



LYCÉES
de
FECAMP

BTS Maintenance des Systèmes
Aide personnalisée : physique-chimie / maintenance
corrective, préventive et améliorative.



TP 02

S4-13 Matériaux

- Essais mécaniques des matériaux

CONDITIONS DE REALISATION

- **Durée** : 2H dans la zone maintenance laboratoire éolien.
- **En possession** : de la machine d'essai de résilience « mouton pendule Charpy », d'éprouvettes pour les test, de vidéos pour les essais de dureté BRINEL et ROCKWELL et l'essai d'élasticité « machine de traction » de tableaux de valeurs pur ces essais.



PROBLEMATIQUE

Pour un usage optimum des systèmes (qualité, caractéristique après traitement thermique, contrôle des matériaux achetés) il est nécessaire de connaître les caractéristiques mécaniques et le comportement des matériaux utilisés selon un point de vue mécanique.

- Efforts
- Traction
- Cisaillement
- Flexion
- Dureté
- Elasticité
- Choc
- Compression

TRAVAIL DEMANDE

Maîtriser les risques tout au long de l'intervention.

1. Etude de la résilience :

En possession du mouton pendule charpy et des éprouvettes.

1.1 Rechercher la définition de la « résilience » ?

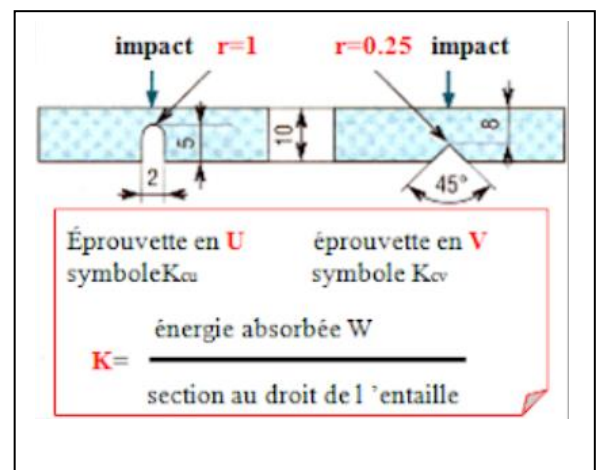
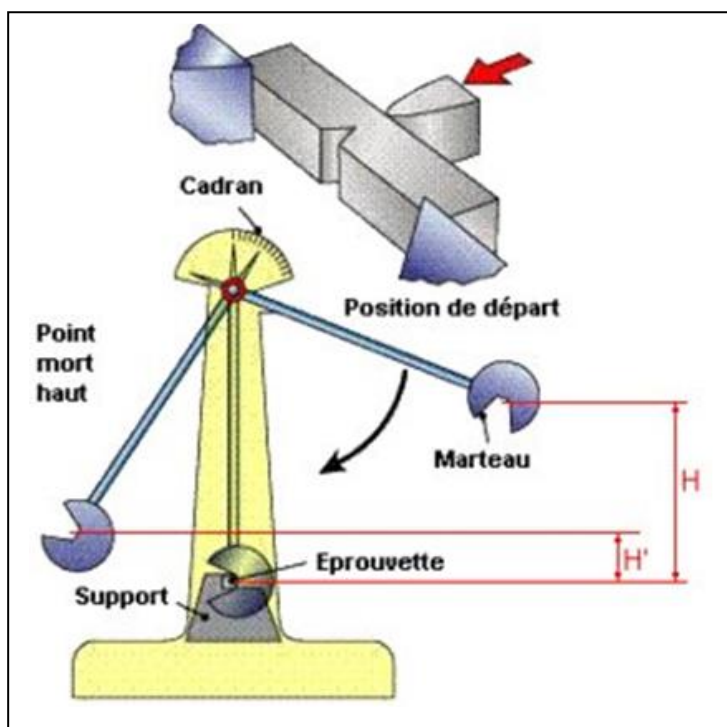


Mode opératoire d'utilisation du mouton Charpy :

Principe

La connaissance des caractéristiques mécaniques déduites de l'essai de traction peuvent être insuffisantes, puisque des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite élastique dans des conditions qui rendent le métal fragile.

Un des moyens, le plus classique et le plus ancien pour caractériser la fragilisation du métal sous l'action d'un choc, est l'essai de résilience sur éprouvette entaillée.



L'essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton de pendule, une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis. On détermine l'énergie absorbée W et on en déduit la résilience.

La résilience est l'énergie exprimée en joules/cm², nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette.

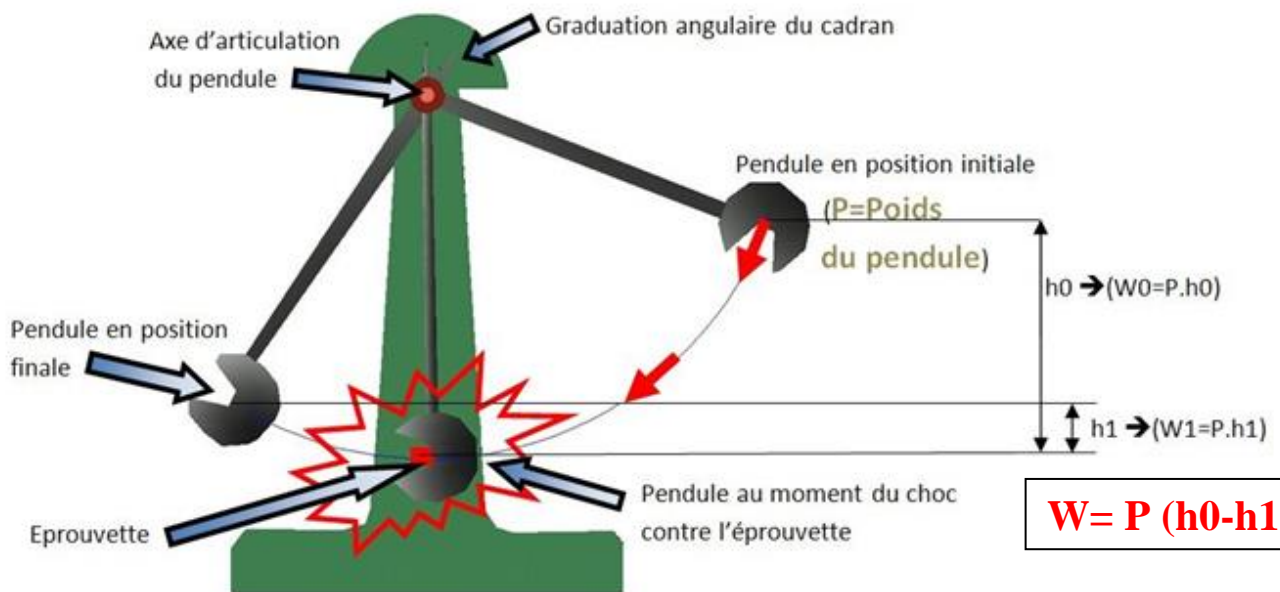
$$\text{Résilience} = \frac{\text{Energie absorbée par la rupture } W \text{ (joules)}}{\text{Section au droit de l'entaille (cm}^2\text{)}}$$

Exécution de l'essai :

Le couteau est positionné en position haute à une hauteur correspondant à une énergie de départ $W_0 = 300$ joules. On libère le couteau. Dans sa chute, en passant à la verticale, *il brise l'éprouvette*. On mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour mesurer l'énergie non absorbée W_1 .

On calcule la différence $W_0 - W_1$:

$$W_0 - W_1 = W \text{ (énergie absorbée)} = P (h_0 - h_1)$$



Appeler le professeur avant l'essai

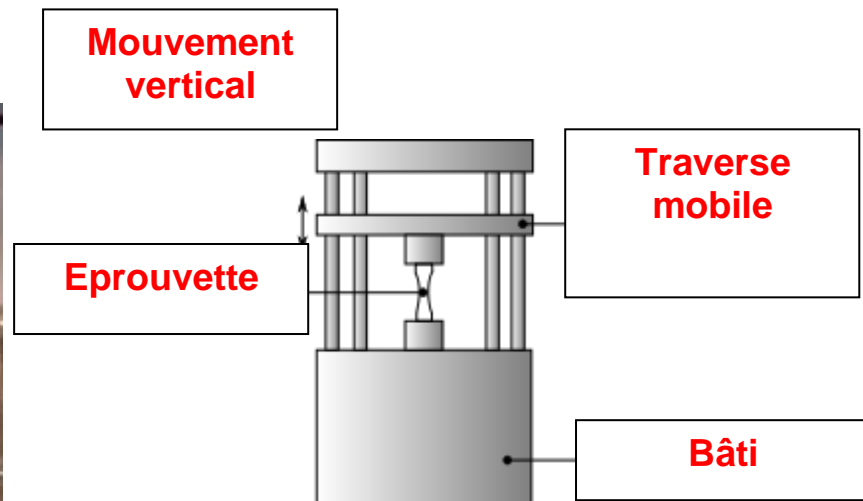
- 1.2 Remonter le marteau et le bloquer en position haute.
- 1.3 Libérer le marteau, laisser le s'arrêter.
- 1.4 Relever la valeur H_0 .
- 1.5 Positionner l'éprouvette en acier comme indiqué sur la figure 1.
- 1.6 Remonter le marteau et le bloquer en position haute.
- 1.7 Libérer le marteau (choc avec l'éprouvette) laisser le s'arrêter.
- 1.8 Relever la valeur H_1 .
- 1.9 Calculer l'énergie absorbée.
- 1.10 Calculer la résilience de ce matériau.
- 1.11 Commenter la valeur trouvée par rapport aux tableaux fournis.
- 1.12 Recommencer l'essai avec l'éprouvette en aluminium
- 1.13 Calculer la résilience de ce matériau.
- 1.14 Commenter la valeur trouvée par rapport aux tableaux fournis.



2. Essai de traction :

2.1 Principe

L'essai consiste à soumettre une éprouvette de forme définie (longueur initiale L_0 , section initiale S_0) à un effort de traction croissant, dirigé suivant son axe. Un dispositif mécanique enregistre une courbe qui donne à chaque instant la charge totale F en fonction de l'allongement de l'éprouvette.

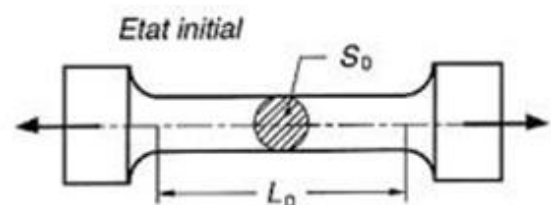


2.2 Forme des éprouvettes

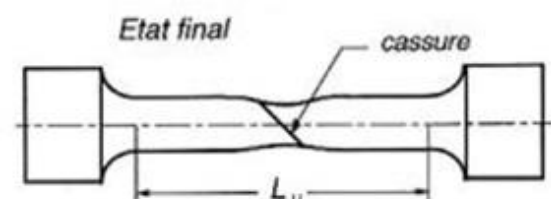
Un très grand nombre de types d'éprouvettes existent, suivant la forme du produit (barres, fils, tubes, pièces forgées ou moulées) et la nature du matériau.

Les éprouvettes comportent une partie calibrée et très généralement deux têtes d'amarrage.

Eprouvettes circulaire :

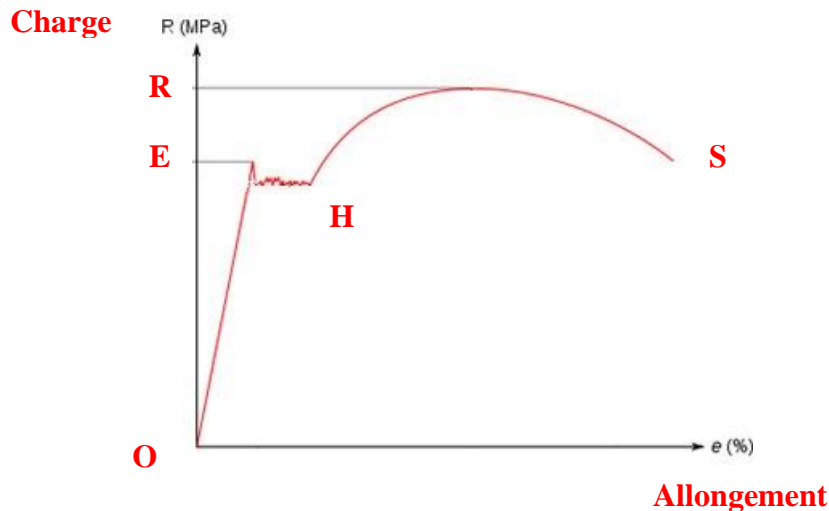


Ce sont ces éprouvettes qui sont principalement utilisées lors des essais.



2.3 Interprétation du diagramme

$$F = f(\Delta L) \quad \Delta L = L_u - L_o$$



De O à E , le phénomène est réversible, c'est-à-dire que si l'on interrompt l'essai avant E et que l'on diminue progressivement l'effort de traction, on obtient une courbe retour qui se superpose exactement à la courbe décrite à l'aller. Quand on cesse d'exercer tout effort, le métal revient à ses dimensions primitives : il n'a donc subi que des déformations temporaires et n'est pas sorti du domaine élastique. La partie OE est sensiblement rectiligne.

$$\text{Limite élastique} \quad R_e = \frac{F_e}{S_o} \text{ N/mm}^2$$

A partir du point E , on est en présence d'une période dite de transition, ceci jusqu'au point H .

A partir du point H , les allongements deviennent permanents.

$$\text{Résistance à la traction} \quad R = \frac{F_{\max}}{S_o} \text{ N/mm}^2$$

Au-delà de R commence le phénomène de striction (diminution du diamètre de l'éprouvette). La charge nécessaire pour produire l'allongement décroît jusqu'en S , où l'éprouvette se rompt.

L'allongement % après rupture est donnée par la relation :

$$A = \frac{L_u - L_o}{S_o} \times 100$$

L_u est mesuré après rapprochement des deux fragments de l'éprouvette rompue. Le coefficient de striction % Z est défini par la relation :

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100$$

S_u est la section ultime, en mm^2 , dans la région de la rupture.

3. Etude de dureté : Dureté BRINEL



La première notion de dureté provient du minéralogiste allemand Friedrich Mohs, qui recherchait un paramètre pour définir les minéraux en 1822. Il a proposé une échelle de 10 classes de dureté relative basée sur la résistance à la rayure par rapport à des matériaux donnés, le talc et le diamant étant les extrêmes.

Principe

La dureté d'un métal, symbolisée par la lettre H, est la résistance qu'il offre aux efforts de pénétration.

On admet qu'un métal est d'autant plus dur qu'un poinçon (sphérique, conique ou pyramidal), soumis à une charge constante, y pénètre moins profondément. La dureté peut donc être évaluée en fonction de la surface ou la profondeur de l'empreinte laissée par le poinçon.

Essai BRINELL

On doit l'essai Brinell à l'ingénieur métallurgiste suédois Johan Brinell (1849-1925). La norme de dureté Brinell a été éditée dès 1924. Il s'applique aux métaux « peu durs ».

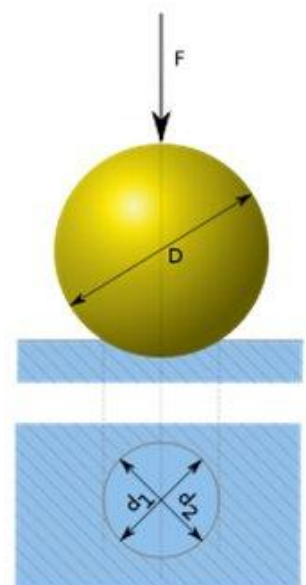
Le poinçon en acier extra-dur est une bille de diamètre D. La dureté Brinell est égale au quotient de la charge d'essai exercée sur la bille par l'aire S (mm²) de l'empreinte, assimilée à une calotte sphérique.

$$\text{On a : } HB = \frac{P \text{ (daN)}}{S \text{ (mm}^2\text{)}}$$

La surface S peut être calculée par la formule : $S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$

Il en résulte donc :

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



Diamètre D de la bille en mm	Charges exprimées en daN			
	$P = 30 D^2$	$P = 10 D^2$	$P = 5 D^2$	$P = 2 D^2$
1	30	10	5	2
2,5	187,5	62,5	31,25	12,5
5	750	250	125	50
10	3000	1000	500	200

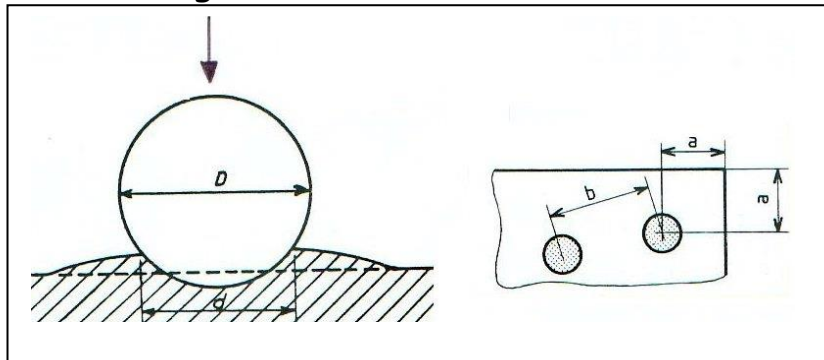
Charges	Métaux ou alliages
$30 D^2$	Aciers, Bronzes...
$10 D^2$	Laitons, Alliages légers...
$5 D^2$	Cuivre, Duralumin, zinc et alliages...
$2 D^2$	Etain, Plomb...

La charge est appliquée progressivement, sans chocs ni vibrations, et maintenue à sa valeur finale durant 10 à 15 secondes.

Pour les essais successifs, on choisira :

$a \geq 2,5.d$ et $b \geq 4.d$ (aciers)

$a \geq 3d$ et $b \geq 6.d$ (alliages d'aluminium et de cuivre)



Il y a possibilité de mesurer d à l'aide d'un microscope électronique.

H(1/30/15) : Essai effectué avec une bille de diamètre 1 mm, une charge de 30 daN, durant 15 s.

Exploitation des résultats : Dureté Brinell des métaux et alliages usuels :

Laitons : 52 à 90

Bronzes : 80 à 117

Aciers doux : 110

Aciers mi-durs : 170

Aciers durs : 315

Des tables permettent d'avoir directement la dureté en fonction de d. Pour les aciers ordinaires, il existe une relation simple, mais approchée, entre la dureté Brinell et la charge de rupture par traction :

$$R \text{ (N/mm}^2\text{)} \approx 3 \text{ HB}$$



4. Etude de dureté : Dureté VICKERS

Dans le cas de matériaux très durs ($HB > 450$), la bille se déforme au cours de l'essai et les résultats sont entachés d'erreurs.

La dureté Vickers a été conçue dans les années 1920 par les ingénieurs de la société Vickers en Angleterre.

L'essai Vickers consiste à imprimer dans la pièce à essayer le pénétrateur en forme de pyramide droite à base carrée d'angle au sommet 136° sous une charge F et à mesurer la diagonale d de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge.

F : Charge d'essai en daN

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad d \text{ est mesuré à } 0,5 \% \text{ près}$$

La dureté est proportionnelle au rapport $\frac{F}{S}$

S : Surface de l'empreinte considérée comme pyramide droite

$$\text{Dureté Vickers HV} = \frac{\text{Charge d'essai}}{\text{Aire d'empreinte}} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}$$

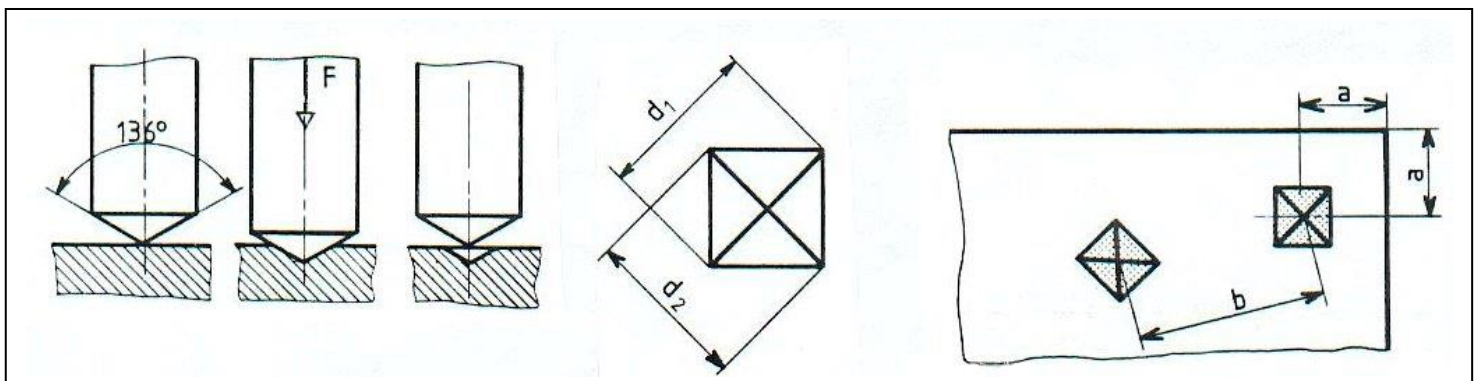
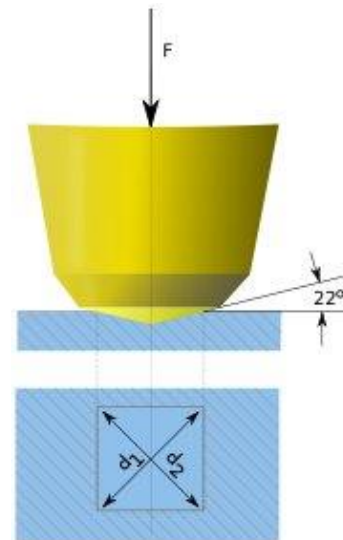
Pour le choix de la charge, il faut que $d \geq 0,4$ mm afin d'assurer une mesure correcte.

La charge est appliquée progressivement sans chocs, ni vibrations et maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes.

Pour les essais successifs, on choisira :

a et $b \geq 2,5 \cdot d$ (aciers)

$a \geq 3 \cdot d$ et $b \geq 6 \cdot d$ (alliages d'aluminium et de cuivre)



Comme pour l'essai Brinell, des tables permettent d'avoir directement la dureté en fonction de d .

Essai HV30 : Essai Vickers, charge = 30 daN

Caractéristiques mécaniques

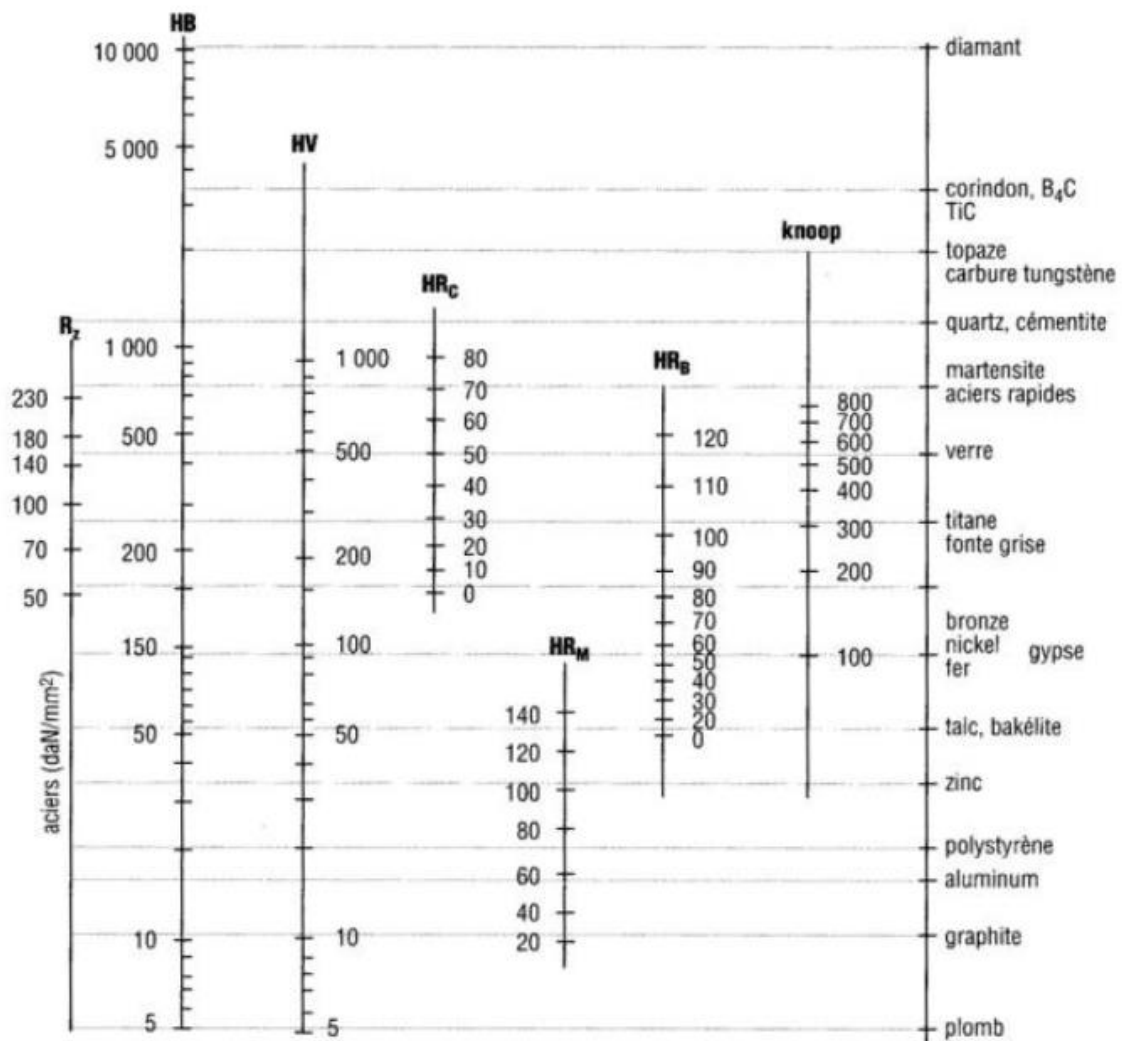
Fig 2-28 CARACTERISTIQUES MECANQUES DES MATERIAUX

GROUPE DE MATERIAUX	NUANCE EN 10027	CODE EN 10027 (DIN ou ASTM)	T° C MAX.	LIMITE ELASTIQUE Re 0,2 - N/mm ²	RUPTURE A LA TRACTION R _m 2 - N/mm ²	ALLONGEMENT APRES RUPTURE		RESILIENCE MIN KCV = J
						A 5%	A 80%	
ACIER NON ALLIE	1.0254	P235T1 (St 37.0)	300	235	350	23		
	1.0427	C22K1 (C22.3)	360	240	410	20		31
	1.0038	S235JR2 (St 37.2)	300	235	340	21-28		27
ACIER DE CONSTRUCTION	1.0060	E266 (St. 50.2)	300	266	470	18-20		
	1.0570	S355J2G3 (St. 52.3)	300	355	480	17-22		27 / -20g
ACIER NON ALLIE	1.0460	C22K2 (C22.5)	480	340	410	20		31
ACIER RESISTANT AU FLUAGE A CHAUD	1.0035	P235GH (St. 35.6)	480	235	360	23		34
	1.0405	A108 GB	460	241	414	35		
	1.0345	P235GH (H)	480	235	360	25		27 / 0° C
	1.0425	P265GH (H)	480	265	410	23		27 / 0° C
	1.5415	15Mn3	500	275	440	24		31
	1.7335	13 Cr M044	570	285	490	20		31
	(1.7335)	A3359 P-11	540	207	414	18-30		-
	1.7350	10 Cr Mo 9-10	600	310	480	18		31
	1.4301	X5 Cr Ni 18-10 (AISI 304)	560	207	517	45		45
	1.4300	X2 Cr Ni 19-11 (AISI 304L)	550	173	483	45		45
ACIER INOXYDABLE (AUSTENITIQUE)	1.4401	X5 Cr Mo 17-12-2 (AISI 316)	500	207	517	40		40
	1.4404	X2 Cr Mo 17-12-2 (AISI 316L)	500	173	483	40		40
	1.4541	X8 Cr Ni Ti 18-10 (AISI 321)	550	207	517	40		40
	1.4571	X8 Cr Ni Ti 17-12-2 (AISI 321 Ti)	550	200	500	40		40
	1.4545	X6 Cr Ni 18-11 (AISI 304H)	600	185	500	40		60
	1.4519	X8 Cr Ni Mo 17-13 (AISI 316H)	600	205	490	35		60
ACIER AUSTENITIQUE RESISTANT AU FLUAGE A HAUTE TEMPERATURE	1.4626	X15 Cr Ni Si 20-12 (AISI 309)	1000	230	500	22		
	1.4676	X10 Ni Cr ALTi 32-20 (INCOLOY 800)	800	210	800	30		
	1.4676 H	X10 Ni Cr ALTi 32-20H (INCOLOY 800H)	860	170	460	30		
ALLIAGE A BASE DE NICKEL	2.4602	Ni Cr 21 Mo 14 W (ALLOY C22)	600	310	680	45		150 / 20° C
	2.4819	Ni Mo 16 Cr 15 W (ALLOY C-276)	800	310	750	30		
ALUMINIUM	2.4660	Ni Cr 22 Mo 9Nb (AL 89.5)	600	410	800	30		100 / 20° C
	3.0255	Al 99.5	± 55	± 55	95	40		
	3.7025	Ti	250	160	290	30		62
TANTALE		Ta	250	150	225	35		
		Ta						

Comparaisons indicatives des échelles de dureté usuelles

La dureté dépend à la fois de la limite élastique et de la capacité de durcissement par déformation. En effet, des déformations de la pièce sont constatées lors des essais. Il est donc difficile de relier quantitativement des mesures de dureté faites sur le même matériau suivant différentes méthodes. Il existe des tables, faciles à utiliser, de correspondances de valeurs approchées.

Table présentant les aciers non alliés ou faiblement alliés :



Correspondance entre mesures de dureté

DURETÉ HV F ≥ 98,1 N	DURETÉ HBS HBW	DURETÉ HRA	DURETÉ HRB	DURETÉ HRC	DURETÉ HRD	RÉSISTANCE A LA TRACTION R _m (MPa)	DURETÉ HV F ≥ 98,1 N	DURETÉ HBS HBW	DURETÉ HRA	DURETÉ HRC	DURETÉ HRD	RÉSISTANCE A LA TRACTION R _m (MPa)
80	76,0					280	350	332,5	68,1	35,5	51,9	1120
85	80,7					310	360	342,0	68,7	36,6	52,8	1160
90	85,5					320	370	351,5	69,2	37,7	53,8	1190
95	90,2					340	380	361,0	69,8	38,8	54,4	1220
100	95,0					350	390	370,5	70,3	39,8	55,2	1260
105	99,8					370	400	380,0	70,8	40,8	56,0	1290
110	104,5		62,0			380	410	389,5	71,4	41,8	56,8	1330
115	109,3		64,6			390	420	399,0	71,8	42,7	57,5	1360
120	114,0		67,0			410	430	408,5	72,0	43,6	58,2	1400
125	118,8		69,0			420	440	418,0	72,3	44,5	58,8	1430
130	123,5		71,0			440	450	423,0	73,3	45,3	59,4	1470
135	128,3		73,1			450	460	432	73,6	46,1	60,1	1500
140	133,0		75,1			470	470	442	74,1	46,9	60,7	1540
145	137,8		77,0			480	480	450	74,5	47,7	61,3	1570
150	142,5		78,8			500	490	456	74,9	48,4	61,6	1610
155	147,3		80,5			510	500	466	75,3	49,1	62,2	1650
160	152,0		82,1			530	510	475	75,7	49,8	62,9	1680
165	156,8		83,5			540	520	483	76,1	50,5	63,5	1720
170	161,5		85,0			550	530	492	76,4	51,1	63,9	1760
175	166,3		86,1			570	540	500	76,7	51,7	64,4	1790
180	171,0		87,3			580	550	509	77	52,3	64,8	1830
185	175,8		88,5			600	560	517	77,4	53,0	65,4	1870
190	180,5		89,6			610	570	526	77,8	53,6	65,8	1910
195	185,3		90,7			630	580	535	78,0	54,1	66,2	1940
200	190,0		91,8			650	590	543	78,4	54,7	66,7	1980
205	194,8		92,8			660	600	552	78,6	55,2	67,0	2020
210	199,5		93,7			680	610	560	78,9	55,7	67,5	2060
215	204,3		94,6			690	620	569	79,2	56,3	67,9	2100
220	209,0		95,5			710	630	577	79,5	56,8	68,3	2140
225	213,8		96,3			720	640	586	79,8	57,3	68,7	2180
230	218,5					740	650		80,0	57,8	69,0	2220
235	223,3					750	660		80,3	58,3	69,4	
240	228	60,7		20,3	40,3	770	670		80,6	58,8	69,8	
245	232,8	61,2		21,3	41,1	780	680		80,8	59,2	70,1	
250	237,5	61,6		22,2	41,7	800	690		81,1	59,7	70,5	
255	242,2	62,0		23,1	42,2	820	700		81,3	60,1	70,8	
260	247,0	62,4		24,0	43,1	830	720		81,8	61,0	71,5	
265	251,7	62,7		24,8	43,7	850	740		82,2	61,8	72,1	
270	256,5	63,1		25,6	44,3	860	760		82,6	62,5	72,6	
275	261,2	63,5		26,4	44,9	880	780		83,0	63,3	73,3	
280	266,0	63,8		27,1	45,3	890	800		83,4	64,0	73,8	
285	270,7	64,2		27,8	46,0	910	820		83,8	64,7	74,3	
290	275,5	64,5		28,5	46,5	930	840		84,1	65,3	74,8	
295	280,2	64,8		29,2	47,1	940	860		84,4	65,9	75,3	
300	285,0	65,2		29,8	47,5	960	880		84,7	66,4	75,7	
310	294,5	65,8		31,0	48,4	990	900		85,0	67,0	76,1	
320	304	66,4		32,2	49,4	1020	920		85,3	67,5	76,5	
330	313,5	67,0		33,3	50,2	1060	940		85,6	68,0	76,9	
340	323,0	67,6		34,4	51,1	1090						

Solution:

$$P = M \cdot g = 22,5 \times 9,81 = 219,74 \text{ N}$$

$$W_0 = M \cdot h_0 = 219,74 \times 1,34 = 294,45 \text{ J}$$

$$\text{Hauteur de remontée } h_1 = OG - OG' \cdot \cos \theta = 0,7 (1 - \cos 74^\circ) = 0,507 \text{ m}$$

$$\text{Energie de rupture (absorbée)} : W = P (h_0 - h_1) = 219,74 (1,34 - 0,507) = 149,11 \text{ J}$$

$$\text{Section nette de l'éprouvette en U} : S_0 = 1 \text{ cm} \times 0,5 = 0,5 \text{ cm}^2$$

$$KCU = 149,11/0,5 = 298,22 \text{ J/cm}^2 \text{ (acier extra-doux).}$$

Exemples de résultats

▣ Acier mi-doux (C35 -> 1.0501) trempé à 860°C + revenu à 600°C KCU = 120 J/cm²

▣ Acier mi-dur (C45 -> 1.0503) trempé à 830°C + revenu à 600°C KCU = 80 J/cm²

Remarques :

- 1) Plus la valeur de KCU ou KCV est grande, plus le métal a d'aptitude à résister aux chocs
- 2) Le revenu pratiqué après trempe a pour but de rendre le métal moins fragile (ex. Les burins).