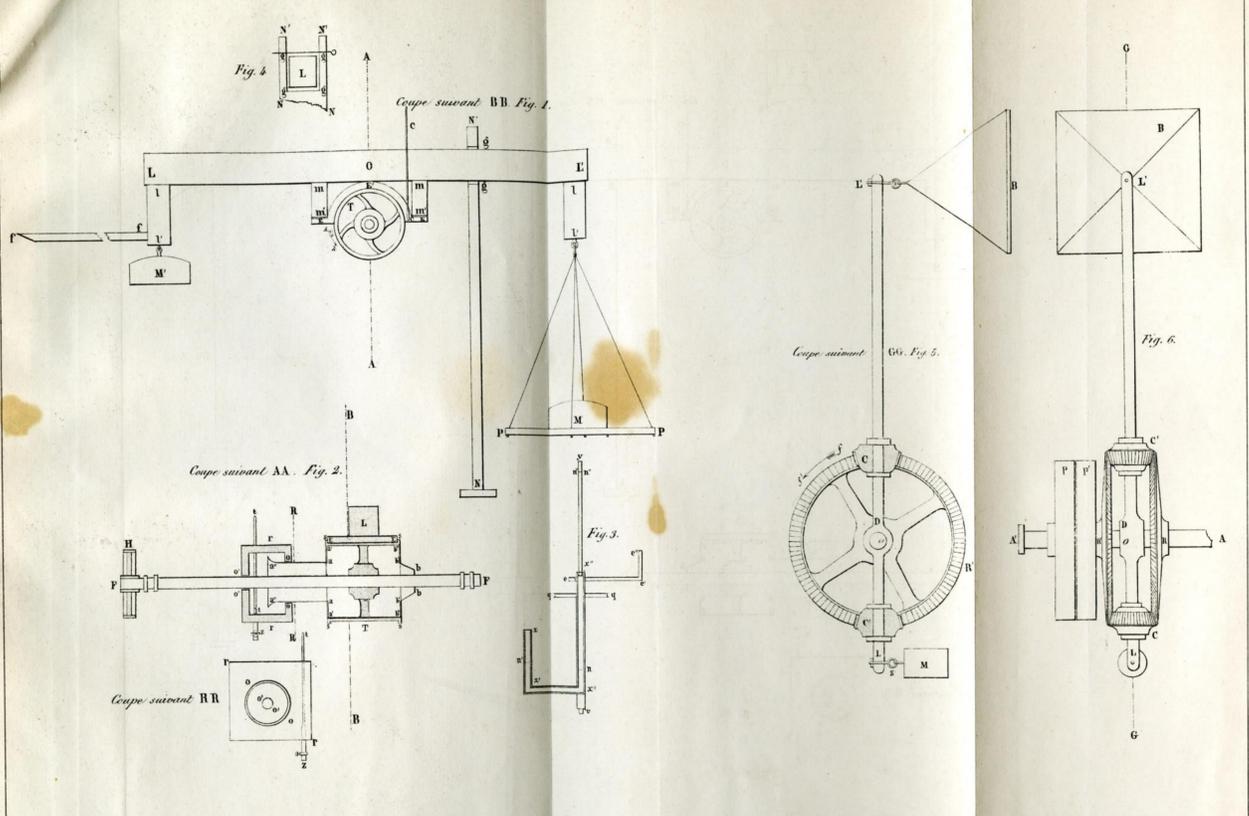


# Expériences sur le frottement par Gustave Adolphe Hirn (1854)

Bulletin de la société industrielle de Mulhouse.

Pl. 203.



EXPÉRIENCES SUR LE FROTTEMENT PAR M<sup>r</sup> G. A. HIRN.

Extraits de *Etudes sur les principaux phénomènes que présentent les frottements médiats et sur les diverses manières de déterminer la valeur mécanique des matières employées au graissage des machines.* Séance du 28 juin 1854 Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse, tome 26 p.188.

*« J'ai mesuré, avec toute l'attention possible, la chaleur que dégage le fer lorsque ces parties sont déchirées et détachées par l'action d'un foret tranchant d'acier. »*

FFFF cylindre vertical d'un tour à forer ordinaire, tournant très-régulièrement sur son axe, pouvant s'élever ou s'abaisser à volonté par un mouvement de vis, portant le foret f'f'f'f', dont la mèche f'f' en acier trempé avait 0<sup>m</sup>,06 de longueur.

OOO'O'm masse cylindrique en fer doux, pouvant tourner sur la pointe m, percée verticalement jusqu'en r d'un creux cylindrique où se loge l'extrémité f' du foret, et obligée ainsi de se tenir verticalement pendant que la mèche f'f' s'abaisse et perce un trou cylindrique de 0<sup>m</sup>,06 de diamètre.

a'a'a'a caisse cylindrique en fer blanc, soudée en o'o' à la masse de fer, de manière à pouvoir contenir de l'eau.

ll' levier calé sur la partie carrée inférieure de la masse de fer, à l'extrémité l' duquel est attachée une ficelle qui va passer sur une poulie pp et qui porte à son autre bout le poids B (le levier et la ficelle jusqu'à la poulie à gorge, sont dans le même plan horizontal, et font ensemble un angle droit, lorsqu'il y a équilibre entre le poids B et l'effort qui tend à le lever).

CC capsule où repose la pointe m.

sss support du tour, etc.

Le foret tournant dans le sens de la flèche nn tendait à entrai-

ner la masse de fer et par conséquent le levier ll' : celui-ci étant retenu par le poids B exactement nécessaire à l'équilibre, on avait, pour l'expression de la quantité de travail absorbée par le forage  $T = 2\pi LNB$ ; N désignant le nombre de tours total et L la longueur du levier.

En désignant par P le poids d'eau contenu dans la caisse aaaa, par P' le poids d'eau représenté par l'ensemble aa oo' moo' a'a, par t la température finale de l'eau, par t' sa température initiale, on a pour le nombre de calories produites  $q = (P + P')(t - t')$ , et par conséquent T : q pour la valeur de l'équivalent mécanique d'une calorie.

(La température de l'atelier étant par exemple 20°, et la température initiale de l'eau et de l'appareil étant 15°, on continuait le forage jusqu'à ce qu'on eût atteint 25°; il y avait donc compensation entre le bénéfice et la perte de chaleur par les parois. Le poids P' a été déterminé, avec le plus grand soin, par les procédés usités. La même personne était toujours chargée d'abaisser le foret de manière à tenir le poids B en équilibre; c'était la seule partie délicate de l'expérience. Ces expériences ont été répétées jusqu'à ce que je fusse arrivé à des résultats constants pour T : q.)

— 234 —

**DESCRIPTION DE LA PLANCHE 203.**

Figures 1, 2, 3, 4. — BALANCE DE FROTTEMENT.

TT (Fig. 1 et 2) tambour creux en fonte, parfaitement cylindrique et poli extérieurement, calé sur l'arbre en fer FF, formé aux deux extrémités : l' d'une part, par une cloison annulaire en fer-blanc b'b'b'b' (Fig. 2), terminée par un petit tronç de cône bb'bb', ouvert en bb de manière à laisser un anneau libre entre lui et l'arbre FF; 2' d'autre part, par une cloison identique a'a'a'a' portant un tube cylindrique a'a'a'a', ouvert en trompette en a' (Fig. 2).

EE' E' coussinet en bronze (8 cuivre 1 étain) parfaitement ajusté et poli sur le tambour T qu'il embrasse sur la demi-circumference. Il porte (Fig. 1) dans son épaisseur une petite ouverture où peut se loger exactement le réservoir du thermomètre C.C., divisé sur verre en 1/10<sup>e</sup> de degrés. (Diamètre du tambour = 0<sup>m</sup>,23; longueur 0<sup>m</sup>,22.)

LL' levier en chêne (0<sup>m</sup>,08 d'équarrissage) appuyé sur le coussinet au moyen de petits bras mm', mm'', vissés aux rebords du coussinet en m', m''. Ce levier porte à ses extrémités deux équerres d'un crochet. 1' L'une de ces équerres porte simplement un plateau en plomb M', et est pourvue d'une lige longue et légère ff', rigoureusement équilibrée à M'. Les deux équerres ll' servent à soutenir la partie supérieure est parallèle à LL' et dirigée dans le plan de l'axe du tambour; un trait de repère indique quand le levier LL' est horizontal. 2' L'autre équerre porte, à l'aide de corde, le plateau PP sur lequel se trouve une masse de plomb M faisant rigoureusement équilibre à M'. Les deux équerres ll' servent à soutenir la partie supérieure est parallèle à LL' et dirigée dans le plan de l'axe du tambour; un trait de repère indique quand le levier LL' est horizontal. 2' L'autre équerre porte, à l'aide de corde, le plateau PP sur lequel se trouve une masse de plomb M faisant rigoureusement équilibre à M'. Les deux équerres ll' servent à soutenir la partie supérieure est parallèle à LL' et dirigée dans le plan de l'axe du tambour; un trait de repère indique quand le levier LL' est horizontal.

— 236 —

Figures 5 et 6. — DYNAMOMÈTRE.

AA' arrive commandant la machine dont on veut mesurer la force.

R' roue d'angle semblable, fixe sur l'arbre et fixée à la poulie de commande p'.

p' poulie fixe.

C et C' petites roues d'angle engrenant sur R et R' et fixes sur le levier LL'.

LL' levier de balance retenu sur l'arbre AA' qui traverse à frottement doux la douille D.

B plateau de balance, à ramener le centre de gravité de tout le système (M' L' L' P' P' au-dessous de la ligne horizontale menée par l'axe FF, afin que cette balance à frottement ne fût pas folle. Un pied NN' fixé au sol en N et ouvert en pince en N' N' (Fig. 3).

— 237 —

deux arrêts, dont l'un peut être élevé ou abaissé à l'aide d'une vis, et sert à empêcher les oscillations pendant l'intervalle d'une expérience à l'autre.

Par l'intermédiaire du contre-poids voulu M, on décale la poulie ou que d'engrenage par laquelle l'arbre AA' met en mouvement la machine qu'on veut essayer, puis on fait tourner R' et on cherche le lest nécessaire en L pour tenir le levier horizontal.

Comme en réalité le levier LL' n'est pas libre de tourner et qu'un certain poids P le force à rester horizontal, les petites roues CC' commencent à R le mouvement de R'.

Le nombre  $\pi N$  devient ainsi la vitesse virtuelle du point de suspension S, et le poids P exprime la tendance de ce point à tourner autour du centre o. Comme ce poids P est précisément nécessaire pour maintenir à sa vitesse normale la machine qu'on essaie, il s'ensuit que la force consommée par cette machine sera donnée par le produit  $\pi P$  et qu'on a, en la désignant par F

$$F = \pi N P.$$

Pour limiter les oscillations du levier LL', on le fait jouer entre

## « Lois qui président au frottement des diverses pièces de nos machines »

— 449 —

Après avoir entendu la lecture de ce rapport, considérant que l'appareil est de trop grandes dimensions et d'un prix trop élevé pour être appliqué avec économie à une installation comprenant des courbes nombreuses, considérant en outre que si les robinets ordinaires sont consciencieusement manœuvrés l'économie à réaliser est très réduite, le comité est d'avis qu'il n'y a pas lieu de décerner une médaille d'honneur; mais, en raison des mérites spéciaux de l'appareil, décide qu'une médaille d'argent sera proposée.

**NOTICE**

**LES LOIS DU FROTTEMENT**

Par G.-A. Hirn.

Extrait des Comptes-rendus de l'Académie des Sciences.

Séance du 27 février 1859.

Les personnes qui s'occupent de Mécanique appliquée auront, comme moi, lu avec intérêt la Notice de M. Marcel Deprez, parue aux Comptes-rendus du 17 novembre (tome XCIX, 1854). Les résultats obtenus par M. Deprez, dans l'étude d'un cas particulier de frottement, concordent remarquablement avec ceux que j'ai indiqués sous une forme générale et assez complète, il y a trente ans. Quoique mon travail ait paru dans deux publications assez répandues, les faits qui y sont signalés semblent encore peu connus. Il me sera permis de les indiquer ici, sous la forme la plus concise.

Vers la fin de 1847, j'avais terminé une longue série de recherches des plus variées sur les lois qui président aux frottements des diverses pièces de nos machines. Par suite d'obstacles

— 450 —

dont le souvenir m'est resté longtemps pénible, et qui étaient de nature à tempérer étrangement le zèle d'un commencement, le Mémoire où j'avais rassemblés et discutés les résultats de mes expériences n'a pu paraître que huit années plus tard (Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, 1855). Notre aimé et vénéré confrère Combes en a peu après rendu compte dans le Bulletin de la Société d'encouragement et l'y a fait insérer presque intégralement. Voici l'énoncé des faits principaux que j'ai constatés :

I. Il existe une grande différence entre les phénomènes que présente le frottement de deux pièces qui glissent l'une sur l'autre, selon qu'elles sont sèches et en contact immédiat, ou qu'elles sont séparées par une couche d'une matière lubrifiante (huile, graisse, eau, air).

II. Dans le cas des frottements que j'ai appelés immédiats (ceux où les deux surfaces glissantes sont sèches), le coefficient du frottement, autrement dit le rapport de la charge qui presse les surfaces l'une contre l'autre et de l'effort moteur, le coefficient de frottement, dis-je, est indépendant des vitesses, des surfaces et de la charge.

III. Il n'en est plus ainsi pour les frottements que j'ai appelés médiats, pour ceux où, comme c'est le cas à peu près général, les surfaces sont séparées par une matière onctueuse. Ici, le coefficient du frottement est toujours une fonction de la vitesse, de la charge et de l'étendue des surfaces en regard.

IV. Par suite de causes de trouble nombreuses, dont il est aisé de discerner l'origine, mais dont il est souvent impossible d'empêcher l'intervention, il est fort difficile d'arriver aux lois précises qui régissent les phénomènes. La quantité de matière onctueuse que le mouvement entraîne sous les surfaces en regard, la température de cette matière (du moins en général), etc., font varier la valeur du coefficient de frottement, la plupart du temps, dans le cours d'une même expérience.

V. Cependant, on peut dire que, dans l'état habituel des pièces glissantes de nos machines (tourillons, glissières ou patins qui

— 451 —

guident les tiges des pistons de machines à vapeur, etc.), l'effort nécessaire pour surmonter la résistance est proportionnel aux racines carrées des surfaces en regard, aux racines carrées des charges qui les appuient l'une sur l'autre, et (lorsque le graissage est abondant) aux vitesses.

VI. L'influence des vitesses est toutefois des plus complexes. Avec de grandes vitesses, ou du moins quand les charges qui appuient les pièces l'une sur l'autre sont faibles relativement à l'étendue des surfaces glissantes, un grand nombre de liquides, bien différents des huiles, peuvent devenir des lubrifiants. Que dis-je? l'air dans de certaines conditions particulières et lorsqu'il est amené en quantité suffisante entre les surfaces, devient le meilleur des lubrifiants, les coefficients de frottement pouvant s'abaisser à  $\frac{1}{100}$ . Lorsque, au contraire, les vitesses sont trop faibles ou les charges relatives trop grandes, la matière onctueuse peut se trouver expulsée; le frottement médial devient alors immédiat, et le coefficient du frottement peut s'élever de  $\frac{1}{10}$  à  $\frac{1}{2}$ .

Les phénomènes relatés par M. Deprez sont en pleine concordance avec ce qui vient d'être dit. Lorsque, comme l'a très bien fait cet habile observateur, on détermine la valeur du coefficient de frottement d'après le ralentissement graduel d'un volant de machine, par exemple, les tourillons, fortement lubrifiés à leur état normal, donnent une résistance à très peu près proportionnelle aux vitesses; mais, la vitesse finissant par devenir trop faible, il arrive un moment où la matière onctueuse n'est plus entraînée en quantité suffisante sous les surfaces. Le frottement médial devient alors immédiat, et le coefficient de frottement croît avec une rapidité très grande. La courbe tracée dans ces conditions indique une résistance d'abord décroissante, et puis, tout d'un coup pour ainsi dire, rapidement croissante. J'ajoute qu'une cause accessoire peut ici modifier la marche de la courbe descendante. Le frottement développe de la chaleur et, par suite, produit une élévation de température dans les pièces; lorsque la vitesse diminue, la température diminue nécessairement, et le pouvoir lubrifiant de l'huile

— 452 —

diminue aussi dans une certaine mesure. Le frottement diminue, par suite, moins que dans le rapport direct des vitesses.

Cette remarque est très importante. Dans une usine arrivée à son régime normal et stable, il y a nécessairement égalité entre la chaleur que produit continuellement le frottement et la perte de chaleur que subissent continuellement aussi les pièces par leur contact avec l'air. Pour chaque vitesse, il y a donc une température spéciale qui répond à cet état d'égalité; et si l'on ne tient pas compte de cette condition, on trouve que le frottement croît à peu près comme les racines carrées des vitesses et non comme la puissance 1 de celles-ci.

Il serait vivement à désirer que M. Deprez veuille bien continuer ses belles expériences, en modifiant les charges, en tenant compte des températures, etc. (si toutefois il ne l'a déjà fait). Peut-être M. Deprez sera-t-il plus heureux que moi et parviendra-t-il à modifier les opinions qui régnaient encore généralement sur cette question. D'après ce que je vois en effet, les auteurs de plusieurs gros volumes de Physique et de Mécanique appliquée, que j'ai dans ma bibliothèque et dont la publication pourtant est récente, ne semblent pas connaître les faits que j'ai mis hors de doute il y a trente ans.

Colmar (Alsace), 27 novembre 1854.

### Remerciements

Ce poster a été réalisé par Grégory Covarel et Gilles Arnold de l'Université de Haute Alsace à l'occasion des Journées Internationales Francophones de Tribologie qui ont eu lieu à Mulhouse les 26-28 mai 2014. Le comité d'organisation remercie Mme Laetitia Bracco, MM Kamal Mouheb et Hamed Maalem de la Bibliothèque Universitaire de la Société Industrielle de Mulhouse (BUSIM) pour leur implication et la mise à disposition des documents. Tous les écrits de Gustave Hirn sont conservés à la BUSIM. - Collection Société Industrielle de Mulhouse-SIM ; en dépôt à la BUSIM.