



**HAL**  
open science

## Sur les déformations permanentes des fils métalliques

E. Lenoble

► **To cite this version:**

E. Lenoble. Sur les déformations permanentes des fils métalliques. J. Phys. Theor. Appl., 1900, 9 (1), pp.532-543. 10.1051/jphystap:019000090053201 . jpa-00240471

**HAL Id: jpa-00240471**

**<https://hal.science/jpa-00240471>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

**SUR LES DÉFORMATIONS PERMANENTES DES FILS MÉTALLIQUES ;**

Par E. LENOBLE (1).

Nous nous sommes proposé d'étudier l'*allongement par traction* des fils métalliques et d'établir les lois des déformations permanentes obtenues dans les expériences de traction.

Le dispositif employé pour charger les fils présentait un intérêt capital ; il fallait, en effet, éviter les oscillations pendulaires et surtout

---

(1) Résumé d'un travail, qui a fait l'objet d'une thèse présentée à la Faculté de Bordeaux (5 juillet 1900). Bordeaux ; Imprimerie Gounouilhou, 1900.

DÉFORMATIONS PERMANENTES DES FILS MÉTALLIQUES 333  
pouvoir passer *directement* d'une charge à une autre. Nous nous

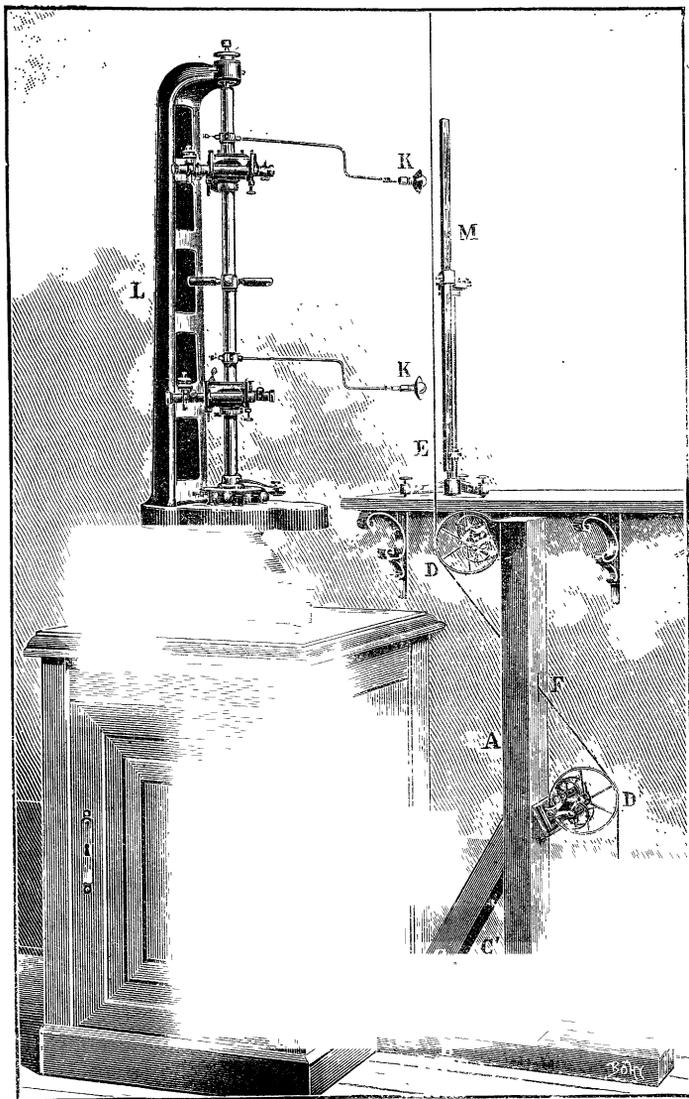


FIG. 1.

expliquons : Si, pour passer d'une charge de 600 grammes, par exemple, à une charge de 700 grammes, nous soulevons légèrement

le plateau afin d'y déposer, sans secousse, le poids supplémentaire de 100 grammes, nous faisons, en réalité, varier la valeur de la charge de 600 grammes à 0 gramme, puis de 0 gramme à 700 grammes lorsque nous rendons la liberté au plateau. Ce mode opératoire complique le phénomène et rend les observations moins nettes.

Afin de pouvoir passer *directement* d'une charge à une autre sans passer par zéro, nous nous sommes servi, après bien des essais préliminaires et de nombreuses modifications, du dispositif représenté sur la figure (1).

Un fort madrier en bois verni, A, monté sur un pied B et solidement soutenu par des traverses C, C', porte deux équipages rappelant ceux de la machine d'Atwood. Afin d'assurer l'immobilité complète de l'appareil, le pied B est chargé de poids atteignant environ 100 kilogrammes. Le fil, fixé dans un étau attaché à une tige de fer vissée dans le plafond de la salle, porte un trait de repère vers la partie inférieure et s'attache à un petit anneau situé en E et non représenté sur la figure. De cet anneau part un fil d'acier Smith de deux dixièmes de millimètre de diamètre, qui passe sur les gorges des grandes roues en traversant une ouverture F ménagée dans le madrier et se termine à un S en fer qui supporte le plateau-charge. A l'aide de ce dispositif, nous pouvons faire varier la charge sans passer par zéro, en ajoutant sur le plateau ou en enlevant les poids convenables.

Dans notre installation, le madrier est descendu dans une cavité de 75 centimètres de profondeur, et les longueurs du fil sont relevées à l'aide d'un cathétomètre à deux lunettes de la Société Genevoise, installé sur un bloc de maçonnerie de 53 centimètres de hauteur<sup>(1)</sup>.

Nous nous sommes proposé d'étudier, à l'aide de cet outillage perfectionné, l'action des variations cycliques de la charge sur les fils métalliques.

Soit un fil, fixé par la partie supérieure, portant un trait de

---

(1) Nos observations devaient se faire à température constante; pour cela, nous nous sommes emprisonné dans un véritable calorifère de Berthelot. Notre installation se trouve dans une cave à murs épais (au Laboratoire de Chimie de la Faculté libre des Sciences de Lille) et dont toutes les ouvertures sont munies de doubles parois. Un poêle à gaz de Wiesnegg, relié à un régulateur en forme d'U de P. Lequeux, nous permet d'y maintenir la température sensiblement constante pendant toute la durée d'une expérience.

repère à la partie inférieure et main tenu pendant toute la durée des observations à une température constante.

Appelons :

$\omega_0$ , la section initiale du fil ;

P, le poids qu'il porte ;

$l_0$ , la longueur initiale depuis le point de suspension jusqu'au trait de repère ;

$l$ , la longueur, à un instant donné, sous l'influence de charges supplémentaires.

Posons :

$$\pi = \frac{P}{\omega_0}, \text{ ce sera la charge par millimètre carré,}$$

$$\lambda = \frac{l - l_0}{l_0}, \text{ ce sera la dilatation linéaire.}$$

Sur un papier quadrillé, portons les longueurs ou les dilatations linéaires en abscisses et les charges en ordonnées ; nous pourrons ainsi suivre le mouvement du point figuratif.

Partons de la charge initiale P ; suffisante pour tendre convenablement le fil et appliquons successivement des poids supplémentaires  $p, p', p'', \dots, p_n$  ; enlevons ensuite les divers poids additionnels et revenons au poids initial P, nous aurons produit ce que nous appelons une *variation cyclique* de la charge, ou une *oscillation* double.

Lorsque la charge reprend sa valeur initiale, le fil, qui s'est allongé sous l'influence des charges supplémentaires, ne revient pas à sa longueur primitive  $l_0$  ; il a subi un allongement  $\epsilon$  ; nous disons qu'il y a *déformation permanente*.

Sous l'influence d'une deuxième oscillation, le fil subit une seconde déformation permanente, puis une troisième, et ainsi de suite, lorsqu'on poursuit les variations cycliques de la charge.

Deux cas sont à considérer, suivant que la valeur des charges employées est voisine ou éloignée de celle du poids qui détermine la rupture du fil.

#### CAS OU L'ON OBTIENT UN CYCLE.

Lorsque les charges employées sont toutes éloignées de celle qui provoque la rupture du fil, les oscillations conduisent à un parcours fixe du point figuratif que nous appelons *cycle fermé*.

Pour atteindre ce but, le point figuratif parcourt un chemin compliqué dont nous nous sommes efforcé de déterminer la forme.

a) *Forme de la première courbe ascendante.* — Lorsque la charge passe de la valeur inférieure à la valeur supérieure, le point figuratif parcourt une courbe dont la forme varie principalement avec la valeur relative des charges et leur durée d'action.

Supposons que la durée d'action des charges soit aussi courte que possible. Dans ce cas, si les charges employées sont toutes relativement faibles, le chemin parcouru est sinueux (*fig. 2, courbe I*) <sup>(1)</sup>;

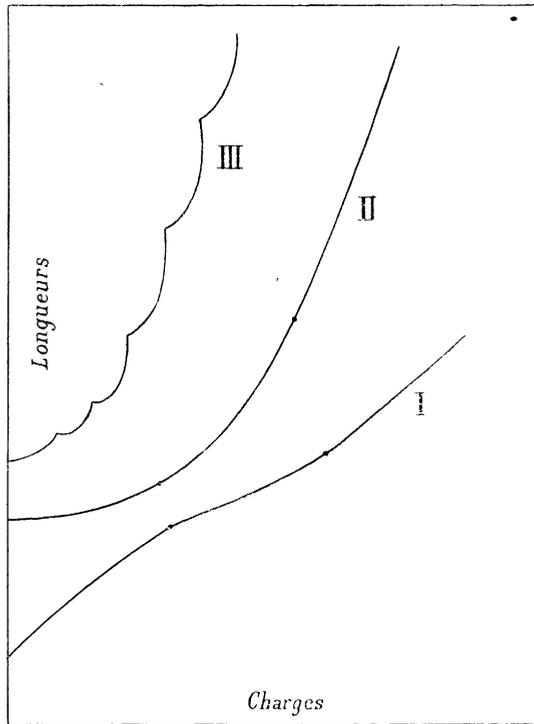


FIG. 2.

avec des charges moins faibles, le chemin est rectiligne, et si la valeur des charges devient plus forte, le tracé se relève : une cour-

<sup>(1)</sup> *Loc. cit.*, p. 33 et suivantes. Planche III, *fig. 4* et *5* ; Planche IV, *fig. 1*.

bure commence à se manifester, et elle s'accroît au fur et à mesure que la valeur relative des charges augmente (*fig. 2*, courbe II).

Si la durée d'action des charges se prolonge, le point figuratif tend à se relever; en exagérant notablement cette durée d'action des charges, nous avons obtenu non des courbes continues, mais des tracés à échelons (*fig. 2*, courbe III) <sup>(1)</sup>, pour lesquels les relèvements verticaux sont d'autant plus grands que la valeur des charges est plus forte et leur durée d'action plus considérable.

b) *Forme de la première courbe descendante.* — En faisant varier lentement la charge de la valeur supérieure à la valeur inférieure, le point figuratif parcourt un nouveau chemin, toujours différent du précédent, puisqu'à cause de la déformation permanente le fil ne reprend pas sa longueur initiale sous l'influence de la charge inférieure.

Nous avons observé que la forme de cette première descendante se complique notablement, dès que la valeur des charges acquiert un peu d'importance. Comme précédemment, il se produit des relèvements verticaux, surtout avec les charges relativement fortes, et nous avons observé qu'après l'action de la charge supérieure le fil continuait à s'allonger, même sous l'action de charges plus faibles que la charge *maximum*; de là une courbure du tracé nettement accusée dans la plupart des cas <sup>(2)</sup>.

Lorsqu'on répète les oscillations, le point figuratif parcourt une double série de lignes ascendantes et de lignes descendantes, toutes semblables aux premières, mais pour lesquelles les courbures et les irrégularités vont en s'atténuant, en sorte que ces deux espèces de courbes tendent vers des lignes régulières que nous avons généralement réalisées après un grand nombre d'oscillations (*fig. 3*).

c) *Croisement des courbes ascendantes et des courbes descendantes.* — En montant, les ascendantes peuvent rencontrer les ascendantes précédemment décrites et les couper en un ou plusieurs points, produisant ainsi des boucles simples ou multiples.

Les boucles multiples s'observent avec les métaux mous peu écrouis soumis à l'action de charges relativement faibles <sup>(3)</sup>. Dans les autres cas, nous avons observé, le plus souvent, la formation de boucles *sinistrorsum* simples.

<sup>(1)</sup> *Loc. cit.*, p. 32; et Planche III, *fig. 2* et 3.

<sup>(2)</sup> *Loc. cit.*, p. 38 et suivantes; Planche IV, *fig. 4*; Planche V, *fig. 1*.

<sup>(3)</sup> *Loc. cit.*, p. 70 et suivantes.

d) *Réalisation du cycle.* — Enfin, en poursuivant longtemps les oscillations, nous avons vu que les fils tendaient vers un état fixe : le point figuratif parcourait constamment le même chemin quand nous reproduisions les variations cycliques de la charge. Nous avons donc réalisé un *cycle fermé*.

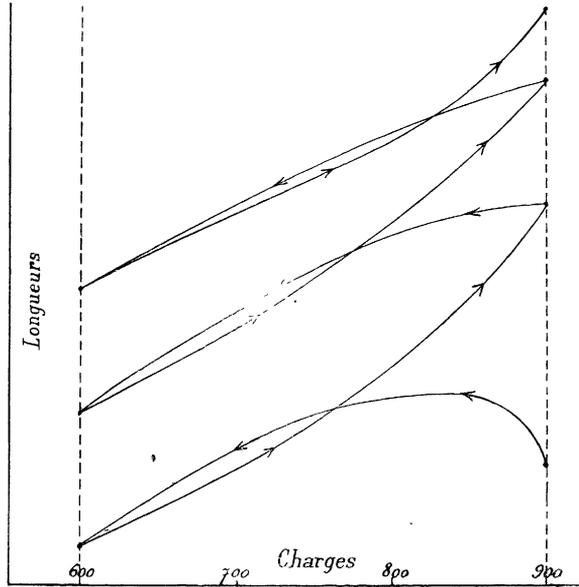


FIG. 3.

Les métaux mous fournissent, en général, un cycle ayant la forme d'une boucle sinistrorsum, tandis que les métaux écrouis donnent des cycles beaucoup plus aplatis, se réduisant fréquemment à une double ligne droite <sup>(1)</sup>.

e) *Déplacement du cycle par une charge perturbatrice.* — L'état limite précédent étant réalisé, nous pouvons produire une perturbation du système en le soumettant, pendant un instant très court, à l'action d'une charge supérieure.

Si, la modification étant produite, nous recommençons à osciller, comme précédemment, entre les mêmes limites inférieure et supérieure, nous observons que le point figuratif décrit une double série

(1) *Loc. cit.*, p. 52; Planche VII, fig. 3 et 4.

de courbes qui se coupent et qui aboutissent à un nouveau parcours fixe toujours différent du premier.

f) *Cycle limite-des-limites*. — En répétant un grand nombre de fois l'action de la surcharge et en faisant suivre chaque fois d'une série d'oscillations, nous avons réalisé une suite de cycles limites allant en se rapprochant et tendant vers une nouvelle limite que nous avons appelée : cycle *limite-des-limites*.

Ces différents cycles s'obtiennent plus facilement avec les métaux écrouis qu'avec les métaux mous, non écrouis ou recuits. Pour ceux-ci, il faut produire un très grand nombre d'oscillations pour les réaliser ; c'est ainsi que dans une de nos expériences <sup>(1)</sup>, faite sur un fil de platine recuit, il nous a fallu produire 520 oscillations pour réaliser le premier cycle et appliquer 40 fois la surcharge avant d'obtenir le cycle *limite-des-limites*.

Voici, à titre d'exemple, les détails de l'une de nos expériences.

*Expérience du 21 juillet 1898*. — Fil de platine écroui de trois dixièmes de millimètre de diamètre.

Charge initiale : 600 grammes.

Les essais réalisés devaient être comparés aux résultats obtenus sur d'autres fils semblables. Afin d'amener tous ces fils dans un même état initial, nous les avons tous soumis à l'action de 200 oscillations entre 0 gramme et la charge inférieure de 600 grammes. Nous réalisons ces oscillations en levant et en abaissant successivement le plateau portant les poids.

Longueur initiale du fil après ces oscillations : 599 millimètres, 290.

Charges oscillatoires : 600 grammes, 1.200 grammes, 1.800 grammes, 2.400 grammes et 4.500 grammes.

Nous avons produit 85 oscillations doubles pour obtenir le premier cycle et pour les autres cycles, après l'action de la surcharge : 46 oscillations pour I, 31 pour II, 26 pour III, 41 pour IV et 21 pour V.

---

(1) *Loc. cit.*, Planche V, fig. 2, et Planche VI.

Valeurs des allongements relatifs  $\lambda$ .

Charges totales en grammes.	Cycles.						Différences.
	$\alpha$	I	II	III	IV	V	
600	0,00051	0,00067	0,00071	0,00073	0,00077	0,00076	
1.200	0,00097	0,00114	0,00119	0,00121	0,00124	0,00123	0,00047
1.500	0,00120	0,00137	0,00140	0,00141	0,00146	0,00147	$0,00024 \times 2 = 0,00048$
1.800	0,00143	0,00160	0,00162	0,00166	0,00169	0,00170	$0,00023 \times 2 = 0,00046$
2.400	0,00189	0,00202	0,00207	0,00210	0,00214	0,00214	0,00044

Le cycle limite-des-limites est représenté sensiblement par une double ligne droite <sup>(1)</sup>.

g) *Variation lente des cycles.* — Tous ces cycles ne représentent pas des états limites stables. Lorsqu'après les avoir réalisés nous poursuivions les oscillations nous observions un déplacement lent et régulier de ces divers cycles; mais nous n'obtenions ce résultat qu'après avoir produit un très grand nombre d'oscillations <sup>(2)</sup>.

## CAS OU L'ON N'OBTIENT PLUS DE CYCLE.

Si les charges que l'on emploie pour produire des oscillations se rapprochent de celle qui détermine la rupture du fil, le phénomène change d'allure : il ne se produit plus de cycle.

Nous distinguerons deux cas, suivant que les charges sont peu voisines ou très voisines de la charge de rupture.

a) *Charges peu voisines de la rupture.* — Dans ce cas, le point figuratif parcourt des courbes formant à gauche des boucles *sinistrorsum*. Les différentes spires, d'abord très écartées, vont en se rapprochant, et elles tendent à devenir équidistantes. Les courbes descendantes qui, au début, montent de droite à gauche, deviennent horizontales, puis s'inclinent de plus en plus vers la gauche. Et le phénomène se poursuit dans ces conditions, jusqu'à ce que le fil se rompe <sup>(3)</sup>.

b) *Charge très voisine de la rupture.* — Avec les charges très voisines de la rupture, les boucles disparaissent complètement, et les

<sup>(1)</sup> *Loc. cit.*, Planche XI, fig. 1.

<sup>(2)</sup> *Loc. cit.*, p. 58 et suivantes, 82 et suivantes. Les courbes représentées sont toutes du type de celle de la fig. 3.

<sup>(3)</sup> *Loc. cit.*, p. 94 et suiv.; Planches XII, XIII, XIV et XV.

DÉFORMATIONS PERMANENTES DES FILS MÉTALLIQUES 541

lignes descendantes restent constamment inclinées vers la droite, surtout dans leur première moitié, de telle sorte que le fil continue à s'allonger, même sous l'influence des charges décroissantes, jusqu'à ce que se produise la rupture<sup>(1)</sup>.

C'est ce que montrent nettement les résultats que nous avons obtenus avec un fil de plomb; nous les donnons comme exemple.

Pour cet essai, notre installation ordinaire ne pouvait convenir; l'allongement est si rapide qu'il est impossible de suivre le déplacement du point de repère avec la lunette du cathétomètre.

Nous nous sommes servi du support d'une balance de Joly. Le fil de plomb était placé verticalement devant le miroir et portait deux traits de repère; la partie supérieure du fil s'enroulait sur une tige horizontale et la partie inférieure soutenait un petit plateau.

Un observateur était placé devant chaque point de repère et s'efforçait de lire, aussi rapidement que possible, après l'application de chaque charge, la hauteur correspondante, en appréciant le dixième de millimètre. Un troisième observateur plaçait les poids dans le plateau.

*Expérience du 3 octobre 1898.* — Fil de plomb de 1 millimètre de diamètre.

*Longueurs observées.*

Charges en grammes.	Longueurs en millimètres.		
	Premier observateur.	Deuxième observateur.	Différences.
600	459,2	7,0	452,2
1.100	469,0	10,0	459,0
1.200	473,0	10,9	462,1
1.300	481,0	12,1	468,9
1.400	485,0	15,0	470,0
1.450	497,0	16,0	481,0
1.500	504,0	18,0	486,0
1.450	506,0	18,4	487,6
1.400	506,0	18,8	487,2
1.450	507,5	19,1	488,4
1.500	510,8	19,8	491,0
1.450	512,0	19,9	492,1
1.400	512,25	20,0	492,25
1.450	513,0	20,0	493,0
1.500	515,25	20,7	494,55
1.450	516,25	21,0	495,25
1.400	516,50	21,0	495,5

(1) *Loc. cit.*, p. 103 et suiv.; Planche XVI.

Charges en grammes.	Longueurs en millimètres.		Différences.
	Premier observateur.	Deuxième observateur.	
1.450	517,25	21,0	496,25
1.500	519,25	21,6	497,65
1.450	520,25	22,0	498,25
1.400	520,25	21,9	498,35
1.450	521,0	21,9	499,1
1.500	522,5	22,2	500,3
1.450	523,25	22,5	500,75
1.400	523,25	22,5	500,75
1.450	524,25	22,8	501,45
1.500	525,50	23,5	502,0
1.450	525,75	23,0	502,75
1.400	527,0	24,0	503,0
1.450	527,75	24,0	503,75
1.500	529,25	24,0	505,25
1.450	530,0	24,1	505,9
1.400	530,25	23,9	506,35
1.450	530,50	24,1	506,40
1.500	532,50	24,7	507,8
1.450	533,25	24,9	508,35
1.400	533,50	25,0	508,5
1.450	534,0	25,2	508,8
1.500	535,25	25,6	509,65
1.450	Le fil se rompt.		

La longueur du fil n'a pas cessé de croître, même sous l'influence des charges décroissantes<sup>(1)</sup>. On peut résumer les résultats relatifs aux charges fortes en disant que : pour les charges peu voisines de la rupture, les courbes forment des boucles sinistrorsum, et les spires tendent à devenir équidistantes ; pour les charges très voisines de la rupture, il n'y a plus de boucles, les lignes descendantes (correspondant aux charges décroissantes) s'inclinent de plus en plus vers la droite, jusqu'à ce qu'on arrive à la rupture.

Dans le cas des charges relativement faibles, notre travail établit que l'on arrive, après une série d'oscillations, à un cycle limite, fermé et généralement sinistrorsum. Ce cycle limite se déplace sous l'influence d'une surcharge, et les cycles limites obtenus en faisant intervenir cette surcharge tendent vers un nouvel état limite : le cycle limite-des-limites.

Nous obtenons ainsi des résultats qui présentent un parallélisme remarquable avec ceux qu'a obtenus M. Marchis dans ses études sur

<sup>(1)</sup> *Loc. cit.*, p. 105 et suiv. ; Planche XVII, fig. 1.

la déformation permanente du verre ; les variables étaient alors la température, et le volume spécifique du verre. M. Marchis arrive à cette conclusion :

Lorsqu'on se donne le volume spécifique  $V$  et la température  $T$  d'une masse donnée, l'état de cette masse n'est pas entièrement défini : à ces variables il faudra joindre un autre,  $X$ , caractérisant le degré atteint, en cette masse de verre, par une certaine modification allotropique ou chimique.

Les résultats obtenus dans nos essais sur les fils métalliques viennent à l'appui de cette manière de voir : la discussion de nos mesures conduit également à l'introduction de cette nouvelle variable pour définir l'état d'un fil métallique.

---