

L'influence de la température sur les propriétés mécaniques des laitons

par MM. W. BRONIEWSKI et K. WESOLOWSKI

○ ○ ○

PREMIÈRE PARTIE

HISTORIQUE. — L'étude de la résistance des métaux en fonction de la température avait été entreprise il y a un siècle environ. Dans les premières recherches, faites à ce sujet, on se contentait de chauffer l'éprouvette, avant de la rompre, sans prendre garde à sa chute de température pendant l'essai.

Bien plus précis furent les essais de Martens (1) sur les aciers, pour lesquels il atteint la température de 600°, en effectuant la rupture des éprouvettes successivement dans un bain d'huile et dans un bain d'alliage plomb-étain. La température du bain était mesurée, jusqu'à 400°, par un thermomètre à mercure et au-dessus par un thermomètre à gaz.

L'étude des laitons, entreprise par A. Le Chatelier (2) avait établi que vers 250° leur charge de rupture n'était que de 15 % inférieure à la valeur obtenue à la température ordinaire, mais qu'au-dessus de 250 à 350° ils éprouvaient une perte considérable de résistance et d'allongement. Dans ces études, la température était mesurée par un couple thermo-électrique relié à l'éprouvette. Le chauffage s'effectuait au gaz.

MM. Charpy (3), Unvin (4), Bregowski et Spring (5) étudient les paramètres de traction de plusieurs laitons sans dépasser la température de 500°.

MM. Bengough et Hudson (6) font l'étude jus-

qu'à 600° d'un laiton à 30 % de zinc et M. Bengough (7) celle d'un laiton de décolletage à 30 % de zinc et 0,4 de plomb, en dépassant 800°. La résistance à la traction de ces deux laitons subit une réduction régulière qui s'accroît surtout entre 350° et 450°, alors que l'allongement manifeste deux minima, notamment vers 400° et 500° pour le premier laiton et vers 350° et 800° pour le second.

M. Huntington (8) établit tous les coefficients de traction jusqu'à 450° environ pour un laiton à 40 % de zinc, en mesurant la température aux encoches pratiquées dans les éprouvettes au delà de leur partie amincie. Les résultats de cette étude sont reproduits sur la figure 1.

M. Hanser (9) publie, sous la forme d'un graphique, les données sur la résistance et la striction des laitons à 33 et 40 % de zinc (fig. 2), en jugeant les résultats obtenus sur l'allongement trop incertains pour être publiés.

L'étude de la dureté Brinell avait été entreprise, pour les basses températures, par MM. Guillet et Cournot (10) et pour les hautes températures par M. Guillet (11). A basse température la mesure se faisait sur l'échantillon plongé dans un réfrigérant dont la température pouvait être facilement établie. Pour un laiton à 39 % de zinc et 0,2 de plomb, aucun changement de dureté n'avait été remarqué jusqu'à -80°; à -110° et à -182° une augmentation de dureté, voisine respectivement de 20 et de 30 %, était constatée. Pour les hautes températures la mesure s'effectuait par la pression d'une bille non chauffée sur un échantillon maintenu et chauffé au four. On admettait que l'abaissement de la température, produit ainsi à l'essai, variait de 5° à 15°, suivant la température. Les

(1) Martens. Mitteilungen aus der Technischen Versuchsanst. zu Berlin, 1890, p. 159.

(2) A. Le Chatelier. Génie Civil, 1891; Revue Générale des Sciences, août 1891.

(3) Charpy. Bull. Soc. Encouragement, février 1899. Contributions à l'étude des alliages, Paris 1901, p. 241.

(4) Unvin. Report of British Association, 1899.

(5) Bregowski et Spring. Assoc. Intern. pour l'Essai des Matériaux. Congrès de New-York 1912; rapport VII; Revue de Métall., X, II, 1913.

(6) Bengough et Hudson. J. Inst. Met., IV, 92, 1910.

(7) Bengough. J. Inst. Met., VII, 123, 1912.

(8) Huntington. J. Inst. Met., VIII, 126, 1912.

(9) Hanser. Zs. f. Metallk., XVIII, 247, 1926.

(10) Guillet et Cournot. R. de Métall., XIX, 215, 1922.

(11) Guillet. R. de Métall., XXI, 295, 1924.

résultats obtenus pour un laiton à cartouches et un laiton à décolletage sont reproduits sur la figure 3.

Les résultats obtenus par M. Hanser (H, fig. 2) pour un laiton à 40 % de zinc différent de ceux de M. Guillet surtout par l'indication d'une descente moins accentuée de la dureté entre 300° et 400°.

MM. Bassett et Davis (1) établissent une courbe de dureté jusqu'à 850° pour un laiton écroui à 30 % de zinc. Jusqu'à 300° la dureté se maintient presque constante pour être réduite de 40 % entre 300° et 350°.

L'étude de la résilience à haute température avait été entreprise sur les aciers par MM. Guillet et Revillon (1). L'éprouvette, ayant atteint au four la température voulue, était placée sur la chabotte du mouton séparée d'elle par une feuille de carton d'amiante. La température fut mesurée à l'aide d'un couple thermo-électrique placé dans une encoche percée sur un côté de l'éprouvette.

L'étude faite ainsi par MM. Guillet et Bernard (3) sur la résilience d'un laiton à 38 % de zinc montre une chute jusqu'à 300°, suivie d'un palier, qui s'étend à 600° et d'un maximum, peu accentué, au voisinage de 700°.

M. Bunting (4) fait l'étude de la résilience d'une

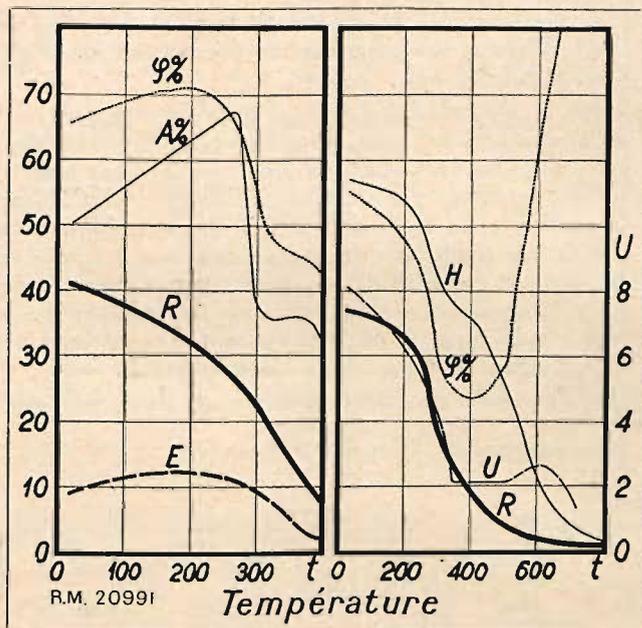


Fig. 1.

Fig. 2.

(1) Bassett et Davis. Amer. Inst. Min. Met. Eng. Techn. Publ., n° 26, sep. 1927.

(2) Guillet et Revillon. R. de Métall., VI, 94, 1909.

(3) Guillet et Bernard. C. R., CLVI, 1899, 1913.

(4) Bunting. J. Inst. Met., XXXI, 47, 1924.

série de laiton en chauffant l'éprouvette Izod, munie d'une masse métallique destinée à diminuer la vitesse de refroidissement sur l'enclume. La

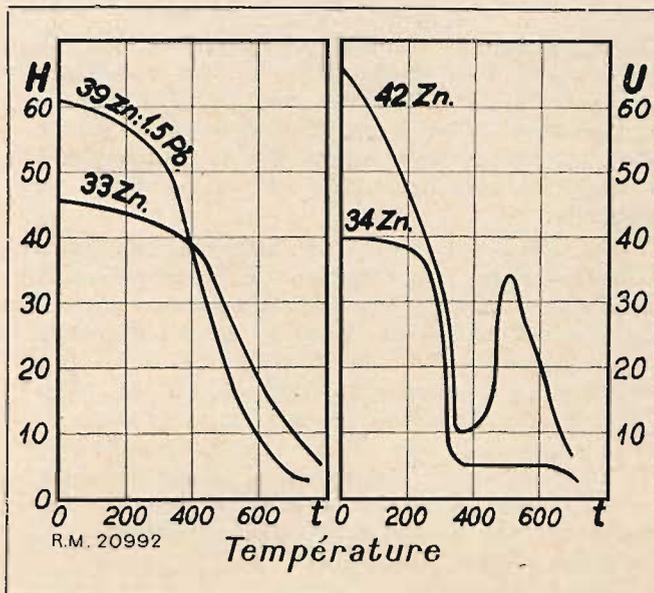


Fig. 3.

Fig. 4.

température était mesurée à l'aide d'un couple thermo-électrique. Les résultats obtenus par M. Bunting pour deux de ces laitons sont reproduits sur la figure 4.

Nous y voyons que le laiton à 42 %, contenant la phase β , manifeste un maximum accentué vers 500°, dont est dépourvu le laiton à 34 % de zinc, constitué par une solution solide.

Pour la résilience d'un laiton à 40 % de zinc on trouve aussi des indications sur le diagramme de M. Hanser (U, fig. 2).

CONDITIONS DE MESURES. — Les résultats des mesures concernant les propriétés mécaniques des laitons, en fonction de la température, sont peu concordants. Il est probable que la cause principale de ce manque d'accord est due à l'imprécision dans la détermination de la température réelle de l'éprouvette.

À l'essai de traction l'emploi d'éprouvettes de forte section produit une fuite de chaleur vers les mâchoires froides de la machine, ce qui empêche l'obtention d'une température uniforme entre les repaires.

Pour la mesure de dureté, lorsque la bille et l'échantillon sont à une température différente, il se produit au moment de l'essai une zone à tempé-

rature hétérogène autour du point de contact et il devient difficile, sinon impossible, de préciser les conditions auxquelles correspond l'empreinte obtenue.

Dans l'essai de résilience, l'éprouvette chauffée au four doit être placée avec hâte sur la chabotte qui la refroidit irrégulièrement, de sorte que la température indiquée par le couple placé sur un côté de l'éprouvette n'indique pas sa température à l'endroit le plus important, soit au voisinage de l'entaille.

Afin d'éliminer, autant que possible, ces causes d'erreurs dans l'appréciation de la température, nous avons effectué les essais de traction sur des éprouvettes minces ($d=5$ mm.), ce qui diminuait sensiblement la fuite de la chaleur et rendait la température d'autant plus uniforme, que le chauffage du four s'exerçait sur une longueur triple de celle qui servait pour la mesure. L'échauffement était conduit dans l'atmosphère d'un gaz peu actif, le CO_2 , et l'essai de traction se faisait à une vitesse uniforme, afin de réduire l'effet perturbateur du repage à haute température.

Pour la mesure de la dureté, le poinçon effectuant l'empreinte était chauffé dans le four à la même température que l'échantillon étudié, de sorte que la température se trouvait bien déterminée.

Dans l'essai de résilience, l'éprouvette fut chauffée sur l'enclume même du mouton, ce qui permettait une mise en place soignée. La température était déterminée, au moment du choc, par un couple placé dans l'entaille de l'éprouvette.

Les détails de ces installations ont été décrits par M. Krupkowski (1) qui s'est servi, comme nous, pour ses essais des installations au Laboratoire de Métallurgie à l'École Polytechnique de Varsovie.

(1) Krupkowski. Propriétés mécaniques du cuivre. Revue de Métallurgie, XXVIII, 529, 598, 641 (1931); XXIX, 16, 74 (1932).

PARAMÈTRES MESURÉS. — Les propriétés mécaniques suivantes furent étudiées dans nos essais.

R, la résistance à la traction en kg. par mm^2 était établie sur des éprouvettes de 5 mm. de diamètre;

E, la limite élastique, en kg. par mm^2 , fut mesurée sur la courbe de traction enregistrée et correspondait ainsi effectivement à la limite de proportionnalité;

Λ , l'allongement total à la traction était mesuré en % sur une éprouvette internationale à la distance entre repères égale à 10 diamètres. Afin d'obtenir l'allongement pour l'éprouvette française, ou l'éprouvette anglaise courte, on peut se servir de la formule de M. Krupkowski (1);

a, l'allongement uniforme à la traction était établi par la mesure du diamètre de l'éprouvette avant l'essai (d_0) et après rupture (d_1) au voisinage des repaires. Alors :

$$a = 100 \left(\frac{d_0^2}{d_1^2} - 1 \right)$$

b, l'allongement de striction était obtenu par différence :

$$b = A - a$$

q, la striction à la rupture était mesurée en % à l'aide d'un microscope sur vis micrométrique donnant 0,005 de mm.

H, la dureté était établie sous la pression de 25 kgs pendant 5 min., par l'empreinte d'une tige en stellite ou en vidia (carbures de tungstène agglomérés) terminée par un cône à l'angle de 120° , par la méthode de Rockwell. La pression préliminaire de 10 kgs avait lieu de même pendant 5 min. La mesure de l'empreinte se faisait au microscope sur vis micrométrique. Le nombre de dureté était indiqué par le rapport de la pression sur la surface de l'empreinte, comme dans l'essai Brinell.

U, la résilience était mesurée en kgm, par cm^2

(1) Krupkowski, l. cit., p. 533, formule 15.

Tableau 1.

Eprouvette	33 % de Zn		40 % de Zn		40 % de Zn et 1,3 % Pb	
	recuit	écroui à 12 %	recuit	écroui à 17 %	recuit	écroui à 12 %
Française normale $10 \times 10 \times 55$	16,3 ♦)	9,8 ♦)	9,6	5,7	5,6	3,0
Française Mesnager $10 \times 10 \times 55$	23,1 ♦♦)	15,3 ♦)	13,0	6,8	8,7	3,0
Izod $10 \times 10 \times 56$	9,6 ♦♦)	11,0 ♦)	9,5 ♦)	5,9	5,7 ♦)	2,8
Allemande $10 \times 8 \times 100$	14,3 ♦)	8,1	8,5	5,1	4,4	2,2

Le signe (♦) indique une éprouvette pliée avec fissure et le signe (♦♦) une éprouvette pliée sans fissure. Les chiffres dépourvus d'étoiles correspondent à une rupture normale de l'éprouvette.

sur des éprouvettes du modèle allemand de 10 x 8 x 100 mm., avec entaille de 3 mm. à l'angle de 45°.

Cette éprouvette avait été adoptée par suite d'une étude préliminaire qui avait permis de comparer l'effet du choc sur de petites éprouvettes de type différent, afin de choisir celle qui donnerait le plus de garanties de rupture (voir tableau I).

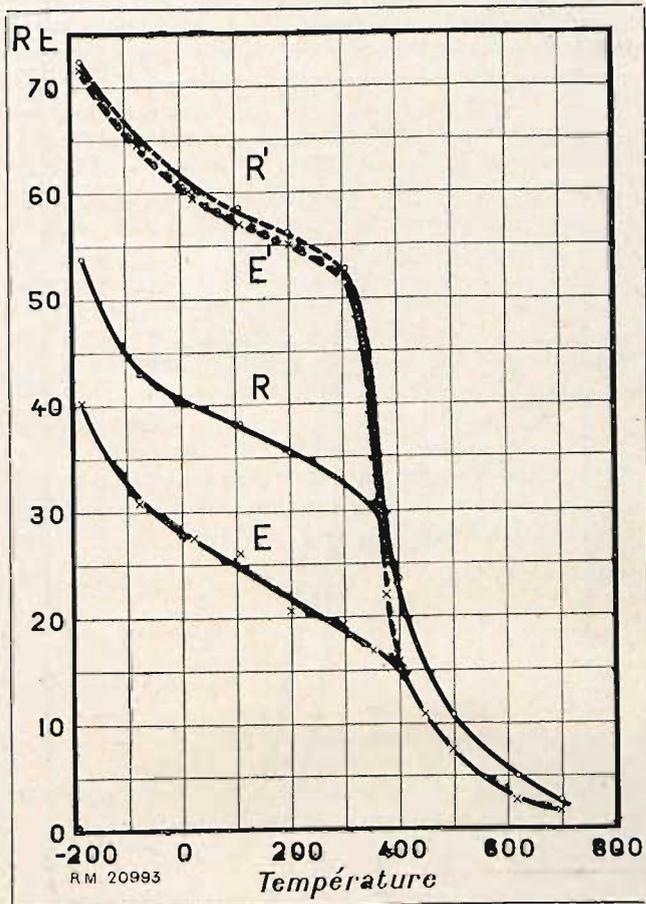


Fig 5.

Toutes les mesures étaient faites en double et leur moyenne est indiquée dans les tableaux.

L'étude avait porté sur trois laitons de composition suivante :

- 33 % de zinc (premier titre);
- 40 % de zinc (deuxième titre);
- 40 % de zinc et 1,3 % de plomb (à décolletage),

le cuivre formant le reste de la composition.

Les mesures étaient faites entre la température d'ébullition de l'air liquide et 700°.

Tableau II. — Propriétés mécaniques du laiton à 33 o/o de zinc recuit pendant 2 heures à 550° dans du CO². t°, température; R, résistance à la traction; E, limite élastique; A, allongement total à la traction; a, allongement uniforme; b, allongement de striction; φ, striction.

t°	R	E	A %	a %	b %	φ %
- 183	53,7	40,2	50,8	44,5	6,3	70,7
- 78	43,0	30,7	49,8	40,7	9,1	76,6
23	40,0	27,6	50,4	41,7	8,7	72,0
108	38,2	26,2	49,7	39,6	10,1	69,2
200	35,6	20,7	45,3	38,2	7,1	58,9
298	32,7	19,6	34,8	25,1	9,7	38,8
352	30,6	16,9	26,9	17,6	9,3	33,0
400	22,6	16,0	20,7	9,7	9,2	29,5
500	10,9	7,4	16,8	6,9	9,9	25,0
617	4,2	2,7	17,3	9,0	8,3	20,8
697	2,7	1,7	16,3	7,1	9,2	17,7

Tableau III. — Propriétés mécaniques du laiton à 33 o/o de zinc écroui à 40 o/o; t°, température; R', résistance à la traction; E', limite élastique; A' allongement total à la traction; a', allongement uniforme; b' allongement de striction; φ', striction.

t°	R'	E'	A' %	a' %	b' %	φ' %
- 183	72,3	71,5	10,1	1,6	8,5	66,5
- 78	65,0	64,5	7,8	0,0	7,8	71,5
23	60,0	59,5	6,3	0,5	5,8	66,5
109	58,6	57,1	6,3	0,5	5,8	57,7
200	56,3	55,9	5,2	0,0	5,2	41,5
306	52,8	52,3	4,0	0,5	3,5	5,9
347	44,9	41,0	4,3	1,4	2,9	13,0
378	28,5	22,0	19,6	9,0	10,6	27,6
396	23,6	16,6	21,8	9,7	12,1	28,3

Tableau IV. — La dureté H et H' et la résilience U et U' du laiton à 33 p. 100 de zinc. H et U correspondent au métal recuit pendant 2 heures à 550° dans du CO². H' et U' correspondent au métal écroui à 12 p. 100; t° indique la température.

t°	H	t°	H'	t°	U	t°	U'
-183	100,0	-183	172,0	-183	14,15	-183	9,4
- 78	85,7	- 78	149,0	- 78	16,80*	- 78	9,2
19	77,1	18	142,4	20	14,35*	20	8,12
57	79,2	50	142,4	46	12,1	50	8,44
100	77,6	100	140,7	106	11,1	100	8,10
150	77,1	144	134,5	150	10,9	152	7,10
196	77,1	200	126,2	203	10,6	200	7,03
248	68,0	254	109,1	251	9,52	250	5,91
302	58,8	274	92,5	301	3,37	302	3,70
330	46,4	303	87,1	350	1,55	350	1,82
346	44,7	309	78,5	401	1,30	401	1,01
401	25,0	324	69,3	450	1,01	450	0,93
454	14,8	330	63,7	498	1,08	500	0,79
496	11,1	343	54,9	550	0,86	550	0,60
552	9,7	353	45,9	598	0,80	600	1,01
603	5,7	374	38,3	646	0,97	650	1,20
657	3,7	397	31,5	695	0,96	700	0,99
703	2,6	462	15,3				
		501	11,0				
		552	8,1				
		595	5,0				
		665	4,0				
		700	2,8				

Les éprouvettes non rompues sont indiquées par le signe *

LAITONS A 33 % DE ZINC. — Les paramètres mécaniques, mis en évidence pour ces laitons par l'essai de traction, sont reproduits sur les tableaux II et III et sur les figures 5, 6 et 7.

Les nombres de dureté du laiton à 33 % de zinc et de sa résilience sont indiqués au tableau IV et reproduits sur la figure 8.

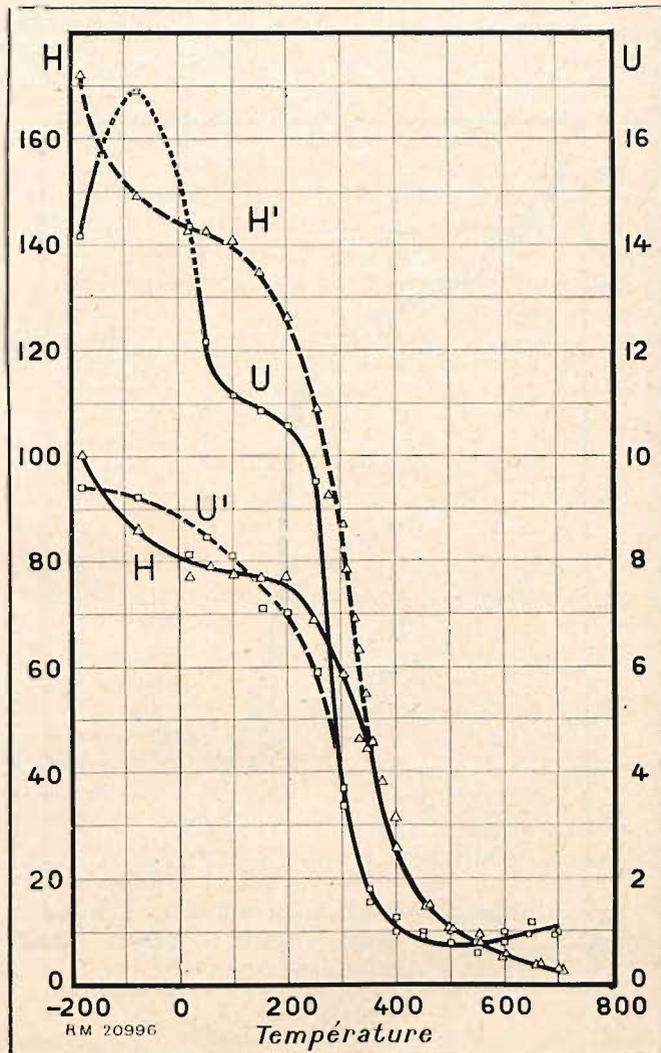
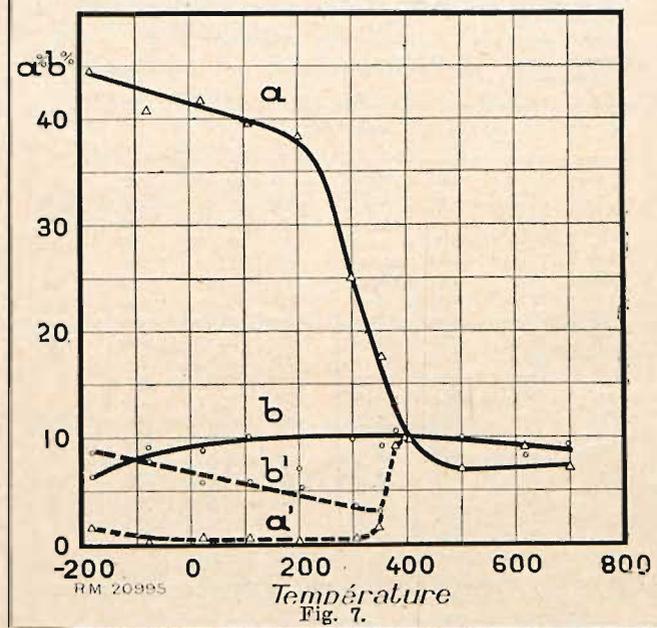
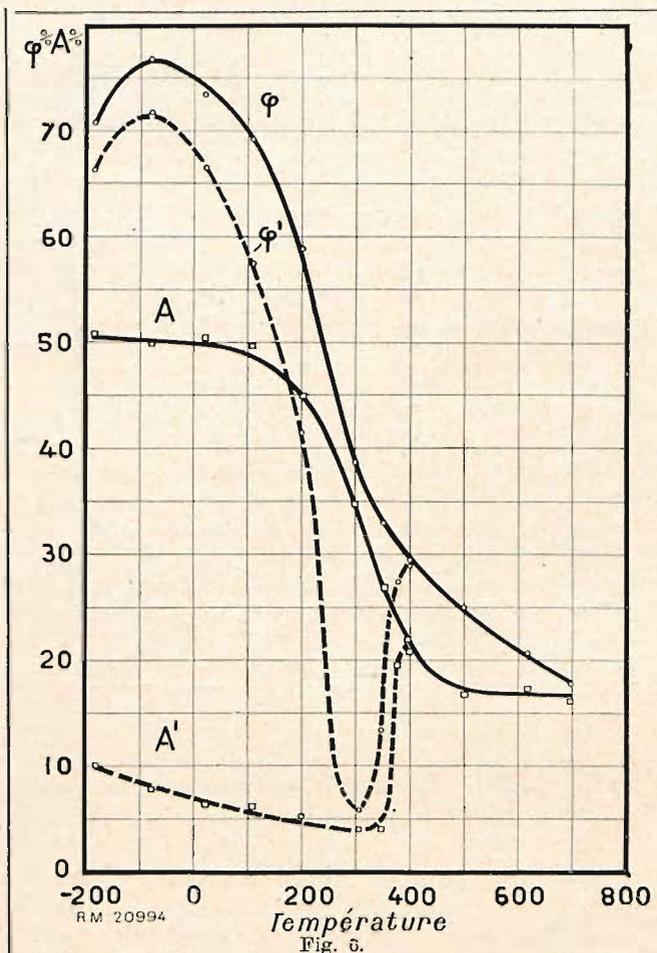


Fig. 8.

Nous voyons que la chute de la résistance à la traction R et de la limite élastique E (fig. 5) se trouve plus accentuée à basse température et au-dessus de la zone de recristallisation, soit entre 350° et 400°. A partir de 400°, les courbes du métal écroui se confondent avec celles du métal recuit.

L'allongement total à la rupture A (fig. 6) choisit fortement entre 100° et 500° et ne varie, par contre, presque pas en dehors de ces limites. La stric-

tion φ passe par un maximum vers -80° et accentue sa descente surtout entre les mêmes limites de température que l'allongement.

Les courbes correspondantes au métal écroui manifestent un minimum accentué, particulièrement pour la striction, vers 300° et rejoignent vers 400° les courbes du métal recuit. Pour la striction, tout se passe comme si sa courbe tendait rapidement vers zéro et n'était redressée que par la recristallisation détruisant l'érouissage du métal.

La décomposition de l'allongement total A en ces deux éléments constituants nous montre le rôle de chacun d'eux (fig. 7).

Nous voyons que pour l'alliage recuit l'allongement de striction b varie peu avec la température, de sorte que l'allure de la courbe d'allongement total à la rupture est due à l'allongement uniforme a . Par contre, pour le métal écroui, l'allongement uniforme a' est négligeable et l'allure de la courbe de l'allongement total, avec son minimum, est due à l'allongement de striction b' .

L'allure générale des courbes de dureté H et H' (fig. 8) est analogue à celle de la résistance à la traction (fig. 5).

La résilience (fig. 8) passe par un maximum vers -80° , ainsi que nous l'avons vu pour la striction (fig. 6). Une chute rapide de la courbe de résilience se fait remarquer au voisinage de la zone de

recristallisation (comme pour la courbe d'allongement A, fig. 6), précédée et suivie par un palier de moindre variation. L'effet de l'érouissage sur la résilience est peu marqué à partir de 300° , mais ne disparaît effectivement qu'au-dessus de 400° .

En comparant nos résultats avec ceux de nos prédécesseurs, nous pouvons constater que l'allure générale des courbes obtenues par MM. Bengough et Hudson pour le laiton à 30 % de zinc et par M. Hanser pour le laiton à 33 % de zinc indique que le métal était mis à l'essai à l'état écroui, ce qui est particulièrement visible sur le diagramme de l'allongement de la première de ces études et sur la courbe de striction de la deuxième.

La courbe de dureté de M. Guillet (fig. 3) pour le laiton à 33 % de zinc diffère de la nôtre (H, fig. 8) par une descente plus tardive et bien moins accentuée, tandis que celle de MM. Bassett et Davis, pour le laiton à 30 % de zinc écroui, manifeste une descente plus tardive et plus brusque que la nôtre entre 300° et 350° (H', fig. 8).

L'allure générale de la résilience indiquée par M. Bunting (fig. 4) pour le laiton à 34 % de zinc est semblable à celle que nous trouvons (U, fig. 8), alors que les données numériques ne peuvent pas être comparées entre elles, les expériences étant faits d'une façon très différente en ce qui concerne aussi bien les éprouvettes que le mouton.

