

alors, comme le disent les martineurs, le cuivre est énérvé. On ne peut se refuser de croire, d'après cela, que le cuivre pur est susceptible de se combiner dans de certaines proportions avec son oxide, et de produire ainsi un métal composé plus malléable que le cuivre pur; c'est pour atteindre à cette juste combinaison (condition essentielle de la ténacité du cuivre), qu'on forme ou qu'on détruit de l'oxide de cuivre suivant le besoin, pour arriver, en alternant ces moyens, à un plus grand rapprochement des proportions convenables.

Dans tous les établissemens de France où l'on traite le cuivre, même dans ceux qui sont les plus avancés, on se contente de consulter son grain sans l'éprouver par la percussion.

L'exploitation des mines de cuivre d'Anglesey est sous la conduite de MM. Joseph Johes et William Morgan esquire. La masse de minerai de cuivre produite par ces mines est traitée entièrement dans les belles usines à cuivre de MM. William et Pascow grenfell à Holyhead, qui répandent dans le reste du monde leurs produits manufacturés.

FORMULES

Relatives à la force de la fonte et des matériaux de construction en général, d'après M. TREGOLD, ingénieur anglais.

M. TREGOLD vient de publier un *Essai pratique sur la force du fer coulé et d'autres métaux*, qui est bien certainement un des ouvrages les plus importans pour les ingénieurs de toute espèce, et principalement pour les ingénieurs des mines et usines; il sera pour le fer fondu ce qu'est l'excellent ouvrage de M. Duleau sur le fer forgé. M. Duverne, en traduisant dans notre langue cet essai pratique, nous a rendu un vrai service (1).

L'auteur, d'après sa propre expérience, je dirai même d'après l'expérience générale dans un pays où la fonte a remplacé et depuis plusieurs années en grande partie, les bois de charpente, a établi des formules algébriques exprimant la résistance que la fonte, dans ses diverses formes et positions, oppose à la pression, à la torsion, au choc, etc. Il donne d'abord des formules générales qu'on peut employer pour le fer, les bois, etc., et puis il les applique à tous les divers cas que peut présenter l'emploi de la fonte. Naturellement elles sont exprimées en poids et mesures anglaises: ces poids et mesures ont été conservés dans la traduction; ils y sont seuls employés. Nous nous

(1) Cette traduction se vend chez M. Bachelier, libraire, quai des Augustins.

sommes occupés, pour notre usage particulier, à traduire les principales de ces formules en poids et mesures métriques : en ce nouvel état, elles pourront être plus dans les habitudes de ceux qui ont recours à ce recueil, et nous les y insérons.

L'auteur établit ses formules sur deux données fondamentales, la *force de cohésion* et l'élasticité, ou *extensibilité* des matières qu'il considère.

Fixons l'acception donnée dans son travail à ces expressions.

Si l'on suspend un poids à une barre de fonte ou de toute autre substance, la barre s'allongera ; le poids étant retiré, elle reviendra à son premier état en vertu de son élasticité ; mais ce retour à l'état primitif n'aura lieu qu'autant que l'extension n'a pas dépassé une certaine limite. Le poids qui a mené la barre à cette limite d'élasticité représentera la *force de cohésion*, et l'allongement qu'il aura produit sera l'*extensibilité*.

Dans les constructions, on ne doit point charger les pièces au-delà de ce terme, bien qu'il soit encore éloigné du terme extrême de cohésion et d'extensibilité, de celui auquel la rupture a lieu. D'après les expériences rapportées par l'auteur, on conclut que le poids qui fait rompre une barre de fonte est $2\frac{1}{2}$ à $3\frac{1}{2}$ fois plus grand (suivant la qualité de la matière), que celui qui produit un commencement d'altération dans l'élasticité : il en est à-peu-près de même pour le fer forgé.

Nous donnons ici, d'après M. Tredgold, et pour les principales matières usitées dans les constructions ou machines, le poids et l'extensibilité qui produisent ce commencement d'alté-

ration dans l'élasticité. Ces poids sont réduits à un centimètre carré de la section d'un barreau de la substance en question ; l'extensibilité est donné en fractions de la longueur du barreau, ou, si l'on veut, en fractions de mètre par mètre de longueur.

SUBSTANCES ESSAYÉES.	Cohésion ou	Extensibilité par
	poids par cent. car.	mét. de longueur.
	kil.	mèt.
Fonte (ou fer fondu).....	1075 (1)	0,000830
Fer forgé.....	1250 (2)	0,000713
Acier.....	9137 (3)	0,004485
Bronze des canons.....	703	0,001043
Cuivre jaune.....	1265	0,000750
Plomb fondu.....	105	0,002088
Étain.....	202	0,000625
Zinc coulé.....	401	0,000238
Chêne.....	278	0,002325
Orme.....	228	0,002415
Hêtre.....	166	0,001754
Pin (d'Amérique).....	274	0,002415
Sapin rouge.....	302	0,002128
Sapin blanc.....	255	0,001984
Marbre blanc.....	127	0,000528
Pierre de taille (calcaire).....	60	0,000559
Baleine (fanon).....	351	0,006867

(1) En divisant le nombre exprimant la cohésion par celui qui représente l'extensibilité, nous aurons le *module d'élasticité*, ou plutôt sa 10000^e partie; ce sera 130. L'auteur a essayé une douzaine de fontes; les modules ont varié de 120 à 145 : la bonté de la fonte est en raison du module. Le nombre 130 peut être regardé comme le *minimum* pour la fonte grise, la seule qu'on doive employer.

(2) Le module résultant des nombres adoptés par l'auteur est 175 kil. : il se rapporte aux fers anglais; dans cinq de ces fers soumis à l'expérience, la variation a été de 162 à 191; dans trois échantillons de fer de Suède, de 220 à 234; dans des échantillons de fer de Périgord, essayés par M. Duleau, de 204 à 224.

M. Duleau n'admet qu'à 600 kil. le poids que l'auteur porte à 1250 pour force de cohésion.

(3) Le module d'élasticité donné par M. Tredgold est bien, conformément au tableau, 204; mais je crains qu'il n'y ait erreur dans les deux nombres qui donnent ce rapport, que ces nombres ne soient trop forts, et que 9137 kil. ne se rapportent à la cohésion absolue, c'est-à-dire qu'il ne soit celui qui occasionne la rupture.

Dans nos formules, toutes les longueurs sont exprimées en mètres et tous les poids en kilogrammes ;

Les poids et mesures anglais ont été traduits sur les deux bases suivantes :

1 livre anglaise = 0,4535 kilog.

1 pied anglais = 0,3048 mètres.

Cela posé, soit

f = force de cohésion. Pour réduire à l'unité de mesure au mètre (carré) les poids exprimant cette force dans le tableau ci-dessus, il faudra les multiplier par 10000 : ainsi, pour la fonte, on aura $f = 10750000$ kil. ;

e = extensibilité, telle qu'elle est notée au tableau ;

$\eta = \frac{f}{e} = \text{module d'élasticité}$;

f_e = ce que les auteurs anglais nomment *module de résilience* ;

P = le plus grand poids dont une pièce puisse être chargée sans que son élasticité en soit altérée ;

p = un poids quelconque dont une pièce serait chargée ;

I = la plus grande courbure ou inflexion à donner ; c'est-à-dire celle correspondante à la charge P ;

i = inflexion correspondante à un poids p ;

a = angle de torsion d'une barre, en degrés ;

l = longueur d'une barre ;

b = largeur de la barre ;

d = épaisseur ou dimension parallèle à la direction de la force (dimension verticale ou *tombee* dans une poutre) ;

d = aussi le diamètre des barres cylindriques ;

n = diamètre intérieur divisé par le diamètre extérieur dans un cylindre creux.

1. Pression transversale.

Une barre rectangulaire, de largeur et épaisseur uniformes, étant appuyée sur ses extrémités et chargée en un point quelconque dont les distances aux appuis sont q et r , on a généralement

$$P = \frac{fbd^3l}{6qr}$$
 ;

Si la barre est chargée au milieu $P = \frac{2fbd^3}{3l}$;

Si la barre était uniformément chargée dans toute sa longueur, on aurait la valeur de P en multipliant l'expression précédente par $\frac{8}{5}$;

Si la barre était carrée et que la pression agit dans le sens de la diagonale, on diviserait par $\sqrt{2}$;

Si la barre était cylindrique, on multiplierait par 0,589 ;

Si le cylindre était creux, on multiplierait encore par $1 - n^4$.

Pour la fonte, $f = 10750000$ kilog. : ainsi, par la plus grande charge, à faire porter à

Une barre rectangulaire soutenue par ses deux extrémités, et chargée en un point quelconque,

$$P = 1790000 \frac{bd^3l}{6qr}$$

Pour une barre chargée au milieu,

$$P = 7170000 \frac{bd^3}{l}$$

Pour une barre uniformément chargée dans toute sa longueur,

$$P = 11470000 \frac{bd^3}{l}$$

Pour un cylindre creux, chargé au milieu,

$$P = 4220000 \frac{d^3}{l} (1 - n^4);$$

lorsque le cylindre est plein, $n = 0$.

De ces formules et de quelques observations de pratique, M. Tredgold donne pour la plus grande charge à faire supporter aux tourillons d'un arbre, $600000d^2$; et $d = 1,2 l$, d et l étant les diamètres et longueurs des tourillons.

Dans la pratique, lorsque des pièces en fonte, telles que des poutres, sont destinées à supporter une grande pression, on augmente leur largeur, mais sur les deux bords seulement. Soit b la largeur augmentée, b' la largeur primitive, celle du milieu de la pièce, d l'épaisseur totale, d' celle du milieu non élargi, faisons.

$$\frac{b - b'}{b} = s, \text{ et } \frac{d'}{d} = t,$$

on aura pour la charge que la pièce peut supporter dans son milieu...

$$P = 7170000 \frac{bd^2}{l} (1 - st^3).$$

On fait très-convenablement dans la pratique $s = 0,625$ et $t = 0,7$, et l'on a

$$P = 5630000 \frac{bd^2}{l}.$$

Si la partie non élargie est supprimée, en n'y laissant que des baguettes pour empêcher les bords de se rapprocher, il en résulte une pièce ou poutre à jour, dont la plus grande charge, toujours au milieu, serait

$$P = 7170000 \frac{bd^2}{l} (1 - t^3).$$

Lorsqu'une pièce est fortement fixée par une extrémité, et qu'elle est chargée à l'autre extrémité, la charge qu'elle peut supporter n'est que le quart de ce qu'une pièce de même longueur porte au milieu, et l'on a

$$P = 1790000 \frac{bd^2}{l}.$$

Il en est de même pour la charge appliquée à l'extrémité d'une manivelle.

Si la charge portée par une pièce fixée dans une maçonnerie, et dont la saillie égale l , est uniformément répartie sur cette partie saillante (comme pour le support d'un balcon), la charge est double de la précédente (plus exactement elle en est les $\frac{2}{3}$, d'après M. Duleau).

2. Plus grande inflexion.

Sous la charge P ci-dessus déterminée.

Pour une barre d'égale épaisseur et largeur, et soutenue par ses extrémités, l'inflexion sera généralement

$$I = \frac{el^2}{6d}$$

Dans la fonte, $e = 0,000830$: ainsi...

$$I = 0,000138 \frac{l^2}{d}.$$

Pour une barre fortement fixée à une extrémité et chargée à l'autre (comme pour une manivelle), l'inflexion est quatre fois plus forte.

Si une barre est implantée dans un mur, qu'elle porte une charge à son extrémité, et que la partie implantée puisse prendre de la cour-

bure, l' étant la longueur de cette partie et l celle de la partie saillante, on aura

$$I = 0,000553 \frac{l^2}{d} \left(1 + \frac{l'}{l} \right).$$

Il en serait de même pour un balancier rectangulaire, les deux bras étant l et l' .

Dans une barre de largeur uniforme, mais dont l'épaisseur aux deux extrémités ne serait que moitié de celle du milieu, l'inflexion serait 1,63 fois plus considérable que dans le cas d'une épaisseur uniforme.

Si l'épaisseur était limitée par une parabole, l'inflexion serait double : c'est le cas ordinaire des balanciers des machines à vapeur. Pour un tel balancier on aurait

$$I = 0,001106 \frac{l^2}{d} \left(1 + \frac{l'}{l} \right).$$

Dans ces expressions d'inégale épaisseur, d se rapporte au point où l'épaisseur est la plus grande.

L'auteur examine l'inflexion qui aurait lieu dans des barres de différentes formes, et qui en même temps seraient des solides d'égale résistance.

3. Inflexion sous une charge donnée.

Une barre rectangulaire, soutenue sur ses extrémités et chargée au milieu d'un poids p , aura pour inflexion

$$i = \frac{pl^3}{4mbd^3}.$$

Pour la fonte, le module m est

$$\frac{10750000}{0,00083};$$

donc

$$i = \frac{pl^3}{51.800.000.000 bd^3}.$$

Si la pièce était uniformément chargée, l'inflexion serait les $\frac{5}{8}$ de la précédente.

La force d'un cylindre étant les 0,589 de celle du prisme carré circonscrit, on aura

$$i = \frac{pl^3}{30.510.000.000 d^4};$$

et pour un cylindre creux, chargé au milieu,

$$i = \frac{pl^3}{30.510.000.000 d^4 (1-n^4)}.$$

Dans la pratique, on ne donne guère aux grands arbres des roues plus d'un millimètre par mètre d'inflexion : on aurait alors, pour expression du diamètre,

$$d = \sqrt[4]{\frac{pl^2}{30.510.000 (1-n^4)}}.$$

Ainsi qu'il a été remarqué, les inflexions seraient quatre fois plus considérables pour des barres fixées à une extrémité et chargées à l'autre.

4. Résistance à la torsion.

Soit P le poids porté par l'extrémité du rayon R d'une roue placée sur un arbre, et produisant la plus grande torsion que cet arbre puisse convenablement prendre, on aura généralement

$$P = \frac{fd^2 (b^2 + l^2)}{12 R l}.$$

Pour un arbre rectangulaire en fonte,

$$P = 896000 \frac{d^2 (b^2 + l^2)}{R l}.$$

Lorsque la longueur est sensiblement plus grande que les autres dimensions, M. Tredgold établit :

Pour un arbre carré

$$P = 1266000 \frac{d^3}{R};$$

Pour un arbre cylindrique

$$P = 1053000 \frac{d^3}{R}.$$

A étant le plus grand angle de torsion qu'on puisse faire éprouver sans danger à un arbre, on a

$$A = 229 \frac{l_e}{d},$$

et si l'arbre est en fonte,

$$A = 0,190 \frac{l}{d}.$$

Sous un poids quelconque p , l'angle de torsion a sera, pour un arbre rectangulaire,

$$a = \frac{1391 PRl}{m b d^2}.$$

On aurait une expression analogue pour un arbre creux et cylindrique. Si l'angle de torsion était donné, le diamètre serait exprimé par

$$d = \sqrt[4]{\frac{2340 PRl}{ma(1-n^4)}},$$

ou

$$d = \sqrt[4]{\frac{PRl}{5530000 \cdot a(1-n^4)}}.$$

Lorsqu'on veut de la précision dans les mouvements, on ne donne pas à l'angle de torsion plus de 2° ;

Lorsqu'il en faut beaucoup, 1° ;

Enfin, dans les engrenages où il faut une très-grande exactitude, on ne donne que $\frac{1}{4}$.

5. Résistance à la pression longitudinale et à la tension.

Lorsqu'une force de pression agit contre une barre rectangulaire, si

d = petit côté de la section ;

c = angle que la direction de la force fait avec l'axe de la barre ;

u = distance qui sépare cette direction de l'axe au point où la direction agit sur la barre.

On a généralement, pour la plus grande charge, P

$$P = \frac{fbd^2}{d \cosin. c + 6u \cosin. c + 3l \sin. c},$$

qui se réduit dans le cas où la direction est parallèle à l'axe, cas où $c = 0$, à

$$P = \frac{fbd^2}{d + 6u},$$

et, lorsque la direction coïncide avec l'axe, à

$$P = fbd.$$

Ces formules ne conviennent que pour des pièces ou supports très-courts; mais si les supports sont allongés comme sont des piliers, vu la flexibilité de la matière, on a

$$P = \frac{fbd^2}{d + 6u + \frac{6el^2}{4d}},$$

ou, si le pilier est en fonte,

$$P = \frac{10750000 bd^3}{d^2 + 6ud + 0,00125 l^2}.$$

Pour une colonne de même matière,

$$P = \frac{6750000 d^4}{d^2 + 6u + 0,00125l^2}$$

Dans la pratique, on admet que la charge porte ou peut venir à porter sur le bord de la base supérieure de la colonne : alors $u = \frac{1}{2}d$, et

$$P = \frac{6750000 d^4}{4d^2 + 0,00125 l^2}$$

ce qui donne pour l'expression du diamètre qui convient à une charge quelconque p

$$d = \sqrt{\frac{2p}{6750000} + \sqrt{\frac{0,00125 l^2 p}{6750000} + \frac{4p^2}{(6750000)^2}}$$

Si une barre de fonte ou de toute autre matière, au lieu d'être pressée par un poids, était tirée par ce même poids, la plus grande charge à donner serait

$$P = \frac{f b d^2}{d + 6u - \frac{6 e l^2}{4d}}$$

ou simplement, s'il n'y a point de courbure,

$$P = \frac{f b d^2}{d + 6u}$$

6. Résistances au choc.

On ne peut imprimer qu'une certaine vitesse aux parties d'une construction ou d'une machine qui ont des résistances à vaincre.

L'expression de cette plus grande vitesse V , pour qu'il n'y ait pas altération dans l'élasticité du corps, est généralement donnée par

$$V = \sqrt{\frac{gTS}{M}}$$

S'étant l'inflexion produite par la pression T , et M la masse de la pièce :

Pour une barre de fonte poussée longitudinalement, $V = 3,45$ mètres.

Si la barre est appuyée par ses extrémités, et poussée transversalement, $V = 1,65$.

La force pour la rupture étant environ trois fois plus considérable que celle qui commence à altérer l'élasticité, une barre romprait si elle recevait transversalement une force d'impulsion de plus de 5 mètres.

Supposons qu'un poids p tombe avec une vitesse v , ou d'une hauteur h , sur une barre, la grosseur que la barre doit avoir pour résister convenablement au choc, sera exprimée par

$$b d = \frac{pv^2}{gfk l (q + 1)}$$

g = action de la gravité = 9,809 mètres,

f = coefficient de la cohésion;

k = $\frac{1}{6}$ du coefficient de l'extensibilité;

q = poids de la barre, divisé par p .

Dans la pratique, pour plus de sûreté, on néglige q .

Pour une barre de fonte supportée à ses extrémités, on a $f = 7170000$ kil., $k = 0,000138$ mèl.; donc

$$b d = \frac{pv^2}{9710 l} = \frac{ph}{495 l}$$

S'il s'agissait d'une pièce à jour terminée par un arc d'ellipse, comme celles que l'on emploie pour les ponts, et qu'elle fût uniformément chargée sur toute sa longueur, on aurait

$$b d = \frac{ph}{636 l (1 - e^2)}$$

t , comme ci-dessus, est le rapport de l'épaisseur de l'espace à jour à l'épaisseur totale, et cela au point le plus épais; d représente cette épaisseur totale.

Enfin, si une force F , douée d'une vitesse V , agit sur une pièce de fonte, π étant le poids de la matière sous l'unité de volume, on aura généralement

$$b d = \frac{FV}{l \sqrt{gfk\pi}}.$$

Si la pièce était un balancier en fonte, rectangulaire et de grosseur uniforme, l étant le bras à l'extrémité duquel agit la force, et l' celui de la résistance, on aurait

$$b d = \frac{FV}{6053 l \sqrt{1 + \frac{l'}{l}}}.$$

L'auteur a montré par des centaines d'exemples, pris des différens cas qui se présentent le plus fréquemment dans la pratique, comment on pouvait modifier et appliquer les formules que nous venons d'indiquer : il a de plus accompagné ces applications de remarques tirées de sa longue expérience. Ce seul exposé suffit pour montrer combien son ouvrage est important pour les constructeurs et les machinistes : il éclaire une matière du plus grand intérêt, et dans laquelle la routine ou une aveugle imitation étaient presque nos seuls guides.

D'AUBUISSON, Ingénieur en chef au Corps royal des Mines.

DES CHANGEMENS dans le système de minéralogie chimique, qui doivent nécessairement résulter de la propriété que possèdent les corps isomorphes de se remplacer mutuellement en proportions indéfinies ;

PAR M. BERZÉLIUS.

DEPUIS que la chimie participe à la classification des minéraux, et que par conséquent on n'admet plus, pour en déterminer les espèces, l'observation exclusive de leurs caractères extérieurs qu'on appelle physiques, la méthode chimique a rencontré une difficulté dans la propriété que possèdent certains oxides de se remplacer, sans qu'il en résulte aucune altération de la forme cristalline ; ce qui fait que, lorsque ces mêmes oxides forment des composés incolores, de pesanteurs spécifiques à-peu-près égales, on n'aperçoit dans le cristal aucune différence ; il faut la découvrir par l'analyse chimique. Aussi les Écoles de Werner et de Haüy, malgré leur définition de ce qui constitue l'espèce minéralogique, ont-elles rangé sous une même espèce des cristaux de composition différente ; et pour éluder cette difficulté, Haüy dut avoir recours à l'admission de mélanges accidentels, qui auraient été moulés dans la forme particulière à une espèce, par la force de cristallisation de ses parties constituantes ; mais au moment où les résultats d'analyses chimiques faites avec une grande précision et d'après des méthodes perfectionnées,