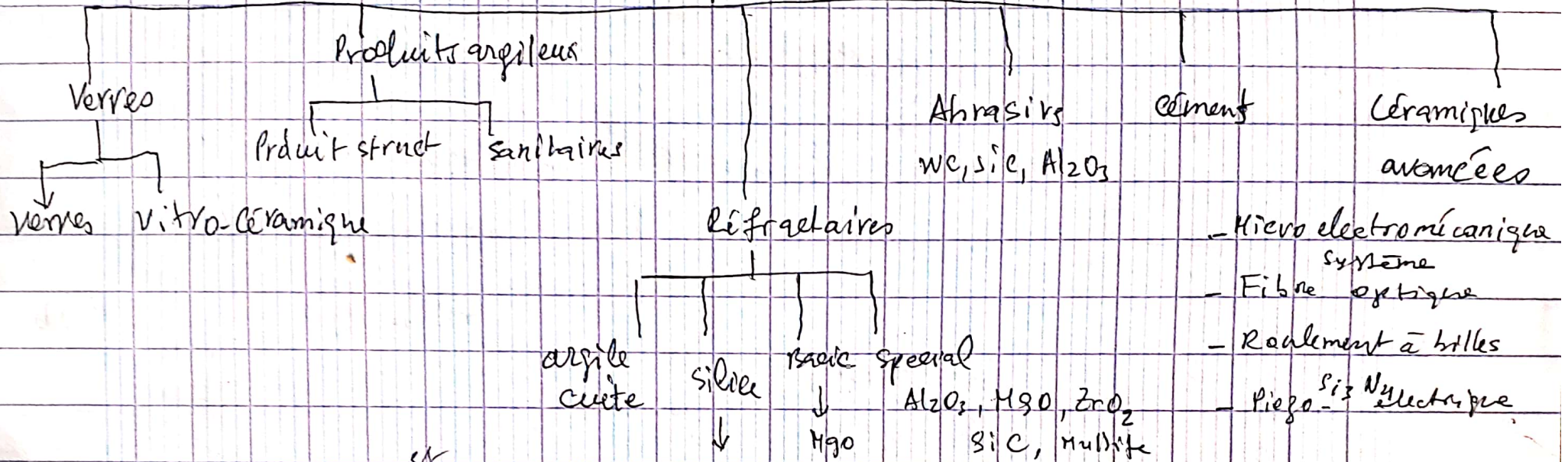


Matériaux Céramiques



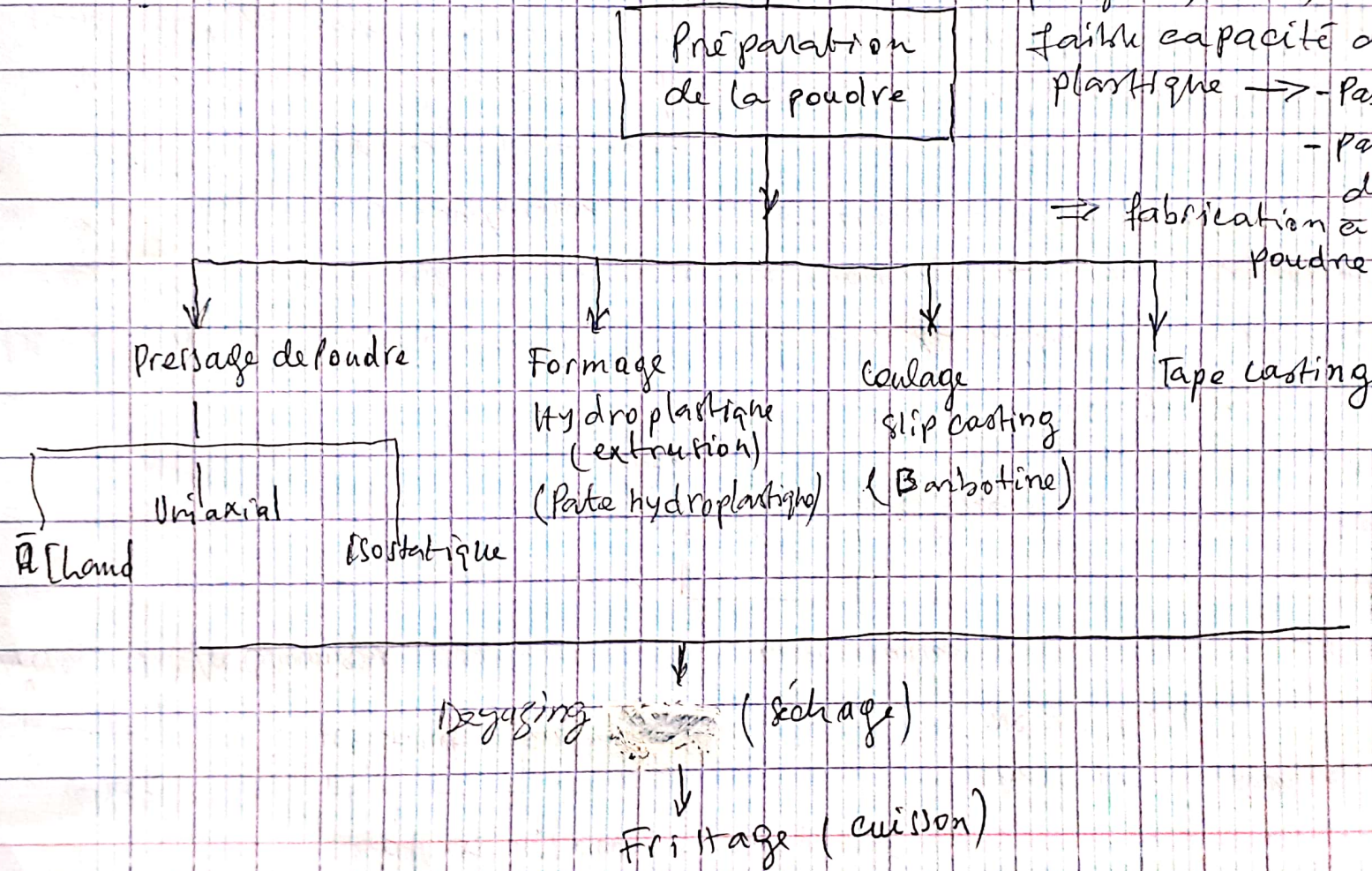
- Déf: Un matériau céramique s'il est ~~ni~~ métallique ni organique
- Dans cette classe de matériaux on trouve : - Tous les oxydes et les composés d'oxydes, Tous les carbures, Tous les borures, Tous les nitrures à côté des ciments, betons, roches, glace...
- Liaisons dans les céramiques : les liaisons interatomiques dans les céramiques sont de type covalente ou ionique (forte énergie de liaison) $\Rightarrow$ cela fait que les céramiques sont : rigides, durs, et réfractaires.
- Défauts dans les céramiques : les défauts majeurs dans les céramiques sont :
 - les pores et les microfissures $\Rightarrow$ matériaux fragiles faible résistance aux chocs $\Rightarrow$ faible résistance à la traction. Remède $\rightarrow$ renforcement par fibres, trichites ou particules.

Techniques de fabrication de céramiques

Les céramiques sont des matériaux fragiles, durs, rigides $\Rightarrow$ faible capacité de déformation plastique $\Rightarrow$ - Pas d'usinage

- pas de pièces par déformation plastique

$\Rightarrow$ fabrication à partir de la poudre.



Propriétés Mécaniques (Liaisons covalents, ioniques)

Durs, résistants à l'usure, "Tenacité" faible, rigides, réfractaires.

● exploitation à l'ambient.

* Exploitation des propriétés de dureté et de tribologie

- Buses de sablage (WC, TiC, B_4C , Al_2O_3)

- Roulements à billes (SiC , Si_3N_4)

- Guides de fil pour filature (Al_2O_3)

- Abrasifs (Al_2O_3 , SiC)

- Bagues de frottement (B_4C , SiC)

- Billes de broyage (Porcelaine, Si_3N_4 , WC-Co ---)

* Exploitation des propriétés de résistance à l'usure et aux chocs

- Radoms pour fusées et avions (Al_2O_3)

- Plaque de blindage (Al_2O_3 , BC)

- Pales d'hélicoptères (Al_2O_3 , B_4C , composites avec fibres en C ou Kevlar).

* Exploitation à H température.

(Conservation des propriétés mécaniques et tribologiques à H.T)

• faible coefficient de frottement ≈ 0.1

- buses de filage d'acier (ZrO_2)

- Joints tournants (SiC , Si_3N_4)

- Outils de coupe (Al_2O_3 , $Al_2O_3 + WC$ ou ZrO_2 , Si_3N_4 , BN)

- Outils de forage (carbure cimenté (WC-Co))

• Moteurs à combustion interne et turbines

(Moteur^{en} céramique) $\rightarrow$ léger
 $\rightarrow$ pas circuit de refroidissement
idée abandonnée.

Éléments de moteur en céramique SiC , Si_3N_4 , ZrO_2 , Al_2O_3

- chambres de combustion

- tête de cylindres, soupapes, sièges de soupapes,
segments, pipes, tubes d'échappement

- Turbines (Si_3N_4 , ZrO_2) : aubes, statore, rotors

Céramiques biomédicales

- Céramiques biomédicales inertes (Al_2O_3 , ZrO_2) $Al_2O_3-ZrO_2$

prothèse, têtes
fémorales.

Vernis silico-sodio-calciques

- Céramiques biomédicales bio-actives (hydroxyapatite)

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, whitlockite ($\beta-3CaO-P_2O_5$)

repousse osseuse sur surfaces recouvertes par ces céramiques

ciments phosphocalciques (biociments) → substituts osseux.

céramiques électroniques, électrotechnique
céramiques nucléaires.

Les Polymères

Les polymères sont des matériaux organiques à base de carbone et hydrogène + additifs non métalliques tels que : - le soufre, chlore, fluor.

Ils se classent en :

- Polymères naturels
 - végétaux
 - Animaux
- Polymères synthétiques
 - Plastiques
 - Peintures

Polymères naturels :

- végétaux → Cellulose (bois)
- Latex (caoutchouc)
- Animaux (laines, cuirs)

Polymères synthétiques (Plastiques) ils se classent en trois catégories :

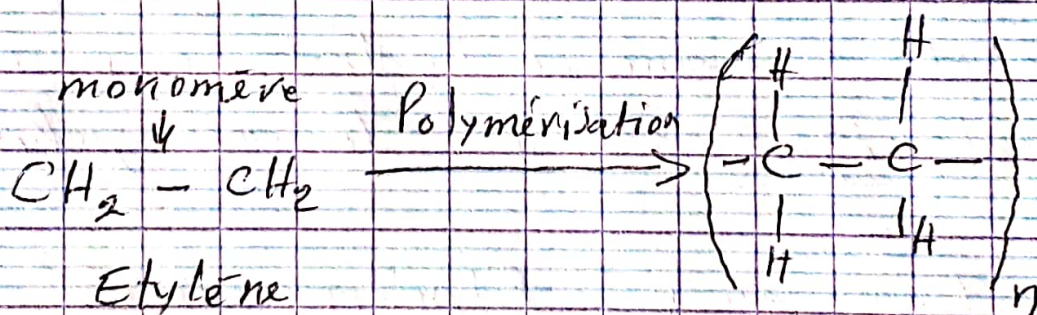
- Les thermoplastiques
 - Les thermodurcissables
 - Les élastomères
- obtenus par polymérisation de monomères ou de comonomères.

• Déf: Un polymère est une molécule géante constituée de motifs de répétition (unité de répétition) obtenus après ouverture ou cassure de liaisons covalentes doubles (par ex) de monomères simples.

Ces motifs de répétition sont reliés par des liaisons covalentes (squelette de la molécule)

Unité de répétition

Exple



(masse moléculaire)
faible

Polyéthylène PE

(masse moléculaire)
élevée

• Polymérisation: réaction qui permet, à partir des monomères, donne des composés de masse moléculaire élevée appelées macromolécules ou polymères.

* ~~homopolymère~~ homopolymère → polymère qui comporte des motifs de répétition tous identiques

* Copolymère → polymère qui comporte des motifs de répétition issus de deux ou plus de monomères différents ou comonomères.

Une polymérisation peut être

- Polyaddition
- Polycondensation

- Polycondensation → polymérisation par étape avec libération d'un sous-produit (l'eau en général)
- Polyaddition réaction en chaîne (sans libération de sous-produits). Dans ce cas le mécanisme est basé sur l'ouverture d'une liaison double ($C=C$) ou l'ouverture d'un cycle.

Une polymérisation nécessite de la chaleur, de la pression ou de la lumière.

* Degré de polymérisation = nombre de motifs de répétition (unités de répétition) contenus dans une macromolécule.

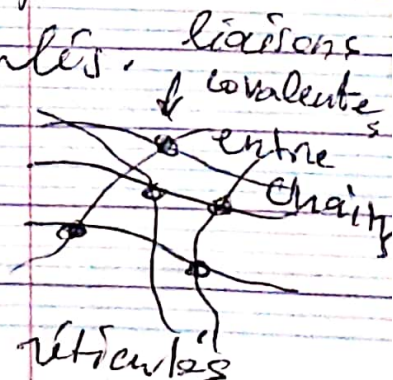
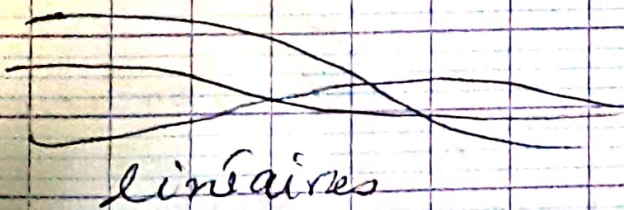
$DP < 30 \rightarrow$ oligomère

$DP > 30 \rightarrow$ polymère.

• Structure des polymères.

Les polymères peuvent être

- Linéaires
- Ramifiés
- Réticulés.



Les polymères peuvent être sous formes :

- Amorphe : les chaînes sont organisées d'une façon aléatoire dans l'espace.
- Semi-cristallin : une partie amorphe et une partie cristallisée $\rightarrow$ possède un ordre de distribution dans l'espace.

• Propriétés mécaniques : les polymères sont :

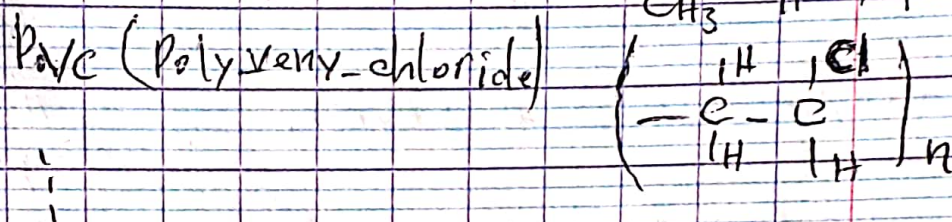
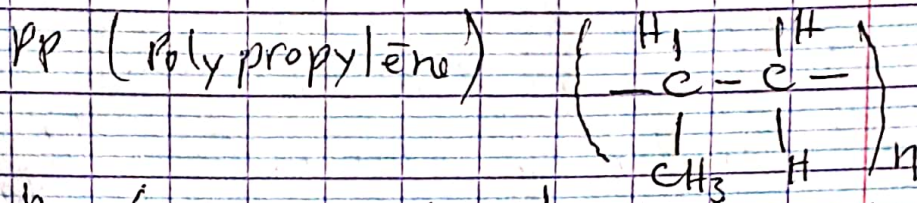
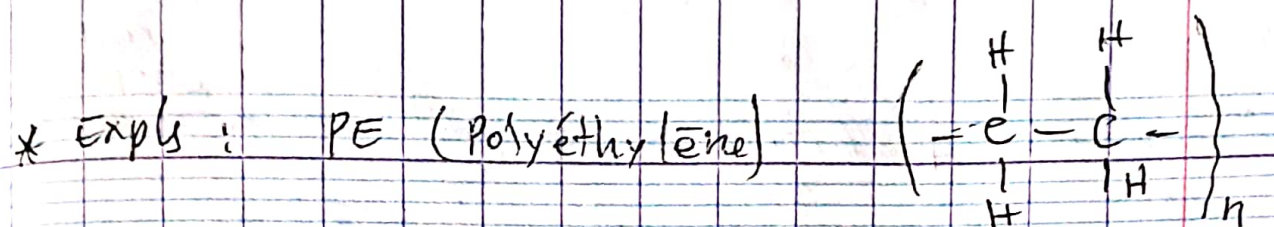
- D'un comportement vitreux s'ils sont amorphes.
- D'un " fibreux s'ils sont cristallisés

En général les propriétés mécaniques augmentent avec le degré de cristallisation.

- Visco-élastiques.

Polymeres Synthétiques.

Les thermoplastiques : ils sont constitués de chaînes linéaires ou ramifiées. Les chaînes sont liées par entre elles par des liaisons de faible énergie de liaison, de type Van der Waals et hydrogène $\rightarrow$ ils se ramollissent si la température $T \geq T_g$ (température de transition vitreuse) $\rightarrow$ c'est pourquoi ils sont thermoplastiques.



* Propriétés : faible rigidité, se ramolissent sous l'effet de la chaleur, ductiles, recyclables...

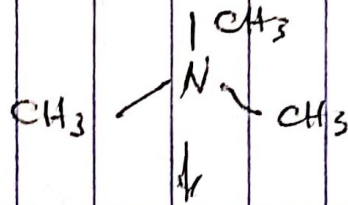
* Mise en forme : - Moulage par injection
- Extrusion
- Tréfilage

* Utilisations : - Emballages alimentaires, Tuyaux, gaines pour câbles électriques, fibres textiles, Automobile, membranes diélectriques, revêtements de murs, ...

Les thermodurcissables : ils sont constitués de chaînes linéaires réticulées entre elles (liaisons covalentes entre chaînes, on dit aussi ponts). Ces chaînes réticulées en 3D forment un réseau 3D.

Ce réseau est infusible. Les thermodurcissables sont fortement réticulés. Exple de polymérisation :

Resine polystyrène insaturé + styrène (durcisseur) + (additifs) + cat $\xrightarrow[\text{Pression}]{\text{Chaleur}}$ structure réticulée.



Exemples: Resine epoxy + Amine $\rightarrow$ Adhésifs $\rightarrow$ Matrices Composites en PRFC

↑
Pré-polymère ↑
Agent réticulant ou durcisseur

Resine Polyester insaturé + styrène $\rightarrow$ Matrice En Composites PRFV

Vinylester + styrène $\rightarrow$ matrices en composite PRFV

Propriétés: Rigides, bonnes propriétés mécaniques et électriques, bonne résistance chimique, bonne résistance à la chaleur, infusible (non recyclable)
(bonne tenue au fluage)

* Mise en forme: - Moulage par coulé dans un moule préchauffé ou contenant des réactifs $\rightarrow$ durcissement de la résine.

- Moulage par compression $\rightarrow$ compression élevée + chaleur $\rightarrow$ durcissement de la résine (Récipients de faible épaisseur, appareillage élect)

* Utilisations: Composites (Matrices), Revêtements, vernis, adhésifs, plaques décoratives, comptoirs, armoires, Pièces d'automobiles, Appareillages, isolants électriques, Tuyaux, Chaises, canes pêche, réservoirs, toitures.

Les Elastomères: Les élastomères sont des thermodurcissables faiblement réticulés

• Formulation: les élastomères sont des polymères formulés pour répondre aux exigences d'une application.

ils sont composés de: 20 ÷ 40 % polymères + charge + plastifiants + agent vulcanisateur (ex: le soufre) pour former des ponts ou réticuler le polymère, + accélérateurs de vulcanisation + additifs (favoriser la mise en œuvre, protection contre l'ozone, chaleur...) + noir de carbone (fréquemment) → renforcement des propriétés mécaniques + stabilité dimensionnelle.

• Structure: les élastomères sont amorphes, leur température de transition vitreuse $T_g < -40^\circ\text{C}$. les chaînes moléculaires sont rassemblées en 'pelotes' au repos et elles sont reliées entre elles par des nœuds de réticulation. les chaînes forment un réseau.



• Propriétés: les élastomères sont seulement élastiques. La déformation peut atteindre 1000 % avant élastique rupture et elle est totalement réversible.

• ils sont incompressibles $\nu \approx 0,5$

• Exemples: Elastomères généraux

- polyisoprène (NR) Caoutchouc naturel

« Synthétique (IR)

- Copolymère - styrène - Butadiène (SBR)

Température limite 80°C en pneumatique on utilise NR + SBR à 80% max

↳ élastomères sont amortissants, très extensibles (750%)
une résistance à la rupture $(R/R) = 30 \text{ MPa}$. Résistance
au déchirement excellente. Vieillessement à faible vitesse.

- utilisations : Amortisseurs de vibrations, pneumatiques
Semelles de chaussures, silentblocks, élastiques, ballons
joints d'étanchéité, gants médicaux, courroies, durits
bandes transportées, tuyaux d'arrosage.

Elastomères spéciaux Exemples : (Température limite 150°C)

- Polyisobutylène (PIB ou IIR), anticorrosifs, imperméable
aux gaz
- Néoprène (CR) : Ininflammable.

Elastomères très spéciaux Exemples

- Elastomères silicane : thermostable ($\leq 250^\circ\text{C}$)
Excellente inertie chimique
- Elastomères épichlorhydrine (CO et ECO)
plus imperméable aux gaz que le Caoutchouc Butyle.

Voir encore utilisations en aéronautique et aérospatial
en médecine, chirurgie dentaire, en nucléaire ---