

# **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

## **Mécanisme et éducation des mouvements**

**Demeny, Georges**

**Paris, 1911**

Chapitre VI. Conditions Economiques de l'Utilisation de la Force  
musculaire

## CHAPITRE VI

### CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE L'UTILISATION DE LA FORCE MUSCULAIRE

*Lois et résultats. — Mesure du travail dans les cas simples.*

LOIS ÉCONOMIQUES. — Il n'est pas inutile de rappeler ici les règles générales de l'économie du travail qui dominent toutes les applications. Ces règles sont le corollaire de la loi du moindre effort. Celle-ci est la conséquence de l'inertie de la matière et de notre appréhension pour la douleur et la fatigue qui accompagnent tout effort. Trois conditions sont indispensables pour y satisfaire.

A. Il faut : l'économie dans l'intensité des contractions et dans la dépense d'excitation nerveuse.

B. L'économie dans la somme de travail en limitant les contractions aux muscles exclusivement nécessaires au mouvement voulu.

C. Une proportion convenable entre les temps d'activité et les temps de repos, c'est-à-dire un rythme ou cadence optimum.

TRAVAIL PHYSIOLOGIQUE ET TRAVAIL MÉCANIQUE. — Le travail produit par l'homme ne peut s'évaluer d'une façon absolue. Nous n'en pouvons constater que l'effet extérieur sous forme d'efforts musculaires et sous forme de mouvements ; mais ce n'est là qu'une partie de l'énergie produite et dépensée. Tout tissu vivant est capable d'un travail physiologique, dont nous ignorons la nature particulière mais dont nous connaissons souvent l'origine et la fin. Tout travail physiologique, dit M. Chauveau <sup>1</sup>,

1. A. Chauveau, Du travail physiologique et de son équivalence, *Revue scientifique*, 1888.

a sa source et son dénouement obligés dans le monde extérieur. Nous puisons dans les aliments les matériaux du travail et finalement nous restituons à la nature ce que nous lui avons emprunté momentanément en mouvement et en chaleur.

En réalité nous ne créons rien, nous ne faisons que transformer de l'énergie latente; rien ne se perd et tout doit se retrouver dans l'équation du travail.

Peu nous importe la nature du travail physiologique, le muscle crée-t-il de la chaleur et transforme-t-il une partie de cette chaleur en travail mécanique comme une machine thermique, ou bien la chaleur apparente est-elle seulement la fin, l'excrétion provenant du travail physiologique issu directement de combinaisons chimiques et passant par une forme intermédiaire et spéciale de l'énergie analogue à l'état électrique avant de devenir du travail mécanique.

Le muscle serait alors assimilable à une machine électrodynamique et non à une machine thermique. C'est ce que nous ignorons absolument. Nous constatons seulement qu'une certaine quantité de chaleur sensible disparaît quand apparaît une quantité équivalente de travail mécanique extérieur.

La chaleur sensible serait donc une conséquence du travail physiologique et mesurerait ce travail intérieur quand il n'y a pas mouvement.

Si ce travail est très intense le corps s'échauffe parce qu'il n'a pas le temps de se débarrasser de la grande quantité de chaleur produite en excès. D'ailleurs, peu nous importe l'équivalence du travail physiologique, il n'y a pour nous d'intéressant que l'effet utile extérieur.

Cependant nous ne pouvons pas raisonner sur la machine animale comme sur la machine ordinaire. Il y a des différences essentielles qui les séparent.

Pour un mécanicien, le travail d'une force agissant contre une résistance à vaincre se mesure par le produit de cette résistance par le chemin parcouru en sens contraire de la résistance et par son point d'application. Il faut un déplacement pour qu'il y ait travail. Une colonne supportant le poids d'une voûte ne travaille pas. Il n'en est pas de même de la machine animale si nous maintenons un poids immobile, nous nous fatiguons, nous ne pouvons longtemps produire cet effort statique, parce

que nous produisons du travail tout en restant immobile.

Dans une machine, si on élève au moyen de rouages quelques 1 kilogramme à 10 mètres ou 10 kilogrammes à 1 mètre on aura produit le même travail, ce travail pourra être répété un certain nombre de fois de suite sous une forme quelconque, cela importe peu pour la machine.

Chez l'homme, il est tout différent de travailler en faisant de grands efforts ou en répétant fréquemment de petits efforts et nous verrons justement qu'il faut savoir combiner les degrés de contraction, d'amplitude du mouvement et de durée des efforts pour obtenir le rendement maximum en effet utile.

Il serait intéressant de pouvoir doser d'après ces principes le travail extérieur dépensé dans les différents exercices et métiers manuels afin de les comparer, d'en établir l'équivalence. L'idéal serait de proportionner ainsi le salaire de l'ouvrier à la fatigue produite, abstraction faite, bien entendu, de la valeur artistique du travail.

Au point de vue militaire ce dosage présenterait bien des avantages si l'on connaissait ce qu'on peut attendre d'une troupe comme fond et comme vitesse sans dépasser les forces humaines. La nourriture, l'élément primordial du travail pourrait être aussi mieux choisie et mieux administrée suivant la quantité d'énergie à produire.

FORCE ET TRAVAIL. — Nous avons déjà insisté sur la différence essentielle entre le rendement en travail et la force musculaire.

L'Hercule du Nord, dit Poncelet<sup>1</sup>, tant vanté pour sa force prodigieuse n'eut probablement pas, dans un travail réellement utile et longtemps continué, pu soutenir le parallèle avec un de nos bons manouvriers ordinaires. Ainsi les coureurs rapides sont généralement peu capables sous d'autres rapports de rendre les services d'un homme moins agile, moins rapide, mais bons travailleurs.

Chacun est capable de produire une certaine quantité d'énergie extérieure. Le potentiel ou capacité d'énergie se mesure chez un sujet par le pouvoir qu'il a de faire de la chaleur et du travail, en considérant le travail dans son acception la plus générale.

1. Poncelet, *Cours de mécanique industrielle*.

Le travail peut se faire sous forme d'efforts musculaires, comme sous forme de travail moteur ou résistant, il peut se faire avec vitesse ou lentement; chez certains animaux l'énergie se manifeste sous forme électrique ou lumineuse; chez l'homme il peut consister simplement en travail cérébral, en manifestation de la pensée. Il n'en est pas moins vrai qu'il y a toujours dépense sous différentes formes correspondant à des organisations différentes. La capacité en travail dépend du rendement et surtout de la facilité avec laquelle on conserve l'élévation du potentiel, c'est-à-dire on peut créer de l'énergie au fur et à mesure de la dépense.

Le potentiel est en rapport avec l'activité des réactions et des échanges nutritifs, c'est-à-dire avec le travail physiologique.

On doit retrouver sous forme de combinaisons finales l'énergie qui disparaît et ne se manifeste pas extérieurement de sorte que le poids du corps varie de la différence entre son accroissement et sa dépense; cette variation est égale au poids des aliments ingérés diminué des excréments et de la déperdition due au travail musculaire et nerveux, à la chaleur, à l'électricité, aux vibrations sonores, aux combinaisons chimiques de toutes sortes se passant dans l'économie.

La vitalité de l'individu est liée aux phénomènes de la nutrition.

Échanges nutritifs faibles, vitalité languissante. Les cellules baignent dans le liquide nourricier mais ce n'est pas de la richesse de ce liquide que dépend la vitalité de la cellule, elle peut être inerte dans un milieu riche en aliments.

Pour augmenter la vitalité, il faut donc non seulement alimenter, mais aussi combattre l'inertie des cellules; il faut pour cela dépenser et provoquer les échanges nutritifs par la déperdition, modifier en un mot l'état chimique des liquides et des tissus en leur faisant produire du travail.

Un sujet affaibli chez lequel les échanges nutritifs sont peu intenses est comparable au vieillard, il lui faut de l'exercice, mais il ne bénéficiera de l'activité qu'il se donne que sous condition de ne pas dépenser plus qu'il ne peut réparer et de lui faire produire du travail sous une forme particulière convenable.

L'air, le travail, la lumière et l'aliment doivent agir simultanément et alterner avec le repos.

Il ne faut cependant pas s'arrêter dès que la réparation ne se fait plus intégralement mais persévérer dans l'effort volontaire car l'influence morale est pour beaucoup dans le résultat.

Il semble paradoxal de demander à un organisme affaibli, pour le fortifier, une dépense nouvelle croissant sans cesse. Cela s'explique par la propriété de réaction des tissus.

Exciter les organes, les centres nerveux en particulier, ce n'est pas augmenter la vitalité des tissus d'où dépendent le potentiel et l'amélioration réelle de l'individu.

L'augmentation de la nutrition, l'accroissement d'activité des échanges chimiques entre les aliments et les cellules vivantes, voilà le seul moyen d'augmenter la capacité en travail. Certains individus ont besoin d'une alimentation très riche pour produire bien peu de travail, la pauvreté de leur organisme ne leur fait utiliser qu'une très petite partie de leurs aliments.

Ils ne gagnent rien à fatiguer les éléments cellulaires en les excitant par des substances irritantes, les forçant à vivre trop vite. La conséquence de cette excitation sera le repos forcé et la vieillesse prématurée de ces éléments.

Les lois qui régissent le régime du travail et du repos sont celles de la réparation de la cellule vivante, ce n'est pas aux poisons qu'il faut demander une augmentation de rendement, mais à l'alimentation, au régime et à l'exercice seuls.

La sédentarité, les maladies par ralentissement de la nutrition, l'âge, diminuent le potentiel ; il en est de même des excès de dépense et de toutes les causes de fatigue.

Chez les nerveux comme chez les personnes qui s'excitent par les alcools, ce potentiel n'a pas une valeur constante, il est intermittent, de là des alternatives d'excitation et d'affaissement ; aussi lorsqu'il s'agit d'obtenir par l'exercice l'augmentation du potentiel, il faut tenir grand compte du coefficient individuel, sans cette précaution, le résultat peut être négatif.

La force de résistance consiste à ne pas subir l'influence des mauvaises conditions extérieures et dans la capacité de réagir constamment contre son milieu pour conserver son équilibre normal. Quand il s'agit d'utiliser l'énergie dont on est capable, il faut encore la dépenser sous une forme convenable à chaque organisation ; cette forme dépend de notre structure et de l'éducation ou de l'entraînement préalables.

**DIFFÉRENTES FORMES DE TRAVAIL.** — Le muscle travaille de trois façons : statiquement, c'est-à-dire en produisant un effort sans mouvement extérieur, en se raccourcissant et en se laissant étirer, c'est-à-dire en faisant du travail positif ou négatif.

Nous avons déjà parlé de ces différents modes de travail, mais il est utile d'y revenir si nous voulons préciser la notion de rendement de la machine humaine (Voy. *Les bases scientifiques de l'éducation physique.*)

**TRAVAIL STATIQUE.** — Dans le travail statique le muscle vibre, la fusion des secousses des différentes fibres produit le raccourcissement. Il faut déjà une certaine dépense d'énergie pour amener le muscle à un certain degré de tension même sans produire de travail extérieur. La tension élastique nécessaire à produire ce dernier demanderait d'après M. Chauveau huit fois plus de dépense en travail physiologique. Ainsi la force élastique du muscle depuis la force tonique jusqu'à l'effort statique est la conséquence du travail intérieur, c'est une transformation de l'énergie chimique et par suite une dépense.

Elle pourrait se mesurer par la valeur de cette force élastique évaluée en poids, et par le temps pendant lequel elle se maintient à un certain degré.

L'effort statique est donc un travail et même un travail pénible très fatigant car la circulation dans un muscle contracté et sans mouvement est mauvaise, insuffisante même pour entraîner les déchets produits dans le travail physiologique<sup>1</sup>.

**TRAVAIL MOTEUR.** — Le travail positif d'un muscle attelé à une résistance se mesure par l'effort multiplié par le chemin parcouru par son point d'application ; c'est la longueur dont on a déplacé la résistance en luttant contre elle, dans sa direction. C'est la définition du travail moteur. Le travail d'un muscle est proportionnel à son poids.

MM. Chauveau et Tissot ont reconnu que la dépense énergétique d'un muscle en travail et son degré de raccourcissement pendant ce travail sont dans les relations suivantes :

1° La dépense d'énergie est d'autant plus faible pour un même travail mécanique accompli, que le muscle est plus près de sa longueur maxima quand il se raccourcit pour travailler.

1. Note sur l'effort statique in *Ecole française.*

2° Les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé pour le soutien d'une charge, croissent avec le raccourcissement du muscle, la charge restant même constante.

3° L'oxygène absorbé et l'acide carbonique exhalé pour le soutien d'une charge croissent proportionnellement à l'augmentation de cette charge.

TRAVAIL RÉSISTANT. — Le travail négatif est au contraire du travail résistant. Je tiens un poids lourd à la main, l'avant-bras fléchi, je laisse cet avant-bras s'étendre sous l'action du poids tout en résistant avec les muscles fléchisseurs, ces muscles s'allongent mais cependant ils travaillent, ils luttent contre le poids et empêchent la vitesse de s'accélérer. Le travail résistant est égal au travail moteur du poids si la vitesse de chute de ce dernier est uniforme, c'est encore la valeur de ce poids multipliée par le chemin parcouru dans la direction de l'action musculaire.

Le travail moteur du poids est alors égal au travail résistant des muscles.

TRAVAIL UTILE. — Si nous examinons un cas plus complexe, celui où l'homme est attelé à une résistance à vaincre consistant dans son propre poids, dans une charge ou un fardeau à mouvoir verticalement ou horizontalement, ce qui nous intéresse, c'est le travail utile produit, c'est la grandeur du fardeau et la hauteur à laquelle ce fardeau a été élevé. Quel que soit le chemin par lequel nous l'avons transporté peu importe, le travail mécanique utile se mesurera toujours par le produit du poids par la hauteur d'élévation.

Ceci est vrai si l'on fait abstraction des déperditions de travail par la déformation du corps et du terrain. Les muscles ne sont pas attelés directement au fardeau à soulever, nous avons vu combien l'obliquité des insertions musculaires était défavorable à leur action. Tous les efforts musculaires ne se font pas dans la direction de la résistance à vaincre, il n'en est employé qu'une certaine partie en effet utile, les autres servent à changer la position des bras, des jambes et du tronc pour ramener le corps dans l'attitude la plus favorable à l'action. Le sol s'écrase sous les pieds, il consomme du travail; la montée ne peut

se faire verticalement, il faut une inclinaison convenable du chemin, de là un travail perdu dans le transport horizontal mais cependant essentiel à l'utilisation de nos forces.

Nous avons déjà montré combien la descente et la montée diffèrent au point de vue de la fatigue et de l'essoufflement produits (p. 271).

PRODUCTION JOURNALIÈRE DE TRAVAIL. — Des expériences faites par Vauban, Borda, Coulomb, il résulte qu'un homme peut en montant une rampe irrégulière sans aucune autre charge que son propre poids, produire une somme de travail évaluée à 205 kilogrammes élevés à 1 kilomètre ou 205 000 kilogrammètres.

Chez l'homme chargé, ces résultats diffèrent sensiblement. D'après Coulomb<sup>1</sup> ici apparaît l'influence de la manière d'exécuter le travail. Une charge trop lourde est incompatible avec le travail ; l'homme est écrasé par cette charge et il y a avantage à la diviser et à reprendre le travail en plusieurs fois.

Nous pouvons monter à 20 ou 30 mètres par un escalier à raison de 14 mètres par minute ; le poids moyen d'un homme estimé à 70 kilogrammes, on peut ainsi produire 980 kilogrammètres par minute. Mais cela ne peut durer longtemps.

Un homme ne peut monter plus de 6 voies de bois à 12 mètres de hauteur ; la voie étant de 734 kilogrammes. Ce travail peut s'effectuer en 11 voyages, 10 voyages pour les premières voies, 12 pour les dernières. Le poids à monter dans chaque voyage étant de 70 kilogrammes + 66 kilogrammes de bois, c'est-à-dire 138 kilogrammes élevés à 12 mètres et 66 fois total 109 000 kilogrammètres.

Un fort porteur a pu monter 17 voies de bois à un premier étage de 5 mètres dans un jour, en 187 voyages, il avait ainsi fourni 129 000 kilogrammètres de travail utile, mais il lui fallait ensuite deux jours de repos.

En réalité l'effet utile n'est que l'élévation du fardeau, le transport du poids du corps consomme beaucoup de travail perdu, mais cependant ce travail est nécessaire, on devrait lui ajouter le travail de descente qui est sensiblement égal au tra-

1. Coulomb, *Théorie des machines simples*.

vail de montée. En répétant ces expériences avec différentes charges, on voit que le maximum d'effet utile correspondrait à la charge de 53 kilogrammes environ. Lorsqu'un travail doit durer une partie considérable de la journée, il faut nécessairement diminuer les charges et augmenter le nombre des voyages à proportion.

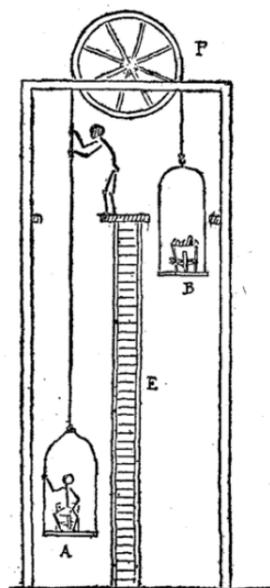


Fig. 530. — Disposition avantageuse pour élever des fardeaux en utilisant le poids de l'homme (DELAUNAY).

Une brouette pleine B est montée par l'homme et la brouette vide qui lui fait contrepois en A au moyen de la poulie P. Une échelle E permet à l'homme de remonter pour se placer dans le plateau B quand la brouette sera déchargée.

RENDEMENT MAXIMUM. — C'est en élevant le poids de son corps à vide au moyen des membres inférieurs comme dans le treuil des carriers que l'on peut produire la plus grande somme de travail. Dans une journée de 8 heures on peut ainsi effectuer 256 000 kilogrammètres.

On a construit sur ce principe des monte-charges pour élever des terres à un certain niveau. On amène une brouette chargée de terre sur le plateau inférieur, un ouvrier se place avec une brouette vide dans l'autre plateau. Ce dernier descend par excès de charge, la brouette chargée est élevée au niveau supérieur et déchargée tandis que des ouvriers sont uniquement occupés à monter du plancher supérieur à l'aide d'une échelle pour redescendre avec une brouette vide (fig. 530).

On peut produire ainsi dans une journée 280 000 kilogrammes de travail par homme. Ce nombre est bien supérieur à ce qu'on peut obtenir en travaillant avec les bras. En manœuvrant la sonnette d'un mouton destiné à enfoncer des pilotis, chaque homme soulève 20 kilogrammes du poids du mouton à 1 mètre. Il donne 20 coups à la minute et 60 à 80 coups de suite, puis il doit se reposer autant de temps qu'il a travaillé<sup>1</sup>. Pour manœu-

1. Delaunay, *Cours de mécanique appliqué*.

vrer un cabestan, il ne faut pas exercer plus de 12 kilogrammes à l'extrémité du levier et marcher avec une vitesse de 60 centimètres à la seconde. Pour tourner une manivelle de 32 centimètres de rayon, on exerce 7 ou 8 kilogrammes de pression et l'on fait 20 à 25 tours par minute. On arrivera ainsi à produire au mouton 100 000 kilogrammes et 172 000 kilogrammes à une manivelle, chiffres bien inférieurs au travail produit au moyen des jambes.

Un laboureur enfonce sa bêche de 25 centimètres et élève à chaque coup une motte de terre de 6 kilogrammes à 40 centimètres environ ; s'il donne 20 coups de bêche par minute, s'il faut faire un effort de 20 kilogrammes pour enfoncer la bêche au début et de 12 kilogrammes pour continuer à l'enfoncer, 15 kilogrammes en moyenne, en tenant compte du poids de la bêche évalué à 4 k., 7, on évaluera pour 181 mètres carrés de terre labourée, le travail quotidien à 96 600 kilogrammètres ; en y ajoutant la part de travail employée à casser les mottes et à étaler la terre, on arrivera au chiffre de 100 000 kilogrammètres par jour.

Il est bien entendu qu'on peut dans presque tous les métiers fournir pendant quelques minutes une somme de travail triple du travail moyen. On peut même consommer tout son travail journalier en deux ou trois heures, mais c'est au prix d'une fatigue excessive qui nécessite le repos.

COMPARAISON DE LA DÉPENSE DE TRAVAIL DANS DIVERS EXERCICES. — Un homme ne doit pas employer toute sa force lorsqu'il travaille d'une façon continue mais seulement une partie de l'effort dont il est capable.

Le maximum d'effort musculaire que l'on puisse produire est le soulèvement d'un poids entre les jambes ; on peut développer ainsi 200 à 300 kilogrammes. Mais on pourra répéter cet effort deux fois de suite et soulever le poids à 20 centimètres, total maximum, 120 kilogrammètres. C'est bien peu de chose comme résultat ; on risque encore de se blesser sérieusement.

Dans un saut en hauteur le travail se mesure par le produit du poids du corps par la hauteur d'élévation à laquelle s'est élevé son centre de gravité. Cela vient de l'équivalence du travail moteur et du travail résistant. Le travail résistant de la

pesanteur lorsque la vitesse du corps s'est annihilée, c'est-à-dire à la hauteur d'élévation  $H$  est  $PH$ . Le travail moteur maximum des muscles correspond à une hauteur donnée par cette valeur du travail résistant.

$$T = PH \text{ d'où } H = \frac{T}{P}$$

De là Chabry fait remarquer que si l'on compare deux animaux sauteurs de poids différents mais géométriquement semblables et ayant des tissus jouissant des mêmes propriétés : un géant et un nain appartenant à la même espèce, on voit que les rapports des poids du corps  $P$  sont égaux aux rapports des poids des muscles du saut  $p$  supposés semblables et égaux au rapport du travail de ces muscles. Les rapports du travail moteur de

$$\frac{p'}{p} = \frac{P'}{P} = \frac{t'}{t}$$

l'ensemble des muscles seront égaux au rapport du poids du corps.

$$\frac{T'}{T} = \frac{P'}{P} \text{ or } \frac{T'}{P'} = \frac{T}{P} = H$$

Donc la hauteur du saut sera la même pour le nain et le géant. Nous avons montré les préjugés à l'égard du saut d'une puce à propos de l'analyse du saut (p. 362).

**TRAVAIL DE DEUX SUJETS SEMBLABLES DE TAILLES DIFFÉRENTES.** — Il résulte de l'observation précédente que chez deux hommes géométriquement semblables et physiologiquement égaux le travail dont chacun est susceptible est proportionnel au poids respectif des muscles ou à leur volume, c'est-à-dire au cube des tailles. Si l'un était de dimension double de l'autre, il serait par cela même capable d'un travail 8 fois plus grand et comme les forces musculaires sont comme les sections des muscles, il serait 4 fois plus fort.

L'étendue de la surface de la peau serait seulement 4 fois tandis que son volume serait 8 fois celui du petit. Le rapport de la surface au volume du corps serait ainsi de 1 à 2 chez l'homme grand comparativement à l'homme petit. Ce dernier a donc une surface cutanée et une surface respiratoire plus grande

par rapport à son volume. Il se trouve physiologiquement mieux doué pour les échanges gazeux. Tous les phénomènes chimiques qui se passent à la surface du corps ou de certains tissus sont dans le même cas. En particulier la surface de refroidissement externe est plus grande, il lui faudra une production plus active de chaleur pour conserver une température constante du corps.

**TRAVAIL DES BRAS COMPARÉ A CELUI DES JAMBES.** — Revenons à la comparaison du travail dans divers exercices. Dans un saut, le travail des muscles n'est pas seulement mesuré par la hauteur d'élévation du corps, il faut y ajouter le travail résistant dans la chute.

Si celle-ci se fait sur place, le travail résistant est égal au travail moteur et le travail total serait donc  $T = 2 PH$  à la condition de tomber sur un sol élastique n'absorbant pas de travail en se déformant.

On élève facilement son centre de gravité à  $0^m,60$  en sautant en hauteur ; le travail est dans ce cas pour le poids de 70 kilogs 42 kilogrammètres pour l'élévation, autant pour la chute ; total 84 kilogrammètres et l'on peut répéter ce saut 10 fois de suite en une minute.

Sil'on cherche à s'élever à la force des bras on pourra faire successivement, si l'on est très exercé et particulièrement doué, 5 à 6 tractions de bras qui vous élèvent de 60 centimètres soit 42 kilogrammètres pour chaque mouvement,  $70 \text{ kilog.} \times 0^m,60 \times 6 = 252$  kilogrammètres, pour 6 tractions. Il faut être très fort pour monter à 10 mètres de hauteur à la corde lisse, cela ne représente jamais que 700 kilogrammètres et ne peut être répété plusieurs fois de suite. Si l'on élève un haltère de 40 kilogrammes 3 fois de suite à 2 mètres de hauteur, on aura produit  $40 \times 2 \times 3 = 240$  kilogrammètres, les jambes auront participé à ce travail mais néanmoins c'est avec un grand effort qu'il aura été effectué et il sera impossible de le recommencer souvent de suite.

Si on compare ces travaux entre eux, on est frappé de la petitesse du rendement dans la locomotion par les mains ; le travail est proportionnel au poids des muscles et le rapport du travail fait avec les bras ou avec les jambes serait alors sensi-

blement proportionnel au poids du membre supérieur et du membre inférieur. Le travail des jambes montre une supériorité véritablement écrasante sur le travail des bras (fig. 531).

Les mêmes poids, si lourds à la main, seraient soulevés aisément par les jambes. Les acrobates japonais jonglent ainsi avec des hommes en se couchant sur le dos, ce qu'il leur serait impossible de faire avec les mains.

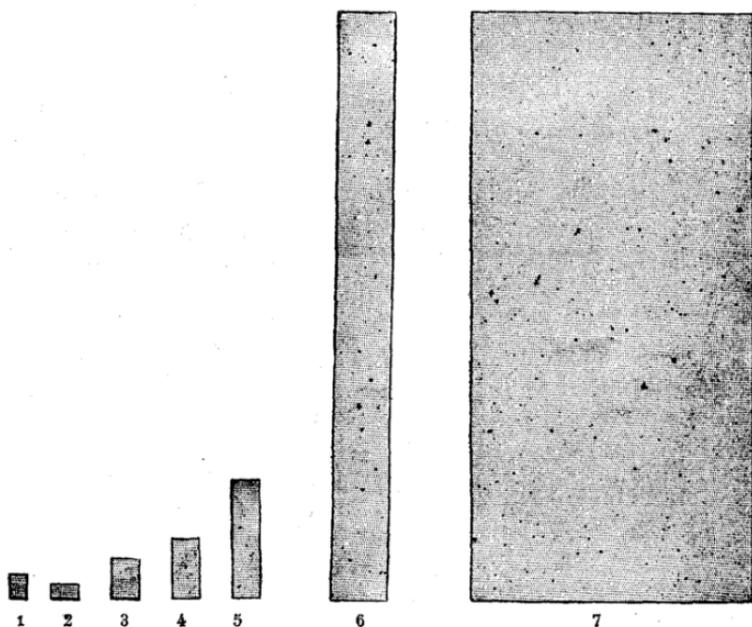


Fig. 531. — Valeur relative du travail accompli normalement par un même sujet avec les bras ou avec les jambes dans les actes suivants :

1. Soulever un haltère de 40 kilogs à 2 mètres, trois fois de suite (bras); — 2. Soulever 6 fois le corps à 60 centimètres de hauteur à la force des bras; — 3. Monter à une corde de 10 mètres de hauteur avec les bras; — 4. 30 sauts successifs de 50 centimètres de hauteur (jambes); — 5. Montée d'un escalier de 6 étages (jambes); — 6. Montée à la tour Eiffel (300 mètres) (jambes); — 7. Ascension d'une montagne de 1,500 mètres (jambes). Le travail dépensé est proportionnel à la surface des rectangles figurés.

Somme toute, les bras sont faits pour exécuter du travail sous forme de vitesse, les jambes sous forme d'efforts intenses.

TRAVAIL SUIVANT L'HORIZONTALE ET SUIVANT LA VERTICALE. — Dans un saut en hauteur et longueur l'effort étant oblique, le travail total est la somme des travaux suivant la verticale et suivant l'horizontale. Le premier se mesure par la hauteur d'élévation,

le second par le chemin parcouru horizontalement par le corps dans le temps du saut connaissant la vitesse initiale communiquée au corps au départ ; le travail horizontal est la force vive de la masse du corps à ce moment, c'est-à-dire  $\frac{1}{2} m V^2$ ,  $V$  étant la vitesse horizontale du centre de gravité.

**TRANSPORT DES FARDEAUX.** — Lorsqu'on transporte un fardeau sur une route de niveau, le travail dépend exclusivement des résistances passives dues aux inégalités du terrain ; aussi voit-on la valeur de ce travail diminuer si l'on traîne le fardeau sur un sol rugueux ou si on le roule sur des rails. Le poids du fardeau ne crée d'autre élément de travail que par l'écrasement du sol et la déformation de la voiture. La résistance de l'air n'est à considérer que dans les grandes vitesses. Le travail est mesuré par l'effort moyen de traction multiplié par le chemin parcouru et cet effort diminue avec la qualité du chemin.

**TRAVAIL DANS UN PAS DE MARCHÉ.** — Il n'en est plus de même pour un marcheur ou un coureur. Dans la marche et la course, la force qui travaille n'est pas dirigée suivant la direction du chemin à suivre et de plus l'impulsion est périodique et non continue, de là une trajectoire sinueuse du centre de gravité et une variation périodique dans la vitesse de translation coïncidant avec le rythme de l'allure.

L'évaluation du travail produit pendant la marche n'est plus une chose simple, elle ne peut se faire qu'approximativement et avec des données expérimentales.

J'ai essayé de déterminer ce travail dans les allures marchées et courues ; si les résultats ne sont pas d'une rigueur absolue la valeur relative du travail et sa variation en fonction du rythme présente un intérêt certain.

C'est par l'emploi de la chronophotographie que nous avons obtenu la mesure des différents mouvements de la masse du corps et des membres inférieurs nécessaires à notre estimation<sup>1</sup>.

En faisant abstraction des mouvements latéraux du tronc, il y a lieu de diviser le travail dans la locomotion sur un plan horizontal en trois travaux élémentaires :

1° Le travail suivant la verticale ;

1. Marey et Demeny, Mesure du travail mécanique effectué dans la locomotion de l'homme, *Comptes rendus Ac. des Sciences*, 9 novembre, 1885.

- 2° Le travail suivant l'horizontale ;  
 3° Le travail nécessaire à l'oscillation du membre inférieur pendant son lever.  
 4° Le travail *statique* de soutènement <sup>1</sup>.

TRAVAIL SUIVANT LA VERTICALE. — Le *travail suivant la verticale* est le produit du poids du corps par la hauteur dont s'élève le centre de gravité dans les réactions verticales du tronc. Nous nous rappelons que pendant l'appui d'un pied la trajectoire de la tête s'élève, elle s'abaisse au moment du double appui. Le sommet de la tête oscille entre deux lignes de niveau distantes de 4 centimètres en moyenne. Les chronophotographies <sup>2</sup>

1. Ce travail étant un travail intérieur nous n'avons pas de moyens de l'évaluer.

2. Les analyses cinématiques des mouvements ont été faites par nous par la méthode de M. Marey (Voir : Marey, *Le Mouvement* ; Demeny, *Conférence sur la chronophotographie au Conservatoire des Arts et Métiers*).

La garantie offerte par cette méthode des photographies successives sur une même plaque dépend de deux choses :

- 1° Éviter les erreurs de perspective ;  
 2° Éviter les erreurs chronométriques dans l'obturation.

Les erreurs de perspective sont atténuées en prenant un point de vue très éloigné 60 à 80 mètres et en se servant d'objectifs ou de miroirs à long foyer et à grande ouverture.

Les erreurs d'obturation sont amoindries en employant un obturateur circulaire à rotation très rapide de grand diamètre et à fente large. On ne saurait trop se mettre en garde contre les obturateurs de plaque à vitesse modérée et à fente étroite qui photographient successivement chaque point de l'image en mouvement sur la plaque et donnent une netteté des contours avec une déformation générale de l'ensemble. Avec ces obturateurs trompeurs le pied d'un coureur peut être net, mais il n'est pas à sa place ou il est déformé parce qu'il s'est déplacé d'une quantité appréciable pendant la durée de l'obturation.

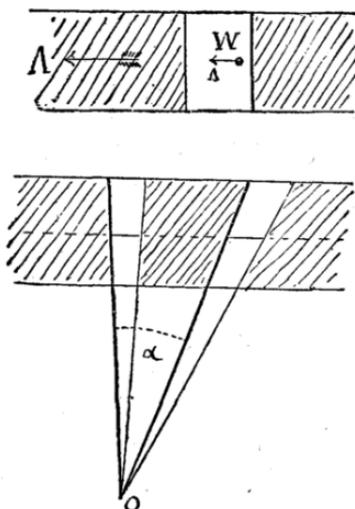


Fig. 532. — Obturation au moyen d'un disque fenêtré.

M image d'un point lumineux animé d'une vitesse  $v$  sur la plaque photographique et photographié au moyen d'un obturateur à rideau ayant une vitesse  $V$ .

Le flou est l'espace parcouru sur la plaque par le point lumineux M pendant le temps d'éclaircissement ou de passage de la fenêtre ;  $a$  étant la largeur de la fente,  $V$  la vitesse d'obturation,  $v$  la vitesse de l'image du

donnent exactement cette trajectoire (fig. 535). Nous avons aussi mesuré les réactions verticales directement et nous les avons prises pour les oscillations du centre de gravité en les corrigeant de la petite quantité dont le centre de gravité se déplace dans le corps par suite de la flexion des jambes.

Si le poids du marcheur est 75 kilogrammes et l'amplitude des oscillations verticales 0<sup>m</sup>,04, chaque élévation du corps représente un travail positif de 3 kilogrammètres, chaque abaissement un travail négatif de même valeur et, comme il y a deux

point lumineux; le temps d'éclairement est  $\frac{a}{V-v}$ , le flou =  $\frac{av}{V-v}$  il est proportionnel à  $a$  la largeur de la fente, à la vitesse de l'image sur la plaque et inversement proportionnel à la différence des vitesses de l'obturateur et de l'image lumineuse (fig. 532).

Quand  $v = V$  le flou est continu, quand  $v = 0$  il est nul.

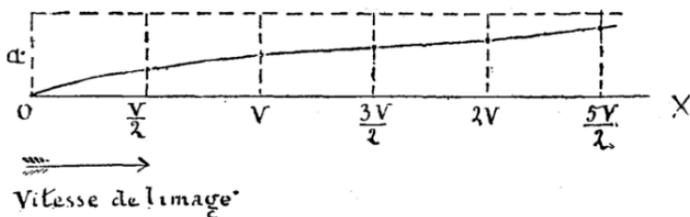


Fig. 533. — Courbe donnant la loi du flou de l'image photographique en se servant d'un obturateur à fente se mouvant en sens contraire de l'image du point lumineux à photographier.

Si  $V$  et  $v$  augmentent en même temps de même quantité le flou augmente. Si l'image et la fente ont des vitesses de sens contraire, la vitesse relative de l'image par rapport à la fente est  $V + v$ , le flou =  $\frac{av}{V + v}$

c'est-à-dire plus petit que  $\frac{av}{V - v}$

Si  $a$  est constant et  $V$  aussi, on voit que si  $v$  augmente  $\frac{V}{v}$  diminue et le flou augmente mais est toujours inférieur à la largeur de la fente, à la limite pour  $v$  infini il y aurait égalité.

La limite minimum a lieu pour  $v = 0$  le flou est nul. Le flou varie donc entre 0 et la largeur de la fente.

La discussion de la formule dans les deux cas donne lieu aux deux figures ci-dessous qui représentent la variation du flou (fig. 533 et 534).

1° La fenêtre progresse dans le sens de l'image

pour $v = 0$ . . . . .	flou = 0
$v = V$ . . . . .	flou = infini
$v = nV$ . . . . .	» $\frac{n}{1-n}$
$v = \text{infini}$ . . . . .	» $a$

oscillations dans un pas complet, le travail correspondant aux oscillations verticales sera de 12 kilogrammètres à chaque pas. C'est évidemment là une valeur supérieure au travail réel mais c'en est une limite supérieure. Il est bon de remarquer que si le corps s'abaisse sur le sol au moment du double appui à cause de l'écartement des jambes, le centre de gravité du corps ne s'abaisse pas d'une quantité égale.

2° La fenêtre progresse en sens contraire de l'image

$$\begin{aligned} v = 0 & \dots \dots \dots \text{flou} = 0 \\ v = V & \dots \dots \dots \text{»} \quad \frac{a}{2} \\ v = nV & \dots \dots \dots \text{»} \quad \frac{n}{n+1} a \\ v = \text{infini} & \dots \dots \dots \text{»} \quad a \end{aligned}$$

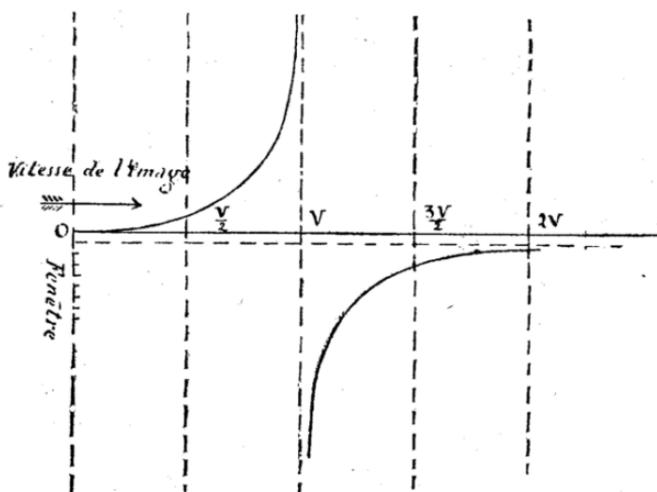


Fig. 534. — Loi du flou de l'image photographique obtenue avec un obturateur à fenêtr étroite se mouvant dans le même sens que le point lumineux à photographier.

Dans le cas d'un disque de rayon  $r$  et de fente  $a$ .

$k$  représente la largeur de la fente pour l'unité de rayon  $\frac{a}{r} = k$

Le flou correspondant à l'angle  $\alpha$  dont a tourné le disque serait

$$Fl\alpha = \frac{kv}{1 - \frac{v}{rtg\alpha}}$$

Le flou augmente avec  $\alpha$ .

Le flou diminuerait quand  $v < rtg\alpha$  ou  $V$ .

Le changement d'attitude déplace le centre de gravité et le fait remonter dans le corps par le fait de l'écartement des jambes (fig. 536, 537 et 538).

Cela a pour effet de rectifier la trajectoire réelle du centre de

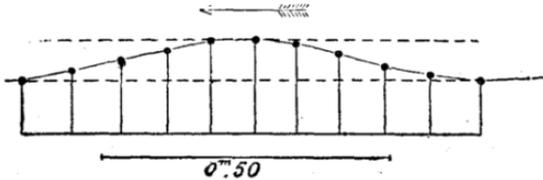


Fig. 535. — Portion de la trajectoire de la tête pendant l'appui du pied dans la marche montrant la projection sur une ligne horizontale des espaces parcourus par la tête dans des temps égaux.

On voit ces espaces diminuer dans la partie correspondant au maximum.

gravité dans l'espace et de diminuer ainsi ses oscillations et le travail suivant la verticale.

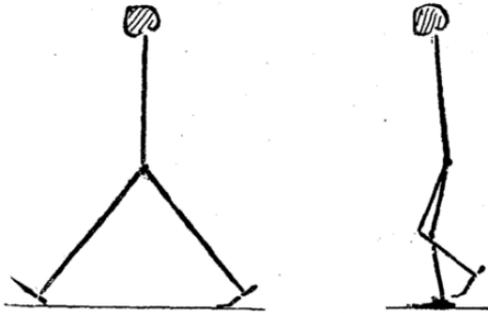


Fig. 536. — Attitudes de la marche dans lesquelles le centre de gravité se trouve élevé dans le corps ce qui modifie la trajectoire décrite dans l'espace.

**TRAVAIL DÉPENSÉ SUIVANT L'HORIZONTALE.** — La vitesse de translation du corps suivant l'horizontale est périodiquement variée. La variation de force vive qui en résulte mesure le travail moteur ou résistant dépensé aux différentes phases de l'appui des pieds. La variation de vitesse se mesure par l'écartement des points de la trajectoire photographiée à des intervalles égaux d'un cinquantième de seconde. Il suffit de construire la courbe de la vitesse et d'en prendre les maximums et minimums pour

en déduire les valeurs correspondantes de la force vive qu'a possédée la masse du corps, c'est-à-dire  $\frac{1}{2} M (V^2 - v^2)$ .

Le travail moteur et le travail résistant effectués par les

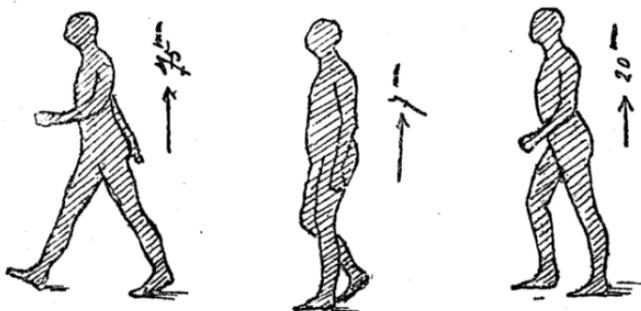


Fig. 537. — Attitudes d'un marcheur et quantités correspondantes dont le centre de gravité est élevé dans le corps par suite du déplacement des jambes.

muscles égalent chacun la moitié de cette variation de force vive, de sorte que la somme de ces deux travaux a pour limite

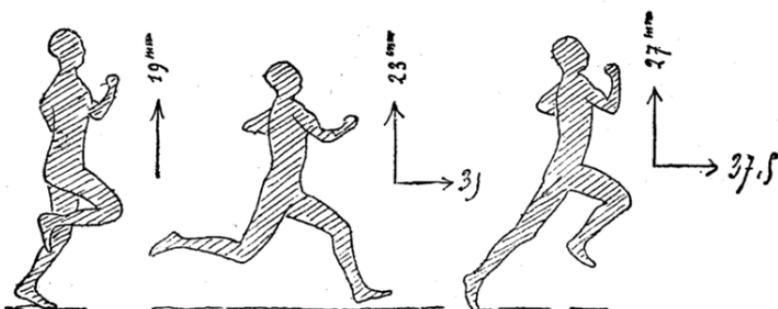


Fig. 538. — Attitudes de la course avec indication du déplacement du centre de gravité en hauteur et en avant.

Les chiffres expriment des millimètres, les flèches le sens du déplacement du centre de gravité dans le corps.

supérieure la variation de force vive tout entière. Comme pour le travail vertical le travail résistant n'est pas totalement perdu, une partie sert dans la période suivante comme travail moteur parce que les muscles restent dans une certaine tension, de sorte que la valeur réelle du travail dépensé est infé-

rière au chiffre obtenu par ce moyen, mais c'est une limite supérieure.

**TRAVAIL MUSCULAIRE DÉPENSÉ POUR FAIRE OSCILLER LE MEMBRE INFÉRIEUR PENDANT LE LEVER.** — Dans aucun cas, le transport du membre inférieur d'arrière en avant ne répond à l'oscillation du pendule; ce serait du moins le mouvement complexe d'un système composé de deux pendules articulés bout à bout éloi-

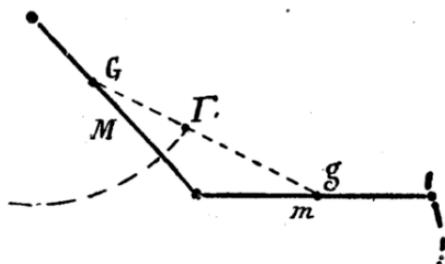


Fig. 539. — Mesure du travail dans l'oscillation de la jambe dans la marche.

$Mm$ , masse des segments de la cuisse et de la jambe; —  $Gg$ , ligne joignant les centres de gravité de ces segments; —  $\Gamma$ , centre de gravité de la ligne  $Gg$  et trajectoire de ce centre de gravité dans l'espace.

gnés de leur position d'équilibre et oscillant sous l'action de la pesanteur et de celle des muscles tandis que le point de suspension lui-même, la hanche, se meut d'un mouvement varié sur sa trajectoire curviligne (fig. 539).

Dans cette translation du membre, l'action musculaire peut être secondée par la pesanteur, mais elle n'est jamais nulle, surtout pour les allures rapides, contrairement à l'opinion des frères Weber.

La mesure du travail est alors complexe, pour l'estimer approximativement, j'ai employé différents moyens. Le premier consiste à déterminer le moment d'inertie du membre inférieur par rapport à son axe de rotation et à mesurer sur les chronophotographies la vitesse angulaire maximum qu'il acquiert. On a ainsi les éléments nécessaires pour déterminer la force vive communiquée au membre oscillant en tenant compte de sa déformation pendant ses mouvements de flexion ou d'extension.

Une seconde manière plus expéditive est de comparer la durée d'oscillation dans une allure donnée (fig. 540), à

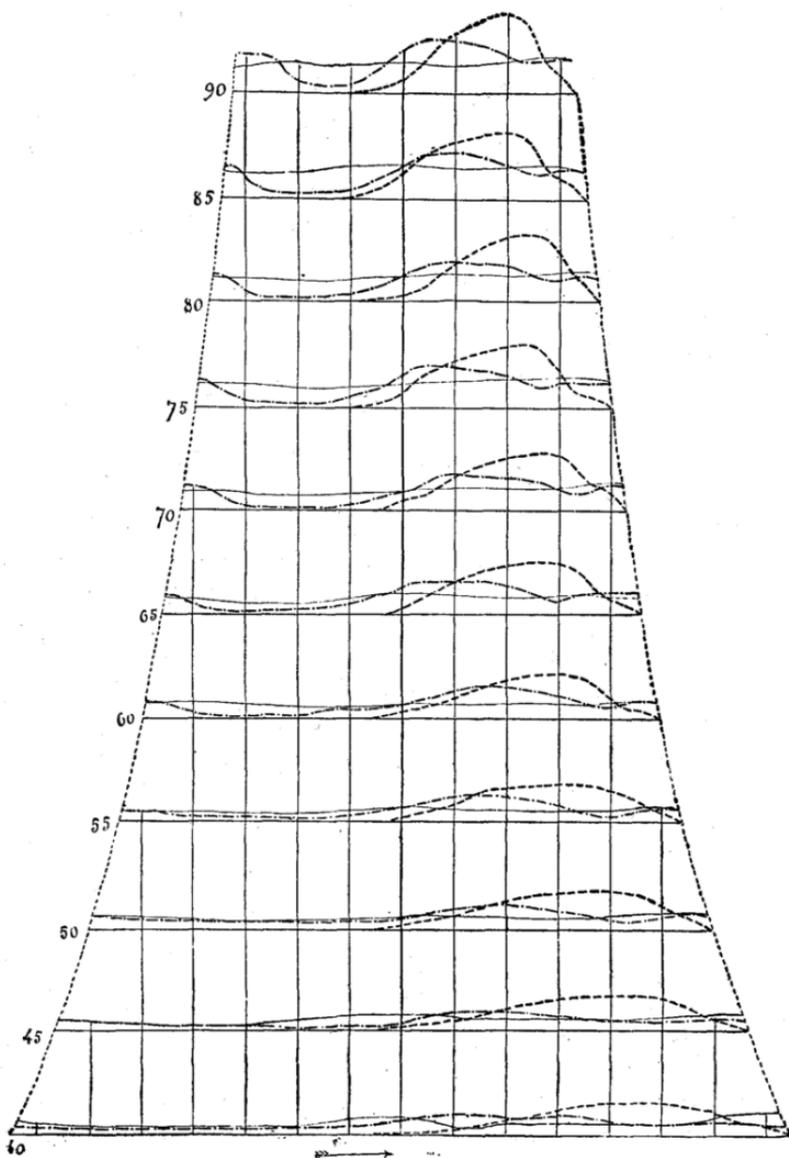


Fig. 540. — Variations en fonction du temps des vitesses horizontales de la hanche, du genou et de la cheville pendant un pas de marche à des allures de 40 à 90 pas à la minute.

Traits allongés, cheville; point et barre, genou; trait continu, hanche; unité de temps,  $\frac{1}{50}$  de seconde, chaque ordonnée correspond à 1/10 de seconde.

la durée d'oscillation libre du membre inférieur; cette dernière est toujours plus longue que la précédente. Il faut donc un certain travail pour obliger le membre à osciller dans un temps plus court égal à la période de lever du pied. Ce travail est justement le travail des muscles. Je l'obtiens approximativement comme il suit :

J'ai par expérience la durée de l'oscillation libre de la jambe soit  $t$ , d'où la longueur  $l$  du pendule simple correspondant. J'ai par expérience également la durée du double appui correspondant à une cadence donnée, d'où par différence la durée  $t'$  de l'oscillation vraie de la jambe pour cette cadence.

Tout se passe comme si la pesanteur agissait avec plus d'intensité sur la jambe.

La valeur de l'accélération théorique de la pesanteur pour faire osciller la jambe dans le temps  $t'$  au lieu de  $t$  valeur de l'oscillation pendulaire, est  $g' = \frac{\pi^2}{t'^2} l$  correspondant à une augmentation de poids représentée par  $m (g'-g)$ . L'arc d'oscillation du pendule étant environ  $50^\circ$ , la hauteur de chute de la masse de la jambe correspondante  $h$  multipliée par l'excès de poids  $m (g'-g) h$  représente le travail des muscles pour obliger la jambe à osciller dans un temps plus court<sup>1</sup>.

La masse du corps et la masse de la jambe sont obtenues facilement. La masse du corps c'est le rapport  $\frac{P}{g}$ , pour avoir le poids de la jambe nous avons d'abord cherché son volume en eau déplacée dans une cuve spéciale et nous l'avons multiplié par la densité moyenne du corps.

Puis nous avons cherché sur le cadavre des données directes, nous avons été aidé dans ce travail par le professeur Sappey. Nous avons eu trois sujets à notre disposition; voici les chiffres pour l'un d'eux :

1. On peut aussi se servir de la formule suivante :  
 T étant le travail dépensé dans l'oscillation du membre inférieur;  
 P le poids de ce dernier;  
 $t$  la durée d'oscillation propre de la jambe;  $t'$  la durée de l'oscillation dans l'allure considérée;  
 R la longueur du pendule simple correspondant au membre inférieur;  
 $\alpha$  l'angle d'oscillation du rayon du membre pendant le lever du pied.

$$T = 2P \frac{t'^2}{t^2} R \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right).$$

Age . . . . .	61 ans.
Taille . . . . .	1 <sup>m</sup> ,74
Longueur du membre inférieur . . . . .	0 <sup>m</sup> ,84
Circonférence supérieure de la cuisse . . . . .	0 <sup>m</sup> ,46
Circonférence du mollet . . . . .	0 <sup>m</sup> ,31
Poids total du corps . . . . .	60 kil., 500
Longueur de la cuisse . . . . .	0 <sup>m</sup> ,38
Longueur de la jambe et du pied . . . . .	0 <sup>m</sup> ,46
Poids du membre inférieur . . . . .	9 kil., 500
Poids de la cuisse . . . . .	6 kil. 25
Poids de la jambe et du pied . . . . .	3 kil. 25
Le centre de gravité répond à une ligne passant par le centre de la rotule.	

Les données photographiques nous permettaient d'ailleurs de connaître la position  $\Gamma$  du centre de gravité du membre inférieur à chaque instant de l'oscillation.  $G$  et  $g$  étant les centres de gravités de la jambe et de la cuisse on a  $\frac{\Gamma G}{\Gamma g} = \frac{m}{M} = \frac{p}{P}$

En appliquant ces données et ces méthodes au calcul du travail pour tous les rythmes de la marche et de la course j'ai obtenu les résultats suivants :

Première série d'expérience ; allures marchées depuis la cadence de 40 à 90 pas à la minute, allures courues de 90 à 145.

Pour l'allure la plus lente, cadence 40 pas :

Translation du membre inférieur . . . . .	0kgm,3
Oscillations verticales du corps . . . . .	6 ,2
Variation de la vitesse horizontale . . . . .	2 ,5
Total . . . . .	<u>9kgm,0</u>

Dans la course vive j'ai obtenu comme chiffres correspondants :

Translation du membre inférieur . . . . .	3kgm,4
Oscillations verticales . . . . .	2 ,3
Variations de la vitesse horizontale . . . . .	18 ,4
Total . . . . .	<u>24kgm,1</u>

Ainsi la dépense de travail dans un demi-pas sur terrain plat varie de 9 kilogrammètres à 24 kilogrammètres par demi-pas. Si l'on tient compte du nombre des pas effectués en une minute

à ces allures extrêmes, on trouve 720 kilogrammètres dans la marche lente et 6748 kilogrammètres dans la course à toute vitesse. Soit 12 kilogrammètres par seconde dans le premier cas et 112 kilogrammètres dans le second.

**INFLUENCE DU RYTHME SUR LE TRAVAIL DÉPENSÉ.** — Si l'on compare entre elles les valeurs des différents éléments du travail dépensé dans un pas, on trouve qu'ils ne sont pas influencés de la même manière, par la rapidité de l'allure. Ainsi, dans la marche lente, le travail dépensé dans les oscillations verticales est plus grand que celui qui correspond aux différences dans la vitesse de la translation horizontale; dans la course rapide, c'est l'inverse qui se produit.

Il était donc nécessaire de suivre à travers toutes leurs phases les variations que chacun des éléments du travail éprouve sous l'influence d'une accélération graduelle de la cadence des allures. Pour rendre ces variations plus saisissables je les ai ramenées (fig. 541) à la forme graphique.

Dans la construction de ces courbes, j'ai pris pour abscisses les nombres des pas effectués à la minute et, pour les ordonnées, j'ai ajouté bout à bout les longueurs correspondant à chacun des éléments du travail total.

Pour toutes les cadences ces valeurs sont disposées de bas en haut suivant le même ordre : 1° la valeur du travail dépensé dans la translation du membre inférieur; 2° celle qui correspond aux oscillations verticales du corps; 3° celle qui est liée aux variations de la vitesse dans la translation horizontale.

Les courbes de la figure 541 montrent que les différents éléments du travail total varient de façons qui semblent bizarres; mais ces variations s'expliquent aisément par certaines conditions cinématiques ou dynamiques propres aux différentes allures.

*A. Variations du travail dépensé dans la translation du membre inférieur.* — Le travail dépensé dans cet acte croît d'une manière sensiblement proportionnelle à la cadence; un fait qui étonne au premier abord, c'est que, pour une même cadence, la course coûte moins de travail que la marche. Ainsi, pour 90 pas à la minute, la marche dépenserait 1<sup>kgm</sup>,4 pour la translation du membre inférieur, tandis que la course n'en

dépense que 0,5, et pourtant la vitesse absolue du membre est plus grande si l'on court que si l'on marche.

Cette différence de travail tient à ce que la vitesse du membre par rapport au tronc doit seule être considérée dans ces évaluations; or cette vitesse est plus grande dans la marche que dans la course.

En effet, à égale cadence du pas, la durée de l'oscillation du membre inférieur est d'autant plus grande que celle de l'appui du pied est moindre. Cet appui, dans la marche, excède la moitié de la durée du pas complet; dans la course, au contraire, la durée de l'appui est toujours inférieure à la moitié de celle du pas<sup>1</sup>. Or, comme le déplacement angulaire du membre inférieur est à peu près le même dans la marche et dans la course, la vitesse sera d'autant moindre que la période d'oscillation aura plus de durée (fig. 364).

Une conséquence physiologique de cette inégalité de la durée d'oscillation du membre aux différentes allures, c'est la tendance instinctive qu'on éprouve à courir, au lieu de marcher, aussitôt qu'on impose à l'allure une cadence trop rapide. C'est une des nombreuses manifestations de notre propension naturelle à rechercher le moindre effort dans tous les actes musculaires.

*B. Variations du travail dépensé dans les oscillations verticales du corps.* — La figure 541 montre que cet élément du travail ne croît pas régulièrement avec la rapidité de la cadence. Dans la marche, ce travail augmente rapidement entre cinquante-cinq et soixante-dix pas à la minute, puis va en décroissant; dans la course, il est très grand pour les cadences les plus lentes et diminue à mesure que l'allure devient plus rapide. Les deux facteurs de cet élément du travail étant le poids du corps et l'amplitude de ses oscillations verticales, c'est aux variations de celles-ci que se rapportent les inégalités du travail dépensé aux différentes allures.

Nous avons vu la relation existant entre la longueur du pas et les oscillations verticales et de plus la longueur du pas et la cadence (fig. 322).

1. Voir à ce sujet : Demy, Variations de la durée du double appui des pieds dans la marche de l'homme, *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, séance du 15 juin 1885.

Dans la course, le travail est plus grand pour les cadences lentes et décroît ensuite d'une façon continue. Les oscillations verticales suivent une variation semblable. Aux cadences lentes il faut que le corps ait été élevé très haut pour ne retomber que tardivement sur le membre et l'appui; aux cadences rapides, une faible étendue est imposée à l'oscillation par la courte durée qui lui est assignée.

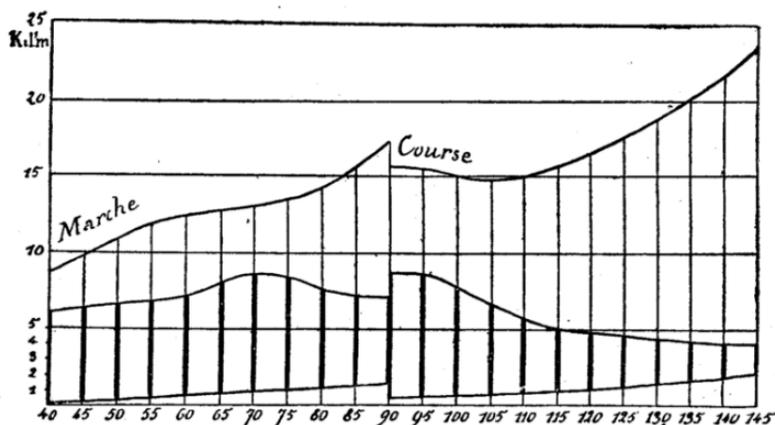


Fig. 541. — Valeurs relatives des trois éléments du travail dépensé dans la marche et la course à des rythmes croissant de 40 à 145 pas à la minute.

Chaque ordonnée indique en kilogrammètres : 1° Le travail nécessaire à l'oscillation de la jambe pendant le lever; — 2° Le travail absorbé par les réactions verticales du tronc; 3° Le travail nécessaire à conserver au corps une vitesse moyenne horizontale. (Sujet pesant 64 kilogs; marche sur terrain dur et de niveau).

Dans la marche, l'amplitude des oscillations verticales du corps est liée à la longueur du pas; elle en est indépendante dans la course, où l'on observe même, à cet égard, une relation inverse: nous avons exprimé ces rapports dans la figure 322

C. *Variations du travail dépensé dans les variations de vitesse de translation horizontale du corps.* — Cet élément du travail s'accroît assez régulièrement avec la vitesse de l'allure et avec la longueur du pas. Dans la course, il prend une valeur très grande, quoique les variations absolues de la vitesse soient faibles; cela tient à ce que les variations de la force vive acquise ou perdue par la masse du corps sont proportionnelles à la différence des carrés des vitesses maxima et minima de la translation.

**LIMITE DE LA VITESSE.** — Cet accroissement de travail pour passer d'une vitesse de la course à une autre vitesse plus grande explique la limite imposée à la vitesse d'un coureur.

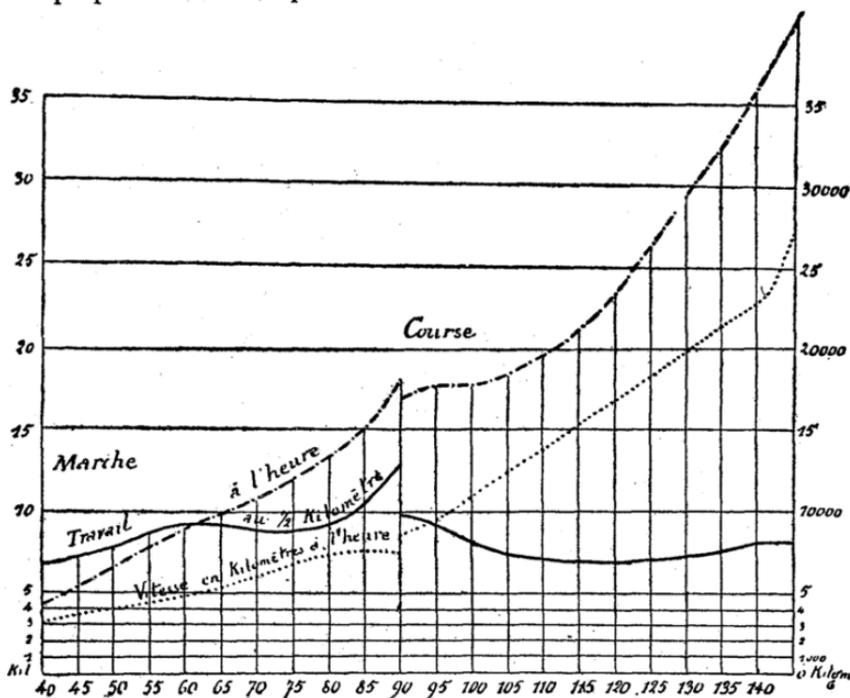


Fig. 542. — Comparaison du travail à l'heure et au kilomètre dans des allures dont la cadence s'accélère régulièrement ; variations correspondantes de la vitesse.

Les chiffres indiqués sur la ligne des abscisses représentent la cadence de l'allure, les nombres des ordonnées des kilogrammètres.

Pour passer en effet d'une vitesse  $V_0$  à une vitesse  $V$  il faut dépenser un travail mesuré par la demi-variation de force vive de la masse du corps c'est-à-dire :  $\frac{1}{2} m(V^2 - V_0^2)$  ou  $\frac{1}{2} m(V + V_0)(V - V_0)$ .

Le travail supplémentaire est donc proportionnel à la différence de vitesse acquise et à la somme des vitesses, il dépend donc de la valeur de la vitesse initiale, et croît très vite avec elle.

**TRAVAIL A L'HEURE ET TRAVAIL AU KILOMÈTRE.** — Des données

précédentes il est facile de déduire le travail à l'heure et au kilomètre correspondant à la vitesse de progression et pour les cadences de 40 à 140 pas à la minute. J'ai construit le tableau suivant sur ces données expérimentales (fig. 542).

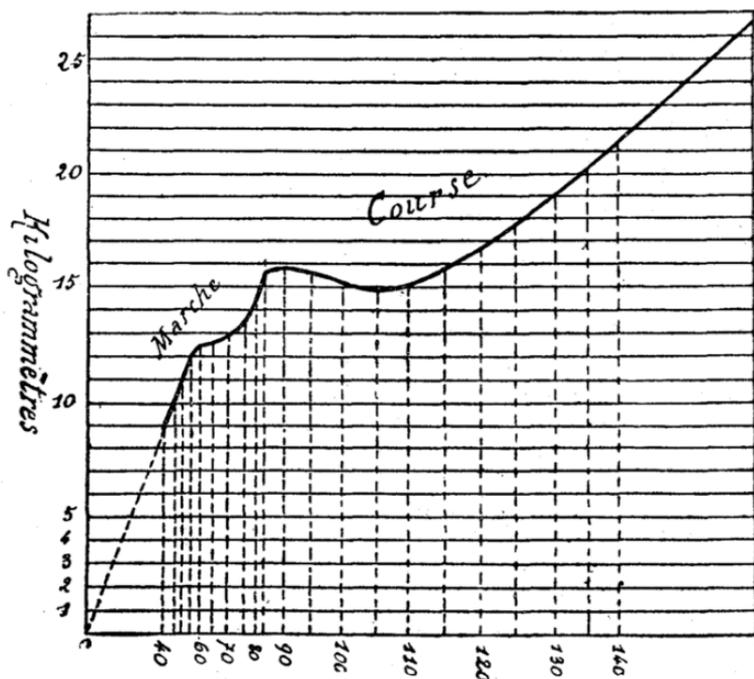


Fig. 543. — Courbe de la variation du travail dépensé dans un pas en fonction de la vitesse de progression dans la marche et la course.

Les chiffres sur l'axe des abscisses indiquent les rythmes correspondants.

En comparant la marche et la course au point de vue du travail dépensé on constate les différences suivantes :

*Dans la marche*, la dépense de travail croit toujours avec la vitesse de progression, et cet accroissement est très grand pour les allures qui dépassent les cadences normales de 55 à 65 doubles pas à la minute.

*Dans la course*, la dépense de travail pour une vitesse de progression peu supérieure à celle de la marche est plus grande

que dans la marche, mais la dépense *décroit* pour une course plus rapide et s'élève ensuite dans les limites indiquées par le tableau précédent (fig. 543).

J'ai négligé le travail dû à l'effort statique de soutien du membre à l'appui, mais il est entendu que ces évaluations n'ont qu'une valeur comparative, du reste la valeur absolue de nos résultats est un maximum.

**RYTHMES AVANTAGEUX ET RYTHMES DÉFECTUEUX.** — C'est pour ces

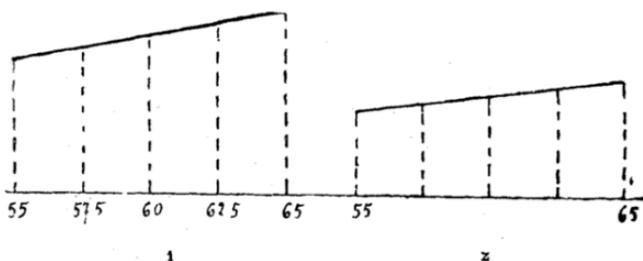


Fig. 544. — 1. Réactions verticales du corps en millimètres dans la marche aux rythmes 55-65 pas à la minute.

L'ordonnée 55 correspond à 4 centimètres d'élévation.

2. Travail correspondant en kilogrammètres.

Les ordonnées représentent le travail.

raisons que nous avons distingué dans les allures de l'homme des rythmes avantageux et des rythmes défectueux au point de vue de l'utilisation économique de la force musculaire, utilisation qui est le but final de nos études sur la locomotion.

Si l'on veut parcourir la plus grande distance avec le moins de dépense ou franchir une distance donnée dans le temps le plus court, on devra recourir à des allures différentes et choisir la cadence la plus favorable.

Pour la marche rapide, à partir de 70 pas à la minute la dépense de travail croît rapidement, pour la course le travail est assez grand aux cadences lentes. il diminue quand la fréquence des pas s'accroît, puis augmente de nouveau, il y a donc, pour chaque allure, certaines cadences favorables, ce sont celles où la vitesse croît plus vite que la dépense de travail.

D'autres considérations doivent intervenir encore pour

motiver le choix des allures. Il ne faut pas que la dépense de travail se fasse en un temps trop court, sans quoi la réparation

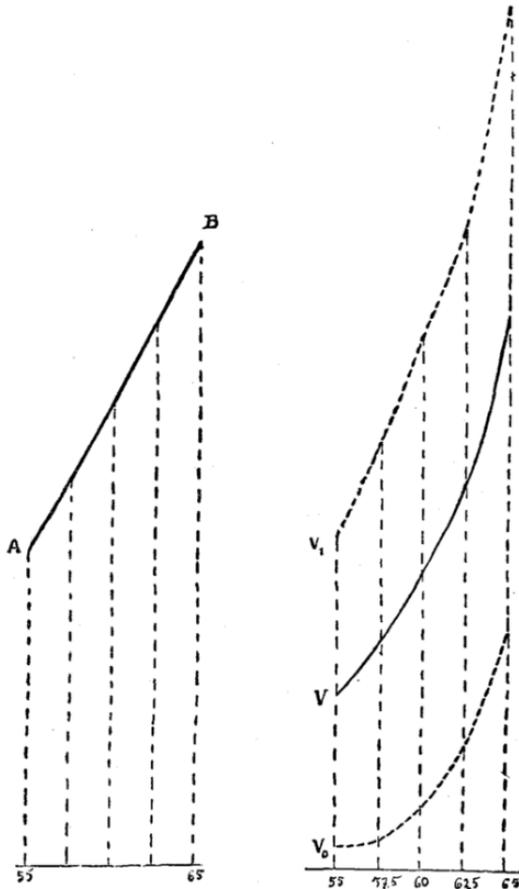


Fig. 545. — Courbes de la vitesse moyenne de progression  $V$  du corps et des vitesses minimum  $V_0$  et maximum  $V_1$  pendant l'appui du pied dans la marche entre les cadences 55 et 65 pas à la minute.

AB, variations absolue de la vitesse à la seconde de la masse du corps pendant l'appui du pied. Échelle de réduction  $1/4$ .

des forces musculaires n'arriverait plus à compenser la fatigue. On peut impunément soutenir une longue marche au bout de laquelle on aura dépensé un grand travail, tandis qu'une course rapide épuiserait en peu de temps la force musculaire avec une dépense de travail beaucoup moindre. Il y a donc lieu de déter-

miner pour chaque allure la dépense de travail à l'heure et au kilomètre, ainsi que les relations de la vitesse avec la cadence (fig. 542).

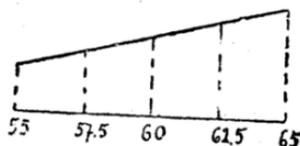


Fig. 546. — Travail correspondant à la variation de force vive de la masse du corps dans la marche aux rythmes 55 à 65.

Les ordonnées représentant le travail en kilogrammètres sont à la même échelle que dans la figure précédente.

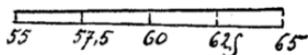


Fig. 547. — Travail dépensé dans l'oscillation du membre levé aux rythmes 55 à 65 pas à la minute.

Les ordonnées représentent le travail en kilogrammètres et sont à l'échelle de la figure précédente.

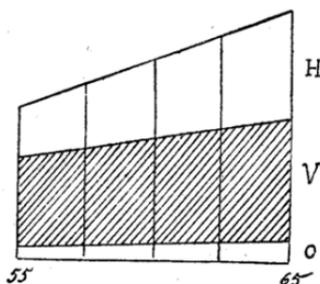


Fig. 548. — Travail total dans un pas aux rythmes de 55 à 65 pas à la minute.

On a ajouté bout à bout les ordonnées correspondant au travail horizontal H, au travail vertical V et au travail dû à l'oscillation du membre inférieur O, obtenu précédemment. (Échelle des figures précédentes).

**CADENCES DE 55 A 65 PAS A LA MINUTE.** — Dans une seconde série d'expériences, j'ai repris les calculs pour les allures marchées avantageuses, c'est-à-dire pour les cadences de 55 à 65 pas à la minute et j'ai cherché à trouver les manières économiques de franchir les distances. Voici les résultats de ces observations :

Sujet, taille 1<sup>m</sup>,66.

Longueur du membre inférieur jusqu'à terre et chaussé 0<sup>m</sup>,88.

Longueur des segments : cuisse 39 centimètres, jambe et pied 49 centimètres.

Hauteur du centre de gravité au-dessus du sol 0<sup>m</sup>,945.

Poids du corps, 64 kilogrammes.

Masse du corps, 6,524.

Poids du membre inférieur, 8 kilogrammes.

Masse — — 0,815

1. Travail suivant la verticale.

Réactions verticales en millimètres (fig. 544).

Travail suivant la verticale  
(limite inférieure).

	kilogr.
Cadence 55 . . . . .	2,560
— 57,5 . . . . .	2,88
— 60 . . . . .	3,072
— 62,5 . . . . .	3,328
— 65 . . . . .	3,520

2. Travail suivant l'horizontale (fig. 545 et 546).

CADENCE	VITESSE MOYENNE de progression à la seconde de la masse du corps pendant l'appui du pied.	VARIATION ABSOLUE de la vitesse pendant l'appui.	DEMI-VARIATION de force vive pendant l'appui.
55	$V = 1,486$	$d = 0^m,15$	Kgm $mVd = 1,45$
57,5	1,513	0 <sup>m</sup> ,185	1,82
60	1,543	0 <sup>m</sup> ,225	2,45
62,5	1,565	0 <sup>m</sup> ,26	2,94
65	1,666	0 <sup>m</sup> ,305	3,31

## 3. Travail dépensé dans l'oscillation du membre levé (fig. 547).

CADENCE	Durée de l'oscillation libre du membre inférieur.	Longueur du pendule simple correspondant.	Durée du demi-pas.	Durée du double appui.	Durée de l'oscillation de l'oscillation du membre inférieur	Accroissement correspondant d'accélération.	Accroissement théorique du poids.	Hauteur de chute de la masse de la jambe.	Travail en kilogrammètres.
55	0"576	0,332 mètre.	0"545	0"082	0,46	5,57	4,53	0,055	0,24 kgm
57,5	»	»	0"521	0"08	0,44	6,99	5,66	»	0,31
60	»	»	0"5	0"077	0,42	8,64	6,99	»	0,38
64,5	»	»	0"479	0"074	0,40	10,53	8,52	»	0,46
65	»	»	0"461	0"07	0,39	11,59	9,33	»	0,51

## Travail total dans un pas en kilogrammètres (fig. 548).

CADENCE	VALEUR minimum.	VALEUR moyenne.	VALEUR maximum.
55	4,23	6,23	8,46
57,5	5,01	7,51	10,02
60	5,90	8,85	10,80
62,5	6,72	10,08	13,44
65	7,34	11,01	14,68

## Valeur du travail à l'heure et au kilomètre.

CADENCE	NOMBRE de pas à l'heure.	LONGUEUR du pas.	VITESSE de progression.	NOMBRE de pas au kilomètre.	TRAVAIL	
					à l'heure.	au kilom.
55	3 300	1,52	5 016	657	20 559	4 093
60	3 600	1,55	5 580	645	32 860	5 708
65	3 900	1,60	6 240	625	42 939	6 881

APPLICATIONS

ÉCONOMIE OBTENUE PAR ALTERNANCE DE MARCHÉ, DE COURSE ET DE HALTE. — Il y a une infinité de manières de parcourir une étape, on réalise une économie sérieuse au moyen d'alternance de marche et de course convenablement choisis.

1<sup>re</sup> manière. Étape d'une heure.

40 minutes de marche au rythme 60 parcourt 3.240<sup>m</sup> en 2.400 pas.  
 10 — course — 100 — 1.800<sup>m</sup> en 1.000 pas.  
 10 — repos.

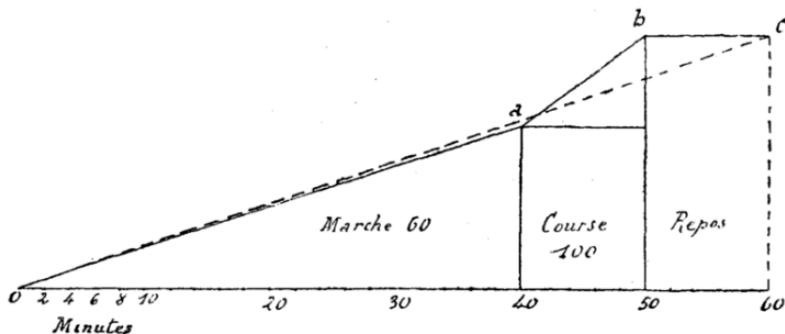


Fig. 549. — Manière de parcourir 5.040 mètres à l'heure au moyen de 40 minutes de marche, 10 minutes de course et 10 minutes de repos. Vitesse moyenne OC correspondant à une marche continue au rythme de 65 pas à la minute.

Vitesse réalisée : 5.040 mètres à l'heure ce qui correspondrait au rythme 65 environ sans aucun repos (fig. 549) et à 3.900 pas.

Travail dépensé approximativement à l'heure. . . . . 88.600 kgm.  
 Travail dépensé en marchant uniformément au rythme 65 98.124 —  
 Économie réalisée (fig. 550). . . . . 9.524 —

Travail dans un pas de marche au rythme 60.	24,7
— — — — — 65.	25,16
— — — — — course 100.	29,32

2<sup>e</sup> Manière. — Vitesse obtenue 5.638 m. à l'heure, correspondant à un rythme de 67,5 et à 4.050 pas (fig. 551).

17 minutes de marche au rythme 60.	1.020 pas.
8 — course — 100.	800 —
17 — marche — 60.	1.020 —
8 — coursé — 100.	800 —
10 — de repos.	

Travail approximatif à l'heure. . . . .	97.300 kgm.
Espace parcouru: . . . . .	5.638 mètres.
Travail dépensé en marchant uniformément au rythme 67,5 pour la même distance parcourue. . . . .	101.979 kgm.
Économie réalisée (fig. 552) . . .	4.679 kgm.

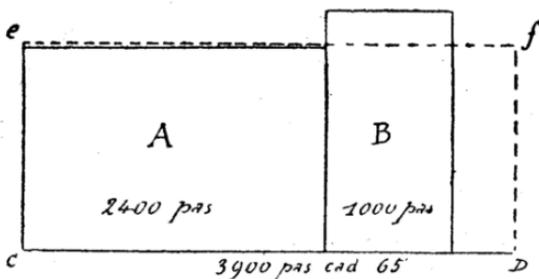


Fig. 550. — Travail dépensé approximativement dans l'étape ci-dessus, le rectangle *cdef* pointillé représente le travail qui serait dépensé en marchant uniformément à la cadence 65.

A, surface correspondant à 2.400 pas de marche au rythme 60 ; B à 1.000 pas de course à la cadence 100.

Travail dans un pas de marche au rythme 60	24,7
— — — 67,5	23,98
— course — 100	29,32

**INFLUENCE DU TERRAIN ET DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR.** — Si le terrain monte ou descend, s'il est meuble, s'il y a du vent tous ces résultats peuvent être modifiés et c'est à l'expérience d'en déterminer les écarts.

Ainsi dans une montée ou dans une descente les lois du rythme sont changées, le pas est plus long en montée qu'en descente et bien que le travail résistant de la descente soit équivalent au travail moteur de la montée, celle-ci est toujours plus pénible et amène plus de désordre dans la respiration, l'attitude penchée en avant y est pour quelque chose, mais il y a cer-

lainelement d'autres éléments qui nous échappent, peut être le moment d'action des muscles est-il moins favorable dans la montée, dans la descente le poids du corps suffit à commencer

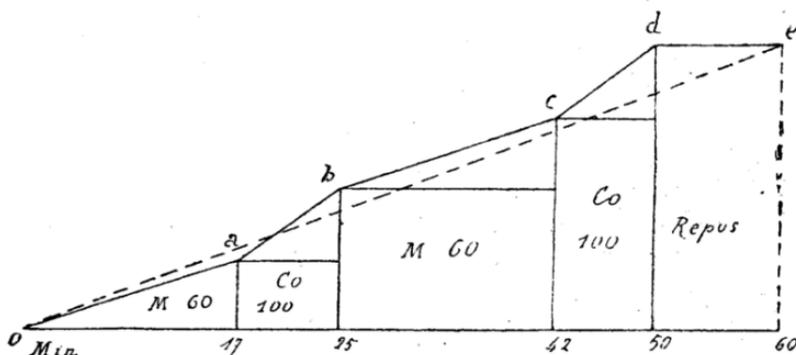


Fig. 551. — Manière économique de parcourir 5.630 mètres à l'heure en marchant 17 minutes au rythme 60; en courant 8 minutes au rythme 100, en répétant cette allure et en se reposant 10 minutes, ce qui correspondrait à une marche continue au rythme 67,5 avec la vitesse uniforme *oe*.

le mouvement, les muscles n'interviennent que pour ralentir la chute et la jambe qui se porte en avant pour recevoir le poids

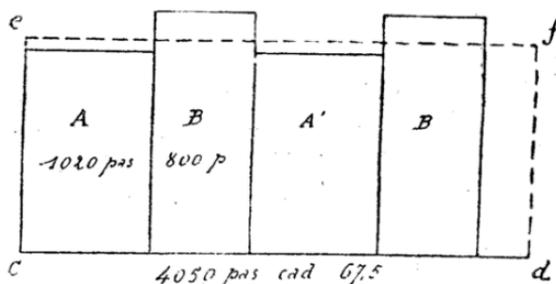


Fig. 552. — Travail dépensé approximativement dans l'étape ci-dessus. A, B, travail correspondant à la marche et à la course; A' B', id.; cdef, travail qui serait dépensé au rythme 67,5 en marchant d'une façon continue.

Ces nombres se rapportent à un sujet de 1<sup>m</sup>,67, du poids de 67 kilog. — Il ne faut considérer que leur valeur relative.

du corps peut agir sans grande dépense si elle est étendue, tandis que pour monter il faut un effort sérieux et alternatif des deux jambes. De plus, dans le travail résistant de la descente, les muscles font un travail négatif, ils sont contractés en s'allon-

geant, ce qui facilite la circulation dans leur tissu. J'ai indiqué plus haut à propos de la marche ascendante que l'essoufflement ne se produit pas dans la descente, peut-être faut-il l'attribuer à l'observation précédente.

Si le sol s'écrase sous le pied, il y a une déperdition de travail due au déplacement de la matière du chemin. Cette déperdition se mesurerait par l'effort nécessaire à écraser la terre multipliée par l'enfoncement de l'empreinte du pied (fig. 334).

Le vent a une action positive ou négative s'il est d'arrière ou debout ; de côté il gêne l'équilibre du corps. Le vent modifie considérablement la vitesse de progression et l'attitude du corps.

**TRAVAIL DANS LES SAUTS AVEC ÉLAN.** — Le travail dans un saut avec élan s'évalue de la même manière que le travail pendant la course. Le travail total est la somme des travaux suivant la verticale et suivant l'horizontale.

Un saut avec élan, nous l'avons vu, consiste dans une course préalable destinée à faire acquérir au corps une vitesse considérable. Au moment de l'appel du pied, cette vitesse change de direction et de valeur, surtout dans le saut en hauteur où la jambe fait du travail résistant pendant l'appel.

Le corps s'élève à une certaine hauteur pendant qu'il progresse horizontalement avec la vitesse acquise à la fin du coup de jarret. Le travail se mesure donc comme il suit :

$$\text{Travail vertical} = PH$$

$$\text{Travail horizontal} = \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_0^2).$$

Ces données se rapportent au centre de gravité du corps avant et après le coup de jarret.

Il serait juste d'y ajouter la force vive du corps acquise pendant la course qui précède le saut, alors le travail horizontal serait égal à la force vive du corps après le coup de jarret, et de compter le travail résistant de la chute égal au travail moteur.

$$\text{Travail total} = 2 \left( PH + \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_0^2) \right)$$

Pour un saut d'un mètre chez un sujet pesant 64 kilogrammes et après une course de 6 mètres à la seconde.

On aura :

Travail vertical	=	64	×	2	=	128	kgm.
Travail horizontal	=	6,52	×	36	=	234	—
Total.						362	kgm.

Ceci nous suffit pour nous montrer combien la dépense de travail est considérable dans le saut, l'exemple choisi est en effet un petit saut.

Dans un balancement à la suspension on pourrait considérer 1° le saut initial qui élève le centre de gravité du corps de poids  $P$  à la hauteur  $h$  et qui demande le travail  $Ph$ ; 2° le saut final demandant un travail résistant égal au précédent soit  $2 Ph$ .

L'oscillation est obtenue par le travail de la pesanteur et il resterait à évaluer le travail nécessaire pour produire le changement d'attitude ou la déformation du corps, ceci n'est guère commode.

TRACTION D'UNE VOITURE SUR UNE ROUTE. — La traction d'une voiture sur une route bien plane et bien horizontale est très



Fig. 533. — Surfaces représentant le travail dépensé dans la traction d'une voiture avec un trait rigide A et avec un trait élastique B.

On voit dans la figure supérieure les à-coup indiquant les variations de l'effort exercé par le cheval sur la voiture. Dans la traction élastique les à-coup ont disparu.

favorable à l'action d'un moteur continu comme le vélocepede mais lorsqu'on y attelle un homme ou un cheval, l'utilisation de la force n'est pas parfaite si l'on ne prend pas certaines précautions.

La progression de l'homme est variée, à chaque pas les traits de la voiture se tendent et se relâchent, de là des chocs perdus parce que la voiture ne possède qu'un moment très court la même vitesse que l'homme. La vitesse tend à être uniforme mais l'homme va tantôt plus vite, tantôt plus lentement que la voiture.

M. Marey a depuis longtemps constaté l'avantage de relier les animaux à leur voiture par des traits élastiques, on utilise plus de 25 p. 100 du travail perdu sans cela dans les chocs.

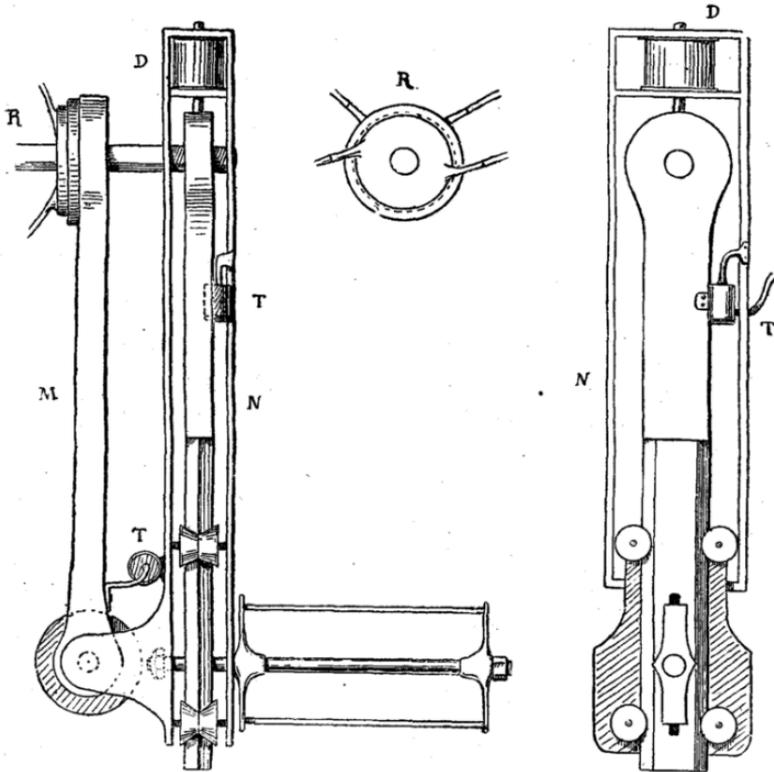


Fig. 554. — Manivelle dynamographique pour mesurer le travail dans le vélocipède (DEMÉNY).

La manivelle motrice M est entraînée par une seconde N portant la pédale. Tout appui du pied sur la pédale se traduit par une pression axiale et une pression tangentielle écrasant les disques de caoutchouc D et actionnant de petites pompes à air T qui communiquent avec les tambours enregistreurs. R est une boîte à air où s'adaptent, sans être entraînés par la rotation de l'axe, les tubes de transmission.

Dans des expériences reprises depuis sur ces données nous avons constaté que les aires proportionnelles au travail pour le même chemin parcouru par une victoria attelée élastiquement ou avec des traits rigides sont dans le rapport de 87 à 100 sur un terrain horizontal d'assez bonne composition (fig. 553). On voit dans les courbes de l'effort disparaître dans le premier cas les à-coups correspondant à chaque traction du cheval au trot.

AVANTAGE DU VÉLOCIPÈDE ET MESURE DU TRAVAIL. — L'avantage du vélocipède consiste à éviter également ces à-coups et à se rapprocher d'un mouvement rectiligne et uniforme. Mais cet idéal n'est jamais atteint d'une façon parfaite, le coup de pédale se fait toujours sentir et le travail nécessaire pour entretenir la vitesse de la machine ne peut se déterminer que par expérience.

J'ai construit à cet effet, il y a longtemps déjà, une manivelle dynamographique spéciale s'adaptant à un tricycle et donnant à chaque instant l'effort diamétral et l'effort tangentiel du pied sur la pédale et pendant la marche (fig. 554 et 555).

La pédale était fixée à une glissière permettant un mouvement dans le sens de son axe et la manivelle motrice était entraînée par contact indirect avec la pédale. Entre la pédale et la manivelle des disques de caoutchouc très résistants étaient placés et, comme dans la disposition que j'avais employée dans le dynamographe, ils étaient chargés, en s'écrasant, de réduire le mouvement de la pédale soit dans le sens tangentiel soit dans le sens diamétral.

Cet écrasement actionnait deux petites pompes à air et de là se transmettait à deux tambours enregistreurs construits spécialement. L'inscription de ces efforts tangentiel et diamétral se faisait sur un cylindre enregistreur actionné par la roue du vélocipède et tournant ainsi en fonction du chemin parcouru. Les aires correspondantes de chaque tracé étaient proportionnelles aux travaux élémentaires, leur somme donnait le travail total pour une distance parcourue.

Des dispositions spéciales permettaient de faire communiquer les tambours inscripteurs avec les manipulateurs malgré la rotation de la manivelle ce qui empêchait la continuité dans les tubes de transmission.

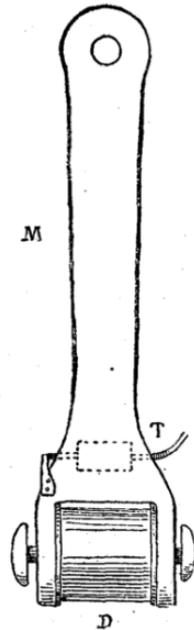


Fig. 555. — Manivelle dynamographique.

Partie destinée à explorer la pression tangentielle du pied sur la pédale

Ces recherches ont été interrompues à cause des frais considérables qu'elles nécessitaient, mais elles devraient être reprises vu l'intérêt qu'elles présentent.

Toutes les recherches précédentes constituent de consciencieux efforts pour se rendre exactement compte des faits naturels et en déterminer les lois.

Il faut bien entendu les continuer longtemps et les poursuivre si l'on veut arriver jusqu'à l'application pratique.

Dans celle-ci on envisage seulement les résultats obtenus sans savoir quelquefois comment on les obtient. C'est une erreur. Le progrès consiste justement à établir des liens entre les moyens et le but proposé. On ne peut y arriver autrement que par l'observation et l'analyse rigoureuse des faits. Il n'y a pas de méthode sans cela.

Voici quelques résultats pratiques constatés dans différentes épreuves dont il ne reste pas d'autres traces. Ce sont des maximum de vitesse obtenus par divers moyens de locomotion.

#### VITESSES COMPARÉES DES DIVERS MOYENS DE LOCOMOTION :

Locomotive sur rail.	1 kil. en 31 secondes .	115.850 à l'heure.
Traineau à voiles . . .	1 — 43 —	82.750 —
Cheval de course . . .	» — 59" 1/3 . . .	60,6 —
Torpilleurs. . . . .		52.660 —
Cheval au trot . . . . .	1 kil. en 1'19"	45.360 —
Yacht à vapeur. . . . .		43.745 —
Patineur sur glace avec vent arrière. . . . .		42.730 —
Paquebot transatlantique. . . . .		41.375 —
Bateau à rames . . . . .		17.035 —

Ces chiffres sont le résultat d'épreuves individuelles dans des records (voir le tableau ci-après). Ils diffèrent notablement dans le cas de marches collectives ou de marches en troupe dont nous allons donner quelques exemples.

#### MARCHE EN TROUPE. — 1<sup>re</sup> expérience :

Marche exécutée par les membres du Cercle de gymnastique rationnelle en mai 1885 40 kilomètres en 8 heures et demie. Observations recueillies par M. Passerieu, 1<sup>re</sup> étape, station d'Asnières au moulin de Sannois, 9 km, 7, 1 h. 51 m, les 4 k, 7,

MAXIMA ET MOYENNES	MAXIMA	MOYENNES
Vitesse de la marche à l'heure . . . . .	40 km. 833	6 kil.
Course de vélocité; m. à la seconde . . .	10 m.	5 m.
Course de fond; km. à l'heure . . . . .	18 km. 555	10 kil.
Vélocipède, record de l'heure et record de la distance . . . . .	75 kilom. 2.258 k. en 100 h.	35 kil.
Natation . . . . .	3 km. 8	2 kil.
Grimper avec les mains, hauteur d'élé- vation . . . . .	16 m.	12 m.
Longueur du saut, de pied ferme . . . .	3 m. 30	2 m. 50
— — avec élan . . . . .	7 m. 18	6 m. 25
— — avec la perche . . . . .	8 m. 25	7 m.
Hauteur du saut, de pied ferme . . . .	1 m. 61	1 m. 35
— — avec élan . . . . .	2 m. 02	1 m. 60
— — avec la perche . . . . .	3 m. 57	2 m. 90
Profondeur du saut . . . . .	4 à 5 m.	
Distance pour lancer une pierre, 7 k. 258.	14 m. 50	10 m.
— lancer le disque . . . . .	36 m. 04	28 m.
— lancer le javelot . . . . .		
Poids soulevé avec les bras . . . . .	240 k.	
Nombre de fois de suite, 37 k. 1/2 . . .	47	40
25 . . . . .	d. 55 g. 34	d. 30 g. 20
Poids soulevé avec les jambes . . . . .	1.500 à 2.000 kg.	

jusqu'au pont d'Argenteuil terrain uni; vitesse 92 mètres à la minute, rythme 62 à 63, longueur du pas, 1,46.

Du pont d'Argenteuil au moulin de Sannois 1 heure de marche vitesse: 80 mètres à la minute, ralentissement sensible, pente assez prononcée dans les derniers 1700 mètres, cadence, 72.

Halte d'une heure. On atteint le fort de Cormeille en une heure, distance 4 kilomètres, mauvais état de la route, cadence, 66.

9 kilométrés suivants jusqu'à Conflans 1 h, 55, vitesse, 78 mètres à la minute, cadence, 60 à 62, longueur du pas, 1 m. 30.

A 3 heures et demie, nouvelle étape, Bougival et Saint-Germain, 17 kilomètres.

4 heures de marche pour Bougival et 3 petites haltes de 20 minutes. Vitesse, 75 mètres à la minute. cadences variées. En entrant à Saint-Germain, la cadence tombe à 57, 58 avec raccourcissement très marqué dans la longueur du pas.

On voit dans cette marche exécutée par des jeunes gens que,

sur un parcours de 40 kilomètres, la vitesse tombe après le vingt troisième kilomètre de 92 à 78 et la longueur du pas de 1<sup>m</sup>,46 à 1<sup>m</sup>,30.

2<sup>e</sup> expérience ; Août 1885 :

Marche exécutée par la société de gymnastique *Alsacienne-Lorraine*, de Paris, 55 gymnastes ; sac au dos. Parcours en Normandie de Blangy à Dieppe en passant par Eu et le Tréport, 75 kilomètres en deux jours. La cadence de 63 fut toujours conservée.

Avant d'arriver à Dieppe, dans les dix derniers kilomètres, les sujets épuisés par la fatigue et la chaleur raccourcissaient le pas et accéléraient le rythme pour suivre leurs camarades. En arrivant à Dieppe on reprit la marche en corps à 63 pas à la minute.

3<sup>e</sup> expérience ; Avril 1886 :

1<sup>re</sup> étape : d'Ablon à Corbeil par Villeneuve-Saint-Georges, Brunoy et la forêt de Sénart, 22 kilomètres ; 4 h. 18 minutes de marche et quatre haltes de 10 minutes ; 75 mètres à la minute et pas de 1<sup>m</sup>,24 pendant 2<sup>km</sup>,5 ; même allure pendant les 13 kilomètres suivants. Les 6<sup>km</sup>,5 derniers sont parcourus en 1 h. 5 minutes c'est-à-dire avec une vitesse de 100 mètres à la minute avec un rythme très précipité.

2<sup>e</sup> étape : de Corbeil à Villeneuve-Saint-Georges par la forêt de Sénart et Montgeron, 16<sup>km</sup>,5 en 3 h. 20 minutes, coupées par deux haltes de 15 minutes ; vitesse 82 mètres à la minute.

A la fin de cette marche la cadence tombe à 59 et les pas sont de 1<sup>m</sup>,38.

La fatigue a encore ici diminué la cadence, la longueur du pas et la vitesse ont augmenté ; l'impulsion donnée par le guide a été pour quelque chose dans cette augmentation finale.

4<sup>e</sup> expérience :

Société de gymnastique *Alsacienne-Lorraine* à Pâques 1886  
Parcours 63 kilomètres, première journée de Bois-le-Roi à Montereau passant par Fontainebleau ; 34 kilomètres.

Pendant les 6 premiers kilomètres faits en 1 heure, cadence 63 à 64 pas de 1<sup>m</sup>,58 ; allure maintenue pendant 10 kilomètres. Après Thomery, terrain accidenté ; chaleur et monotonie de la

route, parcours 10 kilomètres en 2 heures, cadence 65, longueur du pas 1<sup>m</sup>,26. Pour atteindre Montereau avant la nuit, 4 kilomètres en une 1/2 heure à un rythme très accéléré. Deuxième journée 29 kilomètres en 5 h. 20. Vitesse 90 mètres à la minute, cadence 62, longueur du pas 1<sup>m</sup>,44. Cette moyenne se conserve à la fin de la journée.

Ces expériences montrent que la cadence et la longueur des pas diminuent après un certain nombre de kilomètres si on laisse les marcheurs à leur allure naturelle.

Dans les marches en corps l'allure devient plus uniforme, la cadence se maintient mais on voit la vitesse et la longueur du pas diminuer.

#### 5° expérience :

**MARCHE MILITAIRE.** — Marche exécutée le 10 décembre 1882, par les élèves de l'école gymnastique militaire de Joinville-le-Pont après 4 mois 1/2 d'entraînement aux exercices gymnastiques sous les ordres du commandant Bonnal.

*Itinéraire* : La Faisanderie, Nogent-sur-Marne, Neuilly-sur-Marne, Chelles, Brou, Pomponne, Lagny, Torcy, Champ, Noisy-le-Grand, Bry-sur-Marne, Joinville-le-Pont, La Faisanderie, total 44 kilomètres.

*Vêtement* : Sac portant sur les deux épaules 8 kilogrammes; pantalon de toile, capote, fusil et cartouchières vides; souliers et guêtres de cuir graissés avec du suif; pieds enduits d'une composition de savon et d'eau-de-vie.

Soupe au lard mangée à 6 heures du matin; on emporte lard, fromage, vin, pour être mangé à la grande halte.

Départ à 7 heures; beau temps, température + 6° centigrades, vent d'Est léger, grande halte à midi et demi après Torcy; durée 1 heure.

Retour à La Faisanderie à 5 heures du soir.

Les hommes de la section en tête ont été le sujet d'observations qui suivent; ils marchaient du même pied.

Nombre d'élèves 227, 28 caporaux et sergents moniteurs, 2 sergents majors, 4 adjudants, 1 lieutenant et 2 sous-lieutenants.

Aucun trainard, un seul homme s'est débarrassé de son sac

une heure avant d'arriver à la Faisanderie. Pas de malades le lendemain.

La marche s'est faite en 8 reprises de 50 minutes et 2 reprises de 30 minutes, savoir :

De 7 heures à 12 h. :	5 reprises de 50 minutes.
De 12 h. à 12 h. 30 :	1 — 30 —
De 1 h. 30 à 4 h. 30 :	3 — 50 —
De 4 h. 30 à 5 h. :	1 — 30 —

Les sections placées en tête ont fait en moyenne 122 pas pour 100 mètres et ont parcouru cette distance en 63<sup>m</sup>,5.

La longueur moyenne du pas a été de 1<sup>m</sup>,64.

La cadence moyenne de 57,5 ; la vitesse moyenne de 94 mètres par minute.

Tableau par reprise de marche des moyennes des observations

REPRISES	HEURES	N <sup>o</sup> de la section observée.	NOMBRE de pas en 100 m.	TEMPS employé pour parcourir 100 m.	CADENCE	LONGUEUR du pas <sup>1</sup> .	VITESSE par minute.	OBSERVATIONS
	heures.					mètres.	mètres.	
1	7-7,50	2 <sup>o</sup>	119,50	64"	119	0,837	91,5	Pente du terrain.
2	8-8,50	4 <sup>o</sup>	120,50	64 <sup>m</sup> 25	114,5	0,830	95	
3	9-9,50	3 <sup>o</sup>	122,50	62"	118,7	0,816	96,8	
4	10-10,50	1 <sup>re</sup>	124,20	63 <sup>m</sup> 20	118	0,805	95	
5	11-11,50	2 <sup>o</sup>	121	61"	119	0,826	98,3	Pente. Pente. Chant.
6	12-12,30	4 <sup>o</sup>	123	65"	113,5	0,813	92,3	
7	1,30-2,20	3 <sup>o</sup>	124	64 <sup>m</sup> 5	113,8	0,806	91,7	
8	2,30-3,20	1 <sup>re</sup>	123,6	65 <sup>m</sup> 7	112,7	0,810	91,3	Pente.
9	3,30-4,20	2 <sup>o</sup>	120,5	62 <sup>m</sup> 25	116	0,830	96,3	
10	4,30-5	4 <sup>o</sup>	122	64"	114	0,819	93,4	
	Moyenne.		122,08	63 <sup>m</sup> 49	115	81,92	94,16	

<sup>1</sup> Le pas est compté ici comme demi-pas.

La longueur du pas a très peu varié, mais la cadence s'est progressivement élevée depuis le départ jusqu'à midi, puis a déchu jusque vers 3 h. 1/2 pour se relever un peu à la fin. La vitesse a suivi les variations de la cadence : au commencement allure modérée puis accroissement de la vitesse jusqu'à midi

(5 heures de marche), décroissance ensuite se maintenant dans la 6<sup>e</sup> reprise qui a suivi la grand'halte au moment où la digestion s'opère. Vers 4 heures le voisinage du gîte donne une recrudescence de vitesse.

Les pentes bien que faibles ont fait diminuer dans les montées

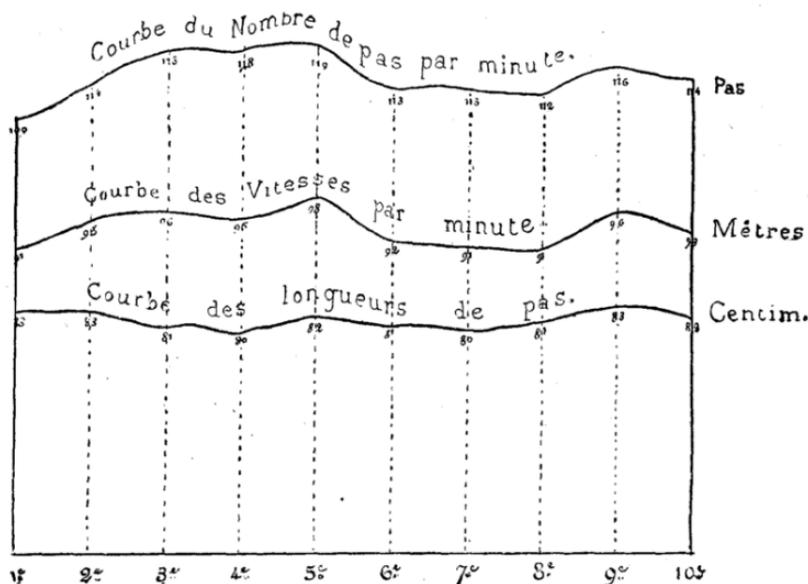


Fig. 556. — Marche militaire de 44 kilomètres. Variations de la longueur du pas, de la cadence et de la vitesse de progression pendant la durée de l'étape.

Les numéros portés en abscisses indiquent les reprises de marche de 50 minutes chacune. Les courbes correspondent au tableau de la page 490

la longueur et la fréquence des pas. Le minimum de vitesse et de cadence s'est manifesté durant la 8<sup>e</sup> reprise (de 2 h. 30 à 3 h. 20) sous l'influence d'une légère descente et pendant l'exécution de chants par la section en tête de la colonne. Le chant dans les longs parcours aurait donc eu pour effet de diminuer le nombre des pas et la vitesse sans influencer sensiblement la longueur du pas. Le chant a pourtant une action entraînante mais ici son influence s'est exercée plutôt sur l'accentuation de la cadence que sur l'accélération de celle-ci.

La conclusions à tirer de cette expérience importante, c'est que sur bonne route et avec des conditions atmosphériques con-

venables, une troupe d'infanterie peut marcher à la cadence de 57,5 à 59 pas à la minute correspondant à une longueur de pas de 1<sup>m</sup>,60 et avec une vitesse de 92 à 95 mètres à la minute ou de 4 600 à 4 750 mètres en 50 minutes de marche effective. Ces excellents résultats sont dus à l'entraînement gymnastique quotidien.

6<sup>e</sup> expérience :

INFLUENCE DE LA GYMNASTIQUE ET DE L'ENTRAÎNEMENT SUR LA MARCHÉ.

— Cette influence se manifeste encore dans un concours de marche organisé par l'Association des Sociétés de gymnastique de la Seine; 242 gymnastes représentant 21 Sociétés associées ont pris part à ce concours. La distance à parcourir était de 35 kilomètres.

La durée a été de 3 h. 49, 3 h. 47, 3 h. 57 pour les vainqueurs de 4 h. 1/2 en moyenne pour les autres.

Ces résultats dépassent la moyenne ordinaire des sujets non exercés.

7<sup>e</sup> expérience :

INFLUENCE DE LA FATIGUE. — La longueur du pas diminue avec la fatigue dans le cas suivant : piste de 512<sup>m</sup>,5.

1 tour de piste au pas cadencé, 257 pas en 4',50"; au départ la longueur du pas était 2<sup>m</sup>,06, à l'arrivée elle n'est plus que de 2 mètres.

1 tour de piste au pas accéléré 284 pas en 3',21", au départ la longueur du pas 2 mètres à l'arrivée 1<sup>m</sup>,76.

La raison de cette diminution tient à ce que le sujet en expérience n'était pas dans des conditions normales; il exagérait d'une part sa longueur de pas, d'autre part sa cadence, et ne pouvait continuer ainsi.

8<sup>e</sup> expérience :

LONGUEUR DU PAS POUR DES TAILLES DIFFÉRENTES ET DES ALLURES VARIÉES. — Dans l'expérience suivante on peut comparer sur un parcours de 80 mètres les différences de longueur de pas chez deux hommes de taille différentes et dans différentes allures

Chez le sujet de petite taille la longueur du pas a toujours été inférieure à celle du plus grand, mais la vitesse dans les allures marchées a été néanmoins plus grande. Le contraire s'est passé dans les allures courues.

1<sup>er</sup> sujet; taille 1<sup>m</sup>,68, 22 ans. Distance 80 mètres.

	NOMBRE de posers du pied droit	TEMPS employé.	DURÉE du pas.	LONGUEUR du pas.	VITESSE
Pas de route. . .	45	42''5	0''95	1 <sup>m</sup> ,77	1,88
Pas accéléré. . .	40,5	34	0''88	1 <sup>m</sup> ,97	2,35
Pas de charge. . .	39,5	28,2	0''72	2 <sup>m</sup> ,25	2,83
Pas gymnastique modéré. . . . .	34	23,5	0''69	2 <sup>m</sup> ,35	3,40
Pas gymnastique accéléré. . . . .	27,5	17	0''62	2 <sup>m</sup> ,91	4,70
Course modérée.	24,5	15	0''61	3 <sup>m</sup> ,22	5,33

2<sup>o</sup> sujet; taille 1<sup>m</sup>,54, 22 ans. Distance 80 mètres.

	NOMBRE de posers du pied droit.	TEMPS employé.	DURÉE du pas.	LONGUEUR du pas.	VITESSE
Pas de route. . .	47	40''	0,85	1 <sup>m</sup> ,70	2
Pas accéléré. . .	43	30''	0,70	1 <sup>m</sup> ,86	2,66
Pas de charge. . .	40	26''	0,65	2	2,07
Pas gymnastique modéré. . . . .	37	24''	0,64	2 <sup>m</sup> ,12	3,33
Pas gymnastique accéléré. . . . .	29	18''	0,62	2 <sup>m</sup> ,75	4,4
Course modérée.	25	14''	0,56	3 <sup>m</sup> ,20	5

9<sup>e</sup> expérience :

MARCHES MILITAIRES. — Les conditions de la locomotion varient pour l'individu isolé ou chez le soldat faisant partie d'un groupe ou d'une unité de plus en plus importante. La masse et la vitesse sont toujours les deux éléments essentiels à considérer au point de vue militaire dans le mouvement d'une unité importante, mais au point de vue physiologique l'étude de l'individu doit précéder l'étude du groupe. Il faut pour se renseigner à ce sujet faire de nombreuses expériences.

M. le capitaine Harmand, C<sup>e</sup> instructeur à l'école de Joinville-le-Pont, a eu l'amabilité de nous communiquer les résultats de ses observations; nous les reproduisons textuellement ci-après.

LEVRON, 1<sup>m</sup>79.

Une marche par jour à 6 h., 30 du matin : Parcours, 2 kilom. ; Pente du terrain, 4 à 5 p. 100 ; Le buste presque droit, la jambe un peu raidie.	POULS		RESPIRA- TION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée.	Descente.
<i>Première marche, le kilomètre en 10 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	76	84	24	28	120	128	122
Avec arme et équipement . . . . .	76	76	24	30	126	128	123
8 paquets de cartouches 74, sac vide. . . . .	64	72	24	28	127	126	125
Chargement d'exercice. . . . .	76	80	24	28	124	128	123
Vivres du sac . . . . .	72	84	24	32	126	127	125
Chargement de campagne . . . . .	76	80	24	32	123	128	123
<i>Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	64	72	24	32	120	120	114
Avec arme et équipement . . . . .	68	80	24	28	123	122	120
8 paquets de cartouches 74, sac vide. . . . .	68	72	20	32	123	124	120
Chargement d'exercice. . . . .	68	80	24	32	118	123	118
Vivres du sac . . . . .	80	92	24	32	122	123	120
Chargement de campagne . . . . .	80	92	24	32	122	125	119
<i>Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	76	84	20	28	112	117	110
Avec arme et équipement. . . . .	80	88	24	28	118	124	116
8 paquets de cartouches 74, sac vide. . . . .	76	88	24	28	118	122	117
Chargement d'exercice. . . . .	76	88	24	32	116	121	114
Vivres du sac . . . . .	80	96	24	36	118	123	117
Chargement de campagne . . . . .	76	92	24	32	120	125	119
<i>Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	72	80	24	28	116	118	112
Chargement complet. . . . .	76	92	24	36	115	118	123

BAUDINOT, 1<sup>re</sup>66.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée	Descente.
<i>Première marche, le kilomètre en 10 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	64	68	20	24	122	130	120
Avec arme et équipement . . . . .	76	76	20	24	125	130	123
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	72	84	20	24	128	130	124
Chargement d'exercice . . . . .	76	84	20	28	122	126	120
Vivres du sac . . . . .	72	88	20	28	125	127	122
Chargement de campagne . . . . .	76	80	20	28	124	128	122
<i>Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	76	83	20	24	124	128	122
Avec arme et équipement . . . . .	72	84	20	24	118	122	117
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	68	84	20	24	119	123	117
Chargement d'exercice . . . . .	80	88	20	24	118	122	116
Vivres du sac . . . . .	76	96	20	28	121	124	118
Chargement de campagne . . . . .	80	92	20	28	120	125	117
<i>Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	76	84	20	24	110	109	108
Avec arme et équipement . . . . .	76	88	20	24	112	118	113
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	80	92	20	24	116	118	112
Chargement d'exercice . . . . .	76	96	20	28	114	116	110
Vivres du sac . . . . .	72	88	20	32	114	117	114
Chargement de campagne . . . . .	76	96	24	28	117	119	114
<i>Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	68	80	20	22	109	110	106
Chargement complet . . . . .	72	96	22	32	110	113	111

HALLOIN, 1<sup>m</sup>52.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plane.	Montée.	Descente.
<i>Première marche, le kilomètre en 10 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	52	72	20	24	124	132	130
Avec arme et équipement . . . . .	56	76	20	24	123	134	125
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	60	68	20	28	128	138	131
Chargement d'exercice . . . . .	60	84	20	28	127	132	130
Vivres du sac . . . . .	60	72	20	28	128	132	126
Chargement de campagne . . . . .	56	88	20	28	126	130	126
<i>Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	48	60	24	26	124	127	125
Avec arme et équipement . . . . .	60	80	20	24	124	130	126
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	56	84	20	24	124	128	122
Chargement d'exercice . . . . .	64	108	24	32	124	126	124
Vivres du sac . . . . .	84	112	24	28	124	127	123
Chargement de campagne . . . . .	76	114	24	32	124	130	124
<i>Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	64	72	20	24	117	120	121
Avec arme et équipement . . . . .	64	92	20	24	123	128	121
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	64	104	20	28	124	128	122
Chargement d'exercice . . . . .	60	104	24	32	122	126	120
Vivres du sac . . . . .	68	112	24	32	123	128	124
Chargement de campagne . . . . .	68	96	24	32	123	128	123
<i>Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	72	104	24	28	123	126	120
Chargement de campagne . . . . .	64	112	20	28	124	126	124

VIGNE, 1<sup>m</sup>62.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE TAS par 100 ca.		
	Départ.	Arrivée	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée	Descente.
<i>Première marche, le kilomètre en 10 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	72	72	24	28	126	128	122
Avec arme et équipement . . . . .	80	80	24	28	126	130	124
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	80	76	24	28	126	128	124
Chargement d'exercice . . . . .	80	84	24	28	124	128	122
Vivres du sac . . . . .	80	78	28	28	127	129	124
Chargement de campagne . . . . .	72	84	20	28	125	126	122
<i>Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	76	80	20	28	117	122	114
Avec arme et équipement . . . . .	76	76	24	28	122	120	120
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	72	80	20	24	120	124	120
Chargement d'exercice . . . . .	68	84	20	24	118	122	116
Vivres du sac . . . . .	68	92	20	28	122	126	120
Chargement de campagne . . . . .	68	84	20	32	122	126	118
<i>Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	80	88	24	28	112	116	112
Avec arme et équipement . . . . .	72	84	24	24	119	122	116
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	72	92	20	28	119	120	117
Chargement d'exercice . . . . .	76	88	24	32	117	122	115
Vivres du sac . . . . .	68	88	24	32	119	122	116
Chargement de campagne . . . . .	»	»	»	»	»	»	»
<i>Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	»	»	»	»	»	»	»
Chargement de campagne . . . . .	»	»	»	»	»	»	»

GIRARDIN, 1<sup>m</sup>65.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée.	Descente.
<i>Première marche, le kilomètre en 10 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	80	80	24	28	126	132	124
Avec arme et équipement . . . . .	76	80	24	28	124	128	126
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	68	84	28	32	127	132	128
Chargement d'exercice . . . . .	64	88	28	32	123	130	126
Vivres du sac . . . . .	76	80	24	32	130	130	125
Chargement de campagne . . . . .	76	88	24	28	125	129	124
<i>Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	64	68	24	32	122	122	118
Avec arme et équipement . . . . .	72	80	24	28	124	122	119
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	72	80	24	28	120	123	119
Chargement d'exercice . . . . .	72	96	24	28	119	121	118
Vivres du sac . . . . .	68	92	20	24	123	128	121
Chargement de campagne . . . . .	76	96	24	28	122	126	120
<i>Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.</i>							
Sans équipement . . . . .	72	80	20	24	113	118	113
Avec arme et équipement . . . . .	72	88	24	28	118	120	118
8 paquets de cartouches 74, sac vide . . . . .	80	96	24	28	124	126	118
Chargement d'exercice . . . . .	80	96	24	32	117	120	116
Vivres du sac . . . . .	68	96	24	28	117	117	117
Chargement de campagne . . . . .	68	96	20	32	120	120	118
<i>Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.</i>							
Sans équipement . . . . .	68	96	20	24	116	114	112
Chargement de campagne . . . . .	72	96	24	32	116	120	115

Toutes ces marches ont été effectuées le matin à 6 h. 30, à raison d'une par jour. Elles comportaient 2 kilomètres seulement, la pente était environ de 4 à 5 p. 100. L'attitude générale de la marche était le buste presque droit, la jambe un peu raidie.

10° EXPÉRIENCE, PAR M. LE CAPITAINE HARMAND

1° Entraînement progressif à la marche le corps incliné, la jambe fléchie naturellement;

2° Vitesse habituelle en tenue d'exercice avec le sac.

*Entraînement de la Compagnie d'Infanterie à la marche.*

*Effectif moyen : 150 hommes, gradés compris.*

SEMAINES	VITESSE DE MARCHÉ AU KILOMÈTRE			
	PRÉVUES		RÉALISÉES	
	Pas accéléré.	Pas de route.	Pas accéléré.	Pas de route.
20 au 25 novembre 1899 . . . . .	10'	10'30"	10'	11'
27 novembre au 2 décembre . . . . .	10'	10'15"	9'40"	10'30"
4 au 9 décembre . . . . .	10'	10'15"	9'30"	10'30"
11 au 16 décembre . . . . .	9'30"	10'	9'	10'
18 au 23 décembre . . . . .	9'	9'30"	8'45"	9'
25 au 30 décembre . . . . .	8'30"	9'	8'15"	8'45"
8 au 13 janvier 1900 . . . . .	8'15"	8'45"	8'15"	8'25"
15 au 20 janvier . . . . .	8'15"	8'45"	8'20"	8'30"
22 au 27 janvier . . . . .	8'15"	8'45"	8'10"	8'30"
29 janvier au 3 février . . . . .	8'	8'30"	8'10"	8'10"
5 au 10 février . . . . .	8'	8'30"	8'5"	8'10"
12 au 17 février . . . . .	8'	8'30"		
19 au 24 février . . . . .	7'45"	8'15"	8'5"	8'10"
26 février au 4 mars . . . . .	7'45"	8'15"	8'5"	8'10"
5 au 10 mars . . . . .	7'45"	8'15"	8'	8'15"
12 au 17 mars . . . . .	7'45"	8'15"	8'	8'15"

RENSEIGNEMENTS SUR DIVERSES MARCHES DE COMPAGNIE

18 janvier 1900.

*Distance.* — 10 km. 500.

*État de la route.* — Route boueuse, caillouteuse, flaques d'eau, moyennement accidentée.

*Température.* — Temps couvert, vent debout à la rentrée — 7 à 8° au-dessus de zéro.

*Tenue.* — De campagne. Anciens, complet. Jeunes, le linge seulement.

*Durée totale de la marche.* — 1 h. 42' dont une pause de 11' 30".

*Durée effective.* — 1 h. 29' 30".

*Vitesse moyenne de marche.* — 5 km. 830 en 50'; le km. en 8' 34".

*État à la rentrée.* — Bon.

*Observations générales.* — Un peu d'essoufflement, cadence trop rapide 125 à 128. La marche n'est pas encore assez souple, la jambe se raidit, le corps ne s'incline pas suffisamment en avant, surtout pour les anciens.

### 24 janvier 1900.

*Distance.* — 15 km. 900.

*État de la route.* — Route boueuse, caillouteuse, accidentée.

*Température.* — Pluie, vent 5 à 6° au-dessus de zéro.

*Tenue.* — De campagne. Anciens, complet. Jeunes, linge, veste et 3 paquets.

*Durée totale.* — 2 h. 35' dont 20 minutes de repos en 2 pauses.

*Durée effective.* — 2 h. 15'.

*Vitesse moyenne de marche.* — 5 km. 888 en 50'; le km. en 8'30".

*État à la rentrée.* — Très bon.

*Observations générales.* — Un peu d'essoufflement, allure excellente, 115 à 125 pas longs.

1 <sup>re</sup> Pause.		2 <sup>e</sup> Pause.		3 <sup>e</sup> Pause.	
1 km. . . . .	9'20"	1 km. . . . .	9'15"	1 km. . . . .	8'25"
2 km. . . . .	8'55"	2 km. . . . .	8'40"	2 km. . . . .	8'35"
3 km. . . . .	8'35"	3 km. . . . .	8'15"	3 km. . . . .	7'47"
4 km. . . . .	8'50"	4 km. . . . .	8'10"	4 km. . . . .	7'33"
5 km. . . . .	9'5"	5 km. . . . .	8'10"	0 km. 100 . . .	0'50"
0 km. 700 . . .	5'40"	6 km. . . . .	8'10"	4 km. 100 en	33'10"
5 km. 700 en	50'20"	0 km. 100 . . .	50"		
		6 km. 100 en	51'30"		

### 31 janvier 1900.

*Distance.* — 15 km. 600.

*État de la route.* — Mauvaise. Neige.

*Température.* — Excellente pour la marche. Neige, 3° au-dessus.

*Tenue.* — De campagne. Anciens, complet. Jeunes; linge, gamelle, fagotin et 6 paquets.

*Durée totale.* — 2 h. 46' dont 29'45" de pause.

*Durée effective.* — 2 h. 16'15".

*Vitesse moyenne de marche.* — 5 km. 730 en 50'; le kilomètre en 8'43".

*État à la rentrée.* — Très bon.

*Observations générales.* — Un peu d'essoufflement, cadence un peu rapide.

1 <sup>re</sup> Pause.		2 <sup>e</sup> Pause.		3 <sup>e</sup> Pause.	
1 <sup>er</sup> km. . . . .	9'35"	1 <sup>er</sup> km. . . . .	8'41"	1 <sup>er</sup> km. . . . .	8'10"
2 <sup>e</sup> km. . . . .	8' 8"	2 <sup>e</sup> km. . . . .	9'17"	2 <sup>e</sup> km. . . . .	9'33"

1 <sup>re</sup> Pause.		2 <sup>e</sup> Pause.		3 <sup>e</sup> Pause.	
3 <sup>e</sup> km. . . . .	8'17"	3 <sup>e</sup> km. . . . .	8'13"	3 <sup>e</sup> km. . . . .	9' 2
4 <sup>e</sup> km. . . . .	8'15"	4 <sup>e</sup> km. . . . .	8'23"	0 km. 900 . . .	7'15
5 <sup>e</sup> km. . . . .	8' 5"	5 <sup>e</sup> km. . . . .	8'41"	3 km. 900 en	31'
6 <sup>e</sup> km. . . . .	8'20"	0 km. 700 . . .	6'10"		
6 km. en	50'40"	5 km. 700 en	49'25"		

## 6 Février 1900.

*Distance.* — 16 km. 800.

*État de la route.* — Bon, assez accidenté.

*Température.* — Excellente pour la marche, 6° au-dessus.

*Tenue.* — De campagne. Anciens, complet. Jeunes, complet moins 4 paquets.

*Durée totale.* — 2 h. 51'.

*Durée effective.* — 2 h. 31'.

*Vitesse moyenne.* — 5 km. 560 en 50', le kilomètre en 9'.

*État à la rentrée.* — Excellent.

*Observations générales.* — Pas d'essoufflement, la cadence se ralentit, la longueur du pas augmente, la marche devient souple, élastique.

## MARCHES D'ÉPREUVES

25, 26, 27, 28 mars 1901.

1<sup>re</sup> Marche. — 25 mars 1901.

*Distance.* — 20 kilomètres.

*État de la route.* — Routes mauvaises, terrain accidenté.

*Température.* — Froide, vent glacé, neige.

*Tenue.* — De campagne complète.

*Durée totale.* — 3 h. 37'.

*Durée réelle.* — 3 h. 7'.

*Vitesse moyenne.* — Le kilomètre en 9' 21", 5 km. 350 en 50'.

*Cadence.* — 115 à 118 aux descentes; 102 à 105 aux montées; 109 à 110 en plat.

*Longueur du pas.* — 90 à 95 centimètres petits; 0 m. 95 à 1 mètre grands.

*État à la rentrée.* — Satisfaisant.

*Observations.* — Peu d'essoufflement; premier kilomètre en 9' 45", dernier en 10' 45".

2<sup>e</sup> Marche. — 26 mars 1901.

*Distance.* — 22 kilomètres.

*État de la route.* — Routes assez bonnes, terrain très accidenté.

*Température.* — Neige.

*Tenue.* — De campagne complète.

*Durée totale.* — 3 h. 48'.

*Durée réelle.* — 3 h. 18'.

*Vitesse moyenne.* — Le kilomètre en 9', 5 km. 555 en 50'.

*Cadence.* — 115 à 125 aux descentes, 100 à 105 aux montées, 109 à 115 en plat.

*Longueur du pas.* — Comme à la première marche.

*État à la rentrée.* — Satisfaisant.

*Observations.* — Un peu d'essoufflement surtout chez quelques hommes qui, peu exercés à la marche penchée provenant d'autres compagnies, marchent à la cadence de 125 à 130 en raccourcissant le pas et en étendant la jambe. — Premier kilomètre en 9'45".

### 3<sup>e</sup> Marche. — 27 mars 1901.

*Distance.* — 24 kilomètres.

*État de la route.* — Mauvais, routes boueuses.

*Température.* — Assez bonne pour la marche; vent, pluie.

*Tenue.* — De campagne complète.

*Durée totale.* — 4 h. 16'.

*Durée réelle.* — 3 h. 36'.

*Vitesse moyenne.* — Le kilomètre en 9'; 5 km. 555 en 50'.

*Cadence.* — Comme à la deuxième marche.

*Longueur.* — id.

*État à la rentrée.* — Satisfaisant.

*Observations.* — Un peu d'essoufflement. Premier kilomètre en 10', le dernier en 11' 30" en raison d'une forte pente de 1400 mètres pour rentrer au fort. Kilomètres pris à la troisième pause : 9' 45", 8' 10", 8' 45", 9' 10", 9' 35".

Mêmes observations qu'à la deuxième marche.

### 4<sup>e</sup> Marche. — 28 mars 1901.

*Distance.* — 26 kilomètres.

*État de la route.* — Mauvais chemins, empierrés, terrain accidenté.

*Température.* Mauvais temps au début; neige.

*Tenue.* — De campagne complète.

*Durée totale.* — 4 h. 37'.

*Durée réelle.* — 3 h. 57'.

*Vitesse moyenne.* — Le kilomètre en 9' 05"; 5 km. 480 en 50'.

*Cadence.* — Approximativement comme à la deuxième marche.

*Longueur.* — Approximativement comme à la deuxième marche.

*État à la rentrée.* — Très bon.

*Observations.* — Peu d'essoufflement; premier kilomètre en 9' 30", il y avait une descente; dernier kilomètre en 10' 45" il y avait à monter. Kilomètres pris à la troisième pause de marche : 9' 30", 9' 15", 8' 45", 8' 30", 9' 05".

Deux hommes n'ont fait que les deux premières marches : l'un atteint de bronchite chronique, l'autre atteint d'un goître léger.

*Quelques renseignements sur la cadence et la longueur du pas.*

Élèves caporaux. — 14 soldats.

SEMAINES	CADENCE	LON- GUEUR	ESOU- FLEMENT	OBSERVATIONS
2 au 9 décembre 1900.	115 à 120	90 à 95	normal	Tendance à redresser le corps dans la marche en troupe.
16 au 23 — —	115 à 120	90 à 95	—	
24 au 31 — —	112 115 120	95 à 1 <sup>m</sup>	—	Même observation, les hommes isolés marchent bien les jambes fléchies sans raideur.
16 au 23 Mars 1901.	120 à 125	95 à 98	—	Encore un peu de raideur.
23 au 30 avril 1901.	120 à 125	93 à 96	—	

Pour les autres groupes de la Compagnie.

La cadence au pas accéléré a varié de 108 à 125 avec une longueur de pas de 85 cent. à 1<sup>m</sup>,05.

La cadence au pas de route, de 102 à 128 avec une longueur de pas de 88 cent. à 1<sup>m</sup>,05.

VITESSES DANS LA COURSE DE VÉLOCITÉ. — 11<sup>e</sup> expérience :

Course de vélocité, 5 avril 1882. — Stade de 80 mètres, parcouru à toute vitesse par 16 escouades de militaires entraînés à l'école de Joinville-le-Pont, âgés de vingt-deux à vingt-quatre ans.

*Résultats de la course chez les vainqueurs.*

Durée du parcours.	Nombre des pas.	Durée du parcours.	Nombre des pas.
9"9	23,5	10"8	24,5
10"	23,5	10"9	26
10"2	24,5	11"	25
10"2	24,5	11"	27
10"3	25	11"	22
10"3	24	11"	25
10"4	24	11"	24,5
10"7	25,5	11"2	24

6 coureurs ont mis 11 secondes pour le parcours mais avec un nombre de pas différent.

NOMBRE des pas.	TAILLE	LONGUEUR de jambe.	POIDS
22	1 <sup>m</sup> ,677	0,87	68 kil.
24	1 <sup>m</sup> ,67	0,88	65 —
24,5	1 <sup>m</sup> ,70	0,83	75 —
25	1 <sup>m</sup> ,68	0,88	71 —
25	1 <sup>m</sup> ,65	0,82	68 —
27	1 <sup>m</sup> ,67	0,88	65 —

3 coureurs ont fait 24 pas, et 4 24,5 pas.  
Voici leurs mesures.

MÊME NOMBRE de pas.	DURÉE de la course.	TAILLE	LONGUEUR de jambe.	POIDS
24 pas.	10''3	1 <sup>m</sup> ,73	0,89	78 kil.
—	10''4	1 <sup>m</sup> ,72	0,87	64
—	11''2	1 <sup>m</sup> ,67	0,88	65
pour 24,5 pas.	10''2	1 <sup>m</sup> ,61	0,81	56
—	10''2	1 <sup>m</sup> ,72	0,89	74
—	10''8	1 <sup>m</sup> ,66	0,84	62
—	11''	1 <sup>m</sup> ,70	0,83	75

Le maximum de vitesse était de 9'',9 correspondant à 23,5 pas ; le sujet avait 1<sup>m</sup>,72, longueur du nombre inférieur 0<sup>m</sup>,865 poids 70 kilogrammes.

12<sup>e</sup> expérience ; 8 concurrents :

Course de vitesse individuelle parcours 100 mètres.

Durée de parcours, 13'' ; 13'' 1/2 ; 13'' 3/4 ; 14'' 1/2 ; 14 ; 15 ; 15 ; 16 1/2.

13<sup>e</sup> expérience :

Course de 8 gymnastes courant en ligne. Distance 400 mètres et 3 haies en 1',38 ; même parcours par le gagnant en 1',4''.

COURSES DE FOND. — Les courses de fond sont devenues un spectacle ordinaire ; des professionnels consentent à tourner en cercle sur une piste et à gagner ainsi des paris.

Piste circulaire de 270 mètres gazonnée, 50 tours entiers à la même allure sauf le 50<sup>e</sup>. Départ à 3 h. 54',30". Arrivée à 4 h. 53',35", longueur des pas 2<sup>m</sup>,5, vitesse 13<sup>km</sup>,5 en 59',5".

Il ne faut pas beaucoup tabler sur ces expériences sur piste et en conclure des résultats applicables à la route.

Les exemples précédents extraits des nombreux documents que nous possédons sur ces questions suffisent pour donner idée du parti que l'on peut tirer de l'homme au point de vue de la vitesse.

On cite des coureurs extraordinaires ayant parcouru 40 lieues en 24 heures<sup>1</sup>, mais 11 kilomètres à l'heure est une vitesse qui peut dans une course de fond être continuée quelques heures.

Nous ne revenons pas sur ces exploits de surmenage dont nous avons montré les dangers.

DISTANCES FRANCHIES DANS LES SAUTS. — Les distances franchies dans le saut de pied ferme sont environ 3<sup>m</sup>,50 en longueur et 1<sup>m</sup>55 en hauteur, avec élan 4 à 5 mètres en longueur et 1<sup>m</sup>,50 en hauteur ; avec une perche le saut peut aller de 6<sup>m</sup>,25 en longueur jusqu'à 3<sup>m</sup>,30 en hauteur. Nous ne donnons pas ici les résultats des records trouvant plus intéressant de nous occuper de la force moyenne et de chercher à l'augmenter par tous les moyens dont nous disposons.

TRAVAIL DANS LES EXERCICES DE VITESSE. — L'évaluation du travail pourrait se faire dans les exercices de vitesse comme nous l'avons fait pour la marche et la course.

Je lance une pierre avec la main, le travail utile se mesure par la force vive communiquée à la pierre, c'est-à-dire la moitié du produit de sa masse par le carré de sa vitesse. Mais il faut y ajouter le travail dû au déplacement du bras, évalué comme nous l'avons fait pour le déplacement de la jambe dans la course. Les différents segments du bras acquièrent sous l'impulsion musculaire une certaine vitesse angulaire accélérée puis retardée ; il y a travail moteur et travail résistant mesuré par les variations de force vive des différents points du bras. Ce dernier tournant autour de l'épaule, il faudrait pour évaluer son travail trouver expérimentalement son rayon de giration et

1. Voir Karlus, *La Nature*, 31 mai 1884.

son moment d'inertie et tenir compte du travail contre la pesanteur. La chronophotographie nous donnera la valeur maximum de la vitesse comme pour le coup de canne, le coup de poing et le coup d'épée. L'anatomie nous donnera les masses des différents segments du bras et la position de leur centre de gravité, nous aurons tous les éléments du problème.

La masse des bras est au moins 4 fois plus petite que celle de la jambe ; cependant la vitesse communiquée peut être assez

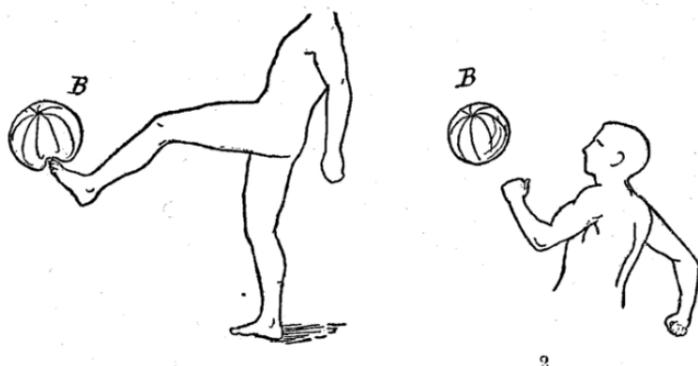


Fig. 557.

1 Déformation du ballon dans l'action du coup de pied ; — 2. Lancer le ballon avec le poing.

grande pour qu'il soit produit un travail très appréciable dans un exercice de vitesse des bras. Néanmoins ce travail sera toujours petit à côté des déplacements de la masse entière du corps, voilà pourquoi s'il était de 24 kilogrammètres dans un pas de course et de 75 kilogrammètres dans un saut, il ne saurait peut-être dépasser ici 30 kilogrammètres, et sera toujours assez pénible pour ne pouvoir être répété plusieurs fois de suite.

Le travail sera d'autant plus grand que la vitesse du bras sera plus grande et surtout que la main à mouvoir s'éloignera le plus de l'articulation. Dans un métronome, une même force motrice produit une vitesse d'autant plus accélérée que la masse est plus rapprochée du centre d'oscillation. C'est pourquoi les animaux coureurs ont leurs membres en forme de cône et toutes leurs masses musculaires disposées vers le centre articulaire. S'il en était autrement il faudrait pour obtenir la

même vitesse dépenser un travail infiniment supérieur, travail qui ne pourrait être obtenu que par des tensions formidables des muscles moteurs et incompatibles avec la solidité des tissus.

La vitesse d'un coup de poing vu la petitesse de la masse du bras est certainement égale à celle d'un coup de pied et cependant on lancera un ballon beaucoup plus loin avec le pied qu'avec le poing (fig. 556).

L'explication en est facile.

La rencontre du pied et du ballon produit un choc et le par-

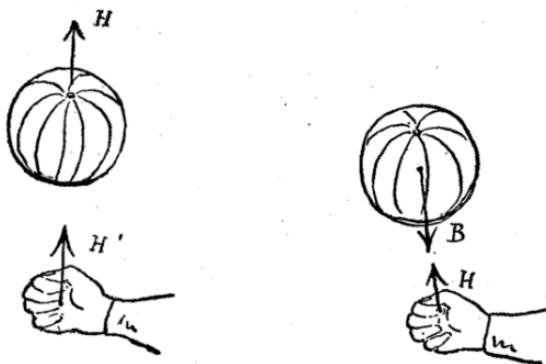


Fig. 558. — Coup de poing ascendant sur un ballon ayant une vitesse de même sens,  $H$  et  $H'$ , et coup de poing ascendant sur un ballon ayant une vitesse descendante  $B$ ,  $H$ .

tage final de la quantité de mouvement se fait entre le ballon et la jambe en raison inverse des masses. Plus exactement au moment du choc du ballon et du pied, il se produit une compression et une déformation du ballon, celui-ci possède la même vitesse que le pied au moment de sa plus grande déformation ; il tend ensuite à s'en séparer en vertu de sa force élastique qui tend à lui faire reprendre la forme sphérique. Il y a donc deux causes s'ajoutant pour lui communiquer de la vitesse : la force vive du pied plus grande que la force vive du poing à vitesse égale vu la masse de la jambe et secondement la déformation plus ou moins grande provenant de la vitesse du ballon au moment du choc. On peut en effet frapper le ballon après son rebondissement sur le sol ou lorsqu'il retombe après l'avoir lancé en l'air. Dans le premier cas le poing et le ballon ont des vitesses de même sens, ces vitesses s'ajoutent (fig. 558) mais la

déformation du ballon est petite ; dans le second les vitesses du poing et du ballon sont de sens contraire et la compression au moment du choc est maximum. Cette seconde manière de toucher communique au ballon la plus grande vitesse initiale.

Un coup de raquette du jeu de paume, une volée dans le jeu de balle, un coup de pied dans le jeu de barette, sont toujours accompagnés de contractions lointaines destinées à donner une solidité très grande aux points fixes des muscles moteurs des membres, ils sont précédés de sursauts, de temps de course et s'exécutent dans des attitudes de toute espèce ; ces jeux exigent pour cette raison une très grande dépense de travail.

Au contraire des mouvements de bras et de jambes faits mollement sans vitesse, à vide, les anciens exercices de plancher rythmés et fastidieux sont insignifiants au point de vue du travail produit. S'ils ne répondent à aucun but esthétique, il faut mieux les laisser de côté. Le prétexte d'assouplissement est un leurre s'il n'est pas une plaisanterie.

Nous en avons assez dit pour qu'il n'y ait plus de confusion possible entre le travail sous forme de vitesse avec déplacement de la résistance à vaincre et le travail sous forme d'effort statique.

La vitesse c'est de la force vive emmagasinée ; un corps en vitesse peut devenir une source de travail et inversement une force peut devenir une source de vitesse.

Le marteau tombe sur l'enclume et écrase le fer rouge, c'est du travail produit ; un ressort bandé lance une flèche, c'est de la vitesse engendrée.

**TRAVAIL DANS LE MANIEMENT DES OUTILS.** — Le travail du marteau est proportionnel au produit de sa masse par le carré de sa vitesse. Aussi son effet utile provient-il du bras qui sait le manier. Il pourrait se mesurer par l'effort nécessaire à enfoncer un clou et par la quantité dont ce clou a pénétré dans la planche, comme pour le battage des pieux. Pour communiquer au marteau toute la vitesse possible, il ne suffit pas de lui faire décrire un long chemin, il faut surtout toujours l'accélérer et ne jamais le retenir, la main doit constamment aller plus vite que lui et exercer ainsi une pression sur le manche dans la direction de son trajet. Ce résultat s'obtient en faisant agir tous les segments du bras, de l'avant-bras, du poignet et des doigts et en

additionnant la vitesse d'extension de chacun des segments mis bout à bout. Le coup de marteau donné avec le bras tout d'une pièce, avec un mouvement venant de l'épaule, est fatigant et ne produit pas d'effet.

La vitesse est le plus grand facteur du travail quand la masse est petite ; un projectile pesant quelques grammes, mais ayant une vitesse de 500 mètres à la seconde, transperce une planche épaisse, ce que ne saurait faire un lourd marteau animé de peu de vitesse.

Le rabot, la varlope sont encore des outils agissant par leur force vive. Ils doivent être massifs pour former volant et régulariser le travail inégal du rabotage. Un copeau de bois dépense un travail mesuré par l'effort nécessaire à pousser le rabot multiplié par la longueur du copeau. Cet effort varie à chaque instant ; un nœud dans le bois et l'outil s'arrêterait si sa masse ne continuait son chemin en vertu de son inertie. Il faut ensuite ramener l'outil à sa position première pour recommencer le travail, c'est là une cause de déperdition existant dans tous les outils à mouvement de va-et-vient. Un habile ouvrier réduit au minimum cette portion inutile du travail en diminuant la vitesse de retour et la pression et le frottement du rabot sur la planche. Dans l'industrie on évite ces mouvements de va-et-vient et l'on y substitue des mouvements circulaires.

La scie et la lime ont encore l'inconvénient des mouvements périodiques. Leur effet utile pourrait se mesurer par le poids de sciure ou de limaille débitée. Le travail se mesure par l'effort nécessaire à pousser l'outil multiplié par le chemin parcouru. L'effort dépend de la pression de la main sur la lime, de la grosseur des dents de la scie, de sa voie, de la quantité de fer que l'on donne au rabot. Il y a avantage à choisir un rythme et un effort convenables pour obtenir le maximum de rendement dans une journée.

Le travail du tour ou du vilbrequin se mesure de même. Pour enfoncer une vis il faut exercer une poussée pour maintenir le tourne-vis au fond de l'encoche et un effort tangentiel pour la faire tourner. Le produit de cet effort par le chemin parcouru dans un tour mesure le travail pour un pas.

Dans un coup d'archet le travail consiste en vibrations communiquées à la corde du violon ; il se mesure par l'effort néces-

saire à tirer ou pousser l'archet à chaque instant multiplié par le chemin parcouru. Ici l'effet utile n'est plus le copeau ou l'usure du crin ou de la corde, ce n'est pas non plus la poussière de colophane rejetée, il consiste dans la qualité du son émis et dans son ampleur. L'artiste attaquera la corde à une certaine distance du chevalet et aura deux moyens à sa disposition pour entraîner la corde : la pression de l'archet et la vitesse. Deux écoles opposées se servent de préférence de l'un ou l'autre de ces moyens. Trop de pression écrase la corde et l'empêche de vibrer, trop de vitesse nuit à l'adhérence du crin et de la corde et donne des sons mous et sans mordant. En terme de métier on *grince* ou l'on *savonne*. Il y a un juste milieu à tenir.

Nous avons essayé d'évaluer le travail des outils dans le but d'en obtenir le meilleur rendement. Les résultats de ces expériences ont été assez satisfaisants pour encourager les chercheurs dans cette voie. Il y a un chapitre très important à ajouter à cet ouvrage ; il ne peut prendre place ici et doit faire l'objet de traités spéciaux.

Il y a des cas où le travail relativement faible peut néanmoins produire une fatigue appréciable, et la fatigue se manifeste par le rythme du mouvement exécuté. Un pianiste ne peut exécuter longtemps un trille avec les doigts, bientôt ceux-ci se ralentissent et le nombre de battements par seconde varie ; c'est une manière de constater le degré de fatigue des organes. Plus le nombre de battements est grand, plus le système nerveux et les muscles sont dans de bonnes conditions pour le travail. Ce n'est pas une mesure précise, mais une indication qui a certainement son intérêt. La fatigue se manifeste plutôt dans les muscles maintenus contractés statiquement que dans les muscles moteurs à contraction intermittente.

**TOTALISATEURS DE TRAVAIL.** — Pour mesurer le travail dans les actes périodiques simples il faut le totaliser. On se sert pour cela de dispositions variées qui reviennent presque toutes à ajouter bout à bout le chemin parcouru par la résistance à vaincre, ce sont des compteurs de chemin ou des compteurs d'effort. L'ergographe de Mosso est un totalisateur de travail

il inscrit les soulèvements successifs d'un poids au moyen du doigt et le tracé obtenu a besoin d'être interprété ensuite, Il

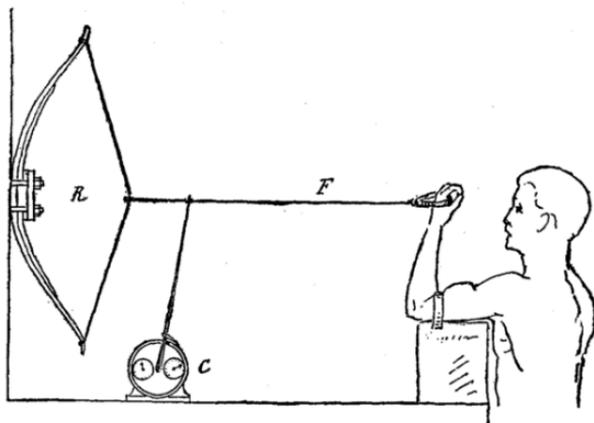


Fig. 559. — Totalisateur et compteur du travail effectué avec le bras. Un ressort R est allongé par l'intermédiaire d'un lien F; — C, compteur du chemin parcouru dans les deux sens.

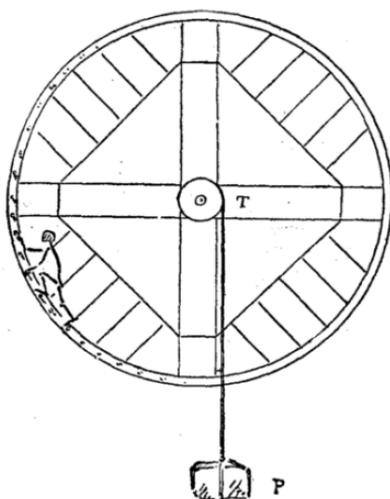


Fig. 560. — Treuil des carriers utilisant le plus économiquement la force musculaire de l'homme en faisant porter le travail sur les muscles des membres inférieurs dans les conditions normales.

serait bien simple d'ajouter à l'axe de la poulie une roue à rochet qui servirait ainsi de compteur pour l'élévation totale du poids après les contractions effectuées (fig. 559). On pourrait

aussi généraliser l'usage de l'ergographe en l'adaptant aux

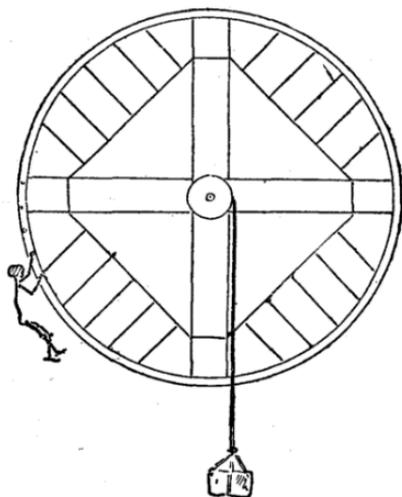


Fig. 561. — Manière défectueuse d'utiliser la force musculaire de l'homme sur un treuil en grimpant à la force des bras.

muscles moteurs des membres et en totalisant le travail dans les deux périodes de flexion et d'extension. Le treuil des carriers

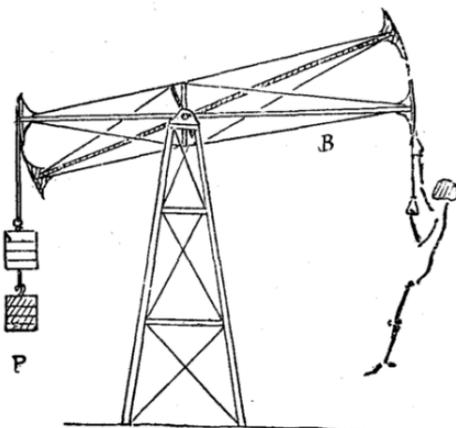


Fig. 562. — Appareil pour totaliser le travail fait avec les bras dans l'élévation verticale du corps.

est un exemple de totalisateur de travail. Au fur et à mesure que l'homme monte sur une cheville, la roue tourne d'une quantité égale à cette montée (fig. 560 et 561).

J'ai construit (fig. 562) un totalisateur de travail analogue pour le travail des bras. Deux balanciers indépendants sont terminés par des poignées auxquelles on se suspend par les mains; des contrepoids convenables équilibrent presque le poids du corps. Quand tout le poids porte sur une seule main, le système bascule et le poids s'élève, la même chose se passe pour le second balancier; le mouvement de bascule est enregistré par un compteur; avec ces instruments il est facile de comparer le travail exécuté avec les bras ou avec les jambes en faisant agir le poids du corps sur les chevilles du treuil des carriers, tantôt par l'intermédiaire des jambes, tantôt par l'intermédiaire des bras. On fera faire à la roue de nombreux tours dans le premier cas; avec les bras on aura peine à la faire avancer de 10 échelons. Tous les appareils à contrepoids et à ressorts peuvent être transformés en totalisateurs de travail, il n'y a pas grand'chose à faire pour cela.

Les freins sont aussi des totalisateurs de travail. Un disque de bois serré par une corde ou un ruban métallique peut donner par les tours de manivelle qu'on lui fait faire et l'inscription de l'effort sur cette manivelle la valeur du travail effectué au bout d'un temps donné (fig. 563).

L'inscription de l'effort dans la traction d'une voiture sur un papier qui avance en fonction du chemin parcouru donne le travail par la valeur de l'aire comprise entre la courbe et l'axe des abscisses (fig. 553).

Il suffit de découper et de peser ces surfaces pour les mesurer comparativement.

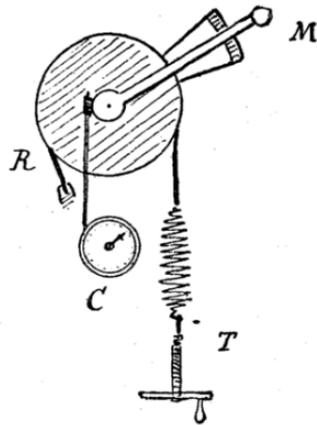


Fig. 563. — Manivelle dynamométrique donnant l'indication de la force motrice nécessaire à vaincre le frottement sous la tension du ressort TR agissant sur un tambour. Un compteur C donne la mesure du chemin parcouru par la manivelle ce qui permet d'évaluer le travail produit.

VAIL. — Tout ce qui précède est de nature à nous bien convaincre de la nécessité et de l'importance du rythme pour obtenir un régime régulier de travail, nous l'avons recherché pour les allures marchées et courues, nous l'avons montré à propos de la fatigue et des expériences faites à l'ergographe ; il

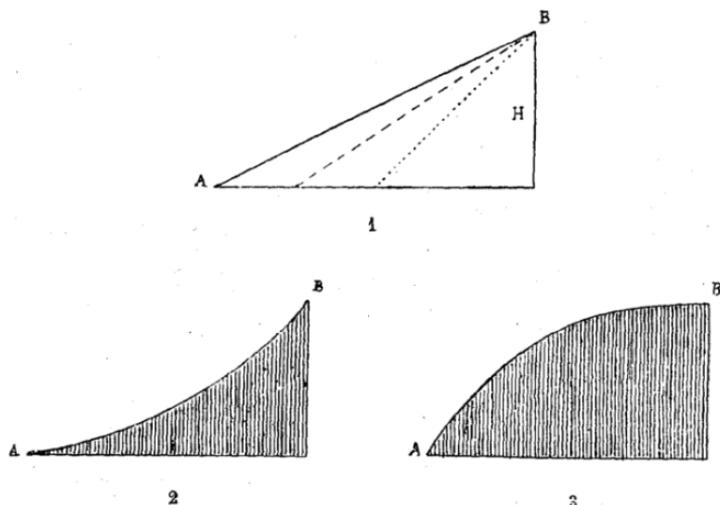


Fig. 564. — Manières différentes d'accomplir un même travail comme monter à une hauteur H par le chemin AB.

1, d'une façon uniforme ; — 2, avec un effort croissant ; — 3, avec un effort considérable au début et décroissant ensuite.

faut le déterminer dans chaque cas au moyen des totalisateurs de travail.

C'est là où l'homme diffère essentiellement des machines, parce qu'il possède un élément fondamental et individuel, la faculté de produire du travail physiologique et de réparer la dépense au fur et à mesure de la production.

*Différentes manières d'accomplir une certaine quantité de travail.* — Ainsi on peut accomplir un travail donné, par exemple élever un poids à une hauteur H par un effort continu ininterrompu, en montant le long d'un plan incliné sous un angle favorable, ou en s'y rendant par une courbe où l'effort varie, où il décroît vers la fin (fig. 564, 1 et 3) ou au contraire s'accroît sans cesse (fig. 564).

Dans la plupart des cas l'effort continu est impossible, le

travail est alors exécuté en plusieurs reprises, il sera ainsi plus avantageux de monter en deux fois en mettant entre les deux ascensions une période de repos (fig. 565); l'inclinaison des chemins pourrait être plus grande, l'effet utile persisterait.

On peut diviser encore le travail en petites fractions et s'élever

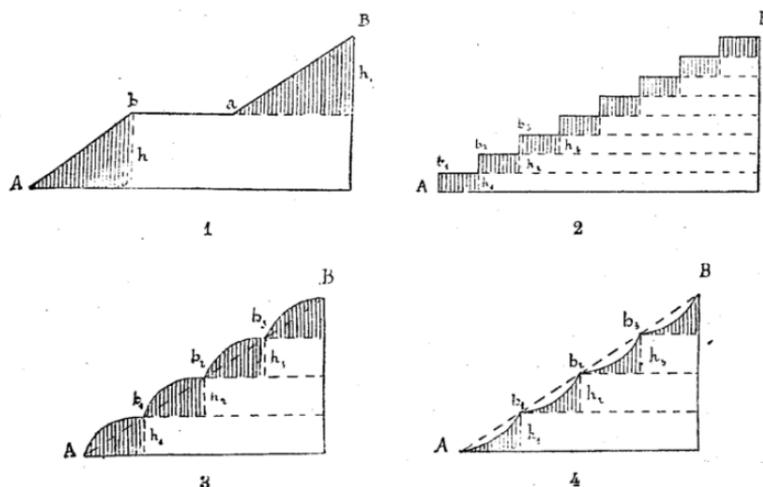


Fig. 565. — Manière d'effectuer un même travail en faisant des reprises espacées par des repos.

1, deux reprises de travail séparées par une période de repos; — 2, plusieurs reprises de petits travaux  $h_1, h_2, h_3$  séparées par de petits repos  $b_1, b_2, b_3$ ; — 3, suite de travaux à efforts décroissants; — 4, suite de travaux à efforts croissants.

par degrés comme dans l'escalier (fig. 565, 2), c'est-à-dire exécuter des fractions du travail suivies de petits repos; cette succession des reprises constitue le rythme.

Enfin on peut opérer le travail par fractions et exécuter chaque fraction suivant une loi de croissance ou de décroissance d'effort (fig. 565, 3 et 4), le travail total restant le même, la facilité avec laquelle on l'aura exécuté donnera un rendement meilleur en effet utile, car on se trouvera après le travail dans un état de fatigue plus ou moins considérable.

Ces considérations générales sur le rythme et l'effort sont applicables à tout travail; il existe une manière optimum de procéder dans chaque cas particulier. Nous en avons vu la réalisation à propos de l'économie dans la marche et dans l'avantage qu'il y a à mélanger les courses, les marches et le repos, c'est-à-

dire à progresser non pas uniformément mais avec différentes vitesses. Les figures ci-contre peuvent représenter la loi de variation du travail en fonction du temps et non seulement des hauteurs d'élévation et les lignes de niveau pour y parvenir.

Le régime de travail compatible avec la réparation intégrale des fonctions est comparable au maintien du niveau dans un réservoir A qui reçoit du liquide par un robinet R et en perd par un autre robinet R'.

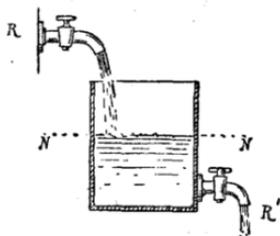


Fig. 566.

Si R' débite autant que R, le niveau reste constant, c'est la réparation toujours égale à la dépense.

Si R' débite plus que R, le niveau NN' baisse, c'est la dépense plus grande que la réparation.

Pour ramener le niveau normal, il faut fermer R' un certain temps, arrêter la dépense pendant que la réparation continue de se faire.

Après chaque excès de débit de R', il faut un certain temps pour que le niveau remonte à sa hauteur primitive : c'est le temps de repos nécessaire à la réparation.

L'ouverture et la fermeture du robinet d'écoulement R' représente le rythme du travail. Ce rythme réglé de façon à maintenir le niveau constant, c'est justement le rythme favorable à la continuation du travail dans un moteur animé.

L'expérience seule en permettra la détermination dans chaque cas particulier.