

BIBLIOTHÈQUE DE L'USTL
AP298-1875-p1157
Magasin

**D<sup>r</sup> MAREY**

Professeur au Collège de France.

---

**DU MOYEN D'ÉCONOMISER LE TRAVAIL MOTEUR DE L'HOMME ET DES ANIMAUX.**

---

— Séance du 22 août 1874. —

De récentes expériences sur la locomotion animale, dont le résultat a été publié ailleurs (2) avec les développements qu'il comporte, m'ont fait voir que, chez tous les animaux, la locomotion s'effectue par mouvements saccadés.

Cette irrégularité de la progression n'est pas également accusée à toutes les allures. La marche lente présente le maximum d'inégalité; la course, le minimum.

En analysant de plus près le phénomène, on constate que le corps reçoit une impulsion nouvelle à chaque demi-pas, au moment où l'un des pieds termine son appui. Un ralentissement se produit, au contraire, chaque fois qu'un des pieds arrive au contact du sol.

Lorsqu'un homme ou un animal, attelé à une voiture, la traîne sur

(1) Voy. *Bull. de la Société Philomathique*, t. 1867; *Journal de physique*, 1873; et dans ce volume, p. 122.

(2) Voy. *la Machine animale*, p. 127, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXIX, p. 125.

un chemin, ses efforts tendront à imprimer au véhicule une vitesse irrégulière ; d'autre part, les résistances éprouvées dans le tirage présenteront aussi des irrégularités ; mais, chose remarquable, ces irrégularités seront d'autant plus grandes que l'allure sera plus rapide.

Ainsi, l'homme qui court en liberté progresse d'un mouvement presque uniforme, mais s'il doit courir en traînant un fardeau, il éprouve, même sur un terrain uni, des résistances très-irrégulières qui impriment à son corps des secousses pénibles.

Cela vient de ce que les efforts musculaires qu'on développe dans la course ont une intensité et une durée proportionnées à la masse du corps qu'ils sont destinés à transporter ; mais ils sont beaucoup trop brefs pour se transmettre, à la fois, au corps du coureur et à la masse additionnelle que celui-ci doit déplacer.

Examinons un homme qui tire une voiture à bras, au moyen d'une de ces bricoles de cuir en usage à Paris. Si le terrain est plat, ou légèrement montant, on voit que la courroie est alternativement relâchée et tendue ; que, si le marcheur presse le pas, les tensions de la courroie se font plus brusquement ; enfin que, s'il essaie de courir, la tension de la courroie produit un coup sec, un véritable choc.

Pour mieux juger ce qui se passe, il faut s'atteler soi-même à cette voiture. En marchant sur un terrain uni, on sent assez faiblement l'effet des secousses, mais si on presse l'allure, on éprouve, à chaque tension de la courroie, une commotion assez forte qui produit, contre les épaules, une percussion insupportable à la longue ; aussi est-il presque impossible de courir pendant quelque temps en traînant une voiture ainsi attelée. Sur un pavé inégal, la marche lente suffit pour produire un effet analogue.

Lorsqu'on observe une voiture attelée d'un cheval qui trotte, on constate les mêmes tensions brusques des traits, ce qui prouve que l'animal subit également des commotions intermittentes.

L'existence de ces chocs étant constatée, nous avons cherché à les amortir en transformant cette traction intermittente en une traction plus uniforme. La mécanique résout à chaque instant des problèmes de ce genre, au moyen d'intermédiaires élastiques placés entre la force motrice intermittente et les résistances à vaincre. C'est ainsi que dans la pompe à incendie, la saccade du coup de piston disparaît, transformée par un réservoir à air en une pression constante qui donne au jet de l'eau une vitesse uniforme. Sur les chemins de fer, les wagons sont reliés entre eux au moyen de pièces élastiques qui suppriment, en partie, la brutalité des secousses au moment de la mise en marche.

Je plaçai donc un ressort élastique entre la bricole et la voiture, et m'y attelant pour la traîner, je constatai la disparition presque complète

des chocs qui se produisent dans la marche sur un pavé inégal, et dans la course, sur les terrains unis eux-mêmes.

Non content de mon appréciation, je soumis à cette épreuve différentes personnes qui toutes furent frappées du même résultat.

Ces expériences prouvent déjà qu'avec cette modification dans l'attelage, on arrive à soulager beaucoup l'homme ou l'animal qui traîne un fardeau.

Plaçons-nous maintenant à un autre point de vue, et voyons si l'emploi de ce ressort élastique accroit ou diminue le rendement du travail des moteurs animés. Deux points distincts sont à considérer :

- 1° La production du travail par l'appareil musculaire ;
- 2° L'utilisation du travail produit.

#### DE LA DESTRUCTION DU TRAVAIL MUSCULAIRE PAR LES CHOCS.

Il n'y a plus lieu de reproduire ici la description des phénomènes intimes qui se passent à l'intérieur d'un muscle en activité, mais il faut rappeler que ce muscle effectue, dans un effort *statique*, les mêmes actes intérieurs que dans le travail *dynamique*. Dans les deux cas, des ondes musculaires se forment; mais tandis que dans le travail *dynamique* ces ondes produisent un raccourcissement réel du muscle, elles ne font que l'échauffer pendant l'effort *statique*, et mettre ce muscle dans un état de tension sans effet utile. C'est ainsi que nous pouvons commander à nos muscles un effort de traction de 100 kilog., et dépenser inutilement cet effort, si l'obstacle à surmonter représente 110 kilog. On sait que la vitesse qu'on imprime à une masse exige un effort proportionnel au carré de cette vitesse même. Telle force qui serait capable de soulever un certain poids, à une certaine hauteur, dans un temps donné, sera incapable d'effectuer ce travail en un temps moins long. Or, l'interposition d'une transmission élastique entre le moteur et la masse à mouvoir a précisément pour effet d'accroître la durée d'application de la force motrice, et de rendre ainsi utilisable un effort qui, brusquement produit, ne se fût pas transformé en travail.

Lorsque notre volonté commande à nos muscles un acte qui doit imprimer au corps une certaine vitesse, l'énergie de cet effort est réglée sur les résistances actuelles; s'il se produit un accroissement subit de ces résistances, ce changement met l'effort musculaire hors de proportion avec le nouveau travail qu'il doit effectuer, et le place dans les conditions d'utilisation incomplète dont nous venons de parler.

La nature a recouru précisément à l'élasticité pour utiliser, à l'intérieur des muscles, les forces motrices qui s'y engendrent presque instantanément, par des espèces d'explosions dont la durée est à peine de 3 à 4 centièmes de seconde.

Placer une élasticité entre nos efforts musculaires et les masses qu'ils doivent mouvoir, c'est imiter le procédé de la nature pour la meilleure utilisation de l'action essentiellement intermittente des muscles.

DE LA MEILLEURE UTILISATION DU TRAVAIL EXTÉRIEUR DES MOTEURS INTERMITTENTS.

Des considérations du même ordre que celles que nous venons d'exposer portent à croire que le travail extérieur fourni par des moteurs intermittents se trouve dans de mauvaises conditions pour être entièrement utilisé. Ici la démonstration n'emprunte plus rien à la physiologie; elle est du ressort de la mécanique pure.

Chaque fois que notre corps animé de vitesse vient se heurter par l'intermédiaire de la courroie rigide contre la résistance de la voiture, une force vive empruntée à notre propre masse tend à se communiquer à la masse à déplacer. Or, il est facile de démontrer, par une expérience très-simple, que la totalité du travail qui correspond à cette force vive ne sera pas employée au déplacement du véhicule.

La figure 61 va nous montrer comment une force vive s'éteint dans un choc, tandis qu'elle se transforme en travail lorsque le choc est supprimé.

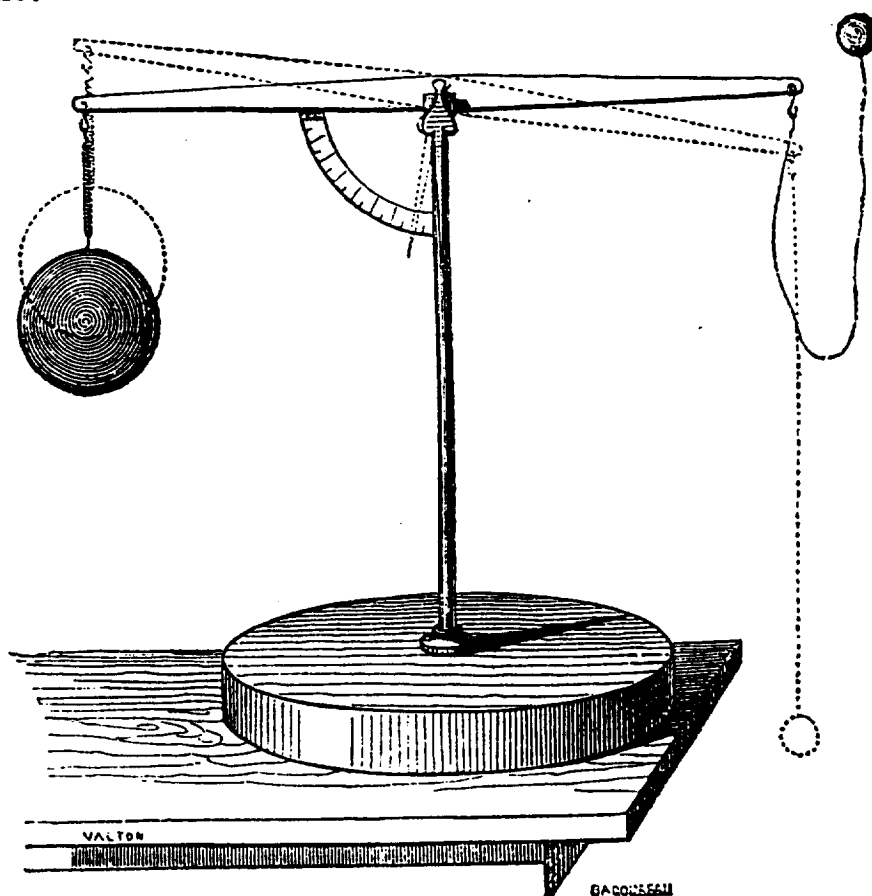


Fig. 61. — Appareil destiné à montrer qu'une *force vive*, directement appliquée au déplacement d'une masse, s'éteint dans un choc, tandis que la même force, transmise par un intermédiaire élastique, peut effectuer du travail. (Figure empruntée à l'ouvrage intitulé : *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, 1868.)

Sur un support solidement établi est adaptée une sorte de fléau de balance dont l'un des bras porte une sphère du poids de 100 grammes, tandis qu'au bout de l'autre bras une petite sphère, pesant 10 grammes, est suspendue par un fil solide d'un mètre de longueur. Pour que le fléau de balance se trouve horizontal, malgré la charge inégale de ses deux bras, on a établi sur l'axe un encliquetage qui permet les mouvements d'ascension de la sphère, mais qui en empêche la descente. Une aiguille indicatrice, parcourant un quart de cercle, sert à mesurer exactement les déviations du fléau.

Pour imiter les forces vives intermittentes qui, dans la traction des voitures, tendent les traits d'une manière plus ou moins brusque, je laisse tomber d'une certaine hauteur la petite sphère qui est suspendue à l'un des bras du fléau, et j'utilise la force vive développée au moment de la tension du fil à soulever la sphère pesante suspendue à l'autre bras.

Si l'on prend pour la suspension de la sphère pesante un fil aussi peu extensible que possible, de façon qu'il n'y ait aucune élasticité intermédiaire entre le corps qui perdra sa vitesse et le corps qui devrait être déplacé, on s'aperçoit, au moment où la balle s'arrête, qu'un choc sonore se produit, que tout l'appareil s'ébranle et vibre, mais que la sphère ne s'élève point.

Suspendons, au contraire, la sphère à l'extrémité d'un ressort élastique ou d'un fil de caoutchouc et renouvelons l'expérience. Au moment où la balle, arrivée à la fin de sa course, produit la tension du fil, on voit le fléau s'incliner brusquement et faire un angle plus ou moins ouvert avec sa direction primitive. Ce déplacement s'effectue grâce à l'élasticité du ressort qui suspend la sphère pesante ; celle-ci ne subit aucun déplacement dans le premier instant, mais, sous la traction du ressort qui vient d'être distendu, on la voit se soulever peu à peu. Il y a donc un travail effectué dans ce cas où l'on applique, par l'intermédiaire d'un ressort élastique, une force vive qui, directement appliquée tout à l'heure, se détruisait dans un choc.

Cette expérience nous amène à conclure que le ressort élastique, placé entre une voiture et le trait qui lui transmet la force du moteur, doit produire une meilleure utilisation des forces intermittentes appliquées à la déplacer.

Le dynamomètre enregistreur, qui fournit en pareil cas la mesure du travail dépensé, doit prouver l'exactitude de ces prévisions. Il doit montrer, qu'avec un intermédiaire élastique, on obtient une meilleure utilisation du travail moteur, soit qu'une même dépense de force produise plus d'effet utile, soit que le même effet utile s'obtienne avec une moindre dépense de force.

*Le travail utile sera le même, dans deux expériences comparatives, lorsque la voiture aura parcouru le même espace, dans le même temps, sur la même route. Le travail moteur sera le même lorsque, sur les tracés du dynamomètre, les aires comprises entre les courbes enregistrées et l'axe de leurs abscisses seront égales.*

J'ai commencé par appliquer le dynamomètre enregistreur du général Morin à une voiture que je faisais traîner tantôt avec une courroie rigide, tantôt par l'intermédiaire d'un ressort élastique. D'autre part, un compteur des tours de roues devait permettre de s'assurer que, dans l'un et l'autre cas, la traction se faisait avec la même vitesse. Mais je m'aperçus que l'instrument, formé d'un ressort d'acier dont la flexion est proportionnelle aux efforts exercés, faisait bénéficier la voiture qui en était munie des effets de l'intermédiaire élastique, et que je ne pourrais, avec cet instrument, faire les expériences comparatives que je me proposais. Je construisis un autre dynamomètre dont la course, très-petite, ne laissait agir l'élasticité que d'une manière négligeable, puis j'ajoutai à cet appareil des organes amplificateurs du mouvement, afin que les indications fussent d'une lecture facile; je recourus ensuite à la photographie pour obtenir des épreuves de dimensions plus grandes encore. Enfin, je mesurai les surfaces des tracés obtenus comparativement avec les deux modes de traction, et constatai, *que pour des chemins égaux parcourus en des temps égaux, c'est-à-dire pour un même travail utile effectué, la traction élastique consomme moins de travail moteur.* Voici, du reste, la description des appareils que j'ai employés et les tracés qu'ils m'ont fournis.

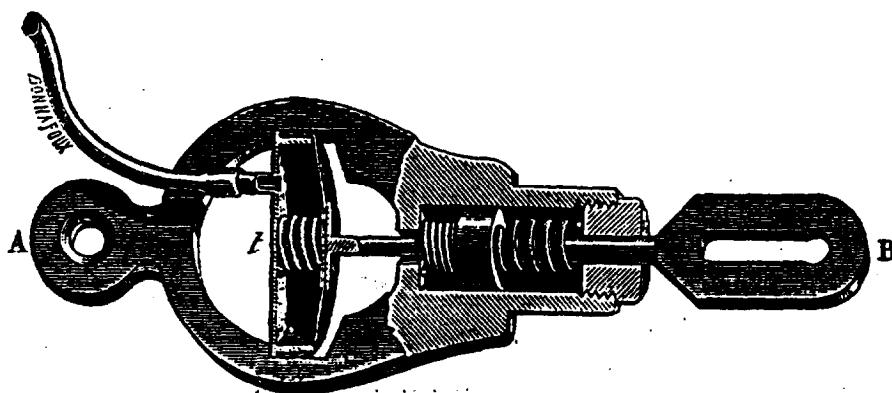


Fig. 62. — Dynamographe ou dynamomètre inscripteur, transmettant à distance les indications des efforts de traction.

*Dynamographe* ou dynamomètre inscripteur. — L'appareil du général Morin, d'un emploi si avantageux toutes les fois qu'il s'agit de déterminer les variations du travail résistant, quand le travail moteur reste le même, ne saurait s'appliquer à résoudre le problème inverse que je me proposais. Il fallait, dans la construction d'un nouvel appareil, sup-

primer, autant que possible, l'action de l'élasticité qui transforme un choc brusque en un effet plus prolongé ; en même temps, je devais conserver au dynamomètre une sensibilité suffisante pour produire, dans la courbe tracée, un déplacement appréciable et proportionnel aux efforts déployés.

La figure 62 représente la modification que j'ai adoptée.

Une forte monture de fer est munie de deux anneaux, dont l'un A se fixe à la voiture et l'autre B à la courroie qui sert pour la traction. Ce dernier prolonge la tige d'un piston maintenu en équilibre entre deux ressorts-boudins très-résistants. De l'autre côté du piston, la tige se continue jusqu'à une membrane de caoutchouc qui ferme une caisse métallique.

Toute traction sur la tige du dynamomètre attire la membrane élastique et raréfie l'air de la caisse. Des alternatives de raréfaction et de compression de l'air contenu dans cette caisse se produisent, suivant que la force de traction augmente ou diminue ; cela donne naissance à une soufflerie qui se transmet, à travers un tube de caoutchouc, jusqu'à un appareil qui l'inscrit sur un cylindre tournant.

Dans le tracé qu'on obtient ainsi, la courbe s'élève d'autant plus haut que l'effort de traction développé est plus énergique. On gradue l'instrument, en le soumettant à des tractions connues, et l'on construit l'échelle qui sert à en évaluer les indications. Sur cette échelle, les hauteurs sont très-sensiblement proportionnelles aux poids employés à produire la traction, quand l'effort varie entre 1 et 36 kilogrammes.

*Expériences sur la traction d'une voiture à bras.* — Pour apprécier les avantages de l'emploi d'un trait élastique au lieu d'une courroie rigide, il faut faire deux expériences comparatives en mesurant à la fois : le travail moteur dépensé et le travail utile produit.

Or, on peut dire que le travail utile a été le même dans deux cas, où une voiture a parcouru, sur la même route, des espaces égaux avec des vitesses égales. Si l'on démontre que, dans l'un des cas, le dynamomètre traceur accuse moins de travail dépensé que dans l'autre, ou aura prouvé que l'un des modes d'attelage est préférable à l'autre.

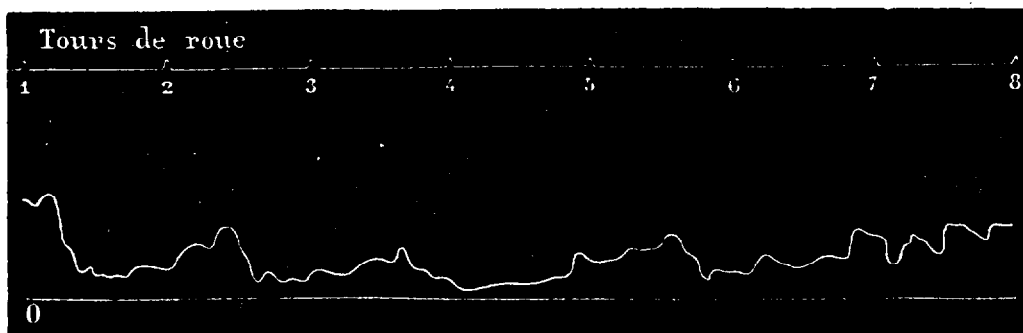


Fig. 63. — Tracé du dynamographe pour une voiture tirée avec un intermédiaire élastique. (Surface au planimètre d'Amsler, 53.)

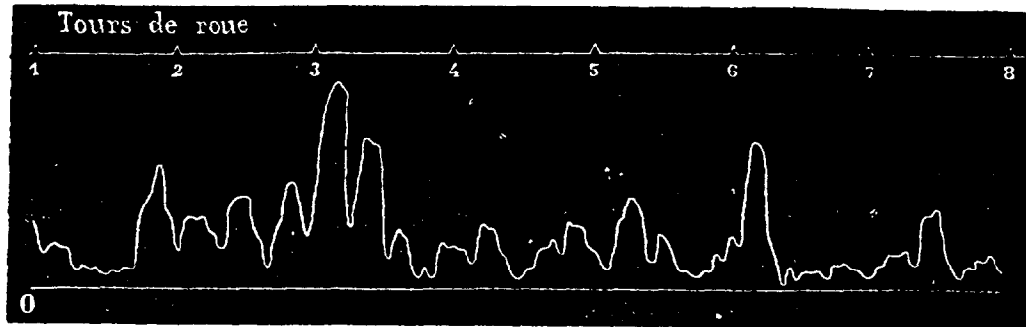


Fig. 64. — Tracé du dynamographe pour une voiture à bras traînée avec un trait rigide. (Surface au planimètre de Amster, 72.)

Les figures 63 et 64 sont les tracés fournis par deux expériences comparatives. La vitesse était la même dans les deux cas ; on s'en assure au moyen d'un appareil assez simple qui trace un signal à chacun des tours de roue ; le nombre de ces signaux est le même sur une longueur donnée ; la vitesse est donc égale dans les deux cas. Quant au travail moteur dépensé, sa mesure correspond, pour chacun des tracés, à la surface comprise entre la courbe et l'axe des abscisses. Cette surface est d'environ 26 0/0 moins grande dans la figure 63 que dans la figure 64. Il y a donc eu pour ce cas 26 0/0 de travail économisé (1). Il s'agissait, il est vrai, d'une allure assez rapide : la voiture était traînée, au pas gymnastique, sur un terrain parfaitement uni (route asphaltée à l'extrémité du jardin du Luxembourg). La différence eût été moindre avec une allure moins vive. Mais, d'autre part, sur un mauvais pavé, on trouve un écart plus grand encore entre les résultats fournis par les deux modes de traction. En somme, sur un nombre considérable d'expériences, j'ai toujours constaté l'avantage de la traction élastique au point de vue du rendement. Les mêmes résultats furent obtenus pour des voitures traînées par des chevaux. Si l'on joint à cet avantage celui qui consiste dans l'amortissement des chocs douloureux qu'une courroie rigide transmet aux épaules de l'homme ou de l'animal qui traîne un fardeau, on verra que le mode de traction au moyen d'un intermédiaire élastique est extrêmement avantageux.

Quant à l'instrument que l'on doit employer pour cela, il peut être fort simple et peu coûteux, soit qu'on le construise avec des ressorts-boudins de forces calculées (2), soit qu'on emploie des lanières de

(1) Cette évaluation a été obtenue en grandissant les tracés ci-dessus par la projection de leurs clichés photographiques ; en traçant les contours ainsi amplifiés 20 fois et en les découpant suivant toutes leurs sinuosités, enfin en pesant suivant la méthode de Galilée les papiers ainsi découpés. Le rapport des poids est sensiblement celui des aires et sert à mesurer les rapports du travail dépensé. — Les mêmes tracés mesurés au planimètre de Amster donnent une différence un peu moindre qui réduisait l'économie de travail à 24 0/0.

(2) La disposition qui m'a semblé la plus avantageuse consiste en une série de ressorts-boudins de forces croissantes, introduits dans un tube de cuivre où un piston les comprime



caoutchouc. L'économie du travail et la diminution de la fatigue qu'on obtient à l'aide de ce moyen de traction me semblent constituer une importante application de la physiologie à l'amélioration du sort de l'homme et des animaux.

---