

## "Physiologie Expérimentale Etienne-Jules-Marey"

Travaux du laboratoire de M. Marey  
1875, Paris, G. Masson Edit.

OCR et Corrections et Ajouts de Deny Fady pour HIPPOTESE (<http://hippotese.free.fr>), juin 2012

NB : La préface a été supprimée et seules les pages numérotées 1 à 18 (qui parlaient du sujet étudié) de la version originale ont été traitées (page 20 à 37 du livre digitalisé par GOOGLE : <http://books.google.fr/books?id=90kZAQAAIAAJ>)

Résumé :

M. Marey a réussi à démontrer, dès 1874, que l'emploi des ressorts de traction procurait une économie de travail assez considérable (environ 25%, soit le quart).

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

#### Rôle de l'élasticité dans les appareils moteurs des êtres vivants.

Un des points les plus intéressants de la physiologie du mouvement chez les animaux, c'est la détermination du rôle de l'élasticité des tissus. Partout où le mouvement existe dans l'organisme vivant, on voit associée à sa production l'élasticité de quelque organe. Ainsi, dans l'appareil circulatoire, on trouve les vaisseaux doués d'une élasticité extrême ; dans celui de la respiration, le poumon est très élastique également ; enfin, la fibre musculaire elle-même, outre sa propriété de contractilité, possède une élasticité très grande.

Montrer que l'élasticité des organes n'a pas seulement pour effet de régulariser les mouvements dont ils sont le siège, mais qu'elle accroît le travail utile qui s'accomplit en eux, telle a été depuis longtemps ma préoccupation ; et je crois avoir prouvé que dans la circulation du sang, aussi bien que dans l'action des muscles volontaires, l'élasticité joue un rôle indispensable.

Dans la circulation, l'élasticité de l'aorte et des artères n'a pas pour effet unique de transformer en écoulement continu le mouvement saccadé et intermittent produit par le cœur.

A cette influence depuis longtemps connue, s'en ajoute une autre plus importante encore et sur laquelle l'attention des physiologistes ne s'était pas arrêtée : *l'élasticité des artères économise le travail du cœur.*

On prétendait prouver autrefois que, sous le point de vue dynamique, l'élasticité artérielle ne pouvait être utile, car elle n'augmente pas la production de travail; que si, pendant le repos du cœur, le sang obéit au retrait élastique des artères et continue à se mouvoir, il ne faut voir, dans cet effet, que la restitution d'une force empruntée, car c'est la force du cœur qui a distendu les vaisseaux dont le resserrement agit plus tard. On concluait donc qu'au point de vue de la quantité du travail produit, l'élasticité artérielle est indifférente.

Dans ce raisonnement, on oubliait que tout problème dynamique présente un double point de vue : celui du travail moteur dépensé et celui du travail résistant qui lui est égal. Or, ce dernier se décompose en travail utile et en travail inutile ou même nuisible. S'il s'agit du mouvement d'un liquide, on pourra accroître le débit de l'appareil hydraulique (c'est-à-dire le travail utile), non-seulement en accroissant le travail moteur, mais en supprimant certaines résistances nuisibles. Ce dernier rôle est précisément celui de l'élasticité artérielle.

Après avoir montré que dans la circulation du sang l'élasticité des artères diminue certaines résistances qui tiennent à l'inertie du liquide, et pour employer une expression usuelle, à ses frottements dans les vaisseaux, j'ai vérifié la théorie par l'expérience en faisant voir que, sous l'influence d'afflux intermittents, un tube élastique verse plus de liquide qu'un tube inerte.

Enfin, puisant dans l'anatomie pathologique une vérification nouvelle, j'ai donné la raison de l'hypertrophie du cœur qui accompagne la perte d'élasticité des artères chez les vieillards. En effet, l'hypertrophie, se produisant toujours dans un muscle qui éprouve une résistance exagérée, devait arriver quand l'élasticité artérielle est

perdue, s'il est vrai que l'élasticité diminue certaines résistances (1).

(1) *Physiologie médicale de la circulation du sang*, p. 127. - Paris, 1863.

Ces vues ont trouvé une application plus générale lorsqu'à propos des actes musculaires je constatai que, dans tout muscle, le mouvement s'engendre d'une manière saccadée.

Que si nous pouvons effectuer un effort dans lequel nos muscles soient dans un état de raccourcissement permanent, ce n'est là qu'un effet de l'élasticité du muscle qui fusionne et emmagasine une série de secousses successives, de même que l'élasticité artérielle fusionne les afflux saccadés du cœur en une tension presque uniforme des petits vaisseaux.

De cette analogie entre les phénomènes de la circulation et ceux de l'action musculaire, au point de vue de la transformation du mouvement, il n'y avait pas loin à conclure qu'au point de vue de l'utilisation du travail, l'élasticité musculaire présente la même utilité que celle des vaisseaux. Sans elle, en effet, il se produirait dans les muscles, à chacune des secousses qui tendent à les raccourcir, des chocs destructeurs du travail et des organes eux-mêmes (2).

(2) *Du Mouvement dans les fonctions de la vie*, p. 465. - Paris (Germer-Baillière), 1868.

Enfin, en étudiant les phénomènes de la locomotion chez les différentes espèces animales, en constatant les saccades plus ou moins prononcées du mouvement de progression propre à chacune d'elles, je fus amené à conclure que dans la traction des fardeaux, les moteurs animés doivent éprouver de véritables chocs, s'ils appliquent leurs efforts saccadés à des masses considérables ; qu'une partie de leur travail moteur doit ainsi se dépenser en pure perte, et qu'il y aurait avantage à appliquer leurs efforts de traction au moyen de traits élastiques. Des expériences faites pendant les années 1872-73 et dont les résultats ont été exposés dans mes leçons au Collège de France (3) ont montré que le travail moteur nécessaire pour traîner une voiture est moindre quand on emploie à cet usage un trait élastique.

(3) *Voir La Machine animale*, p. 129. - Paris (Germer-Baillière), 1873.

Pour la vérification de ces faits, j'ai dû construire un dynamomètre enregistreur spécial dont la description n'a pas encore été publiée. Cet instrument a été présenté au congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, session de Lille, séance du 27 août 1874. Dans cette même séance a été lu le mémoire suivant :

### **Du moyen d'économiser le travail moteur de l'homme et des animaux.**

De récentes expériences sur la locomotion animale, dont le résultat a été publié ailleurs (1) avec les développements qu'elles comportent, m'ont fait voir que, chez tous les animaux, la locomotion s'effectue par mouvements saccadés.

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

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

En analysant avec soin 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 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 de 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 incendies 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 moyens 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 accroît en effet 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 action, 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 kilogr., et dépenser inutilement cet effort, si l'obstacle à surmonter représente 110 kilogr. J'ai dit ailleurs (1) comment 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 entier dans 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.

1) *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, p. 457.

Lorsque notre volonté commande à nos muscles un acte destiné à imprimer au corps une certaine vitesse, l'énergie de l'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 recours 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.

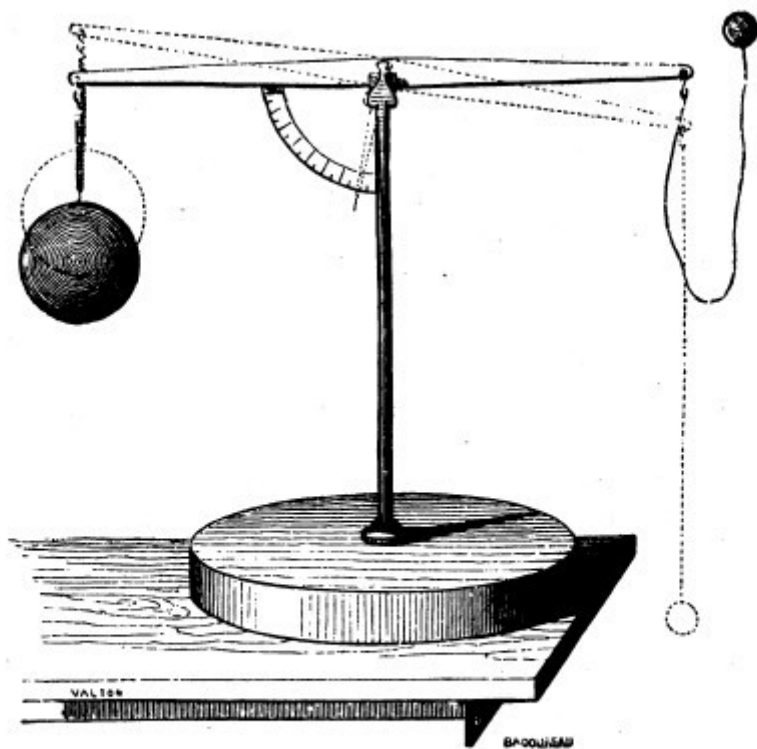
Placer une élasticité entre nos efforts musculaires et les masses qu'ils doivent mouvoir, c'est imiter le procédé de la nature pour la meilleure utilisation de l'action essentiellement intermittente des muscles.

### 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 1 va nous montrer comment une force vive s'éteint dans un choc, tandis qu'elle se transforme en



travail lorsque le choc est supprimé. Sur un support solidement établi est adapté 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 son 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.

*Fig- 1.— 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).*

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 le 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.

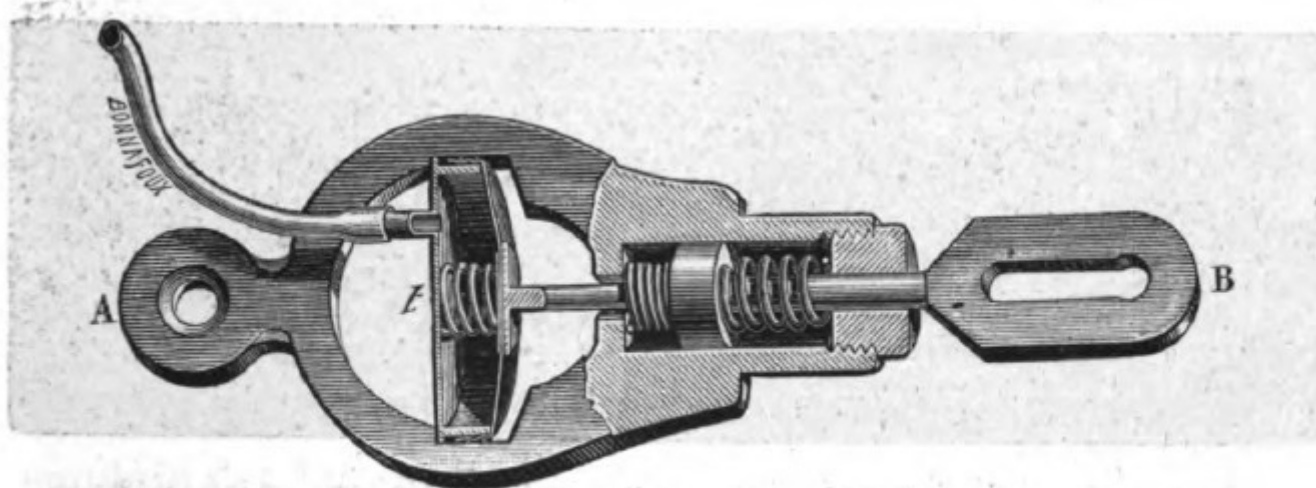
J'ai commencé par appliquer le dynamomètre enregistreur du général Morin à une voiture que je faisais traîner tantôt avec une courroie rigide, tantôt par l'intermédiaire d'un ressort élastique. D'autre part, un compteur des tours de roues devait permettre de s'assurer que dans l'un et l'autre cas la 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 appareil, 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.

*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, supprimer autant que possible l'action de l'élasticité qui transforme un choc brusque en un effort 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 2 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, dont l'un plus résistant, supporte tout l'effort de la traction. 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 chargé de l'inscrire sur un cylindre tournant.



**Fig. 2. — Dynamographe ou dynamomètre inscripteur transmettant à distance les indications des efforts de traction.**

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.

Les figures 3 et 4 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 de part et d'autre. 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 % moins grande

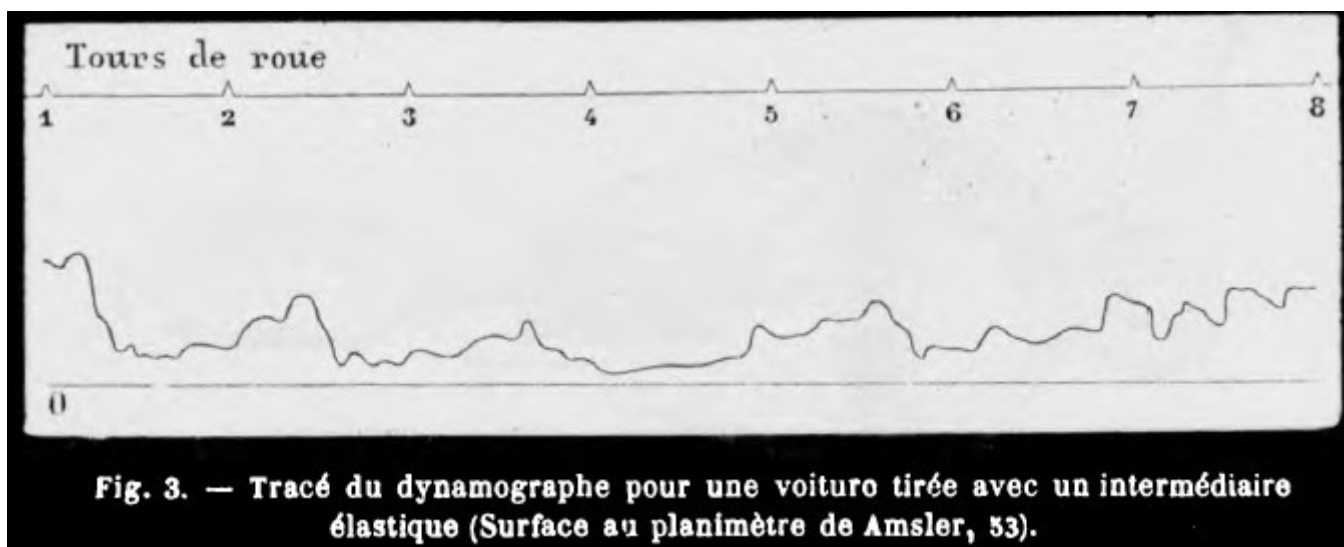


Fig. 3. - Tracé du dynamographe pour une voiture tirée avec un intermédiaire élastique (Surface au planimètre de Amsler, 53).

dans la figure 3 que dans la figure 4. Il y a donc eu pour ce cas 26 % 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).

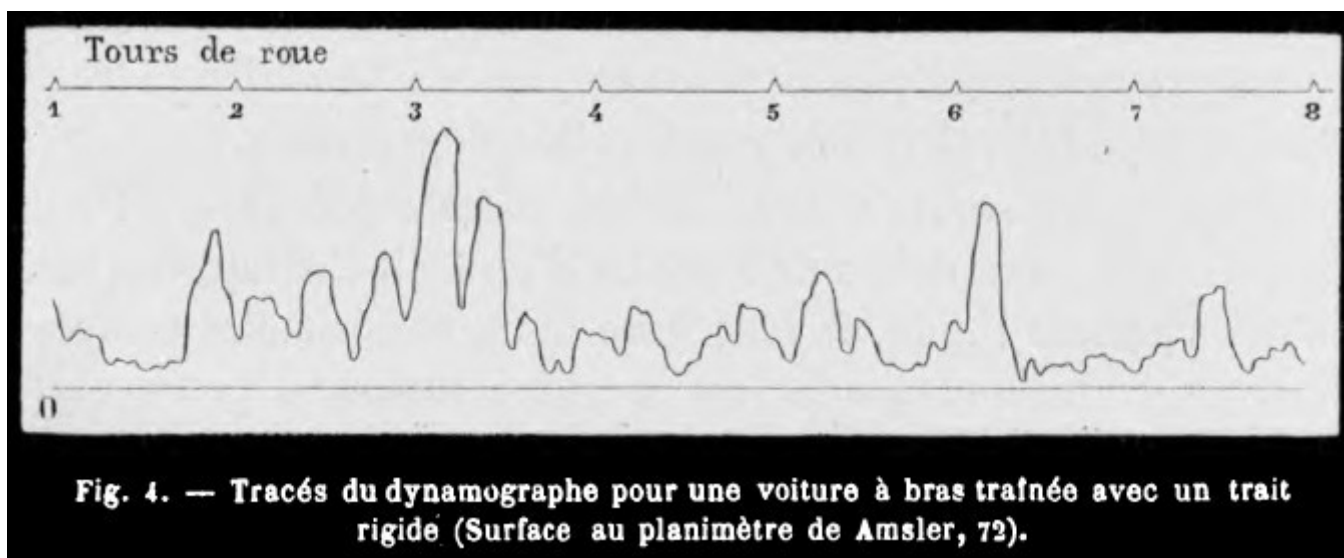


Fig. 4. - Tracés du dynamographe pour une voiture à bras traînée avec un trait rigide (Surface au planimètre de Amsler, 72).

(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 Amsler donnent une différence un peu moindre qui réduirait l'économie de travail à 24 %.

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 (1), soit qu'on emploie des lanières de caoutchouc. L'économie du travail et la diminution de la fatigue qu'on obtient à l'aide de ce moyen de traction me semble constituer une importante application de la physiologie à l'amélioration du sort de l'homme et des animaux.

*(1) 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 comme dans le dynamographe (fig. 2). Suivant l'effort dépensé on applique ainsi des forces élastiques variables. Supposons, par exemple, que le ressort le plus faible agisse entre 5 et 10 kilogr. de traction; pour des efforts plus grands, ce premier ressort sera entièrement revenu sur lui-même, et le deuxième entrera en action jusqu'à 15 kilogr. ; de 15 à 20, ce sera un troisième ressort qui fonctionnera, et ainsi jusqu'au dernier.*

En exécutant les expériences qui viennent d'être rapportées, j'avais suivi, comme on a pu le voir, l'enchaînement naturel d'une série de recherches dont le point de départ était essentiellement physiologique. M'étais-je rencontré avec d'autres expérimentateurs ? C'est ce que j'ai voulu rechercher.

Or, j'ai pu me convaincre que maintes fois, et à différentes époques, l'emploi de ressorts élastiques pour la traction a été conseillé et employé, soit pour le halage des bateaux sur les canaux, soit pour leur remorquage dans les ports ; ailleurs, sur les voies ferrées et sur les routes. Il est même d'usage, dans certaines localités, d'attacher les traits à un ressort pareil à ceux qui servent à la suspension des voitures. Mais, en recherchant dans quel but l'emploi des ressorts élastiques pour la traction avait été conseillé, je n'ai reconnu que l'intention d'amortir les chocs, afin d'empêcher leur réaction pénible pour les animaux ou leur effet destructeur du matériel. Nulle part, je n'avais trouvé mention d'expériences prouvant que l'utilisation du travail fût meilleure et son rendement plus grand avec les traits élastiques.



Mais, dans ces derniers temps, on m'a donné connaissance d'un mémoire publié par M. Fehrmann, ingénieur à Berlin, qui s'est placé au point de vue du rendement favorable que procure la traction au moyen d'intermédiaires élastiques.

Voici la traduction de ce travail, que je dois à l'obligeance de M. André Sanson.

### **Station d'épreuve de Halle, pour les machines et les outils agricoles. Fehrmann's Pferdeschoner de Fehrmann et Schwanck, de Berlin.**

Cet appareil, inventé depuis quelques mois par l'ingénieur Fehrmann, de Postdam, consiste en un certain nombre d'anneaux de caoutchouc, séparés par des disques de tôle, qui sont placés dans une boîte cylindrique en fer et pressés les uns contre les autres par une tige passant à travers les anneaux et fixée au dernier disque dès qu'on fixe la boîte et qu'on en tire la tige. La boîte est pourvue d'un anneau et la tige d'un crochet, de telle sorte qu'on peut attacher facilement partout l'appareil, qui a environ 30 centimètres de long.

L'inventeur place cet appareil, comme *ménager* du cheval, entre les traits et le palonnier, de sorte qu'on emploie pour chaque cheval deux *ménagers*.

Cette union élastique entre le cheval et le palonnier ne doit pas seulement, d'après les vues de l'inventeur, faciliter essentiellement le tirage de la voiture, mais encore rompre les chocs dans la marche sur les voies raboteuses, et diminuer par là peut-être aussi la force de traction.

Le démarrage des voitures chargées exige une force beaucoup plus grande que le tirage quand la voiture est déjà en marche. Cette force de traction devient d'autant plus grande que la voiture passe plus rapidement du repos à la vitesse de marche, et d'après les mesures obtenues, elle s'élève facilement jusqu'à deux et trois fois celle qui est plus tard nécessaire.

Avec de lourdes charges, les chevaux qui veulent presque toujours tirer très-rapidement ne peuvent pas déployer la grande force nécessaire, et pour ce motif ils cherchent à agir par secousses sur la voiture en se jetant dans le harnais, mais avec cela, comme dans tous les chocs, ils consomment en pure perte une grande partie du travail total, et ils se ruinent ainsi que le harnais et la voiture. S'il était possible que les chevaux tirassent aussi lentement, avec autant de calme et de régularité que les bœufs, ils pourraient ainsi mettre en mouvement, par pure pression, maintes charges qu'ils cherchent à vaincre seulement par secousses. Le « *Pferdeschoner* » fournit pour cela un moyen, parce que, avant le tirage qui doit entraîner la charge, il exige pour la compression une force d'abord tout à fait minime, puis augmentant progressivement, qui oblige le cheval à modérer peu à peu son impétuosité, de telle sorte que dans le tirage la charge exerce déjà une très-grande pression avec une faible vitesse, et il peut alors tirer plus facilement qu'avec sa grande impétuosité ordinaire.

La principale action de l'appareil sur le cheval est toutefois morale dans la traction, parce que, au premier moment, celui-ci ressent un mouvement qui lui donne conscience qu'il est capable de suffire à sa charge et l'entraîne à employer ses forces les plus extrêmes avec calme, là où il aurait cherché, en l'absence de l'appareil, à vaincre les résistances seulement par des à-coups.

Dans la marche même, la force de traction est très-variable sur toutes les voies, parce qu'elle consiste en élévations et abaissements, qui se traduisent dans le tirage comme de petites montées et descentes, qui, par conséquent retardent le mouvement de la voiture dans un instant et l'accélèrent aussitôt après. Ces variations rapides de la force de traction se succédant ainsi exercent sur le cheval, dans le cas d'attelage non élastique, des secousses continuelles qui, non-seulement s'ajoutent aux pertes de travail, mais encore fatiguent plus le cheval que quand il exerce la même traction avec une vitesse régulière.

Par ce fait que le *Pferdeschoner* rompt les secousses, cessent avec lui ces pertes de travail accumulées ; en outre, la force de traction moyenne devient plus faible qu'avec le mode d'attelage ordinaire.

Les avantages du *Pferdeschoner* semblent être les suivants :

- 1) Tirage plus facile de la voiture;
- 2) Chocs faibles dans la marche, et par là moindre fatigue du cheval ;
- 3) Force de traction moindre.

La tâche de la station d'épreuve des machines est de montrer, par des recherches directes, l'existence de ces avantages et autant que possible d'évaluer en chiffres l'étendue de l'épargne, afin qu'on puisse, d'après les résultats numériques, juger si l'emploi du *Pferdeschoner* est à recommander.

En vue de ce but il a été fait onze expériences, qui devaient montrer l'influence des diverses qualités de sols sur l'appareil. Dans chaque expérience a été d'abord déterminé le tirage d'une voiture attelée d'un seul, cheval, avec un dynamomètre enregistreur; puis, entre le dynamomètre et la voiture, on a introduit un *Pferdeschoner* ; on a suivi au retour exactement la même voie et on a mesuré de nouveau le tirage.

Le dynamomètre enregistreur indiquait le tirage et ses variations pour chaque point de la voie, de telle sorte qu'on pouvait, obtenir de ses indications toutes les valeurs désirées et les comparer comme elles se présentent dans le tableau suivant.

Résultats des expériences exécutées à la station d'épreuve des machines agricoles et outils de Halle en Saxe, sur l'appareil (*Pferdeschoner*) de Fehrmann et Schwanck, de Berlin.

Résultats des expériences exécutées à la station d'épreuve des machines agricoles et outils de Halle en Saxe, sur l'appareil (*Pferdeschoner*) de Fehrmann et Schwanck, de Berlin.

NUMÉROS de l'expérience.	DATES.	QUALITÉ de la voie.	COULEUR de l'appareil.	CHEMIN parcouru en mètres.	CHARGE (y compris la voiture) en kilogrammes.	FORCE DE TRACTION dans le tirage		FORCE DE TRACTION moyenne		VARIATIONS de la force de traction	
						en kilogrammes.	avec l'appareil, en tant pour 100 de la force de traction sans appareil.	en kilogrammes.	avec l'appareil, en tant pour 100 de la force de traction sans appareil.	en kilogrammes.	avec l'appareil, en tant pour 100 des variations sans appareil.
1	18 Mai	Pavé.	Bleue.	60	1150	183 270	68	44 93	47	88 155	57
2	23 —	Pavé.	Noire.	100	1200	165 193	85	67 92	73	103 153	67
3	23 —	Gazon brut.	Bleue.	500	1100	137 150	94	78 74	107	80 143	56
4	23 —	Gazon uni.	Noire.	130	1200	110 132	77	29 56	52	30 48	
5	20 —	Pavé.	Noire.	170	1000	103 118	87	65 69	94	64 71	90
6	20 —	Gazon uni	Noire.	300	700	125 127	98	30 35	86	39 60	65
7	29 —	Pavé.	Noire.	178	700	120 155	77	50 44	114	51 78	65
8	12 —	Pavé.	Bleue.	60	1550	180 230	78	45 60	75	90 120	75
9	18 —	Pavé.	Bleue.	60	1150	183 39.)	47	60 140	43	120 280	43
10	23 —	Gazon brut.	Bleue.	500	950	160 172	93	72 81	89	143 162	88
11	23 —	Gazon brut.	Bleue.	500	950	175 135	140	75 67	112	120 113	106
						Force de traction dans le tirage en tant pour 100 de la force sans appareil.	Force de traction moyenne en tant pour 100 de la force m <sup>e</sup> sans appareil.	Variations en tant pour 100 des variations sans appareil.			
					Au pas....	83	82	66			
					Au trot....	89	80	78			

16

MAREY.

**Notes sur le tableau (de Deny Fady, sans garantie) :**

**Force de traction dans le tirage** : force de traction au démarrage,

**Avec l'appareil en tant pour 100 de la force de traction sans l'appareil** : pourcentage de la force de traction avec l'appareil en rapport de la force de traction sans l'appareil

**Force de traction moyenne** : la moyenne des valeurs pendant le parcours, hors démarrage (à priori).

**Variation de la force de traction** : amplitude de la variation de la force de traction, hors démarrage (à priori).

Les résultats en bas du tableau sont des moyennes (des pourcentage de la force de traction avec l'appareil en rapport de la force de traction sans l'appareil) des expériences n°1 à 7 (faites au pas) et celles du n°8 au n°11 (faites au trot).

Sur ce tableau on doit remarquer encore que les expériences du 12 et du 18 mai ont été faites avec une grande voiture ordinaire, dans la cour pavée de la sucrerie, mais les expériences du 23 et du 29 mai, avec une voiture sans ressorts, plus légère, à un seul cheval, en partie sur une route pavée montante, en partie sur une place à exercice.

Il a été employé d'abord un appareil plus faible (bleu) et puis un plus fort (noir).

Dans les résultats de chaque expérience sont toujours présentées dans la première rangée les valeurs pour la marche avec appareil, et dans la seconde celles pour la marche sans appareil. Les expériences n°1 à 7 ont été faites au pas ; celles du n°8 au n°11, au trot.

Si l'on extrait du tableau les valeurs moyennes pour le trot et le pas, qui seulement peuvent être significatives à cause des nombreuses circonstances ayant de l'influence sur les expériences, on a ainsi pour la traction avec l'appareil :

	Traction pour le tirage en centièmes de la traction sans appareil.	Traction moyenne en centièmes de la traction moyenne sans appareil.	Variations en centièmes des variations sans appareil.
<b>Au pas . . . . .</b>	<b>83</b>	<b>82</b>	<b>66</b>
<b>Au trot. . . . .</b>	<b>89</b>	<b>80</b>	<b>78</b>

D'après ces expériences, les chevaux tirent par conséquent avec l'appareil de **11 à 17 %** plus facilement ; leur traction moyenne est de **18 à 20 %** plus faible et les à-coups s'amoindrissent de **22 à 33 %**, de sorte que les chevaux sont de tous les côtés essentiellement épargnés ; il est encore à remarquer que toutes les expériences ont été faites en montant, sur le pavé, par conséquent qu'elles sont moins en faveur de l'appareil que des expériences en plaine.

Sur la durée de l'appareil, il n'est, quant à présent, pas encore possible de porter un jugement. Les anneaux de caoutchouc doivent être remplacés. Leur durée est vraisemblablement de plus de deux ans, parce que la fabrique garantit ses appareils pour ce temps.

Pour les voitures à fortes charges, les appareils coûtent 10 Marks la pièce, par conséquent, pour une paire de chevaux, 40 Marks.

Le *Pferdeschoner* est encore dans sa période de développement ; il faut admettre, par conséquent, qu'il donnera encore des résultats meilleurs et qu'il méritera de plus en plus son nom.

Dès à présent, il est à recommander sans restriction, parce qu'avec lui les chevaux peuvent non-seulement tirer et marcher plus facilement, mais encore aussi être garantis contre les secousses sur les voies inégales et tirer, dans le cas de nécessité, des charges plus lourdes.

Jul. Kohn, président, C. Freytag, Bolte, A. Gneist, Wust.

Extrait du *Früling's Landw. Zeitung*. — Octobre 1874.

Les conclusions de ce mémoire sont, comme on le voit, identiques à celles que j'ai tirées de mes expériences. Les chiffres qui y sont donnés s'accordent avec les miens. Ils présentent parfois des écarts assez grands dans des expériences où les conditions étaient les mêmes, mais, en l'absence de renseignements sur la nature des appareils employés pour l'estimation des vitesses et pour celle du travail effectué, on ne saurait discuter la précision de ces résultats.

De nouvelles recherches sont encore nécessaires, pour déterminer les conditions dans lesquelles la traction élastique donnera le maximum de ses avantages. Mais, dès à présent, l'avantage de la traction élastique semble démontré.

Bien que les questions de priorité me paraissent être, sur ce sujet, d'une importance secondaire, j'ai tenu à signaler, en même temps que les résultats publiés par M. Ferhmann, ceux que j'ai obtenus moi-même, avec la date de publication de chacun d'eux, afin de bien établir que dans la conduite de mes recherches, je n'ai pu être influencé par le travail de l'ingénieur allemand.

---