



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RÉSUMÉ DE THÉORIE
&
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE	MATERIAUX ET TRAITEMENTS
N°: 22	(PARTIE 2)



SECTEUR : FABRICATION MECANIQUE

SPECIALITE : TFM

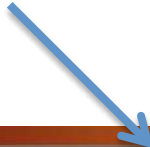
NIVEAU : T

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

MODULES ISTA



HOME LIVRES **MODULES ISTA** ANNUAIRE ECOLES DOCTORAT LETTRE DE MOTIVATION NOUS CONTACTER SE CONNECTER

Maroc Etude.Com Connaissance - Métier - Technique

Annonces Google Emploi Maroc Messagerie Telecharger Un Jeu Maroc Annonces

recherche...

Nous avons 14 invités en ligne

Annonces Google

[Annonces Emploi Maroc](#)
[Jeux Telecharger Gratuit](#)
[Jeux PC En Ligne](#)

Connexion

Identifiant
sniper

Mot de passe
.....

Se souvenir de moi

Connexion

Mot de passe oublié ?
Identifiant oublié ?

Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement

MacKeeper

-20%

Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code

Apply Discount Automatically

"On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis]

Annonces Google

[Jeu De Jeux](#)
[Jeux Sur Internet](#)
[Ecole Ingénieur](#)

Dépanner et configurer votre réseau à domicile

(Outil de Diagnostic)
WI-FI / Ethernet
Console de jeu
Imprimante
Messagerie

5

MÉTAUX NON FERREUX

OBJECTIFS

- Indiquer et décrire les caractéristiques des principaux métaux non ferreux et de leurs alliages.
- Retenir les désignations et les principales nuances normalisées (AFNOR).

Les principales familles, avec leurs alliages sont l'aluminium, le cuivre, le magnésium, le zinc, le titane et le nickel.

La plupart de ces matériaux sont commercialisés sous plusieurs formes ou dans des états métallurgiques différents (brut, recuit, écroui, durci), l'utilisateur choisissant l'état de livraison qui lui convient.

I - États métallurgiques

Les états métallurgiques, « ou de livraison », sont normalisés pour certains alliages.

Leur désignation est effectuée par une lettre (F, O, H, W ou T) suivi par un ou plusieurs chiffres. Le premier chiffre indique un cycle de traitements thermiques ou mécaniques (écrouissage...), les chiffres suivants précisent les variantes possibles du cycle.

Les remarques sont les mêmes dans le cas des pièces moulées.

Normes : NF EN 515 ; NF EN 1173 ; NF A 57-702...

Exemple : EN AC [Al Si 7 Mg] Y33 (A-S7G moulé en coquille, trempé et revenu).

États métallurgiques de base		Subdivisions de l'état T			
F = État brut de fabrication O = État recuit H = État écroui T = Traitement thermique autre que F, O ou H W = Pour Al, mis en solution (trempé)		aluminium et alliages			
		T3 = mise en solution + écroui + mûri T4 = mise en solution + mûri T5 = refroidi (après transf. à chaud) + revenu T6 = mise en solution + revenu T8 = mise en solution + écroui + revenu T10 = refroidi (après transformation à chaud) + revenu + écroui			
États de livraison des produits non ferreux moulés		Cuivre et alliages NF EN 1173			
symbole	procédé d'obtention	A : allongement (fil, EN ... -Cu-O1-A007) B : limite de flexion (bande EN 1654-CuSn8-B410) D : brut d'étréage sans spécification (tube EN ... -Cu-ETP-D) G : grosseur du grain (bande EN 1652-CuZn37-G020) H : dureté Brinell ou Vickers (tôle EN 1652-CuZn37-H150) M : brut sans spécification (barre creuse EN 12168-CuZn36Pb3-M) R : résistance à la traction (barre EN 12164-CuBe2R1200) Y : limite élastique à 0,2 % (bande EN 1654-CuZn30-Y460)			
symbole	traitement	Subdivisions de l'état H			
0	Aucun traitement	état niveau de dureté	écroui seul (H1)	écroui recuit (H2)	écroui stabilisé (H3)
1	Recuit	1/4 dur	H12	H22	H32
2	Trempé	1/2 dur	H14	H24	H34
3	Trempé + revenu	3/4 dur	H16	H26	H36
4	Trempé + mûri	4/4 dur	H18	H28	H38
5	Stabilisé				
6	Trempé et stabilisé				
9	Suivant prescriptions				

II - Aluminium et alliages

Fabriqués industriellement depuis 1886 à partir des bauxites et de la cryolithe, ces métaux sont les plus utilisés juste après les fontes et les aciers. Normes NF EN 485, 515, 573...

1. Principales caractéristiques

- Bas point de fusion (658 °C) ; ductilité élevée (A% 40%) assez léger (densité 2,7) bonne conductivité électrique ; bonne conductibilité thermique (5 fois celle des aciers) coefficient de dilatation thermique 1,5 fois celui des aciers, propriétés réfléchissantes.
- Bon rapport résistance/poids, ce qui explique les nombreuses applications dans le domaine des transports, comme l'aéronautique, par exemple.
- Résistance à la corrosion élevée. Le métal se couvre, au contact de l'air, d'une couche d'oxyde protectrice, les éléments d'addition diminuent plus ou moins cette résistance.
- Résistance mécanique : elle peut être modifiée par écrouissage ou par recuit (adoucissement).
- Inconvénients : faibles résistances à l'usure et à la fatigue.

2. Mise en oeuvre

Elle est assez facile par un grand nombre de procédés laminage, moulage, forgeage, formage, étréage, extrusion, métallurgie des poudres... L'élasticité élevée peut gêner certains usinages.

Le coefficient de dilatation important et la grande conductivité thermique imposent, à cause des dilatations, certaines précautions en soudage et en usinage.

La soudabilité dépend de la trempe et du revenu pratiqués sur l'alliage. Revêtements décoratifs et protecteurs par anodisation, nombreux procédés (EN 12373).

3. Traitements thermiques

Ils sont tout à fait différents de ceux des aciers. Après trempe, le durcissement est obtenu par vieillissement naturel, ou maturation, à température ambiante ou par revenu à température élevée.

Les alliages avec le cuivre, le silicium, le zinc et ceux avec le magnésium plus le silicium sont trempants ; ils sont dits avec durcissement structural.

L'aluminium pur, les alliages avec le manganèse et le magnésium ne sont pas trempants ; ils sont dits sans durcissement structural.

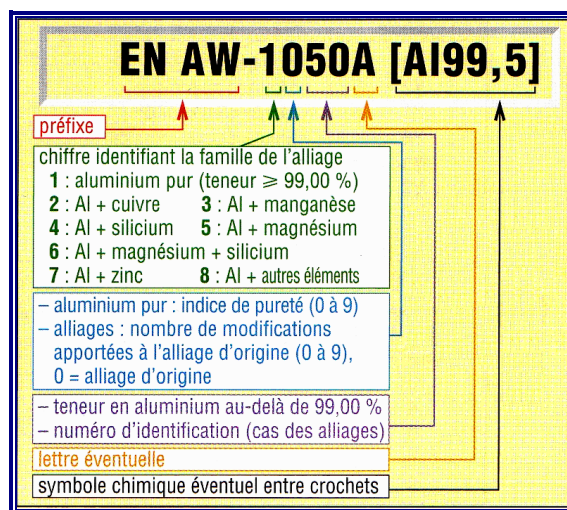
4. Aluminium et alliages corroyés

Cette famille, la plus utilisée, comprend tous les produits laminés d'usage courant (barres, profilés, tôles...).

Désignation (norme internationale) :

elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AW – comme préfixe (A pour aluminium, W pour corroyé), éventuellement suivi par le symbole chimique de l'alliage placé entre crochets (fig. 1).

Exemple : EN AW-5086 [Al Mg 4] est un alliage d'aluminium avec 4% de magnésium
EN AW-1050A [Al 99,5] est un aluminium pur à 99,5 %.



1. Désignation des produits laminés - NE EN 573.

Aluminium et alliages : produits laminés (extrait NF EN 485-2)														
nuances	état métallurgique	caractéristiques mécaniques				résistance à la corrosion	aptitude à l'anodisation	soudabilité à l'arc	soudabilité aux gaz + braseage	usinabilité	aptitude au travail à froid	exemples d'emploi		
		R _r (daN/mm ²) min	R _e (daN/mm ²) mini	A % maxi	E (daN/mm ²)									
sans traitements thermiques (sans durcissement structural) aluminium pur	EN AW-1050A[Al 99,5] (1050A)	O	6,5	2	35	6 700	++	+++	+++	+++	-	+++ à +	① ③ ⑤ ⑨	
		H14	10,5	8,5	6									
		H18	14	12	2									
	EN AW-1070A[Al 99,7] EN AW-1080A[Al 99,8] (1070A et 1080A)	O	6	1,5	35		++	+++	+++	+++	-	+++ à +	① ⑤ ⑨	
		H14	10	7	7									
	EN AW-1100[Al 99,0Cu] EN AW-1200[Al 99,0] (1100 et 1200)	O	7,5	2,5	33		++	+++	+++	+++	-	+++ à +	① ⑫	
		H14	11,5	9,5	6									
	Al + Mn	EN AW-3003[AlMn1Cu] (3003)	O	9,5	3,5		24	++	++	+++	+++	+	+++ ++ +	① ③ ⑤ ⑥
			H14	14,5	12,5		5							
			H18	19	17		2							
Al + magnésium	EN AW-5005[AlMg1] (5005)	O	10	3,5	24	7 000	+++	+++	+++	+++	+	+++ +	① ⑤ ⑥ ⑫	
		H14	14,5	12	5									
		H18	18,5	16,5	2									
	EN AW-5052[AlMg2,5] (5052)	O	17	6,5	19		+++	+++	+++	+++	+	+++ +	① ⑤ ⑥ ⑫	
		H34	23	15	5									
		H38	27	21	3									
EN AW-5086[AlMg4] (5086)	O	24	10	17	+++	++	+++	+++	++	+++ +	② ⑦ ⑩			
	H22	27,5	18,5	10										
	H24	30	22	8										
avec traitements thermiques (avec durcissement structural) Al + cuivre	EN AW-2014[AlCu4SiMg] (2014)	O	22	14	16	7 400	-	+	++	+	++	+++	② ⑦ ⑧	
		T4	40	25	14									
		T6	44	39	7									
	EN AW-2017[AlCu4MgSi] (2017)	O	22	14	13		-	++	++	+	++	+++	② ④ ⑦ ⑧	
		T4	39	25	15									
	EN AW-2024[AlCu4Mg1] (2024)	O	22	14	13		-	+	++	+	++	+++	② ④ ⑧	
		T4	43	28	14									
	Al + Si + Mg	EN AW-6061[AlMg1SiCu] (6061)	O	15	8,5		19	++	+++	+++	+++	+	+++ à +	⑤ ⑦ ⑩ ⑪
			T4	21	11		18							
			T6	29	24		10							
EN AW-6082[AlSi1MgMn] (6082)	O	15	8,5	19	++	+++	+++	+++	+	+++ à +	⑥ ⑦ ⑩ ⑪			
	T4	20,5	11	15										
	T6	31	26	10										
Al + zinc	EN AW-7020[AlZn4,5Mg1] (7020)	T4	32	21	14	++	++	++	++	++	+++ +	② ⑥ ⑦		
		T6	35	28	10									
EN AW-7075[AlZn5,5MgCu] (7075)	O	28	15	10	+	++	+	+	++	+++ +	② ④ ⑧			
	T6	54	46	8										

(entre parenthèses : ancienne désignation) — R_r, R_e et A% varient avec la forme et l'épaisseur des profilés.

- +++ : excellente
- ++ : bonne
- + : moyenne
- : faible

- ① : chaudronnerie, emboutissage
- ② : pièces forgées
- ③ : pièces filées : boîtes, aérosols ...
- ④ : boulonnerie
- ⑤ : chimie, alimentaire
- ⑥ : bâtiment

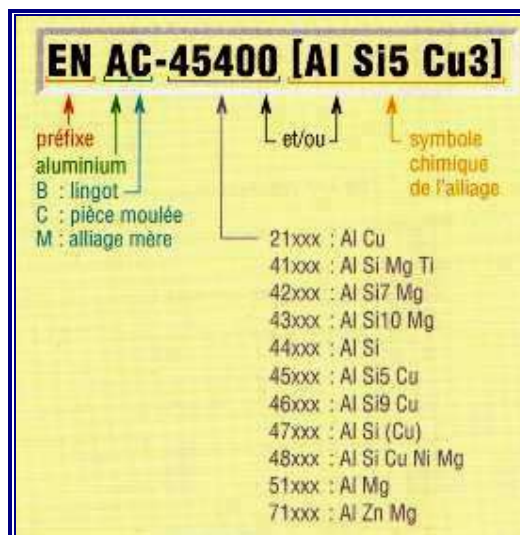
- ⑦ : mécanique, transport
- ⑧ : aéronautique
- ⑨ : décoration
- ⑩ : marine
- ⑪ : emballage
- ⑫ : ustensiles de cuisine ...

5. Aluminium et alliages pour la fonderie

La plupart des nuances sont faciles à mouler (moule métallique permanent ou moulage sable) en moyenne ou en grande série et en pièce unitaire.

Inconvénient grand retrait au moulage (3,5 à 8,5 % en volume) qui peut être minimisé par un bon tracé de la pièce.

Désignation : préfixe EN espace ; lettre A pour aluminium ; lettre B ou C (pièce moulée) ou M tiret ; 5 chiffres donnant la composition et/ou les symboles chimiques de l'alliage ordonnés par teneurs décroissantes.



2. Désignation des produits de fonderie NF EN 1780.

Exemple : EN AC – 45400 ou fig. 2 ou EN AC – AlSi5Cu3 pour un alliage avec 5 % de silicium et 3 % de cuivre.

Aluminium et alliages : produits de fonderie (extrait NF EN 1706)											
nuances	mode de coulée	caractéristiques mécaniques			aptitude au moulage	aptitude à l'étanchéité	résistance à la corrosion	usinabilité	soudabilité	aptitude à l'anodisation	exemples d'emploi
		R _e (daN/mm ²)	R _p (daN/mm ²)	A%							
EN AC-AISi12Cu NiMg (48000)	Y35	20	18	< 1	+++	+++	+	++	+++	+	travail à chaud, pistons
	Y36	28	24	< 1							
EN AC-AISi7Mg0,6 (42200)	Y26	25	21	1	+++	++	++	++	++	+	haute résistance
	Y36	32	24	3							①
EN AC -AlCu4MgTi (21000)	Y24	30	20	5	+	+	+	+++	+	++	haute résistance
	Y34	32	20	8							①
EN AC-AISi5Cu3Mn (45200)	Y26	23	20	< 1	+++	++	+	+++	++	+	① ②
	Y36	28	23	< 1							
EN AC-AISi12 (44200)	Y20	15	7	5	+++	+++	++	+	+++	+	① ③
	Y30	17	8	6							
EN AC-AISi7Mg (42000)	Y26	22	18	1	+++	++	++	++	++	+	① ③
	Y36	26	22	1							
EN AC-AlZn5Mg (71000)	Y21	19	12	4	+	+	++	+++	+	++	① ③ ⑤ ⑥
	Y31	21	13	4							
EN AC-AlMg5	Y20	16	9	4	+	+	++	+++	++	+++	①
EN AC-AISi8Cu3	Y40	24	14	1	++	++	+	++	++	+	② très utilisé
EN AC-AISi9	Y40	22	12	2	+++	+	++	+	+	+	④ ① *
EN AC-AISi12	Y40	24	13	1	+++	+	+	+	+	+	④ ①
EN AC-AISi12Cu1	Y40	24	14	1	+++	+	+	++		+	① ①
EN AC-AlMg9	Y40	20	13	1	+	+	+++	+++	++	++	⑥

Y20 : moulage sable ; Y30 : moulage coquille ; Y40 : moulage sous pression (page 169). * Très utilisé.

+++ : excellente
++ : bonne
+ : moyenne

① : pièces mécaniques diverses
② : pièces mécaniques complexes
③ : alimentaire, chimie, robinetterie

④ : appareils ménagers
⑤ : bâtiment et travaux publics
⑥ : marine

III - Cuivre et alliages

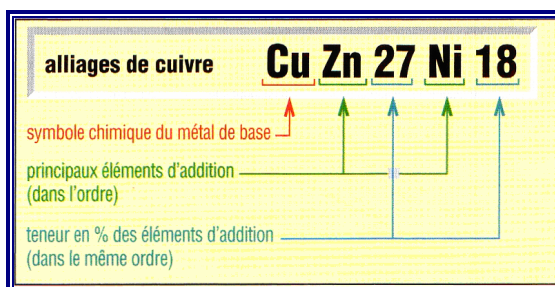
Il existe plus de 200 alliages de cuivre. Les principales familles sont : les laitons (Cu + Zn), les bronzes (Cu + Sn), les cupronickels (Cu + Ni), les cupro-aluminiums (Cu + Al) et les maillechorts (Cu + Ni + Zn).

Désignation : symbole chimique du cuivre (Cu) suivi des symboles chimiques et teneurs des principaux éléments d'addition, par ordre décroissant.

Exemple : Cu Zn 27 Ni 18 (maillechort avec 27 % de zinc et 18 % de nickel).

cuivre + étain	=	bronze
cuivre + zinc	=	laiton
cuivre + aluminium	=	cupro-aluminium
cuivre + nickel	=	cupronickel
cuivre + nickel + zinc	=	maillechort

3. Principaux alliages du cuivre.



4. Désignation des alliages du cuivre.

1. Principales caractéristiques du cuivre

Plus lourd que l'acier, de densité 8,9 fond à 1 083 °C ; grande résistance à la corrosion ; plasticité ou ductilité élevée (A % jusqu'à 50 %) ; grande conductivité électrique qui le rend indispensable dans les industries électriques et électroniques ; grande conductibilité thermique (atout pour la transmission de la chaleur) couleur rouge plus ou moins foncée devenant « jaune » avec addition de zinc.

Les cuivres et les alliages ne peuvent pas être traités thermiquement, sauf ceux au béryllium. Cependant, la résistance (R_r) peut être augmentée par écrouissage à froid et la ductilité restaurée par un revenu. La trempe augmente la plasticité (cas inverse des aciers).

2. Cuivres purs

Le cuivre utilisé pur (usages électriques, thermiques, chaudronnerie...) est soit un cuivre affiné (endurant, plus fragile, plus cassant), soit un cuivre désoxydé ou débarrassé de toute trace d'oxygène (moins fragile et très haute conductivité).

type	taux d'écrouissage (%)	R_r (daN/mm ²)	R_e (daN/mm ²)	A %	HB
recuit	0	23	7	45	50
1/4 dur	10	27	21	25	70
1/2 dur	25	30	25	14	87
4/4 dur	50	35	32	6	

6. Caractéristiques du cuivre pur.

Désignations des cuivres purs, non alliés	
Symbole Cu + tiret de séparation + lettres d'indication	
Cu – ETP	= affiné électrolytiquement, non désoxydé, à conductivité garantie
Cu – FRHC	= affiné thermiquement, non désoxydé, à conductivité garantie
Cu – FRTP	= affiné thermiquement, à conductivité non garantie
Cu – DHP	= affiné thermiquement ou électrolytiquement, à fort phosphore résiduel
Cu – DLP	= affiné thermiquement ou électrolytiquement, à faible phosphore résiduel
Cu – OF	= désoxydé
Cu – OFE	= désoxydé, à haute pureté

3. Laitons

C'est la famille la plus utilisée. L'addition de zinc (jusqu'à 42 %) diminue le prix de base, augmente R_f et $A\%$, ce qui favorise l'emboutissage ($A\% = 60\%$ avec 31% de Zn), et diminue la température de fusion, ce qui facilite le moulage.

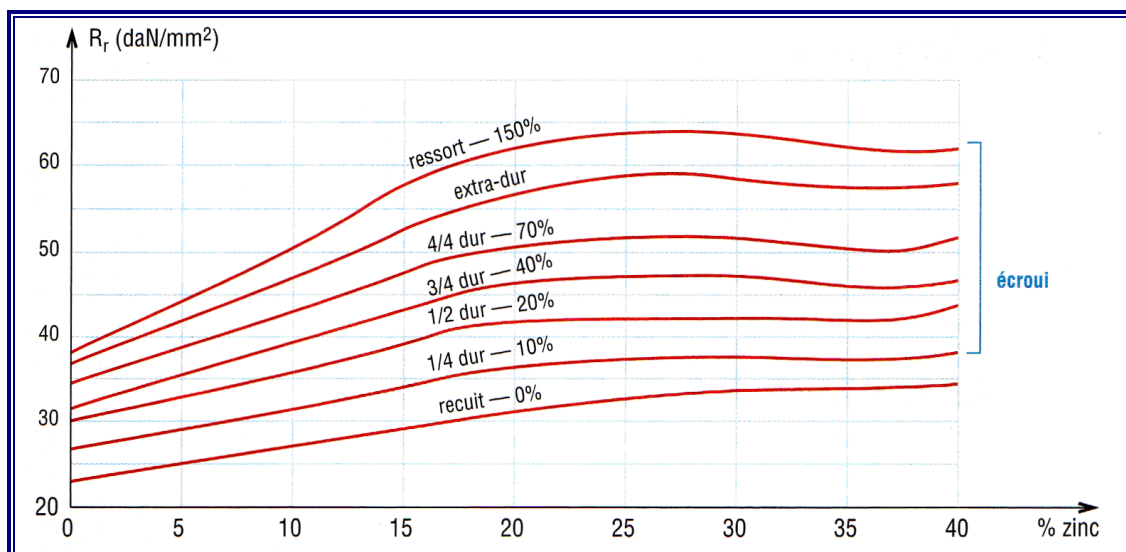
Une addition supplémentaire de plomb, de 2 à 3 %, augmente considérablement l'usinabilité. Les laitons ainsi obtenus (laitons de décolletage) servent de référence pour évaluer l'usinabilité des autres matériaux.

Alliages de cuivre : produits laminés						
nuances	état métall.	R_f daN/mm ²	$A\%$	HV	emplois	
laitons	Cu Zn 10 (CW 501 L)	H11 27 - 34 39 - 45		67 - 95 118- 135	①	
	Cu Zn 33 (CW 506 L)	H11 33 - 40 47 - 54	64 7	85 - 120 140 - 160	②	
	Cu Zn 40 (CW 509 L)	H11 36 - 43 51 - 59		105 - 135 150 - 175	③	
	Cu Zn 39 Pb 2 (CW 612 N)	H12 40 - 50 50 - 60	2 - 20	135 - 160 150 - 180	④ ⑦	
	laitons de décolletage	Cu Zn 40 Pb 3 (CW 617 N)	37 - 50	4 - 22		⑤
		Cu Zn 36 Pb 3 (CW 603 N)	32 - 45	7 - 28		⑤
bronzes	Cu Sn 6 P (CW 452 K)	O 33 - 42 62 - 70	50 5	90 - 120 190 - 220	⑥	
	Cu Sn 3 Zn 9 (CW 454 K)	O 31 - 40 61 - 66	40 4	75 - 105 190 - 210	⑦	
	Cu Sn 4 Zn 4 Pb 4 (CW 456 K)	H12 40 - 46	25	125 - 155	⑧ ⑧	
		H14 50 - 60	3	160 - 195		
maillechorts	Cu Ni 10 Zn 27 (CW 401 J)	H11 42	27	105	③	
	Cu Ni 18 Zn 20 (CW 409 J)	H14 58	5	180		
	Cu Be 2 (CW 101 C)	- 14 à 120	2 à 35	90 à 330	haute résist.	

- ① bijouterie, quincaillerie
- ② douilles, lustrerie, musique
- ③ serrurerie, orfèvrerie, lustrerie
- ④ engrenages, horlogerie
- ⑤ pièces décolletées
- ⑥ ressorts
- ⑦ visserie
- ⑧ joints, membranes

Alliages de cuivre : produits de fonderie					
nuances	état métall.	R_f daN/mm ²	R_e daN/mm ²	$A\%$	emplois
cupro-aluminiums	Cu Al 10 Fe 2 (CC 331 G)	Y 20 50	18	18	⑥ ⑤ ⑦
	Y 30 65	25	20		
	Cu Al 10 Ni 5 Fe 5 (CC 333 G)	Y 20 63	25	12	⑧ ⑧
		Y 30 60	30	7	
bronzes	Cu Sn 12 (CC 483 K)	Y 20 24	13	5	① ③
	Y 30 27	15	3		
	Cu Sn 5 Pb 5 Zn 5 (CC 491 K)	Y 20 20	9	12	① ② ⑤
		Y 70 25	10	12	
Cu Pb 20 Sn 5 (CC 497 K)	Y 20 15	6	5	① ④	
	Y 30 18	8	7		
laitons	Cu Zn 19 Al 6	Y 20 75	50	8	⑥ ⑦
	Cu Zn 20	Y 20 18		12	②
	Cu Zn 40	Y 30 34		8	② ⑤

- ① pièces frottantes
- ② pièces courantes, robinetterie
- ③ robinetterie haute pression
- ④ coussinets
- ⑤ chimie : robinets
- ⑥ hélices mer, turbines, engrenages
- ⑦ pièces méca. de résistance
- ⑧ roue et vis sans fin



7. Caractéristiques mécaniques des laitons en fonction du pourcentage de zinc.

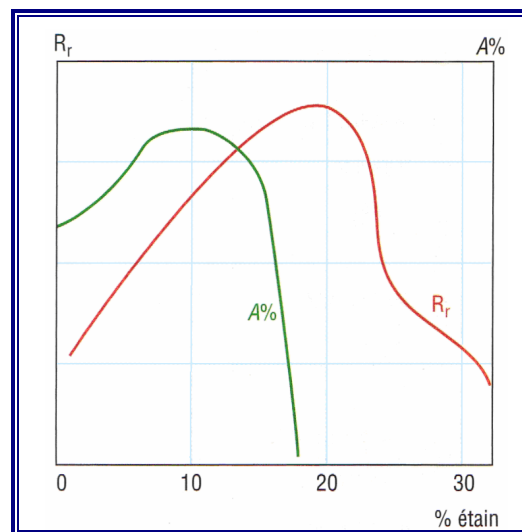
4. Bronzes

- L'étain (addition de 4 à 22 %) a un rôle comparable au zinc mais avec une action plus forte ; il est plus coûteux.
- Une addition de phosphore ($P < 1\%$) améliore les caractéristiques mécaniques, les propriétés antifriction, l'aptitude au moulage et a un rôle désoxydant. Les bronzes phosphoreux constituent le groupe le plus important.
- L'addition de plomb (Pb) améliore l'usinabilité et l'addition de zinc diminue le prix de revient (bronzes chrysocales).

Propriétés : résistance à la corrosion qualités frottantes aptitude au moulage. Les bronzes se travaillent moins bien que les laitons (usinage, emboutissage,..) mais donnent des moulages plus sains.

5. Cupro-aluminiums ou « bronzes d'aluminium »

Surtout utilisés en fonderie, l'addition d'aluminium (entre 10 et 11 %) donnent des alliages ayant de bonnes caractéristiques mécaniques et une bonne résistance à la corrosion ; ils sont souvent utilisés avec une addition de fer.



8. Caractéristiques mécaniques du bronze.

6. Cupronickels

De couleur « argent » à partir de 20 % de nickel, très malléables, l'addition de nickel améliore les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistivité électrique. Utilisations : pièces de monnaie (≈ 25 % Ni), tubes de condenseurs (30 % Ni), résistances électriques (constantan 45 % Ni).

7. Maillechorts

Moins coûteux que les cupronickels, on peut les considérer comme des laitons avec addition de nickel. Meilleures résistances à la corrosion et mécanique que les laitons.

Utilisations : articles ménagers, pièces d'orfèvrerie et de décoration, appareillages électriques...

IV - Magnésium et alliages

Le magnésium est rarement utilisé à l'état pur. L'addition d'aluminium améliore la résistance (R_r) et la fluidité à chaud ; le zinc favorise la plasticité et l'aptitude au moulage ; le thorium (Th) augmente les propriétés à température élevée et le zirconium (Zr) la plasticité et la résistance à l'oxydation. Désignation (NF EN 1754) analogue aux aluminiums (M à la place de A).

Principales caractéristiques :

Assez « léger » (densité 1,8) ; rapport résistance/poids élevé et grande capacité d'amortissement (réduit les bruits et les vibrations).

Les alliages résistent à la corrosion atmosphérique (craignent l'humidité), peu aux acides, bien aux bases, alcalins et solvants et ne résistent pas en eau de mer. Ils sont facilement usinables (attention à l'inflammation des copeaux), moulables, forgeables, soudables (TIG, résistance) et rivetables. Veiller à la corrosion galvanique des assemblages multimétaux.

Utilisations : pièces diverses pour l'aviation, l'automobile, outillage électroportatif, équipement de bureau, audiovisuel, petit électroménager...

Alliages de magnésium (fonderie), de titane et de zinc						
base	nuances	mode de coulée	caractéristiques mécaniques			observations
			R _r (daN/mm ²)	R _e (daN/mm ²)	A%	
magnésium EN MC-	MgAl6Zn3 (G-A6Z3)	Y20	16-20	8-10	3-6	pièces courantes; bonne coulabilité à 450 °C
	MgAl9Zn (G-A9Z)	Y20	16	8	2	carters, roues, pièces aéronautiques
		Y24	23	11	7	fusion à 470 °C
		Y30	17-22	9-12	2-5	
	MgZn5Th2Zr	Y25	24-28	15-18	5-12	carters complexes, tous types de moulages ; d = 1,87 ; fusion 520 °C
MgZr	Y25	16	5	15	machines d'essais, bureautique ; d = 1,75	
titane	T-A5E ou TiAl5Sn	T5	90	80	20	malléabilité élevée ; pièces forgées
	T-A6V ou TiAl6V	T3	115	105	12	le plus utilisé ; pièces de structure d'avion, visserie
	T-A6V6E	T1	105	95	12	variante du T-A6V
	ou TiAl6V6Sn	T3	125	111	10	traitements thermiques possibles
zinc	Z-A4 (zamak 3) ZnAl4 ou ZP3	Y4	28	20	10	carters, poignées, carburateurs, micromécanique
	Z-A4U1 (zamak 5) ZnAl4Cu1 ou ZP5	Y4	33	25	5	bagues, engrenages... fusion à 380 °C
	Z-A4U3 (zamak 2) ZnAl4Cu3 ou ZP2	Y4	36	27	5	variante plus dure

Entre parenthèses : ancienne désignation. Y4 : moulage sous pression (page 57).

V – Zinc et alliages

Principales nuances : zamaks (2, 3, 5) et kayems (1 et 2) pour l'industrie.

Désignations (NF EN 12844) : ZP3, ZP5, ZP2, ZP6, ZP8, ZP12, ZP27, ZP16 pour pièces moulées.

Principales caractéristiques : assez lourd (densité 7,13) ; basse température de fusion (420 °C) et bonne résistance à la corrosion.

La mise en oeuvre des alliages est facile en fonderie (basse température de fusion et retrait très faible). Il est possible de réaliser des pièces robustes à parois minces très complexes avec des tolérances serrées (0,01 à 0,1 mm), sans reprise d'usinage et sous des cadences très élevées (moulage en coquille sous pression des zamaks). Nombreux traitements de surface.

Utilisations : zamaks (ou nuances ZP) pour la fonderie (carburateurs, boîtiers...), zinc laminé pour le bâtiment (couverture...), poudres et revêtements de zinc contre la corrosion (métallisation, galvanisation, zingage, shérardisation, peintures...).

6

MATIÈRES PLASTIQUES ET ÉLASTOMÈRES

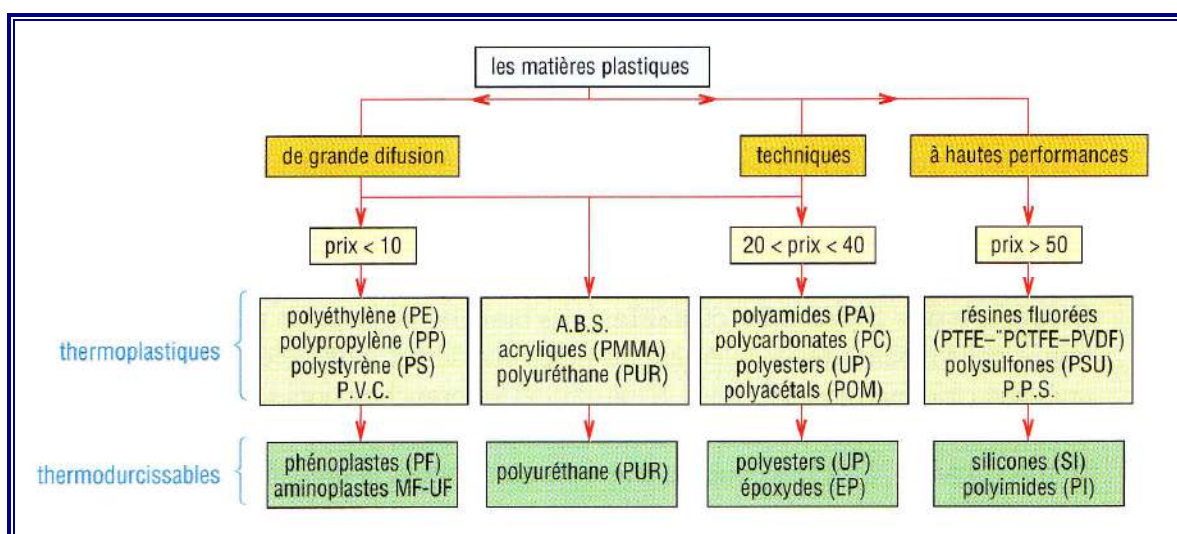
OBJECTIFS

- Indiquer les propriétés et décrire les caractéristiques des principales familles de matières plastiques et d'élastomères.
- Retenir les désignations et les principales nuances normalisées.

Produites essentiellement à partir du pétrole, les matières plastiques sont l'un des symboles du XX^e siècle et sont présentes partout : automobile, aéronautique, biens de consommation et d'équipement, bureautique, audiovisuel, emballages,...

La bakélite (1909) est le plus ancien plastique entièrement synthétique.

Le terme « plastique » décrit une grande variété de composés organiques obtenus par synthèse chimique. Il existe également des composés naturels utilisés dans la fabrication des matières plastiques : poix, bitume, brai, résines, laques, ambre, écaille, corne...



1. Principales matières plastiques.

I - Propriétés générales et structures

1. Principales caractéristiques

Faible densité (0,9 à 2,2), bonnes qualités d'isolation électrique et thermique, bonne résistance à un grand nombre de produits chimiques, pas d'oxydation comme certains métaux et ont un rapport volume/prix intéressant.

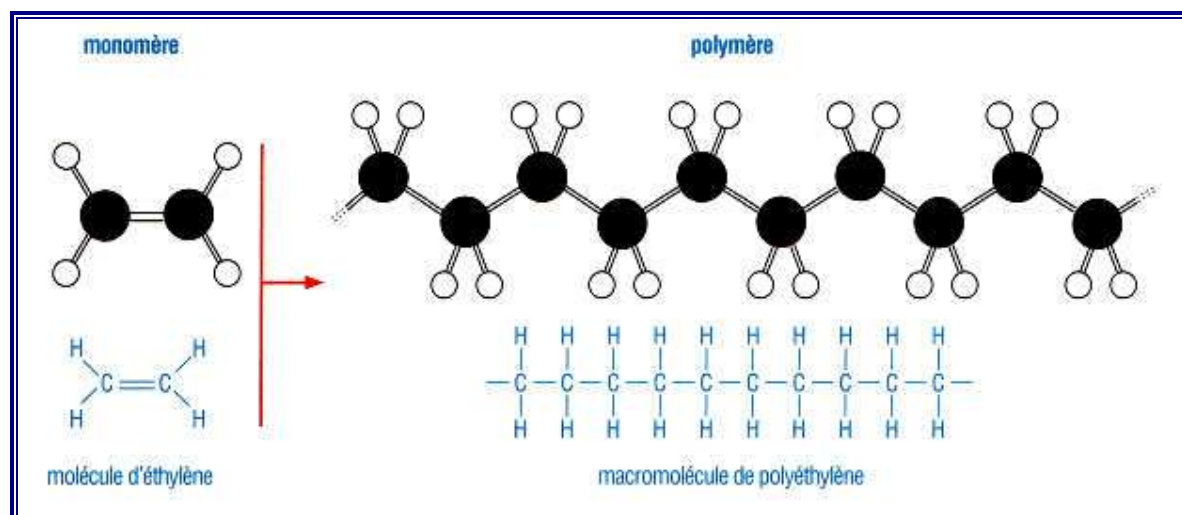
Inconvénients : parfois inflammables ; sensibles aux rayons ultra violets ; à l'humidité et non facilement recyclables.

2. Structures moléculaires

Les plastiques, ou « polymères », sont élaborés par synthèse chimique (construits chimiquement) à partir de molécules de base, appelées monomères.

Monomères : ce sont les unités chimiques de base, ou molécules, des matières plastiques. Ils sont construits autour des atomes de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N), chlore (Cl), soufre (S), fluor (F)...

Polymères : sous l'action de la pression, de la chaleur et d'un catalyseur, les molécules, ou monomères, se regroupent entre elles pour former de longues chaînes appelées polymères, ou macromolécules. Une macromolécule peut contenir de plusieurs centaines à plusieurs millions de monomères.



2. Structure moléculaire du polyéthylène.

Polymérisation : l'opération chimique liant les monomères entre eux, pour obtenir un polymère, est appelée polymérisation.

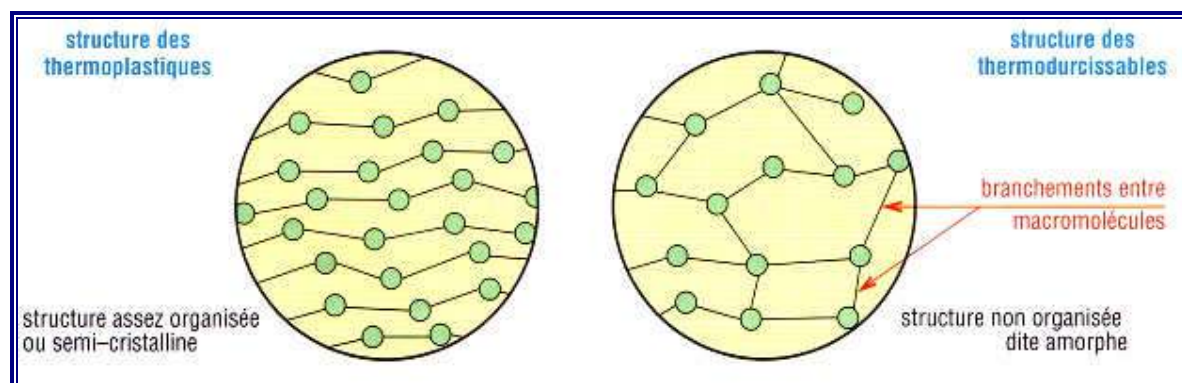
Copolymérisation : lorsque deux ou plusieurs polymères, de même nature ou non, sont liés entre eux chimiquement (branchements) l'opération est appelée copolymérisation.

Structure des thermoplastiques : le nombre des branchements entre macromolécules est faible ; celles-ci restent linéaires et séparées après moulage.

La structure obtenue, très serrée (forces élevées entre molécules et atomes) est semi-cristalline, bien organisée et proche de celle des métaux.

Structure des thermodurcissables : les branchements entre macromolécules, très nombreux, solidarisent irréversiblement les macromolécules entre elles (copolymérisation créant un réseau tridimensionnel). Dans la mesure où les branchements se font de manière aléatoire, au hasard, le matériau obtenu est dit amorphe ou « désorganisé », différent d'un réseau cristallin très organisé, avec des couches d'atomes bien rangés et empilées les unes sur les autres.

Remarques : certains plastiques, comme le polyester, existent dans les deux structures, thermodurcissable et thermoplastique.



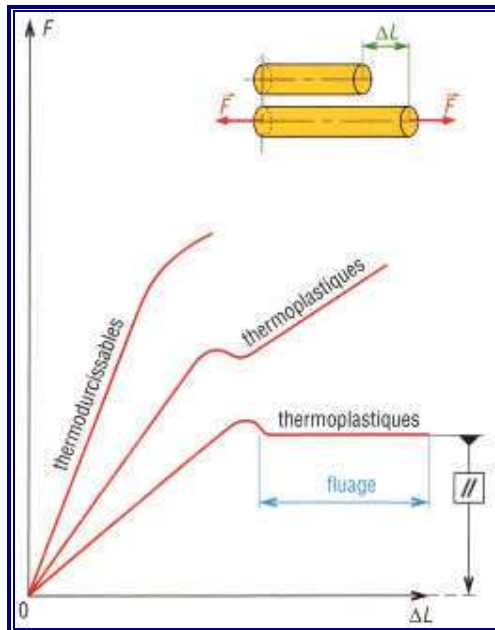
3. Structure des matières plastiques.

3. Propriétés mécaniques

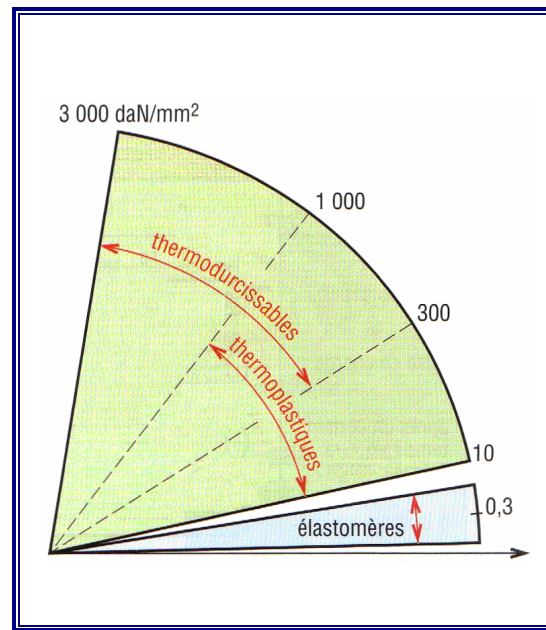
Le comportement mécanique des plastiques est différent de celui des métaux. Il dépend de la structure, de la composition, du mode de fabrication, de la forme de la pièce, de la température, du temps et de l'humidité.

Le pourcentage d'allongement (A %) est plus faible pour les thermodurcissables (< 1%, se déforment peu avant rupture, sont plus fragiles et plus sensibles aux chocs) qui présentent aussi, en général, une dureté plus élevée.

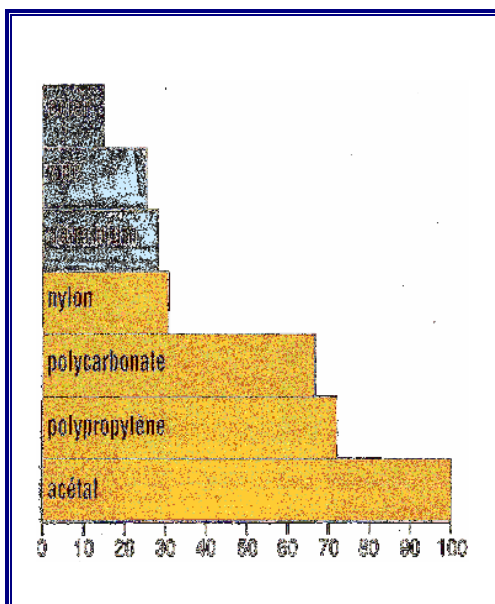
La résistance en compression est souvent plus élevée que la résistance en traction : 50 à 100 % pour les thermoplastiques, parfois plus de 100 % pour les thermodurcissables. Sous charge, les plastiques se déforment instantanément dans un premier temps, comme un ressort, puis, contrairement au ressort, continuent à se déformer progressivement au cours du temps (« déformation retardée »). C'est le fluage, sorte d'écoulement très visqueux qui dure autant que la charge.



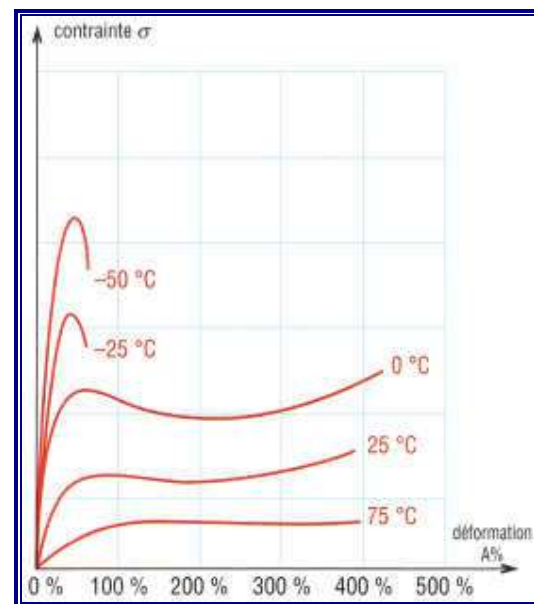
4. Phénomène de fluage au cours du temps.



5. Valeurs de E, module d'élasticité longitudinal.



6. Comparaison des dilatations thermiques entre métaux et plastiques.



7. Comparaison des courbes contraintes /déformation du polyéthylène.

4. Phénomène de fluage

Le fluage est l'une des caractéristiques essentielles des matières plastiques. Il peut être mis en évidence par un essai de traction.

A la mise en charge de l'éprouvette, un allongement dL_0 se produit instantanément. Si la charge (F) est maintenue, l'éprouvette continue progressivement de s'allonger au cours du temps (allongement retardé).

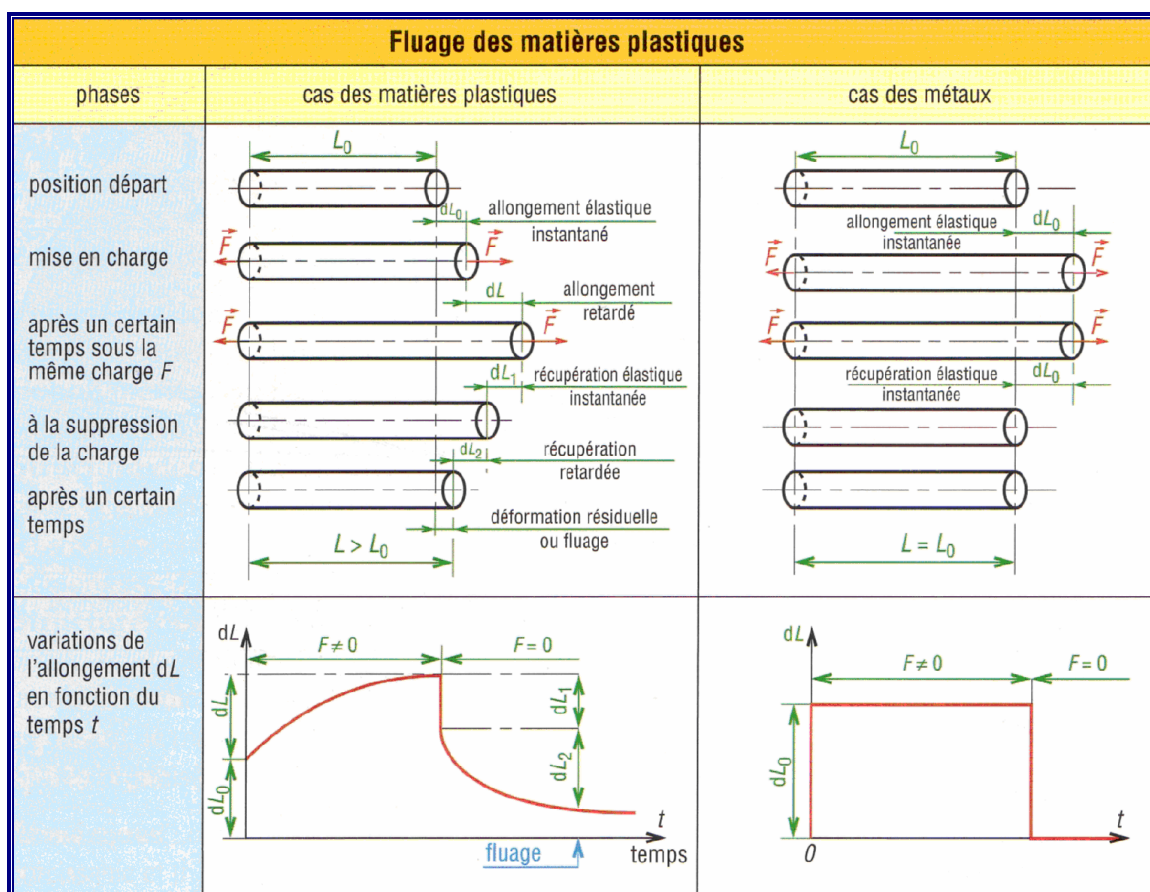
Plus la température est élevée, plus le phénomène est accentué.

Si la charge F est supprimée, le phénomène s'inverse, l'éprouvette récupère rapidement une partie de l'allongement réalisé (récupération instantanée), puis progressivement et plus lentement une autre partie (récupération retardée).

La déformation résiduelle qui subsiste mesure le fluage.

La destruction des liaisons, le glissement entre les macromolécules, le frottement interne retardant les déformations sont les principales causes du fluage. Le phénomène apparaît également pour des métaux travaillant sous charge à de hautes températures (fours, moteurs, réacteurs...).

Remarque : les fibres de renforcement (verre, kevlar, carbone...) permettent de corriger le phénomène de fluage (Voir chapitre 1, généralités matériaux, paragraphes composites).



8. Principe du fluage, comparaison avec les métaux se déformant élastiquement.

II - Thermoplastiques

C'est de loin la famille la plus utilisée ils représentent près de 90 % des applications des matières plastiques. Ils sont moins fragiles, plus faciles à fabriquer (machine à injecter et cadences élevées) et permettent des formes plus complexes que les thermodurcissables. Ils existent sous forme rigide ou souple, compacte ou en faible épaisseur, sous forme de feuille très mince (film...), de revêtement, expansé ou allégé...

1. Propriétés principales

Ils ramollissent et se déforment sous l'action de la chaleur. Ils peuvent, en théorie, être refondus et remodelés un grand nombre de fois tout en conservant leurs propriétés ; ils sont comparables à la cire ou à la paraffine.

Insensibles à l'humidité, aux parasites, aux moisissures (sauf polyamides) ils peuvent être fabriqués dans une gamme de couleurs très étendue.

Inconvénients : fluage élevé ; coefficient de dilatation linéaire élevé, entraînant un retrait important au moment du moulage ; combustible ; sensibles aux ultraviolets électrostatiques, qui « attirent les poussières » ; pas toujours agréables au toucher.

2. Principales familles

(Figure 1 : principales matières plastiques.)

a) Thermoplastiques de grande diffusion

À eux seuls, ils représentent de 70 à 80 % du total des plastiques mis en oeuvre. On y trouve les polyéfines (polyéthylène, polypropylène), le polystyrène et les PVC (polychlorure de vinyle). Remarque les ABS (acronytrile-butadiène-styrène) et les acryliques (polyméthacrylate de méthyle) sont, par leur prix et leur diffusion, à mi-chemin entre les précédents et les plastiques techniques.

b) Thermoplastiques techniques

Les polyamides, proche du nylon textile, sont les plus utilisés du groupe ils comportent de nombreuses variantes, de bonnes caractéristiques mécaniques, et une bonne tenue aux températures.

Les polycarbonates sont transparents et résistants aux chocs (verres correcteurs, vitrage anti-effraction...).

Les polyesters, voisins des fibres textiles polyesters, sont transparents et imperméables aux gaz (applications voisines des polyamides).

Les polyacétals résistent à la fatigue, à l'eau et aux solvants (lave-linge, lave-vaisselle...).

c) Thermoplastiques hautes performances

Plus coûteux, ils sont caractérisés par leur résistance à la chaleur et par des propriétés électriques élevées. Les résines fluorées (PTFE, PCTFE, PVDF) sont les plus classiques elles résistent à presque tous les agents chimiques, ne vieillissent pas, ne brûlent pas, ont de bonnes qualités frottantes. Les polysulfones et les polysulfones de phénylène (PPS), plus récents, transparents, allient résistance à la température, propriétés mécaniques et électriques élevées.

Principales matières plastiques																			
		symbole	(1) aspect	densité	températures limitées (°C)	caractéristiques mécaniques				résistance chimique				solvants	huiles	usinage	moulage	(3) exemples d'emploi	
						R _r (daN/mm ²)	E (daN/mm ²)	A% (daN/mm ²)	chocs IZOD entallés	acides		bases alcalis							
										(2) forts	(2) faibles	(2) forts	(2) faibles						
thermoplastiques	polyéthylène	basse densité	PE-LD	TRL-OQ	0,92	100	0,5-3	20-40	200-600	ne casse pas	F	B	B	B	B	B	B	B	①②
		haute densité	PE-HP	TRL-OQ	0,96	120	2-4	80-180	20-80		F	B	B	B	B	B	B	B	③④
	polypropylène	PP	TRP-OQ	0,91	130	3-5	140-200	250-600	7-25	F	B	B	B	B	B	B	B	①③⑥	
	polychlorure de vinyle	rigide	PVC	TRP-OQ	1,38	70	4-6	150-350	5-80	2-100									①③
		souple		TRP-OQ	1,20	70	1-3	1-4	150-450		B	B	B	B	S	B	B	B	①
	polystyrène	PS	TRL-OQ	1,05	80	3-5	200-320	5-75	3-20	F	B	B	B	S	B	F	B	①②③⑤	
	ABS*	ABS	TRL-OQ	1,10	110	1,7-6	200	10-50	10-50	F	B	B	B	S	B	B	F	①②③	
	poly (méthacrylate de méthyle)	PMMA	TRP-OQ	1,20	85	5-8	220-320	4-10	2-3	F	B	S	F	F	B	B	S	②③⑤⑥	
	acétate de cellulose	CA	TRP-OQ	1,30	90	3-6	80-250	20-50	6-45	S	F	F	F		B	B	B	①②③⑤	
	polyamide	PA	TRP-OQ	1,15	160	5-10	90-280	15-300	3-50	S	B	B	B	B	B	B	B	①③④	
	polycarbonate	PC	TRP-OQ	1,20	130	5-7	240	80-120	65-100	F	B	S	F	F	B	B	B	①②⑤	
	polyoxyméthylène	POM	TRL-OQ	1,40	90	6-7	300	35-75	5-15	S	B	F	F	B	B	B	B	①③④	
polytétrafluoroéthylène	PTFE	OQ	2,20	+260 -200	2-4	35-80	250-500	16	B	B	B	B	B	B	B	B	-	④⑥	
thermodurcissables	phénoplastes**	PF	TRP-OQ	1,3	190	3-6	270-480	750		S	F	S	S	S		B	B	①②	
	polyesters	UP	TRP-OQ	1,2	190	5-15	280-400	250-1500	8-100	S	F	S	F	F		F	B	②③	
	polyépoxydes	EP	TRL-OQ	1,5	280	2-12		250	2-50	F	B	F	B	B	B	B	B	②③⑥	
	polyimides	PI		1,6	250	2-4		750		B	B	B	B	B	B	B	B	①⑦	
	silicones	SI	OQ	1-2	230	1				F	B	F	F	F	F	F	F	B	⑦

(1) TRL : translucide
TRP : transparent
OQ : opaque

(2) B : bon
F : faible à moyen
S : mauvais (soluble)

(3) ① : pièces mécaniques (engrenages, cames, rotors)
② : petits carters, boîtiers, jouets, petit outillage
③ : grands bâtis, cuves, containers, réservoirs, coques
④ : pièces de frottement (coussinets, paliers, glissières)
⑤ : pièces pour l'optique (vitres, luminaires, diffuseurs)
⑥ : applications chimiques, thermiques
⑦ : enrobage, étanchéité, isolant

* acrylonitrile styrène acrylate
** résine phénol formaldéhyde

III - Thermodurcissables

Ils ne ramollissent pas et ne se déforment pas sous l'action de la chaleur. Une fois créés il n'est plus possible de les remodeler par chauffage.

Au moment de la mise en oeuvre, ils ramollissent dans un premier temps, puis durcissent de manière irréversible sous l'action prolongée de la chaleur (comparable à la cuisson du blanc d'oeuf).

1. Propriétés principales

Ils présentent une bonne tenue aux températures élevées (> 200 °C), aux attaques chimiques, une meilleure résistance au fluage que les thermoplastiques (conservent une meilleure stabilité dimensionnelle dans le temps), une bonne rigidité pour un prix de matière première peu élevé et faible retrait au moulage.

Inconvénients : mise en oeuvre moins pratique et plus lente que les thermoplastiques ; pas de moulage par injection et cadences de fabrication assez faibles.

2. Principales familles

- Les phénoplastes (PF) noirs ou bruns (bakélite ») et les aminoplastes blancs ou crème (urée formaldéhyde UF, mélamine-formol MF) sont les plus courants et les moins coûteux.
- Les époxydes (EP), les polyesters (UP) et les polyuréthanes (PUR) peuvent être classés dans le groupe des plastiques techniques.
- Pour les hautes performances, plus coûteux, on a les polyamides PF, qui conservent leurs propriétés mécaniques et électriques au delà de 300 °C, et les silicones SI, qui résistent à la chaleur et ont des propriétés mécaniques élevées.

IV - Elastomères ou caoutchoucs

Ils sont obtenus par synthèse chimique, comme les plastiques, et possèdent des propriétés comparables à celles du caoutchouc naturel. Le néoprène (1930) fut le premier caoutchouc de synthèse.

Applications : pneumatiques, courroies, tapis, tuyaux, amortisseurs, joints d'étanchéité, revêtements divers, pièces mécaniques, chaussures...

1. Principales caractéristiques

La propriété la plus remarquable est l'élasticité ou la capacité à s'allonger sans se rompre (A% très élevé, jusqu'à 1 000 %). A l'opposé le module d'élasticité longitudinal E reste très petit (< 10 N/mm² : près de 200 000 pour les aciers) traduisant une faible rigidité.

2. Caoutchoucs vulcanisés (réticulés)

Ce sont les plus traditionnels. La vulcanisation consiste à incorporer du soufre au caoutchouc afin d'améliorer la résistance tout en maintenant l'élasticité. Ils peuvent être extrudés ou moulés. Principales nuances caoutchouc naturel, nitrile (NBR), butyl, chloroprène, EPDM (éthylène propylène), SBR (styrène-butadiène), Fluorés (FPM).

		Principaux élastomères vulcanisés					
		caoutchouc naturel NR	butadiène styrène SBR	acrylonitrile butadiène NBR	butyl IIR	chloroprène (néoprène) CR	éthylène propylène EPM-EPDM
propriétés mécaniques	traction	+++	++	++	0	++	+
	déchirement	++	+	0	0	+	++
	abrasion	+++	++	++	+	+	++
	compression	++	++	+++	+	+	++
	résilience	+++	++	0	0	++	0
	flexion	++	++	++	++	++	0
résistance au vieillissement	ozone-intempéries	+	+	+	++	++	+++
	chaleur	+	+	+	++	+	+++
	froid	+++	++	0	+	0	+++
	flamme	0	0	0	0	++	0
résistance chimique	huiles	0	0	+++	0	++	0
	solvants	0	0	+++ / 0	0 / +	0	0
	eau	++	++	++	++	+	+++
	imperméabilité aux gaz	+	+	++	+++	+	0
	acides faibles	++	++	+	+++	++	+++
	acides forts	+	+	0	+++	+	+++

3. Caoutchoucs thermoplastiques

Plus récents, ils ont les qualités des élastomères vulcanisés haut de gamme avec en plus la simplicité de mise en oeuvre des plastiques thermoplastiques (moulage par injection, pas de vulcanisation).

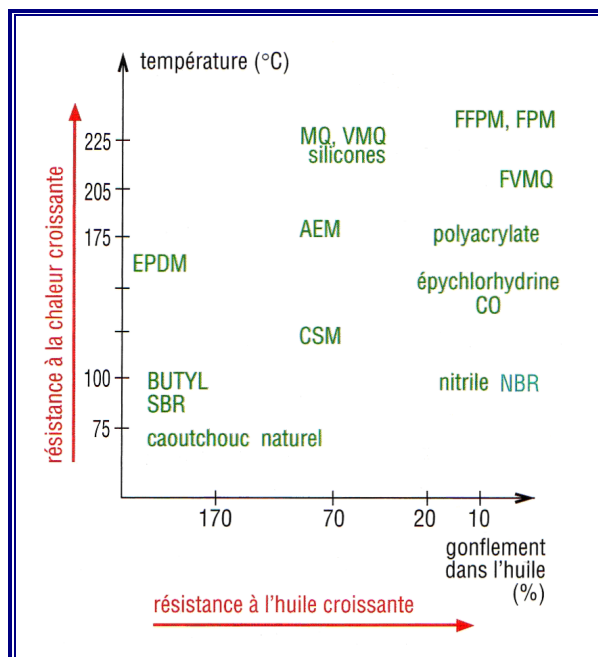
Principales nuances :

Polyuréthane (AU) : grande dureté, résistance à l'abrasion et au déchirement, faible tenue à la chaleur et à l'humidité.

Polyacrylates (ACM) : résistance aux températures, à l'huile et à l'ozone de l'air, faible tenue à l'eau, acides et bases.

Silicones (VMQ et PVMQ) : résistent aux hautes et basses températures tout en conservant une bonne résistance mécanique, mais tenue moyenne à l'huile.

Fluorosilicones (FMQ) : mêmes caractéristiques que les silicones avec une meilleure résistance à l'huile.



11. Résistance à l'huile et à la chaleur des principaux élastomères.

Remarques : les élastomères fluorés présentent une des meilleures résistances à la chaleur, aux hautes températures et aux fluides, particulièrement dans l'air et dans l'huile.

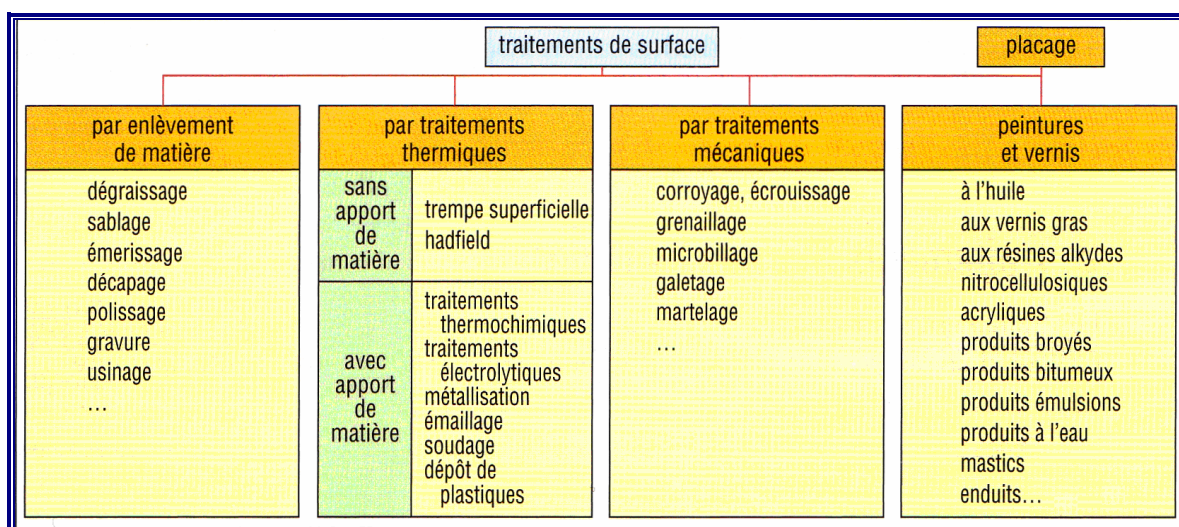


TRAITEMENTS DE SURFACE

OBJECTIFS

- Indiquer les principaux traitements de surface et donner les caractéristiques des traitements thermiques de surface, des traitements électrolytiques, de la métallisation...
- Fournir des éléments sur les peintures et les vernis.

Les traitements de surface sont utilisés pour modifier les caractéristiques de la surface d'une pièce dans le but de lui donner des qualités nouvelles : améliorer les propriétés mécaniques (dureté, frottement, résistance à l'usure, au grippage, à la fatigue...), la résistance à la corrosion, l'esthétique et certains comportements (conductivité électrique, réflexion de la lumière, conduction de la chaleur, isolation thermique ou aux rayonnements...).



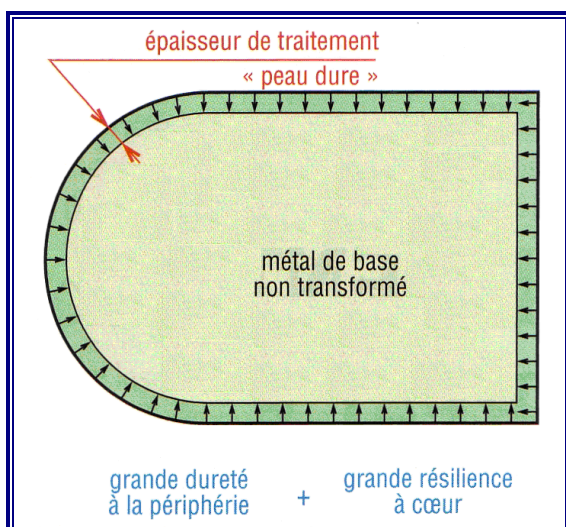
1. Traitements de surface.

I. Traitements thermiques de surface

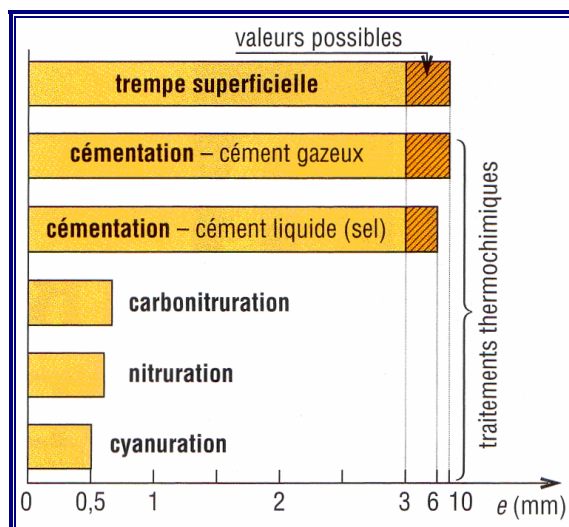
Les traitements se développent de la surface vers l'intérieur de la pièce sur une couche de faible épaisseur.

Le plus souvent ces traitements sont des durcissements superficiels permettant de conserver à coeur les propriétés du métal de base, avec une ductilité et une résilience plus élevées : « peau dure et coeur tendre ».

Ils évitent l'emploi d'aciers fortement alliés en rendant possible l'utilisation d'aciers moins coûteux comme certains C et certains aciers faiblement alliés.



2. Principe des traitements de surface.



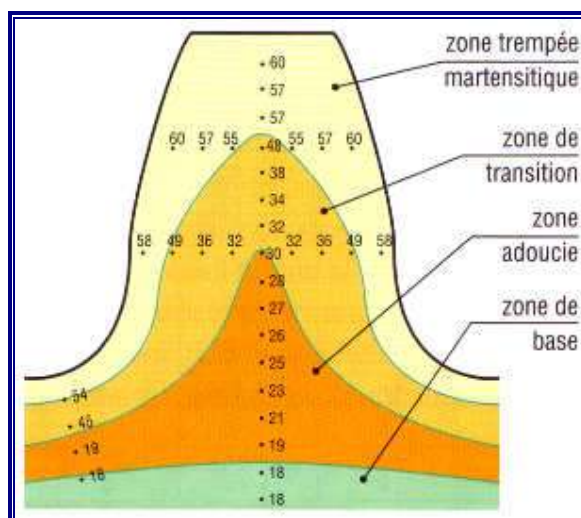
3. Épaisseurs traitées possibles suivant le procédé.

1. Trempe superficielle

C'est une trempe réalisée uniquement en surface. Le chauffage est effectué par induction (traitements locaux, formes irrégulières cames, dents...) ou au chalumeau (grandes pièces) et le refroidissement par aspersion ou immersion. Le procédé est bien adapté à la fabrication en série : portées de vilebrequin, arbres à cames, dents d'engrenage...

Matériaux utilisés :

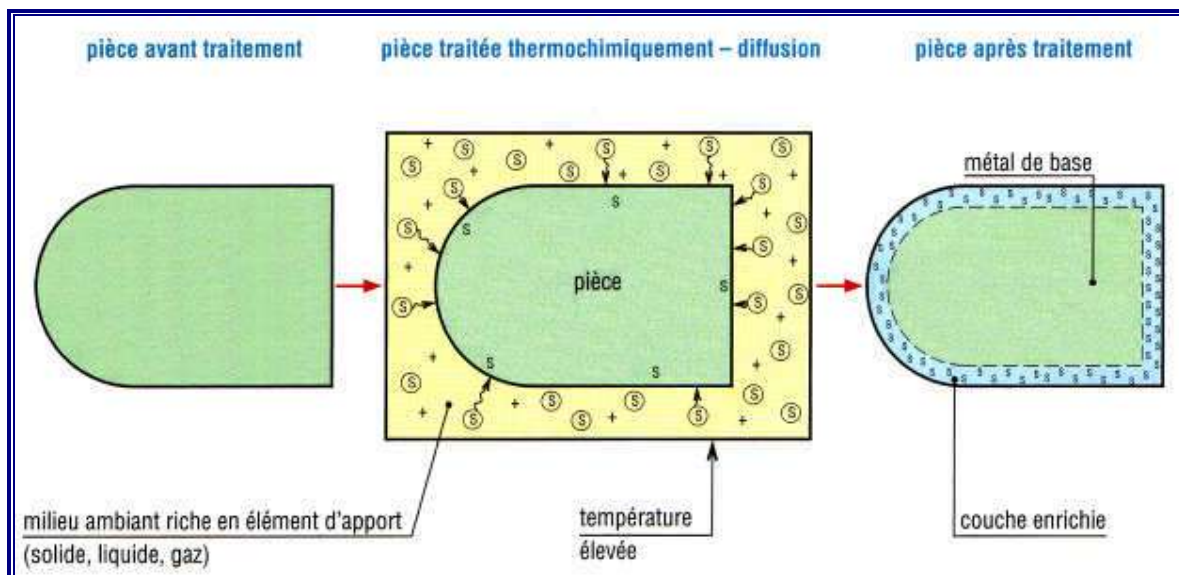
- aciers : 3C42 (XC42), 35CrMoS4, 42CrS4, 42CrMoS4, 45MnS4, 52MnS4...
- fontes : FGL300, FGS600-3, S. N35 ...



4. Évolution de la dureté (HRC) d'une dent d'engrenage trempée superficiellement par induction.

2. Traitements thermochimiques

Les traitements sont obtenus avec apport en surface par diffusion chimique, sous l'action de la chaleur, d'un ou plusieurs éléments d'addition comme le carbone, l'azote, le soufre...

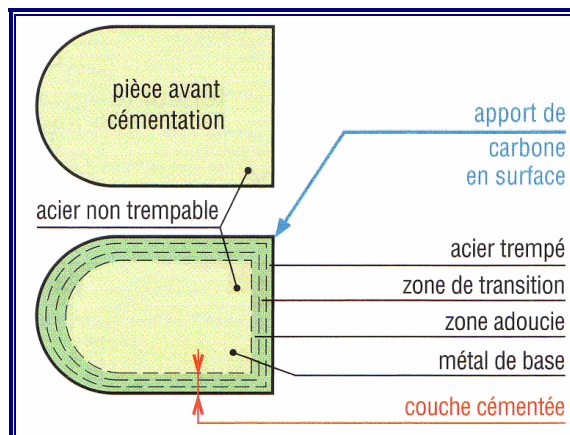


5. Principe des traitements thermochimiques.

a) Cémentation

Traitement le plus classique, il consiste en un apport de carbone dans la surface de la pièce, suivi d'un durcissement par trempé. Pendant le traitement, la pièce est maintenue en contact avec un corps, solide, liquide ou gazeux, riche en carbone. L'enrichissement de la surface en carbone rend possible la trempé des aciers utilisés, non trempables au départ.

Duretés atteintes : 800 à 850 HV.



6. Principe de la cémentation.

Aciers utilisés : 2C10, 2C22 (températures de cémentation élevées $\approx 925\text{ }^{\circ}\text{C}$) 10NiCr6, 16NiCr6, 20 NiCr6, 18NiCrMo6, 16MnCr5, 20MnCr5, 18CrMo4 (températures plus basses et caractéristiques à coeur supérieures)...

Inconvénient : les pièces traitées ont tendance à se déformer et à gauchir.

Procédés dérivés : shéardisation (apport de zinc protégeant contre la corrosion), calorisation (apport d'aluminium, utilisé en décoration)...

b) Nitruration

Elle donne une plus grande dureté que la cémentation et amène moins de risques de déformations et de gauchissement des pièces traitées.

Elle est obtenue par diffusion d'azote en surface (pièce en contact avec de l'ammoniaque craquée NH_3 vers $560\text{ }^\circ\text{C}$), suivi d'un refroidissement lent.

Le durcissement n'est pas obtenu par trempe superficielle mais par formation de nitrures (fer, chrome et aluminium). Duretés atteintes : 1 100 à 1 200 HV.

Matériaux utilisés : aciers faiblement alliés (généralement trempés et revenus à coeur) 32CrMoV9, 32CrMoV12-10, 34CrAlNi7...

Inconvénients : coût élevé de l'équipement et mise en oeuvre plus délicate que les autres procédés.

c) Carbonituration

Le traitement est un mélange de cémentation et de nitruration. Il y a apport, en surface, de carbone et d'azote par chauffage dans une atmosphère gazeuse, entre 600 et $900\text{ }^\circ\text{C}$. L'opération est généralement suivie par une trempe, parfois par un refroidissement lent avec 15% d'ammoniaque, la trempe n'est pas nécessaire ; elle l'est avec 1 %. Duretés atteintes : 900 à 950 HV.

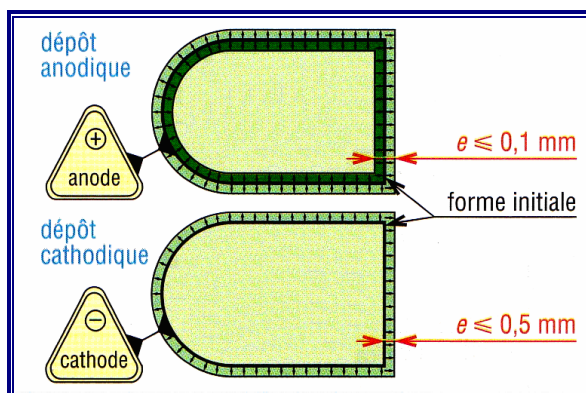
Procédés dérivés : cyanurisation (carbone remplacé par le cyanure), sulfocarbonituration (apport de soufre et de carbone)...

II - Traitements électrolytiques

Deux cas sont possibles: le dépôt ou l'attaque anodique et le dépôt cathodique.

1. Dépôt anodique (électrolyse anodique)

La pièce est liée à l'anode et la formation du composé en surface se développe à la fois vers l'intérieur et vers l'extérieur de la surface traitée (épaisseur 0,01 à 0,1 mm environ).



7. Principe de dépôt des traitements électrolytiques.

2. Dépôt cathodique (électrolyse cathodique)

La pièce est liée à la cathode et le dépôt de matière (métal d'apport) se développe uniquement de la surface vers l'extérieur (épaisseur 0,5 mm environ).

Autres cas que ceux du tableau, protégeant contre la corrosion et pour décoration : chromage (non dur), nickelage, zingage, étamage, cuivrage (sert de « sous couche »), cadmiage (dépôt de cadmium sur ferreux et cuivreux, pour visserie et boulonnerie), dorure (or)...

Traitements de surface par traitements thermiques														
traitement	élément d'apport	matériaux traités	épaisseur traitée (mm)	température (°C)	propriétés principales : amélioration de						(*) exemples d'emploi			
					densité en surface	résistance à l'usure – abrasion	résistance au grippage	résistance à la corrosion	résistance à la fatigue	pression de contact admissible		diminution du frottement		
transformation de structure	trempe superficielle	aucun	ferreux		$A_3 + \theta$ $50 < \theta < 200$	+	+			+	+	① ② ③		
	hadfield-HEF	aucun	aciers au manganèse		190	+	+				+	② ③ ④		
traitements thermo-chimiques	cémentation	carbone	aciers de cémentation	0,5 à 1	925 à 950	+	+			+	+	① ② ③ ④		
	nituration	azote	aciers de nutrition + fontes	0,1 à 0,5	550	+	+		+	+		① ② ③ ④ ⑥		
	carbonituration	carbone + azote	aciers cém. et nitur.	0,05 à 0,5	600 à 900	+			+	+		① ② ⑤		
	sulfonituration	soufre + azote	tous les ferreux	0,02 à 0,03	570		+	+	+			① ② ④ ⑤		
	phosphatation	phosphates	ferreux aluminium		40 à 90		+	+				+	④ ⑧	
	boruration	borures	ferreux	0,05 à 0,35				+	+				⑥ ⑦	
	chromisation dure	chromes (carbures)	aciers fontes	0,01 à 1				+	+				⑥ ⑦	
traitements électrolytiques	anodiques	anodisation dure	alumine Al_2O_3	aluminium	0,05 à 0,06		+	+				+	② ③ ⑥	
		sulfinezation (basse température)	FeS	ferreux	0,007 à 0,008	190		+	+				+	① ② ③
	cathodiques	chromage dur	chrome	aciers, alu. cuivreux, zinc	0,01 à 0,5	< 100		+	+	+			+	⑨ ② ④ ⑩
		forez	[Cu + Sn]	ferreux	0,03 à 0,15	570				+			+	① ② ④ ⑥
		stanal	Sn	ferreux	0,01 à 0,03	570		+	+	+				② ④
		delsun	étain (Sn)	cuivreux	0,015	420		+	+				+	④ ⑧

- (*) ① : engrenages
 ② : axes, arbres, broches
 ③ : cames
 ④ : bagues, paliers, galets
 ⑤ : visserie
 ⑥ : glissières
 ⑦ : outils coupants
 ⑧ : bâtis, carters, matrices
 ⑨ : pièces de frottements
 ⑩ : restauration de surfaces

III - Métallisation

Elle consiste en un dépôt de métal fondu (zinc, étain, aluminium, plomb...) ou de céramiques sur la surface à traiter.

1. Métallisation par trempage

La pièce à traiter est trempée dans un bain de métal fondu. Exemple : galvanisation ou dépôt de zinc.

2. Métallisation au pistolet, vers 2760 °C

Le métal est fondu par une torche oxyacétylénique puis projeté sur la pièce par soufflage (air comprimé).

3. Métallisation au plasma d'arc, vers 16 700 °C

Elle permet des dépôts de céramique, tungstène, carbure, molybdène, nickel, chrome... Un arc électrique entre deux électrodes chauffe un gaz, l'argon ; il en résulte une accélération des particules du gaz (éjection supersonique). Une poudre de la matière à déposer est injectée dans le gaz puis projetée sur la pièce à traiter.

4. Métallisation sous vide

Le dépôt est effectué en phase gazeuse, par condensation ou vaporisation (plasma) et ionisation de très petites particules dans un milieu gazeux raréfié ou sous vide selon plusieurs techniques. Il est possible de revêtir pratiquement tous les matériaux, les installations sont coûteuses.

Exemples : CVD (Chemical Vapor Deposition : dépôt après réaction chimique à température élevée entre plusieurs substances gazeuses) ; PVD (Physical Vapor Deposition : dépôt par condensation après vaporisation de la substance).

Applications : semi-conducteurs, outils de coupe, verre, textile, matières plastiques, verre, papier...

IV - Dépôts particuliers

Émaillage : dépôt (800 °C) sur métal ou céramique. L'émail est un composé de verre, flux, opacifiant et colorants.

Caractéristiques : grande durabilité ; résistance aux rayures, aux agents chimiques, à la chaleur et facile à nettoyer.

Applications : sanitaire, électroménager, chimie, carrelages, panneaux décoratifs...

Vitrification (glaçage) : semblable à l'émaillage avec présence d'agents de renforcement et d'agents matifiants pour réduire le brillant. La surface est dure, facile à nettoyer, étanche à l'eau et décorative.

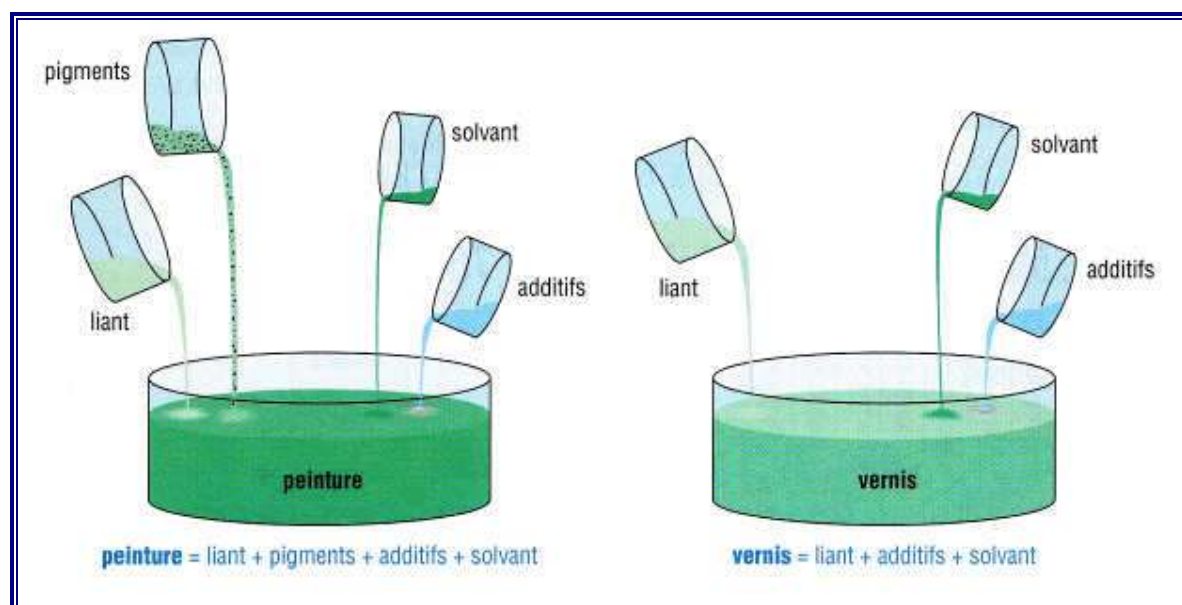
Applications : vaisselle, objets d'art, carrelage, instruments scientifiques, sanitaire...

V - Revêtements organiques ; peintures et vernis

Couramment utilisés, leur rôle est essentiellement protecteur (corrosion, humidité, agents chimiques...), décoratif (couleur, brillance...) et lié à l'assainissement (anti-salissures, moisissures ...

1. Constitution des peintures et des vernis

Une peinture se compose de liants, de pigments et d'additifs, destinés à améliorer les caractéristiques, le tout étant mélangé avec un solvant.



8. Principaux constituants des peintures et des vernis.

Liants : naturels ou synthétiques, ils durcissent la peinture. Leur action est comparable à celle du ciment.

Principaux liants : huiles, oléorésines et résines : alkydes, phénoliques, époxydes, à l'eau, polyuréthanes, vinyliques, acryliques, cellulosiques...

Pigments : d'origine métallique, minérale ou organique (plastiques) ce sont des poudres fines insolubles ayant un pouvoir opacifiant et assurant la cohésion du film. Leurs propriétés sont très diverses : anticorrosion, anti-moisissures, incombustibilité, luminosité, phosphorescence...

Exemples : dioxyde de titane, oxyde de zinc, oxyde de plomb ...

Remarque : les peintures mates ont beaucoup plus de pigments que les peintures brillantes et les vernis.

Solvants : ils amincissent la peinture, la rendent plus facile à poser et accroissent le pouvoir de pénétration. Ils se présentent sous la forme d'un liquide volatil ayant la propriété de dissoudre totalement le liant.

Principaux solvants : white-spirit, eau, alcool, essence de térébenthine, essences minérales diverses...

Additifs (colorants, plastifiants, adjuvants, matières de charge...) : ils complètent et améliorent les caractéristiques finales du produit: couleur, séchage, anti-rayures, anti-oxydation, anti-mousses, fongicides, résistance au feu, isolation acoustique, épaissi ou allégé, diminue le prix...

2. Film organique ou revêtement

La couche « de peinture », ou film, peut être obtenue de trois manières au moment du séchage.

a) Par polymérisation, à partir du liant

Après application « le séchage » est obtenu sans évaporation du solvant. Les molécules s'agglomèrent les unes aux autres en créant de longues chaînes de polymères ou macromolécules (analogie avec les matières plastiques). Beaucoup de vernis sèchent de cette façon.

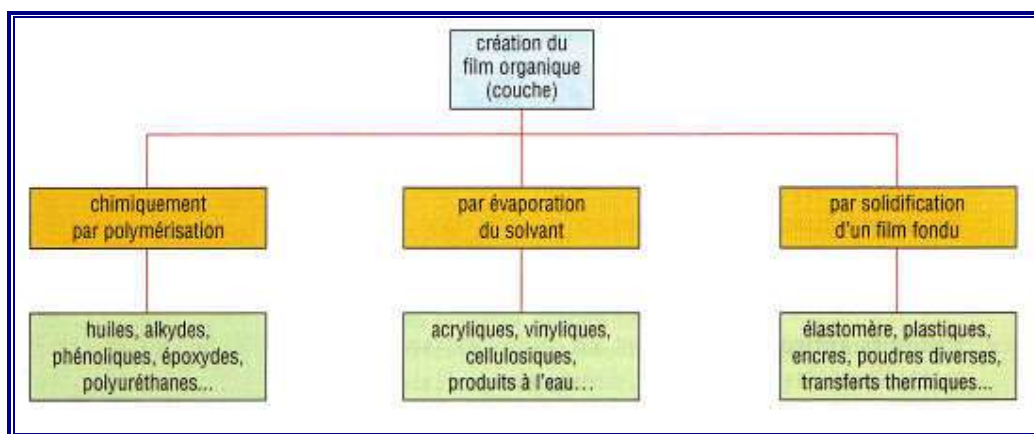
b) Par évaporation du solvant

Les polymères, ou macromolécules, existent déjà en suspension (mélangés) dans le solvant qui s'évapore après application. La plupart des peintures sèchent de cette façon.

c) Par solidification d'un film fondu

Les polymères sont d'abord fondus par chauffage puis déposés sur la pièce à traiter. Le séchage s'obtient, au refroidissement, par solidification du film (analogie avec les colles thermofusibles ou hot-melt).

Remarque : dans tous les cas, la taille, la croissance, la vitesse de formation des polymères et le séchage sont contrôlables en utilisant un catalyseur et/ou un chauffage.



9. Modes d'obtention du film organique ou de la « couche ».

3. Principaux produits

Produits acryliques : en suspension ou en émulsion dans un solvant (eau...), ils sèchent, avec peu d'odeurs, par évaporation de celui-ci. Ils sont faciles d'emploi, durables, résistent bien aux intempéries et au soleil (ultraviolets).

Les peintures et laques acryliques sont parmi les plus utilisées pour le bâtiment, l'habitat, l'automobile et l'aéronautique, en extérieur et en intérieur.

Produits cellulosiques : c'est un mélange de nitrocellulose, résines diverses, plastifiants et solvant à séchage rapide. Utilisations : laques à séchage rapide, peintures à effets craquelés et martelés, peintures pour retouches...

Produits à l'eau : le liant est dissous dans l'eau. Élaborés à partir de produits naturels (caséine du lait, blanc de craie, chaux...), ils sont très économiques, faciles à appliquer, ne dégagent pas de vapeurs, non toxiques et non inflammables. Ils sont réservés à des travaux ordinaires : intérieur de locaux ou peinture sur papier.

Produits émulsions (« dispersion ») : c'est une variante moderne des précédents. Le liant (résines alkydes, acryliques...), non dissout, est en émulsion dans l'eau. Au séchage, l'eau s'évapore et le liant se transforme en film souple. Les produits sont faciles à appliquer, sèchent rapidement et dégagent peu d'odeurs.

Utilisations : bâtiment (travaux intérieurs et extérieurs), automobile (électrodéposition), revêtements pour papiers...

Produits à l'huile : les liants (huiles de lin, oléorésines...) polymérisent sous l'action de l'oxygène de l'air et assurent une bonne étanchéité. Le temps de séchage est long, plusieurs jours avec des odeurs. Les couleurs claires ont tendance à jaunir.

Applications : grandes surfaces (bois, plâtre, ferreux) où le séchage n'est pas une priorité.

Produits phénoliques : résistent à l'humidité et aux intempéries. Ils sont le plus souvent mélangés avec des huiles siccatives pour produire des vernis (bateaux, ponts...).

Produits au polyuréthane : la polymérisation, réalisée avec un catalyseur, est activée par l'humidité de l'air. Ils résistent aux frottements, aux intempéries et aux attaques chimiques. Utilisations : produits de finition (vernis, vitrificateurs, peintures pour sols...).

Produits aux résines alkydes : ce sont les produits de polymérisation les plus utilisés (peintures, laques, vernis). Le liant est un composé de polyesters d'huiles sélectionnées, d'alcool ou d'acides organiques (exemples peintures glycérophthaliques...).

Les produits ont une durabilité moyenne, résistent assez bien à l'humidité, au soleil et aux intempéries ; leur temps de séchage est de quelques heures.

Applications diverses (décoration, métaux, bois) sous conditions normales (conditions sévères à éviter).

Produits vinyliques : ils sèchent par évaporation du solvant. Les finitions sont intéressantes pour les applications en milieux humides ; les résines polyvinyliques sèchent mal en air sec.

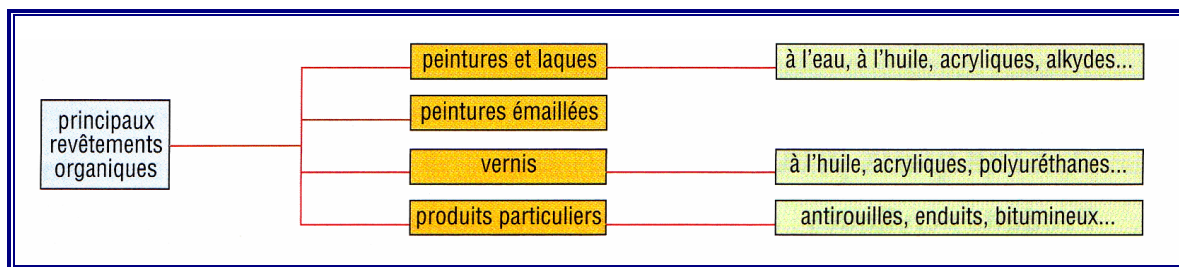
Produits aux silicones : les silicones utilisés avec d'autres résines résistent à des températures élevées (≈ 370 °C). Leur prix est élevé.

Utilisations : peintures pour fours, étuves...

Produits bitumeux : à base de résines synthétiques, de bitumes, de brais de pétrole, de goudron, ils résistent à l'humidité, à la corrosion et sont peu décoratifs.

Utilisations : étanchéité, isolation, protection des alliages ferreux, des murs, des fondations...

Produits antirouilles : souvent aux résines alkydes, ils contiennent une forte proportion de pigments à base de plomb, de zinc, d'aluminium...



10. Principales familles de produits.

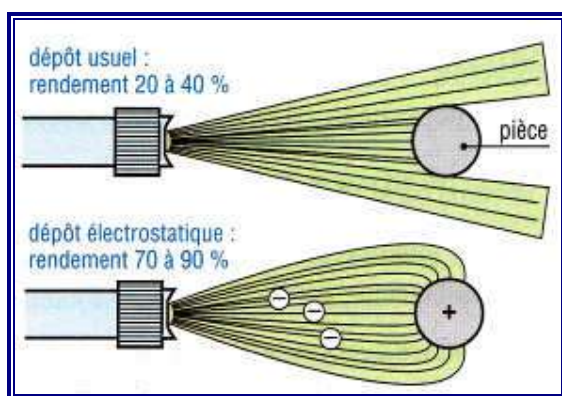
4. Mise en œuvre ; principales techniques d'application

Séchage : la plupart des produits nécessitent entre 2 et 24 heures de séchage à température ambiante, en air naturel ou sec. Le processus peut être accéléré en utilisant des fours, étuves, tunnels à lampes infrarouges, ultraviolets, hautes fréquences... Par exemple, entre 135 et 235 °C, le temps de séchage passe de 24 heures à moins d'une heure.

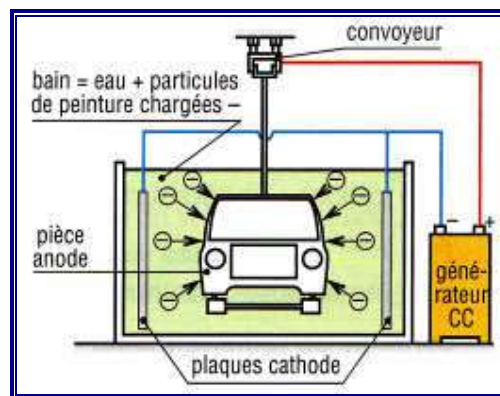
Contrôle de qualité : il existe de nombreux essais et tests normalisés (viscosité, chocs, rayures, abrasion, pliage, emboutissage, dureté...).

1 – manuelle (brosse, rouleau)	5 – machine à rouleau	9 – électrolytiques
2 – pistolet pneumatique	6 – machine à rideau	10 – impression
3 – pistolet sans air	7 – par trempage	11 – transfert thermique
4 – pistolet électrostatique	8 – par aspersion	12 – thermique avec poudres...

11. Principales techniques d'applications.

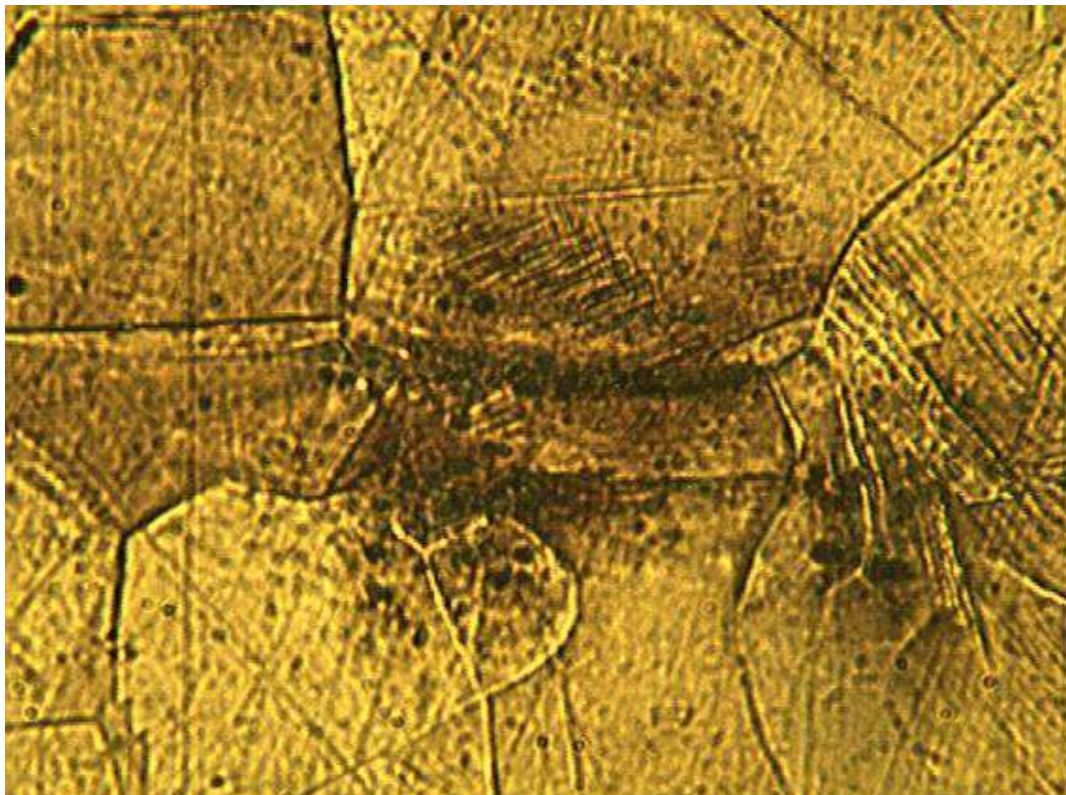


12. Peinture au pistolet.



13. Dépôt électrolytique par trempage.

ANEXE : Structures micrographique d'un acier inoxydable attaqué chimique



BIBLIOGRAPHIE

* FANCHON, Jean-Louis, GUIDE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES, Nathan, AFNOR, 2004.

* BUTIN, R., PINOT, M., FABRICATIONS MECANIKUES – TECHNOLOGIE III, Foucher, Paris.