceci permet de fabriquer des pièces aux formes complexes : Sceaux, boutons, seringues, pièces électroniques et automobiles...



# 1-Matériaux polymères

## 1-5-Mise en forme

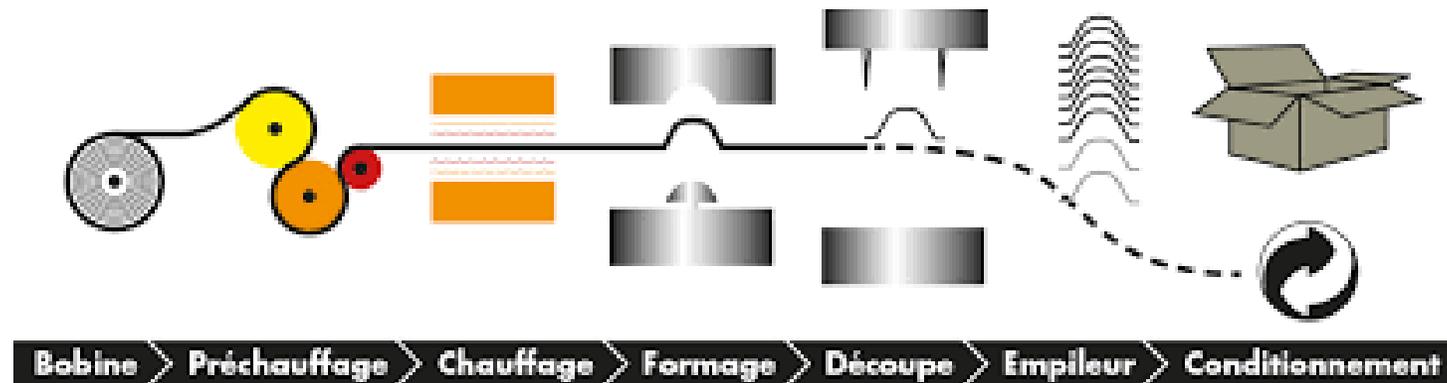
**\*L'extrusion:** La résine plastique est chauffée et mélangée dans un fourreau où tourne une vis sans fin. La vis pousse la matière à travers une filière qui donne la forme souhaitée à la pièce. Cette dernière est ensuite refroidie en passant dans un conformateur. L'extrusion permet d'obtenir des pièces en longueur (tuyaux, profilés de fenêtre, revêtements extérieurs, feuilles de thermoformage...)



# 1-Matériaux polymères

## 1-5-Mise en forme

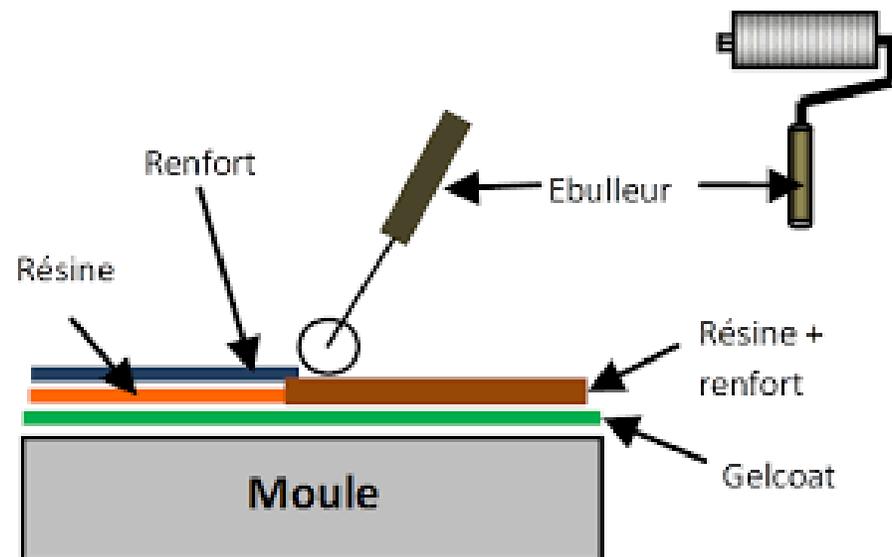
**\*Thermoformage:** La matière, sous forme de feuilles, est chauffée et plaquée sur un moule, par succion ou compression, pour obtenir la forme voulue. Exemples de produits : contenants alimentaires, barquettes, cuves de réfrigérateurs, coques de bateaux, boîtiers, capots, enseignes publicitaires, coffre de toit...



# 1-Matériaux polymères

## 1-5-Mise en forme

**\*Moulage au contact:** Une couche de surface, appelée enduit gélifié (« gel coat »), est d'abord appliquée sur un moule préalablement enduit d'un agent de démoulage. Des couches de fibres imprégnées de résine sont ensuite déposées. À l'air ambiant ou par un apport de chaleur, la résine durcit et la pièce est démoulée. Exemples de produits : cuves, carrosseries, bacs, coques de bateau...



# 1-Matériaux polymères

## 1-6-Dégradation et vieillissement

Au cours du temps et selon les modes d'utilisation des polymères, on observe souvent une altération des propriétés des polymères, altération qui peut entraîner la mise hors service de ces produits. Le vieillissement se manifeste par une dégradation, souvent lente mais toujours irréversible de leurs propriétés.



**Non dégradé**



**Dégradé**

# 1-Matériaux polymères

## 1-6-Dégradation et vieillissement

### 1-6-1-Le vieillissement physique

Il englobe tous les processus conduisant à une altération irréversible des propriétés d'utilisation du matériau sans qu'il y ait modification chimique de la structure des macromolécules constituant le matériau. Il peut résulter de :

- Modifications de la configuration spatiale des macromolécules (cristallisation).
- Phénomène de surface (fissuration milieu tensioactif).
- Phénomène de transport (pénétration de solvants, migration d'adjuvants).

# 1-Matériaux polymères

## 1-6-Dégradation et vieillissement

### 1-6-2-Le vieillissement chimique

On appelle vieillissement chimique tout phénomène impliquant une modification chimique du matériau (polymère ou ses adjuvants) sous l'influence de l'environnement. En pratique, le vieillissement chimique se superpose souvent à un vieillissement physique et les deux phénomènes interfèrent. Les principaux types généraux de réaction intervenant lors du vieillissement chimique sont les suivants:

- Coupure de chaînes statistiques.
- Dépolymérisation.
- Réticulation.
- Oxydation.

## **1-Matériaux polymères**

### **1-6-Dégradation et vieillissement**

#### **1-6-3-La dégradation thermique**

Une élévation de température, entraîne une dégradation thermique des matières plastiques imputable à la modification de la structure des chaînes macromoléculaires. Cette dégradation thermique peut provoquer soit une rupture des chaînes, une dépolymérisation, ou une réaction sur les groupes latéraux. La dégradation thermique peut provoquer une combustion, réaction fortement exothermique.

## **1-Matériaux polymères**

### **1-6-Dégradation et vieillissement**

#### **1-6-4-La dégradation hydrolytique**

Elle est principalement réservée aux polymères possédant des hétéro-éléments dans la chaîne principale : polyesters, polyamides, polyéthers, etc ..., elle est due à l'existence d'équilibres pour les réactions de polymérisation par étapes correspondantes. La vitesse de dégradation est liée à la nature des substituants de la fonction hydrolysable mais aussi à la température, à la valeur du pH et à la concentration de l'eau dans le système. Ce dernier paramètre est extrêmement important, il est étroitement dépendant de l'hydrophilie du matériau.

## 2-Matériaux céramiques

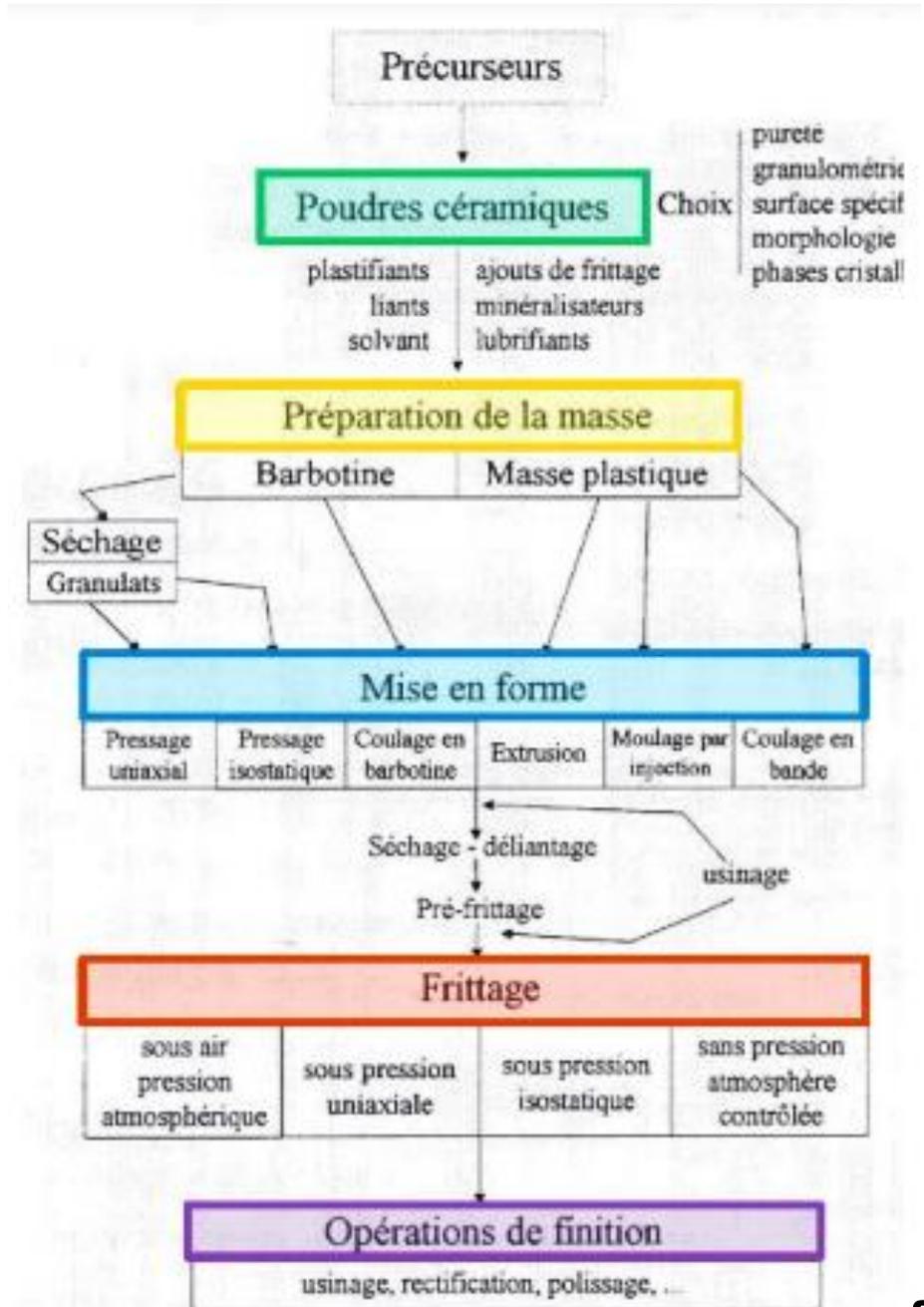
### 2-1-Définition

On appelle céramique technique, un matériau non métallique et non organique obtenu par l'action de fortes températures et destiné à des applications industrielles, par opposition aux créations artisanales (poterie) ou artistiques (céramique d'art) ou porcelaine. L'objectif de cette industrie est la création et l'optimisation de céramiques à propriétés physiques spécifiques : mécaniques, électriques, magnétiques, optiques, piézoélectriques, ferroélectriques, supraconductrices...

## 2-Matériaux céramiques

### 2-2-Etape de fabrication

Plusieurs étapes de travail sont nécessaires à la fabrication de céramiques techniques : la sélection du matériau brut sous forme de poudre, une préparation de la masse, une application de forme, un traitement à cru, une procédure de frittage, un traitement de finition et pour finir une assurance qualité.

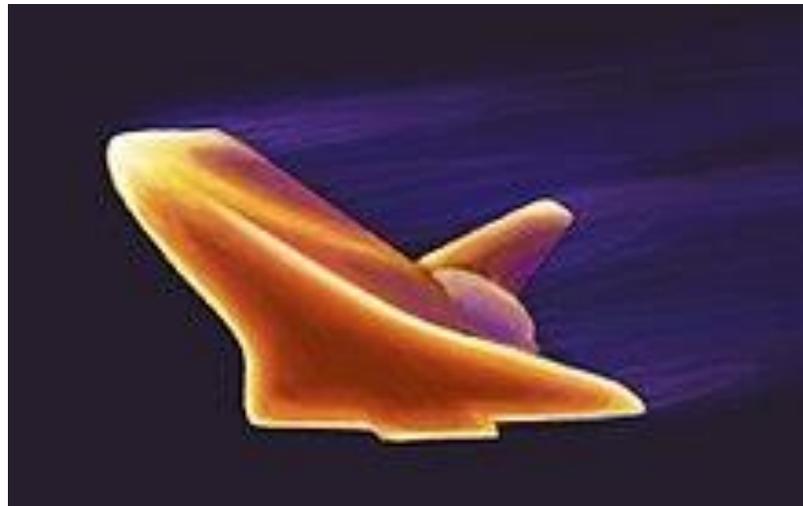


## 2-Matériaux céramiques

### 2-3-Propriétés des céramiques

#### 2-3-1-Propriétés mécaniques

Les objets en céramique possèdent généralement une grande résistance mécanique, une faible densité, une forte dureté et une résistance élevée à l'usure. Les céramiques gardent leur solidité même à des températures très élevées, résistent aux chocs thermiques et ont une forte résistance au vieillissement et aux agressions climatiques ou chimiques. Elles ont généralement une conductivité thermique faible.



## 2-Matériaux céramiques

### 2-3-Propriétés des céramiques

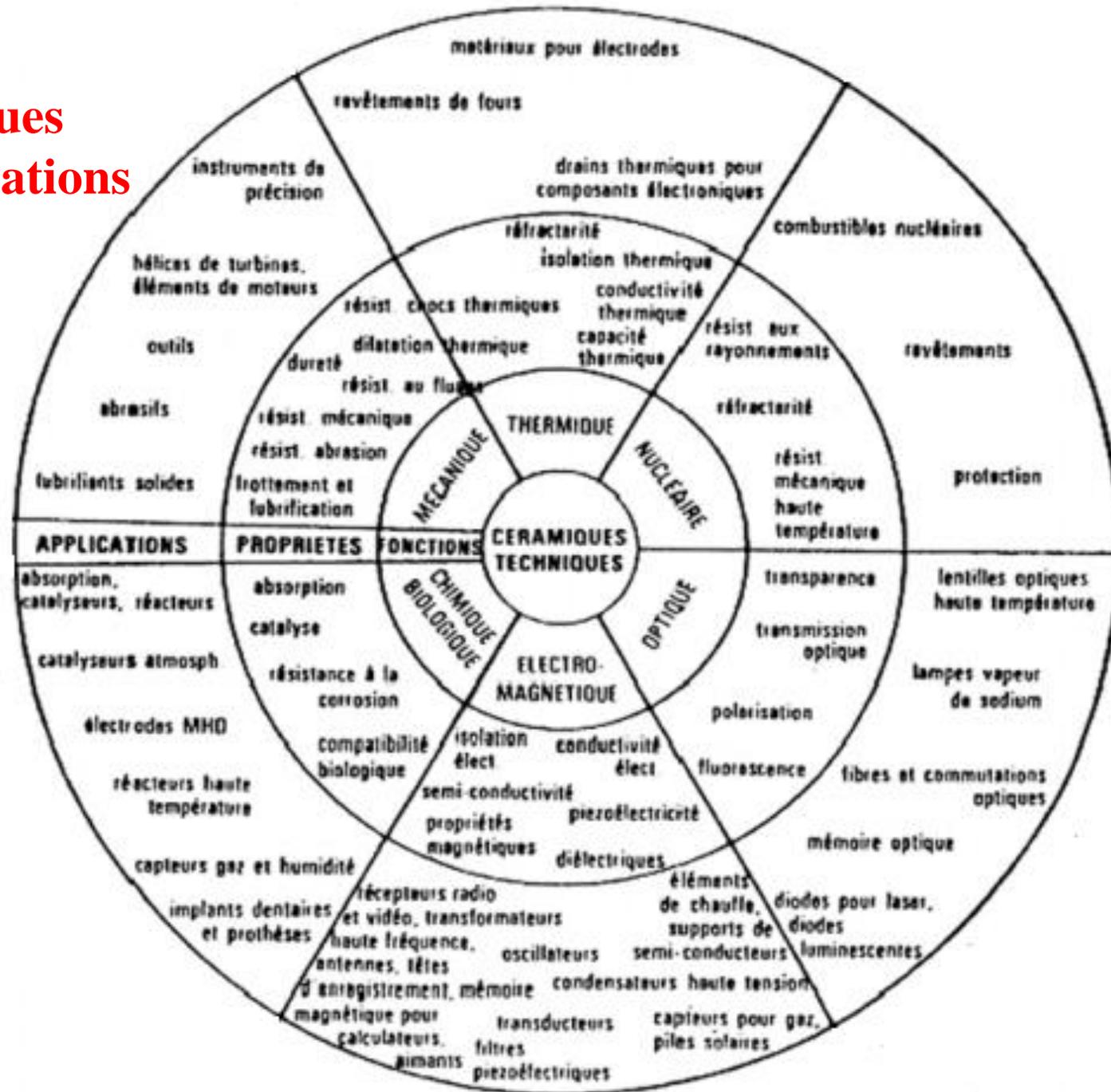
#### 2-3-2-Propriétés électriques

Les céramiques sont d'excellents isolants électriques, ils sont utilisés par exemple comme isolateurs pour circuits électriques à haute tension. Dans certaines conditions, comme des températures extrêmement basses, certaines céramiques deviennent des supraconducteurs.



## 2-Matériaux céramiques

### 2-4-Différentes applications



## **3-Matériaux composites**

### **3-1-Définition**

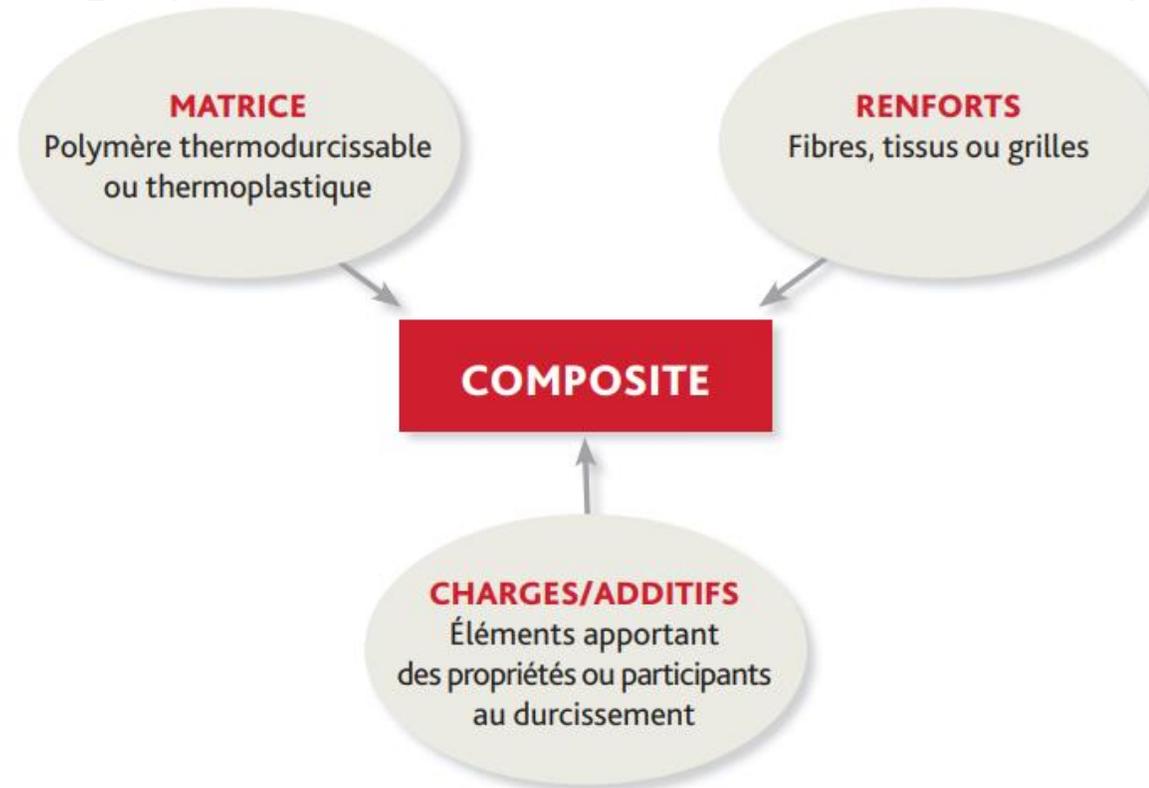
Les premiers développements des composites ont été liés aux besoins des industries aérospatiales en matériaux à caractéristiques mécaniques élevées associés à un faible poids. Actuellement, ils sont présents dans tous les secteurs industriels.

Ce sont des matériaux solides, inhomogènes et anisotropes, constitués par l'association à l'échelle microscopique de deux (ou de plusieurs) autres matériaux aux caractéristiques complémentaires; cette association leur confère à l'échelle macroscopique un ensemble de propriétés notamment mécaniques, que chacun des constituantes pris isolément ne possède pas.

## 3-Matériaux composites

### 3-2-Constituants

Il existe différentes sortes de matériaux composites (le béton, la boue, le contreplaqué...), mais ce terme s'adresse plus particulièrement aux pièces plastiques constituées d'une matrice polymère et d'un élément renforçant de type fibreux.



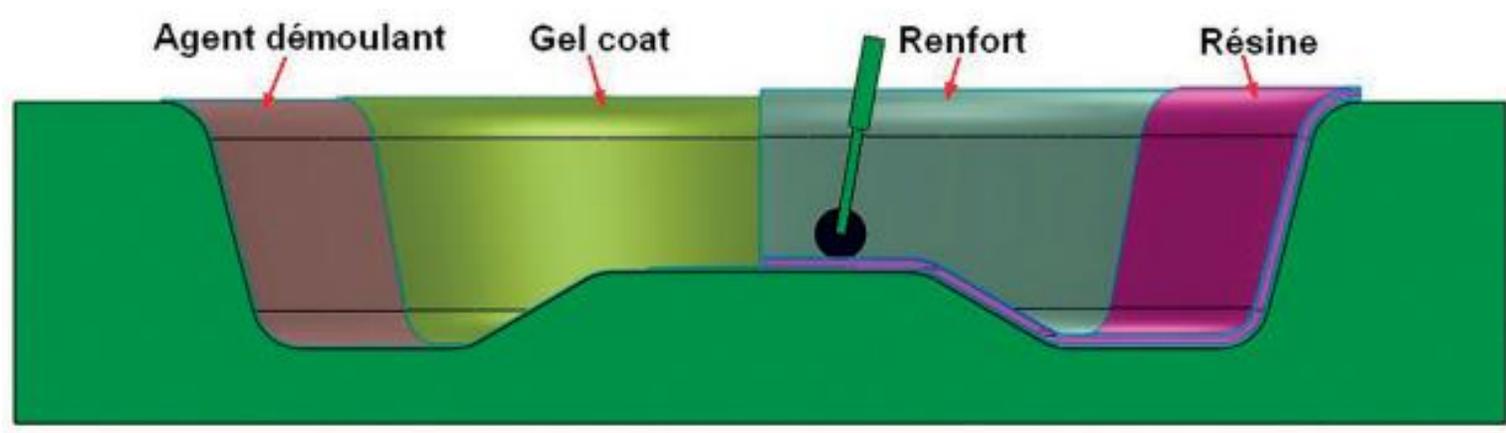
## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-1-Les procédés manuels

##### 3-3-1-1-Le contact

Ce procédé permet la réalisation de pièces de toutes dimensions aux formes simples ou complexes. Parfaitement adapté pour la réalisation de moules, de prototypes et pour la réparation, il nécessite peu de moyen, et permet la réalisation de petites à moyennes séries (de 500 à 800 pièces/moule/an environ).



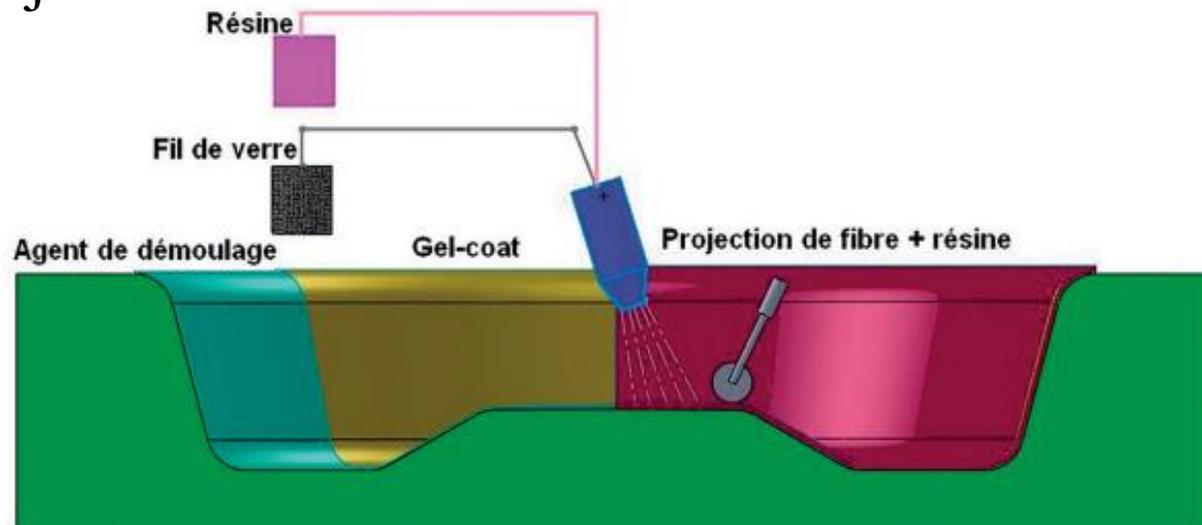
## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-1-Les procédés manuels

##### 3-3-1-2-La projection simultanée

C'est un procédé semi-mécanisé qui permet la réalisation de pièces de grandes dimensions aux formes simples ou complexes. Rapide et facile, il nécessite l'utilisation d'une machine de projection assurant la découpe du fil, l'imprégnation et sa projection sur le moule.



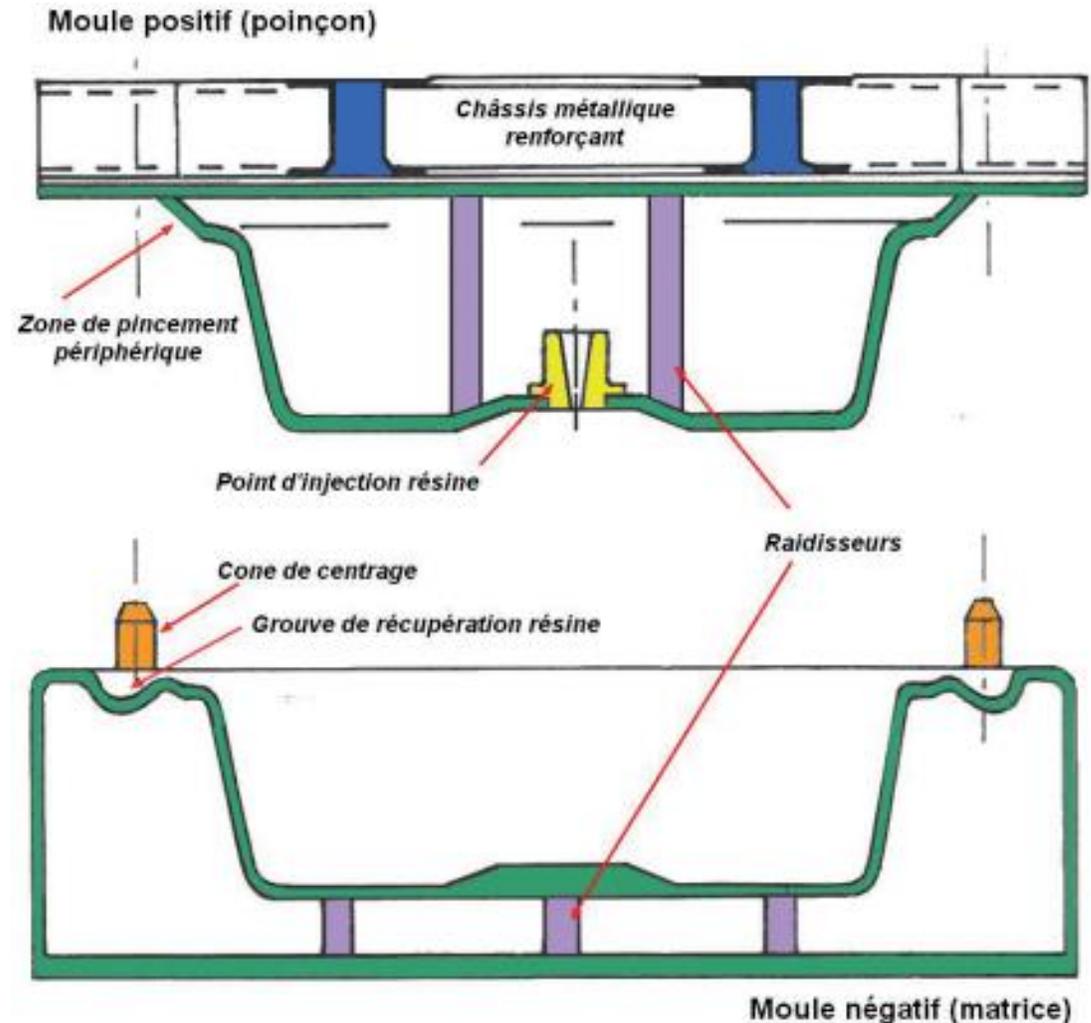
## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-2-Les procédés moyenne série

##### 3-3-2-1- L'injection basse pression (RTM – Resin Transfert Molding)

Le RTM est un procédé semi-automatisé permettant la réalisation de pièces aux formes peu ou moyennement complexes et de dimensions inférieures à 6 m<sup>2</sup>. Les pièces obtenues sont d'épaisseur constante avec deux faces lisses gelcoatées ou non. Les cadences de fabrication peuvent varier d'une à trois pièces/heure/moule jusqu'à 5000 pièces /an/moule.



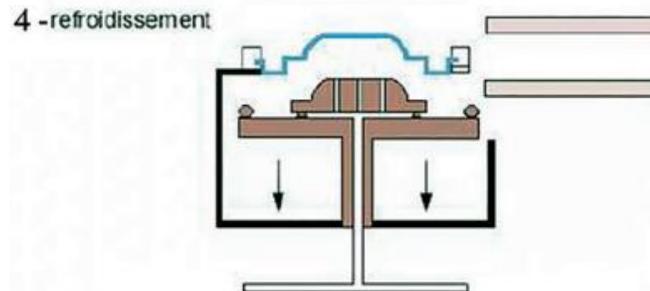
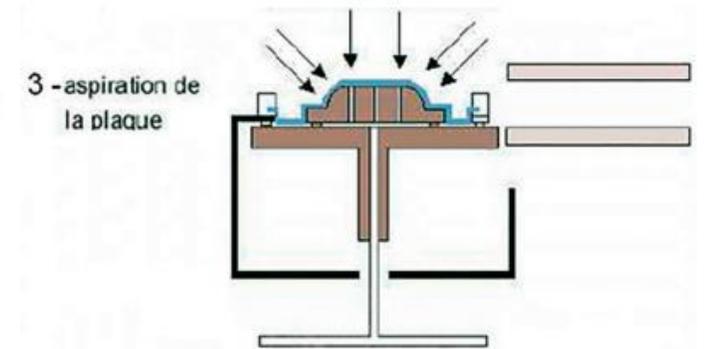
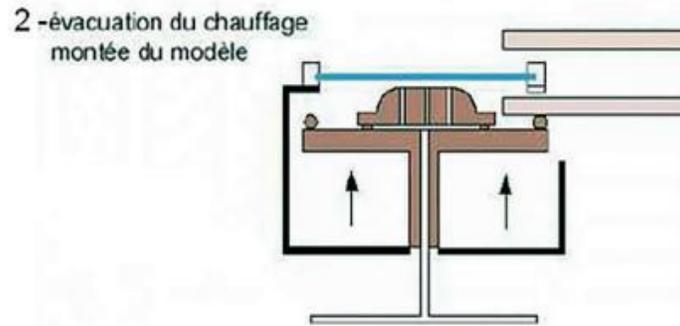
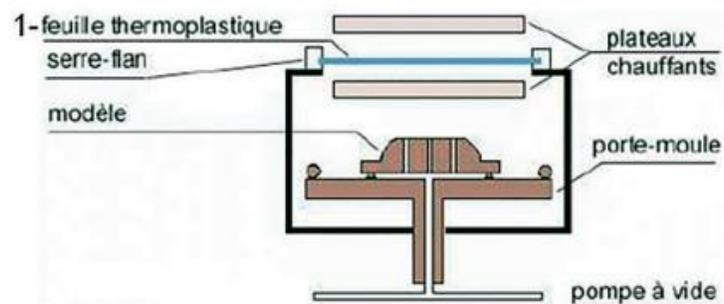
## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-2-Les procédés moyenne série

##### 3-3-2-2- Le thermoformage

Il consiste à soumettre à la chaleur une feuille de thermoplastique renforcée pour la ramollir, et à la mettre en forme sur un moule positif par aspiration vide afin qu'elle en épouse parfaitement la forme.



## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-3-Les procédés grande série

##### 3-3-3-1-Le moulage par compression BP à froid voie humide

Le moulage par compression à basse pression ( $< 5$  bars) à froid voie humide consiste à déposer dans un moule préalablement gelcoaté ou non, différentes couches de renforts qui, après dépose de la quantité de résine nécessaire et suffisante, seront imprégnées par compression des renforts. Le durcissement peut se faire avec ou sans apport de chaleur.



## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-3-Les procédés grande série

##### 3-3-3-2- Le moulage par compression HP des Compounds (SMC, BMC,...)

Un compound est un demi-produit transformable sans préparation, sans dosage d'ingrédient et permettant de réaliser des pièces en grandes cadences, pour des séries importantes. Les compounds sont fabriqués principalement à base de résines polyester, voire vinylester, renforcées par des fibres de verre ou de carbone. Ils se présentent sous la forme de pâte à mouler, en vrac ou en feuille.

Parmi les pré-imprégnés, on distingue :

- les SMC (Sheet Moulding Compound): compound sous forme de feuilles, épaissies chimiquement et contenant 20 à 35 % de fibre d'une longueur de 2,5 à 5 cm
- les BMC (Bulk Moulding Compound) : mélange pâteux en vrac chimiquement épaissi et contenant 15 à 25 % de fibres de verre d'une longueur de 3 à 12 mm.

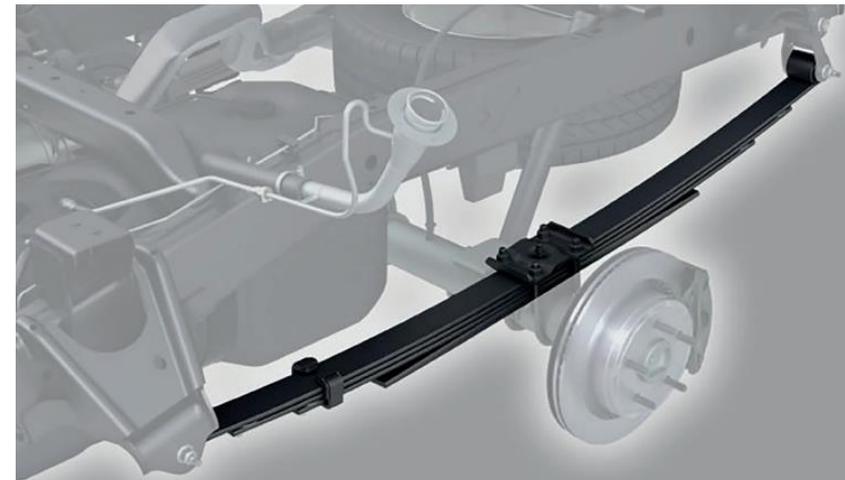
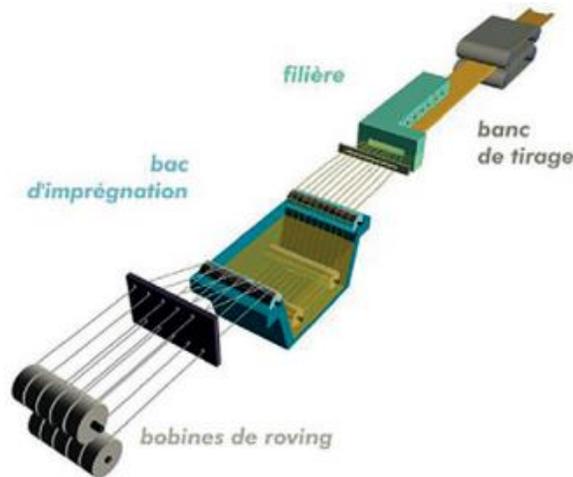
## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-4-Les procédés de moulage en continu

##### 3-3-4-1- Le moulage par pultrusion

C'est un procédé mécanisé qui permet la fabrication en continu de profilés aux formes plus ou moins complexes. Les renforts, sous forme de fils préalablement imprégnés de résine par passage dans un bac d'imprégnation, sont étirés au travers d'une filière d'environ 1 m de long, chauffée de 100 à 120°C. A la sortie de la filière, le profilé est polymérisé et découpé à la longueur désirée.



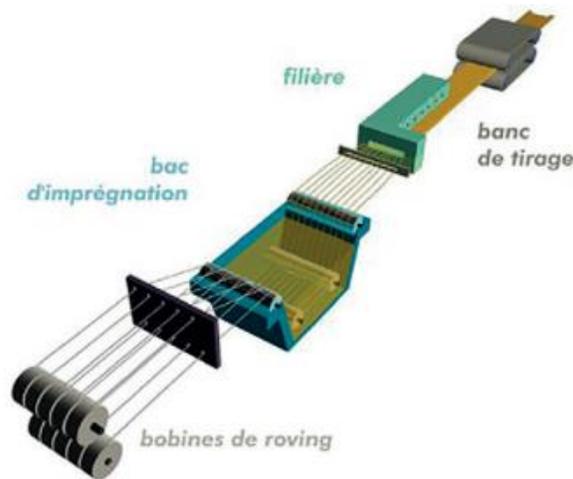
## 3-Matériaux composites

### 3-3-La mise en œuvre

#### 3-3-4-Les procédés de moulage en continu

##### 3-3-4-1- Le moulage par pultrusion

C'est un procédé mécanisé qui permet la fabrication en continu de profilés aux formes plus ou moins complexes. Les renforts, sous forme de fils préalablement imprégnés de résine par passage dans un bac d'imprégnation, sont étirés au travers d'une filière d'environ 1 m de long, chauffée de 100 à 120°C. A la sortie de la filière, le profilé est polymérisé et découpé à la longueur désirée.



## 3-Matériaux composites

### 3-4-Les endommagements des composites

Les principales dégradations des matériaux composites proviennent des actions mécaniques qu'ils subissent. En effet, le réseau d'interfaces structurées des stratifiés (surtout à fibre longue) est particulièrement exposé aux dégradations car ces interfaces sont situées entre des constituants ayant des propriétés mécaniques différentes.

Lors de contraintes, les endommagements ont tendance à suivre le réseau de fibres. Des phénomènes différents peuvent aussi se produire dans les plis de ce réseau en fonction du sens de sollicitation de l'effort : parallèle aux fibres ou non.

### 3-Matériaux composites

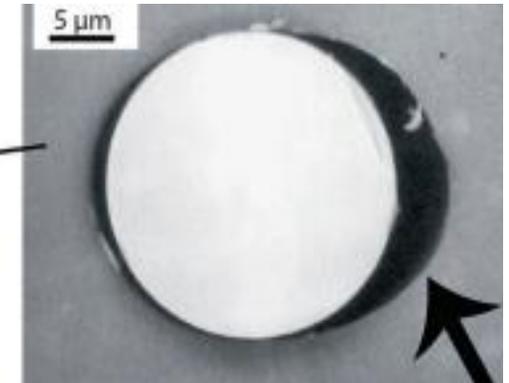
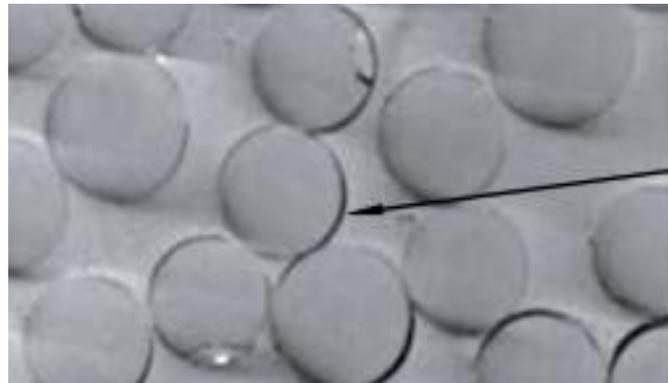
#### 3-4-Les endommagements des composites

##### 3-4-1-Les défauts internes

\*La rupture des fibres;



\*Décohésion entre la fibre et la matrice;



### 3-Matériaux composites

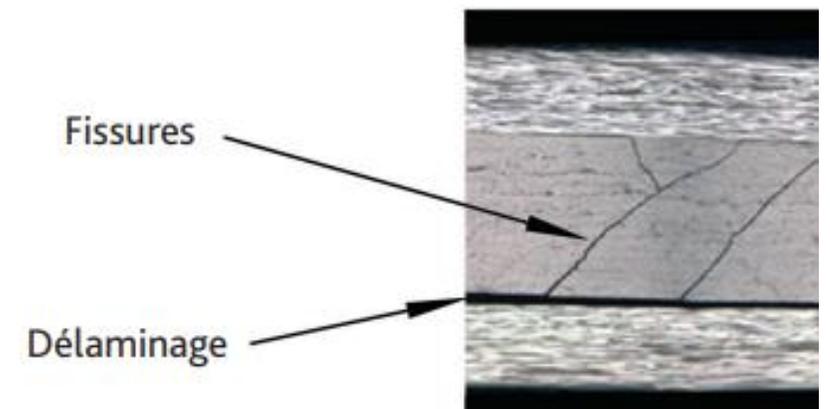
#### 3-4-Les endommagements des composites

##### 3-4-1-Les défauts internes

\*Endommagement au niveau des plis;



\*Délaminage;



### 3-Matériaux composites

#### 3-4-Les endommagements des composites

##### 3-4-2-Les défauts de surface

\*Le retrait;



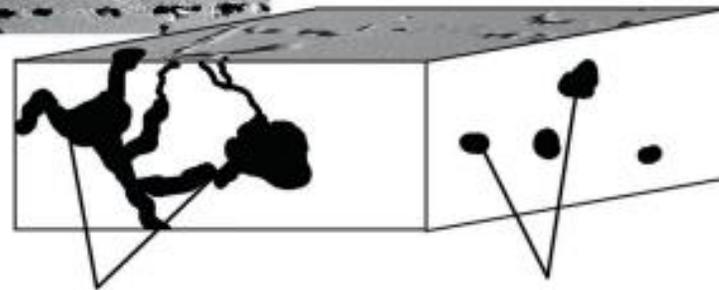
Sans retrait



Avec déformation géométrique mineure



\*La porosité;



Pores ouverts

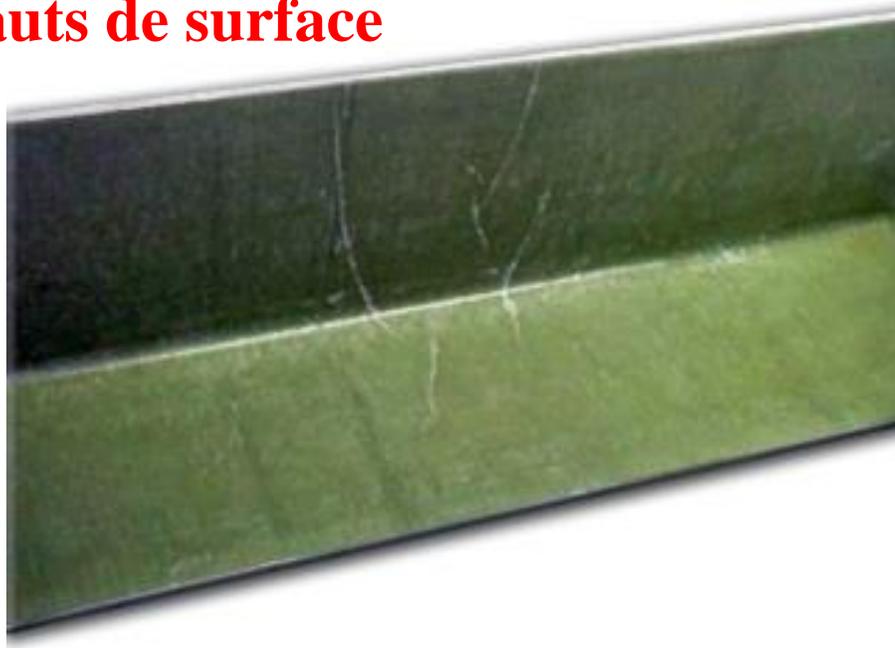
Pores fermés

### 3-Matériaux composites

#### 3-4-Les endommagements des composites

##### 3-4-2-Les défauts de surface

\*L'écaillage;



\*Les vaguelettes ou télégraphing;

