

Annexes

ANNEXE 1

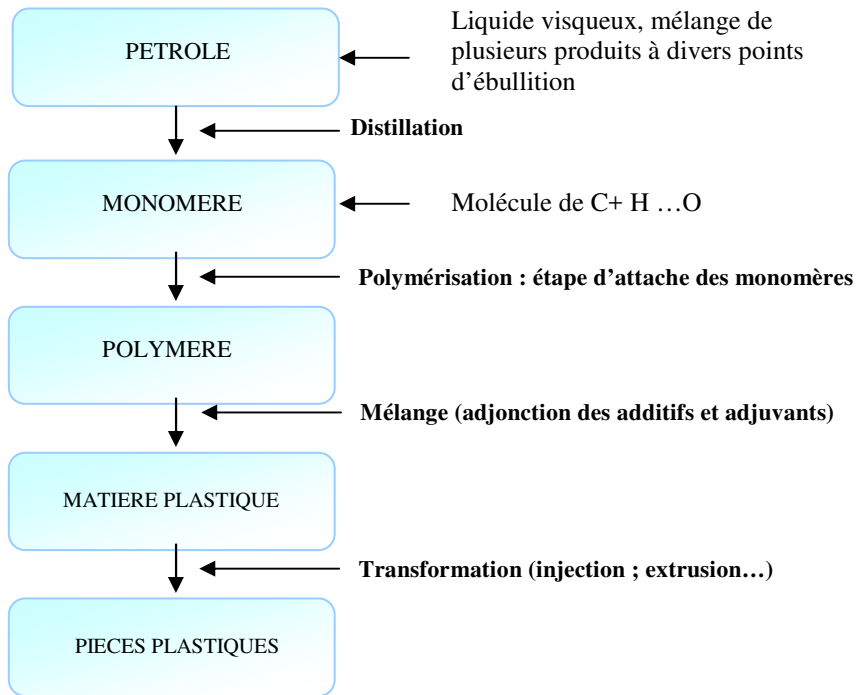


Figure I.1 : étapes d'obtention d'une pièce en matière plastique

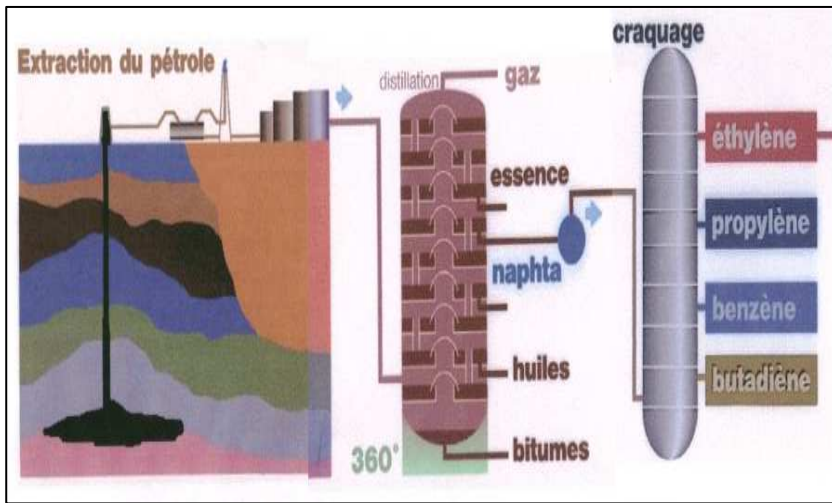


Figure I.2 : étape de distillation

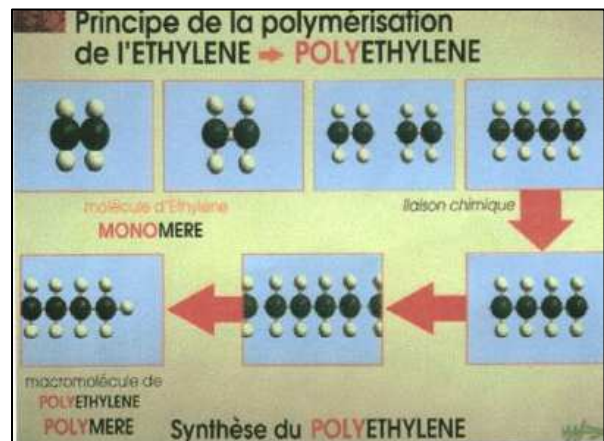


Figure I.3 : polymérisation du PE

ANNEXE 2

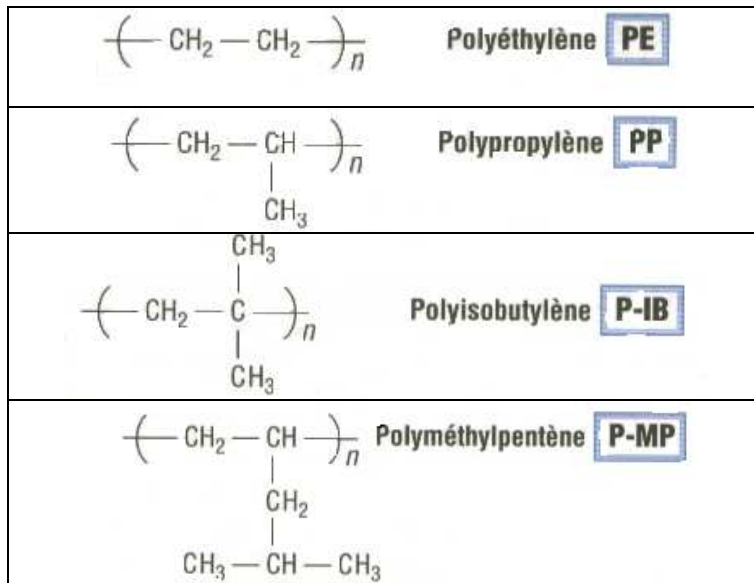


Figure 1 : Formule chimique et désignations normalisés des polyoléfines

Figure 2 : schématisation des ramifications dans les polyoléfines

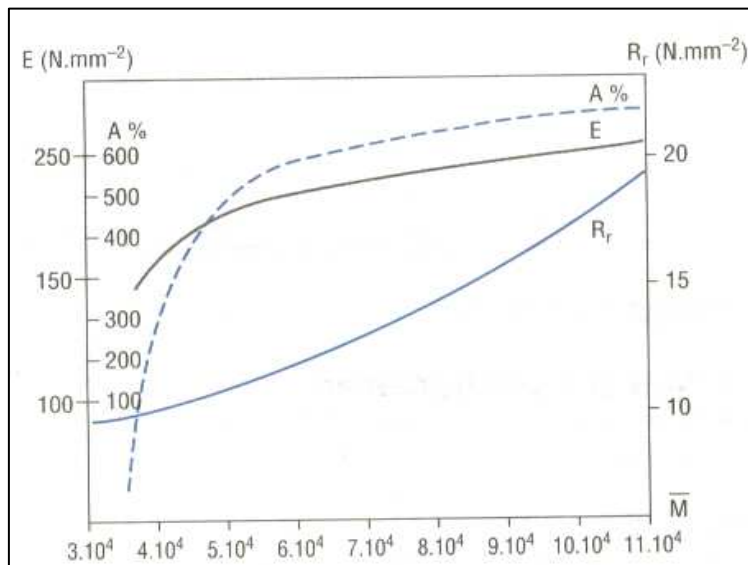
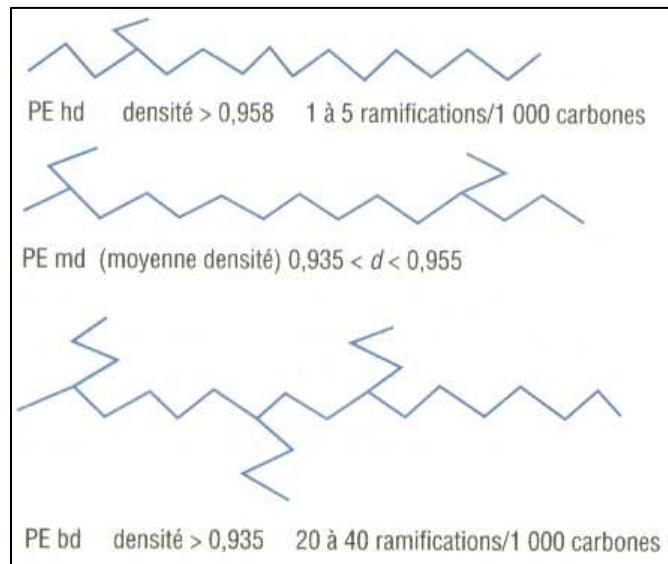


Figure 3 : Variation des propriétés mécaniques en fonction de la masse molaire

ANNEXE 3

Tableaux 1 et 2 : Familles chimiques des thermoplastiques	
<p>✓ Polyoléfines :</p> <p>polyéthylène PE</p> <p>polypropylène PP</p> <p>poly (éthylène/acétate de vinyle) ou EVA</p> <p>poly (éthylène/alcool vinylique) ou EVOH</p> <p>poly (méthyl-4 pentène-1) PMP</p> <p>✓ Polyvinyliques (résines) :</p> <p>poly (chlorure de vinyle) PVC</p> <p>poly (alcool vinylique) PVAL</p> <p>poly (acétate de vinyle) PVAC</p> <p>poly (chlorure de vinyle) chloré PVC-C</p> <p>poly (pyrrolidone de vinyle) PVP</p> <p>poly (chlorure de vinyle/acétate de vinyle) VC/VAC</p> <p>poly (acétal de vinyle) PVA</p> <p>poly (butyral de vinyle) PVB</p> <p>poly (formal de vinyle) PVFM</p> <p>poly (fluorure de vinyle) PVF</p> <p>poly (carbazole de vinyle) PVK</p> <p>✓ Polyvinyliques (résines) :</p> <p>poly (chlorure de vinylidène) PVDC</p> <p>poly (fluorure de vinylidène) PVDF</p> <p>copolymères PVDC/PVC</p> <p>✓ Polystyréniques (résines et copolymères) :</p> <p>polystyrène PS</p> <p>poly (styrène/butadiène) PS/B</p> <p>poly (styrène/butadiène/acrylonitrile) ABS</p> <p>poly (styrène/acrylonitrile) SAN</p> <p>poly (styrène/butadiène/méthacrylate de méthyle) SBMMA</p>	<p>poly (acrylonitrile/styrène/acrylate d'éthyle) ASA</p> <p>poly (styrène/anhydride maléique) SMA</p> <p>poly (styrène/méthacrylate de méthyle) SMMA</p> <p>✓ Acryliques et méthacryliques (résines) :</p> <p>polyacrylonitrile PAN</p> <p>poly (acrylate de méthyle)</p> <p>poly (méthacrylate de méthyle) PMMA</p> <p>copolymères</p> <p>✓ Polyamides :</p> <p>_ homopolyamides aliphatiques :</p> <p>poly (caprolactame) PA 6</p> <p>poly (hexaméthylène adipamide) PA 6-6</p> <p>poly (hexaméthylène sébaçamide) PA 6-10</p> <p>poly (lauroamide) PA 12</p> <p>poly (undécanamide) PA 11</p> <p>poly (tétraméthylène adipamide) PA 4-6</p> <p>poly (hexaméthylène azélaamide) ou poly (hexaméthylène nonanediamide) PA 6-9</p> <p>poly (hexaméthylène dodécanediamide) PA 6-12</p> <p>_ polyamides aliphatiques séquencés ou blocs :</p> <p>polyéther-bloc-amides PEBA</p> <p>_ polyamides semi-aromatiques :</p> <p>poly (métaxylylène adipamide) PA MXD-6</p> <p>poly (hexaméthylène isophtalamide) PA 6-I</p> <p>_ polyamides aromatiques ou aramides (<i>méta</i> et <i>para</i>) :</p> <p>poly (métaphénylène isophtalamide) PA MPD-I</p> <p>poly (paraphénylène téréphtalamide) PA PPD-T</p> <p>_ copolyamides</p>

Familles chimiques des thermoplastiques

<p>✓ Polyesters linéaires :</p> <p>_ polytéréphtalates :</p> <p>poly (éthylène téréphtalate) PET</p> <p>poly (butylène téréphtalate) PBT</p> <p>Nota : ces noms chimiques, extraits de la norme ISO 472 (1988) <i>Plastiques. Vocabulaire</i> ne sont pas rigoureusement corrects. La nomenclature IUPAC préconise l'emploi de poly (téréphtalate d'éthylène) et poly (téréphtalate de butylène).</p> <p>_ polycarbonates :</p> <p>— de bisphénol A ;</p> <p>— de tétraméthyl-3,3', 5,5'-bisphénol A.</p> <p>✓ Polyéthers :</p> <p>poly (oxyméthylène) POM et copolymères</p> <p>poly (oxyéthylène) PEOX</p> <p>poly (phénylène éther) PPE et copolymères</p> <p>poly (oxypropylène) PPOX</p> <p>✓ Polyfluoréthènes ou polyfluorés :</p> <p>polytétrafluoroéthylène PTFE</p> <p>polychlorotrifluoroéthylène PCTFE</p> <p>poly (éthylène/propylène) perfluoré</p> <p>poly (fluorure de vinylidène) PVDF (*) et copolymères</p> <p>poly (tétrafluoroéthylène/éthers vinyliques perfluorés) PFA (<i>per-fluoroalcoxy</i>)</p> <p>poly (fluorure de vinyle) PVF (**)</p> <p>poly (éthylène/tétrafluoroéthylène)</p> <p>poly (éthylène/chlorotrifluoroéthylène)</p> <p>(*) Déjà cité dans les polyvinylidéniques.</p> <p>(**) Déjà cité dans les polyvinyliques.</p>	<p>✓ Cellulosiques (résines) :</p> <p>acétate de cellulose CA acétopropionate de cellulose CAP</p> <p>acétobutyrate de cellulose CAB</p> <p>propionate de cellulose CP</p> <p>nitrate de cellulose CN</p> <p>cellulose C</p> <p>éthylcellulose EC</p> <p>méthylcellulose MC</p> <p>hydroxyéthylcellulose</p> <p>carbonyméthylcellulose CMC</p> <p>✓ Poly (arylènesulfones) :</p> <p>polysulfone PSU (*)</p> <p>polyéthersulfone PES (*)</p> <p>polyarylsulfone PAS</p> <p>✓ Polysulfures :</p> <p>poly (sulfure de phénylène) PPS</p> <p>✓ Poly (aryléthercétone) :</p> <p>poly (éther cétone) ou PEK (*)</p> <p>poly (éther éther cétone) ou PEEK (*)</p> <p>poly (éther cétone cétone) ou PEKK (*)</p> <p>poly (éther éther cétone cétone) ou PEEKK (*)</p> <p>poly (éther cétone éther cétone cétone) ou PEKEKK*</p> <p>✓ Polyamide-imide PAI (*)</p> <p>✓ Polyimides linéaires PI (*)</p> <p>✓ Polyétherimide PEI (*)</p> <p>✓ Polybenzimidazoles linéaires PBI (*)</p> <p>(*) Ces noms <i>pseudo-chimiques</i>, attribués à l'origine par les producteurs, ne rendent pas compte de la structure aromatique de ces polymères voir formules (voir formule chimique).</p> <p>✓ Poly (indène/coumarone)</p> <p>✓ Poly (paraxylène) PPX</p>
---	---

ANNEXE 4

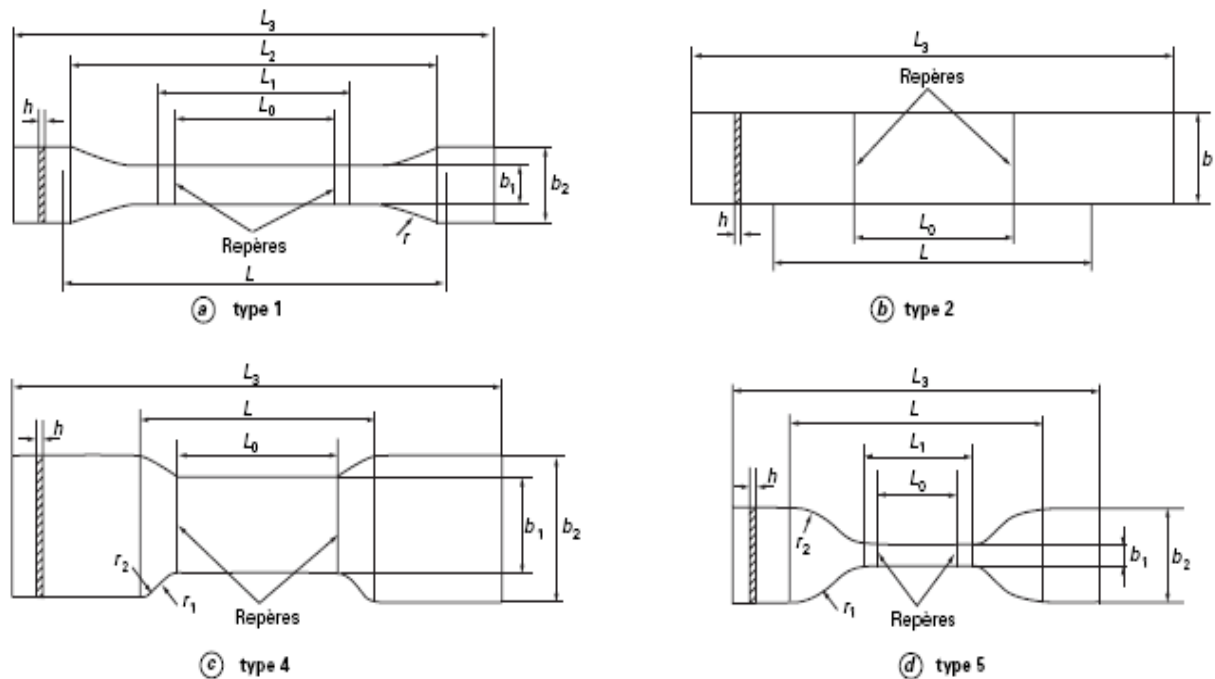
Tableaux 3 : Familles chimiques des thermodurcissables.	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aminoplastes : urée-formol UF mélamine-formol MF mélamine/phénol-formol mélamine-formol/polyesters mélamine/urée-formol ✓ Polyuréthanes PUR ✓ Polyesters insaturés UP ✓ Phénoplastes ou résines formophénoliques : <ul style="list-style-type: none"> phénol-formol PF crésol-formol CF résorcine-formol 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Silicones SI ou polysiloxanes ✓ Résines époxydes EP ✓ Résines allyliques : poly (phtalate de diallyle) PDAP poly (carbonate d'allyldiglycol) ✓ poly (cyanurate de triallyle) ✓ Résines époxyvinylesters ou vinylesters ✓ Alkydes : résines glycérophtaliques ✓ Polyurées ✓ Polyisocyanurate ✓ Poly (bismaléimide) ✓ Polybenzimidazoles ✓ Polydicyclopentadiène

ANNEXE 5

Taux de cristallinité des principales matières semi-cristallines

<i>MATIERE</i>		<i>TAUX DE CRISTALLINITE</i>
Polyamides 6	PA6	40%
Polyamides 6-6	PA6-6	70%
Polyacétal	POM	90%
Polyéthylènetéréphtalate	PET	50%
polybutylènetéréphtalate	PBT	50%
Polytétrafluoréthylène	PTFE	95%
Polysulfure de phénylène	PPS	50%
Polyarylamide	PAA	30%
Polythylène basse densité	PEbd	65%
Polyéthylène haute densité	PEhd	80%
Polypropylène	PP	60%
Polyétheréthercétone	PEEK	35%
Polymères à cristaux liquides	LCP	99%

ANNEXE 6



Type d'éprouvette		1 A	1 B	1 BA	1 BB	5 A	5 B	2	4	5
Longueur totale	L_3	≥ 150	≥ 150	≥ 75	≥ 30	≥ 75	≥ 30	≥ 150	152	≥ 115
Longueur partie calibrée	L_1	80 ± 2	$60 \pm 0,5$	$30 \pm 0,5$	$12 \pm 0,5$	25 ± 1	$12 \pm 0,5$			33 ± 2
Rayon	r	20 à 25	≥ 60	≥ 30	≥ 12					
Petit rayon	r_1					$8 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$		22	14 ± 1
Grand rayon	r_2					$12,5 \pm 1$	$3 \pm 0,1$		25,4	25 ± 2
Distance initiale entre mâchoires	L	115 ± 1	$L_2 \delta^5$	$L_2 \delta^2$	$L_2 \delta^1$	50 ± 2	20 ± 2	100 ± 5	73,4	80 ± 5
Distance entre parties larges à faces parallèles	L_2	104 à 113	106 à 120	58 ± 2	23 ± 2					
Largeur aux extrémités	b_2	$20 \pm 0,2$	$20 \pm 0,2$	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$	$12,5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,5$	10 à 25	38	25 ± 1
Largeur partie étroite	b_1	$10 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$5 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$	$4 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$		$25,4 \pm 0,1$	$6 \pm 0,4$
Épaisseur recommandée	h	$4 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$ ou ≤ 1	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Longueur de référence	L_0	$50 \pm 0,5$	$50 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$	$50 \pm 0,5$	$50 \pm 0,5$	$25 \pm 0,25$
Norme ISO		527-2	527-2 (537-3)	527-2	527-2	527-2	527-2	527-3	527-3	527-3
Recommandations particulières		Moulées usages multiples	Usinées (feuilles rigides)	Proportionnel type 1B 1:2	Proportionnel type 1B 1:5	Proportionnel type 5				Feuilles souples et/ou résistance élevée
		Recommandées		Petites éprouvettes			Recommandées			

Vitesse = 1 % (L_0)/min
Les cotes sont en millimètres.

Figure 1: formes et dimensions normalisé des éprouvettes pour essai de traction selon la norme NF EN ISO 527

ANNEXE 6

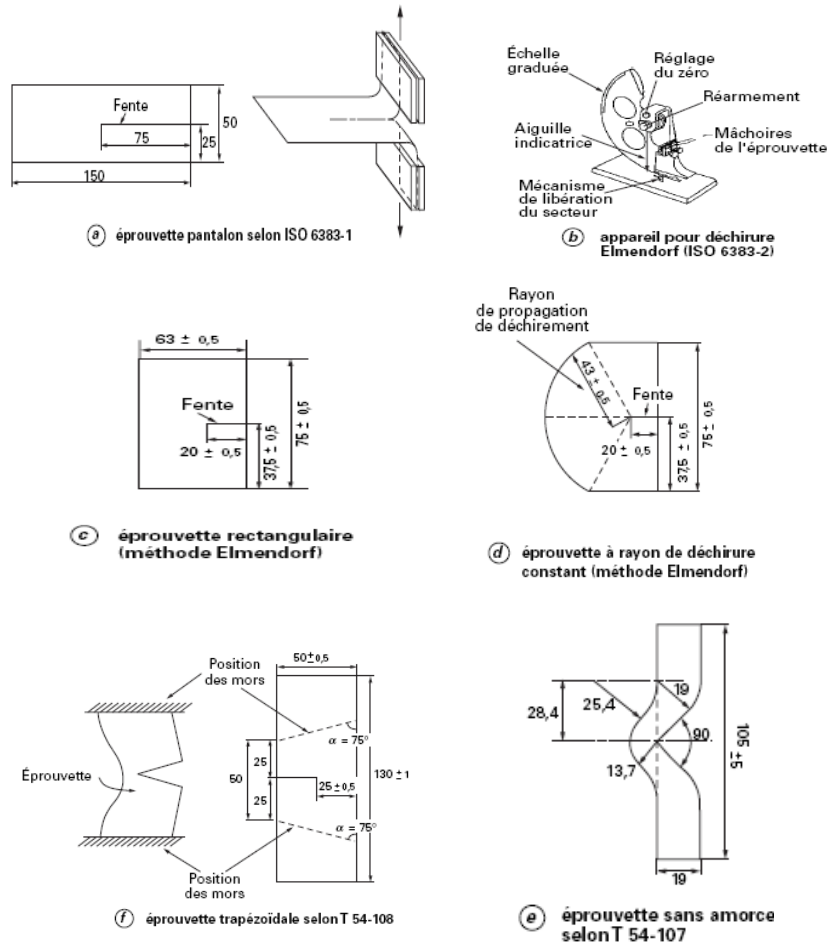


Figure 2 : Epreuves spéciales de traction sur films pour analyse de comportement à la déchirure

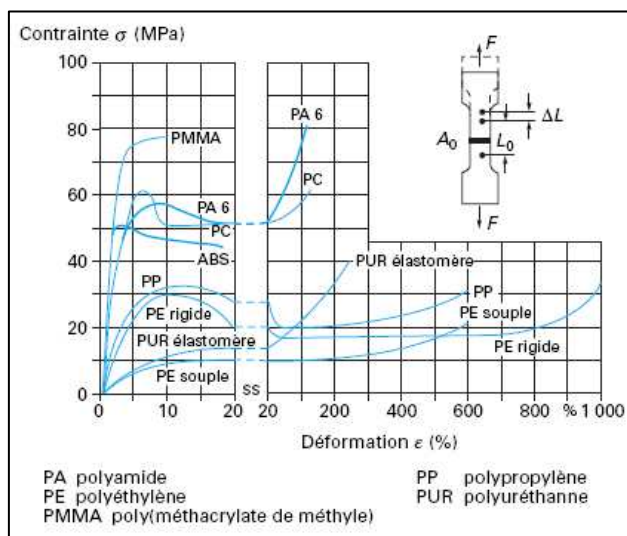


Figure 3 : courbe de traction pour différents plastiques

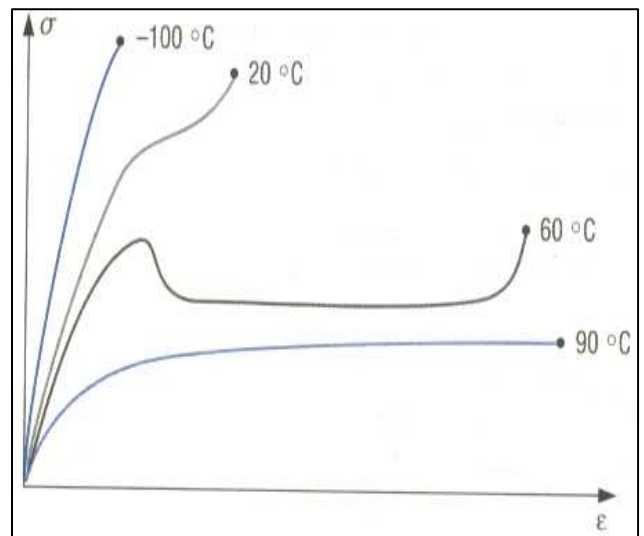


Figure 4 : Courbe de traction d'un PMMA pour différentes températures

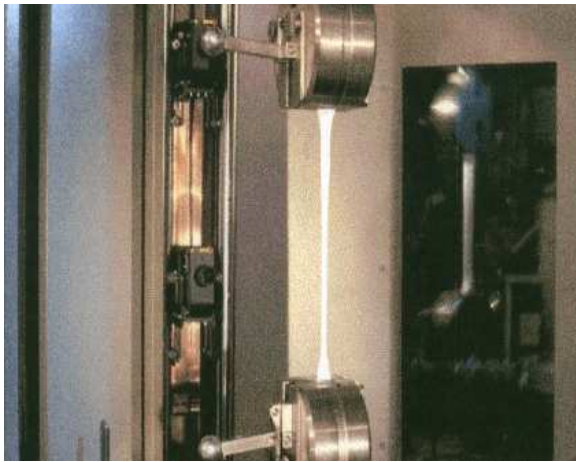


Figure 5 : Dispositif de traction

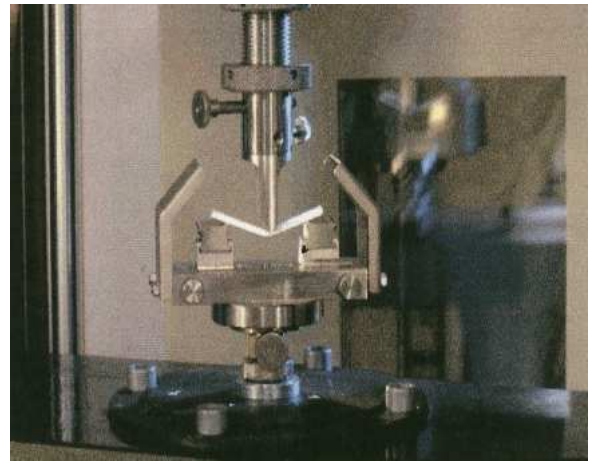


Figure 6 : Dispositif de flexion

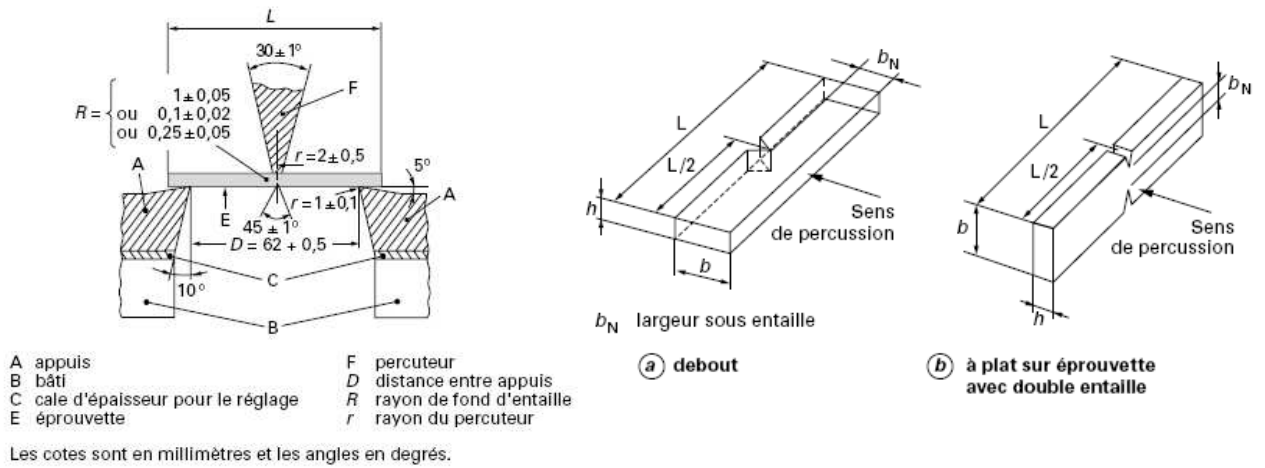


Figure 7 : Dispositif d'essai et éprouvettes pour choc Charpy

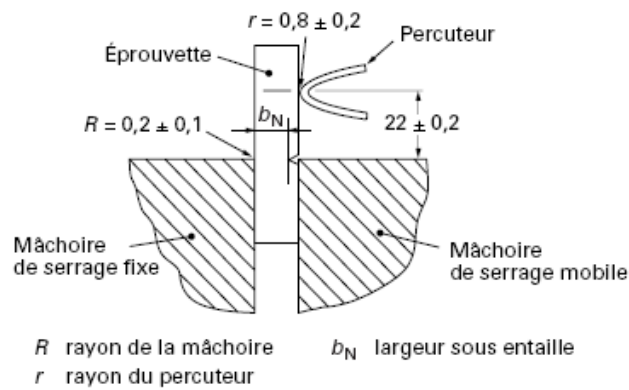


Figure 8 : Dispositif d'essai pour choc Izod d'après la norme ISO 180

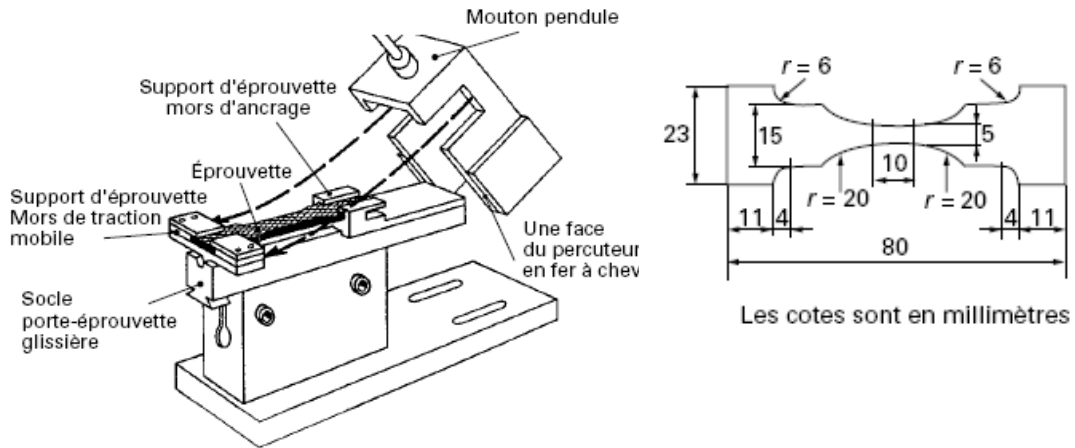


Figure 9 : Dispositif d'essai pour choc-traction, éprouvette à double épaulement (D'après norme NF EN ISO 8256)

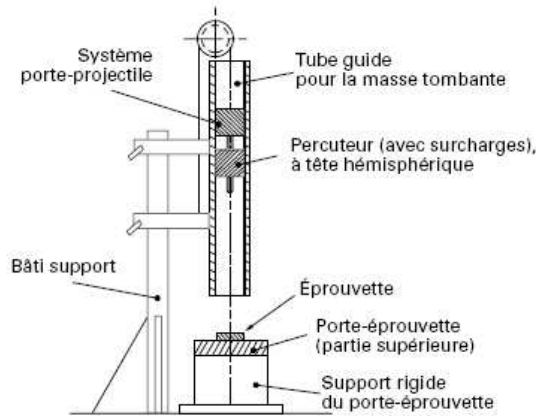


Figure 10 : Dispositif d'essai de choc multiaxial par chute de masse (d'après norme ISO 6603)

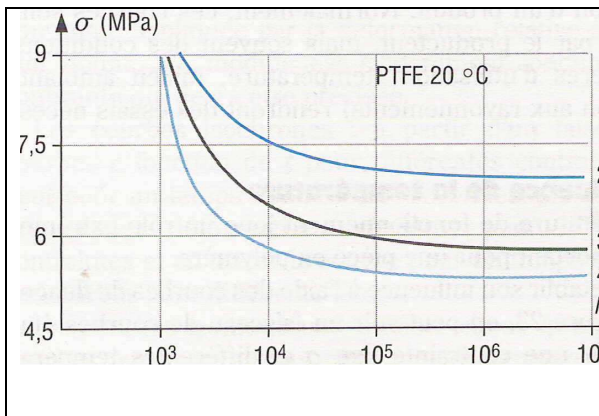


Fig. 11. Influence de la fréquence sur les résultats en fatigue.

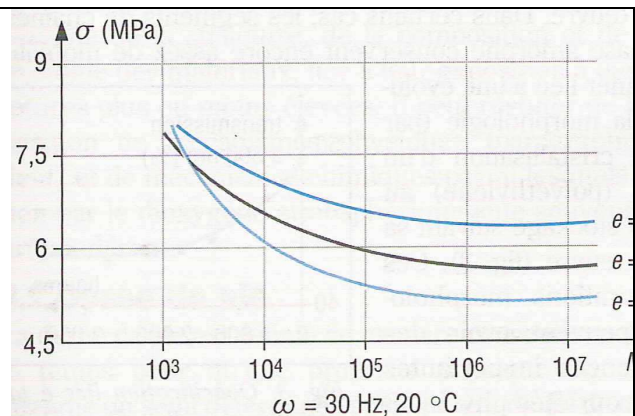













Fig. 12. Influence de la géométrie de l'éprouvette sur les résultats en fatigue ($e =$ épaisseur de l'éprouvette en mm).

ANNEXE 7

légende du tableau des caractéristiques de la combustion des plastiques

Inflammabilité	 <u>faible</u> : elle ne s'enflamme que si l'on insiste	 <u>moyenne</u>	 <u>grande</u> : elle s'enflamme dès qu'on approche une flamme
Fumées	 noires (présence de particules de carbone)	 blanches	
Toxicité des fumées	 <u>fumées peu toxiques</u> : en général formation de dioxyde de carbone	 <u>moyenne</u>	 <u>très toxiques</u> : gaz mortels en faibles quantités
gouttes de matière plastique liquide	 normales	 enflammées	 filantes




































Matériau	exemples d'objets	Inflammabilité	Fumées	Toxicité des fumées	s'éteint seul	odeur en brûlant	gouttes lors de la combustion
PVC polychlorure de vinyle	nuyau d'arrosage				oui	acide piquante	
	bouteille vinaigre						
PS polystyrènes	pot de yaourt, boîte à oeufs				oui	fleur de souci	
Acrylonitrile, Butadiène, Styrène, A B S	aspirateur					fleur de souci	
polyamides	vêtements				oui	céleri, pois brûlés	
Cellulosiques	monture de lunettes				oui	vinaigre	
PE PP polyéthylène, polypropylène	flacon shampooing, films plastiques					bouge	
Polyesters armés	toitures translucides					fleur de souci	
Polyuréthanes mousses	matelas					amende amère	
	flotteurs						
Polystyrène expansé	emballage viandes					fleur de souci	
aminoplastes	assiette				oui	marée	

Figure 1 : caractéristiques de combustion de quelques plastiques

ANNEXE 8

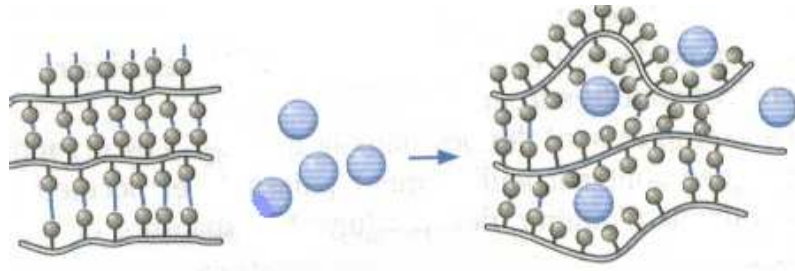


Figure 1: Effet de plastifiant

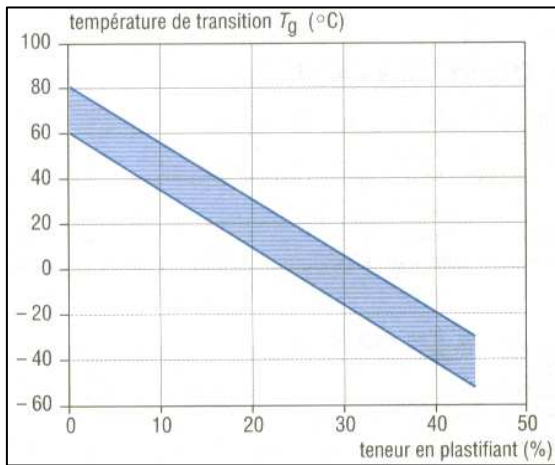


Figure 2 : plage de T_g du PVC souple en fonction de la teneur de plastifiant

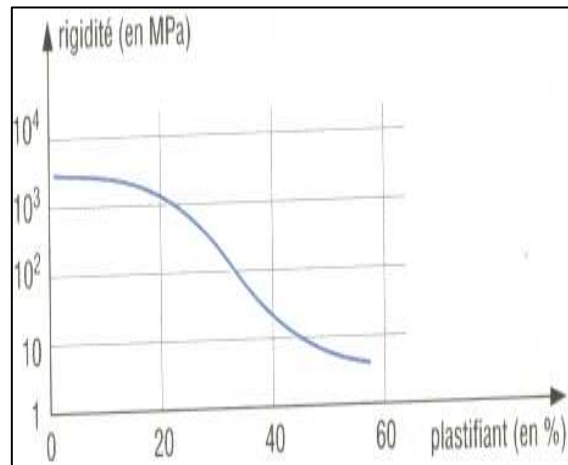
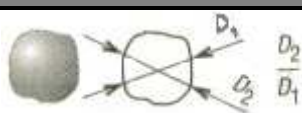

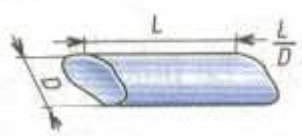
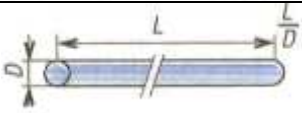


Figure 3 : variation de module en fonction de la fraction massique de plastifiant dans le PVC

Nature	Géométrie	Rapport de forme	Exemples
Granulaire ou sphérique		1	Billes de verre, CaCO ₃ noir de carbone
Lamellaire		10 30-40	Talc Mica
Aciculaire (aiguilles)		10-20 10-100	Wollastonite Fibres courtes
Fibrillaires		100-infini	Fibres longues (L2mm) verre carbone Kevlar

Tableaul : Classification des renforts

Code	Matière	Code	Forme
A	Amiante	B	Billes, sphères, grain
B	Bore	C	Copeaux
C	Carbone	D	Poudre, mélange sec
E	Argile	F	Fibre
G	Verre	G	Moulu, broyé
K	Craie (CaCO ₃)	H	Trichite
L	Cellulose	K	Tricot
M	Minéral, Métal	L	Couche
P	Mica	M	Mat (épais)
Q	Silice	N	Non tissé
R	Aramide	P	Papier
S	Synthétique, organique	R	Stratifil
T	Talc	S	Paillettes
W	Bois	T	Mèches
Y	Non spécifiée	V	Placage
Z	Autres	W	Tissu
		X	Non spécifiée
		Y	Fils
		Z	Autres

Tableau2 : symboles définissant un renfort

Renforts	Masse volumique [g/cm ³]	Résistance en traction [N/mm ²]	Allongement en traction [A %]	Module en traction [N/mm ²]
Kevlar 29	1.44	2700	4	60000
Kevlar 49	1.45	2700	2.1	130000
Verre E	2.60	3400	2.6	73000
Verre R	2.53	4400	4	86000
Carbone haut module	1.95	2200	0.6	400000
Carbone haut résistance	1.8	2800	1.2	250000
Bore	2.6	3200	0.8	400000
Acier	7.8	2800	1.8	200000

Tableau 3: propriétés des principaux renforts