

Fevrier 2003.

Introduction aux matériaux

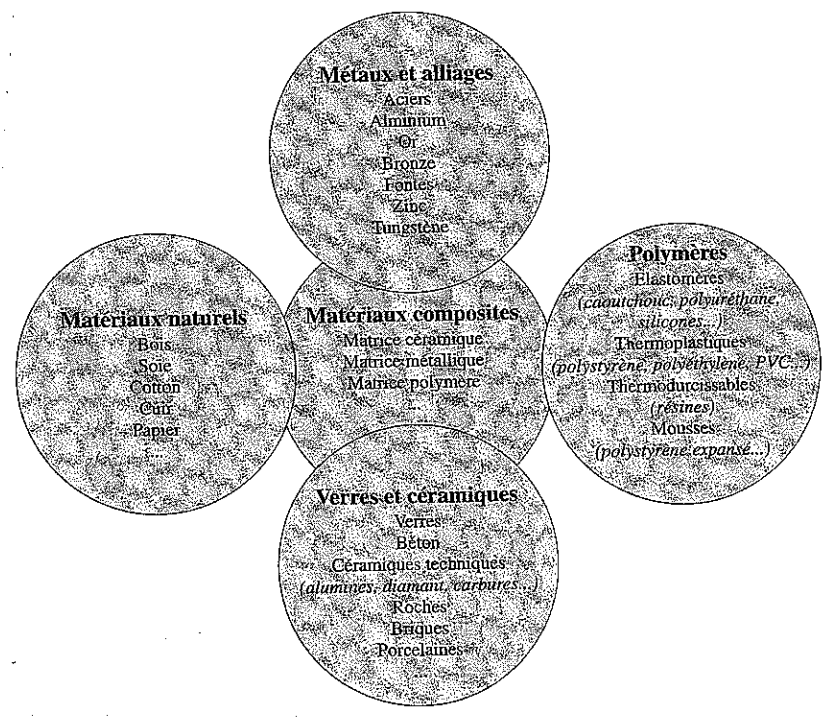
1 Les grands classes de matériaux:

1.1. Généralités:
Son nomme des propriétés d'un matériau dépendant de la nature de l'édifice atomique qui le sous tend.

On peut donc séparer les différents matériaux en fonction de la nature de liaisons chimiques.

* Liaisons fortes: liaisons métalliques, covalente, iono-covalentes.

* Liaisons faibles: caractère électrostatique hétéroplaine ou induit.



2.2. les métaux:

la liaison métallique est particulière: elle a lieu entre deux atomes électropositifs (donc au centre et à gauche du tableau de Mendeleïev) de même nature ou de nature différente. Cette liaison se met en place en délocalisant les électrons de valence dans un état non lié.

→ conducteurs électriques → conducteurs thermique

→ liaison non directionnelle → empilement dense (H.C.)

cfc) → structure isotrope → plastiques, tenaces

→ liaison forte → température de fusion élevée.

tenacité + ductilité → voir la zone jointe

Rayons - embrouillage - extraction...

Applications structurelles:

- * aciers: - fort module (module d'Young), forte limite élastique
- facilement mis en forme, soudable
- perdent leur propriétés au delà de 600°C
- densité élevée
- sensible à la corrosion (sauf les inoxydables)

* alliage d'aluminium:

- faible densité
- ductiles, joints à mettre en œuvre
- résistent bien à la corrosion
- perdent leur propriétés au delà de 150°C
- sensibles à la fatigue et à la corrosion sous contrainte
- difficiles à souder
- chers.

Métaux		Exemples d'applications		
Métaux Ferreux	Aciers	Aciers haut carbone	Outils de coupe, roulements, arbres de transmission...	
		Aciers moyen carbone	Construction mécanique, industrie automobile, structures, engrenages, bielles	
		Aciers bas carbone	Construction mécanique, structures	
		Aciers alliés	Automobile, structures, réservoirs de pression, tubes...	
		Aciers inoxydables	Aciers inoxydables austénitiques	Structures en environnement corrosifs, structures off shore, canalisations, construction navale, génie chimique...
			Aciers inoxydables ferritiques	Structures en environnement corrosif, génie chimique
			Aciers inoxydables martensitiques	Structures en environnement corrosif, génie chimique
			Aciers inoxydables durcis par précipitation	Structures en environnement corrosif, génie chimique
		Fontes	Fontes grises	Cylindres, pistons, blocs moteurs...
	Fontes malléables		Constructions mécaniques	
	Fontes nodulaires		Tubes, pompes, broyeurs...	
	Fontes austénitiques		Industrie chimique	
		Fontes alliées	Constructions mécaniques résistantes à l'abrasion	
Alliages légers	Alliages d'aluminium	Alliages de corroyage	Aéronautique, emballage, bâtiment, transport	
		Alliages de moulage	Construction mécanique, automobile	
	Alliages de magnésium	Alliages de moulage	Automobile, aéronautique	
		Alliages de corroyage	Sports, automobile, aéronautique	
Alliages de cuivre	Alliages de titane		Aéronautique, industrie chimique	
		Cuivre	Conducteurs électriques	
		Bronzes	Echangeurs de chaleur, industrie chimique, moules, environnement maritime	
Alliages de nickel		Laitons	Connecteurs de tubes, ressorts, réservoir de pression	
			Aéronautique (moteurs) outillage, monnaie	

* alliages de cuivre:

- bon conducteurs électriques et thermiques
- ont une bonne tenue à l'usure et de bonnes propriétés de tenue à chaud
- sensibles à la corrosion
- chers.

* alliages de nickel

- très chers

- très lourds

- bonne tenue en température

- bonne tenue à la corrosion.

1.3. Les métaux et les céramiques:

liaison forte et directionnelle: matériaux peu ductiles, pratiquement élastiques, fragiles, isolant thermique et électrique

liaison forte: module d'Young élevé, limite élastique élevée.

Céramiques de qualité: chères

Fragile: utilisation et conception des pièces difficile.

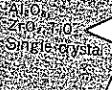
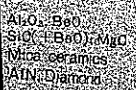
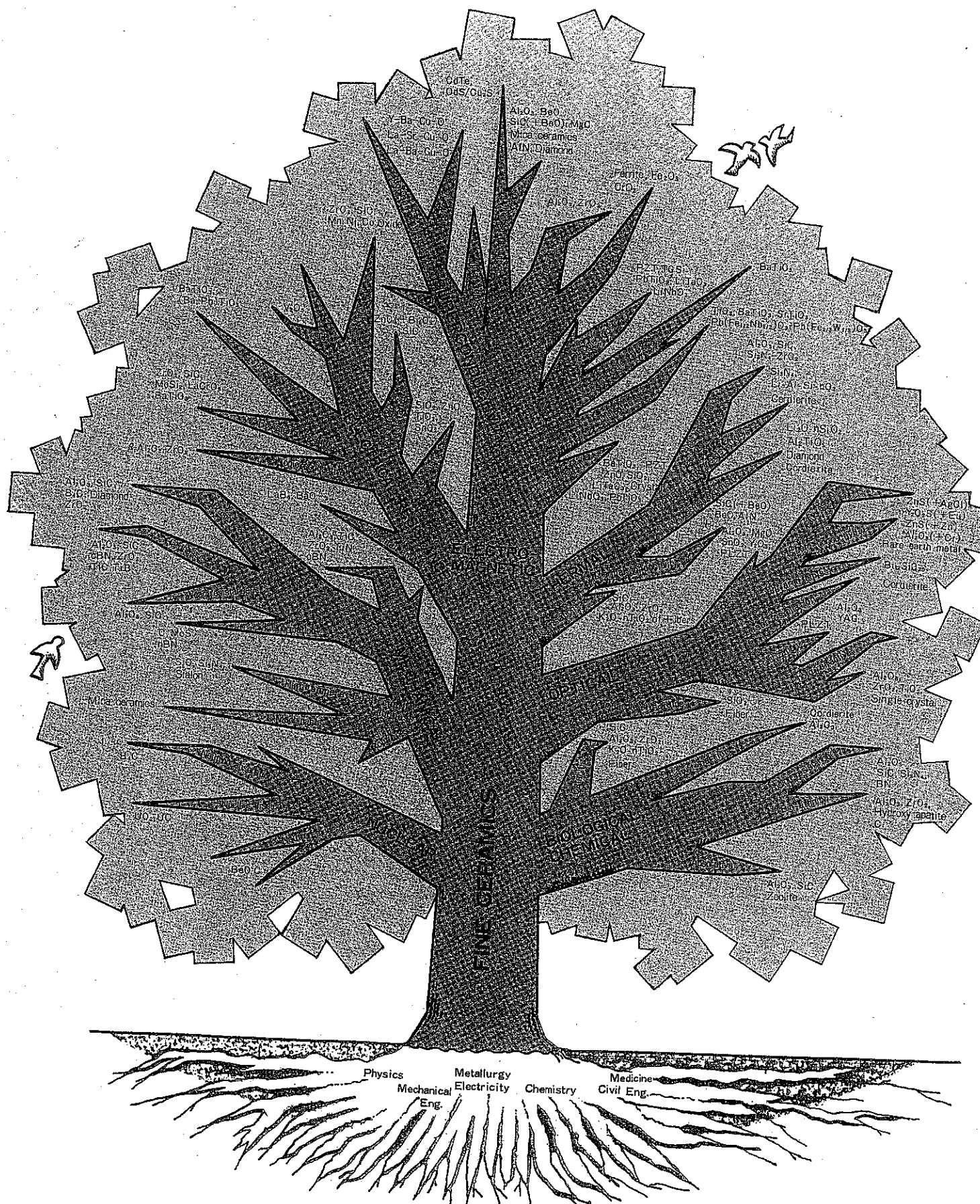
l'alumine: bonne tenue en température, résistant à l'oxydation

SiC : résistant aux chocs thermiques, abrasif

Si_3N_4 : résistant aux chocs thermiques, bonne tenue à la compression

SiAlON : facilement frittés, utilisés dans les outils de coupe.

	Céramiques		Exemples d'applications
Céramiques de grande diffusion	Céramiques hydratées	Ciment, plâtre, bétons,	Bâtiment
	Roches	Granites, marbre, calcaires	Bâtiment
	Céramiques cuites	Brique, poteries porcelaines	Bâtiment, isolation électrique, habitat
Céramiques dispersées	Fibres de renfort	Fibre de verre fibre de carbone	Renfort dans les composites polymères
	Particules de renfort	Alumine, carbure de silicium, magnésie	Renfort dans les composites polymères et métalliques, ignifugeants
	Particules abrasives	Alumine, carbure de silicium, sialons, carbure de tungstène, diamant...	Polissage, outils de coupe
Céramiques techniques massives	Alumine nitrure de silicium carbure de silicium zircone		Pièces de fours à haute température Applications envisagées dans les moteurs
Verres	Verre de silice verre de silice		Fenêtres Equipement de la cuisine



Physics
Mechanical
Eng.

Metallurgy
Electricity

Chemistry
Civil Eng.

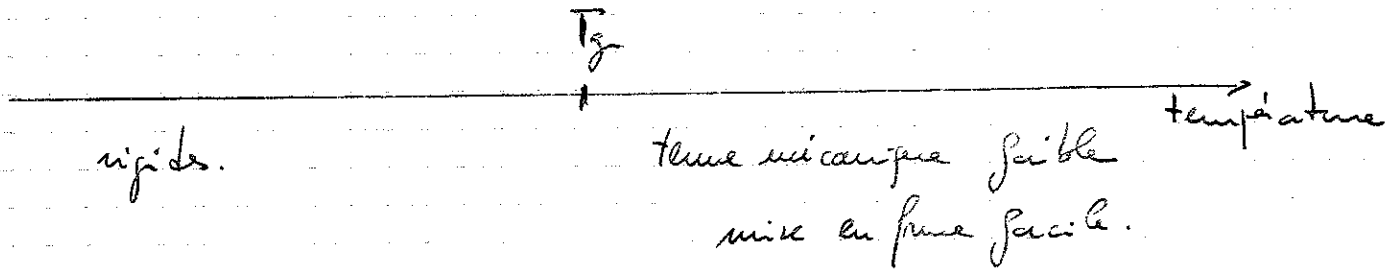
Medicine

2.4 Les polymères et les élastomères

5

Ce sont des macromolécules à squelette covalent, liées entre elles par des liaisons faibles (Van der Waals ou pont hydrogène).

→ leur propriétés dépendent de ces dernières liaisons: elles sont fortement dépendantes de la température.



matériaux légers, bonne tenue à la corrosion, peuvent être très bon moule, faible module élastique

la plupart ne peuvent pas être utilisés au-delà de 100°C.

* thermoplastiques: sont fusibles, et se ramollissent avec la température partiellement cristallins, ou amorphes (donc transparents)

* thermoscurissables (résines) - peuvent être fondus réaction chimique irréversible, bonne résistance aux solvants.

* élastomères (caoutchoucs)
se situent entre les deux catégories précédentes - comme les thermoscurissables, ils peuvent être fondus.

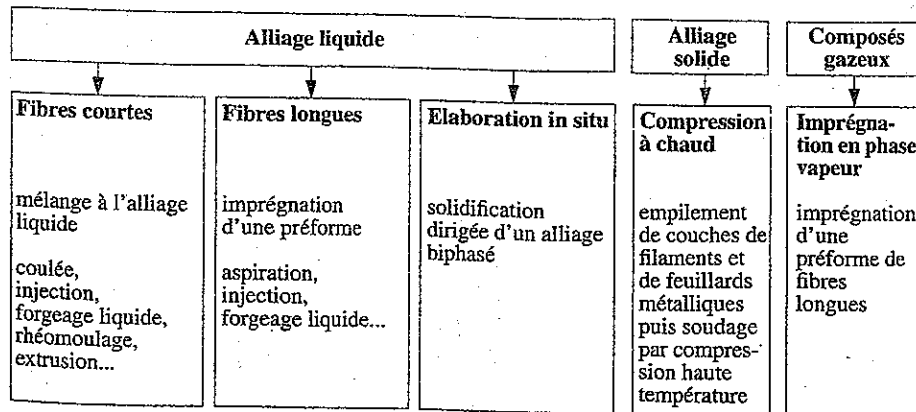
	Polymères		Exemples d'applications
Thermo-plastiques	Acrylobutadiene styrène	ABS	Appareils électroménagers,
	Acétal		Mécanique (visserie)
	Acryliques		Lentilles, emballage
	Acétate de cellulose	AC	Films transparents
	Fluoroéthylène	PTFE	Revêtements à faible friction
	Polyamide	Nylons	Pièces mécaniques moulées
	Polycarbonates		Fenêtres, visières de casques
	Polyéther éther Ketone	PEEK	Revêtements, radomes, grilles de four microondes
	Polyéthylène téréphtalate	PET	Films transparents, habillement, bouteilles
	Polyéthersulfone	PES	Composants électriques
	Polyéthylène		Emballages, tuyauterie...
	Polypropylène		Tuyauterie, chaises, cordes
	Polystyrène		Récipients jetables, corps de stylos...
	Polysulfone		Composants médicaux à stériliser
Polychlorure de vinyle	PVC	Tubes, huisseries de fenêtres, cartes de crédits, bouteilles...	
Thermo-durcissables	Epoxy		Connecteurs, prises, pièces moulées de précision, colles
	Phénoliques		Composants électriques
	Polyesters		Eléments d'intérieur
	Polyimides		Supports de circuits intégrés, revêtement de composants électriques
	Silicone		Encapsulation de composants électroniques, applications structurales jusqu'à 200°C
Elastomères	Butyl		Pneus, joints
	Polyéthylène chlore	CPE	Pneus, semelles
	Ethyl vinyl acétate	EVA	Semelles de chaussure, équipement médical
	Isoprène		Pneus, tuyaux
	Caoutchouc naturel		Pneus
	Polyuréthane	PU	Roues, semelles, pare-chocs, coussins
	Polychlorure de vinyle plastifié		Cuirs artificiels, revêtement de sols, tubes
Mousses	Mousses flexibles		Ameublement, intérieur des automobiles
	Mousses rigides		Absorption de chocs, isolation thermique, âme de structures sandwiches
	Mousses élastomères		Isolation thermique ou acoustique

les composites

Composites		Exemples d'applications	
Base polymères	Matrice thermoplastique	ABS fibre de verre	Appareils ménagers
		Acétal fibre de carbone	Composants mécaniques
		Polycarbonate fibre de carbone ou fibre de verre	Ecrans de protection
		Polypropylène fibre de verre ou renfort minéral	Pièces mécanique, ameublement
	Matrice thermo-durcissable	Epoxy fibre de verre ou fibre de carbone, Kevlar, tissées	Aéronautique, sport
		Polyester fibre de verre SMC	Composants carrosserie automobile
		Polyester à charges minérales	Appareils ménagers
	Matrice élastomère	Renfort métallique ou renfort polymère, charges particulaires alumine, silice...	Pneus
Base métallique	Matrice aluminium	Renfort alumine, carbure de silicium, nitrure d'aluminium	Aéronautique Sport Pièces de frottement dans l'automobile Emballage électronique
	Matrice titane	Carbure de silicium	Pièces de moteur aéronautique
	Matrice cuivre	Fibre Nb ou Ag Particule alumine	Conducteurs électriques à haute tenue mécanique
Base céramique	Matrice carbone	Carbone/carbone	Freins
	Matrice alumine	B4C, TiC, Si3N4	Tenue mécanique à haute température
	Cermet	WC/cobalt TiC/Nickel	Outils de coupe, polissage

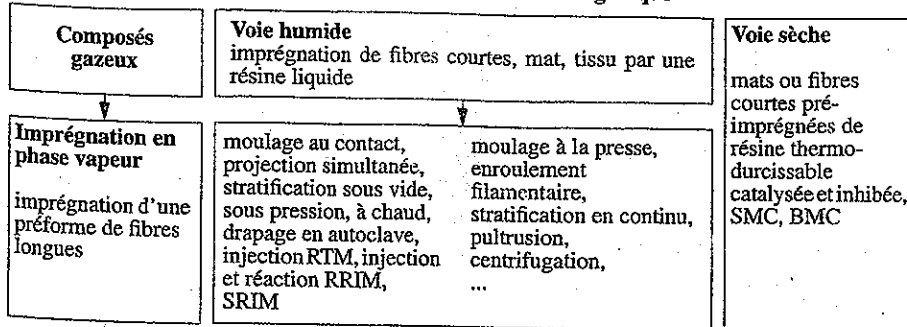
	Métaux	Céramiques	Polymères	Composites
Densité	moyenne élevée	moyenne	faible très faible	moyenne faible
Prix	faible élevé	élevé (techniques) faible (gde diffusion)	faible élevé	élevé
Elasticité	élevée	très élevée	moyenne faible	élevée
Résistance mécanique	élevée	très élevée (compression)	moyenne faible	élevée
Tolérance aux défauts et aux chocs	très tenace	très fragile	peu tenaces mais grande énergie absorbée	très tenaces
Température d'utilisation	moyennes hautes	hautes très hautes	moyennes faibles	moyennes
Tenue aux agressions chimiques	moyennes mauvaise	bonne très bonne	moyenne	moyenne
Conduction de la chaleur	bonne très bonne	moyenne faible	faible très faible	faible
Conduction de l'électricité	bonne très bonne	faible très faible		
Facilité de mise en forme	facile	difficile (techniques) facile (gde diffusion)	très facile	moyenne dépendant de la forme
Facilité d'assemblage	facile	moyenne	facile	difficile

Matrice métallique



Matrice céramique

Matrice organique



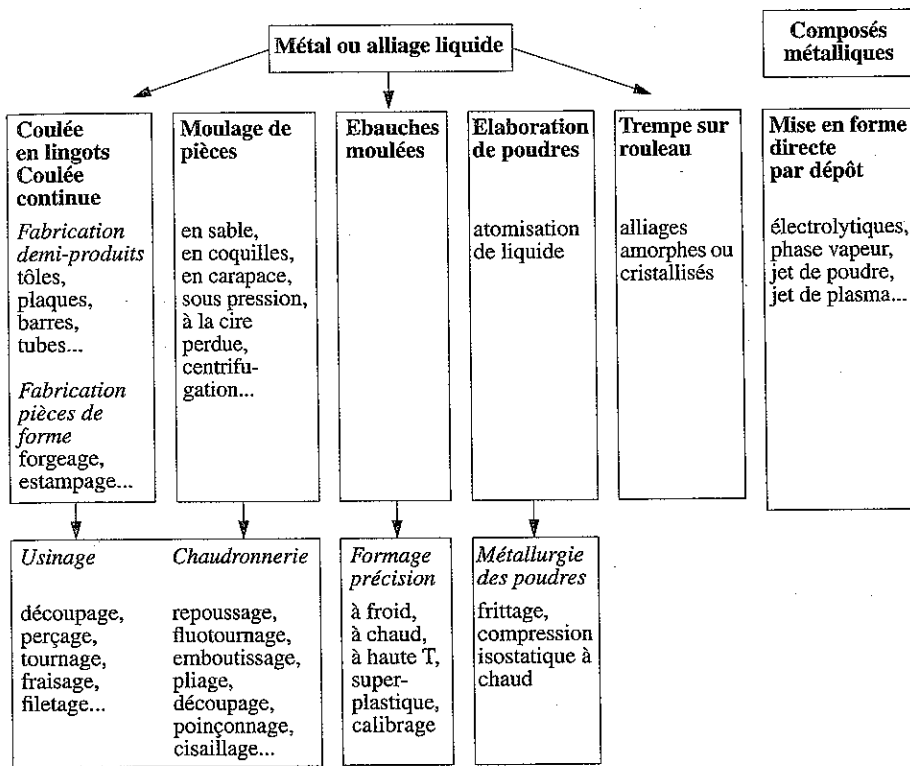
Les grands familles de procédés de mise en forme en relation avec les grands familles de matériaux.

1. les métaux

Leurs températures de fusion sont relativement accessibles
Ils sont ductiles

→ coulage, forgeage, laminage, emboutissage...

Plus les procédés de technologie des poudres.



②. Les céramiques et les verres minéraux.

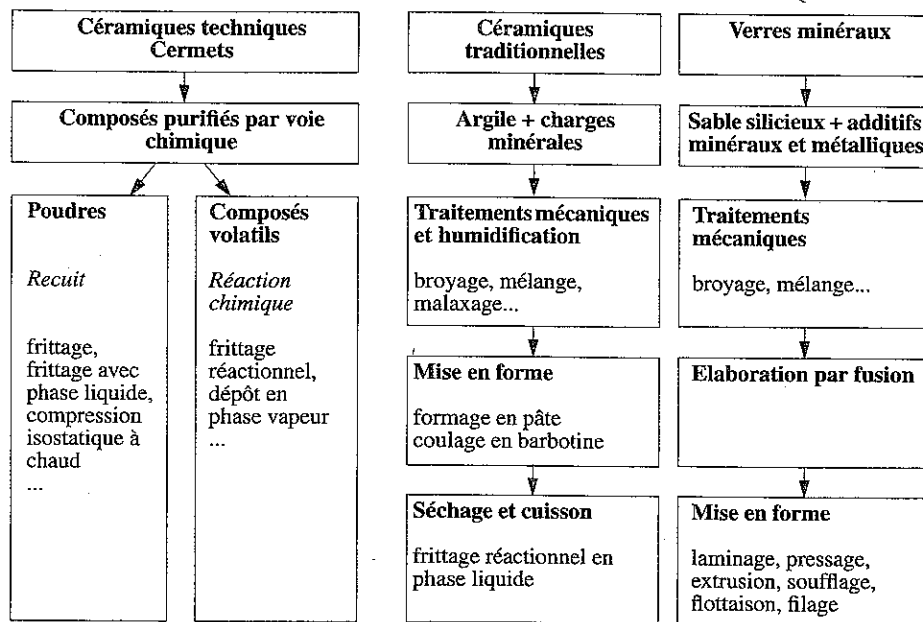
②

Il sont fragiles et durs → leur usinage est pratiquement impossible.

Les verres ont un domaine de température pâteux (\equiv plastique), ils peuvent donc être mis en œuvre par des procédés de déformation à chaud (moulage, soufflage ...).

Ce n'est pas le cas des céramiques pour lesquelles la température de fusion est très élevée.

↳ Elles sont mises en œuvre par frittage.



Cermet: céramique + métal: composite (outil de coupe WC-Co) qui est élaboré selon des règles céramiques classiques.

frittage: consolidation (souvent avec retrait) d'un compact préalable sous l'effet de la température (avec parfois addition de pression).

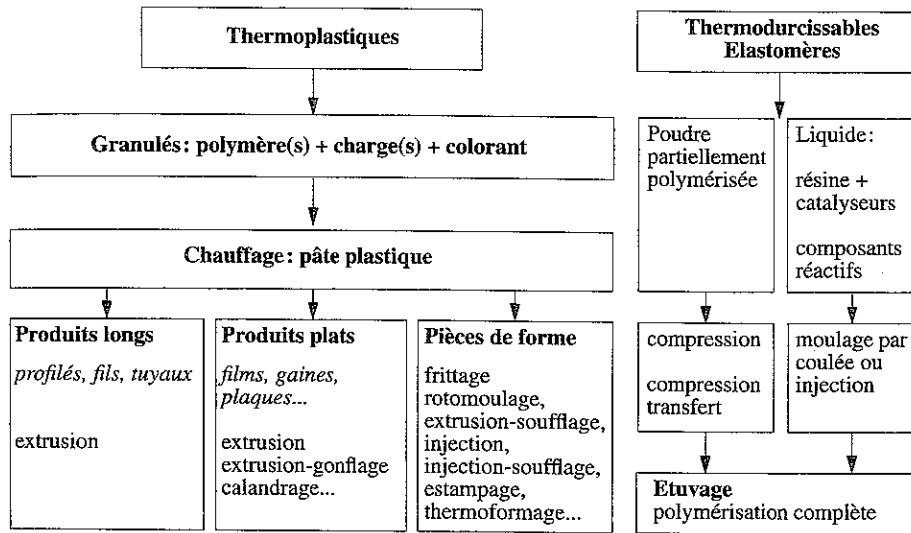
si diffusion à l'état solide: frittage en f. solide (céramiques techniques)

si fusion partielle d'un des constituants: frittage en f. liquide (céramiques traditionnelles).

③ Les procédés de mise en forme des polymères et des élastomères ③

Les procédés diffèrent dans leur principes selon que le polymère travaillé est thermoplastique (maltérable à chaud) ou thermodurcissable (polymérisable à chaud).

Caractéristiques des polymères élastomères : ils se mettent en forme selon des procédés riantant à ceux des polymères thermodurcissables.

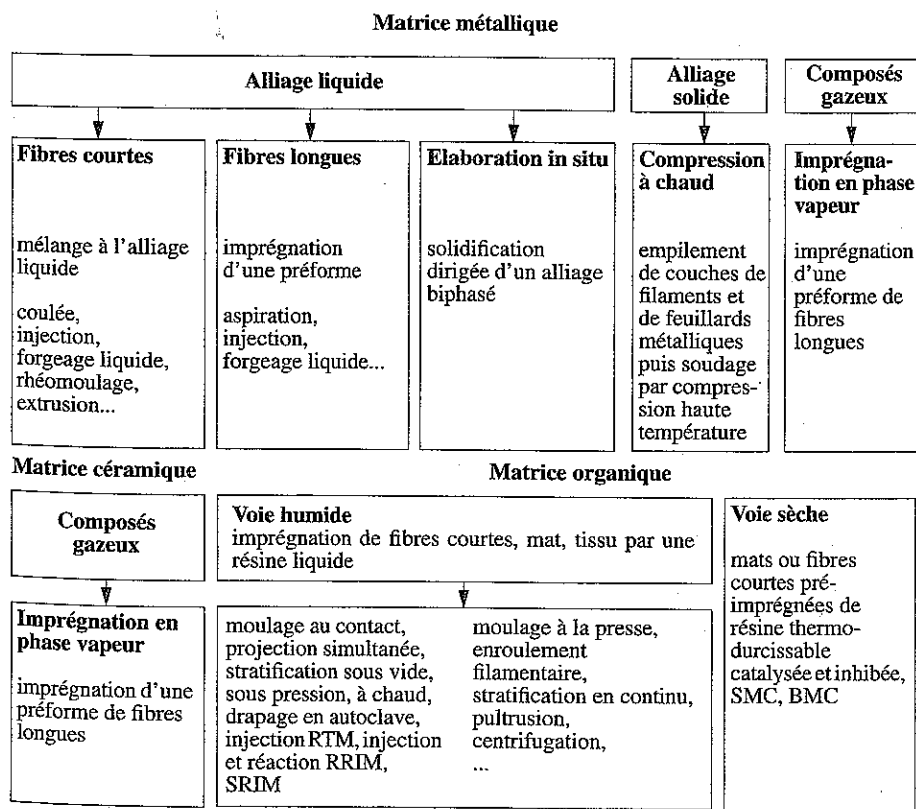


④ Les composites:

Tout dépend de la nature de la matrice (organique, métallique, céramique) et de la forme du renfort.

Renfort sous forme particulière ou de fibres courtes (attention aux problèmes de santé: liège, amiante...): le mélange fibre + matrice peut être mis en forme selon des techniques proches de celles utilisées pour la matrice seule.

Fibres longues (liées ou non liées) : les techniques de mise en oeuvre sont spécifiques.



⑤. Les particularités du liant à prise hydraulique :

Le plâtre est obtenu par déshydratation (chauffage) du sulfate de calcium trihydraté.

Le ciment portland est obtenu par calcination d'un mélange d'argile et de calcaire qui produit les silicates de chaux et des silico-aluminates de chaux.

Les matériaux s'hydratent en contact avec l'eau de gâchage. Des composés spécifiques apparaissent et assurent le rôle de liant. L'intérêt de ces produits est qu'il peuvent se mettre en oeuvre à température ambiante. Ils sont stables et peu sensibles à l'humidité. Ils sont très peu chers.

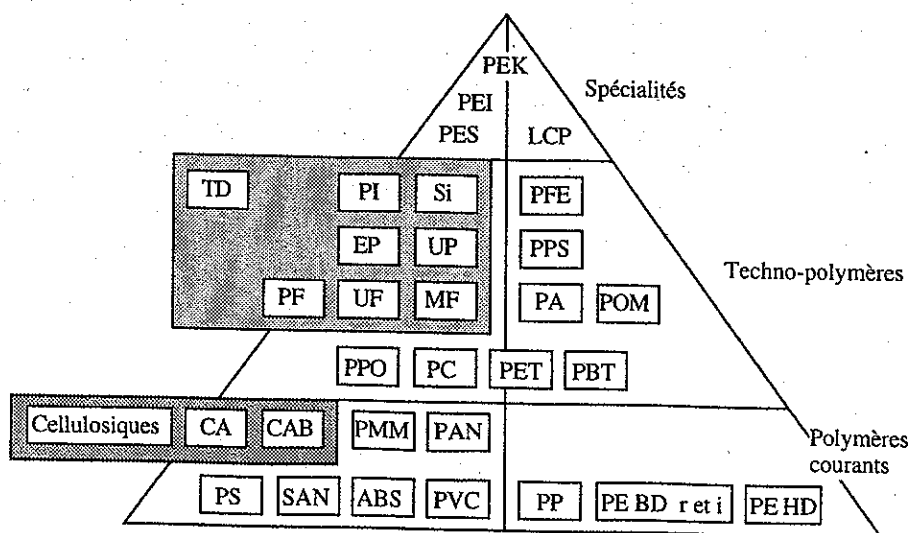
	TP	TD
Outillage ou moule	- refroidi	- chauffé
Mise en forme ou moulage	- sans réaction chimique - transformation réversible	- fixation irréversible
Cycle de production	- rapide	- lent (environ doublé)
Chutes ou déchets	- recyclables	- perdus

Types d'additifs	Effets	Nature des additifs	Polymères les incorporant	Taux usuels
renforts	• accroître tenue mécanique et rigidité	fibres de verre, d'aramide, de carbone	composites polyesters et époxydes	30 %
charges	• apporter une propriété spécifique : tenue choc, thermique, chimique, glissement, abrasion... • réduire le coût et le retrait	talc calcaire graphite farine de bois, mica, coton cellulose	PP polyesters PA phénoplastes et aminoplastes	< 50 % jusqu'à 100 %
plastifiants	• donner de la souplesse • réduire la fragilité	phosphates, phtalates adipates, sébacates, stéarates, glycols	PVC s cellulosiques	< 50 % 10 à 20 %
stabilisants	• contre le vieillissement	sels de Pb, Ba, Ca, Sn, stéarates, huiles de soja époxydées	vinyliques	< 5 %
anti-oxydants	• contre vieillissement et oxydation (O ₂ , O ₃)	aminés aromatiques dérivés phénoliques	oléfiniques et styréniques	< 5 %
colorants	• conférer un aspect coloré	pigments minéraux (oxydes Cd, Cr, Fe, Mb, Ti...) et organiques (noir de C), diazotiques, phtalocyanine	tous	< 1 %

Etat	Forme	Groupe
solide	granulé	TP
	poudre	TP ou TD
liquide	résine	TD

Types d'adjuvants	Effets	Nature des adjuvants	Polymères les incorporant
réticulants	• donner une structure pontée	anhydrides phtaliques polyamides aliphatiques sels de Zr, dérivés de Sn, péroxydes, silanes	polyesters, époxy, silicone, PUR PE HD
gonflants	• apporter une structure cellulaire	azodiocarbonamides, CO ₂ , pentane, fluorocarbures	TP allégés PSE, PUR
solvants	• faciliter l'enduction ou l'impré- gnation	très nombreux	plastisol PVC cellulosiques PF, MF
anti-UV	• empêcher ou retarder la dégra- dation photo-chimique	noir de carbone, benzophénones, complexes organo- métalliques,	tous
anti-statiques	• dissiper l'énergie électrostatique	alkylphénol, alkylsulfonate amonium quaternaire dérivés aminés	styréniques vinyliques oléfiniques
tensio-actifs	• émulsionnant, dispersant, anti-buée	anioniques (alkylsulfates...)	
fongicides	• accroître la résistance aux micro-organismes	dérivés organiques de Sn dérivés halogénés phénol	vinyliques polyesters
désodorisants	• détruire ou changer l'odeur résiduelle	alamasks	
ignifugeants	• retarder la combustion	phosphates halogénés (Cl, Br), composés phosphorés, hydroxyde d'Al et Mg, borate de Zn	
lubrifiants internes	• faciliter le moulage • surfaces brillantes	oléamines érucylamines acides palmitique, stéarique stéarate de Ca ou Zn	PE PP vinyliques styréniques
démoulants (ou lubrifiant externe)	• faciliter la séparation du moule	cires, paraffines, stéarates, aérosols fluorés ou siliconés	

Structures	Molécules	Caractéristiques (tendances)
amorphe (inorganisée)	chaînes très ramifiées, désordonnées, en pelote	<ul style="list-style-type: none"> • stabilité dimensionnelle • tenue au fluage • transparence possible • plage de ramollissement, grande fluidité • cycle rapide
cristalline (organisée)	alignées, symétriques	<ul style="list-style-type: none"> • résistance à la fatigue dynamique • faible coefficient de friction • moindre déformation sous température • tenue chimique (hydrocarbures, solvants) • point de fusion franc • bonne propriété d'écoulement (fibres, films) • opacité retrait important



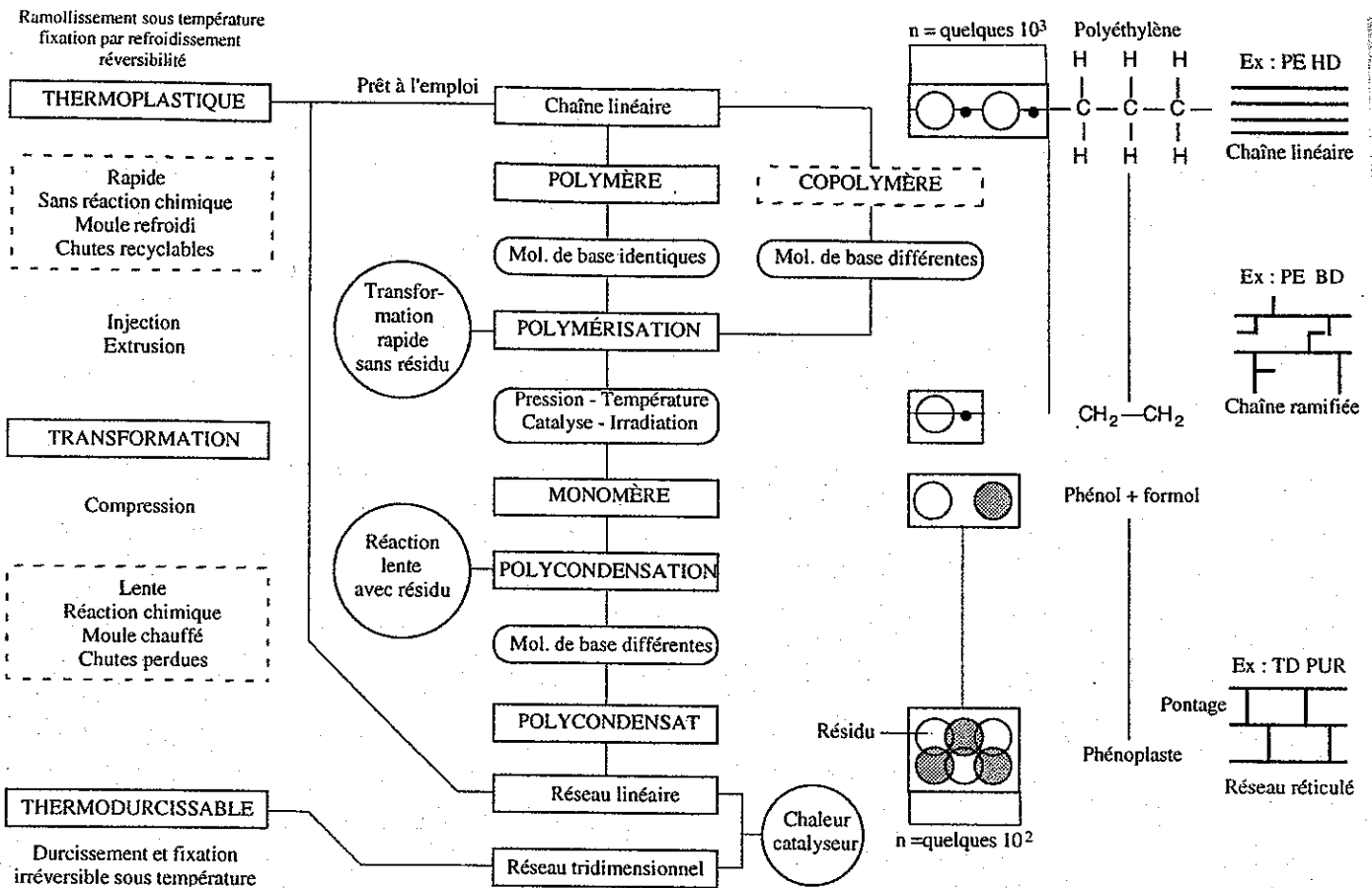
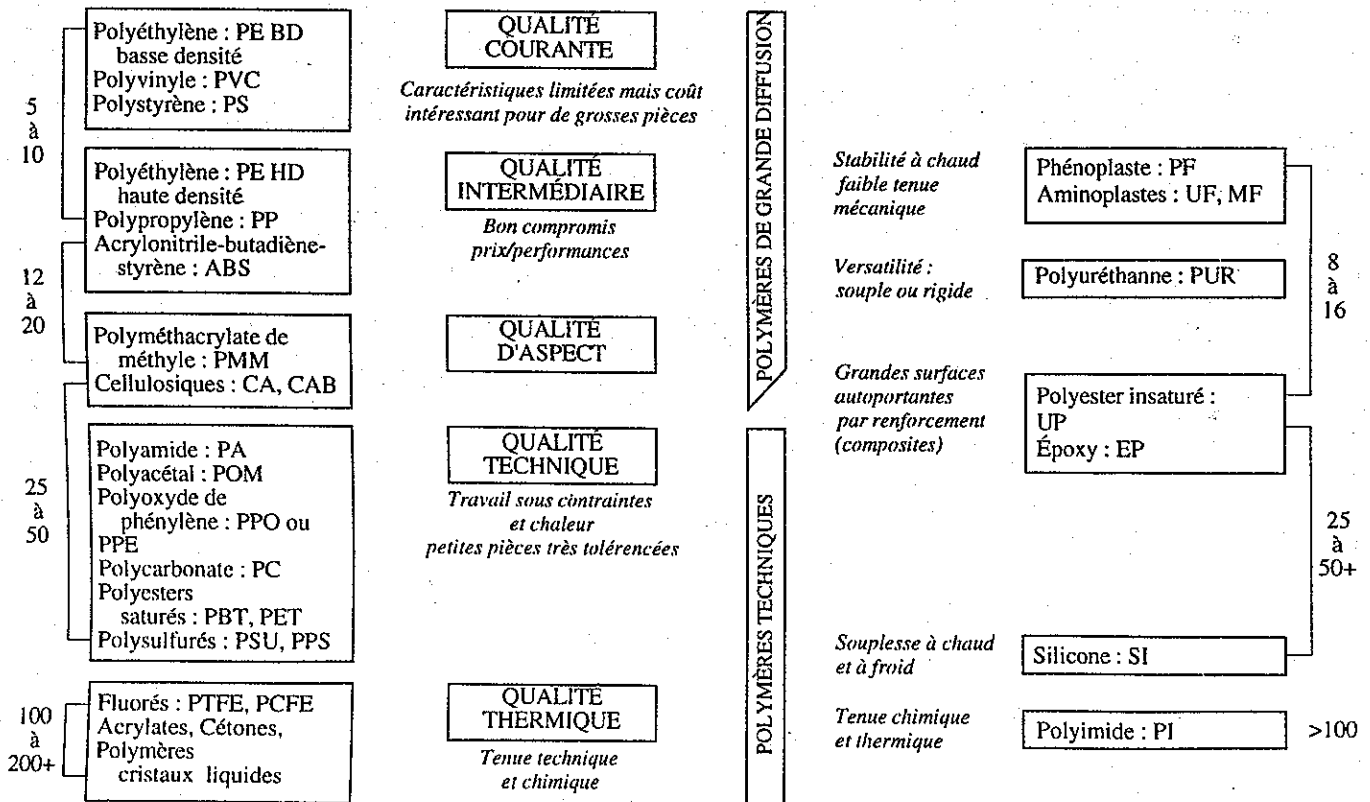


Figure 1.5. Modes de formation des matières plastiques



Données sur la production mondiale des matériaux.

①

II. Les matières premières :

Abondance des éléments dans la croûte terrestre.

Voir le tableau ci-dessous. (en g. par tonne de croûte terrestre).

Oxygène	455 000	Vanadium	136
Silicium	272 000	Chlore	126
Aluminium	83 000	Chrome	122
Fe	62 000	Nickel	99
Calcium	46 600	Rubidium	78
Magnésium	27 640	Zinc	76
Sodium	22 700	Cuivre	68
Potassium	18 400	Cérium	66
Titane	6 320	Néodyme	40
Hydrogène	1 520	Carbone	35
Phosphore	1 120	Yttrium	31
Zinc	1 060	Ghât	29
Fluor	544	Scandium	25
Baryum	390	Niobium	20
Strontium	384	Azote	19
Soufre	340	Gallium	19
Carbone	180	Lithium	18
Zirconium	162	Ploomb.	

En fait la disponibilité effective des matières premières dépend de leur concentration en un lieu donné.

Les principales substances métalliques auxquelles correspondent les matières premières naturelles minérales appelées minerais peuvent être classés:

- métaux communs: aluminium, cuivre, étain, fer, plomb, zinc
- métaux d'alliages: antimoine, chrome, cobalt, manganèse, nickel tungstène.
- métaux précieux: argent, platine et les métaux de la mine du platine (Pd, Ru, Rh, Ir, Os)
- métaux pour technologies avancées: titane zirconium.

Principales substances non métalliques existant à l'état naturel:

- amianté (silicate fibreux)
- baryte (ou improprement haute que est l'hydroxyde de Ba)
 $BaSO_4$.
- le calcaire: $CaCO_3$
- la silice: SiO_2 (sable)
- la fluorine: CaF_2
- la potasse (en fait KCl alors que la potasse au sens chimique est KOH)
- le soufre (S)
- le talc ($Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$)

1. la métallurgie:

Elle a pour but de transformer les matières premières en métaux en produits semi-finis.

Si ce n'est les métaux nobles qui existent à l'état natif, les métaux sont dans la croûte terrestre combinés avec d'autres éléments O, S...

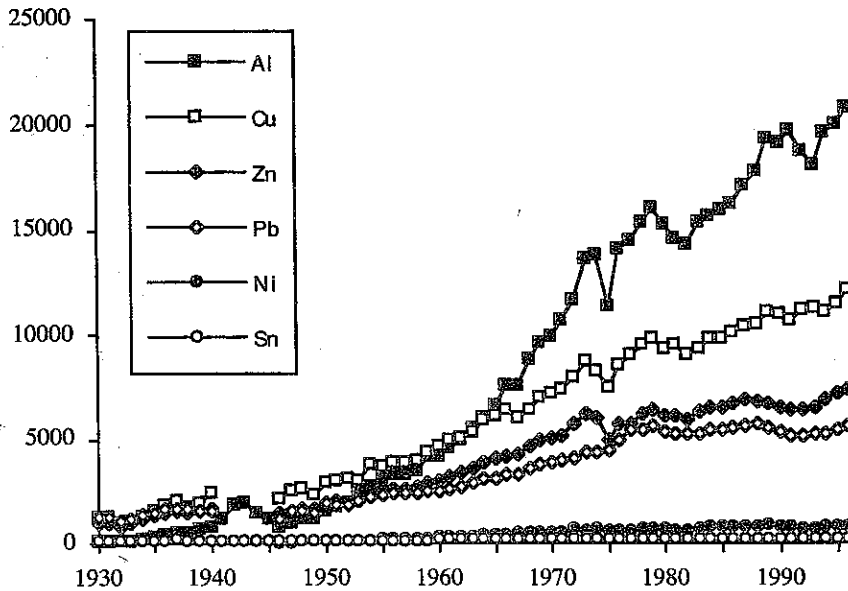
	1950		1973		1983		1987	
	valeur	rang	valeur	rang	valeur	rang	valeur	rang
Fer	3 100	1	10 100	2	14 000	2	23 000	1
Or	2 600	3	6 100	3	19 000	1	22 000	2
Sel	470	8	1 700	7	3 000	8	7 500	3
Uranium			800	16	4 000	5	6 000	4
Bauxite	130	17	820	15	1 800	14	4 800	5
Zinc	990	5	2 300	4	2 800	9	4 600	6
Phosphates	330	11	1 300	10	3 700	6	4 500	7
Cuivre	2 600	2	14 000	1	11 000	3	4 400	8
Soufre	280	18	700	17	2 600	10	4 000	9
Diamant	230	14	1 600	9	2 600	11	3 800	10
Argent	340	10	1 100	12	4 500	4	3 000	11
Platine	85	18	850	13	1 700	15	2 000	12
Plomb	1 000	4	1 700	5	1 300	18	1 600	13
Amiante	260	12	850	14	1 500	16	1 470	14
Potasse	410	9	1 600	8	3 000	7	1 400	15
Nickel	230	15	1 900	6	2 500	12	1 000	16
Etain	840	6	1 300	11	2 100	13	400	17
Kaolin	150	16	550	19	1 300	17		
Manganèse	510	7	620	18	770	19		

Suivent dans l'ordre en 1983 : carbonate de sodium naturel, borates, pyrites, molybdène, magnésite, talc, fluorine, chromite, tungstène, bentonite, barytine, vanadium, cobalt, feldspath, sulfate de sodium, ébonite, mica...

Sources : Observatoire des matières premières, Annales des Mines (d'après Total Information, n°102, 1985).

	Cours (en F/kg)		Consommations ou productions (en 10 ³ t) en 1996
	En octobre 1997	Moyenne de 1994	
Pt	101 100		0,1 (production minière)
Rh	81 400		0,01 (environ)
Au	67 500	68 728	3,3
Ag	1 000	1 036	25
Co	364	245	20 (production métallurgique en 1994)
Hg	52	31	2,0 (production de 1 ^{ère} fusion en 1994)
Sn	40	35	206 (en 1994)
Ni	35	35	915 (production en 1995)
Cu	12,7	13,1	12 155
Sb	10	21,4	89 (production minière en 1994)
Al	8,8	9,4	20 750 (consommation de 1 ^{ère} fusion)
Zn	8,4	6,3	7 441
Cd	4	14,5	16,8 (en 1994)
Pb	3,3	3,1	5 690
Aciers courants	1,6 à 3	1,5 à 3	752 000 (production)
Aciers inox.	11 à 23	10 à 20	14 236 (production en 1994)

Evolution de la consommation mondiale de métaux, en milliers de t (aluminium de 1^{ère} fusion et cuivre raffiné)

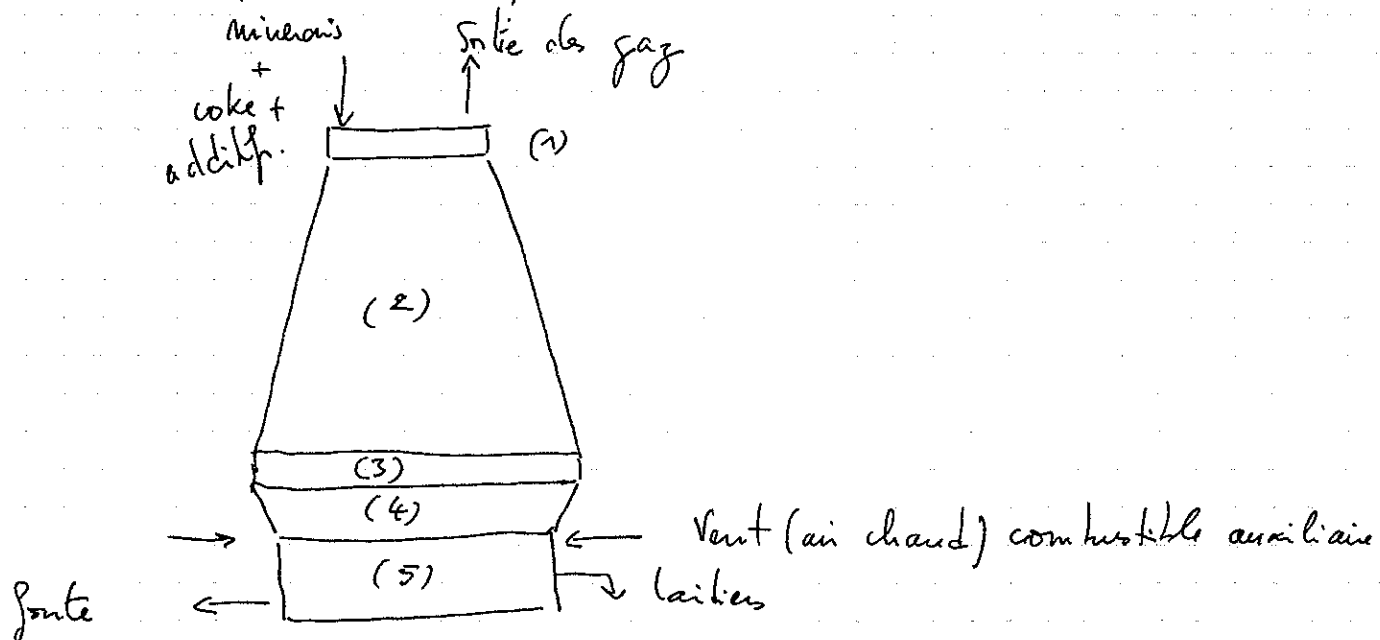


II 1. Cas du fer: (vidéurgie).

minerais: Les principaux minerais de fer sont l'hématite: Fe_2O_3 et la magnétite Fe_3O_4 essentiellement.

Le minerai est associé à un gangue formé d'oxydes d'aluminium de calcium, de magnésium, de silicium...

Fabrication de la fonte: haut fourneau



Dans le haut fourneau, l'oxyde de fer est réduit en fer par le carbone (CO). On obtient un alliage saturé en carbone: la fonte qui contient de faibles quantités de soufre et de phosphore.

Le haut fourneau est un réacteur à contre courant. Les matériaux solides introduits au gueulard descendent progressivement vers le bas de l'appareil. Au niveau des tuyères, la combustion du coke et des combustibles auxiliaires produit un gaz réducteur (CO) à une température de l'ordre de 2000°C: oxydes, métal et gangue entre en fusion et seul le coke reste à l'état solide. La fonte et le laitier sont évacués périodiquement par le bas.

Transformation de la fonte en acier:

la fonte est transformée en acier par oxydation, ce qui revient à retirer de l'oxygène pour diminuer la teneur en carbone de l'alliage et éliminer C, Si, S, P.

Les différents nuances d'acier:

acier	microstructures
acier doux C ≤ 0,05%	ferrite + cémentite tertiaire
acier hypoeutectoïde 0,05 < C < 0,8%	ferrite + perlite
acier eutectoïde C = 0,8%	perlite
acier hypereutectoïde C > 0,8% (teneurs marginales)	perlite + cémentite secondaire

Les aciers, les fontes ont des propriétés ^{mécaniques} très variables qui peuvent être multipliés par ajout d'éléments modificateurs et de traitements thermiques.

Si ce n'est les fontes, ils souffrent d'une mauvaise résistance à l'oxydation.

Les aciers fortement alliés peuvent être inoxydables. Pour ce dernier le taux de chrome est supérieur à 13%.

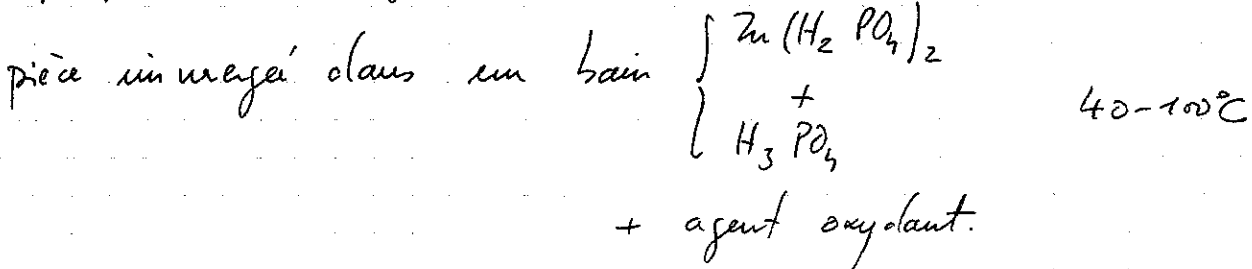
Les traitements anti corrosion:

En premier lieu, on peut isoler la surface de la pièce ~~par~~ de l'oxygène et l'humidité ambiante par une couche isolante: peintures; émail.

Il existe aussi, les procédés par immersion, par dépôt électrolytique, par oxydation anodique, pulvérisation, plaquage.

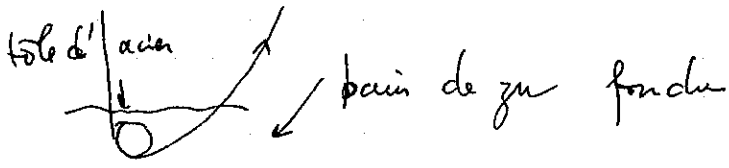
procédés par immersion:

ex: 1) phosphatation au zinc



→ formation d'une couche superficielle de phosphate de zinc.

2) galvanisation



3) étamage: bain d'étain. (fer blanc)

procédés électrolytiques

bain contenant des ions métalliques: caduage, chromage, étamage, nickelage, zincage.

émaillage:

l'émaillage consiste à réaliser un revêtement solide souvent vitreux opaque ou transparent constitué d'oxydes minéraux:



Les couches sont pérennes sous forme de grilles. Elles sont ensuite déposées à la surface des pièces en acier: projetage en voie sèche par ou en voie humide (barbotine).

⇒ bonne résistance à la corrosion, à l'usure (appareils électrochimiques)

⇒ bon aspect.

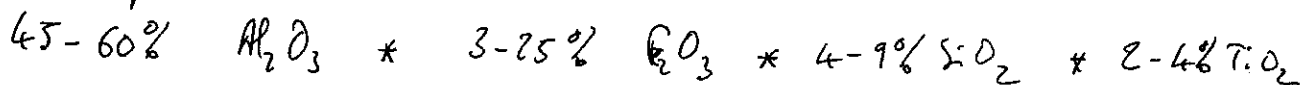
⇒ tenue aux chocs thermiques?

II.2. Cas de l'aluminium:

l'aluminium est l'élément le plus répandu dans l'écorce terrestre. Il est cependant très difficile à obtenir à l'état métallique.

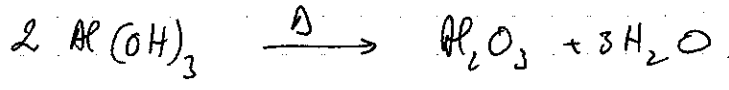
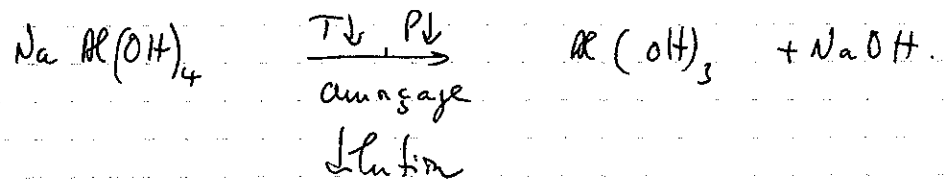
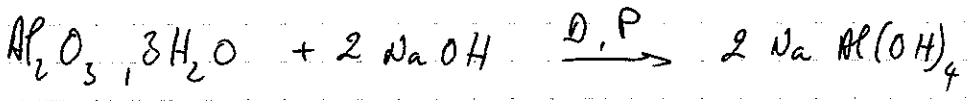
(l'aluminium est très réducteur, i.e. son oxyde est très stable, cf. cours de chimie).

minerai de départ: bauxite:

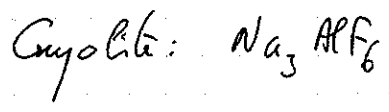


de ce minerai impur, l'aluminium est extrait par le procédé Bayer.

(1888)



2^{es} étape, la réduction de l'alumine par le procédé Hall-Héroult.
l'alumine est dissoute dans un bain à base de cryolite fondue.



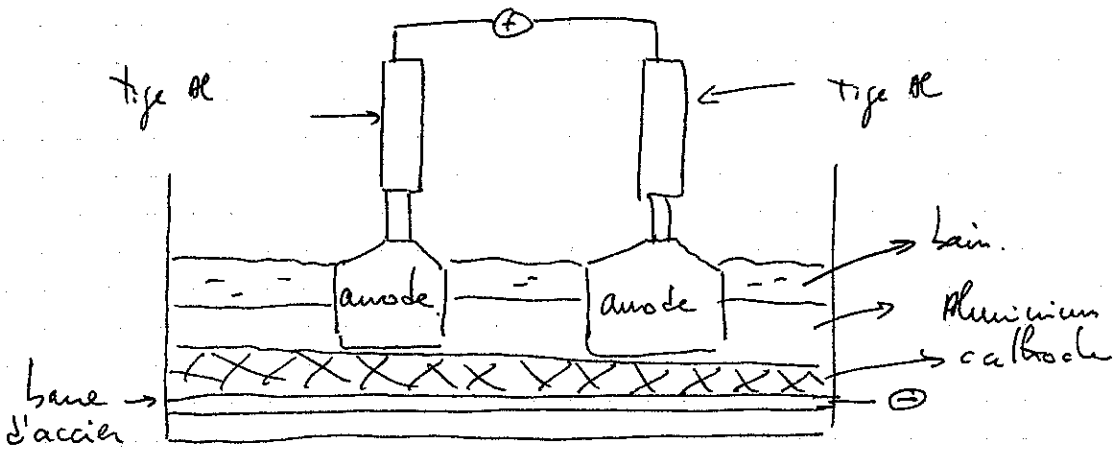
un bain classique est: 80% $Na_3 AlF_6$ + 12% AlF_3 + 5% CaF_2 + 3% Al_2O_3
(en masse).

Sa température de fusion est de 950°C.

Pour faire cette même réaction de réduction (cf. ci après), il aurait fallu
fondre l'alumine pure à 2040°C !

le mélange en fusion a une densité de 2,1.

l'aluminium liquide a une densité de 2,3: Il tombe au fond de la
cure.



Dans la fabrication de l'aluminium, c'est l'énergie électrique qui est le ^① premier poste de coût de production.

Théoriquement il faut 5640 kWh pour produire une tonne d'aluminium.

C'est donc un produit extrêmement énergivore à produire et donc a priori peu écologique. Cependant sa capacité à être réutilisable très facilement tempère ce propos (actuellement 90% de l'Al est recyclé).

L'aluminium seul n'a pas de caractéristiques d'usage intéressantes.

On utilise en fait des alliages:

Al + Mg : série 5000 magnalium

Al + Cu (bronze d'aluminium) duralumin

Al + Zn : alpaax : alliage + peinture

etc....

§ 1.3. Cas du silicium: cas du silicium monocristallin utilisé dans l'industrie électronique.

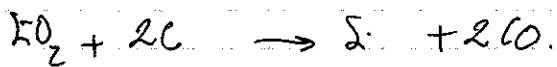
Le silicium peut être dopé pour en faire un semi-conducteur. Dans la fabrication de puces en électronique, on part de plaques de silicium qui sont oxydées (SiO_2) en certains endroits. On dope le silicium non attaqué.

On réalise ainsi des alternances, semi-conducteur / isolant + la connectique associée.

Tout repose sur la réalisation de silicium monocristallin ultrapur.

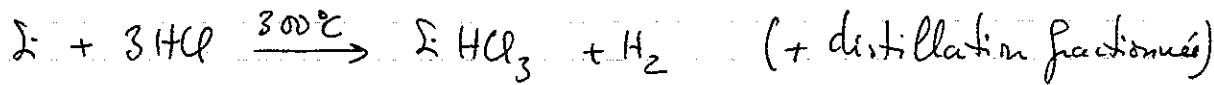
① fabrication du silicium:

Le silicium de qualité métallurgique (pureté $\geq 98\%$) est obtenu par réduction du quartz (SiO_2) par le carbone à $T > 2000^\circ\text{C}$.

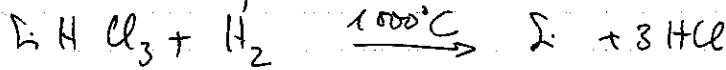


(Si impur)

le silicium est ensuite transformé en trichlorosilane SiHCl_3 :



le trichlorosilane est décomposé en silicium pur

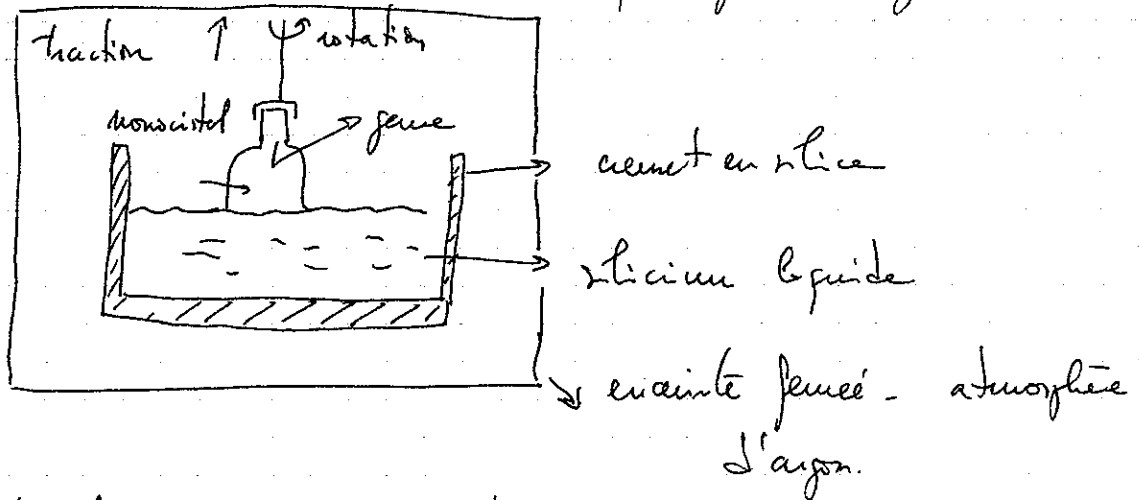


le silicium est alors ultra pur (les impuretés sont de l'ordre de quelques ppm). Il peut être dopé.

tirage du silicium monocristallin : méthode Czochralski

le silicium est fondu sous argon dans un creuset en silice. Un germe de silicium est mis en contact avec le bain et tiré progressivement; au contact le silicium fondu cristallise sous forme d'un monocristal.

On peut aussi réaliser des monocristaux par fusion de zone.



C'est la capacité de l'industrie à fabriquer du silicium monocristallin qui a permis l'essor de la microélectronique (puisqu'elle en constitue la première étape).

II / Les polymères :

En 1990, la production mondiale de polymère s'est élevée à 86 Mt.

Les USA occupent la première place avec 27 Mt.

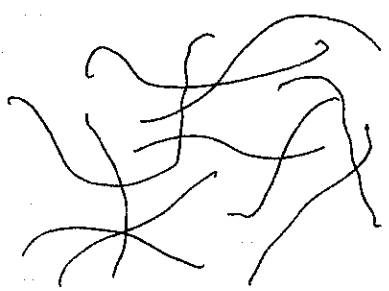
Les thermoplastiques représentent l'essentiel de la production, et parmi ceux-ci le polyéthylène est le plus développé.

Pour le PE on distingue :

- PE bdl (basse densité linéaire)
- PE bdr (basse densité radicaire)
- PE hd (haute densité)

		Etats Unis	Europe	Japon
Thermoplastiques	PE	8,6	8	2,5
	PVC	3,8	4,6	2
	PP	3,5	3,3	1,8
	PS	2,4	1,8	1,1
Thermoséables	PF	1,5	1,3	0,4
	JP	1,4	1,2	0,6

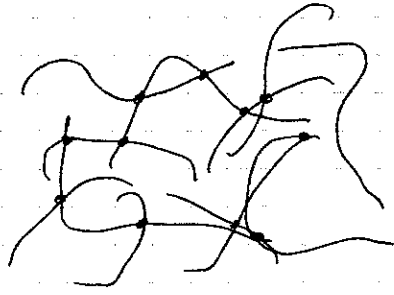
Le terme polymère est utilisé pour désigner les macromolécules constituées par l'assemblage d'un grand nombre de motifs unitaires. Ces motifs peuvent être arrangés en chaînes linéaires :



polymères linéaires.

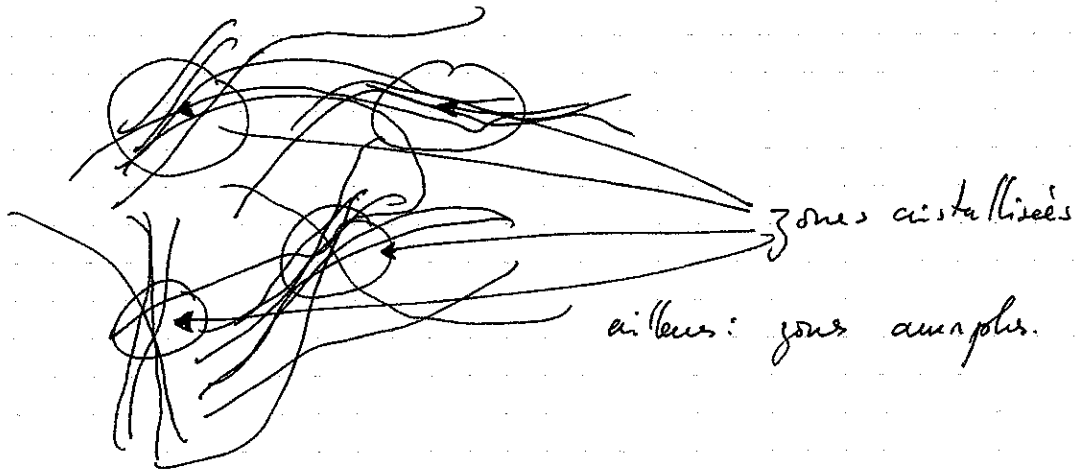
ils peuvent aussi être reliés en eux pour former un réseau tridimensionnel

(12)



polymère réticulé.

Un polymère peut aussi présenter des zones cristallines



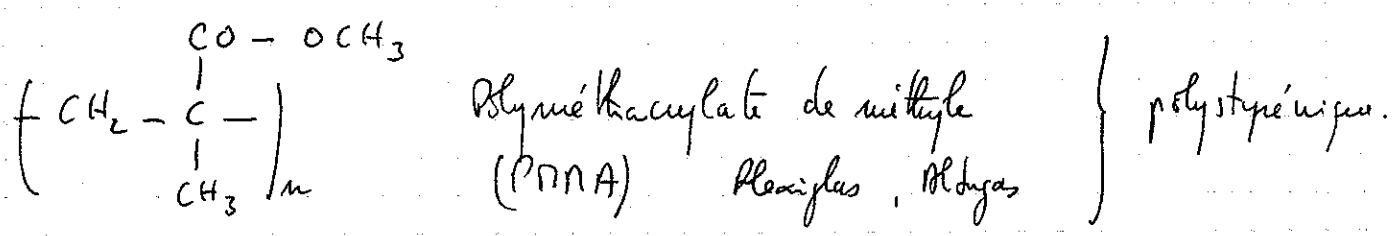
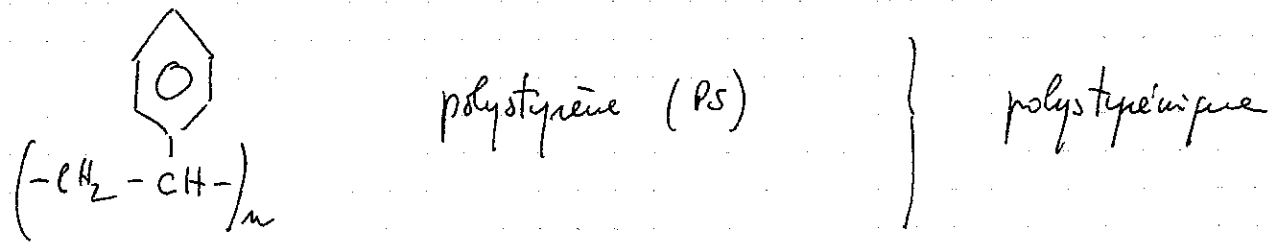
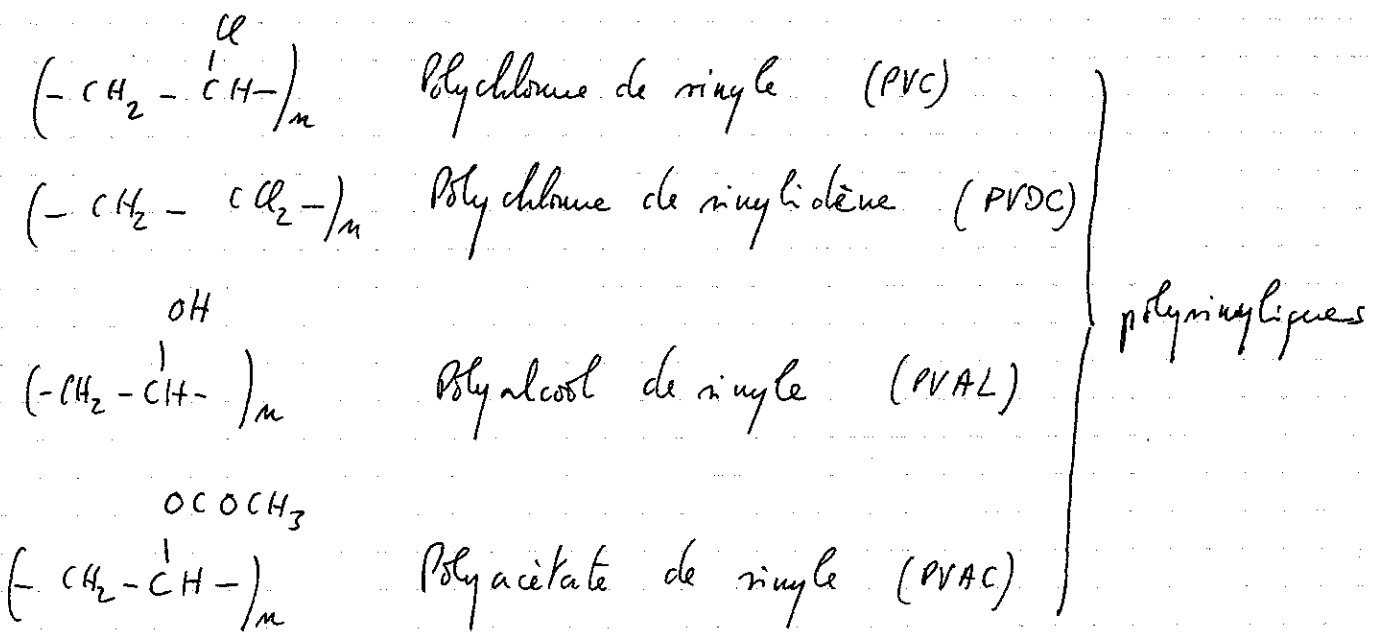
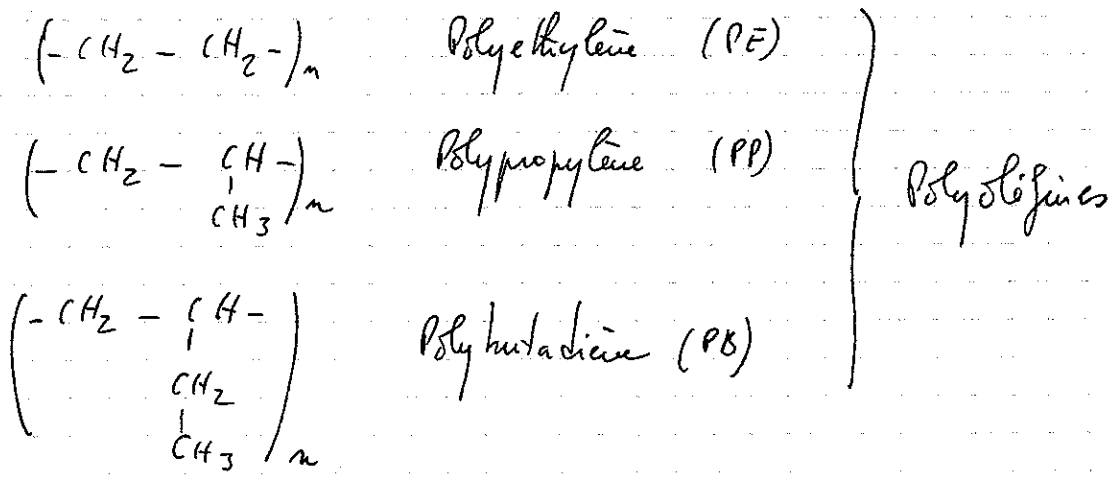
Amorphes
(PMMA, PC, PVC)

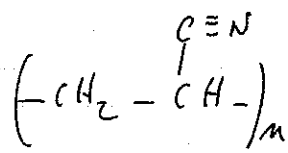
- faible retrait, bonne stabilité dimensionnelle
- bonne tenue au fluage et au choc
- difficile à étirer
- existence d'une plage de ramollissement
- grande flexibilité

Cristallins
(PEhd, PP, PA)

- grande résistance à la fatigue dynamique
- bonne tenue chimique
- bonne possibilité d'étirement
- point de fusion net
- faible coefficient de frottement

6) Thermoplastiques

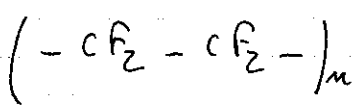




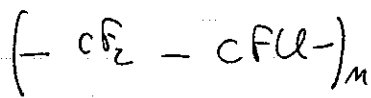
Polyacrylonitrile (PAN)

Polyacrylique.

11**

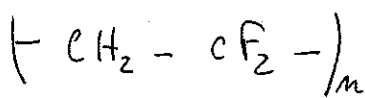


Polytétrafluoroéthylène (PTFE)

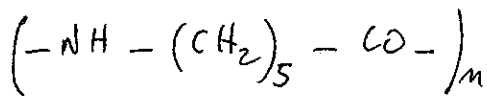


Polychlorotrifluoroéthylène (PCTFE)

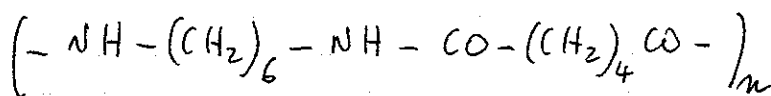
Polyfluoro-éthènes



Polyfluorure de vinyle (PVDF)

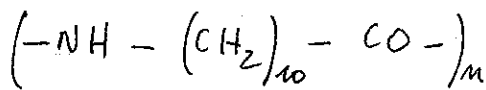


Polyamide 6 (PA6)



Polyamide 6,6 (PA6,6)

polyamides



Polyamide 11 (PA11)

+ polyéthers + polyesters naturels + polycarbonates + polysulfone + polysulfone + cellulose pure.

Copolymères

SB

Styrène - butadiène

EVA

Ethylène - acétate de vinyle

SAN

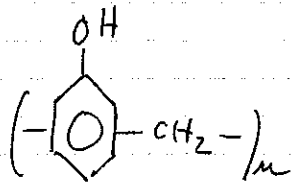
Styrène - acrylonitrile

ABS

Acrylonitrile - butadiène - styrène

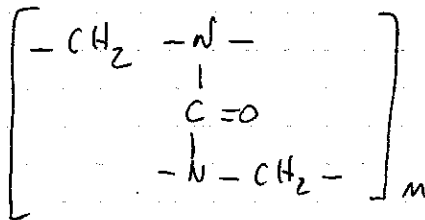
les thermoplastiques.

M**

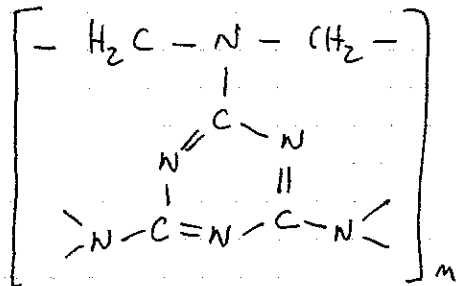


Formophénolique (PF)

Phénoplastes

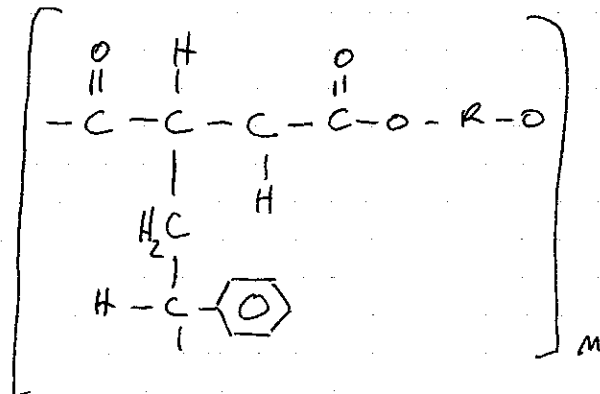


Urée formol (UF)



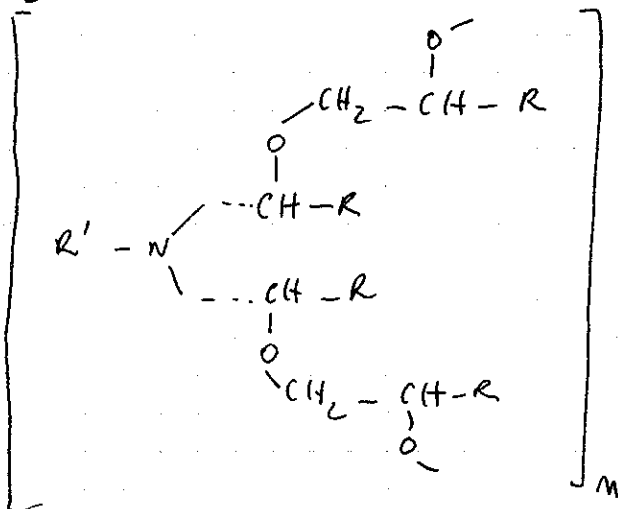
mélamine formol (MF)

Aminoplastes



Polyester insaturé (UP)
pontage styrène.

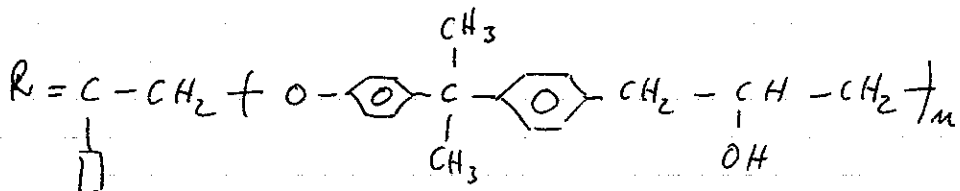
Polystères.



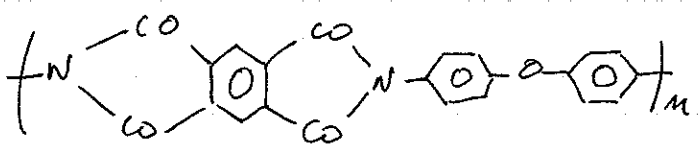
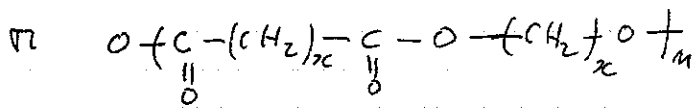
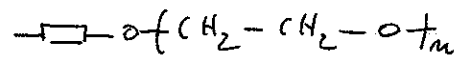
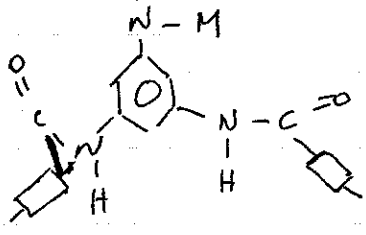
Polyépoxyde (EP)
pontage amine
analdite

polyépoxydes.

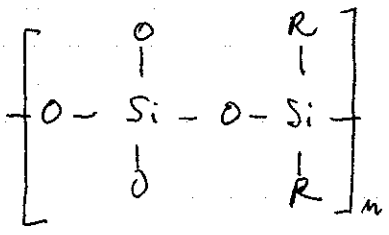
M**



polyétherane
réticulé (PUR)

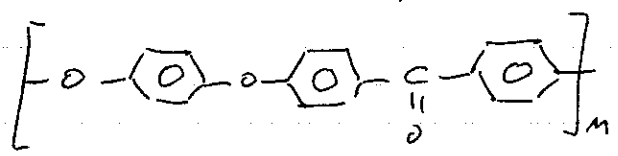


polyimide (PI)



silicone (SI)

Polymères thermostables techniques.



polyétheréthérone (PEEK)

la synthèse de ces polymères se fait à partir de matières premières issues de la chimie de synthèse. Les principales réactions sont la polyaddition et la polycondensation.

Applications :

Polyéthylène haute densité {
- bouteille, de lait en particulier
- articles ménagers
- tuyaux
- carter à bouteille

Polyéthylène basse densité {
- films pour l'agriculture
- films rétractables pour l'emballage
- feuilles pour la construction
- sacs poubelles

Polypropylène tuyaux, pare-chocs, coques de voitures, bande d'emballage

Polystyrène pièces pour l'électroménager, gobelets gradués, carter de réfrigérateurs

Polystyrène expansé bâtiment, emballage, plaques isolantes

Polychlorure de vinyle {
- tuyaux, bouteille pour produits alimentaires
- rouleaux roulants et poutres
- gainage des câbles électriques
- revêtements de sols et murs

polytétrafluoroéthylène {
- enduction de surfaces antiadhésives
- peintures sans lubrifiants
- isolants électriques

Polyéthylène

mousses de garniture, sièges, peintures
seruis et revêtements de sols.

Polyéthylacrylates de
méthyle

litrage d'anions, de réticules, de guichets
bitiques de cliquotants
seruis

Polymeres phénoliques

Colles pour panneaux de particules et laque de
me
pignés de canoies
liants d'abrasifs

Aminoesters

Colles pour panneaux de particules
revêtements pour meubles de cuisine

Polyester insaturés

plaque ondulées
Copus de bateaux et canoërie
seruis
stratifiés