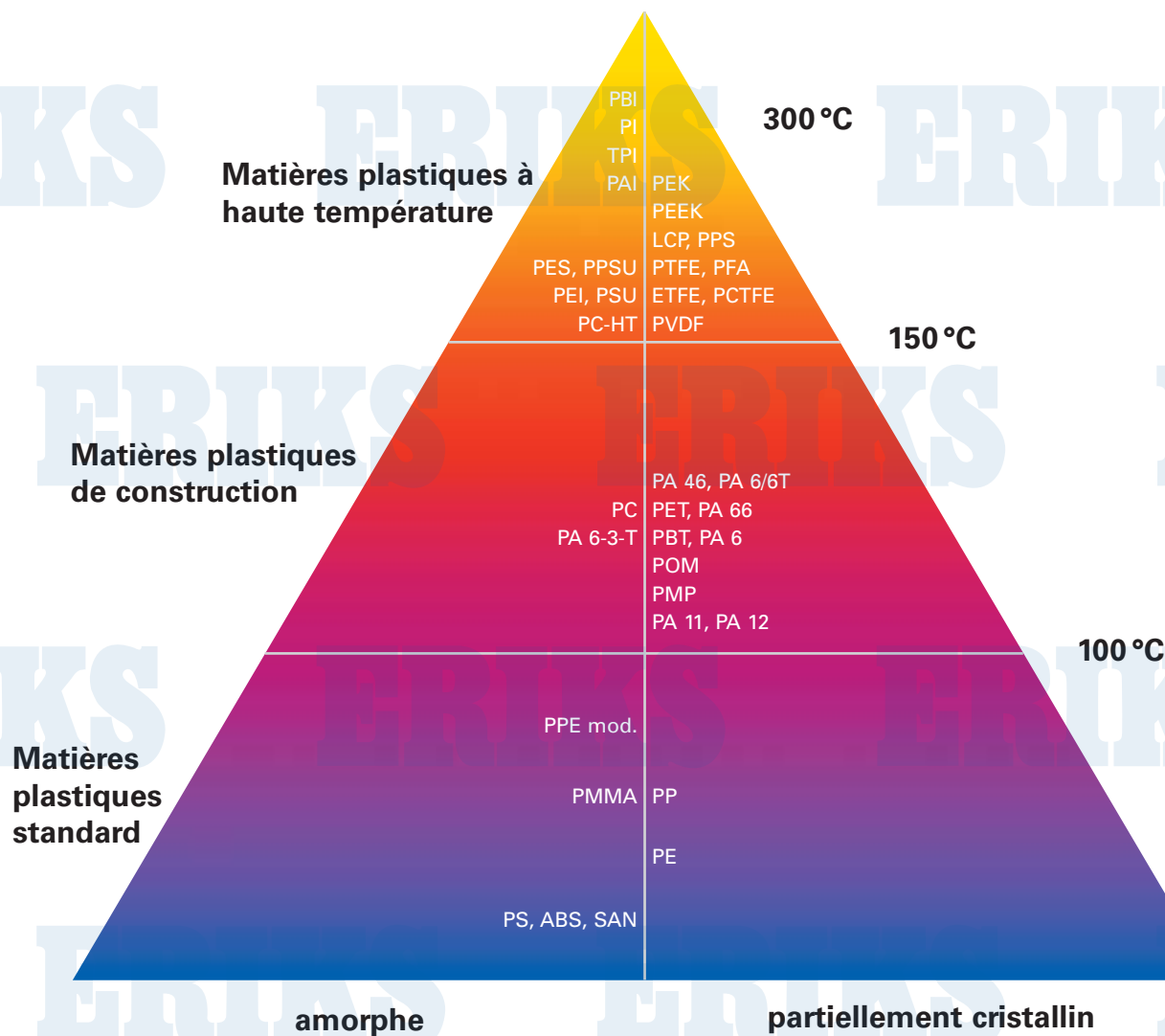


Répartition des matières plastiques



Les matières thermoplastiques se répartissent, en raison de leur structure, en polymères amorphes et partiellement cristallins.

Les matières plastiques à structure amorphe sont, en règle générale, transparentes et ont tendance à être sensibles aux fissures de tension. En raison de leur grande stabilité dimensionnelle, elles conviennent aux pièces de précision.

Les matières plastiques partiellement cristallines sont opaques, la plupart du temps rigides et présentent une bonne à très bonne résistance aux produits chimiques.

À côté de ceci, il existe la différenciation des matières plastiques en raison de leur résistance à la température :

Les matières plastiques à haute température présentent une température d'utilisation permanente de plus de 150°C et possèdent un haut niveau de pro-

priétés thermomécaniques.

Les matières plastiques convenant à de plus hautes températures d'application (PI, PBI, PTFE) ne peuvent techniquement pas être traitées par fusion. La fabrication de pièces se fait par frittage.

Les matières plastiques de construction peuvent être utilisées en permanence à des températures entre 100°C et 150°C. Elles présentent de bonnes propriétés mécaniques et une bonne résistance aux produits chimiques.

Les matières plastiques standard peuvent être utilisées en permanence à des températures inférieures à 100°C.

La pyramide de matières plastiques représentées ci-dessus montre, sur la base de ces critères, une vue générale détaillée des matières thermoplastiques.

Matières plastiques à hautes température

I VESPEL® et SINTIMID (PI)

Selon le type, grande rigidité, faible tendance au fluage et bonne résistance à l'usure jusqu'à 300°C en utilisation continue. Stabilité dimensionnelle, isolation électrique, grande pureté, faible dégazage. Convient à des éléments de construction et des pièces à fortes contraintes thermiques et mécaniques. Autoextinguible par inhérence.

I TECATOR (PAI)

Hauté résistance mécanique et chimique. Bonne résistance à l'abrasion et au fluage, dilatation thermique éeuite.

I TECAPEEK HT (PEK)

Plus haut niveau de propriétés par rapport à TECAPEEK. Très bon comportement à l'usure. Convient à des applications de glissement à fortes charges. Très bonne résistance chimique. Autoextinguible par inhérence.

I TECAPEEK (PEEK)

Profil de propriétés équilibré: faible tendance au fluage, haute valeur du module d'élasticité. Excellentes propriétés tribologiques, particulièrement la résistance au frottement. Très bonne résistance aux fluides, conforme FDA et neutralité physiologique. Très bonne résistance chimique. Autoextinguible par inhérence.

I TECATRON (PPS)

Résistance chimique, faible tendance au fluage, excellente tenue dimensionnelle grâce à une faible absorption de l'humidité, fort module d'élasticité. Autoextinguible par inhérence.

I TECASON E (PES)

Autoextinguible par inhérence, bonnes propriétés électriques et diélectriques et, par conséquent, convient parfaitement comme isolateur électrique. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I TECASON P (PPSU)

Bonne résistance aux chocs, résistance chimique et résistance à l'hydrolyse. Autoextinguible par inhérence. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I TECASON S (PSU)

Grande rigidité, solidité et dureté. Faible absorption de l'humidité et très bonne tenue dimensionnelle. Autoextinguible par inhérence. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I TECAPEI (PEI)

Très bonnes propriétés mécaniques et électriques. Autoextinguible par inhérence. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I TECAFLON PTFE (PTFE)

Très haute résistance aux produits chimiques, température d'utilisation continue : 260°C. Très bon comportement au glissement ainsi qu'excellentes propriétés électriques. Autoextinguible par inhérence. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I TECAFLON ETFE (E/TFE)

Bonnes propriétés de glissement/frottement, très bonne résistance aux produits chimiques et très bonnes propriétés mécaniques. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I TECAFLON PVDF (PVDF)

Très bonne résistance aux produits chimiques, très bonnes propriétés électriques et thermiques. Forte rigidité, même à basses températures et bonnes propriétés mécaniques. Usinabilité thermoplastique et neutralité physiologique. Autoextinguible par inhérence.

I **TECAMID 12 (PA 12)**

Très haute rigidité, bonne résistance chimique, très faible absorption d'eau parmi les polyamides. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I **TECAMID 46 (PA 46)**

Stabilisé à la chaleur, bonne isolation à la chaleur. Convient très bien pour des pièces de glissement et d'usure exposées à de fortes températures. Grande dureté.

I **TECAMID 66 (PA 66)**

Bonne rigidité, dureté, résistance au frottement et résistance à la déformation thermique, bon comportement au glissement/frottement, possibilité de types conformes à BGA et FDA. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation. Pour des pièces à fortes contraintes et à contrainte thermique.

I **TECAMID 6 (PA 6)**

Matière thermoplastique partiellement cristalline avec bonne capacité d'amortissement, bonne résistance aux chocs et dureté accrue, même au froid, bonne résistance au frottement, particulièrement contre des partenaires de glissement avec surface rugueuse.

I **TECAST 6 (PA 6 G)**

Polyamide coulé avec propriétés identiques à TECAMID 6, possibilité de fabrication de pièces de grands volumes et de grosses épaisseurs.

I **TECAST 12 (PA 12 G)**

Polyamide coulé avec propriétés identiques à TECAMID 12, possibilité de fabrication de pièces de grands volumes et de grosses épaisseurs.

I **TECARIM (PA 6 G)**

Polyamide 6 Block-Copolymer. Pouvant supporter de fortes charges. Bonne résistance aux contraintes extrêmes à des températures négatives. Résistant aux chocs, à l'abrasion et aux produits chimiques. Applications spécifiques en liaison avec les propriétés du matériaux.

I **TECANAT (PC)**

Matière plastique amorphe transparente avec excellente résistance aux chocs, température d'utilisation continue jusqu'à 120 °C, bonne résistance mécanique, faible tendance au fluage et très bonne résistance à la forme. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I **TECADUR PET (PET)**

Faible tendance à l'usure dans des milieux humides ou secs, forte stabilité dimensionnelle grâce à une faible dilatation thermique, faible absorption d'humidité, bonnes propriétés diélectriques, bonne résistance aux produits chimiques. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

I **TECADUR PBT (PBT)**

Haute rigidité et dureté avec une bonne résistance à la déformation thermique, bon comportement au glissement et à l'usure, haute précision grâce à une faible absorption d'eau, très grande rigidité et faible dilatation thermique grâce à l'ajout de fibres de verre.

I **TECAFORM AH (POM-C)**

Copolymère POM partiellement cristallin avec bonnes propriétés physiques. Faible absorption de l'humidité, bonne résistance à la flexion alternée et rigidité, usinabilité mécanique très simple, bonne résistance à la forme, pièces à faibles tolérances. Bon comportement au glissement/frottement. Répond aux dispositions légales sur l'alimentation.

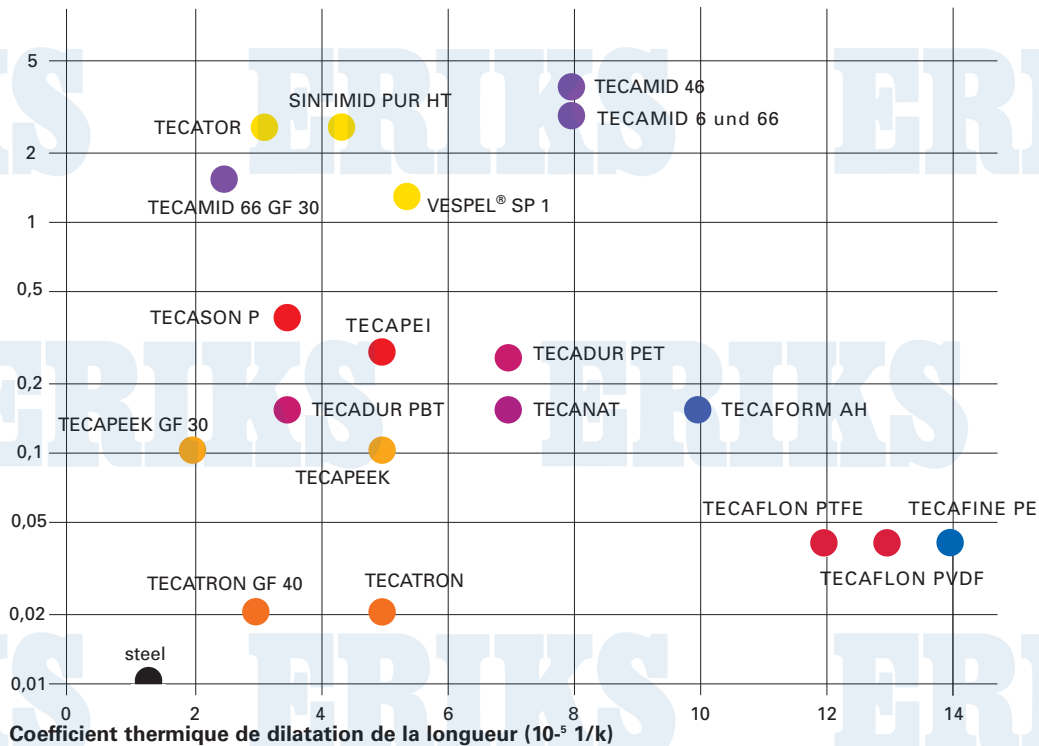
I **TECAFORM AD (POM-H)**

Valeurs mécaniques un peu plus élevées, comparativement à TECAFORM AH, très bon comportement à la mémoire élastique et bonne dureté superficielle, très bon comportement au glissement/frottement.

I **TECAFINE (PE, PP)**

Grande résistance aux produits chimiques, bonne dureté et élongation à la rupture, faible corrosion de fissure de tension, très faible absorption d'eau, très bon comportement au glissement et faible frottement.

Absorption de l'humidité en % jusqu'à saturation en climat normal



Les polyamides présentent, comparativement aux autres matières plastiques de construction, une forte absorption de l'eau. Cette dernière provoque des modifications de dimensions sur les pièces finies, une réduction des valeurs de rigidité et modifie aussi l'isolation électrique. La variation des dimensions, en fonction des influences climatiques, est un critère de précision.

Possibilités de modification

Le profil des propriétés des matières plastiques peut s'adapter grâce à l'utilisation ciblée de matières de remplissage sur les secteurs souhaités d'application.

I Fibres de renfort

Les fibres de verre sont principalement utilisées pour augmenter les valeurs de rigidité. Elles augmentent particulièrement la résistance à la traction, mais aussi d'autres paramètres comme la résistance à la pression et la résistance à la déformation thermique.

Les fibres de carbone peuvent, aussi, être utilisées comme les fibres de verre pour augmenter la rigidité. En raison de la plus faible densité, avec le même poids, on peut obtenir de plus grandes valeurs de rigidité. De plus, les fibres de carbone donnent un meilleur comportement au glissement et à l'usure.

I Couleur

En introduisant des pigments et des colorants, on peut réaliser des colorations personnalisées, sur mesure (selon RAL, Pantone, etc.) sur les matières plastiques techniques; sur les matières plastiques à haute température, le choix des pigments est limité.

I Protection contre la lumière

Les intempéries ou les hautes charges thermiques continues provoquent sur de nombreuses matières plastiques des décolorations ou une détérioration des propriétés mécaniques. En ajoutant des **stabilisateurs UV ou thermiques** on peut diminuer de tels effets.

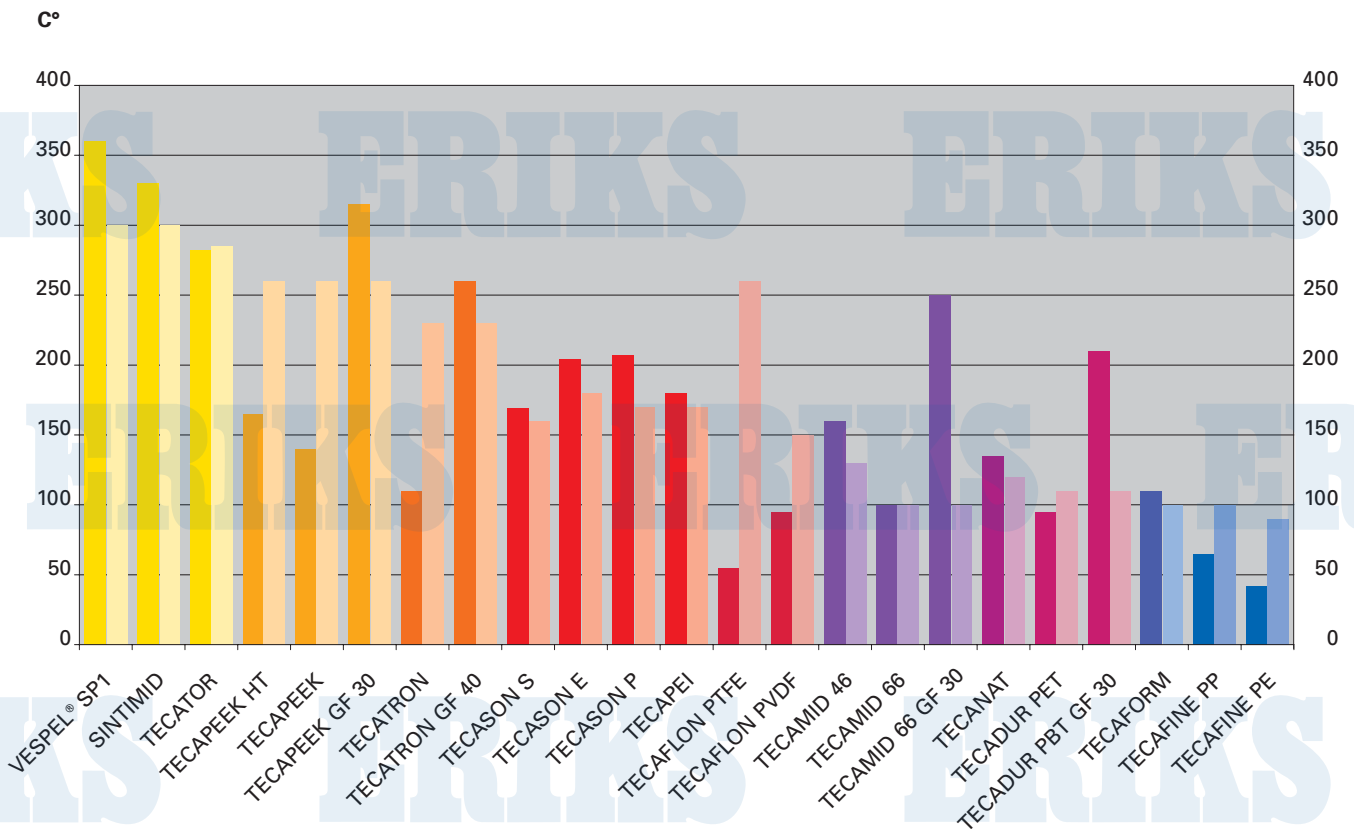
I Matières de remplissage diminuant le frottement et l'usure

Le graphite est un carbone pur qui, à l'état de poudre fine, est un excellent lubrifiant. En le répartissant uniformément dans une matière plastique, on abaisse le coefficient de frottement.

PTFE est une matière plastique au fluor résistant aux hautes températures. Cette matière est typique par son excellent comportement antiadhésif. Le frottement des matières plastiques contenant du PTFE forme sous la pression un film polymère de glissement au niveau des surfaces en contact l'une avec l'autre.

Le sulfure de molybdène sert en premier lieu de moyen de nucléation et forme, même avec de faibles quantités, une fine structure cristalline régulière avec une forte résistance à l'usure et un frottement réduit.

Résistance thermique



Colonne de gauche : Température de résistance à la déformation selon le procédé HDT-A

Colonne de droite : Température de résistance continue

La résistance thermique d'une matière plastique se caractérise principalement par la température de résistance à la déformation et la température d'utilisation continue. La résistance à la déformation thermique (Heat Deflection Temperature HDT) est décrite par la température à laquelle on obtient une dilatation des fibres de bordure de 0,2% sous une certaine contrainte de flexion. En utilisant couramment le procédé HDT-A, la contrainte de flexion est de 1,8 MPa.

La température de résistance à la déformation thermique donne une indication sur la température maximum d'utilisation pour les pièces à contraintes mécaniques.

La température d'utilisation continue détermine la limite de température au-dessus de laquelle il se produit une destruction du matériau par contrainte thermique. Il faut savoir qu'à cette température, les propriétés mécaniques sont très différentes de celles à température ambiante.

Paramètres mécaniques en test à la traction

Le test à la traction selon la norme DIN 53 455 sert à déterminer le comportement des matières plastiques lors de contraintes de courte durée sur un seul axe. En dehors du comportement à la tension et à la dilatation, la température et la durée de la contrainte sont également importantes pour le choix d'une matière plastique.

I Contrainte de traction σ

σ est la force de traction relative à la plus petite section initiale mesurée sur le corps testé à tout moment du test.

I Résistance à la traction σ_B

σ_B est l'effort de traction à la plus grande force.

I Résistance à la rupture σ_R

est l'effort de traction au moment de la déchirure.

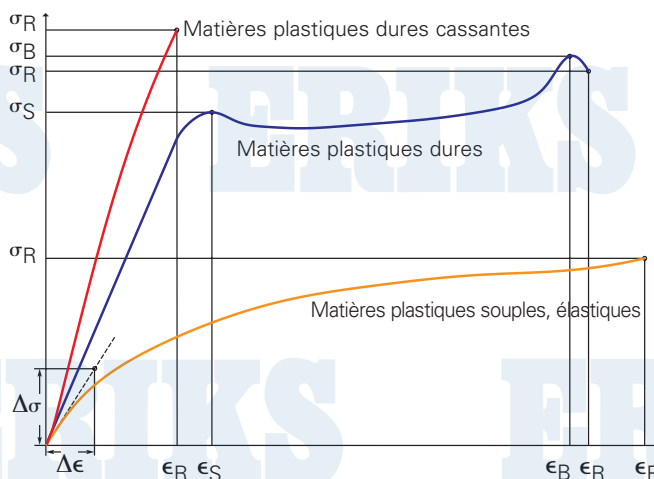
I Limite élastique à la rupture σ_S

est l'effort de traction auquel la montée de la courbe force-longueur-modification (Cf. graphique) atteint zéro pour la première fois.

I Dilatation ϵ

C'est la longueur originale L_0 mesurée du corps testé relatif à la modification de longueur ΔL à tout moment du test. La dilatation avec la force la plus grande s'exprime avec ϵ_B , la dilatation de rupture avec ϵ_R , l'effort de tension, avec ϵ_S .

Tension σ MPa

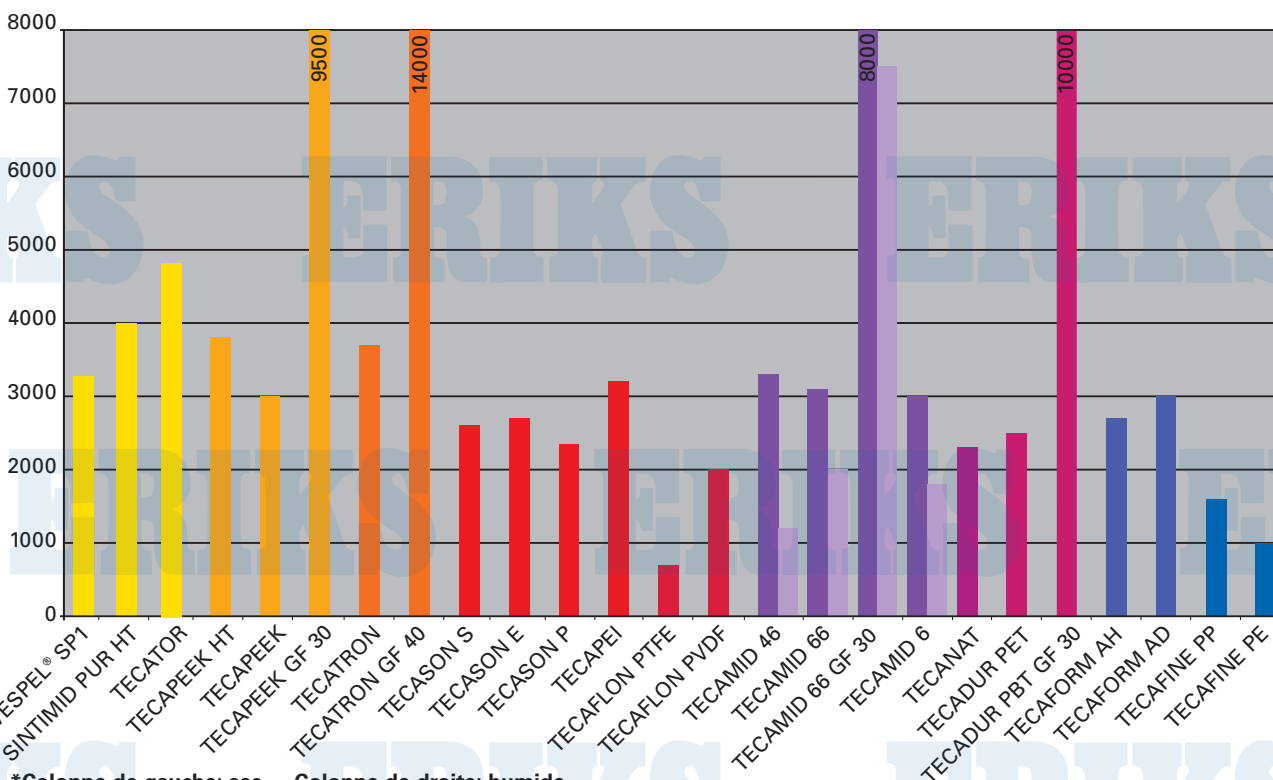


σ_B	tension maximum	ϵ_R	dilatation de rupture
σ_R	résistance à la rupture	ϵ_S	effort de tension
σ_S	effort de tension		
ϵ_B	dilatation à la plus forte tension		

I Module d'élasticité E

Pour les matières plastiques, on constate une courbe linéaire uniquement dans le secteur le plus bas du diagramme tension - dilatation. Dans ce secteur, c'est la loi de Hook qui agit, ce qui veut dire que le quotient de tension et de dilatation (module d'élasticité) est constant.
 $E = \sigma / \epsilon$ en MPa.

Comparatif du module d'élasticité E de différentes matières plastiques (température ambiante) en MPa



*Colonne de gauche: sec Colonne de droite: humide

Comportement au glissement et à l'usure

Dans les domaines les plus divers, les matières plastiques se sont avérées comme matières de glissement. Leurs bonnes propriétés à sec, leur faible émission sonore et leur faible entretien, leur résistance chimique et leur isolation électrique sont des avantages particuliers.

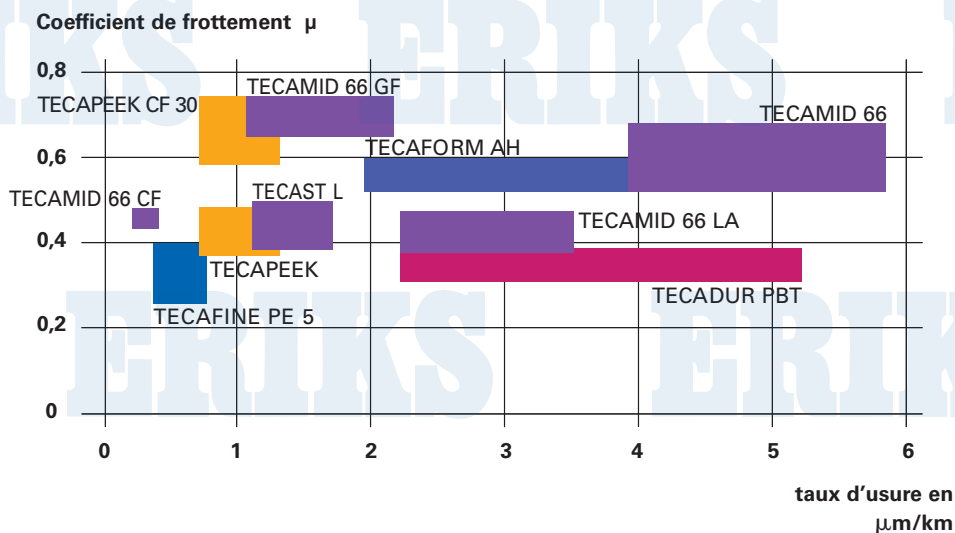
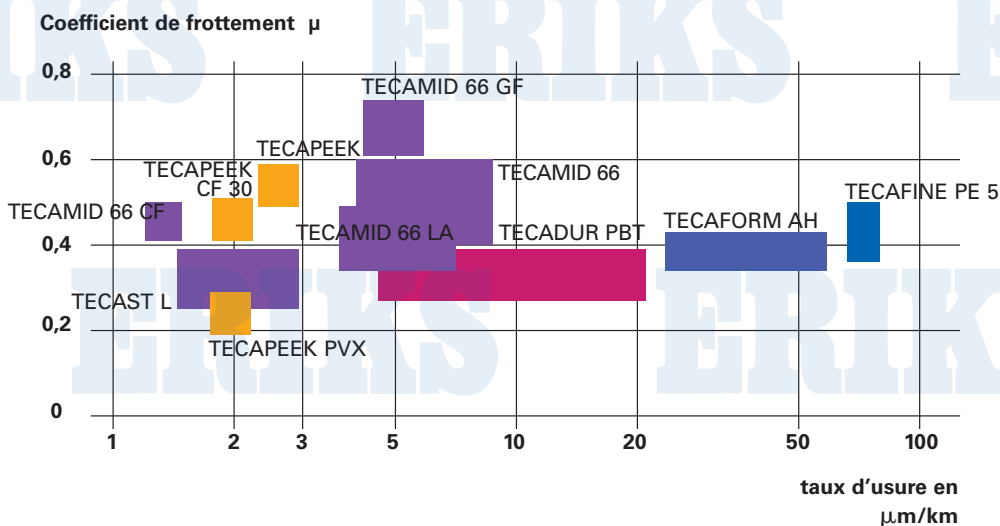
Le comportement au glissement et à l'usure n'est pas une propriété de la matière mais il est déterminé de manière spécifique par le système tribologique avec différents paramètres comme l'appariement de la matière, la rugosité de la surface, le lubrifiant, la charge, la température, etc..

Les bonnes propriétés de glissement inhérentes des matières plastiques peuvent être adaptées aux exigences correspondantes grâce à des additifs (Cf. Chapitre "Possibilités de modification" page 6).

Les additifs agissant comme renforts comme les

fibres de verre, les billes de verre ou les matières de charges minérales ont, en règle générale, un effet abrasif sur le partenaire de glissement.

Les polyamides coulés sont fréquemment utilisés dans les applications de paliers lisses, c'est la raison pour laquelle on utilise de nombreux matériaux optimisés de frottement. Lorsque des paliers doivent fonctionner à de hautes températures, avec de grandes vitesses et sous de fortes pressions superficielles, on utilise des matières plastiques de haute température. Dans les diagrammes suivants vous trouverez un comparatif des propriétés tribologiques de différentes matières de paliers lisses avec différentes rugosités de surface.



Classification de tenue au feu

Pour différentes applications de matières plastiques, il faut appliquer de hautes exigences pare-flammes.

La classification des matières se fait, en général, selon le « Standard UL 94 » des Underwriters' Laboratories.

La répartition en différentes classes d'inflammabilité se fait au moyen de deux tests:

Test d'inflammabilité horizontale selon UL 94 HB

La matière qui est classée selon UL 94 HB ne doit pas dépasser une vitesse d'inflammabilité maximum de 76,2 mm/mn, avec une épaisseur inférieure à 3,05 mm et une position horizontale. Pour une épaisseur de 3,05 à 12,7 mm, cette valeur doit être au maximum de 38,1 mm/mn.

Les matières classées de cette manière sont facilement inflammables et, pour cette raison, ne peuvent pas répondre aux exigences des autres tests d'inflammabilité.

Classification selon UL 94

	Classification selon UL 94		
	V-0	V-1	V-2
Poursuite de combustion à chaque inflammation	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Poursuite de combustion après 10 inflammations	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
Formation de gouttes enflammées	Non	Non	Oui

Test d'inflammabilité verticale selon UL 94

Dans ce test, une flamme est tenue pendant 10 secondes sur un corps test en position verticale. On mesure le temps jusqu'à l'extinction de la dernière flamme, en sachant que le test est effectué 10 fois. En dehors de la durée de combustion, on classe la matière en indiquant s'il se forme des gouttes enflammées. Chaque critère est indiqué dans le tableau suivant.

Indice d'oxygène selon ASTM D 2863

L'indice d'oxygène d'une matière est défini comme concentration minimum en oxygène, exprimé en Vol.-% d'un mélange oxygène/azote qui maintient la combustion d'une matière test définie.

Matière	Désignation DIN	Classe de combustion selon UL 94	Indice d'oxygène selon ASTM D 2863
VESPEL®	PI	V-0 (3,2 mm)	49
SINTIMID	PI	V-0 (3,2 mm)	44
TECATOR	PAI	V-0 (3,2 mm)	
TECAPEEK HT	PEK	V-0 (1,6 mm)	40
TECAPEEK	PEEK	V-0 (1,45 mm)	35
TECAFLON PTFE	PTFE	V-0 (3,2 mm)	95
TECATRON	PPS	V-0 (3,2 mm)	
TECATRON GF 40	PPS	V-0 (0,4 mm)	
TECASON E	PES	V-0 (1,6 mm)	39
TECASON P	PPSU	V-0 (0,8 mm)	
TECASON S	PSU	V-0 (4,5 mm)	32
TECAFLON PVDF	PVDF	V-0 (0,8 mm)	43
TECANAT	PC	V-2 (3,2 mm)	
TECANAT GF 30	PC	V-1 (3,2 mm)	
TECADUR PET	PET	HB (3,2 mm)	
TECALUBE	PA 6 G	V-2	

Résistance des matières plastiques aux rayonnements

Selon leur secteur d'application, les matières plastiques entrent en contact avec différents rayonnements qui, le cas échéant, influencent la structure des matières plastiques.

Le spectre des ondes électromagnétiques va des ondes radios à grande longueur d'onde en passant par la lumière du jour à courts rayons UV jusqu'aux rayons X et Gamma de très courte longueur d'onde. Plus un rayonnement est court plus il peut endommager la matière plastique.

Le facteur de perte diélectrique est un paramètre important en relation avec les ondes électromagnétiques. Ce facteur décrit la part d'énergie qui est absorbée par la matière plastique.

Les matières plastiques à haut facteur de perte diélectrique s'échauffent fortement dans le champ alternatif électrique et, pour cette raison, ne conviennent pas comme isolants contre les hautes fréquences et les micro-ondes.

Rayons ultraviolets

Les rayons UV du soleil agissent principalement dans les applications en plein air sans protection. De par leur nature, les matières plastiques très résistantes sont regroupées en matières plastiques au fluor, par exemple le PTFE et le PVDF. Sans mesure de protection correspondante, différentes matières plastiques commencent à jaunir ou à se casser en fonction des rayonnements.

La protection contre les UV se fait avec des additifs (stabilisateurs UV) ou une protection de surface (peinture, métallisation). L'ajout de suie est une méthode très courante, efficace et peu coûteuse.

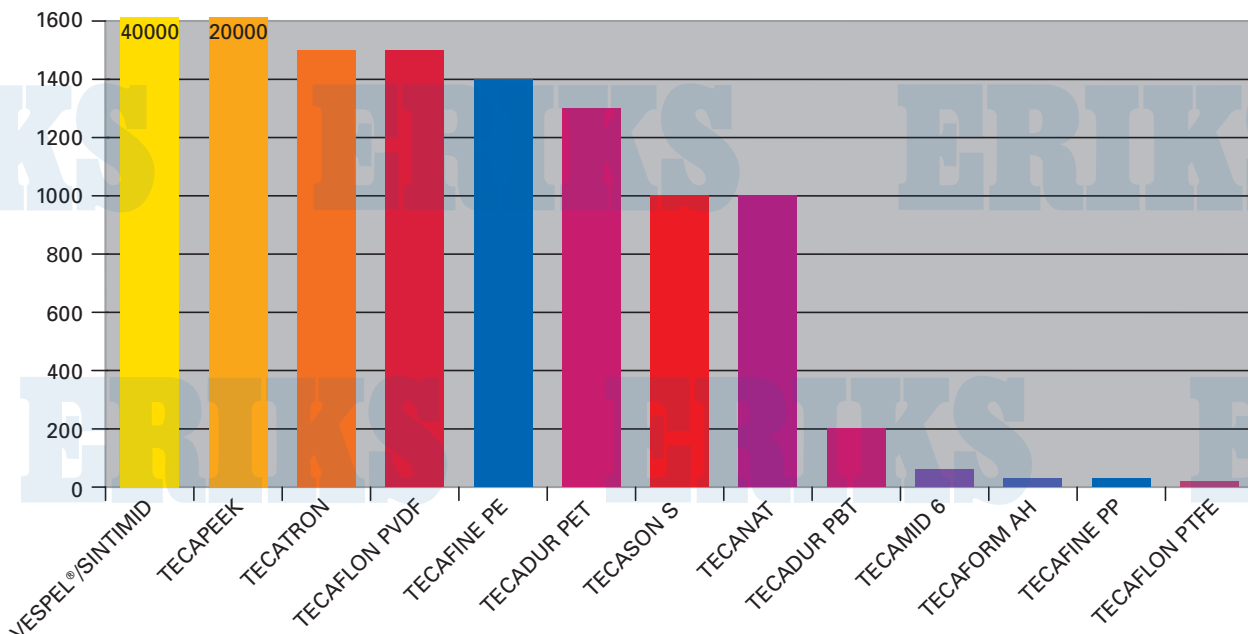
Résistance aux rayons Gamma

Les rayons Gamma et X sont souvent utilisés dans le diagnostic médical, dans la thérapie par rayons, pour la stérilisation des articles à usage unique et aussi dans le contrôle des matières et la technique de mesure.

Le rayonnement fortement énergétique provoque souvent une diminution de la dilatation et, par conséquent, une tendance à la cassure. La durée de vie est donc dépendante de la dose totale de rayons absorbés.

Les matières telles que PEEK HT, PEEK, PI et les polymères amorphes au soufre sont très résistants aux rayons X et Gamma. Les PTFE et POM sont très sensibles et donc ne conviennent pas à ces rayons.

Dose de rayons en Kilogray (kGy), qui diminue la dilatation de moins de 25%.



Applications dans la technique électrique

Dans la technique électrique, on exige souvent des matières plastiques utilisées antistatiques ou conductrices.

On obtient ces effets en ajoutant de manière ciblée des substances électriquement actives comme des suies spéciales conductibles, les fibres de carbone, des micro-fibres conductibles avec une nanostructure ou des matières à conductibilité inhérente.



Les suies conductibles ne sont utilisées qu'en dehors de la fabrication en salle blanche, où les structures semi-conductrices proprement dites sont fermées et scellées.

Les fibres de carbonées, les nanotubes et les substances à conductibilité inhérente sont résistantes au frottement et ont moins tendance à contaminer.

Les paramètres électriques peuvent ainsi être mieux tenus dans des limites définissables.

Un matériau avec une résistance superficielle de $10^6 \Omega$ à $10^{12} \Omega$ est considéré comme antistatique. Si la résistance superficielle est inférieure à $10^6 \Omega$, on parle de matériaux conducteurs.

Matière	Désignation DIN	Résistance spécifique de passage en $\Omega \cdot \text{cm}$	Résistance superficielle en Ω
SINTIMID PAI ESD	PAI	$10^9 - 10^{11}$	$10^9 - 10^{11}$
TECAPEI ESD 7	PEI	$10^8 - 10^9$	$10^8 - 10^{10}$
TECANAT ESD 7	PC	$10^7 - 10^9$	$10^8 - 10^{10}$
TECAFORM AH SD	POM-C	$10^9 - 10^{11}$	$10^9 - 10^{11}$
TECAPEEK ELS	PEEK	$10^2 - 10^4$	$10^1 - 10^3$
TECAPEEK CF 30	PEEK	$10^5 - 10^7$	$10^5 - 10^7$
TECAFLON PTFE C25	PTFE	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$
TECAFLON PVDF AS	PVDF	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$
TECAFLON PVDF CF 8	PVDF	$10^3 - 10^5$	$10^5 - 10^7$
TECAMID 66 CF 20	PA 66	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$
TECAFORM AH ELS	POM-C	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$
TECAFINE PP ELS	PP	$10^3 - 10^5$	$10^3 - 10^5$

	antistatique
	conductibilité électrique

Applications dans la technique alimentaire et médicale

Dans la technique alimentaire et médicale, il existe des exigences spécifiques concernant la compatibilité et la résistance physiologique.

Conformité à FDA

L'administration américaine Food and Drug Administration (FDA) contrôle la compatibilité des matériaux au niveau du contact avec les aliments. Les matières premières, les additifs et les propriétés des matières plastiques sont spécifiés par la FDA dans les "Code of Federal Regulations" CFR 21. Les matériaux qui répondent aux exigences correspondantes sont considérés comme conformes à FDA.

Bio-compatibilité

La bio-compatibilité décrit la compatibilité d'un matériau avec les tissus ou le système physiologique du patient. L'évaluation se fait selon différentes recherches conformément à USP (U.S. Pharmacopeia) Classe VI ou selon ISO 10993.

Il faut une bonne résistance à différents procédés de stérilisations et aux produits chimiques d'appareils utilisables plusieurs fois dans la technique médicale en raison des procédés de préparation comme la stérilisation et la désinfection.

Ces exigences sont, au mieux, remplies par des matières plastiques à hautes performances.

Matière	Désignation DIN	Conformité FDA*	Bio-compatibilité*	Stérilisation	
				Vapeur 137 °C	Rayons Gamma
TECAPEEK MT	PEEK	x	x	+	+
TECAFLON PTFE	PTFE	x		+	-
TECATRON MT	PPS		x	+	+
TECASON E	PES	x		o	+
TECASON P	PPSU	x	x	+	+
TECASON S	PSU	x	x	o	+
TECAFLON PVDF	PVDF	x		+	+
TECANAT	PC	x		-	+
TECAMID 66	PA 66	x		-	o
TECADUR PET	PET	x		-	+
TECAFORM AH MT	POM-C	x		o	-
TECAFINE PMP	PMP	x		-	+
TECAFINE PP	PP	x		-	+
TECAFINE PE	PE	x		-	+

x La matière est conforme à FDA ou bio-compatible
 + résistant
 o résistance restreinte
 - non résistant

*Conformité FDA et bio-compatibilité sont appliquées aux matériaux naturels. La compatibilité des pigments utilisés est testée en fonction des règles de la FDA.

La bio-compatibilité n'est pas une spécification de matériau et ne nécessite aucun contrôle préalable ou une production spéciale.