

Introduction

Importance des matières plastiques

matériaux ↔ performance (défaillance)

On sait mal prévoir les effets du temps.

matériaux et informatique : croissance de 15% / an.

{ aspirateur 20% du poids en plastique.
sèche-cheveux 80%

Grand secteur d'utilisation

automobile.

modèle	305	205	BX	VERA	ECO 2000	
poids	925	740	881	750	450	
mat plastique	70	60	100	167	130	(en kg).
composites	1	11	25	67	96	
	7,1%	9,6%	11,4% 14,1%	31,2%	48,1%	(% mat plast et composite)

performances : feu arrière ; capacité d'amortissement (pare-choc) ; silence de fonctionnement ; formes complexes ; longévité.

économie : matière première peu chère ; coût de transformation ; maintenance.

coûts de montages réduits :

hayon BX → 3 pièces.

GS → 27 pièces.

perspectives

emballage : faible poids et coûts ; imperméabilité ; neutralité chimique. résistance chimique et capacité d'amortissement.

Sports et loisirs,

aéronautique ; performance ; tenue à chaud ; résistance au feu.

Section du bâtiment : le plus gros consommateur (35% mondial)

profilé, poutrelle, plancher, revêtement, isolant thermique, électrique. 2

* prix de revient faible.

* longévité.

* isolation.

Aspects énergétiques: consommation d'énergie (coût de production)

contenu énergétique $\begin{cases} \rightarrow \text{production} \\ \rightarrow \text{amélioration des rendements.} \end{cases}$

coûts de production:

issues bois, charbon, pétrole à contenu énergétique élevée.

ce qui compte dans un matériau c'est son volume.

th / tome (p 4).

En volume la situation est inversée. (plus E pour acier que plast)

A noter allusion aux faibles énergie de transfo.

3% du pétrole \rightarrow MAT PLAST.

EX: douilles de lampe fabriquées en phénoplastes. (thermo-durcissable)

temps de fabrication 25 min \rightarrow 6 presses.

(choix d'1 polymère: polyester thermoplastique) \rightarrow 1 presse.
plus cher

temps de fabrication 16 s. 25% de gagné.

Amélioration des rendements.

\rightarrow économie énergie

\rightarrow reconception du système \rightarrow les performances

$$\mu \text{ moteur thermique théorique max} = \frac{T_{\text{source chaude}} - T_f}{T_{\text{ch}}}$$

fusée ariane

2000 à 3000°C

\rightarrow ancienne résine phénoplastes + fibre de verre
épaisseur de qq cm. (ablation)

\rightarrow composite carbone-carbone, tiennent
sans ablation qq mm.

\rightarrow poussé: 10%.

Autres matériaux:

les métaux: élaborés; alliage léger.

$\left\{ \begin{array}{l} \text{bras de suspension} \\ \text{étriers de freins} \end{array} \right.$

Alliage Al-Li $\leftarrow \rho = 0,53 \text{ g cm}^3$ (le plus léger des métaux) 3

1% de Li apportée à Al \leftarrow 3% sur μ alliage
6% sur E (young)

Acier à \nearrow résistance.

à durcissement secondaire par précipitation.

Ni, Co, Mo, W.

Alliages légers ; Alliages frittés : permet de préparer des alliages + riche.

Verres métalliques.

Les verres : bâtiment, fibres et tissus de renfort, fibres optiques.

Les céramiques : bâtiment, brique, céramique, béton, carrelage nucléaire, combustible, réfractaire (four).

magnétique \rightarrow tête de lecture

diélectrique \rightarrow CONDO.

STRUCTURES DES POLYMERES

I) Déf. matière plastique \leftarrow argile du potier
 \leftarrow tête de distributeur rigide \rightarrow mat plast.

polymère : tjs formé de macro-molécules \Rightarrow (qq milliers à 10^6 de milliers d'atomes)
masse moléculaire élevée.

Préparation des macromolécules

par assemblage de petites molécules en grand nbre ou monomère "MER"

* Polymérisation : addition, réunion de monomère tous identiques sans élimination.

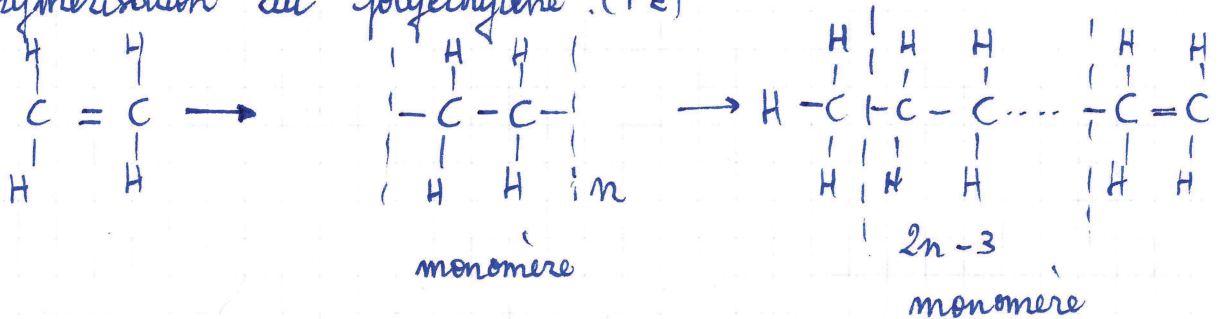
masse de la macromolécule = multiple entier de celle du monomère

éthylène, propène, dérivés vinyliques

↳ polymères thermoplastiques.

diène, triènes...
comme butadiène } ⇒ elastomères.

EX: polymérisation du polyéthylène (PE)



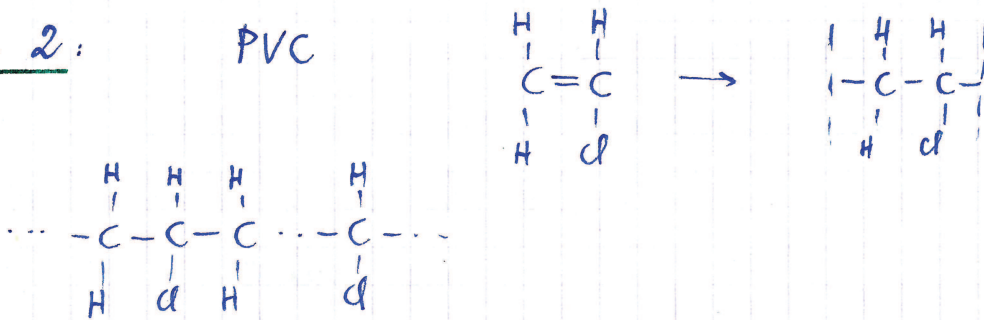
Rmq 1: l'éthylène est un gaz $n=1$

si n est faible (≈ 20) ⇒ polyéthylène liquide + ou - visqueux
⇒ huile, lubrifiant.

si n est + gd ⇒ graisse ($n \approx 50$)

si n est encore plus grand ⇒ plastique rigide, coque bateau
($n \approx 300$ à 500)

Rmq 2: PVC



le squelette carboné est fortement replié (angle valentiel de 109° + rotations).

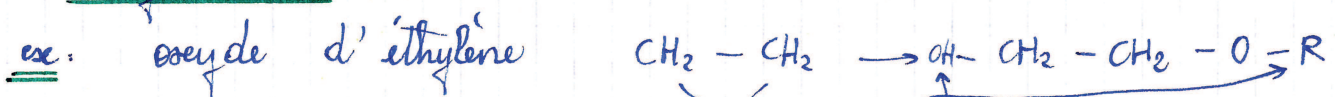
* Polycondensation. s'effectue avec formation d'un produit à éliminer.
molécules BI ou TRI dimensionnels

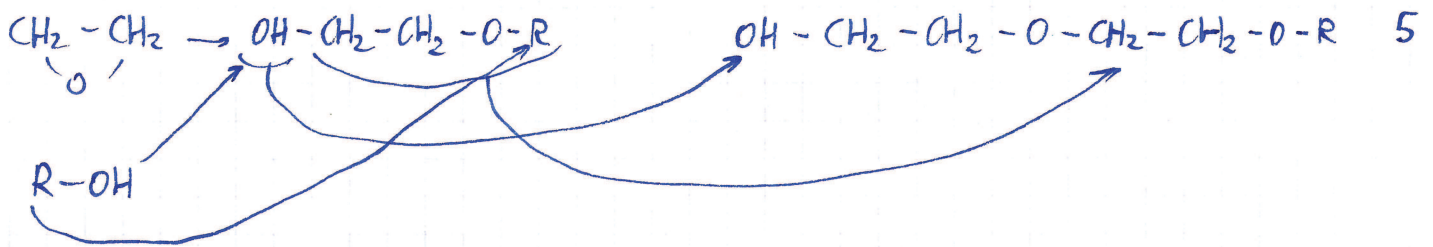
→ réaction chimique entre molécules.

fonction acide sur alcool → polyester (tergal)

fonction acide sur fonction amine → polyamide (nylon)

* Polyaddition

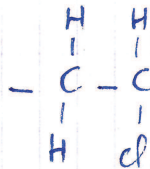
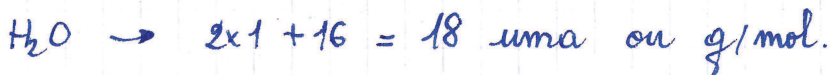




- * polyuréthane
- * polyépoxyde

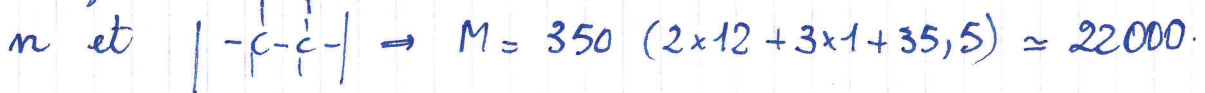
II) Dimension des macromolécules

* masse moléculaire



masse de la macromolécule = $700 \times 12 + 1050 \times 1 + 350 \times 35,5 \approx 22000 \text{ uma}$
 pas particulièrement élevé.

* degré de polymérisation = $n = DP$



* Valeurs moyennes : \rightarrow en nbre. \searrow en masse.

i degré de polymérisation :

ex: 300 305 320 ...

N_i : nbre de macromolécules dont DP est i .

M_i : masse moléculaire d'une macromolécule de degré i .

$N_i M_i$: masse | des macromolécules | de \hat{m} masse moléculaire M_i
 de polymère

$$\overline{DP}_n = \frac{\sum N_i \cdot i}{\sum N_i}$$

$$\overline{M}_n = \frac{\sum N_i \cdot M_i}{\sum N_i}$$

$$\overline{DP}_w = \frac{\sum (N_i \cdot M_i) \cdot i}{\sum N_i \cdot M_i}$$

$$\overline{M}_w = \frac{\sum (N_i \cdot M_i) \cdot M_i}{\sum (N_i \cdot M_i)}$$

Polydispersité: étalement de la répartition des valeurs

$$P = \frac{\overline{M}_w}{\overline{M}_n}$$

$\left\{ \begin{array}{l} P=1 \text{ biologie} \\ P=2 \text{ PVC} \\ P=10 \text{ PE (polyéthylène)} \end{array} \right.$
forte dispersion.

* Longueurs des macromolécules.

PVC $n = 350 \rightarrow 700 \times 0,154 \text{ nm} \approx 108 \text{ nm}$.

distance entre le monomère initial et final:

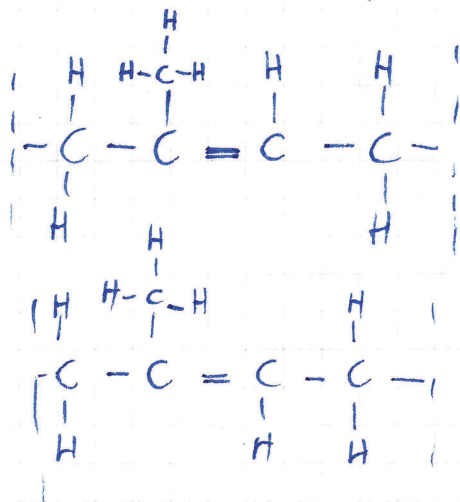
$$L = l \sqrt{m} = 0,154 \times \sqrt{700} \approx 4,07 \text{ nm}$$

↑ ↑
0,154 nombre de liaisons C-C

III) Configuration moléculaires.

* stéréoisomérisation: géométrie différente de la molécule.

ex: C_5H_8

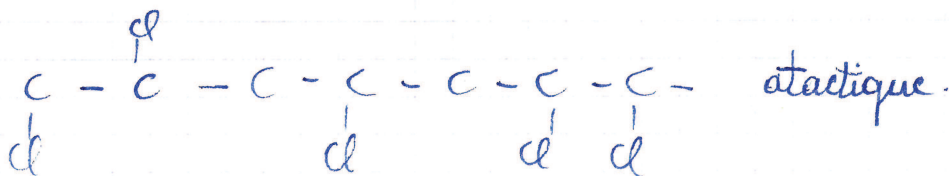


$(C_5H_8)_n = \text{isoprène}$.
caoutchouc naturel.

gutta percha rigide et cassant.

ex: 2 polyéthylène: pas de stéréoisomérisation (symétrie de la molécule.)

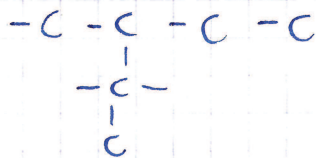
ex 3: PVC stéréoisomérisation possible au niveau des macromolécules



* Ramification

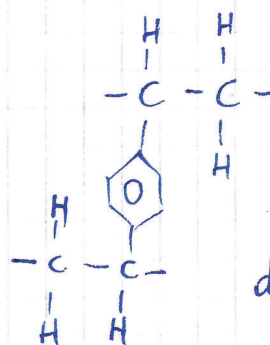
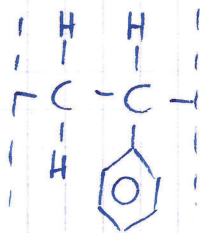
PE bd

polymère ramifié



* Réticulation

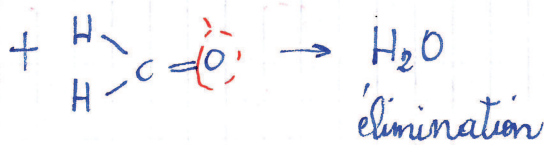
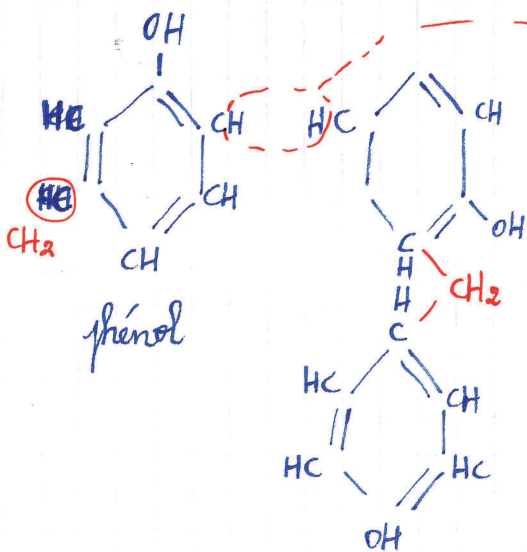
ex. polystyrène



réticulation divinyl benzène.

réticulation des élastomères / le soufre.

→ vulcanisation: permet l'utilisation mécanique de ces matériaux polymères à réseaux tridimensionnels. fait par polycondensation



→ phénol formaldéhyde } E famille
ou phénoplastes ou bakélite } des
thermodurcissables

cristallinité des polymères

Dans les polymères la situation est plus complexe que dans les métaux car lors du refroidissement la cristallisation se produit beaucoup plus difficilement (p 17). Cristal d'iode. I₂

→ maille orthorhombique avec 3 dimensions différentes.

$$\mu = 4,95 \text{ g/cm}^3$$

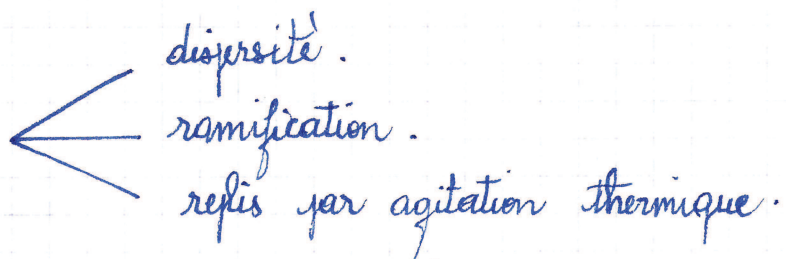
* polyéthylène:

les macromolécules sont très allongées mais peuvent s'aligner et donner des cristaux. $\mu = 1,0073 \text{ g/cm}^3 \sim 1 \text{ g/cm}^3$ si, so, PE est

parfaitement cristallin

Rque 1: Si μ du PE amorphe (+ cristallin) est de $0,9 \text{ g/cm}^3$.

Rque 2: une cristallisation aussi parfaite que ne l'indique la figure est une situation limite.



Rque 3. Lorsque θ est suffisante il y a fusion des cristallites. il y a expansion.

Rque 4. La cristallisation est imparfaite et incomplète \rightarrow polymères semi-cristallin. (cristallites noyés dans matrice amorphe) \rightarrow taux de cristallinité.

Copolymères: il est possible de fabriquer des alliages sous 2 formes qui ressemble à des solutions solides ou des alliages biphasés.

Copolymères statistiques : A-B-A-A-B-A-B-B-A-B-A-A-B-A-B-B

" " alternés : A-B-A-B-A

" " séquences (bloc) : A-A-A-A-B-B-B-B-B-A-A-A-A-BB---

" " greffes :
A A A A A A A A
B B B B

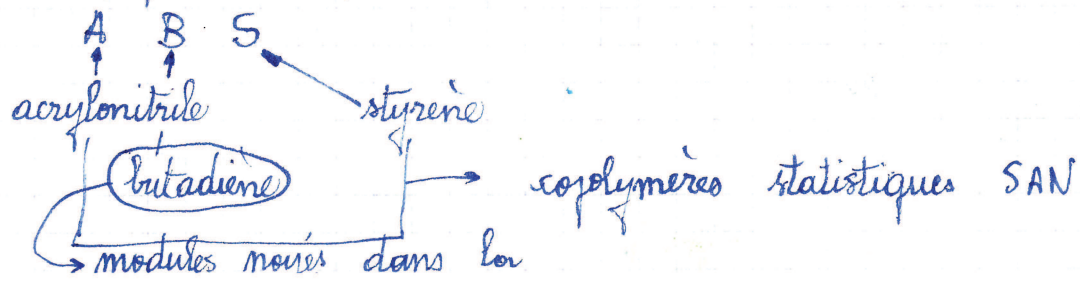
ex 1: caoutchouc synthétique :

BUNA-S butadiène styrène



élastomère \rightarrow flexibilité rigide \rightarrow résistance mécanique.

ex 2: polymères biphasé



IV) Les transitions de phases.

* mots moléculaires:

1 → 2 ; 3 → 4 ; 2 → 3 : transitions de phases avec + ou - de conséquences sur les propriétés mécaniques.

(② → ③ transition vitreuse)

Loi d'Arrhenius :

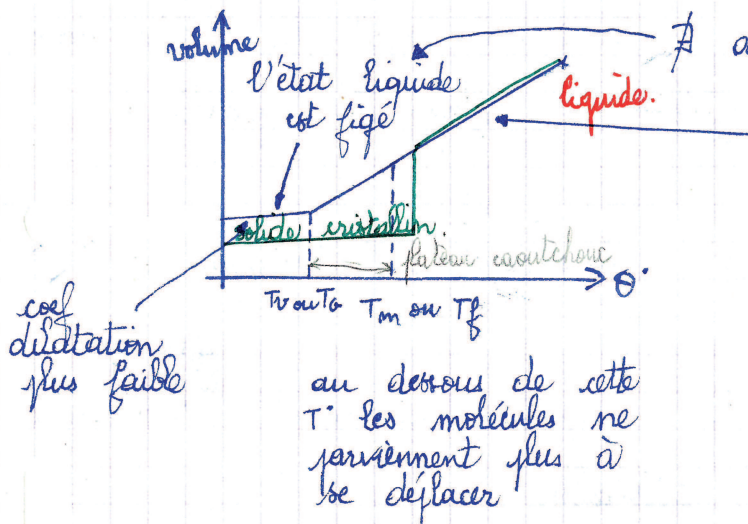
$$\tau = \tau_0 \exp \frac{E}{RT}$$

τ : temps qui sépare en moyenne 2 rotations successives
 E : 8,32 J/K
 R : 8,32 J/K
 T : K

③ → ④ transition liq. - liquide

polymère cristallin = FUSION T_m ou T_f plutôt $T_{c,l}$.

transition vitreuse:

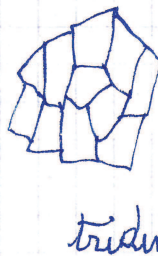
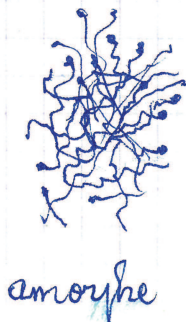


de mot à longue distance \rightarrow seulement vibrations atomique
 réduction de l'amplitude des mots moléculaires.

qd on atteint T_f "officielle" la cristallisation ne se fait pas immédiatement \rightarrow retard ou surfusion.

Au dessous de T_g ou T_v "verre organique" "état vitreux", "polymères amorphes"
 amorphe = sans forme cristalline
 polystyrène $T_g \sim 100^\circ\text{C}$
 isoprène $T_g \sim -73^\circ\text{C}$

Propriétés des polymères.



les propriétés dépendent étroitement de la structure.

① → déformation / glissement des macromolécules les unes / autres sur de grandes distances.

influence de { Masse
degré de polymérisation
longueur.

plus longueur ↑ ⇒ difficile à déformer + d'enchevêtrement, plus de dureté, + T_{vr} ↑ (beurre dans spaghettis ⇒ ↑ plasticité)

influence de P (polydispersité). P ↑ ⇒ plasticité du matériau ↑

influence des ramifications. ⇒ plasticité ↓ (il est + facile d'enlever une baquette rabotée qu'une branche dans un fagot.) s'opposent à la cristallisation:

réticulation: ⇒  ponts. - limite le movt des chaînes donc la possibilité de déformation plastique.

au dessus de T_v .

Tacticité influe sur les possibilités à cristalliser (atactique ⇒ difficile à cristalliser).

influence de la cristallinité: les propriétés changent brutalement et très fortement à T_f (T^* fusion): cristallin

② → les propriétés mécaniques changent progressivement sur un ΔT
 T_v, T_f = intervalle de thermoformage T_{ee} : amorphe.

③ liaisons ~~non~~ covalentes ⇒ polymères indéformable m en chauffant sauf décomposition chimique.

polymères amorphes: $T < T_g$ ⇒ rigidité ≪ métause.

car { léger délt des atomes (comme métause)
variation des angles valentiels (≠ métause)

$E = 50\,000$ MPa PVC ou PS

contre $E = 15\,000$ MPa Pb

$E = 110\,000$ MPa Cu

8000 MPa PF
phénoplastes

les liaisons covalentes sont très rigides, mais sa structure (angles, ...) \Rightarrow flexibilité. 11

* Polymères orientés, méthodes de fabrication \rightarrow alignement ou orientation préférentielle $\rightarrow E$ varie suivant les pts de la pièce; $E \uparrow$ si macromolécules alignées dans la m direction.

applications: fibres synthétiques.

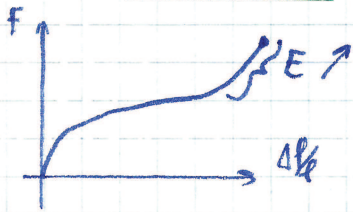
polyamide 66 chauffer au dessus de T_g (60°C)

+ contrainte \rightarrow étirage

+ refroidissement sous contrainte au dessous de T_g

\rightarrow molécules orientées 2000 MPa \rightarrow 15000 à 20000 MPa.

EX: caoutchouc.



l'alignement \rightarrow pseudo-cristallinité (orientation).

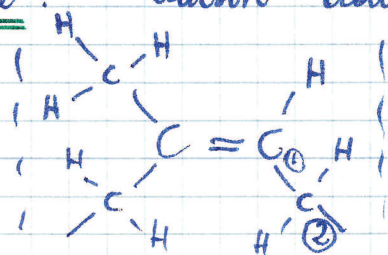
* Elastomères

gde déformation élastique sous de faibles contraintes
faible E ($\approx 10 \text{ MPa}$ au début de la déformation)

origine de ces propriétés = structure.

1- Structure part des monomères

isoprène: liaison double \rightarrow pas de rotation possible



C_5H_8

liaison ② rotation possible

\rightarrow nombreuse replis.

(sous ensemble des thermoplastiques)

⊖ habituelle utilisation $> T_g$.

nécessité de réticulation à des T_{auve} faibles.

tridimensionnel → liaisons covalentes.

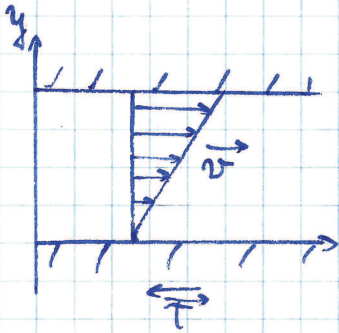
2% des possibilités de réticulation → pneus.

Rque 1 (fig 824 p 20) $E \nearrow$ si $t^\circ \nearrow$ contrairement aux métaux. car l'élasticité dépend de la structure.

Rque 2: vulcanisation $\nearrow \Rightarrow E \nearrow$.

3- déformation permanente:

* Viscosité: eau, huile, graisse, cire, ... verre viscosité \nearrow



fluide visqueuse.

$\frac{v}{y}$ = gradient de vitesse.

viscosité = $\eta = \frac{\tau}{(v/y)} = \text{Pa}\cdot\text{s} \Rightarrow (10 \text{ Poises} = 1 \text{ Pa}\cdot\text{s})$

* les propriétés de déf permanente dépendent (car vitesse $\neq 0$) du temps ~~et~~ de la vitesse de déformation.

T_g peut être défini en terme de viscosité $T_g \sim 10^{12} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

η varie très rapidement lorsque $t^\circ \nearrow$ au dessus de T_g .

$\text{Log}_{10} \eta = 12 - (17,5 \Delta T / (52 + \Delta T))$. $\Delta T = T - T_g > 0$.

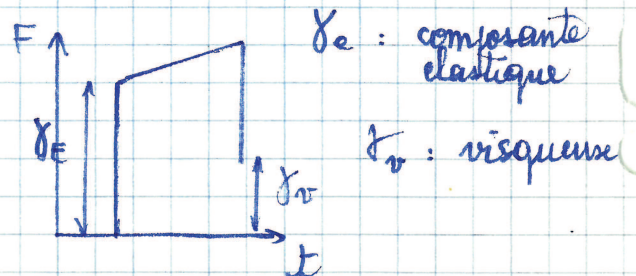
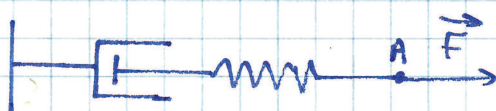
conséquences: choix de la bonne viscosité

→ choix du bon θ° (pintu).

Pb de régulation thermique.

* Modèle rhéologiques: le comportement mécanique est visqueux et élastique.

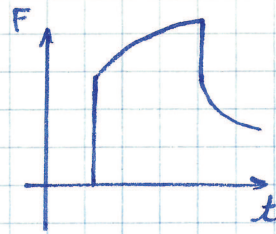
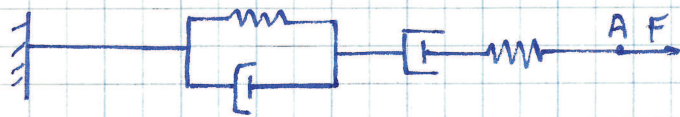
modèle de MAXWELL



γ_e : composante élastique

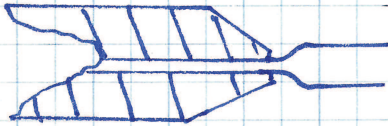
γ_v : visqueuse

modèle de Zener.



conséquences de restitution visco-plastique

→ Pb dimensionnel



gonflement à la sortie de la fibre

* module visco-élastique

Métal | E / G plastique | η type de modules \neq

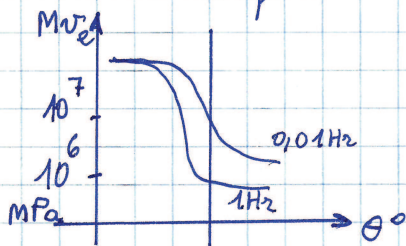
chaque fois préciser les conditions.

$$M_{ve} = \frac{\tau}{\epsilon_e + \epsilon_v} \quad \text{avec } \begin{cases} \theta \text{ précisé} \\ t \text{ précisé} \end{cases}$$

$$M_{ve} = \frac{\tau}{\epsilon_e + \epsilon_v} = \frac{G\eta}{\eta + Gt} \quad (\tau = G\gamma)$$

Temp et viscosité fondamentale

(p 22)



courbe du PMMA = flexiglas.

rapport contrainte / déformation appliquée pendant un temps donné.

M_{ve} est $\times 10$ pour une \times de la durée de 100.

* \Rightarrow La vitesse influe sur M_{ve} .

* mesure de T_g dépend de la vitesse

* M_{ve} varie très brutalement au voisinage de T_g ; rapport $\sim 10^3$.

* A basse θ , la composante élastique est la plus importante (déformation visqueuse faible)

les 2 courbes se rejoignent à

* A haute θ M_{ve} petit et la partie visqueuse l'emporte

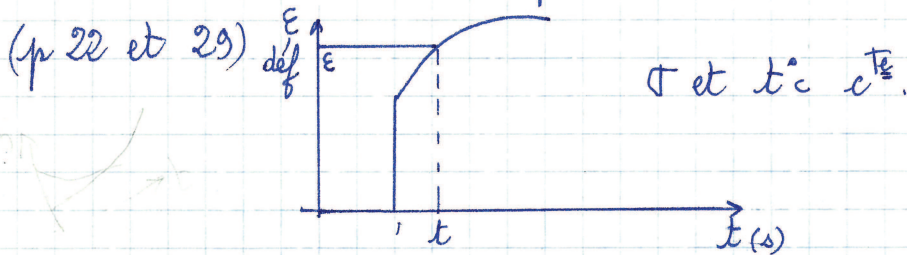
les 2 courbes se rejoignent

* fluage. (p 29) matériaux soumis à une charge c^te se déforme¹⁴
de façon continue.

EX USUEL: * déformation des vêtements en fibres synthétique.

* meub au soleil (48H) → méplats disparaît / restitution
plastique.

* Planches de bibliothèque.



module de fluage $E_f = \frac{\sigma}{\epsilon(t)}$ ← instant t donné

Autres représentations du fluage (fig 4 p 29)

$\epsilon(t)$ pour σ fixé.

courbes isochrones (donne σ_{MAXI})

courbes isométriques (σ et $\epsilon \rightarrow$ durée vie)

Influence des principales paramètres.

* la température: $\sigma \uparrow \Rightarrow$ m^e effet que si $\sigma \uparrow$.

* la cristallinité $\uparrow \Rightarrow$ meilleure tenue au fluage $E_f \uparrow$

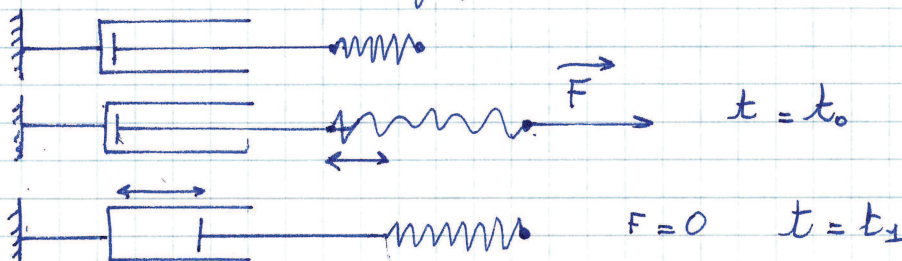
* réticulation $\uparrow \Rightarrow$ résistance au fluage $E_f \uparrow$.

* Relaxation: Si un matériau est soumis à une déformation ϵ^F imposé la contrainte qu'il supporte \downarrow au cours du temps.

Un vis élastique (serre plus \rightarrow relâché)

écrous (boulons) en nylon serré au montage

Présentation / modèles rhéologique.



On a: $\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_v = e^t$.

$$\gamma = \gamma_e + \gamma_v = e^t = \frac{\tau}{G} + \frac{\tau t}{\eta} = e^t$$

dérivation / t

+ intégration $\Rightarrow \frac{d\tau}{dt} = -\frac{\tau}{\lambda} \Leftrightarrow \tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{\lambda}}$

λ tq si t = λ τ est divisé par e (= 2,718)

module de relaxation

$$E_r(t) = \frac{\tau(t)}{\gamma_{totale \text{ imposé}}} \quad E_r(10s) = \frac{\tau(10s)}{\gamma}$$

(p 30) Influence de θ et M. (masse moléculaire)

plateau caoutchoutique, M est faible et constant

→ thermoformage (↑ pour meilleure mise en oeuvre)

Si M ↑ ⇒ plateau caoutchoutique ↑

II) Propriétés physico-chimiques:

elles sont déterminantes au moment du choix d'un matériau.

1- Propriétés optiques

polymères purs ~ en général incolores

ils peuvent brunir ou jaunir sous l'effet de la lumière

→ vieillissement.

Polymère amorphe (donc soumis à T_{vib}) ~ transparents

polymères semi cristallins ~ opaques ou translucides

2- Propriétés électriques.

Bon isolant mais \neq importante entre \neq catégories

Pb de la reprise d'humidité.

3- Prop thermique.

* coef de dilatation ~ $10 \times > 1$ métaux

Pb des inserts.

coef varie brutalement à $T_v \rightarrow \alpha_v - \alpha_L = 0,15 T_v$ en t

- * prop mécanique ↓
- * vieillissement si maintien à θ° élevée
- si θ° trop \rightarrow dégradation = rupture des liaisons covalentes
- * T_{fusion} varie avec masse moléculaire

Pour polyoléfine : $T_f = \frac{1}{0,0024 + 0,17/m}$

↑ nombre de carbone du squelette de la macromolécule.

prop chimique.
critère important

III) Vieillissement des polymères

beaucoup plus que pour les métaux. Les propriétés des polymères varient au cours du temps = vieillissement.

nécessité de précautions particulières au moment de la conception.

Vieillissement physique (p 28)

ex : pénétration de solvants \rightarrow { modification dimensionnelle
gonflement
fissuration
plastification

disparition de plastifiants

évolution de la structure (mixt de segments de chaînes)

fissuration sous contraintes, effet de la lumière (rayonnement)

\rightarrow dégradation (rupture des liaisons covalentes.)

réticulation par l'oxygène

vieillissement thermique

effets $\begin{cases} \text{physiques.} \\ \text{chimiques.} \end{cases}$

* durée de vie

\rightarrow définition d'une valeur seuil pour une propriété donnée

EX : 70% de la résistance mécanique initiale.

durée de vie varie avec t°

Loi d'Arrhenius

$$t = t_0 \exp\left(\frac{A}{T}\right)$$

\uparrow durée de vie \downarrow $\frac{1}{T}$ \swarrow t° en K

attention faire des extrapolations prudentes.

(tab p 32)

* Oxydation \rightarrow rupture des macromolécules avec production de groupes OH ou >C=O \Rightarrow { chute propriétés mécanique
isolant \downarrow

* Combustion

l'un des plus gros pb en aéronautique.

aisément combustible \rightarrow dégagement de vapeurs toxiques.

(sch 4 p 34) dégagement de gaz combustible
 \Rightarrow la combustion est autoaccélérée.

Indice IOI (indice oxygène libre)

si IOI > 21% (relativement peu combustible)

IOI < 21% (enflamme facilement m si pauvre en O_2)

(voir p 24 à 34)

Les matières plastiques.

matériaux macromoléculaire assemblés encore appelés résines. sont rarement utilisées seules. On y ajoute divers produits \rightarrow pour modifier certains caractéristiques
 \Leftrightarrow adjuvants. \rightarrow pour faire des économies.

I) Principaux adjuvants.

* plastifiants (petites molécules qui facilitent le mot des macromolécules les 1 / avec autres).

* charges (farine de silice dans le PVC); farine de bois dans bakelite / PF. ; fibres de verre / plastique renforcé.

* colorant : sources des plus gds contestation entre producteurs

* Les absorbeurs UV. (noir de carbone)
dans peu voiture 50 kg / 100 kg isoprène.

* Antistatique \rightarrow $\begin{cases} \text{antipoussière} \\ \text{antietincelle} \end{cases}$

* Ignifugeants * antioxydants * lubrifiants (graphite ...)

Les différentes famille de résine.

Les thermoplastiques:

Les polyoléfinnes : $\begin{cases} \text{souple.} \\ \text{facile à mettre en oeuvre} \\ \text{pas chers.} \end{cases}$

* semi-cristallin \rightarrow incidence sur $\begin{cases} \text{translucide à opaque} \\ \text{fluage} \\ \text{densité} \\ \text{retrait} \end{cases}$

$\begin{cases} \text{PEhd } T_g \approx -70^\circ\text{C} \\ \text{PEbd } T_g \approx -110^\circ\text{C} \end{cases}$

$T_g < \theta^\circ$ ambiante.

* Influence de M (p 35 fig 2).

$E \approx 150$ à 300 MPa. (Alu $E = 70\,000$ MPa).

$A\%$ varie jusqu'à 600% .

R_r 10 à 19.

résistance au choc

inflammable facilement.

Prise. 1 (on le prends comme référence)

Les PVC.

$\begin{cases} \text{souple à rigide} \\ \text{pas cher} \\ \text{Auto extinguable (s'éteint tout seul)} \end{cases}$

cristallinité $\sim 0 \rightarrow$ transparent
 \rightarrow faible retrait

T_g variable de 80°C à -40°C suivant teneur en plastifiant ¹⁹

→ profilé / Bâtiment.

↘ vêtement atmosphériques.

Pb de migration.

* Rigidité

$E \approx 2400 \text{ MPa}$. tuyauteries.

prise 1 à 2 (par rapport à Polyoléfine).

* styréniques

frigide

pas chers

faciles à mouler

fragile au choc.

$T_g \approx 90^\circ\text{C}$ à 100°C
(élevée)

↗ avec (Masse moléculaire).

rigide à 20°C et "fragile au choc".

↓
copolymère "CHOC".

* Amorphe

→ transparence pour Polystyrène.

pas pour copolymère.

faible retrait.

* très combustible

Prise 1,5 à 2,2.

polyacryliques :

→ PAN → fibre, tissus de renfort (précurseur
polyacrylate de nitrile
des fibres de carbone.

→ PMMA → plexiglas | transparence.
poly méthacrylate de méthyle. | fibres optiques.

PMMA: $T_g \approx 110$ à 135°

rigide à 20°C fragile au choc.

hygroscopique (pomp eau).

↳ perte caractéristiques isolantes
 Δ dimensionnelle.

fendillement

sensible à la rayure, au vieillissement.

Prix 2 à 3,3.

polymères fluorés:

frottement
stabilité thermique, chimique.

- * pas de tenue mécanique (pièce obtenue / frittage → porosité)
- * difficulté de mise en œuvre (viscosité ↑ m̄ au dessus de T_g)
- * Anti-adhérence

* cristallinité ↑ (→ jusqu'à 95%) → { opacité
fort retrait si moulage

* μ ↑ (2,14 à 2,19 g/cm³).

* coef dilatation ↑ (téflon).

Prix	PTFE	13
	PCTFE	10 à 13.

* viscosité = $\eta = \frac{\tau}{(\dot{\gamma})}$ = Pa.s

* $\log_{10} \eta = 12 - (17,5 \Delta T / (52 + \Delta T))$
($\Delta T = T - T_0 > 0$)

$t = t_0 e^{aT}$ en K
↑
donné vie

10L > 21% relat peu infl.

10L < 21% facil infl

* $\frac{\sigma}{t} / \text{donnés} \quad \text{Mora} = \frac{\tau}{\tau_E + \tau_v} = \frac{G \eta}{\eta + G t}$

* module fluage $E_f = \frac{\sigma}{\epsilon(t)}$ t donné

* $\epsilon = \epsilon_0 e^{-\frac{t}{\lambda}}$ (ou $\lambda = \tau_E + \tau_v$)

module relaxation $E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\delta \text{ totale imposée}}$

(pour polyolefine): $T_g = \frac{1}{0,0024 + \frac{0,12}{M}}$
M = nombre C squelette