

31 ST 02A

DITI/GO/ECP/97/227/JFR/MD
Projet : Recueil de Spécifications ISM
I.A. :

Rédacteur : J.F. ROLIN
Groupe de vérification : J. CROQUETTE, P. DAVIES, J. DUPONT, A. MASSOL

UTILISATION MARINE DE PIECES EN THERMOPLASTIQUE

GUIDE DE CONCEPTION

SPECIFICATION TECHNIQUE IFREMER

D'INTERVENTION SOUS-MARINE N° 31 ST 02A



ETAT DE MISE A JOUR

Ind.	Date	Pages modifiées	Désignation de la mise à jour
-	1990		Création du document DITI/EQE/S/90/083
A	09/1997		Mise à jour complète et remaniement du plan. Nouveaux paragraphes sur les thermodurcissables et polyuréthanes. DITI/GO/ECP/97/227

S O M M A I R E

<p>1 - OBJET..... 5</p> <p>2 - DOMAINE D'APPLICATION..... 5</p> <p>3 - REFERENCES..... 5</p> <p style="padding-left: 20px;">3.1 - Normes..... 5</p> <p style="padding-left: 20px;">3.2 - Documentation fournisseurs..... 5</p> <p style="padding-left: 20px;">3.3 - Rapports et publications..... 5</p> <p>4 - TABLEAU DES PRINCIPAUX THERMOPLASTIQUES..... 6</p> <p style="padding-left: 20px;">4.1 - Tableau 1 : Entrée par code..... 6</p> <p style="padding-left: 20px;">4.2 - Tableaux des noms commerciaux..... 7</p> <p>5 - GUIDE DE CHOIX SIMPLIFIÉ..... 9</p> <p>6 - TABLEAU DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES..... 10</p> <p style="padding-left: 20px;">6.1 - Densités..... 10</p> <p style="padding-left: 20px;">6.2 - Contraintes..... 10</p> <p style="padding-left: 20px;">6.3 - Module d'Young E..... 10</p> <p style="padding-left: 20px;">6.4 - Allongement à la rupture..... 10</p> <p style="padding-left: 20px;">6.5 - Température de transition vitreuse T_g..... 10</p> <p style="padding-left: 20px;">6.6 - Prix..... 11</p>	<p>7 - TABLEAU DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES..... 14</p> <p>8 - COMPARAISON DES MATÉRIAUX PLASTIQUES..... 15</p> <p style="padding-left: 20px;">8.1 - Limite d'élasticité en traction..... 15</p> <p style="padding-left: 20px;">8.2 - Module de flexion..... 15</p> <p style="padding-left: 20px;">8.3 - Module d'élasticité en traction E_T ou module tangeant..... 16</p> <p style="padding-left: 20px;">8.4 - Résistance au choc IZOD..... 16</p> <p style="padding-left: 20px;">8.5.a - Module de fluage en traction..... 17</p> <p style="padding-left: 20px;">8.5.b - Essai de fluage en traction..... 17</p> <p style="padding-left: 20px;">8.6 - Coefficient de Poisson..... 18</p> <p style="padding-left: 20px;">8.7 - Absorption d'eau (%)..... 19</p> <p style="padding-left: 20px;">8.8 - Température maxi et mini d'utilisation sans contrainte..... 19</p> <p style="padding-left: 20px;">8.9 - Température de transition vitreuse - Température de fusion..... 20</p> <p style="padding-left: 20px;">8.10 - Indice de prix..... 21</p> <p>9 - TENUE À L'EAU..... 21</p> <p style="padding-left: 20px;">9.1 - Stabilité hydrolytique (voir tableau)..... 21</p> <p style="padding-left: 20px;">9.2 - Absorption d'eau..... 22</p> <p style="padding-left: 20px;">9.3 - Effet de l'environnement océanique sur les plastiques..... 23</p>
---	--

10 -INFLUENCE DU TAUX DE CRISTALLINITE.....	24
11 - CAS DES POLYURETHANNES (PUR) EN UTILISATION MARINE	27
12 - VIEILLISSEMENT DES ELASTOMERES.....	27
12.1 - Cas du TPR et d'un PUR.....	27
12.2 -Cas de l'ADIPRENE L100 (UNIROYAL)	28
13 - EFFET DES RENFORTS PAR FIBRES.....	28
13.1 - Fibres courtes/Fibres longues.....	28
13.2 - Mise en garde sur le fluage.....	29
14 - QUELQUES CONCLUSIONS	29
ANNEXES	30
ANNEXE 1 - MATERIAUX A UTILISATION OPTIQUE.....	31
ANNEXE 2 - DIFFERENTS TPE (ELASTOMERES THERMOPLASTIQUES) ET QUELQUES CARACTERISTIQUES	32
ANNEXE 3 - PTFE CHARGE	33
ANNEXE 4 - CHOIX D'UNE COLLE	34

1 - OBJET

L'utilisation des matériaux thermoplastiques en milieu marin offre de multiples avantages de durabilité et, pour les équipements flottants ou immergés, de masse.

La conception de systèmes marins ou sous-marins au bureau d'études doit appréhender ces atouts, leurs limites et les inconvénients des produits.

Le présent document est une synthèse limitée des caractéristiques des produits disponibles sous formes semi-finies. Il s'agit principalement de thermoplastiques (quelques données sur les élastomères et thermodurcissables sont fournies à titre de repères).

2 - DOMAINE D'APPLICATION

Ce document est principalement destiné aux concepteurs de systèmes sous-marins : bureau d'études de l'IFREMER, de ses partenaires ou fournisseurs.

Il ne peut pas remplacer les normes en vigueur. Pour des applications utilisant les matériaux plastiques dans des configurations complexes ou aux limites de leurs caractéristiques, une étude spécialisée sur le matériau tel qu'élaboré peut s'avérer nécessaire. C'est particulièrement le cas pour le vieillissement en milieu marin (voir alors le Laboratoire Matériaux Marins de l'IFREMER Brest).

3 - REFERENCES**3.1 - Normes**

NF UL 94 :	Essais de réaction au feu des matériaux.
ASTM D695 :	Détermination des caractéristiques en compression.
ASTM D790 :	Détermination des caractéristiques en flexion.
ASTM D638 :	Détermination des caractéristiques en traction.
ASTM D256 :	Détermination de la résistance au choc.
ASTM D785 :	Détermination de la dureté (shore D).
ASTM D2236 :	Détermination de la température de transition vitreuse.
ASTM D789 :	Détermination de la température de fusion.
ASTM D2863 :	Détermination de l'indice d'oxygène.
ASTM D792 :	Détermination de la densité.
ASTM D570 :	Détermination de l'absorption d'eau.
ASTM D149-150 :	Détermination des propriétés électriques.

3.2 - Documentation fournisseurs

* Profil des plastiques techniques, DSM Engineering Plastic Products.

* Matières plastiques, VACOUR.

* Plastivis, CAPI.

* Plastiques fluorés, JANSSENS.

* Plastiques techniques, POLYPENCO.

* Matières plastiques, SCERT Plastiques.

* Dans les plastiques industriels, SEPT.

* BASF Matières plastiques.

* Thermoplastiques techniques, GE Plastics.

* TECHNYL POLYAMIDES.

* PARANGON (Polyuréthannes), AXSON.

* RYTON PPS.

* Caractéristiques Physiques du PTFE, ACEREF.

* COURBIS.

* AMOCO.

* GOODFELLOW.

3.3 - Rapports et publications

* Les élastomères dans l'environnement marin, P. Davies, N. Lantéri (Mars 1995) Ifremer

* Résultats d'essais sur le TPR, N. Lantéri (Juin 1994) Ifremer

* Techniques de l'Ingénieur.

* Vieillissement des plastiques, EUROLLES.

* CETIM : Guide des matières plastiques (1976).

4 - TABLEAU DES PRINCIPAUX THERMOPLASTIQUES

Parmi la « jungle » des produits commercialisés, il est intéressant de regrouper dans un tableau les codes matériaux normalisés, la désignation du matériau ainsi que les noms commerciaux.

Dans ses documents d'études et ses relations avec des fournisseurs, le bureau d'études utilisera la dénomination normalisée. Eventuellement le nom commercial d'un produit ayant démontré ses qualités sera ajouté entre parenthèses.

[Ex : PA6 G (Ertalon 6 XAUX) ; PC (LEXAN)]

4.1 - Tableau 1 : Entrée par code

CODE	MATERIAU	MARQUE COMMERCIALE OU PRODUIT
PA 6	Polyamide 6	Nylon, Ertalon, Nylatron, Akulon, Durethan, Sniamid, Ultramid B, Orgamide.
PA 6G	Polyamide 6G	Ertalon 6 XAU+, Ertalon LFX, Nylatron MC 901, Nylatron NSM, Ultralon.
PA 11	Polyamide 11	Rilsan, Ertalon 11 SA; Grilon.
PA 12	Polyamide 12	Vestamid, Grilon.
PA 6_10	Polyamide 6_10	Zytel, Stanyl.
PA 6_12	Polyamide 6_12	Zytel.
PA 66	Polyamide 66	Nylon 66, Ertalon 66 SA, Celanese, Nylatron, Vydine, Ultramid A; Zytel, Maranyl A, Minlon, Technyl.
PAI	Polyamideimide	Torlon.
PBI	Polybenzimidazole	Celazole
PC	Polycarbonate	Axxis PC; Lexan; Makrolon; Erta PC; Xantar; Panlite; Calibre; Durolon; Novarex; Sinvet.
PCTFE	Polychlorotrifluoréthylène	Kel'f, Voltalef.
PEBD	Polyéthylène Basse Densité	Lupolan, Vestolen, Hostalengur.
PEHD	Polyéthylène Haute Densité	Ertalen HD, Cesticolor, Cestidur, Cestitech, Cestiguide, Cestishield, Borolène Cestilite, Ultrawear, Alathon, Alcathène, Baylon, Bluemax, Celene, Cestilène, Dekalen, Dylan, Eltex, Hostalen, Lotrene, Polydur, Robalon, Supralen.
PEEK	Polyéther-éthercétone	Victrex-PEEK, Ketron.

CODE	MATERIAU	MARQUE COMMERCIALE OU PRODUIT
PEI	Polyétherimide	Ultem.
PES	Polyéthersulfone	Victrex-PES, Ultrason E, Bakelite BP.
PETP	Polyéthylène Téraphtalate	Ertalyte, Arnite, Rynite, Crastin, Novatron, Valox.
PI	Polyimide	Kinel, Vespel, Kapton.
PMMA	Polymétacrylate de méthyle	Altuglass, Plexiglass, Casocryl, Transpalite, Perspex (sous forme de feuilles), Orgalan, Sustonat, Jupilon, Campco C119, Lucite, Diakon.
POM	Polyacétal (Polyoxyméthylène)	Ertacétal, Delrin, Hostaform, Celcon, Zellamid, Acétal, Ultraform, Oilex, Duracon, Kematal.
PP	Polypropylène	Ertalène PP, Hostalen PP, Vestalen, Novolen, Napryl, Eltex, Moplen, Coroflex, Daplen, Esccon, Lotren P, Noblen, Poly-pro, Propathène, Pro-fax, Propylex, Prylène, Rhiamer PP, Symalen, Trolen, Trovidur PP.
PPO	Oxyde de phénylène	Noryl.
PPS	Sulfure de polyphénylène	Ryton; Tédur; Supec.
PS	Polystyrène	Q200_5, Polystyrol, Rexolite, Vestyron, Lacèrqne, Gedex, Styron.
PTFE	Polytétrafluoroéthylène	Téflon, Gafon, Hostafon, Fluon, Soréflon, Lubriflon, Algoflon, Halon, Tétraflon, Fluorsint.
PUR	Polyuréthanes	Alcathan, Adiprene Castethane, Cellasto, Chemigum S, Contilan, Cyanaprene, Desmopan, Durolan, Elastollan, Elastothane, Estane, Genthane, Lamigom, Microvon, Multrathane, Pagulan, Phoenolan, Prescollan, Roylar, Texin, Urepan, Vibrathane, Vulkollan.

CODE	MATERIAU	MARQUE COMMERCIALE OU PRODUIT
PVC	Polychlorure de vinyle	Armodur, Trovidur, Hostalit, Bréon, Vinoflex, Simona, Astralon, Benvic, Corvic, Ekavyl, Gedevyl, Géon, Irvinyl, Lucoflex, Marvinol, Rhodopas, Sicron, Solvic, Supradur, Trovidur, Vestolit, Vinnol, Vinopac, Welvic.
PVDF	Polychlorure de vinylidène	Solef, Foraflon, Dyflor.

4.2 - Tableaux des noms commerciaux

Marques	Produits	Producteur
Ablaphène	Phénoplastes	Rhône Poulenc
Acétaver	POM + FV	Donéco
Adiprène	Polyuréthanes	Uniroyal
Afcolène	Polystyrène expansé	Rhône Poulenc
Akulon	PA	AKZO
Alkathène	Polyoléfines	ICI
Alpolit	Polyesters	Hoechst
Alreseu	Phénoplastes	Hoechst
Altuchoc	Polycarbonate	Altulor
Altufix	Acryliques	Altulor
Altuglass	Acryliques	Altulor
Altulex	Acryliques	Altulor
Altulite	Acryliques	Altulor
Arnite	PET	AKZO
Bakélite	Phénoplastes	La Bakélite
Baydur	Polyuréthanes	Bayer
Bayfill	Polyuréthanes	Bayer
Bayfit	Polyuréthanes	Bayer
Bayflex	Polyuréthanes	Bayer
Baylon	Polyoléfine	Bayer
Baymer	Polyuréthanes	Bayer
Baynat	Polyuréthanes	Bayer
Beckopox	Epoxyde	Hoechst

Calibre	PC	Enichem	Hostadur	PBT	Hoechst
Carina	PCV	Shell Chimie	Hostaflon	PTFE	Hoechst
Carlona	Polyoldéfines	Shell Chimie	Hostaform	Polyacétal	Hoechst
Celazole	PBI	DSM	Hostalen	Polyoléfine	Hoechst
Cellidor	Cellulosiques	Bayer	Hostalit	PVC	Hoechst
Cellit	Cellulosiques	Bayer	Hostapor	Polystyrène	Hoechst
Cellobond	Polyesters	B.P Chemicals	Hostatec	PEK	Hoechst
Cestiguide	Polyéthylène Haute densité	DSM	Hostyren	Polystyrène	Hoechst
Cestilène	Polypropylène	DSM			
Cestilite	Polyéthylène Haute densité	DSM	Ixan	Polychlo-vinylidène	Solvay
Cestitech	Polyéthylène Haute densité	DSM			
Crastine	PBT	Ciba Geigy	Kadel	PEK	Amoco
Cycolac	ABS	Borg Wagner	Kelanex	PBT	Ciba Geigy
			Kematal	Polyacétal	Comaip, Vacour
Delrin	Acétal-POM	Dupont de Nemours	Kelf	PCTFE	
Desmodur	Polyuréthanes	Bayer	Ketron	PEEK	DSM
Desmopan	Polyuréthanes	Bayer			
Desmophen	Polyuréthanes	Bayer	Lacqrène	Polystyrène	ATO Chimie
Diakon	Acrylique	ICI	Lacqtène	Polyoléfines	ATO Chimie
Duréthan	PA	Bayer	Lasulf	Polysulfone	Vacour
Dynyl	PA	Rhône Poulenc	Levopox	Epoxydes	Bayer
			Lexan	Polycarbonate	General Electric
Ekamère	Polyuréthanes	P.C.U.K	Lopox	Epoxydes	CdF Chimie
Ekanate	Polyuréthanes	P.C.U.K	Lucovyl	Vinylques	Orgavil
Ekavyl	PVC	P.C.U.K	Lupolen	Polyéthylène	B.A.S.F
Eltex	Polyoléfine	Solvay	Luprenal	Acryliques	B.A.S.F
Epikote	Epoxy	Shell Chimie	Luran	SAN	B.A.S.F
Ertacétal	Polyacétal	DSM	Luranyl	PPE	B.A.S.F
Ertalon	PA	DSM	Lustran	ABS	Monsanto
Ertalyte	PETP	DSM			
Ertalène	PE	DSM	Magnum	ABS	Dow
Ervadur	Phénoplastes	Rhône Poulenc	Makrolon	Polycarbonate	Bayer, Vacour
Ervaphène	Phénoplastes	Rhône Poulenc	Maranyl	Polyamide	ICI
			Mecaflon	PTFE	DSM
Fluon	PTFE	ICI	Minlon	PA	AKZO
Floraflon	PVDF	P.C.U.K	Mowiol	Alcool polyvinylique	Hoechst
Fluorsint	PTFE	DSM			
			Noplen	Polypropylène	Himont
Gedelite	Phénoplastes	CdF Chimie	Norsodyne	Polyesters	CdF Chimie
Gedex	Polystyrène	CdF Chimie	Norsomix	Polyesters	CdF Chimie
Grillon	PA	EEMS	Norsopreg	Polyesters	CdF Chimie
			Novodur	ABS	Bayer
Halar	ETLFE	Janssens	Novolaque	Phénoplastes	La Bakélite

Novolen	Polypropylène	B.A.S.F
Nylatron	Polyamide	DSM
Orgalan	Polycarbonate	ATO Chimie
Orgamide	Polyamide	ATO Chimie
Orgater	Polyesters	ATO Chimie
Pebax	PA	Atochem
Plexiglas	Acryliques	Röhm
Pocan	Polyesters thermoplastiques	Bayer
PP Appryl	Polypropylène	Appryl
Pregmat	Polyesters	La Bakélite
Prevex	PPE	Borg Warner
Profax	Polypropylène	Herculès
Rhodialite	Acétate de cellulose	Petit-Collin
Rhodopas	Acétate de polyvinyle	Rhône Poulenc
Rhodorsil	Silicones	Rhône Poulenc
Rhodoviol	Alcool polyvinylique	Rhône Poulenc
Rilsan	Polyamide	ATO Chimie
Rynite	Polyesters thermoplastiques	Dupont de Nemours
Ryton	Polyphénylène de sulfure	Phillips
Sinvet	PC	Enichem
Sniamid	PA	SNIA
Starglas	Polysulfone	Vacour
Stratyl	Polyester	Chloé Chimie
Statyrex	Polyester	Chloé Chimie
Styron	Polystyrène	Dow Chemical
Supec	PPS	Vacour
Technyl	Polyamides	Rhône Poulenc
Techster	PBT	Rhône Poulenc
Techtron	PPS	DSM
Tedur	PPS	Vacour
Téflon	PTFE	Dupont de Nemours
Tezel	PTFE	Dupont de Nemours
Teijin		Penlit
Terluran	ABS	B.A.S.F
Torlon	Polyamide-imide	DSM
Ultem	Polyetherimide	DSM

Ugikapon	Polyesters	P.C.U.K
Ugikapreg	Polyesters	P.C.U.K
Ugikral	ABS	P.C.U.K
Ugipol	Polyuréthanes	P.C.U.K
Ultraform	Polyacétal	B.A.S.F
Ultramid	Polyamide	B.A.S.F
Ultrapek	PAEK	B.A.S.F
Ultason	Polysulfone	Vacour
Udel	Polysulfone	Amoco, Vacour
Valox	PBT	GEP
Vespel	Polyamide	Dupont de Nemours
Vestamid	Polyamide	Hüls
Vestodur	PBT	Hüls
Victrex	PEEK;PES.	ICI
Vinoflex	PVC	B.A.S.F
Voltalef	PCTFE	Atochem
Zytel	Polyamide	Dupont de Nemours

5 - GUIDE DE CHOIX SIMPLIFIÉ

PROPRIETES	LES MEILLEURS POLYMERES	LES MOINS BONS
Reprise d'eau	PVDF, PTFE, PCTFE, PE, PP, PETP, PPO, PMMA, PEEK, PPS.	PA, PAA, PS, PES, Polyester Orthophtalique.
Résistance UV	PPS, PAI, PTFE, PVDF, PETP, PEI, PMMA, PPO.	PEHD, POM, PA, PEEK, PC, PEBD, PES, PAA.
Transparence	PMMA, PS(Q200_5), PC, PVC, PP, PE.	ABS, POM, PPO, PEI, PSU, PI, TD renforcés.
Tenue au choc	PUR, PC, PEBD, PC, PETP, PA, PAI, POM, PVC, PEEK, PCTFE, PVDF, TD renforcés.	PS, PMMA, PP, TD non renforcés.
Résistance à l'usure	Fluores, PUR, PA, PVC, PETP, PAI, PPS, PEEK.	PS, PTFE (non chargé).
Alimentaire	PE, PP, PVC rigide, PVDF, PCTFE, PTFE (chargé), PS cristal, PSU, PEEK, PC, UP spéciale.	PF, MF, UF, PPS, POM, PVC souple.
Usinabilité	POM, PA, PC, CAB, PMMA, PES,	Fibre aramide, TD renforcés, PS,

	PEHD, PETP, CAB, PTFE.	PEBD, SI.
Soudabilité	PVC, PP, PE, TD rigide.	Fluores, TD (impossible).
Collabilité	PUR, CA, PMMA, PS, ABS, SAN, EP, UP, PF, PI, PEEK, PVC.	PVDC, PA, PE, PP, SI, POM

6 - TABLEAU DES PROPRIETES MECANIQUES

Quelques remarques et mises en garde :

6.1 - Densités

Les valeurs données dans le tableau sont à prendre avec des précisions de :

* $\pm 0,15$ (g/cm³), pour les produits semi-finis,

* $\pm 0,25$ (g/cm³), à partir du produit brut (extrudé, moulé,...) sauf spécification spéciale.

6.2 - Contraintes

Les valeurs fournies par les fabricants de plastiques sont les résultats d'essais sur les matériaux en sortie fabrication, c'est à dire à hygrométrie 0 % et stockés dans de bonnes conditions (chambres tempérées).

Ces chiffres sont optimistes. Il faut donc prendre des précautions pour l'utilisation de ces valeurs. (Prendre un coefficient de sécurité).

6.3 - Module d'Young E

Le module d'Young varie avec la charge (plasticité). Pour certains dimensionnements (flambement par exemple), prendre le module tangent E_T (Cf. graphe paragraphe 8.3).

6.4 - Allongement à la rupture

Prendre un coefficient de sécurité de ± 30 % des valeurs données dans le tableau.

6.5 - Température de transition vitreuse Tg

* C'est une caractéristique très importante des matériaux thermoplastiques amorphes et semi-cristallins.

En effet, elle définit la limite entre état solide rigide (vitreux) et état caoutchoutique.

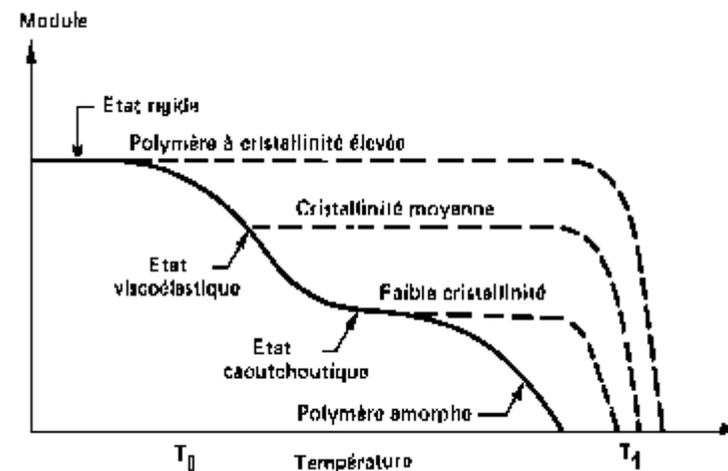
Il est donc très important de ne pas la dépasser afin d'éviter des évolutions rapides des propriétés.

* En ce qui concerne les polymères cristallins, c'est la température de fusion qui définit la limite entre l'état plastique solide et l'état fluide.

CONCLUSION : IMPORTANCE DE LA TEMPERATURE D'UTILISATION DU POLYMERE PAR RAPPORT A Tg (polymères et semi-cristallins) OU TEMPERATURE FUSION (polymères cristallins).

Remarque : Polymères amorphes ou cristallins ? voir paragraphe 10.

Illustration de l'effet de la température sur les propriétés de polymères : Ex : Module d'Young.



6.6 - Prix

Les valeurs données sont des indices qui permettent de comparer les plastiques entre eux.

Les prix des matériaux varient en fonction des fournisseurs et des quantités.

TABLEAU DES PROPRIETES MECANIQUES

	Densité (g/cm ³)	σ_e traction (MPa)	σ_r traction (MPa)	E traction (MPa)	σ_e compression (MPa)	σ_r compression (MPa)	E flexion (MPa)	σ flexion max (MPa)	Al rupture traction (%)	Dureté (shore D)	Choc Izod (J/m)	Tg (°C)	Tfusion (°C)	Prix (indice)	Cisaillement (MPa)
EPOXY DELMAT	1,85		250		300	450	18000	400	5/70	50/90	800	40/180			25/130
PA6	1,13	75/78	80/85	2600/3000	86	90	1400	105	80	75	250	55	220	10	78
PA 11	1,05	40/50	60	1000/1200	80/90	90	1600	60	300	74	300	46	185		
PA 12	1,02	55/65		1000	60	85	1600	80		74	300	37	180		
PA 6-10	1,09	50/55	70	2100	20			80	85	75		40	227		55
PA 6-12	1,08	50/60		2100	80			80	100	80			210		
PA6 G	1,15	85/87		1900		100	1850		120	80	195		220	15	
PA66	1,15	80/90		2800	35	100	2000	105	70	80	180	57	260	11	70
PAI	1,45	110/180	190	4500/6800	170	220	5000	244	10	88	60/140	260	280	200	
PBi	1,3	160		5900		400			3	88		400			
PC	1,2	55/70	75	2400/2500	80	85	2200	88/90	80	78	600/850	150	228	25	60
PCTFE	2,15	31/40	45	1400	35	50	1270	56/60	150	80	190	-80	214	120	
PEBD	0,91	5/25		200	10	15	850	10	500	60	300	-110	115	6	
PEEK	1,3	90/110	120	3600/4000	115	120/160	3700	170	150	41/46	50/85	140/160	330	240	95
PEHD	0,95	20/30	40	1400	20	25	790	30	700	70	100/210	-27	135	11	
PEi	1,27	80/90	105	3000	130	140	3300	145	60	90	50/63	215		99	106
PES	1,37	70/95	97	2400/2800	70	115	2600	125	40/80	82	74/85	220/230	350	45	
PETP	1,31	55/75	80	2800	70	130	3000	100	50/70	84	13/40	70	255	15/20	
Pi	1,43	70/80	86	3250		260	2500/3100	90/110	20	84	75/80			50	
PMMA	1,2	65/72	75	3300	90/110	115	2800	100	4	86	16/40	120	200/220	20	70/80
POM	1,41	62/70	73	2800	80	110	2890	95	40	83	64/123	-85	190	16	56
PP	0,91	25/40	45	1000	50		1300	50	650	73	21/53	-20	165	12	
PPO	1,06	55/65		2500	60		2450	95	45	84	160/200	210	250		
PPS	1,34	70/80	150	1100/3300	145	180	3000	140/190	3	88/90	70	88	288	180	
PS(Q200_5)	1,05	40	60	1600	90		2500	70/95	3	65	80	90	280	13	
PSU	1,24	70/80		2500	90	100	2700	106	50/100	80	70	185/190	190	42	
PTFE	2,2	20/35	40	300/700	10	15	490	15	300	55	155	-150	327	63	20
PUR Vukollan 97 Sh	1,25	30/37	40	3000					350/450	56				>44	
PVC rig	1,35	45/54	58	2800	65	70	2600	100	50	80	50	75/105	160	6	
PVDF	1,76	25/50	60	1000/3000	50	60	2300	50	200	78	120/320	-40	178	65	

7 - TABLEAU DES PROPRIETES PHYSIQUES

	T° max d'utilisation en continu (°C)	T° min d'utilisation en continu (°C)	Résistance momentanée à la chaleur (°C)	Coeff. dilatation linéaire thermique (E-05/°C)	Chaleur spécifique (cal/g°C)	indice 02 (%)	Contante diélectrique à 1 MHz	Résistance à l'arc (sec)	Rigidité diélectrique (kV/mm)	Facteur dissipation (tan δ)	Résistance électrique (Ω.cm)	conduct- thermique (W/mK)	Absorption eau après 24 ^H (%)	Saturation dans l'eau (%)	FEU UL 94
EPOXY DELMAT	190			6,5				180	13	3,00E-02	1,00E+13		0,2		VO
PA11	100	-45	135	12	0,29	22	3,5		18	5,00E-02	1,00E+13	0,29	1	1,6	V2
PA12	100	-45	135	12	0,3		3,6	110	30	3,00E-02	1,00E+13	0,3	1	1,6	HB
PA6	90	-40	140	7	0,38	22	3,6	150	19	2,00E-02	1,00E+11	0,28	3	9	HB
PA6 G	115	-40	150	8	0,32	22	3,5		20	5,00E-02	2,00E+11	0,29	2,2	6,5	HB
PA6_10					0,38	25	3,7	130		4,00E-02	1,00E+12				HB
PA6_12					0,38		3,7	130		2,00E-02	1,00E+13				HB
PA66	120	-30	160	7	0,3	23	4,3	135	24	3,00E-02	1,00E+12	0,28	2	8	HB
PAI	200	-196	265	3	0,24	44	4	125	23	3,10E-02	2,00E+17	0,26	0,33		VO
PBI	425		540	2,3		58	3,4		22	0,034	1,00E+15	0,4	0,4	4,5	VO
PC	130	-135	145	6	0,28	25	2,9	120	35	1,00E-02	2,00E+16	0,24	0,2	0,35	V1
PCTFE	155	-255	180	7	0,26		2,4	360	22	1,00E-02	1,00E+18	0,17	0,005		VO
PEBD	50	-60	90	23	0,2	18	2,2	120	80	1,00E-02	1,00E+17	0,17	~0	0,02	HB
PEEK	240	-60	250	5	5	35	3,2		20	3,00E-03	1,00E+15	0,32	0,05	0,45	VO
PEHD	90	-200	110	21	0,44	17	2,3	120	90	5,00E-04	1,00E+16	0,42	~0	0,01	HB
PEI	170	-50	200	5,6	5,6	47	3,1	128	33	1,30E-03	7,00E+15	0,25	0,25	1,35	VO
PES	180	-70	200	5,5	5,5	34	3,7		17	3,00E-03	1,00E+17	0,18	0,43	2,1	VO
PETP	110	-80	180	7	0,26	21	3,2	130	23	2,00E-02	1,00E+15	0,26	0,2	0,5	HB
PI	260	-196	500	5,4	0,27	53	3,65		22	3,40E-03	1,00E+15	0,35	0,24	1,3	VO
PMMA	85	-40	90	6,8	0,35	18	3	120	23	4,00E-02	1,00E+14	0,18	0,3	0,5	HB
POM	100	-50	150	9	0,35	16	3,7	140	30	3,00E-03	1,00E+14	0,25	0,25	0,85	HB
PP	100	-20	120	15	0,38	18	2,4	100	25	5,00E-04	1,00E+16	0,22	0,01	0,2	HB
PPO	115	-40	135	8	0,35	30	3,7		38	2,50E-03	1,00E+15	0,19	0,25	0,8	HB
PPS	240	-50	270	5,4	5,4	46	3		23	2,00E-03	1,00E+16	0,29	0,03	0,09	VO
PS(Q200_5)	85	-40	90	7	0,33	19	2,5	100	20	3,00E-04	1,00E+16	0,12	0,02	0,03	HB
PSU	180	-77	196	5,6	0,3	30	3,15	60	17	5,00E-03	5,00E+16	0,26	0,3	0,85	HB
PTFE	200	-200	300	12,2	0,25	95	2,1		26	3,00E-05	1,00E+18	0,23	0,05	0,02	VO
PUR	90	-40	130	17-19	0,42		5,6		26	5,00E-02	5,00E+16	0,29			
PVC rig	60	-20	75	8	0,25	42	3	70	35	1,00E-02	1,00E+16	0,14	0,001		HB
PVDF	150	-40	165	17	0,24	44	8,4	60	65	1,00E-01	2,00E+14	0,18	0,02	0,05	VO

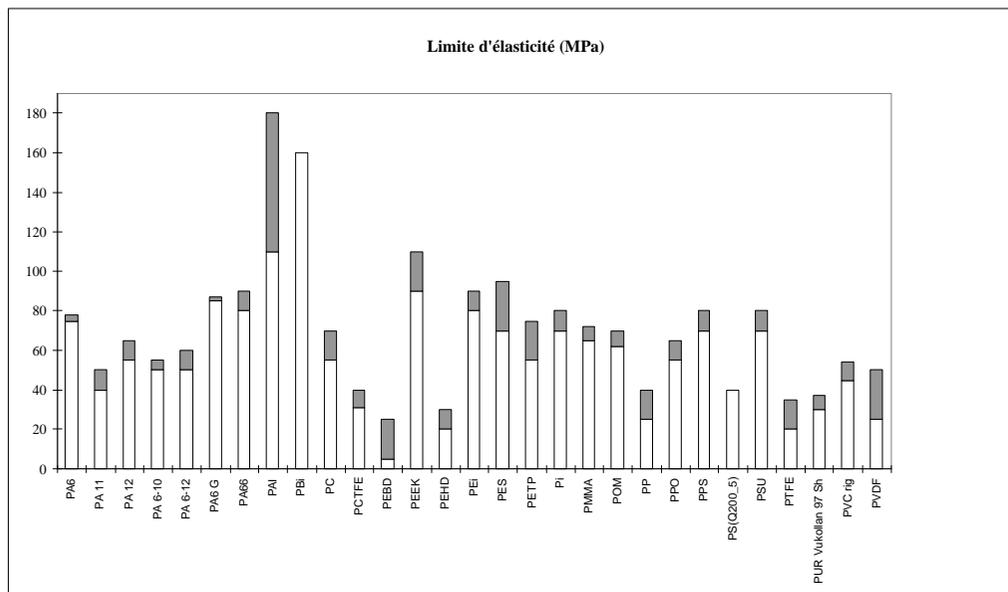
8 - COMPARAISON DES MATERIAUX PLASTIQUES

8.1 - Limite d'élasticité en traction

(Contrainte au seuil d'écoulement)

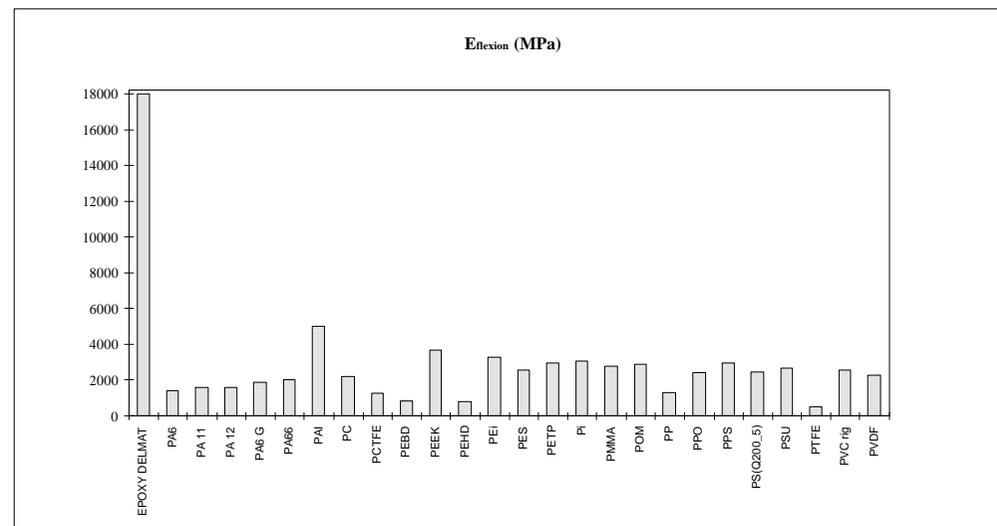
Température d'essais : 23°C

Vitesse de traction : 20 mm/mn



8.2 - Module de flexion

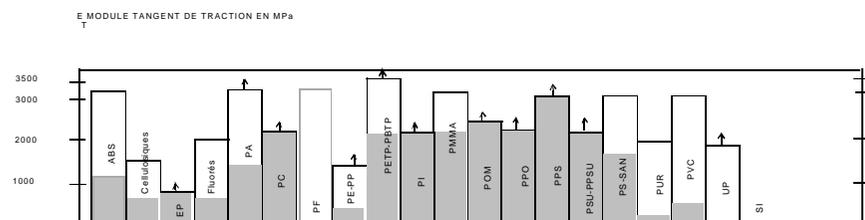
Température d'essais : 23°C



8.3 - Module d'élasticité en traction E_T ou module tangeant

Température d'essais : 20°C
 Vitesse de traction : 25 mm/mn

Remarque : La flèche signifie que les valeurs peuvent être améliorées par des plastifiants.



8.4 - Résistance au choc IZOD

Ces essais permettent de déterminer l'énergie nécessaire à briser une éprouvette.

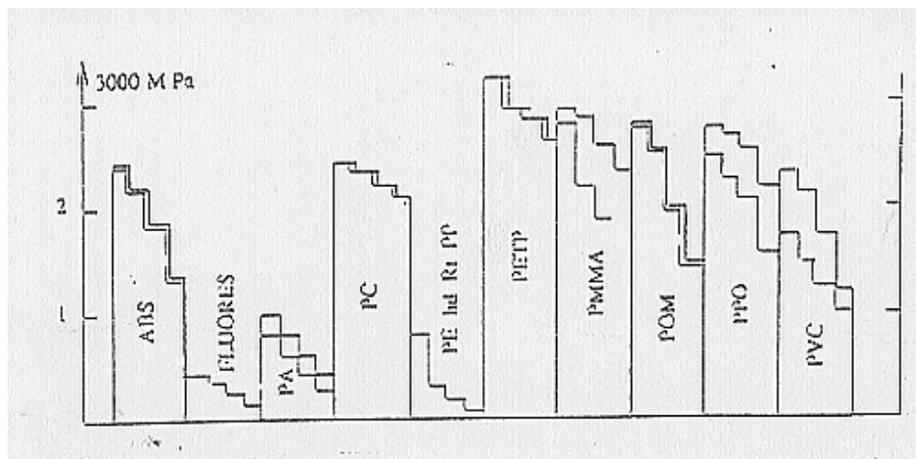
Conditions d'essais : éprouvette sèche et entaillée.



8.5.a - Module de fluage en traction

Suivant NF T S1-103
 Température d'essais : 20°C

Les paliers représentent les essais au bout d'une heure, 10 h, 100 h, 1000 h avec $\tau = 7$ Mpa et $\tau = 15$ Mpa.

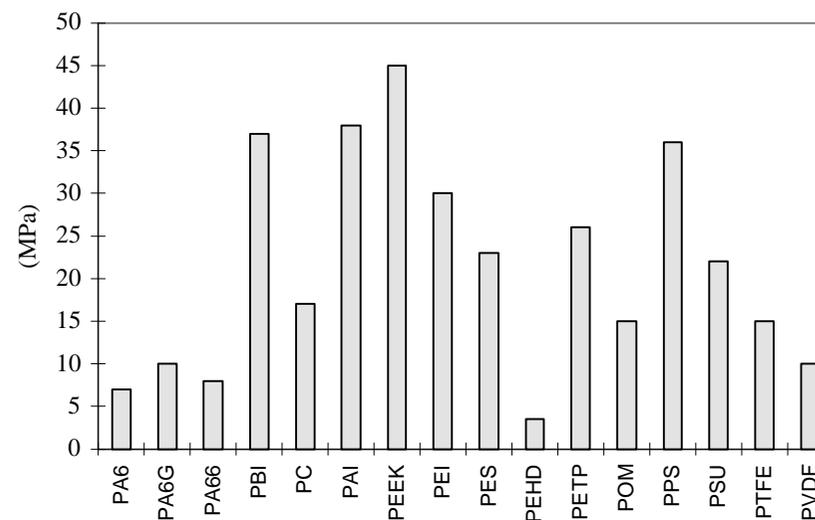


8.5.b - Essai de fluage en traction

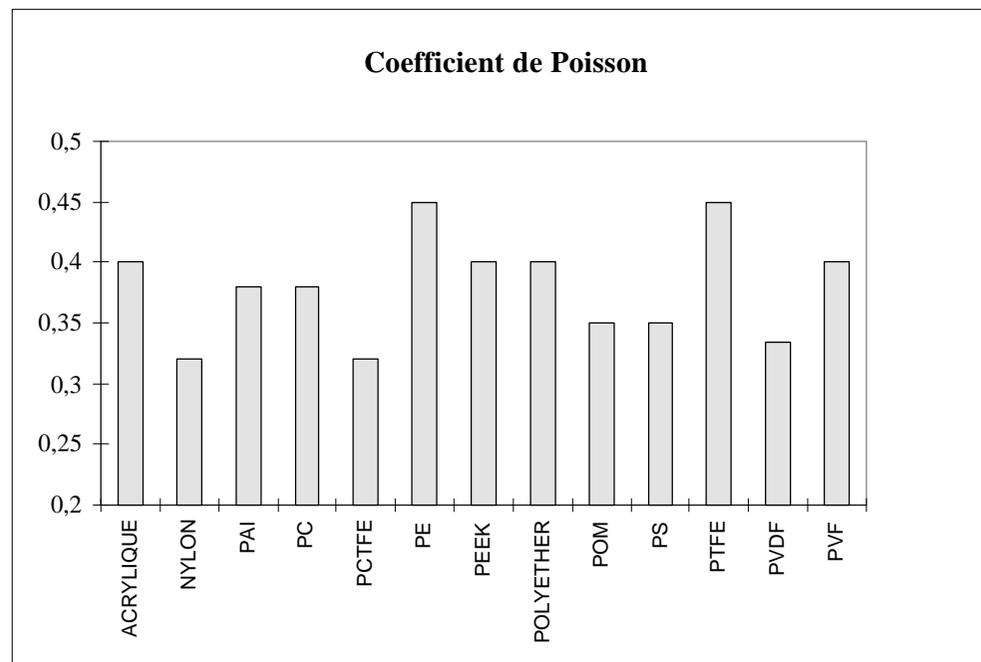
Cet essai détermine la contrainte produisant un allongement de 1 % au bout de 1 000 heures.

Essais à 23°C, HR = 50 %.

Essai de Fluage

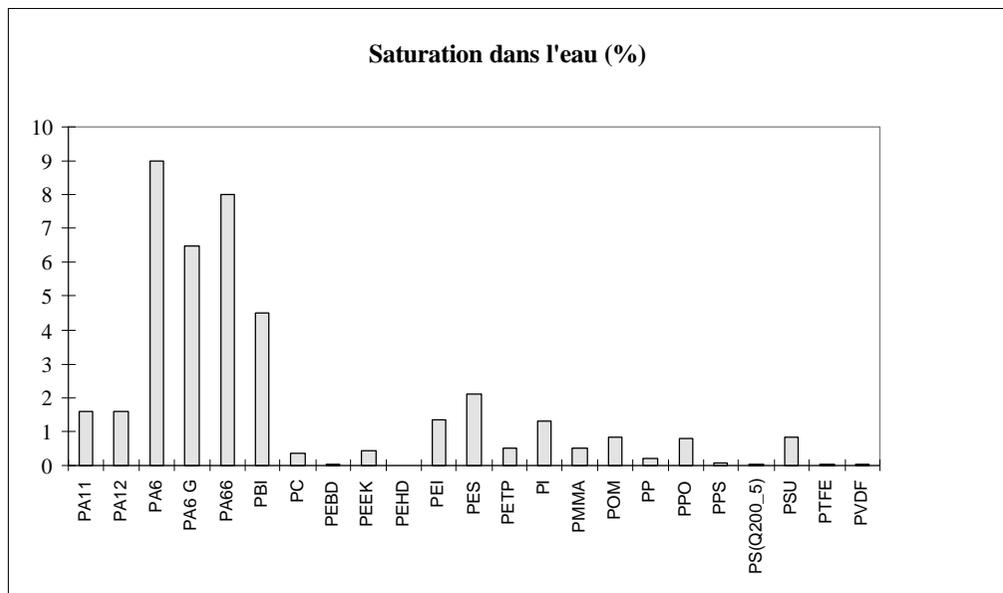


8.6 - Coefficient de Poisson

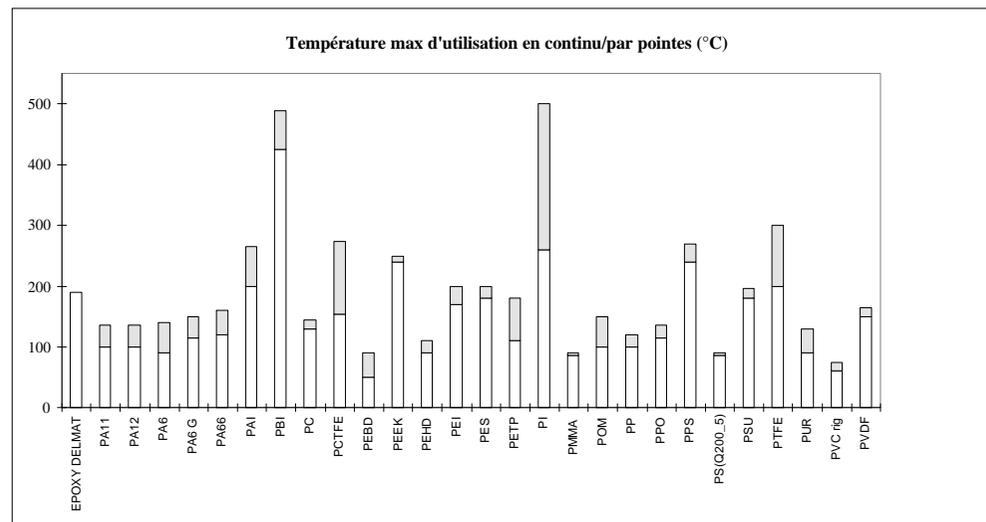


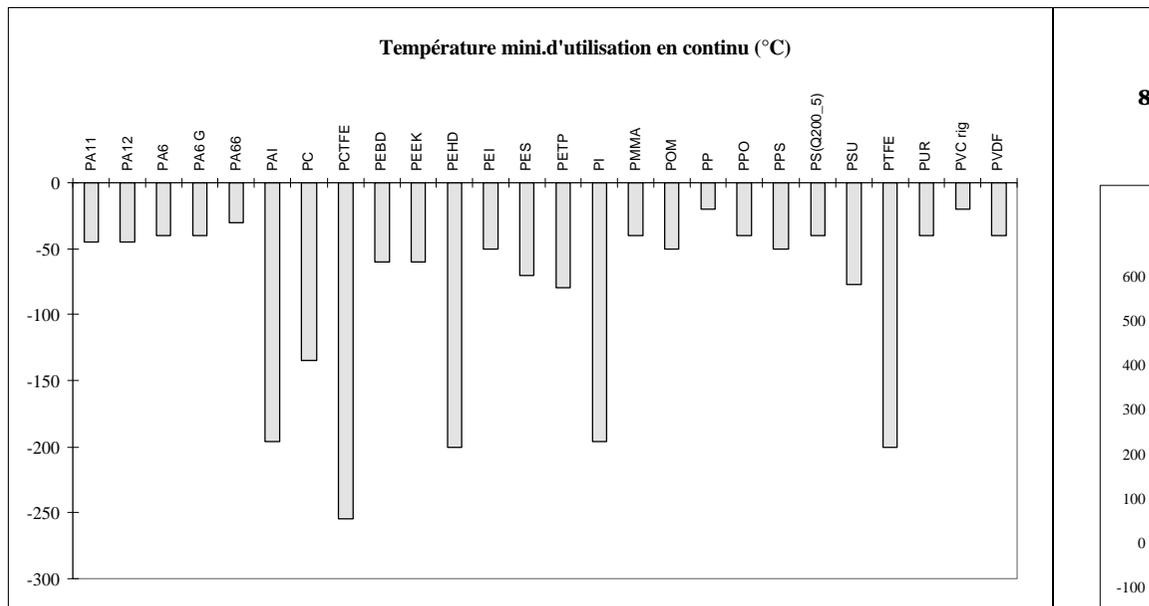
8.7 - Absorption d'eau (%)

Immersion dans de l'eau distillée à 23°C.

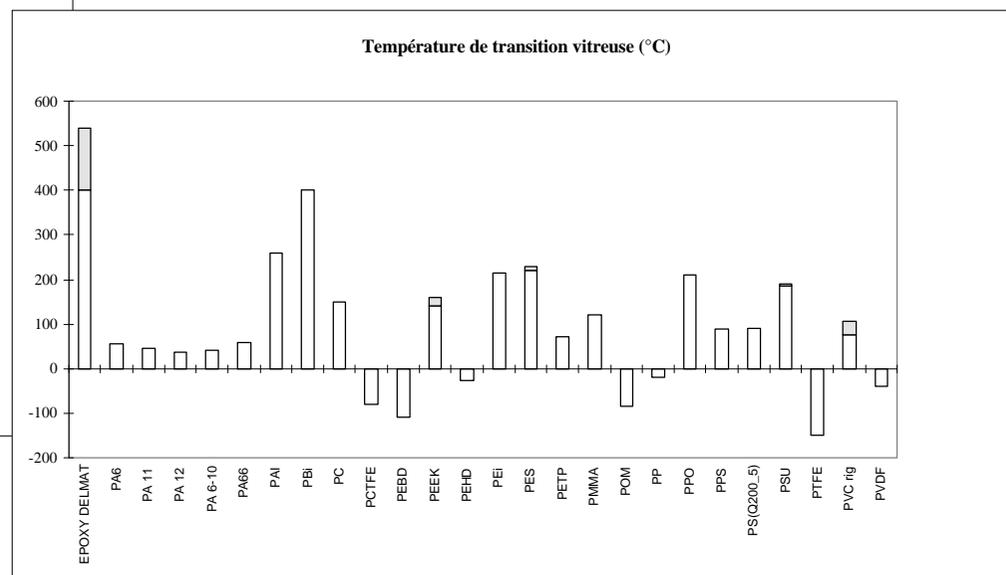


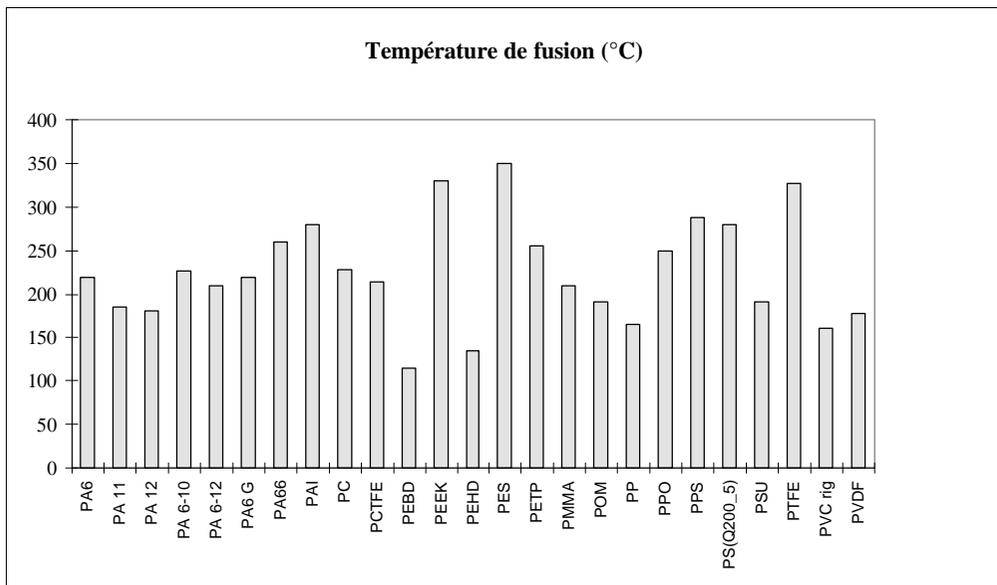
8.8 - Température maxi et mini d'utilisation sans contrainte



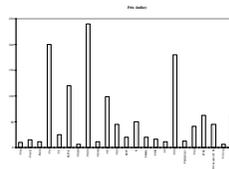


8.9 - Température de transition vitreuse - Température de fusion





8.10 - Indice de prix



9 -TENUE A L'EAU

9.1 - Stabilité hydrolytique (voir tableau)

Certains polymères ne se contentent pas de fixer les molécules d'eau (d'où prise de poids), mais ils réagissent plus ou moins rapidement avec elles.

Il y a alors hydrolyse, c'est à dire coupure des chaînes d'où chute de la masse moléculaire et **FRAGILISATION**.

9.2 - Absorption d'eau

En général, les tests réalisés en eau distillée sont plus sévères que ceux réalisés en eau de mer.

Pas de reprise - Peu de dégradation	PEEK, PPS, PEKK
Peu de reprise	PP, PE, PTFE, PVDF, PCTFE, Epoxy
Problèmes possibles	PVC, Polyester isophtalique, Vinylesta
Reprise d'eau	PA, PAA, Polyester orthophtaliques, ... (les autres)

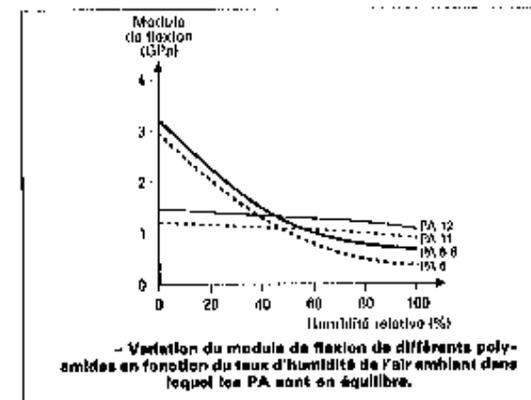
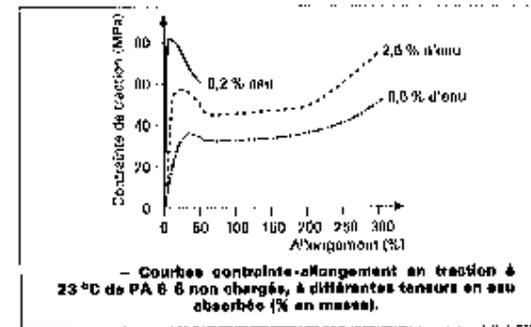
Remarque : Les polymères amorphes sont les plus sensibles à l'humidité.

STABILITE HYDROLYTIQUE

	MAUVAISE	MOYENNE	BONNE	EXCELLENTE
Fluores			✓	
EPOXY			✓	
PA	✓			
PAA	✓			
PAI	✓			
PC	✓			
PE			✓	
PEEK				✓
PEI				✓
PETP		✓		
PI	✓			
PMMA			✓	
POM			✓	
PP			✓	
PPO				✓
PPS				✓
PS		✓		

PSU				✓
PUR			(UR 3450)✓	(UR 913)✓
PVC		✓		
Polyester isophtalique		✓		
Polyester orthophtalique	✓			
Vinylester		✓		

A titre d'exemple, les deux graphes suivants montrent la variation de la limite d'élasticité et du module de flexion du PA en fonction de la teneur en eau absorbée.



9.3 - Effet de l'environnement océanique sur les plastiques

Effets de l'environnement océanique sur les plastiques

Peu d'essais ont été effectués concernant l'étude de ces matériaux en milieu marin.

1) Essais effectués par le U.S. Naval Civil Engineering Laboratory (NCEL)

Ces essais portent sur la dureté superficielle et l'absorption d'eau. Ils se sont déroulés dans l'Océan Pacifique, sur deux sites STU1 et STU2.

STU 1

Profondeur 1720 m.

Température du fond : 2,5°C

STU2

Profondeur : 720 m

Température du fond : 5°C

Tableau résumé des duretés et absorptions d'humidité sur échantillons après deux ans d'immersion

	STU 1			STU 2		
	Dureté			Dureté		
	Avant exposition	Après exposition	Absorp. %	Avant exposition	Après exposition	Absorp. %
DELTRIN (POM)	80	80	0.29	86	80	0.31
NYLON	71	63	0.54	80	65	1.48
POLYCARBONATE	80	80	0.33	86	80	0.21
TEFLON	59	55	0.002	62	57	0.001
POLYETHYLENE	46	44	0.03	52	50	0.004
ACRYLIQUE EXTRUDE	89	80	0.23	91	80	0.44
POLYSTYRENE	85	82	0.08	88	83	0.05
PVC	82	74	0.30	81	75	0.29

Conclusions de ces essais

La dureté superficielle diminue après une exposition prolongée dans l'eau de mer pour la totalité des thermoplastiques.

Les pourcentages d'absorption d'humidité sont souvent supérieurs aux pourcentages théoriques donnés par les fournisseurs de matières plastiques.

2) Essais effectués pour le projet OTEC.

Différents thermoplastiques ont été étudiés au contact de l'air, de l'eau de mer pour des durées de 7 jours à 129 ou 131 jours. Les plastiques testés sont les PVC; PE, polypropylène, le nylon 11, l'Acétal copolymère. Ces essais se sont déroulés en laboratoire dans un bain d'eau de mer.

	% Chgt poids	% Chgt dimen.	Effort maximum élastique		Effort au domaine plastique		Module d'élasticité	
			7 j	129 j	7 j	129 j	7 j	129 j
PVC	0	0	107	116	108	116	114	97
PEHD	0	0	107	112	107	112	109	93
PP	0	0	111	119	111	119	125	125
Nylon (PA)	0,3	0,1	100	101	99	83	90	71
Acétal (POM)	7 j - 0,2	≈ 0,1	103	110	104	110	104	112

Tableau des pourcentages de maintien des propriétés de traction et dimension

Comparaison essais 7 jours - 129 jours

- Les propriétés changent après une exposition prolongée et surviennent principalement la première semaine.
- Les poids des polyamides et de l'Acétal changent dans le sens positif et s'accompagne d'un accroissement des dimensions.

Les polyoléfines et les PVC ont une bonne résistance, pas de changement de dimension et de poids.

- A l'exception des nylons, les plastiques montrent une augmentation des propriétés de traction après une exposition dans l'eau de mer. Cette augmentation croît avec le temps d'exposition. Ceci au détriment de la ductilité, ce qui implique que sur ces matériaux, des ruptures par fragilisation peuvent

apparaître. La « limite de résistance » apparaît souvent avant 25 % d'allongement et quelquefois avant 10 %.

Exemples d'utilisation des matériaux

Désignation des pièces	Produit proposé
Bague d'étanchéité	PTFE - KELL'F-PA 11/12
Clapets pour robinets	PTFE 6 PEHD 1000-PA 11/12
Coquilles de coussinet	PE HD 1000-PA6-PA 6 G
Coussinets (immergés)	PETP-POM-PE hd 1000
Cuve électrolytique	PVC-PP-PEBD
Cuve de stockage	PVC-PP-PEBD
Membrane de pompe	PE HD 1000-PCTFE-PTFE
Noix de glissement sur vis	PE HD 1000-POM-PETP
Paliers	PETP-PA 6 G-POM
Paliers auto lubrifiant	PETP-POM-PEHD 1000
Pièces immergées	PA 11/12-PEHD-1000 PETP

10 -INFLUENCE DU TAUX DE CRISTALLINITE

Le taux de cristallinité varie en fonction du système catalytique employé, de la cinétique réactionnelle, des conditions dans lesquelles les matériaux sont mis en forme et refroidis. (Un refroidissement rapide entraîne une diminution du taux de cristallinité).

Thermoplastiques amorphes : PAI, PES, PSU, PEI, PC, PS, PVC, PMMA, PPO, PI, PBI, ABS.

Thermoplastiques cristallins et semi-cristallins (avec leur taux de cristallinité en %)

Semi-cristallins PPS → 10 ↗ 60 %
 PEEK → jusqu'à 40 %
 PA : PA 11, PA 12 → 20 ↗ 30 %
 PA6, PA 66, PA 6.10 → 40 ↗ 50 %

Cristallins PEHD → 70 ↗ 90 %
 PEBD → 40 ↗ 50 %
 POM → 70 ↗ 90 %
 PTFE → 60 ↗ 85 %
 PCTFE → 80 ↗ 85 %
 PETP → élevé
 PBT → jusqu'à 60 %
 PP → 45 ↗ 75 %

La variation du taux de cristallinité entraîne une variation des propriétés du polymère.

Variation des propriétés suivant taux de cristallinité

Exemple : POM, PEHD, PEBD, PPS

POM (70 ↗ 90 %)

Influence d'une augmentation de la cristallinité et de la masse moléculaire sur les principales propriétés des POM		
	↗ cristallinité	↗Masse moléculaire
Masse volumique	↗	→
Perméabilité aux gaz	↘	→
Température de fusion	↗	→
Température de fléchissement sous charge	↗	→
Résistance à la rupture en traction	↗	↗
Module de rigidité en flexion	↗	→
Résistance aux solvants	→	↗

↗ en augmentation → inchangé ↘ en baisse

PEHD (70 ↗ 90 %)

Principales propriétés du PE hd en fonction des paramètres structuraux			
Propriétés		Cristallinité	Masse moléculaire
		↗	↗
Physiques	densité	↗↗	↘
	perméabilité aux gaz	↘	→
Thermiques	température de fusion et température de ramollissement	↗	→
Mécaniques	rigidité	↗↗	↘
	solidité		
	- résistance à la chute - résistance au choc	↘↘	↗↗
Electriques	permittivité facteur de dissipation diélectrique	→	→
Chimiques	résistance au stress-cracking	↘↘	↗↗
Facilité de mise en oeuvre		→	↘↘

Double flèche : variation particulièrement importante.
Flèche horizontale : non-interaction (du moins en première approximation)

PEBD (40 ↗ 50 %)

Influence des paramètres structuraux sur les principales propriétés intrinsèques des PE bd			
Notations : les deux propriétés considérées varient dans le même sens (↗) ou bien en sens contraire (↘). Deux flèches de même sens indiquent une variation particulièrement importante. Une flèche horizontale signifie l'absence d'interaction (en première approximation).			
Propriétés intrinsèques	Cristallinité	Masse moléculaire	Polydispersité
Propriétés physiques			
- Masse volumique	↗↗	→	↘
- Indice de fluidité	→	↘↘	→
- Perméabilité au gaz	↘	→	→
Propriétés thermiques			
- Température de fusion et température de ramollissement	↗	→	→
Propriétés mécaniques			
- Rigidité (module d'élasticité)	↗↗	↗	→
- Résistance à la rupture	↗	↗	↘
- Résistance aux chocs	↘	↗	↘
- Résistance au déchirement	↘	↗	→
Propriétés optiques (sur film)			
- Transparence	↗	↘	↘
- Brillance	↗	↘	↘
Propriétés électriques			
- Permittivité	→	→	→
- Facteur de dissipation diélectrique	→	→	→
Propriétés chimiques			
- Résistance à la fissuration	↘↘	↗↗	↘
Mise en oeuvre et rhéologie			
- Facilité de mise en oeuvre	→	↘	↗
- Epaisseur minimale réalisable en film	↗	↘↘	↘↘
- Elasticité à l'état fondu	↘	↗	↗↗

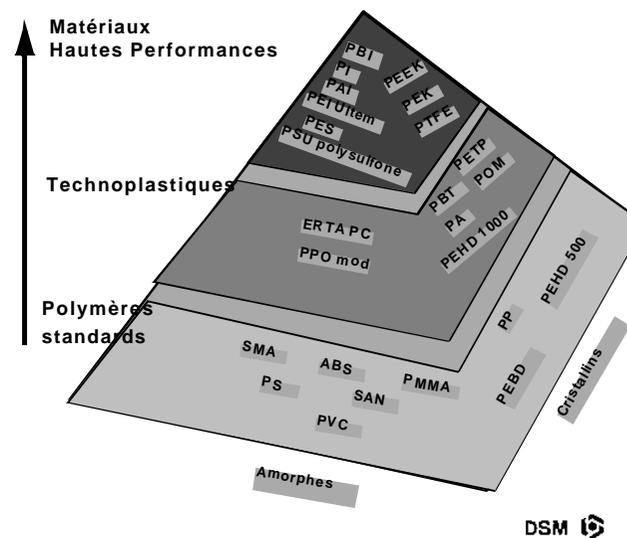
PPS (10 ↗ 60 %)

Influence du taux de cristallinité sur les propriétés mécaniques des PPS renforcés de verre						
Propriété	PPS + 40 % FV Primef 4000					
	à faible cristallinité ≈ 10 %			à forte cristallinité ≈ 60 %		
Température de mesure (°C)	50	100	150	50	100	150
Résistance à la rupture en traction (MPa)	170	110	40	180	125	50
Résistance à la rupture en flexion (Mpa)	220	160	100	220	180	120
Module d'Young en flexion (Gpa)	13	7	4	13	8	5

PP (48 ↗ 75 %)

Influence des paramètres structuraux sur les principales propriétés des polypropylènes		
Propriétés	Variation (1) des propriétés en fonction de l'augmentation	
	de la cristallinité	de la masse moléculaire
Température de fusion	↗	→
Température de ramollissement Vicat	↗	→
Résistance en traction	↗	↗
Module d'Young	↘	↗
Résistance au choc	↘	↗
Perméabilité aux gaz	↘	→
Indice de fluidité à chaud (IF)	→	↘
Viscosité à l'état fondu	→	↗

(1) ↗ augmente → ne varie pas ↘ diminue



11 - CAS DES POLYURETHANNES (PUR) EN UTILISATION MARINE

Les polyuréthannes constituent une très grande variété de plastiques. On y trouve :

- des caoutchoucs mous (TP),
- des plastiques durs (TP),
- des peintures, vernis, colles, liants,
- des mousses rigides et souples,
- des élastomères.

On différencie les PUR selon :

- La base chimique : Base polyéther (ex. : ADIPRENE)
 Base polyester (ex : VULKOLLAN)

Remarque : En utilisation marine, les PUR à base polyéther sont préférables.

- Le procédé de mise en oeuvre :
 PUR coulable
 PUR laminable
 Mise en oeuvre thermoplastiquement (moulage
 par injection, extrusion)

En utilisation marine, les fournisseurs AXSON, (PARANGON) et UNIROYAL proposent les PUR suivants :

		Densité (g/cm ³)	Dureté (Shore)	Mise en oeuvre
	UR 3450	1,05 ± 0,02	A76	Coulé à froid
AXSON	UR 3164	1,08 ± 0,02	D60	Coulé à froid
	UR 913/1	1,06 ± 0,02	A80	Coulé à froid
PARANGON	PX 100	1,06 ± 0,02	D74	Coulé à froid
	RIM 974	1,17 ± 0,02	D80	Coulé à froid
UNIROYAL	ADIPRENE L100		A91	Moulé à chaud

12 - VIEILLISSEMENT DES ELASTOMERES

Ce paragraphe est un résumé des résultats d'essais obtenus lors de deux études menées sur le vieillissement des élastomères en environnement marin.

12.1 - Cas du TPR et d'un PUR

(Gaine extérieure de la laisse du ROV 6000)

TPR : Elastomère polyester (HYTREL)

PUR : Elastogran 1185 A.

Caractéristiques des matériaux

Matériau	Densité (kg/m ³)	Dureté (shore A)	Résistance en traction (MPa)	Allongement à rupture (%)
TPR	900	86	8	450
PUR	1130	81	< 30	< 500

Résultats :

- Augmentation de la masse après 24 h d'immersion (à 55°C)

	Eau de mer	Eau distillée
TPR	0,15 %	0,4 %
PUR	0,8 %	0,9 %

Stabilisation en poids après : 10 h pour PUR
 20 h pour TPR

- ↪ La pression a un effet négligeable sur la prise de poids du TPR.
- ↪ Concernant le PUR, la pression augmente légèrement le phénomène d'absorption d'eau
- Immersion dans les hydrocarbures
 - ↪ TPR : Les propriétés mécaniques sont affectées.
 - ↪ PUR : Meilleure stabilité que le TPR.

CONCLUSION :

	Tenue en environnement marin	Tenue aux hydrocarbures
TPR	Bonne tenue à l'immersion et aux agents climatiques (Pression, température, ...)	Mauvaise
PUR	La pression influe sur la prise de poids	Bonne

12.2 - Cas de l'ADIPRENE L100 (UNIROYAL)

Variation de quelques caractéristiques après immersion en eau de mer (2,5 et 10 ans)

	Après immersion	Initial
Dureté (shore A)		91
2 ans	88	
5 ans	87	
10 ans	80	Perte : 12 % sur 10 ans
E Traction (à 100 %) (Mpa)		7,6
2 ans	7,44	
5 ans	6,72	
10 ans	7,16	Perte : 7 % sur 10 ans
Contrainte de rupture en traction (Mpa)		37
2 ans	29,6	
5 ans	22	
10 ans	28,2	Perte : 40 % sur 10 ans

13 - EFFET DES RENFORTS PAR FIBRES

13.1 - Fibres courtes/Fibres longues

- Fibres courtes

Pratiquement tous les thermoplastiques peuvent être chargés avec des fibres courtes (verre ou carbone) à des taux compris entre 20 et 40 % en masse, et transformés suivant les technologies courantes, par **injection** notamment..

- Fibres longues

L'intérêt d'un renfort par fibres longues est de remplacer les matières thermodurcissables par des matrices thermoplastiques en utilisant la même géométrie de renfort (roving, mat,...).

Quelques plastiques renforcés proposés dans le commerce permettent une utilisation comme produits semi-finis (beaucoup des références ci-dessous concernent des produits moulés ou injectés).

FIBRES COURTES : (FV = Fibre de Verre)

VON ROLLA-UDD	Epoxy + FV	DELMAT
GE PLASTICS	PC + FV	LEXAN ML 3512 (20 % de fibres) LEXAN ML 3513 (30 %)
	PPOm + FV	NORYL Vo (15 → 35 %)
	PPA66 + FV	TECHNYL (40 → 50 %) : Rhône Poulenc VERTON (30 → 50 %) : ICI, PLASTINIS MINLON (10 → 30 %) : Dupont de Nemours AKV (50 %) : Bayer
	PBTP + FV	TECHSTER (30 %)

FIBRES LONGUES : (FV = Fibre de Verre ; FC = Fibre Carbone)

GE PLASTICS	PC + FV	LEXAN 3412 R (20 %) LEXAN 3414 R (40 %)
	PEi + FV	ULTEM (10 → 40 %)
	PPS + FV	SUPEC (40 %)
	PPOm + FV	NORYL GNF/GNE (10 → 30 %)
BASF	PA66 + FC	ULTRAMID T (30 %)
	PP + FV	NOVOLEN

	PES + FV	ULTRASON E (10 → 40 %)
	PAEK + FV ou FC	ULTRPEK (20, 30 %)
	PSU + FV	ULTRASONS S (10 → 30 %)
	PBT + FV	ULTRADUR B (10 → 50 %) ULTRABLEND S (10 → 30 %)
POLYPEN CO	PE + FV	ULTRAWEAR
	POM + FV	ACETRON

Cas du PTFE chargé : voir annexe 2.

13.2 - Mise en garde sur le fluage

Globalement, les plastiques chargés par des renforts voient leurs propriétés mécaniques s'améliorer.

Cependant, la matrice (thermoplastique) étant toujours la dominante dans un composite, **une faible tenue au fluage est tout de même à craindre.**

14 - QUELQUES CONCLUSIONS

- * Les thermoplastiques sont souvent un bon choix de matériau en environnement marin (masse volumique proche de celle de l'eau de mer) mais il faut prendre des précautions pour les comparer entre eux en fonction des critères de conception.
- * Au bureau d'études, on utilisera des coefficients de sécurité importants sur les caractéristiques mécaniques ou les jeux entre pièces pour prendre en compte leur évolution dans le temps.
- * Pour des pièces à usage mécanique, il ne faut pas hésiter à faire appel à des thermoplastiques plus « techniques » que les traditionnels PA et PVC. Les PVDF, PP, PCTFE (Kel'f) et POM sont également intéressants.
- * Les caractéristiques des plastiques techniques (PEEK par exemple) sont très prometteuses.
- * Les élastomères thermoplastiques et les polyuréthanes sont d'un usage intéressant à condition de s'en tenir à des formulations déjà testées en conditions marines.

* Le thermodurcissable à retenir pour l'usage marin est l'EPOXY.

* Pour le dimensionnement des pièces voir : « Profil des Plastiques Techniques », DSM.

ANNEXES

1 - MATERIAUX A UTILISATION OPTIQUE

2 - DIFFERENTS TPE (ELASTOMERES THERMOPLASTIQUES) ET QUELQUES
CARACTERISTIQUES

3 - PTFE CHARGE

4 - CHOIX D'UNE COLLE

ANNEXE 1 - MATERIAUX A UTILISATION OPTIQUE

	Avantages	Inconvénients	Densité (g/cm ³)	E _{traction} (MPa)	σ _{rupture (traction)} (MPa)	σ _{rupture (compr)} (MPa)	σ _{rupture (flexion)} (MPa)	Temp. d'utilisation max (°C)	Transmission
<i>Verre optique traité (MAXOS)</i>	Existe en 40 dimensions	Planéité médiocre.	2.31	67E+03	160	100-140		300	<i>BONNE</i>
<i>Verre optique BK7</i>	Destiné à optique de grande précision	Rupture fragile difficile à prévoir.	2.51	81E+03	69	690	80	300	<i>EXCELLENTE</i>
PMMA	Résiste à la compression. Bonne planéité	Grande déformation sous pression. Temp. limitée à 80 °C	1.2	3300	70	110	100	80	BONNE
Verre organique (CR 39)	Meilleure résistance aux chocs et rayures que PMMA	A déterminer.	1.32	1700	60	165	50		BONNE
Q200_5	Faible reprise d'eau	Grande déformation sous pression	1.05	1600	60	90	80	80	BONNE

ANNEXE 2 - DIFFÉRENTS TPE (ELASTOMÈRES THERMOPLASTIQUES) ET QUELQUES CARACTÉRISTIQUES

TPEs		Elastomères polyoléfinés TPO	Alliages d'élastomères	Copolymères à base de styrènes SBS-SIS-SEBS	Copolymères à base de polyuréthane TPU	Copolymères à base de polyester CPE	Copolymères à base de polyamide CPA
Propriétés							
Nature de la phase	Phase souple	EPM ou EPDM réticulé ou non	NBR, EPDM, EVA	polybutadiène polyisoprène poly(éthylène-butylène)	polyester polyéther	polyéther	polyéther
	Phase rigide	polypropylène		polystyrène	polyuréthane	polyéthylène ou polytunylène-téréphtalate	polyamide
Propriétés mécaniques	Dureté Shore A mini	65	60	30	65		70
	Dureté Shore D maxi	50	80	50	80	40 → 70	85
	Densité	0,89 → 1,02	0,98 → 1,25	1,0 → 1,16	1,1 → 1,25	1,17 → 1,25	1,01 → 1,14
	Résistance à la rupture (MPa)	6 → 30	7,6 → 20	12 → 35	20 → 60	20 → 40	25 → 50
	Allongement à la rupture (%)	100 → 800	200 → 600	500 → 1300	300 → 800	300 → 500	200 → 700
	Module de flexion (Mpa)	20 → 1300				20 → 400	50 → 3000
	Déformation rémanente sous compression 22 h à 70°C (%)	70 → 80	20 h 0 23°C 20 → 50 22h à 100°C 33 → 65	45 → 55	25 → 35	40 → 60	
	Perte de poids à l'abrasion pour 1000 tours. Test Taber avec meule CS 17 (mg)	2			6	6	55 → 180 meule H 18
	Température de fragilité (°C)	- 60	- 60	< - 60	- 50	- 40	- 40
	Température maximale d'utilisation en continu (°C)	140	125	60 → 120	80	150	80
Tenue au vieillissement A :excellente B : bonne C : faible	Résistance à l'ozone	A	A	C-B	A	A	B
	Résistance aux acides dilués	B		A	C-B	B	
	Résistance aux bases diluées	A		A	B	B	
	Résistance aux hydrocarbures allyphatiques	C		C	A	A	
	Résistance aux hydrocarbures aromatiques	C	A	C	C-B	A	
	Résistance à l'hydrolyse	A		A	B	B	B

ANNEXE 3 - PTFE CHARGE

CHARGE	PUR	VERRE 15 %	VERRE 25 %
Teneur en poids de charge en %	-	15	25
Teneur en volume de charge en %	-	13,3	22,2
Densité	2,17	2,21	2,24
Allongement en %	250-400	300-400	200-300
Résistance à la traction kg/cm ²	320	170	150
Dureté Shore Echelle D	50-60	50-60	55-70
Coefficient de frottement statique	0,06	0,13	0,12
Coefficient de frottement dynamique pour des vitesses de 0,5 à 2 m/s 20°C et charge de N/mn	0,25-0,28	0,15	0,15
Dilatation linéaire à 100°C x 10 ⁻⁶ /°C	99	92	92
Conductibilité thermique °C x 10 ⁻⁴	6	8	9
Résistance diélectrique 6 Hz	2,1	2,35	2,85
Résistivité ohm/m	10 ¹⁶	2 x 10 ¹³	2x10 ¹³
Température maximum d'utilisation °C	260	260	260

ANNEXE 4 - CHOIX D'UNE COLLE

Type de colles	Présentation	Résistance au cisaillement (Mpa)	Tenue à la température (°C)	Résistance au fluage	Résistance au pelage	Résistance aux chocs	Résistance aux solvants
Phénolique - vinylique	liquide MC, liquide + poudre, film	17 à 35	100 à 130	bonne	moyenne	bonne	médiocre
Phénolique-nitrile	liquide MC, film	15 à 30	140 à 170	bonne	moyenne	bonne	bonne
Epoxyde Epoxy-polyamide Epoxy polysulfure Epoxy=phénolique	divers liquide BC liquide BC liquide MC, film	15 à 45 15 à 25 15 à 25 20	80 à 150 80 80 200 à 250	médiocre bonne bonne médiocre	bonne médiocre médiocre bonne	mauvaise bonne bonne mauvaise	bonne médiocre bonne bonne
Diester polyacrilique (anaérobie)	liquide MC	10 à 40	120 à 150	moyenne	bonne	bonne	moyenne
Cyanacrilate	liquide MC	10 à 35	80	mauvaise	médiocre	mauvaise	mauvaise
Polyuréthane	liquide BC	8 à 15	90	bonne	moyenne	bonne	bonne
Polyimide	film	10 à 15	250 à 300	mauvaise	bonne	médiocre	bonne