

**généralités:**

[généralités](#)
[densités](#)
[Unités légales](#)
[indices de prix](#)
[Dessin](#)

Conversions:

[conversions impériales / métriques](#)
[équivalences des duretés vickers, brinnell et Rockwell](#)
[gauges de tôlerie AISI / ASTM](#)
[équivalences matériaux ISO / ASTM / AISI](#)
[données de visserie /comparatifs ISO vs AISI](#)

Calculs et formules:

[Calculs de dilatation linéique](#)
[calculs aéronautiques](#)
[trigonométrie](#)
[coefficients de friction](#)
[poussée des vérins hydrauliques et pneumatiques](#)
[modules de young](#)
[coefficient de Poisson](#)
[éléments de géométrie](#)
[calculs de charpente](#)
[formules de RDM](#)
[calculs de visserie](#)
[calculs de RDM](#)
[électrotechnique \(formules\)](#)

Données:

[données de visserie /comparatifs ISO vs AISI](#)
[clavettes parallèles et rainures de clavettes](#)
[données et types de soudure](#)
[Données aciers et métaux ferreux](#)
[Action des éléments d'addition des alliages d'acier](#)
[Données inox \(stainless\) / titanes](#)
[Données aluminiums et alliages](#)
[Données cuivres / laitons / bronzes / autres cuivreux](#)
[Données matières plastiques](#)
[appellations commerciales et densités des plastiques](#)
[traitements thermiques et de surface des matériaux](#)

Divers liens externes:

[Le catalogue de profilés Metallium](#)
[Ma base de roulements à billes](#)
[Le MHBK](#)
[Nuances-matières](#)

Tous les chiffres donnés ici le sont à titre indicatif, mais n'en demeurent pas moins fiables.

Ce mémo constitue une aide à la décision et est fort utile en phase de pré-étude afin de faire les meilleurs choix (ou les moins mauvais...), en étude ainsi qu'en phase de développement.





www.patrick-roch.com

© Patrick ROCH / Groupe EUROPLAN International INC - 2011

Généralités sur quelques matériaux usuels



matériaux	masse volumique	température de fusion (°c)	coefficient de dilatation standard (1.10-6m, plage 0-200deg.c)	conductivité thermique (w.cm.°c)	Module de Young (N/mm²)
acières	7,85	1510	10 à 14	0,46	210000
alliage Wood		60-70			
alpax	2,65	580	20	1,65	70000 à 75000
aluminium	2,7	660	25	2,37	70000
argent	10,5	960	19	4,18	74000
béton	2,6 à 2,8	. / .		0,0092	28000
bronzes	8,85 à 9,3	900	17,4 à 18,8	0,4 à 0,7	100000 à 120000
chrome	7,19	1857	6	0,91	250000
cuivre	8,96	1080	16,6	3,98	126000
dural	2,79	650	22,6	1,29	75000
étain	5,75 à 7,31	232	20	0,64	40000
fer	7,87	1535	12	0,803	200000
fontes	6,8 à 7,8	1100 à 1300	5 à 15	0,21 à 0,63	100000
invar	8,131	1500	0,8		140000
laitons	8,3 à 8,9	920	18 à 21	0,84 à 1,21	92000 à 120000
maillechort	8,72	1060			
métal Darcet		94			
nickel	8,9	1453	13	0,9	220000
nylon	1,14	220	7	0,0029	5500
or	19,35	1100	14,6	3,17	76000
platine	21,09	1768		0,716	168000
plomb	11,35	327	29	0,346	14000
téflon	2,2	300 à plus selon nuance	18	0,25	2500
titane	4,42-4,54	1660	8,5	0,2	105000 à 112000
tungstène	19,3	3410	4,5	1,78	420000
verre	2,6	700 à 800	8,6	0,012	50000 à 90000
zamak	6,6 à 6,7	380 à 410	39,7	1,13	
zinc	7,14	420	35	1,15	80000

sommaire		Densités					
SOLIDE (kg/dm3)		MINI	MAXI	SOLIDE (kg/dm3)	MINI	MAXI	
Acacias	0,78	0,82	Duralumin	2,9			
Acajou	0,56	0,85	Ebène	1,12	1,18		
Acier coulé	7,2	7,6	Elektron	1,8	1,83		
Acier de cémentation	7,3	7,8	Erable	0,56	0,64		
Acier fondu	7,8	7,9	Etain (Sn)	7,29			
Albâtre	2,7		Farine	1,03			
Alpax	2,65		Feldspath	2,5			
Aluminium fondu (Al)	2,56		Fer fondu (Fe)	7,2			
Aluminium laminé	2,67		Fer forgé	7,78			
Alun	1,72		Ferro-Nickel	8,4			
Amiante	0,469		Fonte blanche	7,4	7,8		
Anthracite	1,4		Fonte grise	6,7	7,1		
Antimoine (balisitique)	6,65	6,72	Frêne	0,84			
Ardoise	2,7	2,9	Gaiac	1,339			
Argent au titre de la monnaie	10,4		Glace à 0° (H ² O)	0,918			
Argent fondu (Ag)	10,17	10,47	Glucinium	1,85			
Argent forgé	10,5	10,6	Graisse	0,92	0,94		
Argile	1,93		Granit	2,8			
Arsenic	5,73		Grès	2,35			
Asphalte	1,33	2,11	Hêtre	0,8			
Aulne	0,46	0,55	Houille compacte	1,33			
Balsa	0,117	0,134	Houille mesurée à l'hectolitre	0,85			
Béton	2,6	2,8	Laine de verre	0,024	0,096		
Beurre	0,94		Laine minérale	0,064	0,196		
Bismuth	9,82		Laiton	7,3	8,45		
Borax	1,72		Liège (Plaque)	0,016			
Bouleau	0,62	0,75	Liège aggloméré	0,275			
Brique (en argile réfractaire)	1,4	2,645	Liège naturel	0,24			
Bronze	8,4	9,2	Lithium	0,53			
Bronze d'aluminium	7,45		Maçonnerie de briques	1,87			
Buis de France	0,91		Maçonnerie de moellon	2,25			
Buis de Hollande	1,32		Maçonnerie de pierres sèches	1,45			
Cadmium	8,69		Magnésium (G)	1,74			
Calcium	1,58		Manganèse (M)	7,4	8,01		
Caoutchouc Pur	0,98		Marbre	2,7	2,8		
Caoutchouc vulcanisé (mou)	1,1		Mélèze	0,54	0,63		
Cèdre du Liban Sec	0,9		Minium (Pb ₂ O ₃)	9,07			
Céruse (PbCO ³)	6,43		Molybdène (D)	8,6			
Charbon de bois	0,25		Naphte	0,84			
Charme	0,759	0,9	Nickel fondu (Ni)	8,3			
Châtaigner	0,55	0,74	Nickel forgé	8,9			
Chaux (CuO)	3,15		Nitrate d'ammoniaque (NH ₄ NO ₃)	1,52			
Chêne blanc	0,61		Nitrure de silicium (céramique)				
Chêne vert	0,983		Noyer frais	0,89			
Chrome	5,9		Noyer sec	0,66			
Cobalt	7,8		Or fondu (Au)	19,32			
Cœur de chêne de 60 ans	1,17		Or forgé	19,36			
Coke	0,3	0,5	Or monnayé	17,64			
Corail	2,69		Orme	0,54	0,63		
Cormier	0,819		Oxyde de fer (Fe ₂ O ₃)	5,12			
Corps humain (moyenne)	1,07		Oxyde de mercure	11,14			
Coton	0,08		Oxyde de zinc (ZnO)	5,6			
Craie	1,25		Palladium fondu	11,3			
Cristal	3,33		Peuplier	0,39			
Cuivre fondu (Cu)	8,6		Phosphore ordinaire	1,84			
Cuivre forgé	8,8	8,96	Phosphore rouge	2,1			
Cuivre pur	8,933		Pin blanc	0,435			
Cyprès	0,66		Pin du nord	0,74			
Diamant	3,52		Pin jaune	0,64			
SOLIDE (kg/dm3)	MINI	MAXI	LIQUIDE (kg/dm3)	MINI	MAXI		



Pin rouge	0,66		Essence de pétrole	0,68	0,71
Platane	0,65		Huile de machine	0,825	0,884
Platine (Pt)	21,5		Eau de vie	0,92	0,94
Plâtre	0,96		Mercure	13,529	13,596
Plexiglas	1,18		Alcool absolu	0,794	
Plomb	11,37		Alcool méthylique	0,798	
Poirier	0,7	0,84	Acide sulfurique	1,84	
Pommier	0,73	0,8	Acide nitrique fumant	1,52	
Porcelaine	2,2	2,5	Acide nitrique (HNO ₃)	1,42	
Potassium	0,865		Acide chlorydrique (HCl, 3 H ₂ O)	1,21	
Poudre à canon	0,84		Benzène	0,899	
Quartz	2,65		Eau de mer	1,024	
Rhodium	11		Eau distillée	1	
Roche			Ether Ordinaire	0,73	
Sable	1,3	1,8	Essence de trébenthine	0,86	
Sapin	0,45		Eau saturée	9,998	
Silicium	2,49		Eau saturée	9,983	
Sodium	0,97		Eau saturée	9,923	
Soufre (S)	2,07		Eau saturée	9,831	
Sucre	1,6		Eau saturée	9,716	
Suif	0,94		Eau saturée	9,581	
Tantale			Eau saturée	8,647	
Teak	0,86		Eau saturée	7,122	
Téflon	2,2		Fréon (C Cl ₂ F ₂)	13,058	
Terre argileuse	1,3	2,1	Glycérine	1,257	
Tilleul	0,6		Huile d'amande douce	0,917	
Titane	4,42	4,51	Huile de baleine	0,923	
Tungstène (W)	17,6		Huile de lin	0,94	
Vanadium (V)	6		Huile de navette	0,919	
Verre à vitre (plaque)	2,5	2,6	Huile de noix	0,922	
Verre pyrex	2,225		Huile d'olive	0,915	
Zinc fondu (Zn)	6,86		Huile de pavot	0,928	
Zinc laminé	7,19		Huile de ricin	0,962	
Zirconium	6,55		Huile hydraulique minérale	0,89	
ZrO ₂	5,77		Lait	1,03	
			Pétrole	0,82	
			Perchloréthylène à 15° cent	1,66	
			Tétrachlorure de carbone	1,631	
			Trichloréthylène à 15° cent	1,47	
			Vin	0,99	

GAZ (g/m ³)	MINI	MAXI	GAZ (g/m ³)	MINI	MAXI
1 dm ³ d'air pesé	1.293 gr		Chlore	2,45	
Acide carbonique	1,53		Cyanogène	1,806	
Acide sulfhydrique	1,19		Ethylène (C ₂ H ₄)	0,98	
Acide sulfurique	2,27		Fréon (C Cl ₂ F ₂)		
Air	1	kg/dm ³	Gaz d'éclairage	0,399	
Air	1,1614		Hélium	0,01625	
Air	0,3482		Hélium	0,0488	
Air	0,1741		Hydrogène	0,0692	
Ammoniac	0,59	0,6894	Métane ou gaz des marais (CH ₄)	0,558	
Ammoniac	0,4101		Oxyde de carbone	0,968	
Azote	0,972		Oxygène	1,1056	
Bioxyde d'azote	1,037		Protoxyde d'azote	1,614	



Indices de prix (à titre indicatif) de métaux usinés / traités (le cas échéant)

[sommaire](#)

Nuance	facteur	indice au Kg (€)	indice au dm3 (€)	indice au Kg (\$can)	indice au dm3 (\$can)
Aciers					
e235 / e335 / fe360 / xc18 / xc38 / xc48 (aisi 1018)	80	1,60	12,56	2,32	18,21
xc18 / xc38 cem / tr / rev (aisi 1018)	650	13,00	102,05	18,85	147,97
xc48 nit (aisi 1045)	350	7,00	54,95	10,15	79,68
xc48 nit / tr (aisi 1045)	505	10,10	79,29	14,65	114,96
xc70 (aisi1070)	350	7,00	54,95	10,15	79,68
xc70 tr / rev (aisi1070)	830	16,60	130,31	24,07	188,95
z160cdv12 tr / rev (aisiD2)	800	16,00	125,60	23,20	182,12
z160cdv12 tr / rev / ni ionique (aisiD2)	1170	23,40	183,69	33,93	266,35
z3cn18 hypertrempe (aisi 631)	250	5,00	39,25	7,25	56,91
Aluminiums					
AA1050 (AL99,5)	200	4,00	10,80	5,80	15,66
Au4G 2017A	295	5,90	15,93	8,56	23,10
AA7075	355	7,10	19,17	10,30	27,80
Fortal	490	9,80	26,46	14,21	38,37
Alplan / Usiplan	690	13,80	37,26	20,01	54,03
Alliages de cuivre					
bronze d'alu CuAl10Ni5Fe5	570	11,40	102,60	16,53	148,77
CuSn10Pb10	395	7,90	71,10	11,46	103,10
CuSn7Pb7Zn4	330	6,60	59,40	9,57	86,13
CuSn8P	425	8,50	76,50	12,33	110,93
CuZn25Al5Mn4Fe3	550	11,00	99,00	15,95	143,55
CuZn39Pb3	340	6,80	61,20	9,86	88,74
CuZn40Pb2	340	6,80	61,20	9,86	88,74
Titanes					
TiAl6V4 (rond)	3000	60,00	270,00	87,00	391,50
TiAl6V4 (Tôle)	5600	112,00	504,00	162,40	730,80



ACIERS

Equivalences

[sommaire](#)

AFNOR	ISO	numérique	AISI
E24-2 (NF)	S235 JR	1.0037	
E36-4 (NF)	S355K2G3	1.0595	1020
S300Pb (NF)	11SMnPb37	1.0737	
S250Pb (NF)	11SMnPb30	1.0718	
45SPb20 (DIN)	46SPb20	1.0757	
XC 18	C22E	1.1121	1018
16 MC 5 (NF)	16MnCr52	1.7131	
16 MC 5 (NF)	16MnCrS5	1.7139	
20 NCD 2 (NF)	20NiCrMo2-22	1.6523	
XC38H1/H2	C35E	1.6526	1035
18 NCD 6	18CrNiMo7-6	1.6587	
XC 48 (NF)	C45E2	1.1191	1045
XC 70	C70U	1.1201	1070
40CMD8S	40CrMnNiMo8-6-4	1.7225	P20
25 CD 4	25CrMoS4	1.7227	4140
30 CND 8	30CrNiMo8	1.6580	
35 NCD 16	36NiCrMo16	1.6773	
100 C 6	100Cr6	1.3505	
34CD4	34CrMos4		4135

ACIERS INOXYDABLES

AFNOR	ISO	numérique	AISI
301	X9CrNiMo17-8	1.4310	301
302	Z12CN18-09	1.4310	302
303 (USA-AISI)	X8CrNi18-9	1.4305	303
303Cu (USA-AISI)	X6CrNiCuS18-9-2	1.4570	303Cu
304 (USA-AISI)	X5CrNi18-10	1.4301	304
304 L (USA-AISI)	X2CrNi18-9	1.4307	304 L
304 L	X2CrNi19-11	1.4306	304 L
304Cu (USA-AISI)	X3CrNiCu18-9-2	1.4567	304Cu
316 (USA-AISI)	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316
316L (USA-AISI)	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L
321		1.4541	321
420 (USA-AISI)	X44CrS14	1.4034F	420
420F	X22CrMoNuS13-1		420F
631	Z8CNA17-7	1.4568	631
904 L			904 L
22-05 (S31803)	Z3CND22-05-03	1.4462	
17-4 PH (USA-SAE)	X5CrNiCuNb16-4	1.4542	17-4 PH
25-07 (S32750)		1.4410	
	X32CrNi12	1.4003	403
	X32CrTi12	1.4512	409

normalisation des aciers selon CSA G40.21			limites élastiques	
type	caractéristiques générales		KSI	MPA
G	acier de construction général, qui rencontre des exigences minima de résistance, mais non recommandé pour un service en basse température. Principalement conçu pour les applications rivées ou boulonnées. Toutefois, peut être soudé en conditions d'atelier contrôlées avec soin, mais n'est pas conseillé sur chantiers ou le contrôle peut être difficile à effectuer.		33, 50, 60	230, 350 400
W	aciés soudables pour la construction en général, disponibles en six grades de résistance, ces aciers sont largement employés pour la construction es ponte et autres structures lourdement chargées. Le grade 44W est recommandé pour la construction normale de batiment lorsque les procédures de soudure sur les chantiers ou en atelier sont employées. Ils ne sont pas recommandés spécifiquement pour les applications à basse température.		33,38,44, 50,60,70	230,260, 300,350, 400,480
T	aciés soudables à basse température. Acier de charpente soudable et de qualité supérieure avec une composition chimique qui le rend convenable pour des applications à basse température. Il possède une bonne résistance contre les encoches "tel que laminé". Employé ds la construction des ponts pour tous genres de chargements. les exigences certifiées de l'épreuve par choc sont disponibles. de soudure facile en utilisant les méthodes habituelles en atelier ou en chantier.		38,44, 50,60, 70	260,300, 350,400, 480
R	aciés à charpente, 4x plus résistants à la corrosion atmosphérique que l'XC ss cuivre. Limité a 1/2po d'épaisseur, facilement soudable en atelier ou sur chantier. Les applications populaires sont la toiture non peinte, la voie d'embranchement, facia et le rideau métallique		50	350
A	aciés à charpente, plus résistants à la corrosion atmosphérique, et possédant des propriétés améliorées à basse température. Des aciers de première qualité pour plaques et charpentes. Ces aciers à basse teneur en alliage et de haute résistance possèdent de bonnes prop. à basse temp. et offrent une bonne résistance à long terme contre la corrosion atmo. Ils sont soudables ds toutes les épaisseurs et sont largement employés peints ou non dans la construction des ponts, des poutres exposées, colonnes et autres constructions. une bonne robustesse contre les encoches dans les conditions "tel que laminé", laminage contrôlé et normalisé.		50,6	350,4
Q	plaqué en acier à basse teneur en alliage, trempé et revenu. Des aciers qui révèlent une très grande limite élastique ainsi qu'une bonne résistance à l'effrittement. Ils sont convenables pour les ponts et les autres charpentes. Peuvent être soudés pourvu que les techniques employées n'affectent pas les propriétés de la plaque défavorablement.		100	700

ACIERS A OUTILS**Equivalences**

AFNOR	ISO	numérique	AISI
40CMD8+S	40CrMnMoS8	1.2312	p20+ souffre
90MCWV5 / 90MnCrWV5	95MnWCr5	1.2825	
ASP 2023	HS6-5-3/M3:2	1.3344	
ASP 2030	HS6-5-3-8		
ASP 2052	HS10-2-5-8		
ASP 2053	HS4-3-8		
ASP 2060	HS6-7-6-10	1.3241	
Z38CD17+S	X38CrMoS17		
Z38CD17	X38CrMo17		
Z38CDV5	X37CrMoV5-1	1.2343	H11
Z85WDKCV6-5-4-2	HS6-5-2/M2	1.3343	M2
Z90WDKCV6-5-4-2	HS6-5-2-5/M35	1.3243	
Z110DKCWV9-8-4-2-1	HS2-9-1-8/M42	1.3247	
Z160CDV12	X153CrMoV12	1.2379	D2
Z200C12 / X200Cr12/z210c12	X210Cr12		D3
Z100CMV5	X100CrMoV5		A2
40CAD6-12			A355 cl4

NON FERREUX

AFNOR	ISO	numérique	AISI
2017A ou A-U4G	EN AW-2017A [AlCu4MgSi(A)]		2017A
2618A ou AU2GN			2618A
5083 ou AG.5			5083
5754 ou AG3M			5754
6060 ou AGS			6060
7075	EN AW-7075 [AlZn5,5MgCu]		7075
CuZn35Pb2	CW614N / CuZn39Pb2	CW614N	B124377
CuZn40Pb3	CuZn39Pb3 / CW614N	CW614 N	
CuTeP	CuTeP	CW118C	
CuSn4Pb4Zn4	CuSn4Pb4Zn4	CW456K	
CuNi18Zn19Pb1	CuNi18Zn19Pb1	CW408J	
CuNi7Zn39Mn2Pb3	CuNi7Zn39Mn2Pb3	CW400J	
TA6V	TA6V		
Inconel 600	NiCr15Fe	2.4816	
Inconel 718	NC19FeNb	2.4669	

(source: muller)

Résistance à la traction N/mm ²	Dureté Vickers	Dureté Brinell	Dureté Rockwell		
			HRA	HRB	HRC
255	80	76			
270	85	80,75		41	
285	90	85,5		48	
305	95	90,25		52	
320	100	95		56,2	
335	105	99,75			
350	110	104,5		62,3	
370	115	109,25			
385	120	114		66,7	
400	125	118,75			
415	130	123,5		71,2	
430	135	128,25			
450	140	133		75	
465	145	137,75			
480	150	142,5		78,7	
495	155	147,25			
510	160	152		81,7	
530	165	156,75			
545	170	161,5		85	
560	175	166,25			
575	180	171		87,1	
595	185	175,75			
610	190	180,5		89,5	
625	195	185,25			
640	200	190		91,5	
660	205	194,75		92,5	
675	210	199,5		93,5	
690	215	204,25		94	
705	220	209		95	
720	225	213,75		96	
740	230	218,5		96,7	
755	235	223,25			
770	240	228	60,7	98,1	20,3
785	245	232,75	61,2		21,3
800	250	237,5	61,6	99,5	22,2
820	255	242,25	62		23,1
835	260	247	62,4	101	24
850	265	251,75	62,7		24,8
865	270	256,5	63,1	102	25,6
880	275	261,25	63,5		26,4
900	280	266	63,8	104	27,1
915	285	270,75	64,2		27,8
930	290	275,5	64,5	105	28,5
950	295	280,25	64,8		29,2
965	300	285	65,2		29,8
995	310	294,5	65,8		31
1030	320	304	66,4		32,2
1060	330	313,5	67		33,3
1095	340	323	67,6		34,3
1125	350	332,5	68,1		35,3
1155	360	342	68,7		36,3
1190	370	351,5	69,2		37,3
1220	380	361	69,8		38,8
1255	390	370,5	70,3		39,8
1290	400	380	70,8		40,8

Résistance à la traction N/mm ²	Dureté Vickers	Dureté Brinell	Dureté Rockwell		
			HRA	HRB	HRC
1320	410	389,5	71,4	41,8	
1350	420	399	71,8	42,7	
1385	430	408,5	72,3	43,6	
1420	440	418	72,8	44,5	
1455	450	427,5	73,3	45,3	
1485	460	437	73,6	46,1	
1520	470	446,5	74,1	46,9	
1555	480	456	74,5	47,7	
1595	490	465,5	74,9	48,4	
1630	500	475	75,3	49,1	
1665	510	484,5	75,7	49,8	
1700	520	494	76,1	50,5	
1740	530	503,5	76,4	51,1	
1775	540	513	76,7	51,7	
1810	550	522,5	77	52,3	
1845	560	532	77,4	53	
1880	570	541,5	77,8	53,6	
1920	580	551	78	54,1	
1955	590	560,5	78,4	54,7	
1995	600	570	78,6	55,2	
2030	610	579,5	78,9	55,7	
2070	620	589	79,2	56,3	
2105	630	598,5	79,5	56,8	
2145	640	608	79,8	57,3	
2180	650	617,5	80	57,8	
	660		80,3	58,3	
	670		80,6	58,8	
	680		80,8	59,2	
	690		81,1	59,7	
	700		81,3	60,1	
	720		81,8	61	
	740		82,2	61,8	
	760		82,6	62,5	
	780		83	63,3	
	800		83,4	64	
	820		83,8	64,7	
	840		84,1	65,3	
	860		84,4	65,9	
	880		84,7	66,4	
	900		85	67	
	920		85,3	67,5	
	940		85,6	68	

sommaire

Grandeur	Unités légales S.I (ISO)	Autres unités et conversions
Distance	m (mètre)	1m = 3.2808ft / 1m = 39.37po
Vitesse	m/s (mètre par seconde)	3,6 km/h = 1 m/s
Accélération	m/s ² (mètre par seconde ²)	= 0.10197g / 1g=9.81m.sec ²
Fréquence de rotation	rd/s (radian par seconde)	1 tr/min = 2p/60 rd/s
Accélération angulaire	rd/s ² (radian par seconde ²)	
Temps	s (seconde)	1 heure = 3600s
Force	N (Newton)	1N = 0.10197Kgf 1Kgf = 9.81N
Moment (ou couple)	N.m (Newton mètre)	1Nm = 8.8507Lbs/po
Masse	kg (kilogramme)	1kg=9.81N
Pression	Pa (Pascal)	1 bar = 1.6MPa = 29.53 po.Hg = 750mmHg = 14.504 lbs/po ² (psi)
Puissance	W, j (Watt, joule)	1cv = 736W, 1w=3600 joules
température	degré Kelvin	°C= °K + 273,15 = (°F - 32) / 1,8
Energie	J (Joules)	1j=1w/sec. 1w/h=3600joules
viscosité dynamique	pascal/seconde	1pa/s=1poiseuille=10poises visc de l'eau à 20°C = 1 centipoise
viscosité cinématique (viscosité dynamique / masse volumique)	stoke	m ² /sec 1stoke=1cm ³ /sec, 1centistoke=1mm ³ /sec

multiplicateurs

10	+18	Exa	E
10	+15	Péta	P
10	+12	Tera	T
10	+9	Giga	G
10	+6	Méga	M
10	+3	kilo	K
10	+2	hecto	hH
10	+1	deca	Da
1		unité	
10	-1	déci	d
10	-2	centi	c
10	-3	milli	m
10	-6	micro	μ
10	-9	nano	n
10	-12	pico	p
10	-15	femto	f
10	-18	atto	a

surfaces:
(modifier la valeur des cases colorées)

M2		
1	10000	Cm2
	1000000	mm2
	0,00	hectares
	0,00	acres
	1550,00	pouces ²
	10,76	pieds ²
	1,20	yards ²
	0,00	arpents
1	0,16	po ²
cm2	100,00	mm2

Pressions
(modifier la valeur de la case colorée)

1 pasca l = 1 Newton x M2		
1	98,10	N x Cm2
mpa	10,00	bars
	10,20	kg/cm ²
	1019,72	kg/mm ²
	145,04	psi
	9,87	atmosphères
	1000,00	Kpa
	10000	Hpa / mbar (approx)

formats de dessin



[sommaire](#)

ANSI

nom 1	nom 2	nom 3	nom 4	taille (mm)	taille (po)
ANSI A	1	Letter		216 x 279	8.5x11
Legal					8.5x14
ANSI B	2	tabloid	Ledger	279 x 432	11x17
ANSI C	4			432 x 559	17x22
ANSI D	5			559 x 864	22x34
ANSI E	E			864 x 1118	34x44
ANSI F	6			711,2 x 1016	28x40

ISO

la largeur égale la longueur x racine de 2

nom	taille (mm)
A4	210x297
A3	297x420
A2	420x594
A1	594x841
A0	841x1189

Conversions en 1/16

1	1/16
2	1/8
3	3/16
4	1/4
5	5/16
6	3/8
7	7/16
8	1/2
9	9/16
10	5/8
11	11/16
12	3/4
13	13/16
14	7/8
15	15/16
16	1

échelles en douzièmes

1:1	12:12
3:4	9:12
2:3	8:12
1:2	6:12
1:4	3:12
1:8	1 1/2:12
1:12	1:12
1:16	3/4:12
1:24	1/2:12

pouces / millièmes de po / mm / vis équivalentes (approx)					
Po	1/1000 po	Mm	Vis equiv.	imperiales (UNC - UNF)	
1/32	31,25	0,79375	(approx.)		
1/16	62,5	1,5875			
3/32	93,75	2,38125			
1/8	125	3,175	M3	n°6 32 - 40	
5/32	156,25	3,96875	M4	n°8 32 - 36	
3/16	187,5	4,7625			
7/32	218,75	5,55625	M5	n°10 24 - 32	
1/4	250	6,35	M6	1/4 20 - 28	
9/32	281,25	7,14375			
5/16	312,5	7,9375	M8	5/16 18 - 24	
11/32	343,75	8,73125			
3/8	375	9,525	M10	3/8 16 - 24	
13/32	406,25	10,31875			
7/16	437,5	11,1125			
15/32	468,75	11,90625			
1/2	500	12,7	M12	1/2 13 - 20	

sommaire



..

po	1/1000	mm	vis equiv.	imperiales (UNC - UNF)
17/32	531,25	13,49375		
9/16	562,5	14,2875		
19/32	593,75	15,08125		
5/8	625	15,875	M16	5/8 11 - 18
21/32	656,25	16,66875		
11/16	687,5	17,4625		
23/32	718,75	18,25625		
¾	750	19,05	M20	3/4 10 - 16
25/32	781,25	19,84375		
13/16	812,5	20,6375		
27/32	843,75	21,43125		
7/8	875	22,225		
29/32	906,25	23,01875		
15/16	937,5	23,8125		
31/32	968,75	24,60625		
1	1000	25,4	M24	1 8 - 12

1/1000 po	1/100 mm
1	2,54
2	5,08
3	7,62
4	10,16
5	12,7
6	15,24
7	17,78
8	20,32
9	22,86
10	25,4
50	127
100	254
150	381
200	508
250	635

convertXpress

pieds 5,00
pouces 8,00
en pouces 68,00
en mm 1727,20

1/1000 po	1/100 mm
300	762
350	889
400	1016
450	1143
500	1270
550	1397
600	1524
650	1651
700	1778
750	1905
800	2032
850	2159
900	2286
950	2413
1000	2540

Consommation essence véhicules

diviser 282.48 par la conso au 100km pour l'obtenir en miles au gallon (UK)
Mi/Gal 18,00
=L/100 15,69

1/100 mm	1/1000 po
1	0,39
2	0,79
3	1,18
4	1,57
5	1,97
6	2,36
7	2,76
8	3,15
9	3,54
10	3,94
15	5,91
20	7,87
25	9,84
30	11,81
35	13,78

Convertisseur

pieds + pouces = Total en pieds et en mm			
pieds	pouces	Total pieds	mm
10	37/4	10,7708	3283,0

pieds / mètres											
pieds	mètres	pieds	mètres	pieds	mètres	pieds	mètres	pieds	mètres	pieds	mètres
1	0,30	31	9,45	61	18,59	91	27,74	121	36,88	151	46,02
2	0,61	32	9,75	62	18,90	92	28,04	122	37,19	152	46,33
3	0,91	33	10,06	63	19,20	93	28,35	123	37,49	153	46,63
4	1,22	34	10,36	64	19,51	94	28,65	124	37,80	154	46,94
5	1,52	35	10,67	65	19,81	95	28,96	125	38,10	155	47,24
6	1,83	36	10,97	66	20,12	96	29,26	126	38,40	156	47,55
7	2,13	37	11,28	67	20,42	97	29,57	127	38,71	157	47,85
8	2,44	38	11,58	68	20,73	98	29,87	128	39,01	158	48,16
9	2,74	39	11,89	69	21,03	99	30,18	129	39,32	159	48,46
10	3,05	40	12,19	70	21,34	100	30,48	130	39,62	160	48,77
11	3,35	41	12,50	71	21,64	101	30,78	131	39,93	161	49,07
12	3,66	42	12,80	72	21,95	102	31,09	132	40,23	162	49,38
13	3,96	43	13,11	73	22,25	103	31,39	133	40,54	163	49,68
14	4,27	44	13,41	74	22,56	104	31,70	134	40,84	164	49,99
15	4,57	45	13,72	75	22,86	105	32,00	135	41,15	165	50,29
16	4,88	46	14,02	76	23,16	106	32,31	136	41,45	166	50,60
17	5,18	47	14,33	77	23,47	107	32,61	137	41,76	167	50,90
18	5,49	48	14,63	78	23,77	108	32,92	138	42,06	168	51,21
19	5,79	49	14,94	79	24,08	109	33,22	139	42,37	169	51,51
20	6,10	50	15,24	80	24,38	110	33,53	140	42,67	170	51,82
21	6,40	51	15,54	81	24,69	111	33,83	141	42,98	171	52,12
22	6,71	52	15,85	82	24,99	112	34,14	142	43,28	172	52,43
23	7,01	53	16,15	83	25,30	113	34,44	143	43,59	173	52,73
24	7,32	54	16,46	84	25,60	114	34,75	144	43,89	174	53,04
25	7,62	55	16,76	85	25,91	115	35,05	145	44,20	175	53,34
26	7,92	56	17,07	86	26,21	116	35,36	146	44,50	176	53,64
27	8,23	57	17,37	87	26,52	117	35,66	147	44,81	177	53,95
28	8,53	58	17,68	88	26,82	118	35,97	148	45,11	178	54,25
29	8,84	59	17,98	89	27,13	119	36,27	149	45,42	179	54,56
30	9,14	60	18,29	90	27,43	120	36,58	150	45,72	180	54,86

1,00		bar=		14,50		psi		1		psi=		0,069		bar	
pressions psi / bar (approx kg/cm2) 10bars=1Mpa															
psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar
1	0,07	31	2,14	61	4,21	91	6,27	121	8,34	151	10,41				
2	0,14	32	2,21	62	4,27	92	6,34	122	8,41	152	10,48				
3	0,21	33	2,28	63	4,34	93	6,41	123	8,48	153	10,55				
4	0,28	34	2,34	64	4,41	94	6,48	124	8,55	154	10,62				
5	0,34	35	2,41	65	4,48	95	6,55	125	8,62	155	10,69				
6	0,41	36	2,48	66	4,55	96	6,62	126	8,69	156	10,76				
7	0,48	37	2,55	67	4,62	97	6,69	127	8,76	157	10,82				
8	0,55	38	2,62	68	4,69	98	6,76	128	8,83	158	10,89				
9	0,62	39	2,69	69	4,76	99	6,83	129	8,89	159	10,96				
10	0,69	40	2,76	70	4,83	100	6,89	130	8,96	160	11,03				
11	0,76	41	2,83	71	4,90	101	6,96	131	9,03	161	11,10				
12	0,83	42	2,90	72	4,96	102	7,03	132	9,10	162	11,17				
13	0,90	43	2,96	73	5,03	103	7,10	133	9,17	163	11,24				
14	0,97	44	3,03	74	5,10	104	7,17	134	9,24	164	11,31				
15	1,03	45	3,10	75	5,17	105	7,24	135	9,31	165	11,38				
16	1,10	46	3,17	76	5,24	106	7,31	136	9,38	166	11,45				
17	1,17	47	3,24	77	5,31	107	7,38	137	9,45	167	11,51				
18	1,24	48	3,31	78	5,38	108	7,45	138	9,51	168	11,58				
19	1,31	49	3,38	79	5,45	109	7,52	139	9,58	169	11,65				
20	1,38	50	3,45	80	5,52	110	7,58	140	9,65	170	11,72				
21	1,45	51	3,52	81	5,58	111	7,65	141	9,72	171	11,79				
22	1,52	52	3,59	82	5,65	112	7,72	142	9,79	172	11,86				
23	1,59	53	3,65	83	5,72	113	7,79	143	9,86	173	11,93				
24	1,65	54	3,72	84	5,79	114	7,86	144	9,93	174	12,00				
25	1,72	55	3,79	85	5,86	115	7,93	145	10,00	175	12,07				
26	1,79	56	3,86	86	5,93	116	8,00	146	10,07	176	12,13				
27	1,86	57	3,93	87	6,00	117	8,07	147	10,14	177	12,20				
28	1,93	58	4,00	88	6,07	118	8,14	148	10,20	178	12,27				
29	2,00	59	4,07	89	6,14	119	8,20	149	10,27	179	12,34				
30	2,07	60	4,14	90	6,21	120	8,27	150	10,34	180	12,41				

°C=		°F		températures							
°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-20	-4,00	145	293,00	310	590,00	475	887,00	780	1436,00	1110	2030,00
-15	5,00	150	302,00	315	599,00	480	896,00	790	1454,00	1120	2048,00
-10	14,00	155	311,00	320	608,00	485	905,00	800	1472,00	1130	2066,00
-5	23,00	160	320,00	325	617,00	490	914,00	810	1490,00	1140	2084,00
0	32,00	165	329,00	330	626,00	495	923,00	820	1508,00	1150	2102,00
5	41,00	170	338,00	335	635,00	500	932,00	830	1526,00	1160	2120,00
10	50,00	175	347,00	340	644,00	510	950,00	840	1544,00	1170	2138,00
15	59,00	180	356,00	345	653,00	520	968,00	850	1562,00	1180	2156,00
20	68,00	185	365,00	350	662,00	530	986,00	860	1580,00	1190	2174,00
25	77,00	190	374,00	355	671,00	540	1004,00	870	1598,00	1200	2192,00
30	86,00	195	383,00	360	680,00	550	1022,00	880	1616,00	1210	2210,00
35	95,00	200	392,00	365	689,00	560	1040,00	890	1634,00	1220	2228,00
40	104,00	205	401,00	370	698,00	570	1058,00	900	1652,00	1230	2246,00
45	113,00	210	410,00	375	707,00	580	1076,00	910	1670,00	1240	2264,00
50	122,00	215	419,00	380	716,00	590	1094,00	920	1688,00	1250	2282,00
55	131,00	220	428,00	385	725,00	600	1112,00	930	1706,00	1260	2300,00
60	140,00	225	437,00	390	734,00	610	1130,00	940	1724,00	1270	2318,00
65	149,00	230	446,00	395	743,00	620	1148,00	950	1742,00	1280	2336,00
70	158,00	235	455,00	400	752,00	630	1166,00	960	1760,00	1290	2354,00
75	167,00	240	464,00	405	761,00	640	1184,00	970	1778,00	1300	2372,00
80	176,00	245	473,00	410	770,00	650	1202,00	980	1796,00	1310	2390,00
85	185,00	250	482,00	415	779,00	660	1220,00	990	1814,00	1320	2408,00
90	194,00	255	491,00	420	788,00	670	1238,00	1000	1832,00	1330	2426,00
95	203,00	260	500,00	425	797,00	680	1256,00	1010	1850,00	1340	2444,00
100	212,00	265	509,00	430	806,00	690	1274,00	1020	1868,00	1350	2462,00
105	221,00	270	518,00	435	815,00	700	1292,00	1030	1886,00	1360	2480,00
110	230,00	275	527,00	440	824,00	710	1310,00	1040	1904,00	1370	2498,00
115	239,00	280	536,00	445	833,00	720	1328,00	1050	1922,00	1380	2516,00
120	248,00	285	545,00	450	842,00	730	1346,00	1060	1940,00	1390	2534,00
125	257,00	290	554,00	455	851,00	740	1364,00	1070	1958,00	1400	2552,00
130	266,00	295	563,00	460	860,00	750	1382,00	1080	1976,00	1410	2570,00
135	275,00	300	572,00	465	869,00	760	1400,00	1090	1994,00	1420	2588,00
140	284,00	305	581,00	470	878,00	770	1418,00	1100	2012,00	1430	2606,00

couples / torque

Nm	mKg	ft/lbs
1,00	0,10	1,36
2,00	0,20	2,71
3,00	0,31	4,07
4,00	0,41	5,43
5,00	0,51	6,78
6,00	0,61	8,14
7,00	0,71	9,50
8,00	0,82	10,86
9,00	0,92	12,21
10,00	1,02	13,57
20,00	2,04	27,14
30,00	3,06	40,71
40,00	4,08	54,28
50,00	5,10	67,85
60,00	6,12	81,41
70,00	7,14	94,98
80,00	8,16	108,55
90,00	9,18	122,12
100,00	10,20	135,69
110,00	11,22	149,26
120,00	12,24	162,83
130,00	13,26	176,40
140,00	14,28	189,97
150,00	15,30	203,54
160,00	16,31	217,10
170,00	17,33	230,67
180,00	18,35	244,24
190,00	19,37	257,81
200,00	20,39	271,38

Nm	mKg	ft/lbs
210,00	21,41	284,95
220,00	22,43	298,52
230,00	23,45	312,09
240,00	24,47	325,66
250,00	25,49	339,23
260,00	26,51	352,79
270,00	27,53	366,36
280,00	28,55	379,93
290,00	29,57	393,50
300,00	30,59	407,07
310,00	31,61	420,64
320,00	32,63	434,21
330,00	33,65	447,78
340,00	34,67	461,35
350,00	35,69	474,92
360,00	36,71	488,48
370,00	37,73	502,05
380,00	38,75	515,62
390,00	39,77	529,19
400,00	40,79	542,76
410,00	41,81	556,33
420,00	42,83	569,90
430,00	43,85	583,47
440,00	44,87	597,04
450,00	45,89	610,61
460,00	46,91	624,17
470,00	47,92	637,74
480,00	48,94	651,31
490,00	49,96	664,88

seizièmes	fractions	1/1000"	mm
1	1/16	0,063	1,588
2	1/8	0,125	3,175
3	3/16	0,188	4,763
4	1/4	0,250	6,350
5	5/16	0,313	7,938
6	3/8	0,375	9,525
7	7/16	0,438	11,113
8	1/2	0,500	12,700
9	9/16	0,563	14,288
10	5/8	0,625	15,875
11	11/16	0,688	17,463
12	3/4	0,750	19,050
13	13/16	0,813	20,638
14	7/8	0,875	22,225
15	15/16	0,938	23,813
16	1	1,000	25,400

pouces	pieds	mètres
12	1	0,30
24	2	0,61
36	3	0,91
48	4	1,22
60	5	1,52
72	6	1,83
84	7	2,13
96	8	2,44
108	9	2,74
120	10	3,05
132	11	3,35
144	12	3,66
156	13	3,96
168	14	4,27
180	15	4,57
192	16	4,88
204	17	5,18
216	18	5,49
228	19	5,79
240	20	6,10
252	21	6,40
264	22	6,71
276	23	7,01
288	24	7,32
300	25	7,62
312	26	7,92
324	27	8,23
336	28	8,53
348	29	8,84
360	30	9,14
372	31	9,45
384	32	9,75
396	33	10,06
408	34	10,36

pouces	pieds	mètres
420	35	10,67
432	36	10,97
444	37	11,28
456	38	11,58
468	39	11,89
480	40	12,19
492	41	12,50
504	42	12,80
516	43	13,11
528	44	13,41
540	45	13,72
552	46	14,02
564	47	14,33
576	48	14,63
588	49	14,94
600	50	15,24
612	51	15,54
624	52	15,85
636	53	16,15
648	54	16,46
660	55	16,76
672	56	17,07
684	57	17,37
696	58	17,68
708	59	17,98
720	60	18,29
732	61	18,59
744	62	18,90
756	63	19,20
768	64	19,51
780	65	19,81
792	66	20,12
804	67	20,42
816	68	20,73

pieds	pouces	mm	pieds	pouces	mm	pieds	pouces	mm												
0,1	1	25,40	0,1	109	2768,60	0,1	217	5511,80	0,1	325	8255,00	0,1	433	10998,20	0,1	541	13741,40	0,1	541	13741,40
0,2	2	50,80	0,2	110	2794,00	0,2	218	5537,20	0,2	326	8280,40	0,2	434	11023,60	0,2	542	13766,80	0,2	542	13766,80
0,3	3	76,20	0,3	111	2819,40	0,3	219	5562,60	0,3	327	8305,80	0,3	435	11049,00	0,3	543	13792,20	0,3	543	13792,20
0,4	4	101,60	0,4	112	2844,80	0,4	220	5588,00	0,4	328	8331,20	0,4	436	11074,40	0,4	544	13817,60	0,4	544	13817,60
0,5	5	127,00	0,5	113	2870,20	0,5	221	5613,40	0,5	327	8356,60	0,5	437	11099,80	0,5	545	13843,00	0,5	545	13843,00
0,6	6	152,40	0,6	114	2895,60	0,6	222	5638,80	0,6	330	8382,00	0,6	438	11125,20	0,6	546	13868,40	0,6	546	13868,40
0,7	7	177,80	0,7	115	2921,00	0,7	223	5664,20	0,7	331	8407,40	0,7	439	11150,60	0,7	547	13893,80	0,7	547	13893,80
0,8	8	203,20	0,8	116	2946,40	0,8	224	5689,60	0,8	328	8432,80	0,8	440	11176,00	0,8	548	13919,20	0,8	548	13919,20
0,9	9	228,60	0,9	117	2971,80	0,9	225	5715,00	0,9	329	8458,20	0,9	441	11201,40	0,9	549	13944,60	0,9	549	13944,60
0,10	10	254,00	0,10	118	2997,20	0,10	226	5740,40	0,10	334	8483,60	0,10	442	11226,80	0,10	550	13970,00	0,10	550	13970,00
0,11	11	279,40	0,11	119	3022,60	0,11	227	5765,80	0,11	335	8509,00	0,11	443	11252,20	0,11	551	13995,40	0,11	551	13995,40
1	12	304,80	1	120	3048,00	1	228	5791,20	1	336	8534,40	1	444	11277,60	1	552	14020,80	1	552	14020,80
1,1	13	330,20	1,1	121	3073,40	1,1	229	5816,60	1,1	337	8559,80	1,1	445	11303,00	1,1	553	14046,20	1,1	553	14046,20
1,2	14	355,60	1,2	122	3098,80	1,2	230	5842,00	1,2	338	8585,20	1,2	446	11328,40	1,2	554	14071,60	1,2	554	14071,60
1,3	15	381,00	1,3	123	3124,20	1,3	231	5867,40	1,3	339	8610,60	1,3	447	11353,80	1,3	555	14097,00	1,3	555	14097,00
1,4	16	406,40	1,4	124	3149,60	1,4	232	5892,80	1,4	340	8636,00	1,4	448	11379,20	1,4	556	14122,40	1,4	556	14122,40
1,5	17	431,80	1,5	125	3175,00	1,5	233	5918,20	1,5	341	8661,40	1,5	449	11404,60	1,5	557	14147,80	1,5	557	14147,80
1,6	18	457,20	1,6	126	3200,40	1,6	234	5943,60	1,6	342	8686,80	1,6	450	11430,00	1,6	558	14173,20	1,6	558	14173,20
1,7	19	482,60	1,7	127	3225,80	1,7	235	5969,00	1,7	343	8712,20	1,7	451	11455,40	1,7	559	14198,60	1,7	559	14198,60
1,8	20	508,00	1,8	128	3251,20	1,8	236	5994,40	1,8	344	8737,60	1,8	452	11480,80	1,8	560	14224,00	1,8	560	14224,00
1,9	21	533,40	1,9	129	3276,60	1,9	237	6019,80	1,9	345	8763,00	1,9	453	11506,20	1,9	561	14249,40	1,9	561	14249,40
1,10	22	558,80	1,10	130	3302,00	1,10	238	6045,20	1,10	346	8788,40	1,10	454	11531,60	1,10	562	14274,80	1,10	562	14274,80
1,11	23	584,20	1,11	131	3327,40	1,11	239	6070,60	1,11	347	8813,80	1,11	455	11557,00	1,11	563	14300,20	1,11	563	14300,20
2	24	609,60	2	132	3352,80	2	240	6096,00	2	348	8839,20	2	456	11582,40	2	564	14325,60	2	564	14325,60
2,1	25	635,00	2,1	133	3378,20	2,1	241	6121,40	2,1	349	8864,60	2,1	457	11607,80	2,1	565	14351,00	2,1	565	14351,00
2,2	26	660,40	2,2	134	3403,60	2,2	242	6146,80	2,2	350	8890,00	2,2	458	11633,20	2,2	566	14376,40	2,2	566	14376,40
2,3	27	685,80	2,3	135	3429,00	2,3	243	6172,20	2,3	351	8915,40	2,3	459	11658,60	2,3	567	14401,80	2,3	567	14401,80
2,4	28	711,20	2,4	136	3454,40	2,4	244	6197,60	2,4	352	8940,80	2,4	460	11684,00	2,4	568	14427,20	2,4	568	14427,20
2,5	29	736,60	2,5	137	3479,80	2,5	245	6223,00	2,5	353	8966,20	2,5	461	11709,40	2,5	569	14452,60	2,5	569	14452,60
2,6	30	762,00	2,6	138	3505,20	2,6	246	6248,40	2,6	354	8991,60	2,6	462	11734,80	2,6	570	14478,00	2,6	570	14478,00
2,7	31	787,40	2,7	139	3530,60	2,7	247	6273,80	2,7	355	9017,00	2,7	463	11760,20	2,7	571	14503,40	2,7	571	14503,40
2,8	32	812,80	2,8	140	3556,00	2,8	248	6299,20	2,8	356	9042,40	2,8	464	11785,60	2,8	572	14528,80	2,8	572	14528,80
2,9	33	838,20	2,9	141	3581,40	2,9	249	6324,60	2,9	357	9067,80	2,9	465	11811,00	2,9	573	14554,20	2,9	573	14554,20
2,10	34	863,60	2,10	142	3606,80	2,10	250	6350,00	2,10	358	9093,20	2,10	466	11836,40	2,10	574	14579,60	2,10	574	14579,60
2,11	35	889,00	2,11	143	3632,20	2,11	251	6375,40	2,11	359	9118,60	2,11	467	11861,80	2,11	575	14605,00	2,11	575	14605,00
3	36	914,40	3	144	3657,60	3	252	6400,80	3	360	9144,00	3	468	11887,20	3	576	14630,40	3	576	14630,40
3,1	37	939,80	3,1	145	3683,00	3,1	253	6426,20	3,1	361	9169,40	3,1	469	11912,60	3,1	577	14655,80	3,1	577	14655,80
3,2	38	965,20	3,2	146	3708,40	3,2	254	6451,60	3,2	362	9194,80	3,2	470	11938,00	3,2	578	14681,20	3,2	578	14681,20
3,3	39	990,60	3,3	147	3733,80	3,3	255	6477,00	3,3	363	9220,20	3,3	471	11963,40	3,3	579	14706,60	3,3	579	14706,60
3,4	40	1016,00	3,4	148	3759,20	3,4	256	6502,40	3,4	364	9245,60	3,4	472	11988,80	3,4	580	14732,00	3,4	580	14732,00
3,5	41	1041,40	3,5	149	3784,60	3,5	257	6527,80	3,5	365	9271,00	3,5	473	12014,20	3,5	581	14757,40	3,5	581	14757,40
3,6	42	1066,80	3,6	150	3810,00	3,6	258	6553,20	3,6	366	9296,40	3,6	474	12039,60	3,6	582	14782,80	3,6	582	14782,80
3,7	43	1092,20	3,7	151	3835,40	3,7	259	6578,60	3,7	367	9321,80	3,7	475	12065,00	3,7	583	14808,20	3,7	583	14808,20
3,8	44	1117,60	3,8	152	3860,80	3,8	260	6604,00	3,8	368	9347,20	3,8	476	12090,40	3,8	584	14833,60	3,8	584	14833,60
3,9	45	1143,00	3,9	153	3886,20	3,9	261	6629,40	3,9	369	9372,60	3,9	477	12115,80	3,9	585	14859,00	3,9	585	14859,00
3,10	46	1168,40	3,10	154	3911,60	3,10	262	6654,80	3,10	370	9398,00	3,10	478	12141,20	3,10	586	14884,40	3,10	586	14884,40
3,11	47	1193,80	3,11	155	3937,00	3,11	263	6680,20	3,11	371	9423,40	3,11	479	12166,60	3,11	587	14909,80	3,11	587	14909,80
4,0	48	1219,20	4,0	156	3962,40	4,0	226	6705,60	4,0	372	9448,80	4,0	480	12219,20	4,0	588	14935,20	4,0	588	14935,20
4,1	49	1244,60	4,1	157	3987,80	4,1	227	6731,00	4,1	373	9474,20	4,1	481	12217,40	4,1	589	14960,60	4,1	589	14960,60
4,2	50	1270,00	4,2	158	4013,20	4,2	228	6756,40	4,2	374	9499,60	4,2	482	12242,80	4,2	590	14986,00	4,2	590	14986,00
4,3	51	1295,40	4,3	159	4038,60	4,3	229	6781,80	4,3	375	9525,00	4,3	483	12268,20	4,3	591	15011,40	4,3	591	15011,40
4,4	52	1320,80	4,4	160	4064,00	4,4	230	6807,20	4,4	376	9550,40	4,4	484	12293,60	4,4	592	15036,80	4,4	592	15036,80
4,5	53	1346,20	4,5	161	4089,40	4,5	231	6832,60	4,5	377	9575,80	4,5	485	12319,00	4,5	593	15062,20	4,5	593	15062,20



Sheet Metal Thickness Gauges

[sommaire](#)

Gauge (ga)	Standard Steel (inches)	Standard Steel (millimètres)	Galvanized Steel (inches)	Galvanized Steel (millimètres)	Aluminum (inches)	Aluminum (millimètres)	Stainless Steel (inches)	Stainless Steel (millimètres)
3	0,2391	6,07314			0,2294	5,82676	0,25	6,35
4	0,2242	5,69468			0,2043	5,18922	0,2344	5,95376
5	0,2092	5,31368			0,1819	4,62026	0,2187	5,55498
6	0,1943	4,93522			0,162	4,1148	0,2031	5,15874
7	0,1793	4,55422			0,1443	3,66522	0,1875	4,7625
8	0,1644	4,17576			0,1285	3,2639	0,1719	4,36626
9	0,1495	3,7973	0,1532	3,89128	0,1144	2,90576	0,1562	3,96748
10	0,1345	3,4163	0,1382	3,51028	0,1019	2,58826	0,1406	3,57124
11	0,1196	3,03784	0,1233	3,13182	0,0907	2,30378	0,125	3,175
12	0,1046	2,65684	0,1084	2,75336	0,0808	2,05232	0,1094	2,77876
13	0,0897	2,27838	0,0934	2,37236	0,072	1,8288	0,0937	2,37998
14	0,0747	1,89738	0,0785	1,9939	0,0641	1,62814	0,0781	1,98374
15	0,0673	1,70942	0,071	1,8034	0,0571	1,45034	0,0703	1,78562
16	0,0598	1,51892	0,0635	1,6129	0,0508	1,29032	0,0625	1,5875
17	0,0538	1,36652	0,0575	1,4605	0,0453	1,15062	0,0562	1,42748
18	0,0478	1,21412	0,0516	1,31064	0,0403	1,02362	0,05	1,27
19	0,0418	1,06172	0,0456	1,15824	0,0359	0,91186	0,0437	1,10998
20	0,0359	0,91186	0,0396	1,00584	0,032	0,8128	0,0375	0,9525
21	0,0329	0,83566	0,0366	0,92964	0,0285	0,7239	0,0344	0,87376
22	0,0299	0,75946	0,0336	0,85344	0,0253	0,64262	0,0312	0,79248
23	0,0269	0,68326	0,0306	0,77724	0,0226	0,57404	0,0281	0,71374
24	0,0239	0,60706	0,0276	0,70104	0,0201	0,51054	0,025	0,635
25	0,0209	0,53086	0,0247	0,62738	0,0179	0,45466	0,0219	0,55626
26	0,0179	0,45466	0,0217	0,55118	0,0159	0,40386	0,0187	0,47498
27	0,0164	0,41656	0,0202	0,51308	0,0142	0,36068	0,0172	0,43688
28	0,0149	0,37846	0,0187	0,47498	0,0126	0,32004	0,0156	0,39624
29	0,0135	0,3429	0,0172	0,43688	0,0113	0,28702	0,0141	0,35814
30	0,012	0,3048	0,0157	0,39878	0,01	0,254	0,0125	0,3175
31	0,0105	0,2667	0,0142	0,36068	0,0089	0,22606	0,0109	0,27686
32	0,0097	0,24638	0,0134	0,34036	0,008	0,2032	0,0102	0,25908
33	0,009	0,2286			0,0071	0,18034	0,0094	0,23876
34	0,0082	0,20828			0,0063	0,16002	0,0086	0,21844

35	0,0075	0,1905			0,0056	0,14224	0,0078	0,19812
36	0,0067	0,17018					0,007	0,1778
37	0,0064	0,16256						
38	0,006	0,1524						

Dilatation linéique								sommaire	
nuance	coefficient de dilatation linéique rapporté à la plage de température de 20°C à t° (1 E-7m)								
	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	
xc48	119	123	127	131	135	140	144	148	
xc65	121	126	130	134	138	142	146	152	
35ncd16	115	119	123	127	131	135	140	144	
au4g/fortal	232	240	247	252	256	258			
laiton	172	178	184	191	197	200	200	200	
bronze	157	162	168	174	180	186	192	198	

	variation dimensionnelle par mm pour:								
	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	
xc48	0,00119	0,00246	0,00381	0,00524	0,00675	0,00840	0,01008	0,01184	
xc65	0,00121	0,00252	0,00390	0,00536	0,00690	0,00852	0,01022	0,01216	
35ncd16	0,00115	0,00238	0,00369	0,00508	0,00655	0,00810	0,00980	0,01152	
au4g/fortal	0,00232	0,00480	0,00741	0,01008	0,01280	0,01548	(fusion)		
laiton	0,00172	0,00356	0,00552	0,00764	0,00985	0,01200	0,01400	0,01600	
bronze	0,00157	0,00324	0,00504	0,00696	0,00900	0,01116	0,01344	0,01584	

	Facteur au mm : (si je chauffe)								
	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	
xc48	1,0012	1,0025	1,0038	1,0052	1,0068	1,0084	1,0101	1,0118	
xc65	1,0012	1,0025	1,0039	1,0054	1,0069	1,0085	1,0102	1,0122	
35ncd16	1,0012	1,0024	1,0037	1,0051	1,0066	1,0081	1,0098	1,0115	
au4g/fortal	1,0023	1,0048	1,0074	1,0101	1,0128	1,0155	(fusion)		
laiton	1,0017	1,0036	1,0055	1,0076	1,0099	1,0120	1,0140	1,0160	
bronze	1,0016	1,0032	1,0050	1,0070	1,0090	1,0112	1,0134	1,0158	

	Facteur inverse au mm: (si je refroidis)								
	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	
xc48	0,9988	0,9975	0,9962	0,9948	0,9933	0,9916	0,9899	0,9882	
xc65	0,9988	0,9975	0,9961	0,9946	0,9931	0,9915	0,9898	0,9878	
35ncd16	0,9989	0,9976	0,9963	0,9949	0,9935	0,9919	0,9902	0,9885	
au4g/fortal	0,9977	0,9952	0,9926	0,9899	0,9872	0,9845	(fusion)		
laiton	0,9983	0,9964	0,9945	0,9924	0,9902	0,9880	0,9860	0,9840	
bronze	0,9984	0,9968	0,9950	0,9930	0,9910	0,9888	0,9866	0,9842	

Métaux purs	
Matériaux	Module (MPa)
Aluminium (Al)	69 000
argent (Ag)	83 000
Baryum (Ba)	13 000
Béryllium (Be)	240 000
Bismuth (Bi)	32 000
Cadmium (Cd)	50 000
Césium (Cs)	1 700
Chrome (Cr)	289 000
Cobalt (Co)	209 000
Cuivre (Cu)	124 000
Étain (Sn)	41 500
Fer (Fe)	196 000
Germanium (Ge)	89 600
Indium (In)	110 000
Iridium (Ir)	528 000
Lithium (Li)	4 900
Magnésium (Mg)	45 000
Manganèse (Mn)	198 000
Molybdène (Mo)	329 000
Nickel (Ni)	214 000
Niobium (Nb)	105 000
Or (Au)	78 000
Palladium (Pd)	121 000
Platine (Pt)	168 000
Plomb (Pb)	18 000
Plutonium (Pu)	96 000
Rhodium (Rh)	275 000
Rubidium (Rb)	2 400
Ruthénium (Ru)	447 000
Scandium (Sc)	74 000
Séléniun (Se)	10 000
Sodium (Na)	10 000
Tantale (Ta)	186 000
Titane (Ti)	116 000
Tungstène (W)	406 000
Uranium (U)	208 000
Vanadium (V)	128 000
Zinc (Zn)	78 000
Zirconium (Zr)	68 000

Alliages	
Matériaux	Module (MPa)
Acier de construction	210 000
Aacier à ressorts	220 000
Acier inoxydable 18-10	203 000
Bronze (cuivre + 9 à 12% d'étain)	124 000
Bronze au Béryllium	130 000
Cuivre laminé U4 (Recuit)	90 000
Cuivre laminé U4 (Écrou dur)	150 000
Duralumin AU4G	75 000
Fontes	83 à 170 000
Hastelloy B2 (Ni + Mo)	217 000
Hastelloy C 2000 (Ni + Cr + Mo)	206 000
Inconel X-750 (Ni + Cr + Fe)	212 à 218 000
Invar	140 000
Monel 400 (Ni + Cu)	173 000
Nimonic 90 (Ni + Cr + Co)	213 à 240 000
Nispan (Ni + Cr + Ti)	165 à 200 000
Phynox (Co + Cr + Ni + Mo)	203 400

Bois	
Matériaux	Module (MPa)
Acajou (Afrique)	12 000
Bambou	20 000
Bois de rose (Brésil)	16 000
Bois de rose (Inde)	12 000
Chêne	12 000
Contreplaqué glaw	12 400
Épicéa	13 000
Érable	10 000
Frêne	10 000
Papier	3 000 à 4 000
Séquoia	9 500

Verres, céramiques, oxydes, carbures métalliques, minéraux	
Matériaux	Module (MPa)
Arsenic (As)	8 000
Arsénium de gallium (AsGa)	85 500
Béton	27 000
Brique	14 000
	20 000 à 70 000
Calcaire (carbonate de calcium CaCO₃)	
Carbure de chrome (Cr₃C₂)	373 000
Carbure de silicium (SiC)	450 000
Carbure de Titane (TiC)	440 000
Carbure de tungstène (WC)	650 000
Diamant (C)	1 000 000
Graphite	30 000
Granite	60 000
Marbre	26 000
Mullite (Al₆Si₂O₁₃)	145 000
	390 000
Alumine (Oxyde d'Aluminium Al₂O₃)	
Oxyde de beryllium (BeO)	30 000
Oxyde de magnésium (MgO)	250 000
Oxyde de zirconium (ZrO₂)	200 000
Saphir	420 000
Silice (oxyde de silicium SiO₂)	107 000
Titanate d'aluminium (Ti₃Al)	140 000
Titanate de baryum (BaTiO₃)	67 000
Verre	69 000

divers	
Matériaux	Module (MPa)
cable d'acier	126000

Polymères, fibres	
Matériaux	Module (MPa)
caoutchoucs	700 à 4 000[2]
Fibre de carbone haut module	640 000
Fibre de carbone haute résistance	240 000
Kevlar	34 500
Nanotubes (Carbone)	1 100 000
Nylon	2 000 à 5 000
Plexiglas (Polyméthacrylate de méthyle)	2 380
Polyamide	3 000 à 5 000
Polycarbonate	2 300
Polyéthylène	200 à 700
Polystyrène	3 000 à 3 400
Résines époxy	3 500

Biomatériaux	
Matériaux	Module (MPa)
Bec de poussin	50 000
Cartilage	24
Cheveux	10 000
Collagène	6
Fémur	17 200
Humérus	17 200
Piquant d'oursin	15 000 à 65 000
Radius	18 600
Soie d'araignée	60 000
Tibia	18 100
Vertèbre cervicale	230
Vertèbre lombaire	160

Coefficient de Poisson

[sommaire](#)

Les liens renvoient aux pages wikipedia concernées

Métaux purs	
Matériaux	Coef
Aluminium (Al)	0,33
Béryllium (Be)	0,032
Bore (Be)	0,21
Cuivre (Cu)	0,33
Fer (Fe)	0,21 - 0,259
Magnésium (Mg)	0,35
Or (Au)	0,42
Plomb (Pb)	0,44
Titane (Ti)	0,34

Alliages	
Matériaux	Coef
Acier de construction	0,27 - 0,30
Acier inoxydable	0,30 - 0,31
Fontes	0,21 - 0,26
Laiton	0,37

Verres, céramiques, oxydes, carbures métalliques, minéraux	
Matériaux	Coef
Argile humide	0,40 - 0,50
Béton	0,20
Sable	0,20 - 0,45
Carbure de silicium (SiC)	0,17
Si₃N₄	0,25
Verre	0,18 - 0,3

Polymères, fibres	
Matériaux	Coef
Caoutchouc	~ 0,5
Liège	~ 0,00
Mousse	0,10 - 0,40
Plexiglas (Polyméthacrylate de méthyle)	0,40 - 0,43

[sommario](#)

coef de friction = tan de angle (% pente) sous lequel le matériau commence à glisser

Materiau 1	Materiau 2	Coefficient de Friction			
		sec		lubrifié	
		Statique	glissant	Statique	glissant
acier	acier	1,0		0,15 - 0,2	
Aluminum	acier moyen	0,61	0,47		
Aluminum	Aluminum	1,05-1,35	1,4	0,3	
argent	argent	1,4		0,55	
bois	bois sec	0,25 - 0,5			
bois	bois humide	0,2			
bois	métaux à sec	0,2-0,6			
bois	métaux lubrifiés	0,2			
bois	brique	0,6			
bois	béton	0,62			
Brique	bois	0,6			
Bronze	fonte		0,22		
Bronze	fer			0,16	
Cadmium	Cadmium	0,5		0,05	
Cadmium	acier moyen		0,46		
caoutchouc	Asphalte (seche)		0,5-0,8		
caoutchouc	Asphalte (humide)		0,25-0,0,75		
caoutchouc	béton sec		0,6-0,85		
caoutchouc	béton mouillé		0,45-0,75		
carbure de tungstène	carbure de tungstène	0,2-0,25		0,12	
carbure de tungstène	fer	0,4 - 0,6		0,08 - 0,2	
carbure de tungstène	cuivre	0,35			
carbure de tungstène	acier	0,8			
chêne	chêne (fibre parallele)	0,62	0,48		
chêne (fibre parallele)	chêne (fibre perpendiculaire)	0,54	0,32		0,072
Chrome	Chrome	0,41		0,34	
cuir	bois	0,3 - 0,4			
cuir	Metal(propre)	0,6		0,2	
cuir	Metal(humide)	0,4			
cuir	chêne (fibre parallele)	0,61	0,52		
cuivre	fonte	1,05	0,29		
cuivre	cuivre	1,0		0,08	
cuivre	acier moyen	0,53	0,36		0,18
cuivre	acier		0,8		
cuivre	inox (304)	0,23	0,21		
cuivre + pb	acier	0,22		-	
Diamant	diamant	0,1		0,05 - 0,1	
Diamant	Metal	0,1 -0,15		0,1	
étain	fonte		,32		
fer	Aluminium Brossé	0,45			
fer	laiton	0,35		0,19	
fer	fonte	0,4		0,21	
fer	cuivre + pb	0,22		0,16	0,145
fer	Graphite	0,1		0,1	
fer	phosphore	0,35			
fer	Zinc (Plaquée sur fer)	0,5	0,45	-	-
fer doux	laiton	0,51	0,44		
fer doux	fonte		0,23	0,183	0,133
fer doux	plomb	0,95	0,95	0,5	0,3
fer doux	phosphore		0,34		0,173
fer doux	fer doux	0,74	0,57		0,09-0,19
fer doux	fer doux	-	0,62		
fer dur	Graphite	0,21		0,09	

Materiel 1	Materiel 2	Coefficient de Friction			
		sec		lubrifié	
		Statique	glissant	Statique	glissant
fer dur	Polytethylene	0,2		0,2	
fer dur	Polystyrene	0,3-0,35		0,3-0,35	
fer dur	fer dur	0,78	0,42	0,05 -0,11	0,029,-12
fonte	fonte	1,1	0,15		0,07
fonte	chêne		0,49		0,075
Graphite	Graphite	0,1		0,1	
Graphite	fer	0,1		0,1	
Graphite (sous vide)	Graphite (sous vide)	0,5 - 0,8			
revêtement carbone dur	revêtement carbone dur	0,16		0,12 - 0,14	
revêtement carbone dur	fer	0,14		0,11 - 0,14	
laiton	fonte		0,3		
Magnesium	Magnesium	0,6		0,08	
Nickel	Nickel	0,7-1,1	0,53	0,28	0,12
Nickel	acier moyen		0,64;		0,178
Nylon	Nylon	0,15 - 0,25			
plaquette de frein	fonte	0,4			
plaquette de frein	fonte (humide)	0,2			
Platine	Platine	1,2		0,25	
Plexiglas	Plexiglas	0,8		0,8	
Plexiglas	fer	0,4 - 0,5		0,4 - 0,5	
plomb	fonte		0,43		
plomb	fer		1,4		
Polyethylene	fer	0,2		0,2	
Polystyrene	Polystyrene	0,5		0,5	
Polystyrene	fer	0,3-0,35		0,3-0,35	
Saphire	Saphire	0,2		0,2	
Bronze fritté	fer	-		0,13	
Solides	caoutchouc	1,0 - 4,0		--	
Teflon	fer	0,04		0,04	0,04
Teflon	Teflon	0,04		0,04	0,04
Titane allié Ti-6Al-4V	Aluminium 6061-T6	0,41	0,38		
Titane allié Ti-6Al-4V	Titane allié Ti-6Al-4V	0,36	0,30		
Titane allié Ti-6Al-4V	Bronze	0,36	0,27		
verre	verre	0,9 - 1,0	0,4	0,1 - 0,6	0,09-0,12
verre	Metal	0,5 - 0,7		0,2 - 0,3	
verre	Nickel	0,78	0,56		
Zinc	Zinc	0,6		0,04	
Zinc	fonte	0,85	0,21		

sommaire**Calculs aeronautiques****air standard:**

pression atmo au niveau de la mer	1013.25 hpa ou 760 mmHg ou
temp °c	29.92 poHg
densité	15°C
poids spécifique	1.23kg/m3
viscosité dynamique	12N/m3
viscosité cinématique	1,79E-05
constante gazeuse	1,46E-05
chaleur spécifique	2.869E2 J / (Kg x K)
	1.4K

**nombre de Reynolds:**($\rho \cdot V \cdot L$) / μ

inertie / viscosité

 μ viscosité **ρ** densité**V** vitesse**L** longueur caractéristique**c** compressibilité**p** pression**i** inertie**K** coef de résistance à l'avancement**s** surface (m²)**r** résistance à l'avancement (trainée)**nombre de Mach**

V / c

vitesse / compressibilité

nombre d'Euler

pression / inertie

 $p / (\rho \cdot V^2)$ **trainée (selon Eiffel)** $r = K_s V^2$

(voir tableau pour variations)

calcul de la puissance mini (ou poussée) nécessaire à maintenir un aéronef en vol: (en CV)

.= masse (Kg) / finesse

variation moyenne de température selon l'altitude:

retirer 1°C par 500 pieds

variations de K avec l'allongement (plaques rectangulaires)	
allongement	K
1	0,066
1,5	0,0685
3	0,0705
6	0,0725
10	0,0755
15	0,0825
20	0,0885
30	0,092
40	0,0945
50	0,097

selon muller

K de certains volumes	
cone 60° pointe en avant	0,032
cone 30° pointe en avant	0,031
sphère	0,011
1/2 sphère creuse (boule au vent)	0,021
1/2 sphère creuse (creux au vent)	0,083
disque	0,06
corps sphéro-conique:	
d250 angle 20° pointe en avant	0,0101
d250 angle 20° pointe en arrière	0,0055
cylindre terminé par 2 calottes sphériques d150 L1200	0,012

selon muller

Dans de l'air standard:
prise au vent et résultante

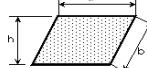
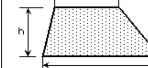
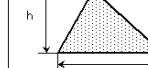
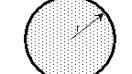
$$F = K S V^2 \text{ (selon eiffel)}$$

(modifier les cellules colorées)

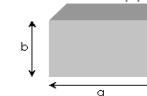
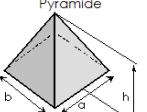
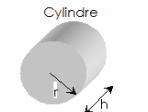
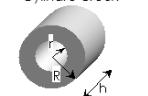
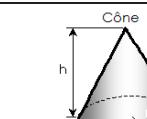
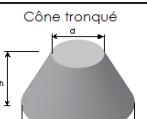
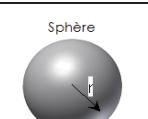
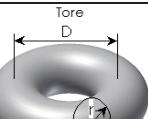
effort résultant F(N)	2270,83
K	1
section S (m ²)	0,3
vitesse du vent V (m/s)	27,7777777778
Vitesse du vent en km/h	100

sommaire		
Surfaces:		volumes:
Rectangle		parallelépipède rectangle
	$A = \text{aire (m}^2, \text{ft}^2)$	$V = AH$
$A = b h$	$b = \text{largeur (m, ft)}$	$V = abh$
	$h = \text{hauteur (m, ft)}$	
Parallélogramme		parallelépipède quelconque
$A = b h$		$V = A \times H$
Triangle		prisme droit
$A = 1/2 b h$		$V = A \times H$
Trapeze		
	$B = \text{grande base}$	
$A = 1/2 (B+b) h$	$b = \text{petite base}$	$V = A \times H$
Losange		
	$A = \text{aire (m}^2, \text{ft}^2)$	
	$D = \text{grande diagonale}$	
$A = Dd/2$	$d = \text{petite diagonale}$	
Cercle		cylindre
$A = \pi r^2$		$V = A \times H$
<i>where</i>		$V = \pi r^2 H$
$r = \text{radius (m, ft)}$		
Secteur circulaire		
$A = 1/2 \theta_r r^2$	($\theta_r = \text{angle en radians}$)	$V = A \times H$
$= 1/360 \theta_d \pi r^2$	($\theta_d = \text{angle en degrés}$)	
couronne circulaire		
$A = 1/2 (\theta_r - \sin \theta_r) r^2$		$V = A \times H$
$= 1/2 (\pi \theta_d / 180 - \sin \theta_d) r^2$		
$A = \pi (R^2 - r^2)$		
Tore		
		$V = \pi 2.D.r^2$
Cylindre		
	$h = \text{hauteur du cylindre (m, ft)}$	$V = A \times H$
$A = 2 \pi r h + 2(2\pi r)$	$r = \text{rayon de la base (m, ft)}$	
 cône circulaire droit		
$A = \pi r l$	$h = \text{hauteur du cone (m, ft)}$	$V = (\pi r^2 H)/3$
$= \pi r (l^2 + h^2)^{1/2}$	$r = \text{rayon de la base (m, ft)}$	
	$l = \text{longueur tangente (m, ft)}$	
Sphère		
$A = 4 \pi r^2$		$V = (\pi D^3)/6$
		$V = (4\pi r^3)/3$

mémo: pour tracer une ellipse, utiliser une corde, la fixer à la moitié du rayon de chq côté, la raccourcir à la valeur du pt rayon, mettre le crayon dedans, tracer en gardant la corde tendue...

					
Périmètre : $P = 2.(a+b)$ Aire : $A = a.b$	$P = 2.(a+b)$ $A = a.h$	$A = \frac{a+b}{2}.h$	$A = \frac{a.h}{2}$	$P = 2.\pi.r$ $A = \pi.r^2$	$A = \pi.(R^2-r^2)$

Volumes

			
$V = a.b.c$	$V = \frac{a.b.h}{3}$	$V = \pi.r^2.h$	$V = \pi.(R^2-r^2).h$
			
$V = \frac{\pi.r^2.h}{3}$	$V = \frac{\pi}{12}.h.(D^2+D.d+d^2)$	$V = \frac{4}{3} \cdot \pi.r^3$	$V = \pi^2.D.r^2$

calculs sur les polygones réguliers:

A= aire
r1= rayon du cercle circonscrit
r2= cercle inscrit
L= longueur d'une face

aire:

	en fonction de r1 $A = X \times r1^2$	en fonction de r2 $A = X \times r2^2$
triangle équilatéral	1,299	5,196
carré	2	4
pentagone	2,378	3,633
hexagone	2,598	3,464
octogone	2,828	3,314
décagone	2,939	3,249
dodécagone	3	3,215

en fonction de L $A = X \times L^2$

triangle équilatéral	0,433
carré	1
pentagone	1,72
hexagone	2,598
octogone	4,828
décagone	7,694
dodécagone	11,2

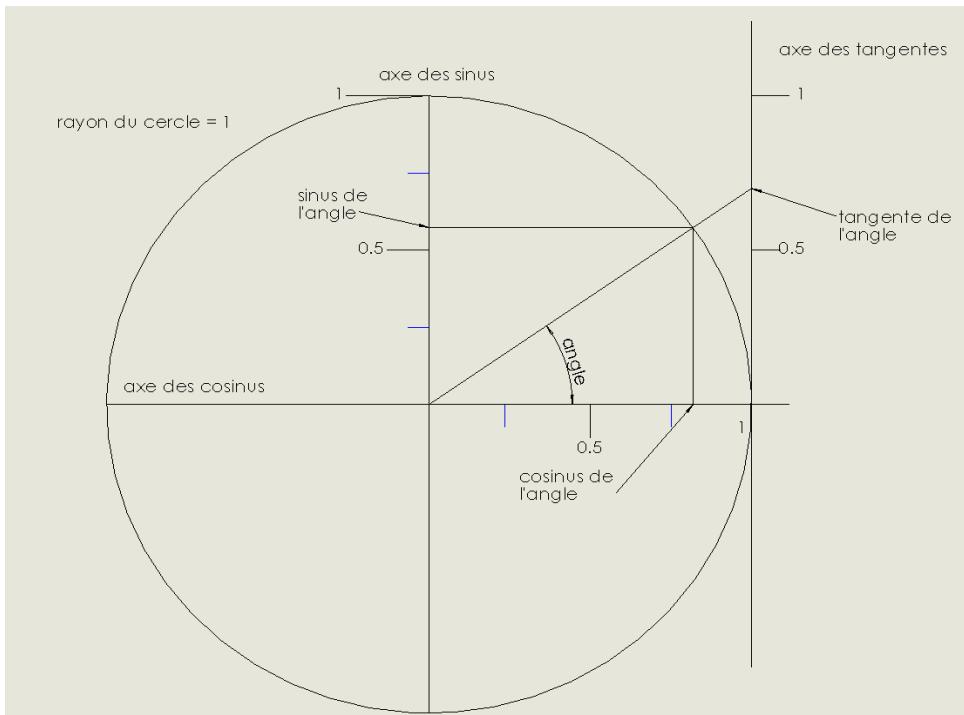
Longueur d'une face (L)

	en fonction de r1 $L = X \times r1$	en fonction de r2 $L = X \times r2$
triangle équilatéral	1,732	3,464
carré	1,414	2
pentagone	1,176	1,453
hexagone	1	1,155
octogone	0,7654	0,8284
décagone	0,618	0,6498
dodécagone	0,5176	0,5359

valeurs de r1 et r2 en fonction l'une de l'autre

	$r1 = X \times r2$	$r2 = X \times r1$
triangle équilatéral	2	0,500
carré	1,414	0,707
pentagone	1,236	0,809
hexagone	1,155	0,866
octogone	1,082	0,924
décagone	1,051	0,951

dodécagone	1,035	0,966
------------	-------	-------



sinus = coté opposé / hypoténuse

cosinus = coté adjacent / hypoténuse

tangente = coté opposé / coté adjacent

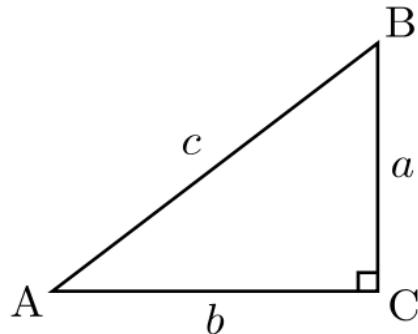
$$\sin A = \frac{a}{c}$$

$$\cos A = \frac{b}{c}$$

$$\tan A = \frac{a}{b}$$

Pythagore:

$$c^2 = a^2 + b^2$$



Résolution rapide de Triangles rectangles

Exemple donné avec le triangle 3 - 4 - 5. Les cases de gauche sont les variables

valeurs connues

Solutions

c	b	→	a	C	B	A
5,00	4,00	→	3,00	90,00	53,13	36,87
c	a	→	b	C	B	A
5,00	3,00	→	4,00	90,00	53,13	36,87
c	A	→	a	C	b	B
5,00	36,87	→	3,00	90,00	4,00	53,13
a	B	→	a	C	b	A
5,00	53,13	→	3,00	90,00	4,00	36,87
a	b	→	c	C	A	B
3,00	4,00	→	5,00	90,00	36,87	53,13
b	B	→	c	C	a	A
4,00	53,13	→	5,00	90,00	3,00	36,87
b	A	→	c	C	a	B
4,00	36,87	→	5,00	90,00	3,00	53,13
a	A	→	c	C	b	B
3,00	36,87	→	5,00	90,00	4,00	53,13
a	B	→	c	C	b	A
3,00	53,13	→	5,00	90,00	4,00	36,87

rapport masse/volume/densité			
masse	7,80	7,80	volume x densité
volume	1,00	1,00	masse / densité
densité	7,80	7,80	masse/volume

module de coulomb (G):

(module de cisaillement)

$$G = E/2(1+\nu)$$

E: module de young

v: coef. De poisson

rdm

$$\text{allongement : } \epsilon = T/E = F/A \cdot E$$

teta (T)=contrainte

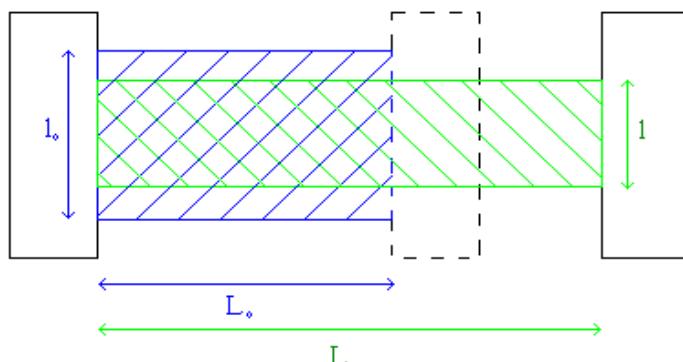
A=section

E=module de young

Epsilon(epsilon)=allongement (cf loi de hooke)

rappel du coefficient de poisson

$$\nu = \frac{\text{contraction transversale unitaire}}{\text{allongement axial unitaire}} = \frac{(l_0 - l)/l_0}{(L - L_0)/L_0}$$



rappel sur la loi de hooke:

l'allongement est proportionnel à la force

contrainte σ (similaire à une pression)

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

allongement relatif ϵ

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

L'analogue de la constante de raideur du ressort est donc le module de Young E.

La loi de Hooke s'exprime alors sous la forme :

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

La résistance des matériaux est une branche de la mécanique des milieux continus adaptée aux déformations des structures (machines — génie mécanique — ou bâtiments — génie civil).

Cette science permet de ramener la loi de **comportement global d'une structure** (relation entre sollicitations-forces ou couple- et déplacements) à une **loi de comportement locale** des matériaux (relation entre contraintes et déformations). L'objectif étant le dimensionnement de la structure suivant un critère de résistance ou de déplacement admissible.

Selon l'intensité de la contrainte, il y a d'abord **déformation élastique** (lorsque la sollicitation disparaît, le matériau reprend sa forme et sa position initiale) puis **déformation plastique** (lorsque la sollicitation disparaît, une certaine déformation subsiste) et enfin **rupture** lorsque les limites intrinsèques du matériau sont dépassées.

La matière est :

élastique (pas de plastification),
linéaire (pas de non-linéarité),
homogène (pas de variation de comportement dans le matériau),
isotrope (pas de variation de comportement suivant la direction).

Le problème est :

iso-statique (pièce en équilibre cinématique),
en petits déplacements (pas de grand déplacement),
quasi-statique (pas d'effet dynamique),
quasi-isotherme (pas de changement de température).

Notion de poutre:

L'ingénieur utilise la **résistance des matériaux** avant tout pour concevoir les éléments de construction et vérifier leur résistance et leur déformation. Quelques rapides calculs peuvent être menés facilement si on se limite à la **poutre à plan moyen**, c'est-à-dire un objet de grande longueur par rapport à sa section et doté d'un plan de symétrie (plan moyen).

Sollicitations simples:

Type	Commentaire	Exemple
<u>Traction</u>	Allongement longitudinal, on <i>tire</i> de chaque côté	Câble de remorquage
<u>Compression</u>	Raccourcissement, on <i>appuie</i> de chaque côté	noyau d'une tour en absence de vent
<u>Cisaillement</u>	Glissement relatif des sections	tectonique des plaques
<u>Torsion</u>	Rotation par glissement relatif des sections droites	arbre de transmission d'un moteur
<u>Flexion simple</u>	Fléchissement sans allongement des fibres contenues dans le plan moyen	planche de plongeoir
<u>Flexion pure ou circulaire</u>	Fléchissement sans effort tranchant dans certaines zones	partie de poutre entre deux charges concentrées

Le **Principe de Saint-Venant** stipule qu'une condition limite (au point M) peut être remplacée par un chargement équivalent sans modifier notamment le problème , si l'on se place suffisamment "loin" de M.

remplacement des conditions limites par un chargement,
notion de d'erreur à "proximité" des conditions limites.

Le **Principe de superposition** permet de décomposer toute sollicitation complexe en somme de sollicitations simples.

L'**équilibre statique** donne la base de la résolution du problème. Il stipule que :

[La somme des forces extérieures au système est égale au vecteur nul :](#)

La somme des moments en un point, ici au point A, est égale au vecteur nul :

le **Théorème de Castigliano** définit déplacement du point, lieu d'application d'une force par la dérivée du potentiel élastique par rapport de cette force.

Suivant les domaines étudiés, il existe deux types de grandeur (extérieur et intérieur). elles sont différencierées par rapport à la pièce étudiée.

domaine physique	point de vue extérieur	point de vue intérieur
mécanique	efforts	contraintes
géométrique	déplacements	déformations

$$\sum \underline{F}_{ext} = 0$$

Les efforts (ou chargement) regroupent les Forces [N] et les moments [Nm]. les déplacement englobent les translations et les rotations.

Contraintes mécaniques

$$\sum \underline{M}_{(A)} = 0$$

loi de Hooke

La contrainte normale σ [Pa] est proportionnelle à l'allongement relatif ϵ [sans unité] par la constante du module de Young E [Pa]:

$$\underline{\underline{\sigma}} = E \cdot \underline{\underline{\epsilon}}$$

avec l'allongement relatif ϵ [sans unité] donné par la relation des longueurs initiale et finale [m]:

$$\epsilon = \frac{l_{finale} - l_{initiale}}{l_{initiale}}$$

Traction / Compression

Cette contrainte est donnée normale à la force de traction. σ [Pa] est égale à la force F [N] divisée par la surface nor

$$\sigma_{traction} = \frac{F}{S}$$

Flexion

la contrainte de flexion est décrite avec le moment de flexion M_3 [N/m], la flèche x_2 [m] et le moment d'inertie I_3 [m^4]

$$\sigma_{flexion} = \frac{M_3 \cdot x_2}{I_3}$$

avec le Moment d'inertie :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad I_3 = \int_S x_2^2 dS$$

Cisaillement

avec le moment de cisaillement [Pa] :

$$\tau_{moy} = \frac{\sigma_{cisaillement}}{S} = G \cdot \gamma$$

Références théoriques:

[La contrainte normale \$\sigma\$: contrainte](#)

[l'allongement relatif \$\epsilon\$: Allongement à la rupture](#)

[le module de Young E ou le module d'élasticité longitudinal : Module de Young](#)

[le module de cisaillement G ou le module d'élasticité tangentiel : Module de Cisaillement](#)

[le moment d'inertie de flexion I : Moment d'inertie](#)

sollicitations composées

Type	Commentaire	Exemple
Flexion et torsion		arbre de transmission
Flexion et traction		vis
Flexion et compression	Flambage	bielle
Cisaillement et compression		
Cisaillement et traction		

La poutre est généralement supposée composée d'un matériau isotrope homogène et chargée dans son plan moyen (pas de torsion donc). Dans ces conditions, la résultante des efforts extérieurs est composée :

d'un effort longitudinal de compression ou traction ;

d'un effort normal de cisaillement : l'effort *tranchant* ;

d'un moment *fléchissant*.

On peut encore simplifier en considérant par exemple, une poutre droite, horizontale, de section constante, chargée uniformément et reposant sur deux appuis simples. Si on désigne par p la charge linéaire et par l la longueur de la poutre, la solution du problème tient en quelques formules simples :

la réaction d'appui est réduite à deux forces verticales, égales chacune à la moitié de la charge soit $pl/2$

l'effort tranchant varie de $+pl/2$ à $-pl/2$ avec une valeur nulle en milieu de travée . On doit vérifier que la contrainte de cisaillement ne dépasse pas la résistance à la traction. Le moment fléchissant est nul sur appui et maximum en milieu de travée où il vaut $pl^2/8$. On doit vérifier que les contraintes dans la section médiane ne dépassent ni la résistance à la compression, ni la résistance à la traction maximales.

Flambage:

la charge critique à partir de laquelle il y a risque de rupture par flambage peut être calculée par la **formule d'Euler**:

$$F = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2}$$

où

E est le module de Young du matériau ;

I est le moment quadratique de la poutre ;

l_k est la longueur de la flambement de la poutre ;

Le facteur l_k représente une longueur équivalente à celle d'une poutre rotulée-rotulée. Il s'agit de la distance séparant deux points d'inflexions de la poutre. Ainsi,

pour une poutre rotulée aux deux bouts, $l_k = 2 \times L$

, la longueur de la poutre ;

pour une poutre encastrée aux deux bouts, $l_k = 1 \times L$

pour une poutre encastrée-rotulée, $l_k = 0,7 \times L$

pour une poutre encastrée-libre, $l_k = 0,5 \times L$

Ce problème est sérieusement considéré dans les cas du dimensionnement de piliers en Génie Civil et de bielles en mécanique, éléments nécessairement de grande longueur et soumis à la compression.

En pratique cependant, ce n'est pas la formule d'Euler qui est utilisée pour calculer le dimensionnement d'une poutre. On définit habituellement un paramètre géométrique, λ , appelé coefficient d'élancement :

$$\lambda = \frac{l_k}{\rho}, \quad \text{avec} \quad \rho^2 = \frac{I}{S}$$

où ρ est le rayon de giration de la poutre et S la section de cette poutre.

On peut alors définir un coefficient d'élancement critique, λ_c , qui ne dépend que des propriétés du matériaux :

$$\lambda_c^2 = \frac{\pi^2 E}{\sigma_e}$$

où σ_e est la limite élastique du matériau :

On peut alors déterminer la charge critique F_c applicable sur une poutre en comparant sa valeur d'élancement λ à la valeur de λ_c .

Si $\lambda \leq 20$

, la poutre est en compression simple :

$$F_c = \sigma_e * S$$

Si $20 < \lambda \leq \lambda_c$

, on utilise alors la formule expérimentale de Rankine :

$$F_c = \frac{2 * \sigma_e * S}{1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}$$

Si $\lambda > \lambda_c$

, on utilise alors la formule d'Euler, qui peut se réécrire sous la forme :

$$F_c = \frac{\sigma_e * S}{\left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}$$

Energie cinétique:

W = énergie cinétique

F = force (N)

V = vitesse initiale du corps (m/sec)

M = masse du corps (kg)

= distance sur laquelle le corps restitue son énergie (r
($1\text{km}/\text{h}=0,2777\text{m/sec}$)

$$W=(M \cdot V^2)/2$$

$$F=(M \cdot V^2)/2L$$

Dimensionner par une condition de résistance			
effort normal	N =	10000000	Newton
section droite	S =	4,76E+02	mm ²
concentration	Kt =	1	
sécurité	s =	1	
matériaux	Re =	2,10E+04	MPa

Dimensionner par une condition de déformation			
effort normal	N =	###	Newton
section droite	S =	10	240 mm ²
longueur libre	Lo =	50	6000 mm
matériaux	E =	210000	MPa
allongement	Delta L =	71,42857	mm

Dimensionner par une condition de résistance			
effort tranchant	T =	500	Newton
section droite	S =	0,0238095238	mm ²
sécurité	s =	1	
matériaux	Rg =	21000	MPa

Dimensionner par une condition de déformation			
moment	Mt =	329700	N.mm
Mt Quad lo	lo =	1	mm ⁴
longueur libre	Lo =	100	mm
matériaux	G =	210000	MPa
rotation	a =	0,5	radian

Dimensionner par une condition de résistance			
Moment	Mt =	400	N.mm
Module lo/v	lo/v =	1,00E+00	mm ³
matériaux	Rg =	400	MPa
sécurité	s =	1	
concentration	Kt =	1	

Module lo/v	moment quadratique pi.d ⁴ /32
Module I/v	moment quadratique pi.d ⁴ /64 ou BH ³ /12
concentration	accidents de forme caractérisés par un facteur

Dimensionner par une condition de résistance			
Moment	Mf =	300	N.mm
Module I/v	I/v =	2,4	mm ³
matériaux	Re =	250	MPa
sécurité	s =	2	
concentration	Kt =	1	

formule générique de calcul d'allongement :	
teta (T) = contrainte (N.mm ²)	5000
A = section (mm ²)	20
E = module de young (Mpa)	210000
F = force	
allongement (eps) = T/E	0,0238095238
allongement (Epsilon(eps))=F/A.E	

sommaire

effort minimum des vérins pneumatiques (en poussée): (N) incluant 10% de frottements internes

$F=(A \times p) - R$		A = aire du piston (cm ²)		d = alésage (cm)		
ou $F=p \times 10(\pi d^2/4) - R$		$p = \text{pression de travail (bar)}$ (1bar=14.504psi)				R = frottements (10%.F)
alésages (mm)	pressions: (bars)					alésages (po)
	2	4	6	8	10	12
2,5	0,9	1,8	2,7	3,5	4,4	5,3
3,5	1,7	3,5	5,2	6,9	8,7	10,4
5,35	4,0	8,1	12,1	16,2	20,2	24,3
6	5,1	10,2	15,3	20,4	25,4	30,5
8	9,0	18,1	27,1	36,2	45,2	54,3
10	14,1	28,3	42,4	56,5	70,7	84,8
12	20	41	61	81	102	122
16	36	72	109	145	181	217
20	57	113	170	226	283	339
25	88	177	265	353	442	530
32	145	290	434	579	724	869
40	226	452	679	905	1131	1357
50	353	707	1060	1414	1767	2121
63	561	1122	1683	2244	2806	3367
80	905	1810	2714	3619	4524	5429
100	1414	2827	4241	5655	7069	8482
125	2209	4418	6627	8836	11045	13254
160	3619	7238	10857	14476	18096	21715
200	5655	11310	16965	22619	28274	33929
320	14476	28953	43429	57906	72382	86859
	29	58	87	116	145	174
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)

effort minimum des vérins hydrauliques (en poussée): (DaN) incluant 10% de frottements internes

$F=(A \times p) - R$		A = aire du piston (cm ²)		d = alésage (cm)		
ou $F=p \times 10(\pi d^2/4) - R$		$p = \text{pression de travail (bar)}$ (1bar=14.504psi)				R = frottements (10%.F)
alésages (mm)	pressions: (bars)					alésages (po)
	100	120	140	160	180	200
25	442	530	619	707	795	884
32	724	869	1013	1158	1303	1448
40	1131	1357	1583	1810	2036	2262
50	1767	2121	2474	2827	3181	3534
63	2806	3367	3928	4489	5050	5611
80	4524	5429	6333	7238	8143	9048
100	7069	8482	9896	11310	12723	14137
125	11045	13254	15463	17671	19880	22089
150	15904	19085	22266	25447	28628	31809
175	21648	25977	30307	34636	38966	43295
200	28274	33929	39584	45239	50894	56549
250	44179	53014	61850	70686	79522	88357
320	72382	86859	101335	115812	130288	144765
400	113097	135717	158336	180956	203575	226195
500	176715	212058	247400	282743	318086	353429
	1450	1740	2031	2321	2611	2901
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)

effort minimum des vérins pneumatiques (en poussée): (Lbs) incluant 10% de frottements internes

$F=(A \times p) - R$		A = aire du piston (cm ²)		d = alésage (cm)			
ou $F=p \times 10(\pi d^2/4) - R$		$p = \text{pression de travail (bar)}$ (1bar=14.504psi)				R = frottements (10%.F)	
alésages (mm)	pressions: (bars)					alésages (po)	
	2	4	6	8	10	12	
2,5	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1/16
3,5	0,4	0,8	1,2	1,6	1,9	2,3	1/8
5,35	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,5	3/16
6	1,1	2,3	3,4	4,6	5,7	6,9	1/4
8	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	5/16
10	3,2	6,4	9,5	12,7	15,9	19,1	3/8
12	4,6	9,2	13,7	18,3	22,9	27,5	1/2
16	8,1	16,3	24,4	32,5	40,7	48,8	5/8
20	13	25	38	51	64	76	3/4
25	20	40	60	79	99	119	1
32	33	65	98	130	163	195	1 1/4
40	51	102	153	203	254	305	1 1/2
50	79	159	238	318	397	477	2
63	126	252	378	505	631	757	2.5
80	203	407	610	814	1017	1220	3
100	318	636	953	1271	1589	1907	4
125	497	993	1490	1986	2483	2980	5
160	814	1627	2441	3254	4068	4882	6
200	1271	2543	3814	5085	6356	7628	8
320	3254	6509	9763	13018	16272	19527	12
	29	58	87	116	145	174	
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)	

effort minimum des vérins hydrauliques (en poussée): (Lbs) incluant 10% de frottements internes

$F=(A \times p) - R$		A = aire du piston (cm ²)		d = alésage (cm)			
ou $F=p \times 10(\pi d^2/4) - R$		$p = \text{pression de travail (bar)}$ (1bar=14.504psi)				R = frottements (10%.F)	
alésages (mm)	pressions: (bars)					alésages (po)	
	100	120	140	160	180	200	
25	993	1192	1390	1589	1788	1986	1
32	1627	1953	2278	2604	2929	3254	1 1/4
40	2543	3051	3560	4068	4577	5085	1 1/2
50	3973	4767	5562	6356	7151	7945	2
63	6307	7569	8830	10091	11353	12614	2.5
80	10170	12204	14238	16272	18306	20340	3
100	15891	19069	22247	25425	28604	31782	4
125	24830	29795	34761	39727	44693	49659	5
150	35754	42905	50056	57207	64358	71509	6
175	48666	58399	68132	77865	87598	97332	8
200	63564	76276	88989	101702	114414	127127	12
250	99318	119182	139045	158909	178772	198636	10
320	162723	195267	227812	260356	292901	325445	12
400	254254	305105	355956	406807	457657	508508	14
500	397272	476726	556181	635635	715090	794544	20
	1450	1740	2031	2321	2611	2901	
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)	

effort minimum des vérins pneumatiques (en traction = - 5%): (N) incluant 10% de frottements internes							
$F=(A \times p) - R$		A = aire du piston (cm ²)		d = alésage (cm)			
ou $F=p \times 10(\pi d^2/4) - R$		p = pression de travail (bar) (1bar=14.504psi)		R = frottements (10%.F)			
alésages (mm)	pressions: (bars)						alésages (po)
	2	4	6	8	10	12	
2,5	0,8	1,7	2,5	3,2	4,2	5,0	1/16
3,5	1,6	3,3	4,9	6,2	8,2	9,9	1/8
5,35	3,8	7,7	11,5	14,6	19,2	23,1	3/16
6	4,8	9,7	14,5	18,3	24,2	29,0	1/4
8	8,6	17,2	25,8	32,6	43,0	51,6	5/16
10	13,4	26,9	40,3	50,9	67,2	80,6	3/8
12	19	39	58	73	97	116	1/2
16	34	69	103	130	172	206	5/8
20	54	107	161	204	269	322	3/4
25	84	168	252	318	420	504	1
32	138	275	413	521	688	825	1 1/4
40	215	430	645	814	1074	1289	1 1/2
50	336	672	1007	1272	1679	2015	2
63	533	1066	1599	2020	2665	3198	2.5
80	860	1719	2579	3257	4298	5157	3
100	1343	2686	4029	5089	6715	8058	4
125	2098	4197	6295	7952	10492	12591	5
160	3438	6876	10314	13029	17191	20629	6
200	5372	10744	16116	20358	26861	32233	8
320	13753	27505	41258	52115	68763	82516	12
	29	58	87	116	145	174	
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)	
	40	80	120	160	200	240	

effort minimum des vérins hydrauliques (en traction = - 55%): (DaN) incluant 10% de frottements internes							
$F=(A \times p) - R$		$A = \text{aire du piston (cm}^2)$		$d = \text{alésage (cm)}$			
ou $F=p \times 10(\pi.d^2/4) - R$		$p = \text{pression de travail (bar)}$ (1bar=14.504psi)		$R = \text{frottements (10%.F)}$			
alésages (mm)	pressions: (bars)					alésages (po)	
	100	120	140	160	180	200	
25	199	239	278	318	358	398	1
32	326	391	456	521	586	651	1 1/4
40	509	611	713	814	916	1018	1 1/2
50	795	954	1113	1272	1431	1590	2
63	1262	1515	1767	2020	2272	2525	2.5
80	2036	2443	2850	3257	3664	4072	3
100	3181	3817	4453	5089	5726	6362	4
125	4970	5964	6958	7952	8946	9940	5
150	7157	8588	10020	11451	12882	14314	6
175	9741	11690	13638	15586	17535	19483	8
200	12723	15268	17813	20358	22902	25447	12
250	19880	23856	27833	31809	35785	39761	10
320	32572	39086	45601	52115	58630	65144	12
400	50894	61073	71251	81430	91609	101788	14
500	79522	95426	111330	127235	143139	159043	20
	1450	1740	2031	2321	2611	2901	
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)	

effort minimum des vérins pneumatiques (en traction = - 5%): (Lbs) incluant 10% de frottements internes							
$F=(A \times p) - R$		A = aire du piston (cm ²)		d = alésage (cm)			
ou $F=p \times 10(\pi d^2/4) - R$		p = pression de travail (bar) (1bar=14.504psi)		R = frottements (10%.F)			
alésages (mm)	pressions: (bars)					alésages (po)	
	2	4	6	8	10	12	
2,5	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1/16
3,5	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	1/8
5,35	0,9	1,7	2,6	3,3	4,3	5,2	3/16
6	1,1	2,2	3,3	4,1	5,4	6,5	1/4
8	1,9	3,9	5,8	7,3	9,7	11,6	5/16
10	3,0	6,0	9,1	11,4	15,1	18,1	3/8
12	4,3	8,7	13,0	16,5	21,7	26,1	1/2
16	7,7	15,5	23,2	29,3	38,6	46,4	5/8
20	12	24	36	46	60	72	3/4
25	19	38	57	72	94	113	1
32	31	62	93	117	155	186	1 1/4
40	48	97	145	183	242	290	1 1/2
50	75	151	226	286	377	453	2
63	120	240	360	454	599	719	2.5
80	193	386	580	732	966	1159	3
100	302	604	906	1144	1510	1812	4
125	472	944	1415	1788	2359	2831	5
160	773	1546	2319	2929	3865	4638	6
200	1208	2415	3623	4577	6039	7246	8
320	3092	6183	9275	11716	15459	18550	12
	29	58	87	116	145	174	
alésages (mm)	pressions: (psi)					alésages (po)	

[sommaire](#)

h
h
t
Rt
K
L

avec K =



soudure et brasure :

(plus bas dans la page: soudage métaux, soudage plastiques, défauts de soudure)

Quelques rappels:

hauteur du cordon

épaisseur du cordon (= $\cos.45 \times h$)

fatigue admise du cordon (kg/mm²)

charge de traction admissible du métal de base (kg/mm²)

coefficient

longueur du cordon

traction:

$$t = K \times R_t$$

0.70 bout à bout

0.60 frontales

0.50 latérales

0.90 compression

0.60 cisaillement

en pratique: (selon Müller)

R_m cordon approx =35 kg/mm²

R_e cordon approx =25 kg/mm²

Procédés de soudage de pièces métalliques :

Soudage oxyacétylénique ou soudage oxy-gaz:

L'énergie thermique est générée par la combustion du mélange oxygène-acétylène. Le métal d'apport est en général amené sous forme de baguette.

Soudage aluminothermique:

Utilisé pour la réparation de pièces massives telles que les rails de chemin de fer, est une méthode de soudage chimique : le joint à réaliser est emprisonné dans une forme, que l'on remplit d'un mélange pulvérulent à base d'aluminium et d'oxyde de fer. Les pièces à souder sont chauffées au rouge et le mélange est ensuite enflammé : la réduction de l'oxyde de fer par l'aluminium provoque la fusion et l'alumine produite est expulsée vers le haut par décantation.

Soudage électrique par résistance:

(ou par points, ou à la molette, ou PSE, ou PSR)

Le soudage est réalisé par la combinaison d'une forte intensité électrique et d'une pression ponctuelle. Ce procédé ne nécessite pas d'apport extérieur. L'intensité électrique chauffe la matière jusqu'à la fusion. La pression maintient le contact entre l'électrode et l'assemblage. Pour souder, une pince plaque l'assemblage avec des embouts, ou des électrodes en cuivre, matière bonne conductrice de l'électricité et de la chaleur, ce qui permet de moins chauffer la zone de contact avec cette pince et d'en éviter la fusion, qui se trouve limitée à la zone de contact entre les deux feuilles à souder. Cette technique est donc dépendante de la résistivité (résistance électrique) des matières, de l'épaisseur totale de l'assemblage et du diamètre des électrodes. Ce procédé est majoritairement utilisé dans l'assemblage de tôle d'acier de faible épaisseur (<6mm). Cette technique bénéficie d'un savoir-faire très important et d'une productivité incomparable (dans le domaine d'application). Pour exemple, une caisse automobile est assemblé à plus de 80% par des points soudés.

Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées:

(MMA : *Manual Metal Arc*, ou SMAW : *Shielded Metal Arc Welding*)

La température de soudage est générée par l'arc électrique entre deux électrodes que constituent la pièce à souder et la baguette de métal d'apport où le métal fondu est protégé par un laitier.

Soudage à l'arc sous flux gazeux:

(Soudage TIG : *Tungsten Inert Gas*, GTAW Gas Tungsten Arc Welding selon les normes américaines ou encore procédé 141 selon l'*ISO 4063*)

Un arc électrique est établi entre l'extrémité d'une électrode infusible en tungstène et la pièce à souder, sous la protection d'un gaz inert (argon, hélium ou mélange argon-hélium...). Le métal d'apport est ajouté si nécessaire sous forme d'une baguette ou d'un feuillard placée dans l'arc électrique. Ce procédé peut s'automatiser voire se robotiser dans le cas fréquent du soudage TIG orbital.

Soudage à l'arc avec fil électrodes fusibles ou soudage semi-automatique :

soudage MIG-MAG : Metal Inert Gas-Metal Active Gas, GMAW Gas Metal Arc Welding selon les normes américaines ou encore procédé 131 (MIG) ou 135 (MAG) selon l'ISO 4063

Un arc électrique est établi entre l'extrémité d'une électrode consommable et la pièce à assembler, sous la protection d'un mélange gazeux dont la nature dépend du type de soudure réalisée. L'électrode, amenée automatiquement de façon continue depuis un dévidoir, se présente sous la forme d'un fil massif ou fourré.

Soudage laser:

L'énergie est apportée sous forme d'un faisceau laser. Les sources laser peuvent être de type CO₂ ou YAG ou LED.

Soudage plasma:

(PAW : *Plasma Arc Welding*)

Considéré comme une évolution de la soudure TIG, il s'en distingue par le fait que l'arc est contraint mécaniquement (constriction mécanique) ou pneumatiquement (constriction pneumatique), générant ainsi une densité d'énergie supérieure. L'arc peut jaillir entre la tuyère et l'électrode (arc non-transféré) ou entre la pièce et l'électrode (arc transféré) voire être semi-transféré.

Soudage par faisceau d'électrons:

(EBW : *Electron Beam Welding*)

Utilise l'énergie cinétique des électrons projetés dans une enceinte sous vide et focalisés sur la pièce à souder pour créer une zone fondue.

Soudage par friction :

Ce type de soudage est obtenu par l'échauffement de deux pièces pressées et en mouvement l'une par rapport à l'autre. Le mouvement relatif entraîne un échauffement de l'interface jusqu'à plastification locale du matériau, puis soudage par diffusion atomique.

On distingue deux familles de soudage par friction :

le soudage linéaire (LFW, Linear Friction Welding), obtenu par un mouvement d'aller/retour linéaire.

le soudage orbital, obtenu par rotation relative des deux pièces.

Ce dernier type se compose de deux familles :

le soudage à friction pilotée, pour lequel le couple du moteur d'entraînement est transmis directement à la pièce en rotation.

le soudage à friction inertielle, qui utilise un volant d'inertie pour fournir le couple de frottement.

Soudage par friction malaxage ou soudage thixotropique:

(FSW, Friction Stir Welding)

Ce type de soudage est aujourd'hui essentiellement utilisé pour les alliages d'aluminium car il demande des efforts très importants pour être mis en œuvre. De même les outils utilisés pour le soudage de nuances autres que l'aluminium (acières) doivent être très durs et très résistants.

Soudage par composition de procédés:

Dit hybride, par exemple Laser plus TIG.

Soudage électrogaz:

Se rapproche de la fonderie.

Soudage par diffusion :

Consiste à se servir du phénomène de diffusion des atomes pour créer une liaison.

Soudage par explosion:

Cette technique découverte fortuitement en 1957 lors d'essais de formage par explosion, est essentiellement employée pour assembler des métaux de nature différentes, par exemple de l'aluminium sur de l'acier. Généralement il s'agit de profilés pré-soudés qui permettent ces assemblages (ex: superstructures en aluminium sur un bateau à coque en acier dans le but d'abaisser le centre de gravité) Les métaux à assembler sont superposés selon un certain angle et recouverts d'une couche uniforme d'explosif, la *combustion rapide* (détonation) de celui-ci provoque une fusion en coin qui se propage sur toute la surface mêlant intimement les 2 métaux. Ce type de soudure n'est pas sujette par la suite à la corrosion galvanique.

Brasage:

Le brasage est l'assemblage de deux matériaux à l'aide d'un métal d'apport ayant une température de fusion inférieure à celle des métaux à assembler et mouillant, par capillarité, les surfaces qui ne participent pas par leur fusion à la constitution du joint brasé. C'est un assemblage dit « hétérogène ».

Le chauffage de la zone à brasser peut se faire par un fer à souder, de l'air chaud, une flamme (chalumeau), un arc électrique, un inducteur ou au laser.

Le brasage peut se faire aussi au four (à air, sous atmosphère contrôlée, sous vide).

Ce procédé est par exemple utilisé :

en électronique pour assembler les composants sur les circuits imprimés, ou divers éléments entre eux, tout en assurant la continuité électrique.

en plomberie pour assembler des tubes de façon étanche (brasage par capillarité).

en industrie automobile (échangeurs de chaleur type condenseur et évaporateur).

en industrie aéronautique et aérospatiale (brasage sous vide des inox et superalliages).

dans la fabrication des instruments de musique.

dans la fabrication de bijoux et joyaux.

Le métal d'apport peut être un alliage d'étain, de cuivre, d'argent, d'aluminium, de nickel, ou autres alliages de métaux précieux.

Très fréquemment des flux de brasage sont utilisés afin de permettre le mouillage du métal d'apport par destruction de la couche d'oxyde à la surface des métaux à assembler.

Brasage fort et faible:

Le brasage fort est un mode de brasage dans lequel la température de fusion de l'alliage d'apport est supérieure à 450°C.

A l'inverse, pour une température de fusion de l'alliage d'apport inférieure à 450°C, on parlera de brasage tendre.

Brasage à la lampe à souder:

Lampe à souder : l'acétylène était autrefois fabriqué par l'action de l'eau sur des pierres à carbure de calcium

Utilisé avec le plomb : Ce métal ayant un point de fusion assez bas, les apports successifs de métal sont chaque fois refroidis par passage d'un chiffon humide. Cette méthode ancienne exige beaucoup de doigté, la moindre surchauffe provoquant l'effondrement de l'objet à souder.

Brasage à l'étain:

Le brasage à l'étain s'effectue à basse température (200 °C - 250 °C), un alliage d'étain et de plomb est fondu et utilisé pour joindre des surfaces métalliques, en particulier dans le domaine de l'électronique et de la plomberie. Il s'agit de brasure et non de soudure, car seul le métal d'apport est fusionné.

Soudobrasage:

Procédé de Brasage fort dans lequel le joint soudobrasé est obtenu de proche en proche, par une technique opératoire analogue à celle du soudage par fusion, mais sans aucune action capillaire comme dans le brasage, ni fusion du métal de base. La température de fusion du métal ou de l'alliage d'apport est inférieure à celle du métal de base, mais supérieure à 450 °C.

L'opération de soudobrasage est une opération de brasage, à la seule condition qu'il y a une préparation des bords, comme une soudure classique (type EE). C'est une opération d'assemblage sans distinction entre l'homogénéité et l'hétérogénéité de l'ensemble.

Brasage de composants électroniques :

En électronique, le métal d'apport était généralement constitué de 60% d'étain et de 40% de plomb en masse afin de produire un mélange presque eutectique (point de fusion inférieur à 190°C).

Le rapport eutectique de 63/37 (%m) correspond de près à un Sn₃Pb mélange intermétallique. Il donne un eutectique aux environs de 179°C à 183°C.

La tendance actuelle est de réduire la quantité de plomb et de trouver d'autres alliages, à cause de la toxicité.

Évolution:

Suivant les directives de l'Union européenne WEEE (*Waste of Electrical and Electronic Equipment*) et RoHS (*Reduction of Hazardous Substances*), le plomb doit être éliminé des systèmes électroniques à partir du 1er juillet 2006, amenant un grand intérêt des industriels pour les brasures sans plomb. Celles-ci contiennent de l'étain, du cuivre, de l'argent, et d'autres métaux dans des quantités variées.

Brasage utilisé en plomberie:

En plomberie, une proportion de plomb supérieure était utilisée. Ce qui avait l'avantage de faire prendre la brasure plus lentement, et qui permettait donc de la glisser sur le joint pour assurer l'étanchéité. Avec le remplacement des canalisations de plomb par du cuivre, le plomb dans les brasures fut remplacé par du cuivre, et la proportion d'étain augmenta.

Le métal d'apport utilisé pour le brasage fort est généralement un alliage cuivre/phosphore de cuivre/zinc, ou cuivre/argent.

Le point de fusion de ces différents alliages se situe généralement entre 600°C et 880°C.

Les alliages à forte teneur en argent (40%) sont recommandés pour la réalisation de brasages à résistance mécanique élevée et sont les seuls autorisés pour les raccordements de conduites de gaz de ville en cuivre et en laiton.

Le laiton est utilisé pour le brasage de l'acier.

La brasure est en général mélangée avec, ou utilisée avec du flux, lequel est un agent réducteur conçu pour aider à enlever les impuretés (en particulier les métaux oxydés). Pour l'aspect pratique le métal d'apport est souvent commercialisé sous forme de baguettes ou comme tubes creux contenant du flux. La plupart des brasures froides sont suffisamment souples pour être roulées et stockées en rouleau.

Brasage dans les instruments de musique:

En facture d'orgue, ce procédé est utilisé afin de fabriquer les tuyaux. La technique à acquérir n'est pas évidente et nécessite un CAP spécifique. Les tuyaux sont fait d'un alliage soit riche en étain (>63.3%), soit pauvre (<63.3%). L'idéal étant que cet alliage ne soit pas trop proche de l'alliage utilisé pour braser. Les barres de soudure sont à 63.3% d'étain car c'est à ce pourcentage que la température de fusion est au plus bas.

Par ailleurs, tous les instruments de type cuivres (ainsi que certains bois dont la famille des saxophones) sont brasés à l'étain, seules certaines parties le sont à l'argent.

Soudure des plastiques:

La soudure plastique est un ensemble de techniques utilisées pour souder deux pièces en matière plastique. Le choix d'une technique particulière est liée au type de plastique utilisé, la géométrie des pièces à assembler, le temps de cycle de soudure requis ainsi que le coût des moyens à mettre en œuvre. Ces techniques de soudure sont basées sur un échauffement local des matériaux à souder. L'échauffement des matériaux se fait, selon la technique utilisée, soit par un apport extérieur de chaleur soit par création de chaleur provoquée par le process lui-même. **Seuls les thermoplastiques** sont de ce fait soudables par ces techniques.

Soudure par lame chauffante ou miroir chauffant:

Le soudage par lame chauffante consiste à positionner deux pièces plastique l'une au dessus de l'autre en laissant un espace d'environ 1 cm entre celles-ci. Dans cet espace est introduit un miroir qui chauffe des deux cotés. Les deux pièces plastiques viennent ensuite en contact du miroir jusqu'à ce que la température de la matière ait atteint sa température de fusion en surface. Lorsque les températures de fusion sont atteintes, il suffit de retirer le miroir chauffant et de mettre en contact les deux pièces plastiques l'une avec l'autre pendant quelques secondes. La soudure est réalisée.

Soudage par ultrasons:

Le soudage par Ultrasons est une technique d'assemblage rapide et économique pour les pièces en plastique. Ce procédé s'applique facilement aux polymères amorphes à point de fusion bas (polystyrène, ...). Pour les amorphes à point de fusion plus haut ainsi que pour les semi-cristallins, l'assemblage des pièces demande plus de préparation et de contrôle.

Le procédé:

Des vibrations de haute fréquence sont envoyées aux deux pièces par le biais d'un outil vibrant appelé sonotrode ou tête de soudure. La soudure se fait grâce à la chaleur engendrée à l'interface des deux pièces.

L'équipement nécessaire comporte:

Un dispositif de fixation pour maintenir les pièces à souder

Un transducteur électromagnétique ou convertisseur qui va générer les ondes haute fréquence

Une sonotrode pour transmettre les ultrasons aux pièces à souder

Les fréquences typiquement utilisées sont 20, 30 ou 40 kHz et les amplitudes des vibrations varient entre 10 et 120 micromètres, en fonction du type de matériel et de la forme des pièces à assembler.

Soudure par rotation:

Le soudage par rotation, est la méthode idéale pour réaliser des soudures solides et étanches entre des pièces de révolutions en plastiques. Une pièce est maintenue immobile tandis que l'autre est mise en pression avec un mouvement circulaire sur la première.

Si le positionnement relatif des deux pièces pose problème ou doit être dans une position donnée, il faudra utiliser un système à rotation indexée. (cf MECASONIC)

Dans le soudage par rotation, la chaleur est produite par la rotation et la pression appliquée sur les pièces.

Soudure par Laser:

Cette technique demande que l'une des pièces soit transparente tandis que l'autre est opaque à la longueur d'onde particulière du Laser utilisée. Les deux pièces sont mises en pression tandis que le rayon Laser parcourt la longueur du joint, traversant la première pièce et étant absorbée par la seconde pièce. La chaleur ainsi générée fond le matériel, créant une soudure permanente lors de la phase de refroidissement.

Soudure par Haute Fréquence:

Principalement utilisée pour la soudure des feuilles de PVC, celles-ci sont placées entre une électrode en laiton et un marbre. Un courant de Haute Fréquence (généralement 27,12 MHz) vient faire fusionner la matière selon la forme de l'électrode. Exemple de produits soudés selon ce procédé : pares-soleils, porte-cartes, protéges documents (étuis de carnets chéqués ...).

Le procédé de la soudure haute fréquence est utilisé pour la soudure instantanée des thermoplastiques. Il consiste en un champ électrostatique permettant les vibrations moléculaires nécessaires à un réchauffement interne entraînant le ramollissement des faces à souder.

Soudure par friction linéaire (dite par vibration):

mise en vibration d'une pièce par rapport à l'autre, maintenue solidement dans une enclume. Les modes d'entraînement sont soit électromagnétiques (50 à 200Hz, amplitude de l'ordre du mm), soit à bielle équilibrée (inf. à 50Hz, mais plus grande amplitude)(cf MECASONIC)

soudure par friction orbitale:

variante de la soudure par rotation permettant la soudure régulière de pièces ayant des largeurs de joints de soudure différents

assemblage par air chaud:

Système permettant la soudure de certains plastiques par chauffage à l'aide d'un système à air chaud type décapeur thermique. La simplicité de ce système le rend exploitable sur les chantiers, mais seuls quelques plastiques se prêtent à ce type de soudure.

soudure par points:

apport ponctuel de chaleur. Ne se prête qu'aux matériaux de faible épaisseur.

bouterollage par ultrasons, pièce chaude ou par air chaud:

système de repoussage de "cheminées" préformées. Peut s'apparenter au rivetage à chaud.

soudure par infra-rouges:

système complexe par lequel une résistance infrarouge remplace le miroir d'une lame chauffante. Permet une soudure sans contact du corps de chauffe.

Problématiques du soudage:

Le soudage présente deux grandes familles de problématiques :

métallurgiques
mécaniques

Métallurgie du soudage:

L'opération de soudage induit de par son apport énergétique et parfois par l'apport de métal des modifications métallurgiques au niveau du joint soudé. Ces modifications vont affecter les microstructures de la zone fondues et des zones affectées thermiquement.

De fait, le joint soudé est soumis à diverses problématiques résultant de ces modifications :

fragilisation par l'hydrogène : phénomène de fissuration à froid

apparition de fissuration à chaud (liquation) en cours de solidification : retassures, fissuration intergranulaire

tenue à la corrosion différente du métal de base : essentiellement due aux phénomènes de ségrégation

Ces problématiques concernent aussi bien la zone fondues (qui est passée à l'état liquide au cours de l'opération de soudage) que la zone affectée thermiquement. La zone affectée thermiquement appelée ZAT est le siège de modifications métallurgiques du métal de base qui peuvent induire des fragilités, des baisses de résistance mécanique, des manques de ductilité ... Ces modifications dépendent du matériau soudé, du procédé utilisé, du mode opératoire suivi ...

Exemples :

Dans les aciers C-Mn faiblement alliés la ZAT est le siège d'une augmentation des propriétés mécaniques (Re, Rm) et de chute de ductilité

Dans les aciers thermomécaniques à très haute limite élastique $Re > 690 \text{ MPa}$, on peut trouver dans certaines parties de la ZAT un phénomène d'adoucissement qui efface les effets du laminage thermomécanique et qui diminue la limite élastique et la limite à la rupture.

Un alliage d'aluminium de la série 5000 soudé bout à bout présente toujours une baisse de propriétés mécaniques en ZAT.

Un acier inoxydable austénitique du type 304 L soudé présente souvent une diminution de sa tenue à la corrosion au niveau de la soudure.

Les alliages de Titane sont très sensibles aux phénomènes d'oxydation pendant l'opération de soudage, qui peut faire chuter de manière drastique les propriétés mécaniques du joint soudé.

Tenue mécanique d'un joint soudé:

Les modifications métallurgiques impactent la tenue mécanique du joint soudé. Aussi faut-il s'assurer d'obtenir une tenue mécanique suffisante et tenir compte des soudures dans le calcul et le dimensionnement des pièces. L'opération de soudage engendre de plus la création de contraintes résiduelles dues au retrait créé par l'opération de soudage sur les pièces. La tenue à la fatigue des assemblages soudés est une problématique fondamentale dans la conception des appareils soudés. Les défauts géométriques des cordons de soudures jouent un grand rôle dans la tenue à la fatigue des assemblages soudés.

Défauts de soudure:

Fragilité induite par la ségrégation:

Le soudage consistant à chauffer localement le métal, il s'agit d'un traitement thermique local. Il y a donc une modification locale de la microstructure et de l'état métallurgique de la zone du métal affectée par le chauffage (ZAT : zone affectée thermiquement). En effet, le cycle de température inhérent au soudage détruit le durcissement structural et abaisse la résistance mécanique au pourtour du joint de soudure.

Le chauffage active un certain nombre de mécanismes, dont notamment la diffusion des atomes. Il se produit donc un phénomène appelé « ségrégation » : le métal n'étant pas pur, les atomes étrangers (impuretés, éléments d'alliage) migrent vers les joints de grain.

Ceci peut entraîner une fragilisation des joints de grain, et donc faciliter la rupture fragile intergranulaire.

Pour éviter ce problème, on effectue parfois un recuit de la pièce (chauffage de toute la pièce afin d'homogénéiser l'ensemble).

Corrosion au cordon de soudure:

La soudure est la juxtaposition de deux métaux différents. On peut donc avoir un phénomène de corrosion galvanique. Ce défaut peut se présenter dans le cas du soudage hétérogène d'un assemblage mal conçu, sous réserve de la présence d'un électrolyte. De plus, on peut également voir apparaître un phénomène de corrosion interfaciale comme cela peut être rencontré lors de la ségrégation du [Bore] aux joints de grains dans les bases Nickel ou lors de la ségrégation du Carbone aux joints de grains dans les aciers inoxydables.

Porosités :

Il s'agit de défauts sphériques creux qui peuvent être ou non débouchants. Elles sont causées par les courants d'air, le manque de gaz, l'obstruction de la buse, un mauvais angle de soudage, de l'eau ou des impuretés dans le joint à souder...

Soufflures:

Ce terme désigne un groupe de porosités débouchantes ou non débouchantes. Quand elles sont alignées, on parle de soufflures vermiculaires. Si elles sont débouchantes, on parle alors de piqûres.

Inclusions:

Elles désignent un composé étranger à la soudure et peuvent contenir du Tungstène (Cas du Soudage TIG) ou du laitier (Soudage à l'électrode enrobée ou baguette) ou encore des oxydes.

Retassures :

Suite à un retrait du métal lors de son refroidissement, l'espace vide formé apparaît visuellement à la surface du cordon.

Criques de solidification :

Même défaut que les retassures sauf que le défaut est non apparent.

Excès de pénétration :

Métal débordant du côté envers du cordon.

Collage ou manque de pénétration:

Le métal de base est non fondu, ce qui diminue la section efficace de la soudure. On distingue le collage noir où l'interface entre le métal de base et la soudure est vide (par un contrôle aux rayons X apparaît une tache sombre) et le collage blanc, où l'interface est cette fois-ci comblée par des oxydes fondus (cette variété est indécelable aux rayons X).

Fissures :

On distingue :

La fissuration à froid causée par des contraintes mécaniques résiduelles importantes, une présence d'hydrogène dissout et une phase fragile,

La fissuration à chaud (ou plus exactement liquation) créée par la ségrégation dans le joint d'un eutectique par exemple et,

En ce qui concerne les aciers au chrome ou des aciers inoxydables la formation de carbures de chrome cr₂3c₆ qui précipite au niveau des joints de grains et provoque la corrosion de joint soudés par fissuration intergranulaire (le chrome est pompé par le carbone et n'assure donc plus son rôle de résistance à la corrosion au voisinage du carbure).

Morsures:

Défaut où le métal de base est *creusé* sur une partie du cordon.

Caniveaux :

Un caniveau est une morsure de grande taille proportionnellement à la grandeur du métal de base due à une trop grande chaleur du métal d'apport par rapport à l'épaisseur ou la densité du métal qui reçoit.(voir mauvais paramètre de la machine à souder)

Pollution ferreuse:

La pollution ferreuse est une corrosion des aciers inoxydables causée par la destruction de la couche de passivation et activée par la présence de fer. Elle résulte généralement de l'utilisation d'outils métalliques (brosse, cisaille, etc.), après usinage, mise en forme ou est la conséquence des projections de métal fondu lors d'opérations de soudage.

Défauts géométriques:

Ces défauts peuvent être des défauts d'alignement entre les pièces, un cordon trop bombé...

Déformations Géométriques:

Les pièces , n'ayant pas les mêmes tensions internes présentent de sévères déformations géométriques et doivent en tout temps être réusinées après soudure

comparaison des vis impériales et métriques

[sommaire](#)



unc / unf:

diam.- nbre filets au pouce

pas standard / coarse thread	
UNC	métrique std
1-64	M2 x 0.4
3-48	M2.5 x 0.45
4-40	M3 x 0.5
6-32	M3.5 x 0.6
8-32	M4 x 0.7
10-24	M5 x 0.8
1/4-20	M6 x 1
5/16-18	M8 x 125
3/8-16	M10 x 150
1/2-13	M12 x 175
5/8-11	M16 x 2
3/4-10	M20 x 2.5
1-8	M24 x 3
1-1/8-7	M30 x 3.5
1-1/4-7	M36 x 4

pas fin / fine thread	
UNF	métrique fin
1-72	M2 x 0.25
3-56	M2.5 x 0.35
4-48	M3 x 0.35
6-40	M3.5 x 0.35
8-36	M4 x 0.5
10-32	M5 x 0.5
1/4-28	M6 x 0.75
5/16-24	M8 x 0.75 ou 1
3/8-24	M10 x 0.75-1-1.25
1/2-20	M12 x 1-1.25-1.5
5/8-18	M16 x 1-1.5
3/4-16	M20 x 1-1.5
1-12	M24 x 1-1.5
1-1/8-12	M30 x 1-1.5
1-1/4-12	M36 x 1.5-2-3

[aller à la page de calculs de visserie](#)

perçages en gauges, pouces et milimètres		
gauge n°	pouces (1/1000)	mm
0000	0.021	0.53
000	0.034	0.86
00	0.047	1.19
0	0.060	1.524
1	0.073	1.854
2	0.086	2.184
3	0.099	2.515
4	0.112	2.845
5	0.125	3.175
6	0.138	3.505
8	0.164	4.166
10	0.190	4.826
12	0.216	5.486

calcul de longueur à ajouter à l'épaisseur à assembler, en fonction du diamètre, incluant 2 rondelles plates, une lock-washer (rondelle grower) et un écrou, laissant 3 à 5 filets libres.

vis	longueur à ajouter	vis	longueur à ajouter
1/4-20	1/2	M3	+6
5/16-18	3/8	M4	+8
3/8-16	3/4	M5	+10
1/2-13	1	M6	+12
5/8-11	1 1/4	M8	+16
3/4-10	1 1/2	M10	+20
1-8	2	M12	+24
1-1/8-7	2 1/4	M16	+32
1-1/4-7	2 1/2	M20	+40
		M27	+54

Po	1/1000 po	Mm	Vis equiv. (approx)	imperiales (UNC - UNF)
1/32	31,25	0,79375		
1/16	62,5	1,5875	M1.6	n°1 64 - 80
3/32	93,75	2,38125	M2	n°3 48 - 56
1/8	125	3,175	M3	n°5 40 - 44
5/32	156,25	3,96875	M4	n°8 32 - 36
3/16	187,5	4,7625	M5	n°10 24 - 32
7/32	218,75	5,55625		n°12 24 - 28
1/4	250	6,35	M6	1/4 20 - 28
9/32	281,25	7,14375		
5/16	312,5	7,9375	M8	5/16 18 - 24
11/32	343,75	8,73125		
3/8	375	9,525	M10	3/8 16 - 24
13/32	406,25	10,31875		
7/16	437,5	11,1125		7/16 14 - 20
15/32	468,75	11,90625		
1/2	500	12,7	M12	1/2 13 - 20

sommaire	po	1/1000	mm	vis equiv. (approx)	imperiales (UNC - UNF)
	17/32	531,25	13,49375		
	9/16	562,5	14,2875		9/16 12 - 18
	19/32	593,75	15,08125		
	5/8	625	15,875	M16	5/8 11 - 18
	21/32	656,25	16,66875		
	11/16	687,5	17,4625		
	23/32	718,75	18,25625		
	¾	750	19,05	M20	3/4 10 - 16
	25/32	781,25	19,84375		
	13/16	812,5	20,6375		
	27/32	843,75	21,43125		
	7/8	875	22,225		7/8 9 - 14
	29/32	906,25	23,01875		
	15/16	937,5	23,8125		
	31/32	968,75	24,60625		
	1	1000	25,4	M24	1 8 - 12

SURPLATS ISO

diam [mm]	pas [mm]	6 pans tête CHC [mm]	6 pans tête H [mm]
1,60	0,35		3,20
2,00	0,40		4,00
2,50	0,45		5,00
3,00	0,50		5,50
3,50	0,60		6,00
4,00	0,70		7,00
5,00	0,80		8,00
6,00	1,00		10,00
7,00	1,00		11,00
8,00	1,25		13,00
10,00	1,50		16,00
12,00	1,75		18,00
14,00	2,00		21,00
16,00	2,00		24,00

diam [mm]	pas [mm]	6 pans tête CHC [mm]	6 pans tête H [mm]
18,00	2,50		27,00
20,00	2,50		30,00
22,00	2,50		34,00
24,00	3,00		36,00
27,00	3,00		41,00
30,00	3,50		46,00
33,00	3,50		50,00
36,00	4,00		55,00
39,00	4,00		60,00
42,00	4,50		65,00
45,00	4,50		70,00
48,00	5,00		75,00
52,00	5,00		80,00

Résistance à la traction des vis en restant dans la zone de déformation élastique (valeurs mini) en DaN

diamètre d'une vis (mm)	section (mm ²)	resistance traction vis 6.8 (daN) (Re:480)	resistance traction vis 8,8 HR (daN) (Re:640)	resistance traction vis 12.9 HR (daN) (Re:1080)
M 3	7,07	344,94	452,38	763,38
M 4	12,57	613,22	804,22	1357,13
M 5	19,63	958,16	1256,60	2120,51
M 6	28,27	1379,75	1809,50	3053,54
M 8	50,26	2452,88	3216,90	5428,51
M 10	78,54	3832,63	5026,40	8482,05
M 12	113,09	5518,99	7238,02	12214,15
M 16	201,06	9811,53	12867,58	21714,05
M 20	314,15	15330,52	20105,60	33928,20

Résistance à la traction des vis en allant à la rupture (valeurs mini) en DaN

diamètre d'une vis (mm)	section (mm ²)	resistance traction vis 6.8 (daN) (Rm:588)	resistance traction vis 8,8 HR (daN) (Rm:784)	resistance traction vis 12.9 HR (daN) (Rm:1176)
M 3	7,07	415,62	554,16	831,24
M 4	12,57	738,88	985,17	1477,76
M 5	19,63	1154,50	1539,34	2309,00
M 6	28,27	1662,48	2216,64	3324,96
M 8	50,26	2955,52	3940,70	5911,05
M 10	78,54	4618,01	6157,34	9236,01
M 12	113,09	6649,93	8866,57	13299,85
M 16	201,06	11822,09	15762,79	23644,19
M 20	314,15	18472,02	24629,36	36944,04

Résistance à la traction selon les classes de Qualité

Qual,	Rm	Re
3-6	300	180
4-6	400	240
4-8	400	320
6-8	600	480
8-8	800	640
10-9	1000	900
12-9	1200	1080

Résistance au cisaillement des vis en restant dans la zone de déformation élastique (valeurs mini) en DaN

diamètre d'une vis (mm)	section (mm ²)	resistance traction vis 6.8 (daN) (tC:161)	resistance traction vis 8,8 HR (daN) (tC:234)	resistance traction vis 12.9 HR (daN) (tC:350)
M 3	7,07	113,80	165,40	247,39
M 4	12,57	202,31	294,04	439,81
M 5	19,63	316,11	459,44	687,20
M 6	28,27	455,20	661,60	989,57
M 8	50,26	809,25	1176,18	1759,24
M 10	78,54	1264,45	1837,78	2748,81
M 12	113,09	1820,81	2646,40	3958,29
M 16	201,06	3237,00	4704,71	7036,96
M 20	314,15	5057,82	7351,11	10995,25



tenue à l'arrachement en fonction du nombre de tours en prise en 8,8 (rm 784) dans de l'acier (DaN)

vis	pas	2 tours	4 tours	6 tours	8 tours	10 tours
M 3	0,50	36,95	73,89	110,84	147,78	184,73
M 4	0,70	68,96	137,93	206,89	275,86	344,82
M 5	0,80	98,52	197,04	295,56	394,08	492,60
M 6	1,00	147,78	295,56	443,34	591,12	738,90
M 8	1,00	197,04	394,08	591,12	788,16	985,20
M 8	1,25	246,30	492,60	738,90	985,20	1231,50
M 10	1,00	246,30	492,60	738,90	985,20	1231,50
M 10	1,50	369,45	738,90	1108,35	1477,81	1847,26
M 12	1,75	517,23	1034,46	1551,70	2068,93	2586,16
M 16	2,00	788,16	1576,33	2364,49	3152,65	3940,81
M 20	2,25	1108,35	2216,71	3325,06	4433,42	5541,77

Coefficient de majoration du couple de serrage

1,00	Rondelle plate
1,05	Rondelle ondulée ou conique lisse
1,10	Rondelle Grower sans bec
1,15	Double denture ou Conique à denture intérieure
1,20	Grower avec bec ou à denture intérieure chevauchante
1,25	A denture extérieure chevauchante
1,30	Conique striée

coefficient frottement

0,10	Visserie phosphatée ou zinguée, avec graisse de bonne qualité
0,12	boulonnnerie soignée, montée graissée
0,15	Visserie noire avec lubrification sommaire, ou visserie zinguée (état de livraison)
0,20	montage à sec

comparatif surface section vis / surface filet en prise (mm ²)									
vis	pas	section (mm ²)	2 tours	4 tours	6 tours	8 tours	10 tours	prof mini 1,5D (aciéres)	prof mini 2D (alus)
M 3	0,50	7,07	4,71	9,42	14,14	18,85	23,56	4,50	6,00
M 4	0,70	12,57	8,80	17,59	26,39	35,19	43,98	6,00	8,00
M 5	0,80	19,63	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	7,50	10,00
M 6	1,00	28,27	18,85	37,70	56,55	75,40	94,25	9,00	12,00
M 8	1,00	50,26	25,13	50,27	75,40	100,53	125,66	12,00	16,00
M 8	1,25	50,26	31,42	62,83	94,25	125,66	157,08	12,00	16,00
M 10	1,00	78,54	31,42	62,83	94,25	125,66	157,08	15,00	20,00
M 10	1,50	78,54	47,12	94,25	141,37	188,50	235,62	15,00	20,00
M 12	1,75	113,09	65,97	131,95	197,92	263,89	329,87	18,00	24,00
M 16	2,00	201,06	100,53	201,06	301,59	402,12	502,65	24,00	32,00
M 20	2,25	314,15	141,37	282,74	424,12	565,49	706,86	30,00	40,00
arrachement du taraudage possible si la surface en prise < 1,5 surface vis (ac ordinaire) ou < 2,5 surface en prise (alus)									

diam [mm]	pas [mm]	6 pans [mm]	SURPLATS ISO		
1,60	0,35	3,20	18,00	2,50	27,00
2,00	0,40	4,00	20,00	2,50	30,00
2,50	0,45	5,00	22,00	2,50	34,00
3,00	0,50	5,50	24,00	3,00	36,00
3,50	0,60	6,00	27,00	3,00	41,00
4,00	0,70	7,00	30,00	3,50	46,00
5,00	0,80	8,00	33,00	3,50	50,00
6,00	1,00	10,00	36,00	4,00	55,00
7,00	1,00	11,00	39,00	4,00	60,00
8,00	1,25	13,00	42,00	4,50	65,00
10,00	1,50	16,00	45,00	4,50	70,00
12,00	1,75	18,00	48,00	5,00	75,00
14,00	2,00	21,00	52,00	5,00	80,00
16,00	2,00	24,00			

couples de serrage en fonction des classes de qualité								
diam vis	pas	surplats	couple (N/m)	effort traction (N)	couple (N/m)	effort traction (N)	couple (N/m)	effort traction (N)
			6.8		8.8		12.9	
2	0,4	4,00	0,018	42	0,035	85	0,047	113
2,5	0,45	5,00	0,036	57	0,072	112,00	0,097	150
3	0,5	5,50	0,06	107,00	0,12	215	0,17	287
4	0,7	7,00	0,14	185	0,27	370	0,37	494
5	0,8	8,00	0,25	290	0,5	575	0,67	768
6	1	10,00	0,46	430	0,9	860	1,25	1145
8	1,25	13,00	1,9	795	2,2	1590	3	2120
10	1,50	17,00	2,2	1250	4,5	2500	6	3340
12	1,75	19,00	3,7	1810	7,5	3620	10	4850
16	2	24,00	9,4	3440	18,5	6880	25	9170
20	2,5	30,00	18,5	5350	37	10750	49,5	1438
24	3	36,00	32	7750	64	15500	85	20600

rapport entre l'effort de serrage sur un levier (clé, cliquet etc..) et la pression résultante en bout de vis			
pas de la vis (mm)	longueur du levier (mm)	effort sur le levier (daN)	pression de la vis (daN)
0,50	200,00	1,00	2512,00
0,70	200,00	1,00	1794,29
0,80	200,00	1,00	1570,00
1,00	200,00	1,00	1256,00
1,25	200,00	1,00	1004,80
1,50	200,00	1,00	837,33
1,75	200,00	1,00	717,71
2,00	200,00	1,00	628,00
2,50	200,00	1,00	502,40
3,00	200,00	1,00	418,67
4,00	200,00	1,00	314,00
5,00	200,00	1,00	251,20

calcul de la pression totale rapportée à la surface de la vis:

pression totale	diamètre d'une vis (mm)	section (mm ²)	pression ponctuelle (DaN / mm ²)
100,00	3,00	7,07	14,15
100,00	4,00	12,57	7,96
100,00	5,00	19,63	5,09
100,00	6,00	28,27	3,54
100,00	8,00	50,26	1,99
100,00	10,00	78,54	1,27
100,00	12,00	113,09	0,88
100,00	16,00	201,06	0,50
100,00	20,00	314,15	0,32

calcul de longueur à ajouter à l'épaisseur à assembler, en fonction du diamètre, incluant 2 rondelles plates, une lock-washer (rondelle grower) et un écrou, laissant 3 à 5 filets libres.

vis	longueur à ajouter	vis	longueur à ajouter
1/4-20	1/2	M3	+6
5/16-18	3/8	M4	+8
3/8-16	3/4	M5	+10
1/2-13	1	M6	+12
5/8-11	1 1/4	M8	+16
3/4-10	1 1/2	M10	+20
1-8	2	M12	+24
1-1/8-7	2 1/4	M16	+32
1-1/4-7	2 1/2	M20	+40

charges d'épreuve des écrous (tenue à rupture) en DaN

filetage	classe de qualité		
	6	8	12
M 3	300	400	580
M 4	525	700	1010
M 5	950	1214	1630
M 6	1350	1720	2310
M 8	2490	3180	4250
M 10	3940	5050	6730
M 12	5900	7420	1003
M 16	10990	13820	18680
M 20	17640	22540	29400
M 24	25420	32480	42360
M 27	33050	42230	55080
M 30	40390	51610	67320
M 36	58820	75160	98040

charges d'épreuve des écrous (tenue à rupture) en livres

filetage	classe de qualité		
	6	8	12
M 3	674	899	1304
M 4	1180	1574	2271
M 5	2136	2729	3664
M 6	3035	3867	5193
M 8	5598	7149	9554
M 10	8858	11353	15130
M 12	13264	16681	2255
M 16	24707	31069	41995
M 20	39656	50672	66094
M 24	57147	73018	95230
M 27	74300	94937	123825
M 30	90801	116024	151342
M 36	132233	168967	220404

La différence entre les écrous standard et les écrous 0.8d n'est pas significative. Par précaution, on peut prendre pour les 0.8d = 80% des écrous std.

Clavettes parallèles et rainures de clavettes



[sommaire](#)

diamètre de l'arbre		clavette		longueurs		jeu total (h)		rainure				d1 (D+x)
sup. à	jusqu'à	L	ep			min	max	arbre	ecart	alessage	ecart	
6	8	2	2	6-20		0,2	0,42	1,2	+0,1 -0	1,0	+0,1 -0	2,5
8	10	3	3	6-32		0,2	0,42	1,8		1,4		3,5
10	12	4	4	8-40		0,3	0,53	2,5		1,8		4
12	17	5	5	10-50		0,3	0,53	3		2,3		5
17	22	6	6	16-63		0,3	0,53	3,5		2,8		6
22	30	8	7	20-80		0,3	0,79	4		3		8
30	38	10	8	25-100		0,3	0,79	5		3,3		8
38	44	12	8	32-125		0,3	0,79	5		3,3		8
44	50	14	9	40-160		0,3	0,79	5,5		3,8		9
50	58	16	10	50-180		0,3	0,79	6	+0,2 -0	4,3	+0,2 -0	11
58	65	18	11	50-200		0,4	0,91	7		4,4		11
65	75	20	12	63-220		0,4	0,91	7,5		4,9		12
75	85	22	14	63-250		0,4	0,91	9		5,4		14
85	95	25	14	80-280		0,4	0,91	9		5,4		14
95	110	28	16	80-320		0,4	0,91	10		6,4		16

Longueurs nominales:

6 8 10 12 16 20 25 32 40 50 63 80 100 125 160
200 250 280 320

d1: alésage mini pouvant passer
concentriquement sur l'arbre de diamètre D
muni de clavette

Forme A = oblongue

Forme B = rectangulaire

Forme C = semi-oblongue

Forme D = rectangulaire à chanfrein d'entrée (30°)

plage de longueurs	6 - 25	32 - 80	100- 320
écart de longueur de la rainure	+0,1 à +0,3	+0,1 à +0,4	+0,2 à +0,7
écart de longueur de la clavette	0 à -0,2	0 à -0,3	0 à -0,5

(norme DIN, source: VSM)

[sommaire](#)

conversion des taux de pente

angle: (en degrés)	taux: (en %)	angle: (en degrés)	taux: (en %)	taux: (en %)	angle: (en degrés)								
15	26,79	57	153,99	15	8,53	120	50,19	225	66,04	332,5	73,26	430	76,91
16	28,67	58	160,03	17,5	9,93	122,5	50,77	227,5	66,27	335	73,38	432,5	76,98
17	30,57	59	166,43	20	11,31	125	51,34	230	66,50	337,5	73,50	435	77,05
18	32,49	60	173,21	22,5	12,68	127,5	51,89	232,5	66,73	340	73,61	437,5	77,12
19	34,43	61	180,40	25	14,04	130	52,43	235	66,95	342,5	73,72	440	77,20
20	36,40	62	188,07	27,5	15,38	132,5	52,96	237,5	67,17	347,5	73,95	442,5	77,27
21	38,39	63	196,26	30	16,70	135	53,47	240	67,38	350	74,05	445	77,33
22	40,40	64	205,03	32,5	18,00	137,5	53,97	242,5	67,59	352,5	74,16	447,5	77,40
23	42,45	65	214,45	35	19,29	140	54,46	245	67,80	355	74,27	450	77,47
24	44,52	66	224,60	37,5	20,56	142,5	54,94	247,5	68,00	357,5	74,37	452,5	77,54
25	46,63	67	235,59	40	21,80	145	55,41	250	68,20	360	74,48	455	77,60
26	48,77	68	247,51	42,5	23,03	147,5	55,86	252,5	68,39	362,5	74,58	457,5	77,67
27	50,95	69	260,51	45	24,23	150	56,31	255	68,59	365	74,68	460	77,74
28	53,17	70	274,75	47,5	25,41	152,5	56,75	257,5	68,78	367,5	74,78	462,5	77,80
29	55,43	71	290,42	50	26,57	155	57,17	262,5	69,15	370	74,88	465	77,86
30	57,74	72	307,77	52,5	27,70	157,5	57,59	265	69,33	372,5	74,97	467,5	77,93
31	60,09	73	327,09	55	28,81	160	57,99	267,5	69,50	375	75,07	470	77,99
32	62,49	74	348,74	57,5	29,90	162,5	58,39	270	69,68	377,5	75,16	472,5	78,05
33	64,94	75	373,21	60	30,96	165	58,78	272,5	69,85	380	75,26	475	78,11
34	67,45	76	401,08	62,5	32,01	167,5	59,16	275	70,02	382,5	75,35	477,5	78,17
35	70,02	77	433,15	65	33,02	170	59,53	277,5	70,18	385	75,44	480	78,23
36	72,65	78	470,46	67,5	34,02	172,5	59,90	280	70,35	387,5	75,53	482,5	78,29
37	75,36	79	514,46	70	34,99	175	60,26	282,5	70,51	390	75,62	485	78,35
38	78,13	80	567,13	72,5	35,94	177,5	60,60	285	70,67	392,5	75,71	487,5	78,41
39	80,98	81	631,38	75	36,87	180	60,95	287,5	70,82	395	75,79	490	78,47
40	83,91	82	711,54	77,5	37,78	182,5	61,28	290	70,97	397,5	75,88	492,5	78,52
41	86,93	83	814,43	80	38,66	185	61,61	292,5	71,13	400	75,96	495	78,58
42	90,04	84	951,44	82,5	39,52	187,5	61,93	295	71,27	402,5	76,05	497,5	78,63
43	93,25	85	1143,01	85	40,36	190	62,24	297,5	71,42	405	76,13	500	78,69
44	96,57	86	1430,07	87,5	41,19	192,5	62,55	300	71,57	407,5	76,21		
45	100,00	87	1908,11	90	41,99	195	62,85	302,5	71,71	410	76,29		
46	103,55	88	2863,63	92,5	42,77	197,5	63,15	305	71,85	412,5	76,37		
47	107,24	89	5729,00	95	43,53	200	63,43	307,5	71,99	415	76,45		
48	111,06125148			97,5	44,2747757	202,5	63,71858898	310	72,1213034	417,5	76,5302218		
49	115,03684072			100	45	205	63,99665416	312,5	72,25532837	420	76,6075022		
50	119,17535926			102,5	45,7073194	207,5	64,2692944	315	72,38742216	422,5	76,683917		
51	123,48971565			105	46,397181	210	64,53665494	317,5	72,51762482	425	76,7594801		
52	127,99416322			107,5	47,0700307	212,5	64,79887635	320	72,64597536	427,5	76,8342055		
53	132,70448216			110	47,726311	215	65,05609474	322,5	72,77251177				
54	137,63819205			112,5	48,3664607	217,5	65,30844184	325	72,89727103				
55	142,81480067			115	48,9909131	220	65,55604522	327,5	73,02028916				
56	148,25609685			117,5	49,6000957	222,5	65,79902841	330	73,14160123				



Aciers

sommaire

Nuance	Rm	Re	A%	cisaill. tC	torsion tD	Dureté	Traitements	Caractéristiques / Utilisations
e36 (s355) aisi1020	450-630	275-420	22	162	134	130-185hb 135hv	brut de laminage	laminé marchand, poutrelles
xc18 (C22e) aisi1018	370-550	210-360	21	133	112	105-220hb 105hv	cémentation solide / liquide / gazeuse	acier cémentable, petites pièces
xc25 aisi 1025	400-550	230-380	20	144	122	105-220hb	trempe de surface, cémentation solide / liquide / gazeuse	mi-doux faible tremp.
xc38 h1 / h2 (c35e) aisi1035	500-700	245-455	15	180	147	145-210hb 350hv	nitruration ionique possible trempe superficielle 5 -0+2mm pour 600hv	économique, tremp.surface pour pcs faible et moyenne section moyennement sollicitées, boulonnerie, h1=faible tremp. H2tremp. Améliorée
xc48 (c45e) aisi1045	560-850	275-485	15	201	161	170-220hb 180hv	nitruration ionique possible pour 350hv trempe superficielle 5 -0+2mm pour 600hv	idem xc38 meilleure trempe, bonne usinabilité, engrenages, vis sans fin, soudabilité médiocre
xc70(c 70u) aisi1070	830-1180	620-765	14	298	234	24-37,5hrc 245-345hb 37,5hv	trempe+revenu 350°C pour 47-51hrc	ac de boulonnerie HR traitée très résistante aux chocs
25cd4 (25CrMoS4) aisi4130	650-800	400-720	14	234	182	190-235hb 22hrc 200hv	prétraité à Rm 650-800 mpa	resistance aux chocs, pièces de fatigue moyenne, tiges de piston, axes
34cd4 (34CrMoS4) aisi4135	800-950	550-760	13	288	227	22-29,5hrc 235-280hb 220hv	prétraité à Rm 800-950 mpa	tremp.moyenne, arbres, vibrateurs, essieux, vis hr, engrenages
40cad6/12 (41CrAlMo7-10)	800-1000	640-800	12	335	300	22-31,5hrc 235-295hb 950hv	prétraité à Rm 800/1000 mpa nitruration ionique 0,1mm 950hv	conçu pour nitruration gazeuse (pcs de très gde résist.à l'usure, dureté de surface très élevée)
55s7	930-1150	660-740	12	340	290	22-31,5hrc 235-295hb	prétraité à Rm 800/1000 mpa nitruration ionique possible 0,1mm 950hv	ac au silicium => ressorts, arbres de torsion endurance élevée, résistant à l'usure
z160(155)cdv12 (x153CrMoV12) aisi D2	2530-2735	1895-2050	12	807	759	60-62hrc 670-715hb 735hv	trempe + 1 revenu 160-200°C pour dureté 60-62hrc	acier ultra dur, tenace, etc (sonotrodes), lames
40cmd8s (40CrMnNiMo8-6-4) aisiP20	980-1130	830-960	12	352	266	30,5-35,5hrc 285-325hb 305hv	prétraité à Rm 980-1130 nitruration ionique possible 0,2mm 600hv	blocs de chauffe (acier 110 kg), acier très utilisé par les moulistes, bonne trempabilité, pour travail à froid, bonne résistance aux chocs, apte à tte nitruration
42cd4 (42CrMoS4) aisi4140	800-1100	550-800	12	288	227	22-35hrc 235-320hb 250hv	prétraité à Rm 800-1100mpa	forte trempabilité. 42cd4=gros arbres, bielles à forte sol. / 50cv4=ressorts, organes de transmission
35ncd16 (36CrNiMo16) (latrobe-lescalloy35ncd16vac-arc)	1750-1950	1310-1460	10	630	330	51-54hrc 485-530hb 530hv	trempé-revenu pour 1750-1950 mpa (51-54hrc) nitruration ionique possible (prof 0,2) pour 600hv mini	très forte tremp. Très dur, gde resistance aux frottements axes d'hélices, aeronautique,
45scd6	1600-1800	1360-1530	10	576	483	48,5-51,5hrc 450-495hb 490hv	trempé-revenu pour 1600-1800 mpa (possibilité de le tremper à moins:1100-1200mpa(rm) / 935-1020re / 35-38hrc / 320-350hb / 345hv	endurance élevée: arbres de torsion pour pièces de grosse à très grosse sections à tremper à cœur

sommaire	Traitements				
Nom	type	épaisseur / profondeur	°c	materiaux	caractéristiques
A = point de transformation à cœur du métal (point au-delà duquel le métal se trouve trempé si refroidi brusquement, ou recuit si refroidi lentement), HV = dureté de surface, HB ou HRC = dureté à cœur					
noir chimique	surface	0.1 ou -	/	tts métaux	déco
trempe superficielle	surface	<2	>A	xc faiblement alliés	durcissement sur une faible profondeur, traitement local
trempe à cœur	à cœur	/	>A	xc fortement alliés	modification de la structure du matériau en vue d'un durcissement à cœur
nitruration ionique / bombardement électronique / plasma	surface	0,1 à 0,4	/	xc fortement alliés	durcissement extrême de surface
nitruration gazeuse / carbonitration	surface	0,1 à 0,4	500°C	xc fortement alliés	idem ionique, mais moins cher (gaz d'ammoniaque)
cémentation	surface	0.3 ou -	880 à 920°C	xc faiblement alliés	apport carbone en surface, améliore la HV meilleure résistance à l'usure (dur au cœur tendre) peut de faire à la poudre d'os ou de corne
chrome déco / nickelage	surface	0,01	50°C	tous matériaux conducteurs ou rendus conducteurs par vernis	décoration + anticorrosion (relative)
chromage dur / étanche	surface	0,02	50°C	tous matériaux conducteurs	augmentation de la HV + anticorrosion
nickelage / vêrnisage (nickel dur)	surface	0,01	50°C	tous matériaux conducteurs	protection antirouille / déco / base pour d'autres traitements électrochimiques
electrozingage + passivation(zinguage au bain)	surface	0.02 à 0.1	50°C	tous matériaux conducteurs	anticorrosion + adoucissement de la surface par l'application ap.Zn d'un alcali
zinguage au feu	surface	0.04 ou +	440°C	tts métaux	anticorrosion
zinguage mécanique	surface	0.05 ou +	/	acières	dépôt de poudre de zinc par contact mécanique (billes de verre) sur le métal
sulfonitration	surface	0.2 à 0.5	570°C	ferreux	augmentation de la résistance à l'usure + autolubrifiant
trempe par induction / chalumeau	à cœur / mi-profondeur	/	>A	xc faiblement et fortement alliés	trempe localisée
recuit de détente	à cœur	/	<200°C	xc trempés	détend le matériau après un traitement brutal / adoucit en vue d'usinage
écrouissage	à cœur	/		tts métaux	augmente la ductilité et la malléabilité
revenu	à cœur	/	<500°C	tts métaux trempés	augmente la ductilité et la limite élastique (matériaux cassants ap. trempe) mais abaisse (légerement) la dureté. Rev. de détente à 200°C
cuvrage	surface	0.05 ou -	50°C	tts métaux conducteurs ou rendus conducteurs par vernis	permet la préparation d'une surface en vue d'un chromage, nickelage en donnant une meilleure "accroche" sur le matériau à traiter. Permet un chrome un nickel ou un argent plus homogène
double trempe	à cœur	/	1° >A 2° <A	xc fortement alliés	s'effectue 1° à haute temp, puis à temp modérée pour
régénération	à cœur	/	<A	xc forgés	trempe + revenu spécifique aux xc forgés, annule les points de surchauffe
anodisation dure	surface	0,05	50°C	aluminums	permet la formation d'une couche extra dure et résistante à l'abrasion sur les pces en alu
anodisation déco	surface	0,05	50°C	aluminums	antioxydant décoratif et coloré (rouge, bleu, jaune, etc..) sur l'alu.
aluminisation	surface	0,02	50°C	xc	anticorrosion pour haute température
phosphatation	surface	/	/	acières	décapage passivant de la surface, préparation avant peinture
trempe étagée	à cœur	/	>A	xc fortement alliés	moins traumatisant pour le matériau / permet des durées différentes selon la profondeur ou le besoin
dorure (or) / argenture	surface	0.01 à 0.03	50°C	tts métaux conducteurs ou rendus conducteurs par vernis	déco ou amélioration des contacts électriques
éloxage	surface	0.01 à 0.02	50°C	alus	oxydation anodique permettant la formation d'une couche protectrice anticorrodante et colorée au besoin (ttes couleurs possibles)
poudrage	surface	0.5 à 2	150°C	tts métaux	dépôt d'une couche plastique épaisse par adhésion de ce dernier sur la pièce chaude.
étamage	surface	0.1 ou +	250°C	acières, cuivreux.	dépôt d'étain par trempage de la pce dans un bain d'étain en fusion. Améliore le brasage.anticorrodant.
dacromet (zinguage anorganique)	surface	0,05		xc>1000rm / 300hv	zinguage sans hydrogénération, pas de fragilisation de sfc, monne tenue en temp (<300°C) ne convient pas pour les pces de moins de 4mm
laitonnage	surface	0.01 à 0.03	50°C	tts metaux conducteurs	déco, améliore la tenue des caoutchoucs et autres élastomères sur l'acier



[sommaire](#)

aluminiums et alliages



nuance	Re	Rm	tC	a%	dureté	caractéristiques / utilisations
1050a EN_AW1050A	75 à 100	105 à 145	38	10	27-38hb 30hv	chaudronnerie, emboutissage, ind chimiques et alimentaires
alplan	75 à 100	105 à 145	38	10	27-38hb 30hv	alu pré-usiné, tolérancé / tables et plateaux machines
au4g (dural) / 2017 AlCu4MgSi(A) EN_AW2017A	230-280	330-395	119	4 à 15	100-116hb 110hv	dural d'usage courant, pièces mécaniques
au4g1 / 2024 (dural aviation)	390	470		5 à 11		dural qualité aviation / sonotrodes
fortal 6061	350-435	430-550	170	6 à 10	130-168hb 143hv	plus tenace que le dural
fortal HR AA7075 t 651 AlZn5MgCu EN_AW-7075	320-420	400-500	144	6 à 10	103-131hb 113hv	encore plus tenace que le dural (HR = haute résistance) / blocs de chauffe

sommaire	alliages de cuivre						
nuance	Rm	Re	a%	torsion tD	cisaill. tC	dureté	caractéristiques / utilisations
laitons							
cu zn10 / UNS C22000 / brass 90-10	250	80-200	15-25			55HrB	bonne tenue aux frottements, laiton ordinaire à usiner, bon pour repoussage et matriçage, outils à suivre (tubes type rouge à lèvres, ok pour frappe à chaud)
cu zn20	280	80-200	15-40				idem cu zn10, laiton un peu plus dur,
cu zn35 pb2	370-450	250-320	7-18	120-190			décolletage, sertissage, déformation à froid
cu zn36 pb3	320-450	180-320	20-28	95-185			décolletage, filets roulés
cu zn39 pb3	380-515	250-360	5-25	68	136	135-170hb 145hv	emboutissage
cu zn36 mn3 al2 sipb	550-680	260-350	5-7				hautes performances pour emboutissage et décolletage
cu zn36 mn2 al1 fepb	550-680	260-350	7-15				laiton hautes performances
cu zn40 pb3 (3,5)	370-500	220-370	4-22				décolletage, perçage profond, matriçage
bronzes							
cu sn5	350	150	30-50				très bonne tenue aux frottements, autolubrifiant
cu sn10 pb9(pb10) / SAE64	220-300	110-210	6	39	79	70-95hb 75hv	bronze mou
cu sn8	220	130	16				autolubrifiant, exell.prop de fonderie. Construction meca, navale, robinetterie de hte précision
cu sn12	270	150	3				
cu sn5 pb5 zn5	200	90	12				excellente aptitude à l'étanchéité exell.prop de fonderie. Construction meca, navale, robinetterie de hte précision
cu sn8 ni	400		60				construction navale
cu sn5 pb20	150	60	5				excellentes propriétés de frottement, même mal lubrifié (charges moyennes) resistant aux acides
cu sn10 pb10	180	80	7				
cu sn7 pb6 zn4	220	100	12			70-95hb 75hv	exell prop de fonderie, construction navale, robinetterie
Cupro-aluminium							
CuAl10Ni5Fe5 ou CDA 958 (ccc333g)	650 - 875	280 - 600	8-10	117	234	150 - 210hb 160hv	couramment appelé bronze d'alu
cu al9 (cu al9 ni1 fe1,2 mn0,5)	500	200	20			130hb	très bonnes caractéristiques mécaniques, très bon en milieu marin. Construction électrique, navale, chimique, quinquaillerie, robinetterie
cu al12 fe5 ni5	750	700	7			230hb	
maillechort							
Cu65Ni18Zn15 à 20						75 à 190hb	bonne usinabilité et soudabilité, excellent pour le travail à froid. rivets, visserie, fermeture Éclair, éléments optiques et bijoux fantaisie oxydable (vert de gris)
cupro-nickel							
cu ni10 fe1 mn	280	120	20				

[sommaire](#)

Composition des alliages d'acier



Acier inoxydable

Afnor NF A 35573 (France)	EN 10027 (européenne)	AISI (États-Unis)	Composition								
			% C	% Cr	% Ni	% Mo	% Si	% Mn	% P	% S	Autres
X12CrNi18-09	Z10CN18-09	302	0,12	16 à 18	6 à 8	—	1	2	0,04	0,03	—
X12CrNi18-08	Z10CNF18-09	303	≤ 0,12	17 à 19	8 à 10	0,6	1	2	0,06	≥ 0,15	—
X5CrNi18-09 1.4301	Z6CN18-09	304	0,07	17 à 19	8 à 10	—	1	2	0,04	0,03	—
X2CrNi18-09 1.4307	Z2CN18-10	304 L	0,03	17 à 19	9 à 11	—	1	2	0,04	0,03	—
X5CrNi19-11 1.4303	Z8CN18-12	305	0,1	17 à 19	11 à 13	—	1	2	0,04	0,03	—
X7CrNi23-14	Z12CNS25-13	309	0,2	22 à 25	11 à 14	—	1	2	0,04	0,03	—
X12CrNiSi25-20	Z12CNS25-20	310	0,15	23 à 26	18 à 21	—	1	2	0,04	0,03	—
X5CrNiMo18-10 1.4401	Z6CND17-11	316	0,07	16 à 18	10 à 12,5	2 à 2,5	1	2	0,04	0,03	—
X2CrNiMo18-10 1.4404	Z2CND17-12	316 L	0,03	16 à 18	10,5 à 13	2 à 2,5	1	2	0,04	0,03	—
X10CrNiMoTi18-10 1.4571	Z6CNDT17-12	316 Ti	0,1	16 à 18	10,5 à 13	2 à 2,5	1	2	0,04	0,03	11.5°C ; 11.6%
X10CrNiTi18-09 1.4541	Z6CNT18-10	321	0,12	17 à 19	10 à 12	—	1	2	0,04	0,03	11.5°C ; 11.6%
X7Cr13 1.4003	Z6C13	403	0,08	11,5/13,5	—	—	1	1	0,04	0,03	—
X10Cr13 1.4006	Z12C13	410	0,08/0,15	11,5/13,5	—	—	1	1	0,04	0,03	—
X12CrS13	Z12CF13	416	0,08/0,15	12 à 14	0,5	0,15/0,6	1	1,5	0,06	≥ 0,15	—
X20Cr13 1.4021	Z20C13	420	0,16-0,25	12	—	—	≤ 1	≤ 1,5	≤ 0,04	≤ 0,015	—
X30Cr13	Z30C13	420 B	0,3	12 à 14	—	—	1	1	0,04	0,03	—
X6Cr17 1.4016	Z8C17	430	0,08	16/18	0,5	—	1	1	0,04	0,03	—
X12CrMoS17	Z10CF17	430 F	0,12	16/18	0,5	0,2/0,6	1	1,5	0,06	≥ 0,15	—
X22CrNi17 1.4057	Z15CN16-02	431	0,1/0,2	15/17	1,5/3	—	1	1	0,04	0,03	—
X105CrMo17	Z100CD17	440 C	1	17	—	—	—	1	—	—	—

sommaire	Inox / titane									
matériaux	nuance	Rm	Re	A%	tD	tC	dureté	traitements	utilisations	
inox	z30c13	950	750	8			277/321hb	trempe h 875° / rev 600°	inoxydable à froid (t<500°C) résiste à l'usure et au matage (soupapes d'admission)	
	z3cn18 (x2crni19-11)	520-670	220-265				155/200hb 160hv	recuit ou hypertrempe	inoxydable à chaud, soudables sans traitement ap.soudure. Tôlerie de fours>750°C, pots d'échappement.	
titane	TiAl6V4 / ASTM grade5 / UNS R56400	900-1200	830-1100		297	324	34,5-44hrc 320-420hb 330hv	recuit / durcissement par précipitation	young=110000mpa / poisson=0.31 / dilat.lineique=9 10-6/°k (0 à 100)	

Tableau de correspondance

INOX

AISI	420	430	430 F	301	303	304	(304L)	(304L)
NFA 35.574 (1990)	Z 33 C 13	Z 8 C 17	Z 13 CF 17	Z 12 CN 18-9	Z 8 CNF 18-9	Z 7 CNX 18-09	Z 3 CN 19-09	Z 3 CN 19-11
NF-EN- 10088 symbolique	X 30 Cr 13	X 6 Cr 17	X 14 Cr MoS 17	X 10 Cr Ni 18-8	X 8 Cr NiS 18-9	X 5 Cr Ni 18-10	X 2 Cr Ni 18-9	X 2 Cr Ni 19-11
NF-EN- 10088 numérique	1,4028	1,4016	1,4104	1,431	1,4305	1,4301	1,4307	1,4306
UGINE	P 12	F 17	F 17 U	NS 20	NS U	NS 21 A	NS 22 S	NS 22 SF
Normes suédoises	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
	23-04-02-03	23-20-02	23-82-02-03	23-31-02-06	23-46-02-04	23-32-02	23-52-02	23-52-02
Europe	Martensitique	Ferritique	Ferritique	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique
	C Max	0,3	0,1	0,12	0,12	0,07	0,03	0,03
Analyse	Cr	13	17	17	16/18	17/19	17/19	17/18
chimique	Ni	-	-	0,5	07..09	08..10	08..10	08..09
moyenne	Mo	-	-	(0,2 / 0,6)	-	-0,6	-	-
	Ti	-	-	-	-	-	-	-
	Mn	1	1	1	2	01-févr.	2	2
	P	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04
	S	0,03	0,03	0,1	0,03	0,1	0,03	0,03
	Si	1	1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Forme	Barres	Tubes Barres	Feuilles	Barres	Feuille	Barres	Tubes Barres	Tubes Barres
Applications	Pièces mécaniques Vannes	Décoration Ustensiles Cuisine Azote Nitrique	Décolletage Bonne résistance à la corrosion	Articles ménagers Alimentaire	Boulonnnerie Rivets Raccords Décolletage	Mécanique Chimie Ménager Architecture Chimie	Mécanique Chimie Alimentaire Engrais Construction	Mécanique Chimie Nucléaire Alimentaire Engrais

AISI	316	316L	(316L)	316 Ti	321	(302B)	309	310
NFA 35.574 (1990)	Z7CND17.11.02	Z3CND17.11.02						
NF-EN- 10088 symbolique	Z7CND17.12.02	Z3CND18.12.02	Z3CND18.14.03	Z6CNT 17.10	Z6CNT 18.10	Z17CNS20.12	Z20CN 24.13	Z15CNS25.20
NF-EN- 10088 numérique	1,4401	1,4404	1,4435	1,4571	1,4541	1,4828	(1.4828) (1.4829)	1,4845
UGINE	NSM 21	NSM 21 S	NSM 22 S	NSMC	NS 21 C	NSZ	NS 24	NS 30
Europe	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique	Austénitique
ANALYSE MOYENNE	C	0,08	0,03	0,03	0,09	0,08	0,15	0,12
	Cr	16/18	16/18	17/19	16/20	17/20	19/21	20/24
	Ni	10--14	11--14	11--15	10--15	09--13	10--13	nov.-10
	Mo	2/2,3	2/2,5	2,5/2,8	2	-	-	-
	Ti	-	-	-	5 x C	5 x C	-	-
	Mn	2	2	2	2	2	2	2
	P	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	S	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	Si	0,75	0,75	0,75	1	0,75	2	1,5
Forme		Tubes Barres Feuilles	Tubes Barres Feuilles	Tubes Barres Feuilles	Tubes Barres Feuilles		Barres Feuilles	Tubes Barres Feuilles
Applications		Marine Accastillage Produits salés Alimentaire	Chimie Photographie Alimentaire Marine	Conserves salées Chimie Vin blanc	Chimie Explosifs Papeterie Vin blanc Teinturerie	Aéronautique Chaudières Fours Chimie 700/800°C	Oxydation à chaud Carburation 1 000°C	Fours et Chaudières Températures élevées 900/1 100°C 900/1 150°C

sommaire	thermoplastiques							
nuance matériaux	Re	Rm	A%	T° max continu	T° max pointes	dureté	caractéristiques / utilisations	finition
abs acrylonitrile-butadiène-styrène	18	65	20	85		100HRr	bonne resistance aux chocs / automobile, jouets	jaune
pa 6,6 polyamide (nylon, ertalon)	76	85	11sec à 90 humide	70	160	150mpa bille 85hrm / 55shore	tenace, usinage facile, bonne tenue aux frottements / visserie, engrenages, coussinets, galets	blanc
pa 11 polyamide (rilsan)	55	230	70 à 300	160			bonne tenue aux chocs, aux agents chimiques, visserie	ivoire
pc polycarbonate (makrolon, lexan)	60	60	120	-60/+115	135		transparent, incassable, stérilisation possible / médical, vaisselle/ vitres industrielles, visières de casques, cd, dvd,	transparent/fumé
pom polyoxyméthacrylate (delrin)	19	83	250	100	140	140mpa bille 84 hrm	excellente usinabilité, stabilité dimensionnelle, bonnes carac.méca, autolubrifiant, faible coef de frottement / mécanique générale, pièces de précision, milieu humide	blanc
ptfe polytétrafluoroéthylène (téflon)	55	300	300/400	-200/+300 (std)	on a été incapables de le fondre à l'aide d'une torche	2,45kg/mm2	autolubrifiant capacité de glissement très élevée, bonne résistance méca, thermique, chimique, électrique / méca générale, toutes pièces en frottement	blanc naturel, noir, coloré par charges
pvc polychlorure de vinyle	20/35	50/60	200 mais 2 à 40 si pvc rigide	50 à 200 selon nuance		72shore D	existe en souple, semi rigide et rigide, facilement soudable, caract.méca ordinaires / chaudironnerie plastique, pièces ss précision (plaques, etc..)	gris
pe hd 80/500/1000 (polyéthylène HD)	20	40	35 à 300	+80	120	(pour le 80) 35mpa bille 60shore D	très bonne tenue au froid, aux chocs, glissement, / pièces travaillant sous charge, rails de glissement, orthopédie, qualité alimentaire (planches à découper)	noir/blanc/vert
PE UHD / UHMW PE haut poids moléculaire (tivar)	21	40	300	80	96HRm	66 shore		
PS polystyrène	34	52	2,5	100		40 à 70 HRm	pots de yaourt	blanc
PET (polyéthylène théréphthalate)	45	62	195	100	160	105 HRm		
pp (polypropylène) hostalen pp		31	700	100	120	3,1kg/mm2	plus resistant et plus dur que le pehd, très élastique. Industries alimentaires et chimiques	blanc naturel, gris
ppma polyméthacrylate de méthyle (plexiglas)	49	77	3 à 10	85		96HRm	dur, résistant aux rayures, sensible aux entailles / très bonnes propriétés optiques, lentilles, plaques, aéronautique, vitrerie, capots de protection,	transparent
thermodurcissables								
pur (polyutéthane)	35	55	600				gde résistance aux chocs, à l'usure,très bonne tenue aux flexions répétées et au vieillissement / galets, pièces mécaniques, existe en mousse	
ep epoxydes (araldit, delmat epoxy)	250 tract. 450 comp.			180			facilité de mise en œuvre, dur, fort coef de retrait, très bonne tenue mécanique si armé de fibre ou de bille de verre / petites pièces, prototypes	crème
vetronite				230 voire beaucoup plus si mica			isolant thermique type mica-silicone	brun
up (polyester, delmat polyester)	55 tract. 230 comp.		0,5	160			facilité de mise en œuvre, dur, fort coef de retrait, très bonne tenue mécanique si armé de fibre de verre / pièces de carrosserie, coques de bateaux, aéronautique, etc.,	crème
élastomères								
caoutchouc naturel (latex)								crème
caoutchoucs synthétiques - polybutadiène				80		50 à 80 shore A	l'exemple pris est du caoutchouc butadiène, les nuances sont très nombreuses.on additionne également du styrène.	noir
silicones			300 à 800	260		15 à 60 shore A	très mou, peut servir à faire des moules, très bonne tenue en température	naturel:rouge, colorable.



types de charges:	FV	fibre de verre
	FBC	: fibre de carbone
	G	graphite
	PG	poudre de graphite
	NC	Non Chargeé
	FC	fluore de carbone

DESIGNATION	NOM CHIMIQUE	CHARGES	APPELATION COMMERCIALE	DENSITE g/cm3	ABSORBTION D'EAU %
PTFE	POLYTETRAFLUOROETHYLENE	NC	TEFLON/FLUON/HOSTAFLOM/SOREFLON	2.20	0.005
PCTFE	POLYMONO CHLORO TRIFLUOR ETHYLENE	NC	KEL'F / VOLTALEF	2.10	0.005
PFA	PER FLUOR ALKOXY	NC	TEFLON / PFA	2.17	0.03
PVDF	POLYFLUORURE DE VINYLIDENE	NC	FORAFLOM / SOLEF	1.78	0.04
PEhd 1000	POLYETHYLENE HMG 1000	NC	HOSTALENGUR	0.94	0.01
PEhd 500	POLYETHYLENE HML 500	NC	HOSTALEN	0.95	0.01
Pebd	POLYETHYLENE BASSE DENSITÉ	NC	LUPOLEN / VESTALEN	0.95	0.01
PP	POLYPROPYLENE	NC	HOSTALEN PP / VESTALEN	0.92	0.01
PA6	POLYAMIDE 6	NC 30% fv	AKULON / ULTRAMIDE	1.14 1.40	3 2
PA6-6	POLYAMIDE 6/6	NC 30% fv	MARANYL / ULTRAMIDE / ZYTEL	1.14 1.40	2 1.5
PA6G	POLYAMIDE 6G	NC	GUSS	1.15	2.2
PA11-12	POLYAMIDE 11/12	NC 30% fv	RILSAN / VESTAMID	1.06 1.25	1 0.4
POM	POLYOXYMETHYLENE	NC 25% fv	DELRIN homopolymere / HOSTAFORM-ULTRAFORM copolymer	1.42 1.56	0.25 0.5
PVCr	POLYCHLORURE DE VINYLE rigide	NC	ARMODUR / HOSTALIT / SIMONA	1.45	0.001
PC	POLYCARBONATE	NC 30% fv	LEXAN / MACROLON	1.20 1.42	0.20 0.19
PPOm	POLYOXYPHENYLENE modifié	NC 30% fv	NORYL	1.06 1.27	0.07 0.03
PMMA	POLYMETACRYLATE DE METHYL	NC	ALTUGLASS / PLEXIGLASS / CASOCRYL	1.20	0.30
PPS-R4	POLYSULFURE DE PHENYLENE	40% fv	RYTON R4	1.60	0.05
PEEK-450G	POLYETHER ETHERCETONE	NC	VICTREX / PEEK	1.30	0.14
PEEK	POLYETHER ETHERCETONE	20% fv 30% fbc	VICTREX / PEEK	1.44 1.44	0.1 0.06
PS	POLYSTYRENE RETICULE	NC	Q200-5 / REXOLITE	1.05	0.02
ABS	ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE	NC	UGIKRAL : NOVODUR	1.03-1.08	0.2 - 0.45
PES	POLYETHER SULFONE	NC 30% fv	VICTREX / PES	1.37 1.60	0.45 -
PAI-4203L	POLYAMIDE IMIDE	3% Ti O2 0,5% fc	TORLON	1.45	0.28
PAI-4301	POLYAMIDE IMIDE	12% de PG 3% fc	TORLON	1.45	0.22
PEI	POLYETHERIMIDE	NC 30% fv	ULTEM	1.27 1.51	0.25 0.18
PI-5504	POLYIMIDE DE STRUCTURE	65% fv	KINEL 5504	1.90	0.5
PI-5508	POLYIMIDE DE FOTTEMENT	40% fv	KINEL 5508	1.55	0.6
PA MXD6	POLYARYLAMIDE	30% fv	IXEF	1.43	0.20
PI-SP 1	POLYIMIDE	NC	VESPEL	1.43	0.24
Hgw cotton PF	TOILE BAKELISEE NFC 26150 (UTE)	NC	WARTEX / CELORON	1.40	0.5
HP	PAPIER BAKELISE OU CELLULOIQUE	NC	WAROLITE / DILECTO	1.35	0.7
Hgw tissu de verre	TISSU DE VERRE - RESINE EPOXY	NC	WARVER / SILECTRO	1.90	0.20
PET-P	POLETHYLENE TEREPHTHALATE	NC	ARNITE	1.38	0.20
PSU	POLYSULFONE	NC 30% fv	UDEL / STRASULFONC / SULFORER	1.24 1.45	0.22 0.20

<u>appellation</u>	<u>abréviation</u>	<u>unité</u>	<u>formule</u>
tension	U	volt	$U = R \cdot I$
intensité	I	ampère	$I = \frac{U}{R}$
résistance	R	ohm	$=u/i$
impédance	Z	ohm	$=u/i$
réactance	X	ohm	$=\omega \cdot L$ (partie réactive d'une impédance)
conductance	G	siemens	$1/r$
résistivité	ρ , rhô	ohm.mètre ² /mètre ou ohm.mètre	$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$
puissance	P	watt	$=u.i, =r.i^2, =u^2/r$
énergie	W	joule, watt/heure	$=p.t, =F(n).L(m)$
quantité d'électricité	Q	coulomb, ampère/heure	$=i.t$
force électromotrice	E, FEM	volt	$=u+ri$
force contre-électromotrice	E, FCEM	volt	$=u-ri$
déphasage	ϕ , phi	degré, radian	donnée
fréquence	Fr	hertz	$=\omega/2.\pi, =1/\omega$
pulsation	ω , oméga	radians par seconde	$=1/fr, =2.\pi.rpm$
inductance	L	henry	$=X/\omega$
capacité	C	farad	$=Q/u$

charge de condensateur Q coulomb =u.C, =i.t

appellation	abréviation	unité	formule
réactance de capacité	Xc	ohms	$1/(\omega.C)$
rendement	η	(pourcentage)	=P(sortie)/P(entrée) ou =W(sortie)/W(entrée)
flux magnétique	Φ	weber	
induction magnétique (champ, densité d'induction)	B	tesla (anc. Gauss, maxwell/cm ²)	=Φ/a, =μ.H
intensité de champ magnétique	H	A/m	
longueur	L	mètre	
temps	t	seconde	
solénation (exitation totale)	θ, théta	ampère	=n.i
aire, surface, section	A, S	m ²	
perméabilité magnétique	μ	Tm/A	
nombre (de tours, de spires, quelconque...)	n	/	
nombre imaginaire J	j	$j2 = -1$	
vitesse de rotation (rpm, f)	Rpm, F	Radian par seconde	=F/2.pi

circuits série / parallèle

résistances série:

$$R_t = R_1 + R_2 + R(n)$$

Résistances parallèles (même valeur):

$$R_t = R_1/n$$

Résistances parallèles (valeurs différentes):

$$R_t = 1 / ((1/r_1) + (1/R_2) + (1/R_n))$$

condensateurs série

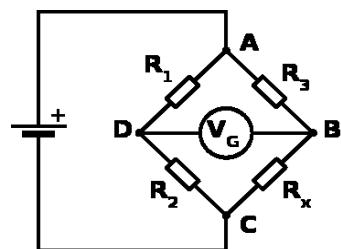
$$C = 1 / (1/C_1) + 1/C_2 + (1/C_n)$$

condensateurs parallèles

$$C = C_1 + C_2 + C_n$$

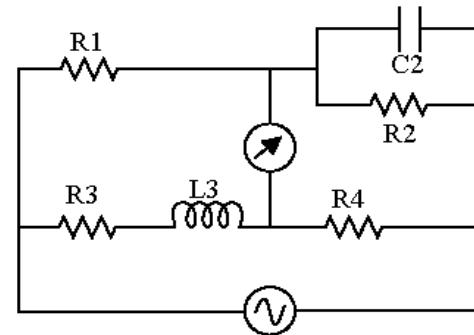
Pont de wheatstone

$$R_x = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$$



Pont de Maxwell

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2} \text{ et } L_3 = (R_1 \cdot R_4) \cdot C_2$$





élément	symbole de fonderie	symbole chimique	action
Aluminium		Al	excellent désoxydant. Associé à l'oxygène, réduit la croissance du grain en phase austénitique. Peut rendre l'acier inapte à la galvanisation à chaud.
Bore	B	B	augmentation du potentiel de durcissement des aciers à basse teneur en carbone. Jusqu'à 0,008% max de teneur en bore. Les propriétés d'usinage des aciers alliés réguliers sont améliorées, ainsi que leurs caractéristiques d'opération à chaud et à froid
carbone	Z, XC	C	Le carbone a une importance primordiale car c'est lui qui, associé au fer, confère à l'alliage le nom d'acier. Son influence sur les propriétés mécaniques de l'acier est prépondérante. Par exemple, en ce qui concerne l'amélioration de la propriété de dureté, l'addition de carbone est trente fois plus efficace que l'addition de manganèse.
chrome	C	Cr	augmentation du potentiel de durcissement, de la résistance à la corrosion, à l'oxydation, à l'abrasion et meilleure tenue aux températures élevées. c'est l'élément d'addition qui confère à l'acier la propriété de résistance mécanique à chaud et à l'oxydation (acières réfractaires). Il joue aussi un rôle déterminant dans la résistance à la corrosion lorsqu'il est présent à une teneur de plus de 12 à 13 % (selon la teneur en carbone). Additionné de 0,5% à 9% il augmente la trempabilité (famille des aciers au chrome). Il a un rôle alphagène.
cobalt		Co	utilisé dans de nombreux alliages magnétiques. Provoque une résistance à l'adoucissement lors du revenu.
cuivre	U	Cu	augmentation de la résistance à la corrosion atmosphérique, mais provoque la fragilité à chaud comme à froid
manganèse	M	Mn	prévient la fragilité à chaud, augmentation de la dureté, forme des sulfures qui améliorent l'usinabilité. Augmente modérément la trempabilité.
molybdène	D	Mo	augmentation du potentiel de durcissement, de la résistance au fluage, résistance à la fragilité à chaud. Favorise la résistance à la corrosion de l'acier inoxydable. La granulation exige une température plus élevée. augmente la température de surchauffe, la résistance à haute température et la résistance au fluage. Augmente la trempabilité.
nickel	N	Ni	augmentation de la résistance et de la dureté des aciers ferritiques et perlitiques. Rend austénitiques (rôle gammagène) les aciers à forte teneur en chrome (transformation en aciers inoxydables). Sert à produire des aciers de trempabilité modérée ou élevée (selon les autres éléments présents), à basse température d'austénitisation et à ténacité élevée après traitement de revenu. C'est l'élément d'alliage par excellence pour l'élaboration des aciers ductiles à basses températures (acier à 9% Ni pour la construction des réservoirs cryogéniques, acier à 36%Ni dit INVAR pour la construction des cuves de méthaniens).
niobium		Nb	même avantage que le titane mais beaucoup moins volatile. Dans le domaine du soudage il le remplace donc dans les métaux d'apport.
phosphore	P	P	produit la friabilité et la fragilité générale à froid. Augmente la résistance à la traction des aciers à faible teneur en carbone. Augmente la résistance à la corrosion et améliore l'usinabilité, augmente fortement la trempabilité. Augmente la résistance à la corrosion. Peut contribuer à la fragilité de revenu.
silicium	S	S	Employé en général comme désoxydant. Augmente la résistance des aciers alliés à basse teneur en carbone et élève le degré de dureté. Employé comme élément d'alliage dans les aciers aimantés et électriques, car favorise l'orientation cristalline requise pour la fabrication d'un acier magnétique, augmente la résistivité électrique. Améliore la résistance à l'oxydation de certains aciers réfractaires. Utilisé comme élément désoxydant.
souffre	F	F	Lorsque la teneur en soufre excède 0,06%, il y a tendance à la fragilité à chaud. L'acier de décolletage rapide pour filetage et usinage automatique est obtenu en augmentant la teneur en soufre à partir de 0,075 jusqu'à 0,10%
titane	Ti		pouvoir carburigène élevé (comme le niobium) et réduit donc la dureté de la martensite. Élimine le carbone en solution à haute température et réduit le risque de corrosion intergranulaire (TIC se forme avant Cr23C6 évite donc l'appauvrissement en chrome au joint de grain).
tungstène	W	W	Augmente la résistance à chaud et forme des carbures très résistants à l'abrasion. Idéal pour outils de coupe. améliore la dureté à haute température des aciers trempés revenus. Fonctions sensiblement identiques à celles du molybdène.
vanadium	V	V	agit comme désoxydant et augmente le potentiel de durcissement. La granulation exige une température plus élevée. augmente la trempabilité. Élève la température de surchauffe. Provoque une résistance à l'adoucissement par revenu (effet de durcissement secondaire marqué).