

# **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

## **Mécanisme et éducation des mouvements**

**Demeny, Georges**

**Paris, 1911**

Chapitre III. Locomotion

## CHAPITRE III

### LOCOMOTION

#### § 1<sup>er</sup>. — Analyse cinématique et dynamique des allures normales.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTUDE DES ALLURES. — Toute progression, tout déplacement continu ou intermittent de la masse du corps sur le sol ou sur des obstacles implique des forces extérieures. Ces forces d'impulsion se développent aux points de contact du corps avec le sol ou les objets sur lesquels il repose.

Elles naissent d'un effort musculaire produisant l'extension ou la flexion des membres et du tronc. Si le sol ou les obstacles sont mobiles, une partie de l'effort sera employé à les déplacer, mais il y aura toujours égalité entre les quantités de mouvement communiqué d'une part au corps dans le sens de la progression et d'autre part à l'obstacle servant de point d'appui.

Vu la structure des articulations, la force impulsive est forcément périodique, le mouvement de rotation pourrait seul donner une impulsion continue ; ce mouvement ne peut exister vu la continuité des pièces du squelette nécessaire à leur nutrition. La force motrice est généralement rythmée et périodique ; elle est produite par l'extension successive des membres se fléchissant ensuite pour s'étendre de nouveau ; elle imprime ainsi au corps des poussées successives à des époques régulières. L'inertie de la masse du corps régularise le mouvement et ainsi se trouve réalisé par des efforts discontinus l'effet d'une force d'impulsion ayant une action constante. Nous avons à examiner en particulier chacun des éléments essentiels du mécanisme de la locomotion. Les lois de la locomotion sont connues, nous en

avons fait une étude expérimentale approfondie pendant les années où nous dirigeons le laboratoire de M. le professeur Marey et nous allons donner un résumé de ces travaux pour en tirer des conséquences pratiques justifiées.

En éducation physique comme dans toute éducation, le professeur n'a pas pour mission de régler la nature, mais il doit au contraire se conformer à ses lois et mettre l'organisme humain dans les conditions les plus favorables au perfectionnement de ses fonctions normales. On apprend à marcher, à courir et à sauter comme on apprend autre chose.

L'enseignement pratique doit être conforme aux lois de la locomotion. S'il n'en est pas ainsi actuellement dans les programmes de l'armée et des écoles, les réformes à faire doivent être dirigées dans ce sens.

On peut imposer à un enfant une éducation artificielle et fautive, on pourra l'y rompre mais on ne l'aura pas perfectionné. Si les mouvements imposés ne sont point d'accord avec la structure des organes locomoteurs et avec les lois du mécanisme des mouvements, on n'obtiendra jamais tout le bénéfice qu'il pourrait tirer de ses moyens naturels.

Il faut des observations et des moyens de contrôle, la raison pure et les sens ne suffisant pas à cette investigation. Le praticien seul ne peut donner de solutions complètes et certaines ; le praticien est guidé par ses sensations personnelles, ses habitudes font acte de foi, et lui rendent impossible toute nouvelle méthode. Il considère alors comme la meilleure celle à laquelle il est rompu. Aussi voit-on quelquefois autant d'opinions que de praticiens. Comment se diriger au milieu de cette tour de Babel. Il faut étudier les mouvements sans idée préconçue et comparer les sujets entre eux. Les méthodes graphiques et photographiques que M. Marey a étendues à l'analyse des mouvements sont un moyen précieux d'étude. Entre des mains habiles elles permettent de voir juste et sans interprétation ce qui se passe dans les actes les plus délicats de la locomotion.

La longue pratique de ces recherches nous a montré la tendance de tous les sujets d'élite vers un type commun et que la supériorité consiste surtout dans l'économie de la force en la donnant aux moments et dans la direction les plus favorables, en réduisant au minimum les contractions musculaires.

Les sujets d'élite tiennent leurs qualités de leur structure et de leur éducation. Ils jouissent des avantages de leurs aptitudes innées et savent utiliser par instinct ou par éducation les moyens dont ils disposent, nous allons essayer de les étudier dans la marche, la course et le saut.

**DIRECTION OBLIQUE ET INTERMITTENCE DE LA FORCE MOTRICE.** — Dans la locomotion la force motrice nécessaire pour progresser est une poussée exercée par le pied en contact avec le sol. L'impulsion est produite par l'extension du membre inférieur ; il faut un point d'appui pour ce dernier, il est donné par le frottement du pied au contact du sol, le frottement fixe le pied et permet l'allongement du membre inférieur du côté de la hanche.

Sans frottement sur le sol, pas d'impulsion possible, le pied glisserait et le corps resterait en place. On sait la difficulté de la marche sur un plan de glace horizontal et poli.

Nous voyons immédiatement combien l'effort de notre jambe est désavantageux au point de vue de la progression. Il n'est point dirigé suivant la direction à suivre, il est oblique au lieu d'être horizontal, de là perte considérable de force, de plus, il cesse avec l'extension du membre à l'appui, de là intermittence dans l'action.

Le pied qui vient de pousser doit être immédiatement relayé par l'autre, le corps doit être toujours soutenu par une des jambes ; pendant que l'impulsion est donnée par l'une, l'autre se prépare à soutenir le poids du corps jusqu'au moment où elle deviendra à son tour impulsive.

Chaque jambe joue alternativement deux rôles, un rôle de soutien et d'amortissement et un rôle d'impulsion, la période complète de ces actes périodiques s'appelle le *pas*.

La marche est la succession d'une suite de pas ainsi définis.

L'obliquité des impulsions engendre un mouvement qui ne peut être rectiligne, leur périodicité engendre une vitesse qui ne peut jamais être uniforme ; mais l'art du marcheur est de se rapprocher le plus de l'uniformité et de la ligne droite, de rectifier la trajectoire de la hanche et d'uniformiser le mouvement ; il y arrive par la manière dont il fléchit et étend les divers segments du membre inférieur.

DÉFINITION DES TERMES EMPLOYÉS EN LOCOMOTION. — Il est bon de définir les mots afin d'éviter la confusion :

*Pas.* — Succession des actes qui s'effectuent entre deux appuis successifs d'un même pied.

*Longueur du pas.* — Distance qui sépare la position d'un point du pied entre deux appuis successifs et qui peut se mesurer directement sur des empreintes laissées sur le sol.

*Rythme, cadence d'une allure.* — Nombre de pas ou d'appuis du même pied exécutés en une minute.

*Vitesse de progression.* — Vitesse moyenne de la masse du corps ou quotient de l'espace parcouru horizontalement par le temps employé à le parcourir.

*Vitesse relative du pied par rapport au tronc.* — Vitesse de translation du pied par rapport à la masse considérée immobile. La vitesse relative a pour valeur à chaque instant la différence entre la vitesse horizontale absolue du pied dans l'espace et la vitesse de translation du tronc.

*Appui du pied.* — Période du pas où le pied est en contact avec le sol.

*Lever du pied.* — Période du pas qui s'écoule entre deux appuis et où le pied ne touche pas le sol.

*Suspension du membre inférieur.* — Période qui suit l'appui et dans laquelle le membre tout entier est en réalité suspendu au bassin.

*Oscillation du membre inférieur.* — Mouvement angulaire exécuté par le membre inférieur tout entier, pendant sa suspension, autour de l'articulation coxo-fémorale, et dans un plan vertical parallèle à la direction de la progression.

*Déroutement du membre inférieur.* — Mouvement angulaire inverse exécuté par le membre inférieur autour du pied pendant son appui.

*Rayon du membre inférieur.* — Ligne droite idéale qui joint l'extrémité du fémur ou le centre du mouvement de l'articulation coxo-fémorale au milieu de la surface d'appui ou au centre de rotation du pied sur le sol pendant son appui et inversement pendant le lever.

*Double appui.* — Période de la marche qui précède immédiatement le lever du pied et pendant laquelle le corps repose sur les deux membres inférieurs.

Il y a alors effectivement deux pieds à l'appui sur le sol.

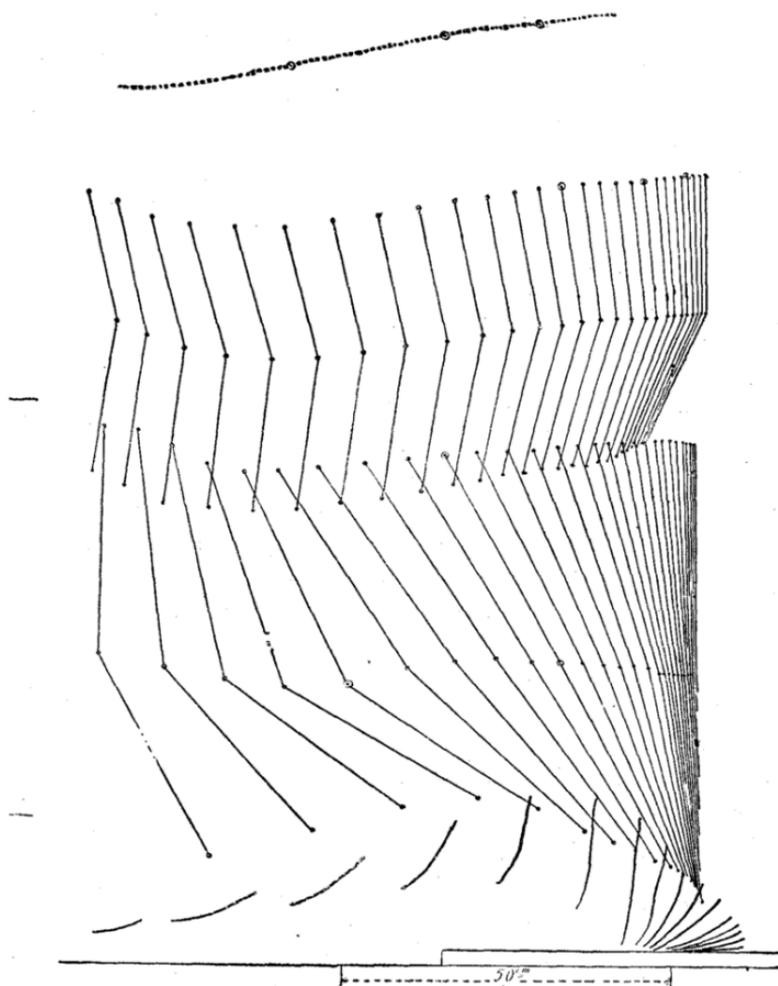


Fig. 291. — Analyse chronophotographique du premier pas de marche.

Chute du corps au commandement de « En avant ! » On voit le talon se soulever du sol pour allonger le rayon du membre à l'appui, et la jambe se fléchir pendant le lever du pied.

*Suspension du corps.* — Période de la course et du saut pendant laquelle le corps est complètement détaché du sol. Cette période suit immédiatement l'impulsion et précède la chute.

*Flexion et extension d'un membre.* — Actes musculaires qui ont pour effet de raccourcir ou d'allonger le rayon du membre inférieur ou supérieur.

*Trajectoire d'un point du corps.* — Ligne décrite dans l'espace par ce point et que les procédés de la photographie actuelle permettent de fixer et d'étudier.

*Maximum ou minimum de la trajectoire d'un point du corps.* — Les points remarquables où la trajectoire du point considéré vient à s'infléchir présentent un maximum ou un minimum, et la hauteur de ces points au-dessus du plan horizontal en donne la mesure.

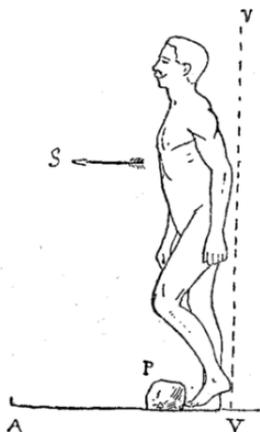


Fig. 292. — Marcheur dans l'impossibilité d'éviter une chute en avant si le pied levé vient buter une pierre P en vertu de la vitesse S qu'il possède.

*Réaction verticale du tronc.* — Quantité évaluée en centimètres qui mesure l'élévation de la tête pendant chaque appui dans la marche, pendant la suspension dans la course et le saut.

Cette élévation est comptée à partir du point le plus bas de la trajectoire. Les réactions ont donc pour valeur la différence entre un maximum et

un minimum consécutifs.

**ANALYSE DES MOUVEMENTS PENDANT LA MARCHÉ.** — Étant en station droite, pour se mettre en marche du pied gauche, on porte le poids du corps sur la jambe droite, on penche légèrement le corps en avant et l'on fléchit les segments du membre inférieur gauche pour en réduire la longueur et lui permettre d'osciller sans toucher terre (fig. 291). Cette oscillation de la jambe est due à l'action musculaire, dans le cas d'une paralysie des fléchisseurs le pied traîne, et si l'on a une jambe ankylosée ou une jambe de bois, il faut la projeter latéralement, on fauche pour la dégager.

La jambe gauche continue à osciller; à ce moment, si elle était arrêtée par un obstacle, la rencontre d'une pierre par exemple, le corps projeté en avant ne trouvant plus de point d'appui, il

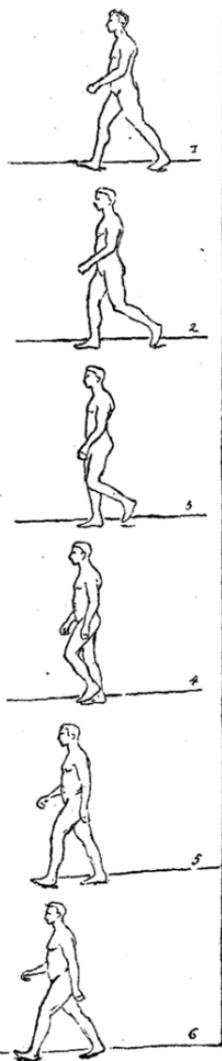


Fig. 293. — Analyse chronophotographique d'un demi-pas de marche montrant les positions relatives du bras et des jambes dans les attitudes successives.

se produirait une chute (fig. 292). Pendant que la jambe gauche oscille, la jambe droite toujours à l'appui s'étend, le pied droit se déroule sur le sol, l'action impulsive cesse avec l'allongement et le pied gauche pose à terre par le talon un peu avant le lever du pied droit. A cet instant très court le corps repose sur deux points d'appui : le talon gauche et les orteils droits (fig. 293, 1 et 294). C'est la période de double appui.

A ce moment les jambes sont écartées au maximum, le corps est abaissé et la distance entre les deux talons mesure la longueur d'un demi-pas. Un peu après, le pied gauche s'applique contre le sol tandis que le pied droit quitte terre par la pointe. Alors la jambe droite se fléchit et oscille à son tour comme l'avait fait la jambe gauche ; le pied gauche se déroule sur le sol, la jambe gauche s'étend, le pied droit touche terre par le talon, le pied gauche se lève et le tronc se retrouve au-dessus de son point d'appui. Alors un pas complet est exécuté, la jambe droite est redevenue verticale et presque étendue, comme au départ. Il s'est



Fig. 294. — Marcheur au moment du double appui.

passé deux demi-suspensions de la jambe gauche, une oscillation complète de la jambe droite,

un appui entier du pied gauche et deux demi-appuis du pied droit.

La durée de l'appui de chaque pied a été la même, un peu

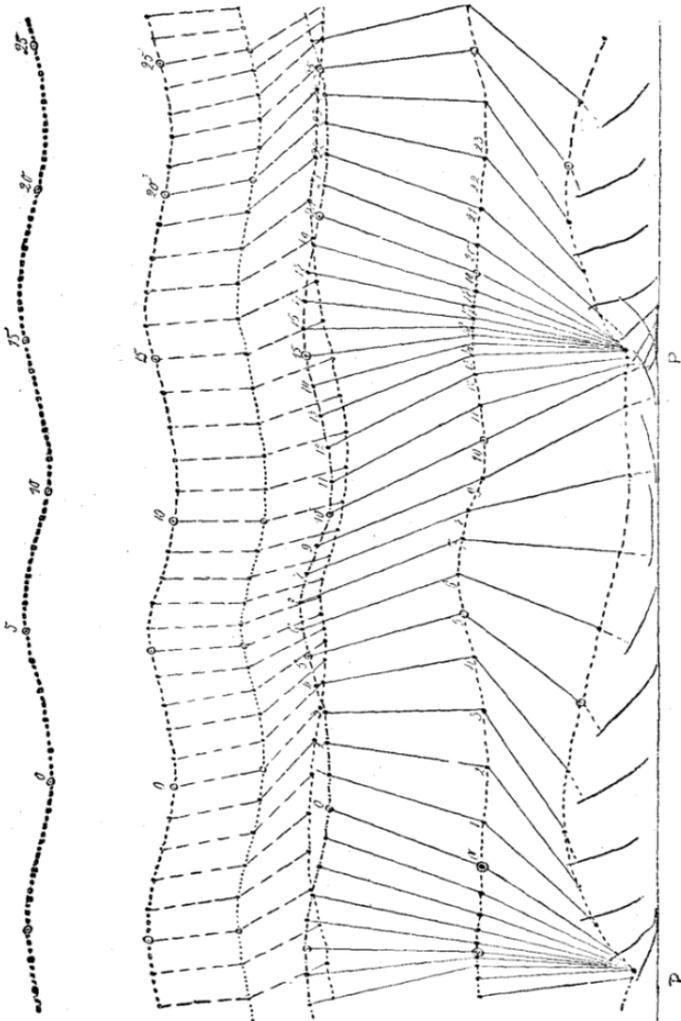


Fig. 293. — Analyse chronophotographique de la marche.

Les positions 0 0 0, 1, 2, 3, correspondent au moment du lever du pied; — 11, commencement de l'appui qui se termine entre 21 et 22. Les mêmes numéros indiquent les positions synchrones de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville. (Sujet entraîné faisant 40 à 42 kilomètres dans sa journée, vingt-quatre ans, taille 1<sup>m</sup> 68, longueur du membre inférieur 0<sup>m</sup> 87, cuisse 0<sup>m</sup> 42, pied 26<sup>m</sup> 15, poids 58 kil. 5, capacité respiratoire 4 litres, unité de temps 1/20 de seconde.)

plus grande que celle du lever. Le tronc s'est incliné légèrement en avant et conserve une inclinaison variant avec la vitesse de l'allure, le degré de fatigue et de force musculaire.

Le pied touche le sol par le talon quelle que soit la longueur

du pas ; la jambe au moment du poser est oblique en avant et presque étendue ; elle fait un angle avec la verticale qui reste

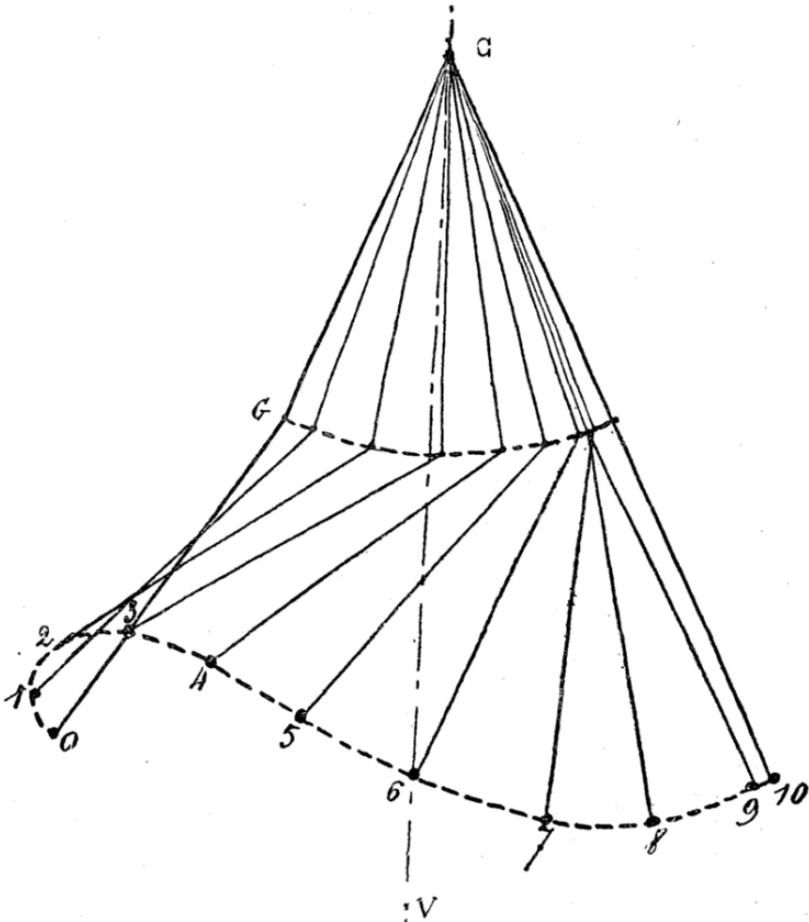


Fig. 296. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc dans la marche. Période de lever.

E, centre de mouvement de la hanche ; — G, genou ; — 0, 1, 2, 10, cheville du pied. (Les chiffres correspondent à ceux de la figure 295.)

constant pour un même sujet aux différentes vitesses de la marche puis le pied se déroulant sur le sol l'angle décrit par le rayon au moment du lever s'ajoute avec le premier pour former l'angle total de déroulement. Ce dernier vaut  $50^{\circ}$  environ et  $i'$  varie avec la longueur du pas.

Le genou au moment où le rayon du membre passe par la verticale est étendu dans la marche lente, un peu fléchi dans la marche rapide.

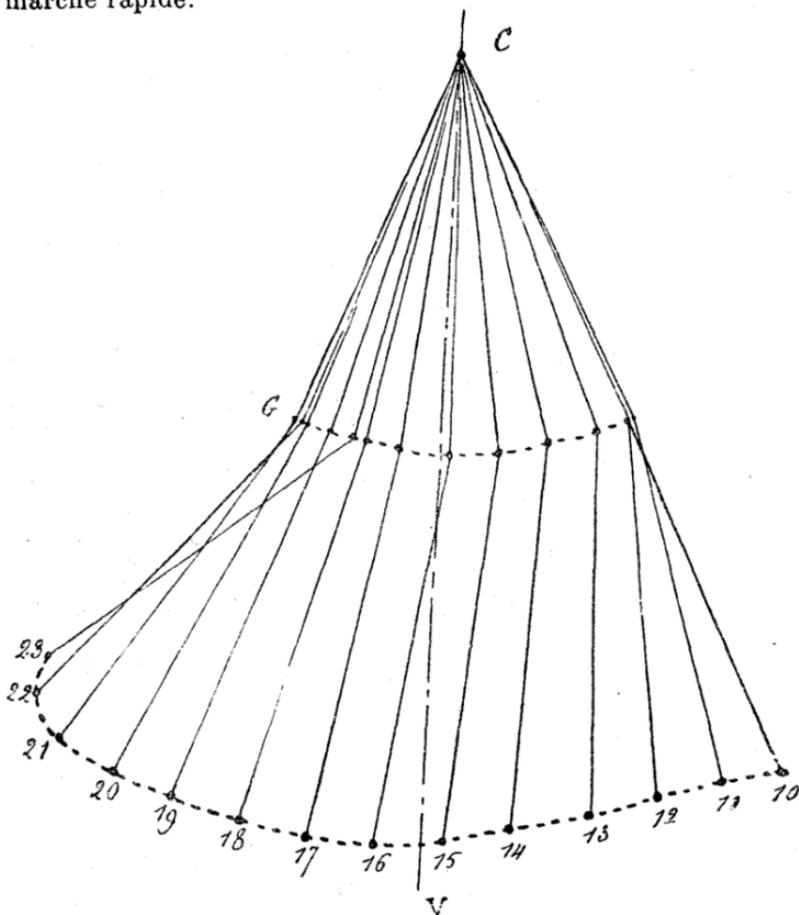


Fig. 297. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc pendant l'appui du pied.

(Les chiffres correspondent à ceux de la figure 295.)

Pendant la période de lever du pied, le membre oscillant est d'autant plus fléchi que le temps d'oscillation est plus bref; c'est là une condition d'économie de travail que l'on retrouve dans l'oscillation du bras, la vitesse du pied atteint son maximum au dernier tiers de la phase d'oscillation. La vitesse

moyenne du pied est supérieure au double de la vitesse de progression du corps ; en effet la durée du double appui doit se

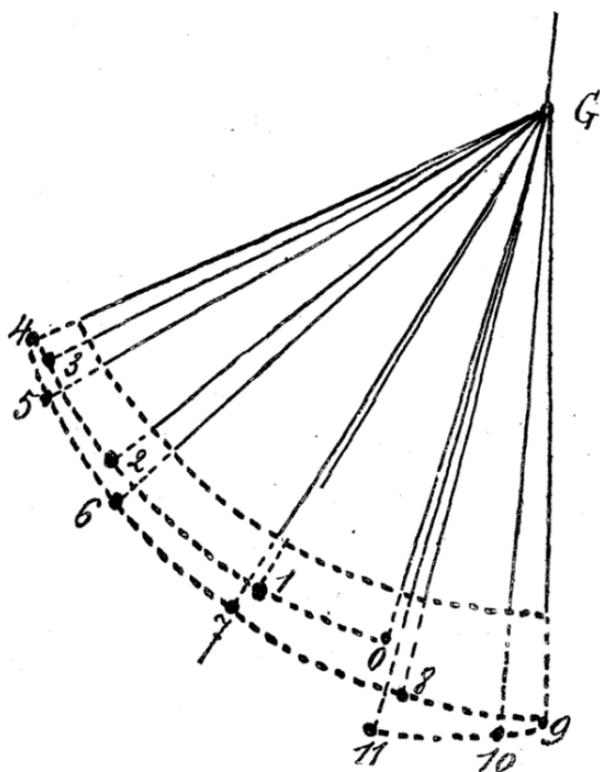


Fig. 298. — Mouvement relatif de la cuisse sur la jambe dans la marche, pendant le lever du pied.

G, centre de mouvement du genou ; — 0, 1, 2, 3, 4, 11, position de la jambe indiquant le degré de flexion et d'extension tous les  $\frac{1}{20}$  de seconde. La courbe ponctuée indique le mouvement relatif. (Les chiffres correspondent à la figure 295.)

retrancher de celle du demi-pas pour constituer la période d'oscillation (fig. 295 et suivantes)<sup>1</sup>.

**APPUI DU PIED. Déroulement du pied et double appui.** — Le pied touche le sol par le talon (fig. 295) et presque aussitôt s'applique par toute l'étendue de sa surface plantaire ; cette première phase occupe encore les trois cinquièmes de la durée

1. Demeny et Marey, Notes à l'Académie des sciences (1884-1886).

totale de l'appui. A partir de ce moment le talon se détache du sol et pendant la seconde phase, c'est-à-dire les deux cinquièmes

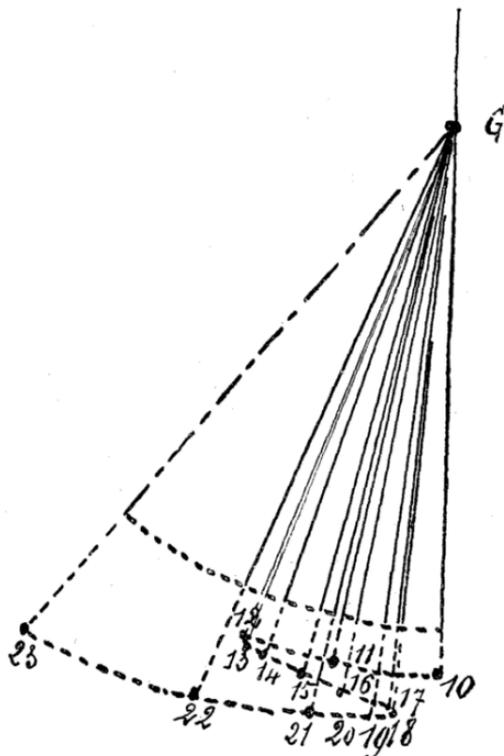


Fig. 299. — Mouvement relatif de la jambe sur la cuisse dans la marche pendant l'appui du pied.

Les numéros indiquent les positions successives de la jambe tous les  $\frac{1}{20}$  de seconde, et, par suite, le mouvement de flexion et d'extension. La courbe ponctuée rend manifeste ce mouvement. (Les chiffres correspondent à la figure 295.)

de l'appui, le pied se déroule autour de sa pointe ou pour mieux dire de l'extrémité des métatarsiens (fig. 305). La figure 308 montre la durée relative de l'appui du talon et de la pointe du pied.

Le double appui est spécial à la marche, nous en avons étudié la durée<sup>1</sup> en adaptant sous la semelle des plaques de métal disposées de façon à fermer le circuit électrique d'une pile

1. G. Demeny, Variations de la durée du double appui dans la marche, *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, 25 juin 1885.

portative placée dans la poche du marcheur quand le double appui avait lieu. Le contact électrique se produisait quelle que

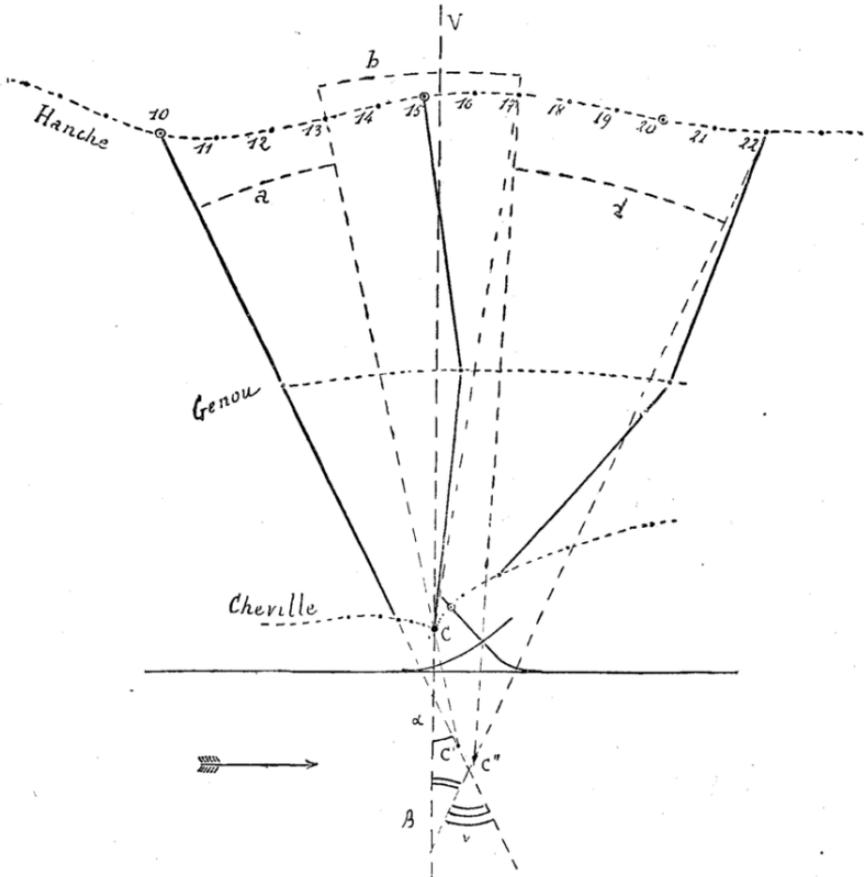


Fig. 300. — Centres de rotation du rayon du membre inférieur pendant le déroulement du pied sur le sol.

Le mouvement angulaire du rayon correspond aux trois arcs  $a$ ,  $b$ ,  $d$ , décrits autour du point  $C$  pendant le poser du talon, de la cheville  $C$  pendant le poser de la plante du pied, du point  $C'$  pendant le déroulement du pied jusqu'à la pointe des orteils. Les angles  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  sont respectivement les angles de poser, de lever et de déroulement. (Les chiffres correspondent à ceux de la figure 295.)

soit la partie, pointe ou talon qui posât sur le sol. L'inscription de la fermeture du circuit se faisait au moyen d'un signal Desprez (fig. 309). Les tracés obtenus mesurent exactement les durées du double appui et même les durées de l'appui et du lever d'un pied pour la durée d'un demi-pas (fig. 306, 307 et 310).

En faisant varier le nombre des pas de 40 à 100 par minute, j'ai pu comparer les durées du demi-pas à celles du double

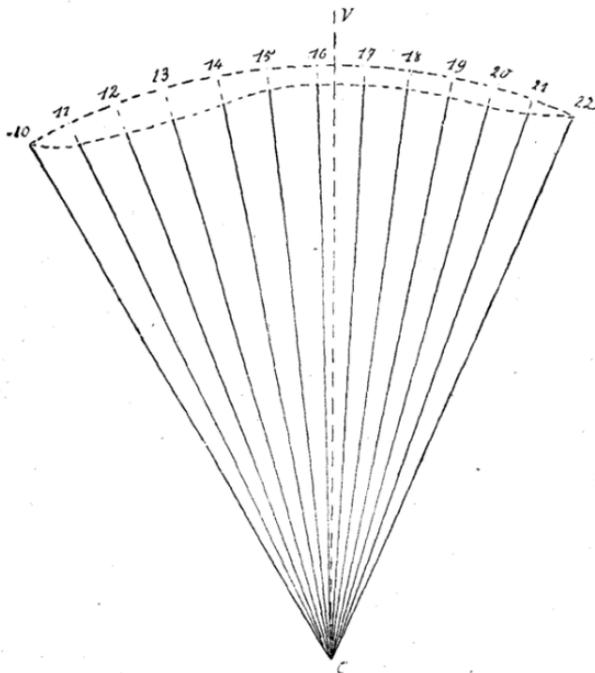


Fig. 301. — Loi de la vitesse angulaire et de l'allongement du rayon du membre inférieur pendant l'appui.

O, centre de mouvement; 10, 11, 22, arcs décrits par le rayon tous les 20° de seconde; O, V, verticale. La différence entre la courbe ponctuée représentant la trajectoire de la hanche et l'arc de courbe montre les variations de la longueur du rayon. (Les chiffres correspondent à la figure 293.)

appui correspondant (fig. 311). On voit qu'à toute allure marchée il y a un double appui des pieds, que la durée de ce double appui diminue plus vite que celle du demi-pas quand la marche s'accélère, les écarts extrêmes ont été de de  $\frac{1}{4}$  à  $\frac{1}{8}$  de la durée du demi-pas; soit en valeur absolue de  $\frac{7}{40}$  à  $\frac{2}{40}$  de seconde.

Dans une autre série d'expériences j'ai étudié l'influence de la charge. En augmentant graduellement cette charge de 0 kilogrammes à 40 kilogrammes le double appui augmente pour atteindre presque la moitié du demi-pas (fig. 312).

Tantôt nous imposons au marcheur une cadence de 60 pas à la minute, tantôt nous le laissons libre de régler à volonté son allure.

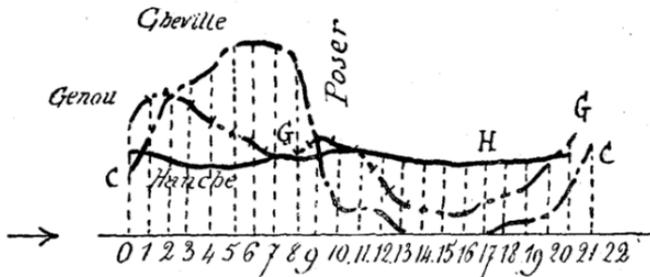


Fig. 302. — Variations de la vitesse horizontale de la hanche, du genou et de la cheville pendant un pas complet de marche; les temps sont comptés en 20° de seconde.

(Les temps correspondent aux positions de la figure 295.)

L'allongement du double appui a atteint son maximum dans ce dernier cas.

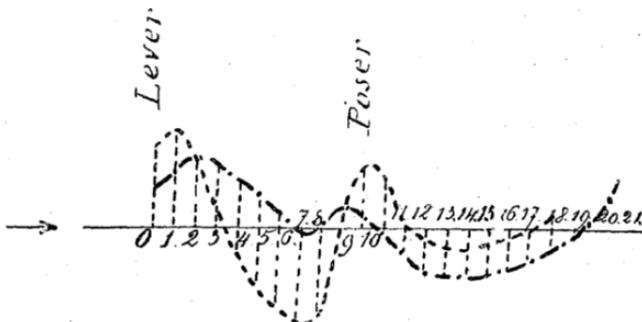


Fig. 303. — Loi de la vitesse angulaire de flexion et d'extension de la jambe sur la cuisse et de la cuisse sur le tronc dans la marche.

La courbe ponctuée correspond au mouvement de la jambe, la courbe point et barre au mouvement de la cuisse. La flexion est au-dessus de la ligne des temps, l'extension au-dessous.

La fatigue allonge la période de double appui, et cet allongement peut servir de signe objectif de la fatigue.

INFLUENCE DE LA CHAUSSURE. — Deux choses essentielles sont à considérer dans la chaussure : sa forme intérieure, la fidélité avec laquelle elle se moule sur le pied et en suit tous les mou-

vements et sa forme extérieure, les dimensions du talon et de la semelle (fig. 313).

L'empreinte du pied sur le sol montre la forme à donner à la chaussure. Dans un pied normal le gros orteil se trouve à peu

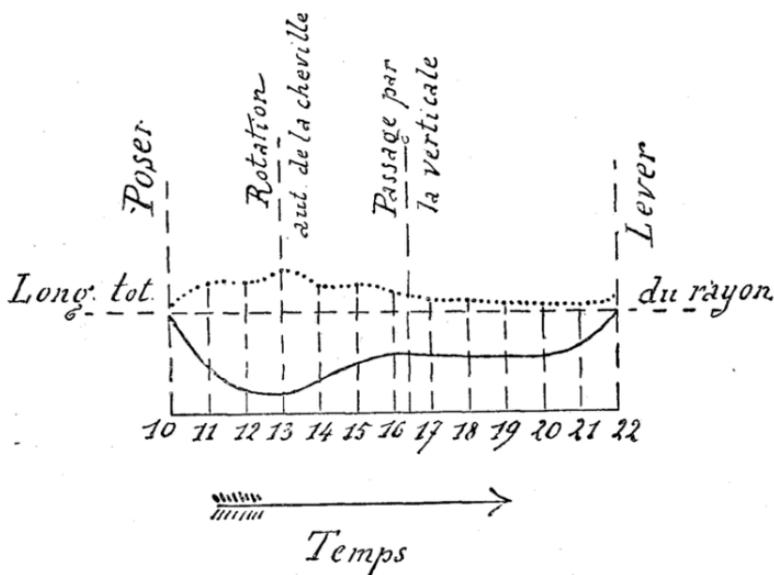


Fig. 304. — Courbe représentant la variation de vitesse angulaire et la variation de la longueur du rayon du membre inférieur pendant l'appui du pied.

Le trait ponctuée correspond à la vitesse angulaire, le trait plein à la longueur du rayon. (Les chiffres correspondent aux temps et positions de la figure précédente.)

près dirigé suivant la ligne interne du pied, les orteils sont libres, étalés sur le sol, les points de contact ont lieu principalement aux métatarsiens et au talon; la plante présente une voûte ne reposant pas sur le sol. Dans le pied plat, cette voûte n'existe pas, le pied s'écrase (fig. 314) à cause de la distension des ligaments, les points de contact avec le sol sont plus nombreux, mais c'est une conformation défectueuse enlevant toute résistance au pied et incompatible avec la marche soutenue.

Les chaussures mal faites ont presque toujours le défaut de recroqueviller les orteils et de les déformer en les ramenant tous vers un axe faux passant par la pointe de la chaussure. Les

chaussures étroites et pointues sont cause de la plupart des infirmités du pied, durillons, arthrites, luxations des orteils qui infligent aux élégants des tortures inimaginables. La

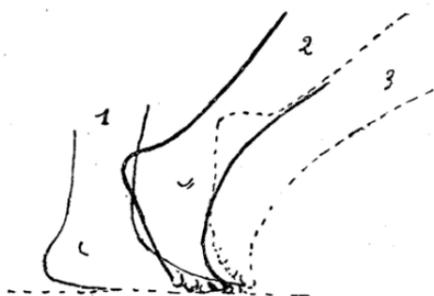


Fig. 305. — Déroulement complet du pied dans la marche.

1, lever du talon ; — 2, appui sur les orteils ; — 3, lever de la pointe.

radiographie reproduite (fig. 315) suffit pour faire comprendre l'état du pied dans ces conditions.

La hauteur du talon diminue la longueur du pas parce qu'elle

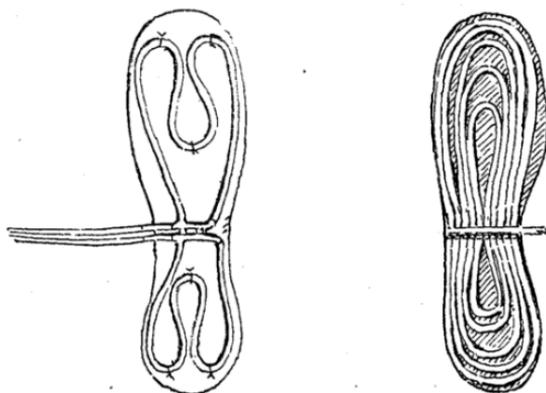


Fig. 306. — Semelles exploratrices de la pression donnant la durée de l'appui du pied et la durée relative de l'appui du talon et de la pointe.

réduit le déroulement du pied sur le sol ; on voit (fig. 300, 305 et 316) la longueur du pas se composer de la longueur du pied augmenté de l'écartement des pieds ; plus le talon est élevé, moins la projection horizontale du pied sur le sol est grande, moins le déroulement est grand ; le minimum de déroulement

correspondrait au pilon d'une jambe de bois, le maximum au pied complètement à plat. Le marcheur muni de chaussures à hauts talons repose en réalité sur la pointe des pieds, le poids du corps comprime douloureusement les orteils dans l'extrémité de la chaussure et le fait de se tenir sur la pointe des pieds provoque nécessairement les flexions de la jambe et de la cuisse; la longueur du pas diminue encore parce que la jambe

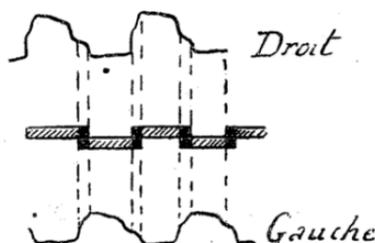


Fig. 307. — Inscription des appuis successifs du pied droit et du pied gauche pendant la marche, avec la notation des appuis et levers montrant la valeur relative du double appui.

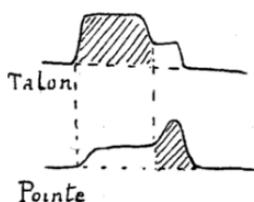


Fig. 308. — Inscription de la pression du pied sur le sol pendant la marche au moyen d'une semelle exploratrice donnant la durée relative de l'appui du talon et de la pointe.

ne s'étend pas au moment du poser (fig. 300). Ainsi tout l'équilibre du tronc est compromis et une ensellure lombaire en est la conséquence.

La longueur de la semelle augmente la longueur du déroulement du pied sur le sol et par suite la longueur du pas; mais il ne faut rien exagérer. Une semelle longue et rigide semblerait l'idéal pour allonger le pas, cela est vrai, en théorie, mais elle exige une dépense considérable d'effort et devient extrêmement fatigante. Une semelle trop souple permettant l'extension complète des orteils raccourcit visiblement la longueur du pas (fig. 317 et 318).

Une bonne chaussure ne peut être faite que sur un moulage du pied ou sur une vieille chaussure qui en a pris exactement la forme. Les durillons se produisent aux endroits où la chaussure frotte sur le pied; on ne les évitera pas avec une chaussure trop large; il faut au contraire pour cela une chaussure ajustée.

MOUVEMENTS DU TRONC. — La périodicité et l'obliquité de l'im-

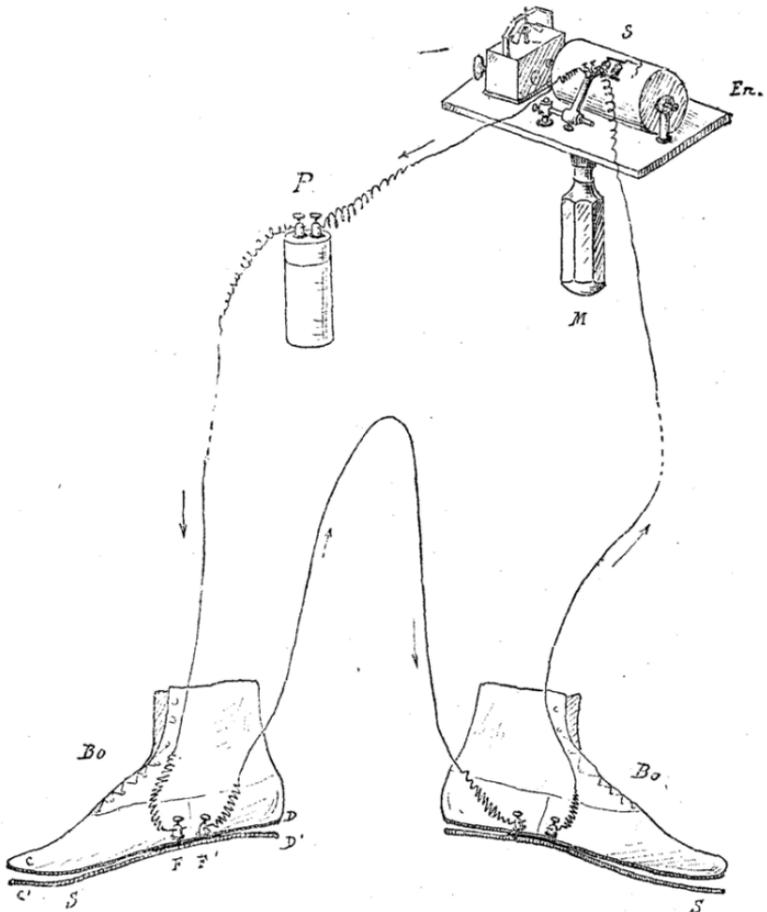


Fig. 309. — Dispositif pour mesurer la durée du double appui dans la marche (DEMENVY).

Bo, bottines à semelles S métalliques venant en contact à la pointe CC' et au talon DD' pendant l'appui sur le sol. Un circuit électrique PFF' est fermé pendant le double appui et un signal S inscrit la durée de la fermeture sur un cylindre enregistreur En que l'on tient à la main par une poignée M.

pulsion de la jambe communiquent au tronc un mouvement complexe que l'on peut diviser en oscillations verticales, oscillations latérales et torsions.

OSCILLATIONS VERTICALES DU TRONC. — Les oscillations verticales

tiennent à l'angle de déroulement du membre inférieur. La trajectoire de la hanche serait un arc de circonférence si celui-

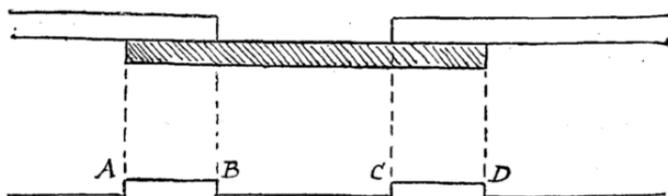


Fig. 310. — Tracé et notation du double appui dans la marche.

AB, CD, double appui du pied.

là était rigide, mais le déroulement du pied et l'extension de la jambe allongent le rayon de ce cercle à chaque instant et

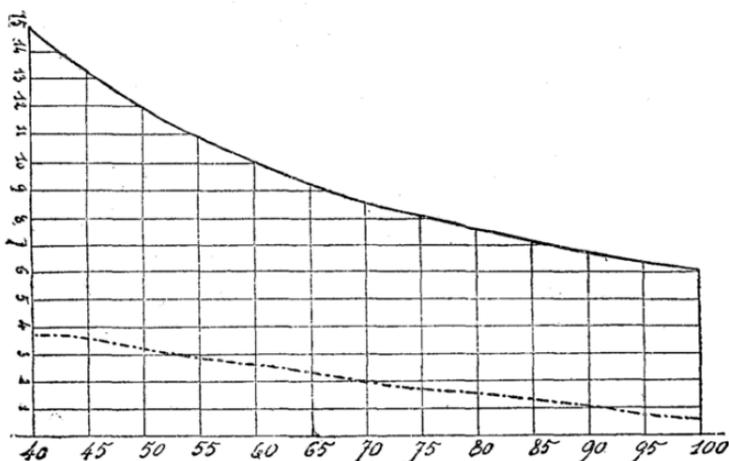


Fig. 311. — Grandeur comparée de la durée du demi-pas et de la durée du double appui dans la marche.

Les ordonnées indiquent les durées en vingtièmes de seconde. Les cadences sont portées en abscisses de 5 en 5 pas à la minute (DEMEY).

déplacent le centre de rotation; la trajectoire de la hanche prend alors une forme plus allongée (fig. 301, 304 et 319).

Le tronc repose tantôt sur une jambe étendue verticalement, tantôt sur les deux membres obliques, il y a donc un minimum d'abaissement au commencement de l'appui du pied et un maximum d'élévation au milieu de l'appui. Pendant un pas complet, il y a deux minima et deux maxima ou deux oscilla-

tions correspondant à deux doubles appuis et au milieu de deux appuis simples.

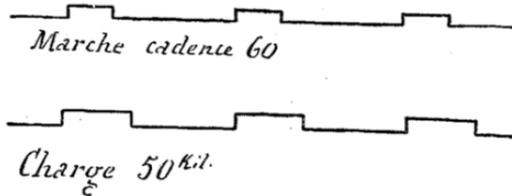


Fig. 312. — Augmentation de la durée du double appui du pied dans la marche avec une charge de 50 kilog.

On peut comparer les longueurs des tracés dans les deux cas.

Ces oscillations sont très visibles sur un marcheur dont la tête dépasse un peu la crête d'un mur horizontal; on voit la tête



Fig. 313. — Forme de l'empreinte d'un pied normal; le gros orteil dirigé suivant la ligne VX, et pied déformé par la chaussure, l'orteil dévié vers l'axe de la chaussure AB.



Fig. 314. — Empreintes d'un pied normal avec la voûte plantaire et d'un pied plat (figure de gauche) qui s'écrase sur le sol.

disparaître à chaque abaissement et reparaitre ensuite au maximum d'élévation.

Elles sont amplifiées si l'on porte sur l'épaule une longue tige élastique de fer ou de bois et la marche devient alors extré-

mement pénible à cause de la période d'oscillation propre de cette tige. On a pour la même raison autant de difficulté à

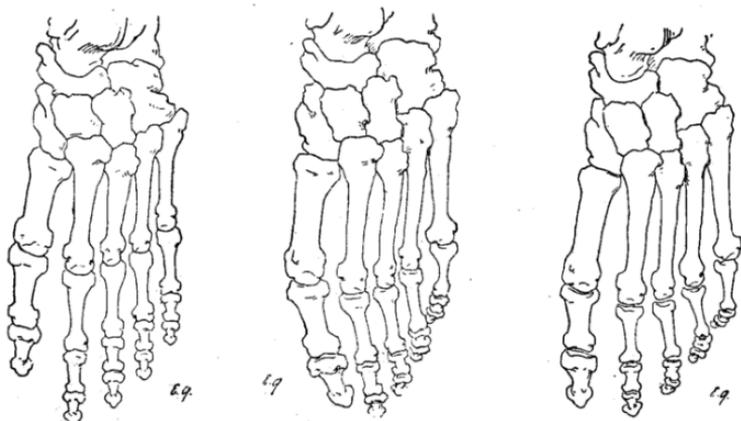


Fig. 315. — Déformations des orteils par la chaussure étroite et pointue. Pied déformé comparé au pied normal. (Photographie par les rayons Röntgen.)

transporter un vase plein d'eau d'une certaine grandeur sans en épancher le contenu.

Pour mesurer directement les oscillations



Fig. 316. — Déroulement du pied sur le sol suivant les surfaces d'appui : jambe de bois, talon bas, talon haut, marche sur la pointe des pieds.

verticales, je me suis placé dans un chariot que j'avais construit spécialement à cet effet. Roulant sur un terrain horizontal et accompagnant le corps sans en gêner les mouvements, il portait un cylindre enregistreur destiné à inscrire en vraie grandeur les oscillations du tronc à la ceinture. La figure 320 montre cette disposition et le tracé obtenu (fig. 321), le tableau

(fig. 322) sont le résumé des expériences dans la marche à différents rythmes. On voit les oscillations verticales varier de 4 à

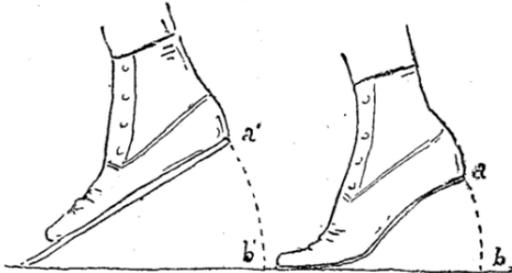


Fig. 317. — Destinée à montrer l'influence de la rigidité de la semelle sur la longueur du pas.

Pour une même inclinaison de la jambe le déroulement du pied est plus complet avec une semelle rigide.  $ab$ ,  $ab'$ , arcs correspondants décrits par le talon.

6 centimètres pour une cadence variant de 40 à 70 pas à la minute.

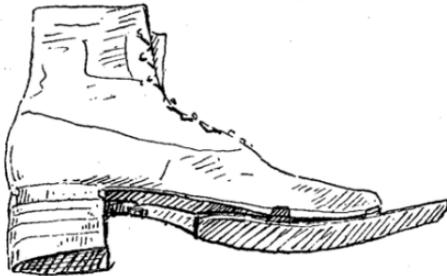


Fig. 318. — Chaussure destinée à faire des expériences sur l'influence de la hauteur du talon et de la longueur de la semelle sur la longueur du pas.

SINUOSITÉS DE LA TRAJECTOIRE DE LA TÊTE ET DU SACRUM. — *Forme de la trajectoire des points principaux.* La tête décrit pendant l'appui du pied une courbe à convexité supérieure mais cette trajectoire n'est pas plane, elle présente des sinuosités latérales. C'est une courbe gauche, on ne peut la représenter par le dessin que de deux façons, par ses deux projections horizontale et verticale (fig. 323) ou en perspective (fig. 324) <sup>1</sup>.

1. Marey. Images stéréoscopiques des trajectoires décrites par un point du corps dans les diverses allures; — *Comptes Rendus, Académie des sciences*, juin 1885. Marey et Demeny, *Mouvements du tronc dans la marche et la course*, *ibid.*, 3 oct. 1887.

Cette trajectoire provient des mouvements propres du tronc à savoir : des torsions suivant un axe vertical, des torsions

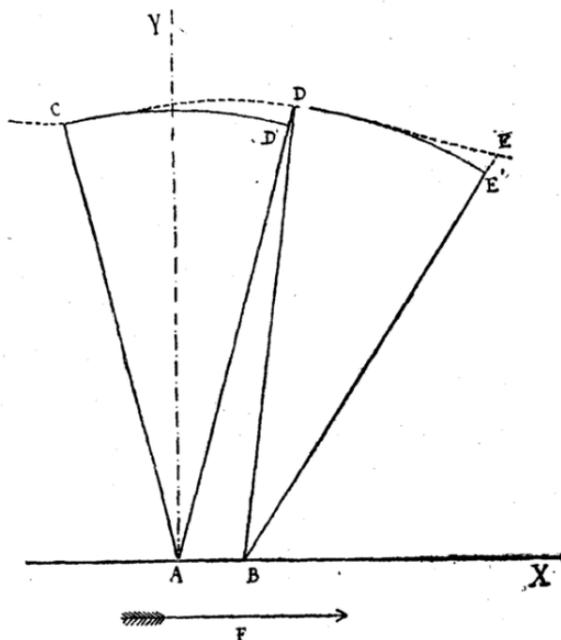


Fig. 319. — On voit la trajectoire de la hanche dans la marche C D E, engendrée par la rotation du rayon du membre inférieur autour des centres A et B (poser du talon et de la pointe) combinée avec l'allongement de ce rayon D' D et E' E. CD' et D E' représentent les arcs de cercle décrits par la hanche s'il n'y avait pas allongement. X, horizontale; A Y, verticale. (Voir fig. 300, 301 et 333).

suivant un axe horizontal et des balancements d'avant en arrière et latéralement.

**MOUVEMENTS DE TORSION DU TRONC.** — Ces mouvements sont déjà visibles sur des images photographiques successives prises d'en haut. Pour les obtenir nous avons installé à la station physiologique une chambre noire chronophotographique à 20 mètres au-dessus d'une piste noircie, mais pour aller plus loin dans ces recherches nous nous sommes servi du procédé des photographies partielles imaginé par M. Marey, procédé qui consiste à revêtir de noir le sujet en expérience et à rendre très

apparents au moyen de boutons ou de tiges brillantes les points dont on veut analyser le mouvement (fig. 325).

En fixant ainsi des baguettes blanches indiquant l'axe des épaules, la ligne des têtes fémorales et la ligne de la colonne

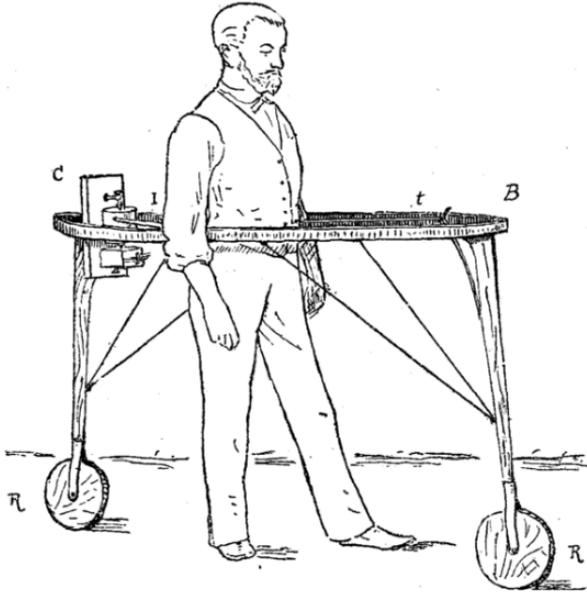


Fig. 320. — Chariot destiné à mesurer en vraie grandeur les oscillations verticales du corps pendant la marche (DEMENY).

vertébrale, nous avons obtenu des figures où la torsion des épaules et le balancement du tronc sont manifestes (fig. 326, 327 et 328).

Voici les résultats principaux de ces expériences :

Dans la marche, l'écart latéral maximum a lieu pendant l'appui d'un pied, il coïncide avec le maximum d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal et avec le minimum de la vitesse horizontale du tronc. La valeur est en moyenne de 2<sup>cm</sup>,5 à droite et à gauche de la ligne de progression. Cet écart varie dans le même sens que l'écartement des empreintes des talons ; il lui est sensiblement égal et diminue lorsque la longueur du pas augmente. L'écart latéral est nul pendant le double appui ; à ce moment la trajectoire du sommet de la

tête se projette horizontalement sur la ligne moyenne de progression.

La hanche est portée en avant en même temps que le membre inférieur oscillant tandis que la hanche opposée correspondant au membre à l'appui reste en arrière.

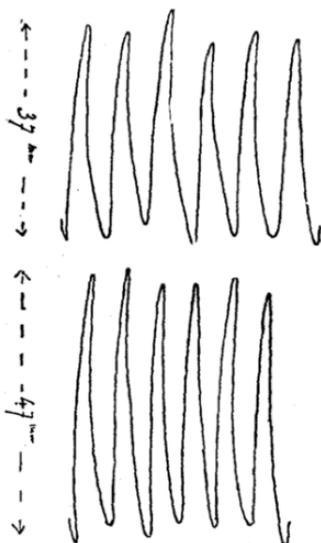


Fig. 321. — Réactions verticales du corps dans la marche, obtenues directement au moyen de l'appareil ci-dessus à la cadence 55 et 65 pas à la minute.

Il en résulte une torsion dont le maximum  $9^{\circ}$  environ, a lieu au moment du double appui et coïncide avec le minimum d'élévation du corps au-dessus du sol. La torsion du bassin est nulle pendant l'appui unipédal et au moment d'élévation et d'écart latéral du tronc (fig. 323).

Le mouvement de l'axe des épaules se fait en sens inverse de celui de l'axe du bassin. Il est de même sens que la projection des membres supérieurs. La torsion est maximum en même temps que la torsion inverse de la ligne des hanches. Sa valeur absolue est plus grande, elle est

de  $12^{\circ}$  environ dans la marche au moment du double appui.

La torsion de l'axe des épaules est nulle en même temps que celle du bassin quand les bras passent par la verticale; elle augmente avec la vitesse de progression.

La ligne des hanches s'abaisse du côté de la hanche suspendue et ce mouvement subsiste à toute allure marchée et courue. La ligne des épaules se relève du côté de la hanche suspendue et les deux mouvements sont synchrones. La torsion des épaules est plus faible dans la course que dans la marche et devient presque nulle dans une course rapide comme nous le verrons plus loin.

**INCLINAISON DU CORPS.** — Le corps s'incline en avant pendant la première moitié de l'appui et en arrière pendant la seconde moitié.

Ce mouvement est insensible dans la marche, plus accentué dans la course, il s'exagère avec la longueur du pas, mais n'excède pas 5 degrés dans les allures ordinaires.

Dans la marche normale comme dans la course modérée les

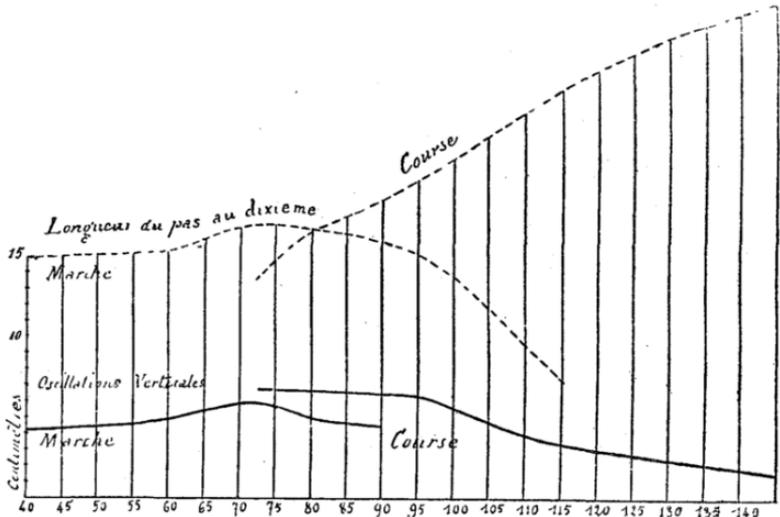


Fig. 322. — Variation des oscillations verticales de la tête dans la marche et la course à des cadences croissant de 40 à 140 pas à la minute. Comparaison de la courbe des oscillations à celle des longueurs de pas.

mouvements latéraux du tronc sont des mouvements de translation dans lesquels l'axe du tronc reste parallèle à lui-même et se transporte latéralement à chaque appui du pied d'une quantité indiquée dans la projection horizontale du sommet de la tête (fig. 326). Ce balancement a pour raison l'écartement des empreintes des pieds et se combine avec le mouvement d'inclinaison du tronc en avant et en arrière; la figure 328 est la photographie en perspective du mouvement latéral et d'élévation de la baguette fixée dans l'axe du dos du marcheur.

DIFFÉRENCES ENTRE LES TRAJECTOIRES DE LA TÊTE DE L'ÉPAULE ET DE LA HANCHE. — Les remarques précédentes nous expliquent les différences entre les trajectoires de la tête de l'épaule et de la hanche d'un marcheur. Nous avons superposé les portions correspondantes de ces trajectoires en projection verticale. Nous

avons fait coïncider les images n° 6 qui correspondent à la torsion nulle du tronc ainsi que les horizontales menées par les points correspondants.

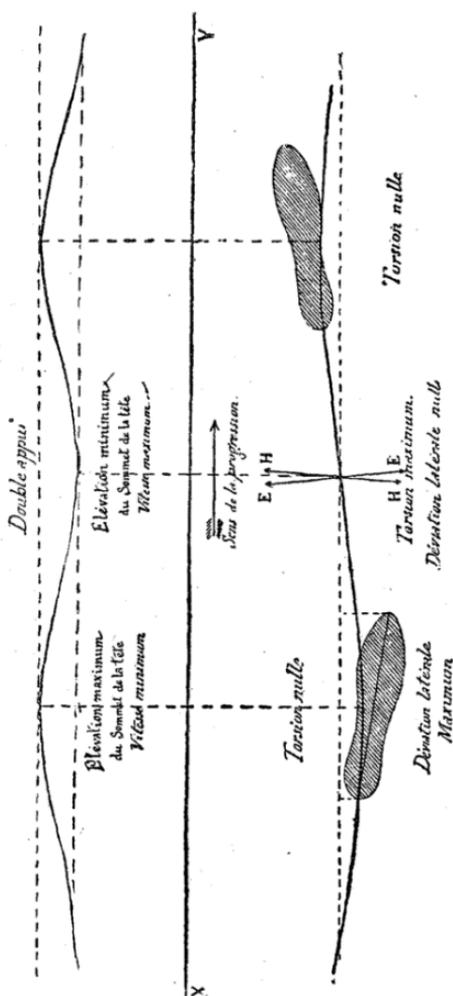


Fig. 323. — Projections horizontale et verticale de la trajectoire du sommet de la tête d'un marcheur pendant un pas.

On voit la position des empreintes des pieds par rapport à la projection horizontale de la trajectoire, l'inclinaison de l'axe du pied et la corrélation entre la déviation latérale, l'élévation de la tête, la variation de vitesse et la torsion du tronc.

On voit que l'épaule (fig. 329) est toujours en avant de la tête quand la hanche est en arrière, et inversement ; en outre que le point du milieu de la ligne qui joint l'épaule à la hanche a un mouvement presque identique à celui du sommet de la tête. Ce dernier point n'est en effet influencé par aucun des mouve-

ments de torsion du tronc qui modifient la trajectoire de l'épaule et de la hanche.

Le mouvement de balancement d'avant en arrière est assez faible pour qu'on puisse considérer le mouvement du sommet de la tête comme se rapprochant le plus de celui du centre de gravité.

Néanmoins, le centre de gravité change dans le corps à chaque attitude et nous avons vu comment, par une détermination expérimentale directe on pouvait en connaître le déplacement ce qui permet de corriger la trajectoire du sommet de la tête et la rapprocher autant que possible de celle du centre de gravité.



Fig. 324. — Trajectoire décrite dans l'espace par le pubis d'un marcheur; les flèches indiquent le sens du chemin parcouru.

OSCILLATIONS LATÉRALES. — Les oscillations latérales du tronc viennent de la substitution d'un membre à l'autre comme colonne de soutien; au moment

du lever d'un pied le tronc ne repose plus que sur une tête fémorale, il tend à tomber du côté du membre levé, l'action musculaire rétablit en partie l'équilibre en attirant le centre de gravité du tronc vers la base de sustentation.

Plus la distance entre l'écartement des pieds ou l'écartement des cavités cotyloïdes sera grande, plus les oscillations latérales seront considérables. Ainsi plus l'allure est rapide, plus on tend instinctivement à rapprocher les talons de la ligne moyenne du chemin parcouru pour diminuer les oscillations latérales et à fermer l'angle des pieds. Les sujets à jambes courtes et à bassin large ne peuvent les éviter et ont une démarche caractéristique fortement exagérée chez le canard. La femme à

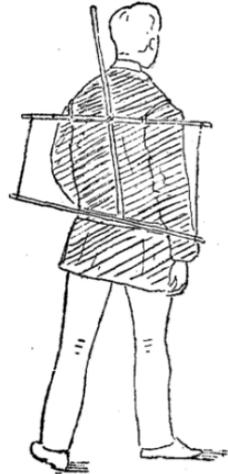


Fig. 325. — Sujet en expérience portant dans le dos des baguettes blanches indiquant l'axe du rachis et les axes des épaules et des hanches. Photographies partielles des mouvements du tronc (MAREY et DEMENY).

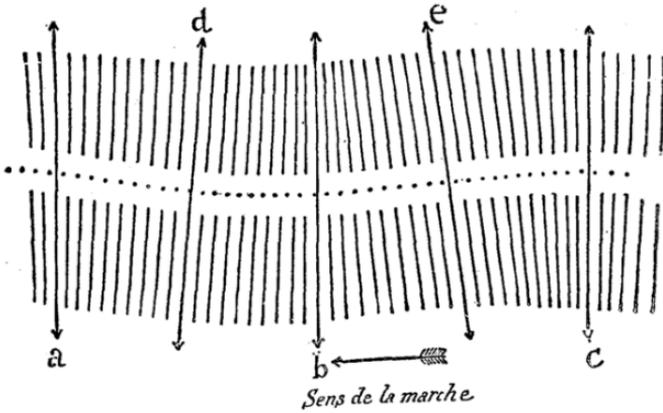


Fig. 326. — Analyse des torsions du corps dans la marche : en *a, b, c*, la torsion est nulle ; en *d* et *e*, elle est maximum et inverse l'une de l'autre (Vue d'en haut).

cause de la largeur de son bassin et pour éviter cette démarche

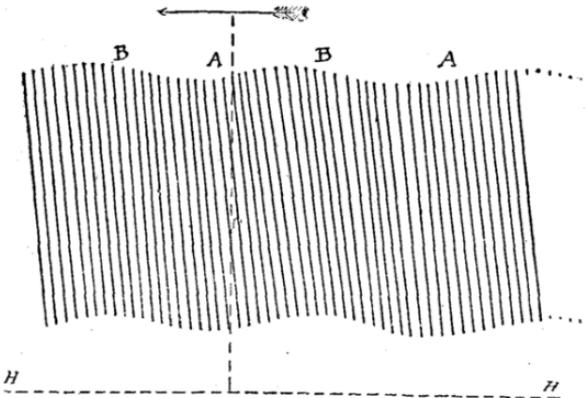


Fig. 327. — Photographies successives à 1/50 de seconde d'intervalle d'une baguette fixée le long de la colonne vertébrale d'un marcheur et dépassant la tête d'une longueur considérable. Le mouvement de balancement en avant et en arrière et l'inclinaison générale du tronc dans la marche sont ainsi amplifiés.

On voit en *A*, au moment du double appui du pied, le corps se pencher légèrement en arrière, et inversement en *B*, au milieu de l'appui, s'incliner légèrement en avant. La flèche indique le sens de la progression, la ligne *H H* l'horizon.

est obligée de rapprocher les pieds en dedans, ce qui enlève le parallélisme des jambes.

Les mouvements du tronc précédemment étudiés, surtout les oscillations verticales sont très visibles sur une colonne d'infanterie en marche même à grande distance. Il est curieux de remarquer qu'il est impossible, au moyen de clairons ou de tambours d'obtenir un ensemble dans les mouvements. Chaque rang en suivant parfaitement le rythme qu'il entend ne sera pourtant pas en même temps à la même phase du pas, mais retardera de la fraction de seconde employée par le son du clairon pour arriver à chacun d'eux. Ainsi les têtes des fantassins présentent une ligne ondulée précisément semblable à l'onde sonore. Il n'y a pas manque d'ensemble, mais chacun n'entend pas la mesure au même moment.

LONGUEUR DU PAS ET VITESSE DE PROGRESSION. — Dans toutes

les allures, les deux moitiés d'un pas complet sont souvent de longueurs inégales; la plus longue correspond à l'action de la jambe dont les muscles sont le plus exercés. C'est généralement le pied servant à donner l'appel dans le saut qui donne la plus grande impulsion dans la marche. Chez moi le pied gauche remplit cet office, j'use la semelle du pied gauche sous le gros orteil bien avant celle du pied droit.

Deux choses sont à considérer dans le pas : sa longueur et sa durée. La durée du pas implique le rythme ou la cadence de la marche. Cette cadence dépend d'un grand nombre d'éléments

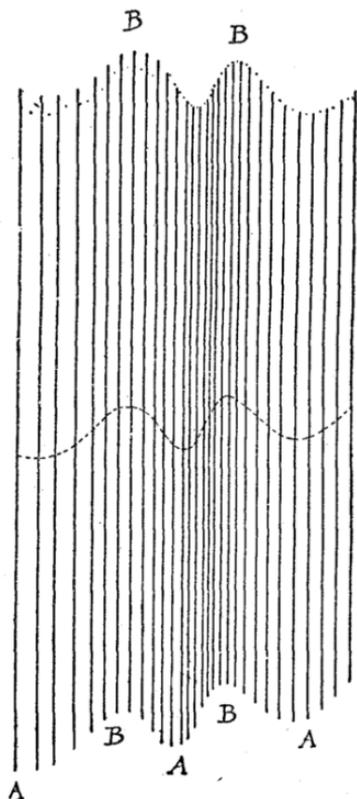


Fig. 328. — Mouvement du tronc dans la marche obtenu par les photographies successives d'une tige fixée dans le dos du marcheur fuyant devant l'appareil (Perspective du mouvement).

et influe réciproquement sur la longueur du pas et sur la vitesse de progression.

RELATION ENTRE LA LONGUEUR DU PAS ET LE RYTHME DE LA MARCHÉ.

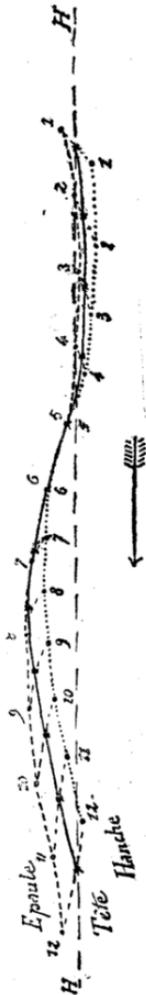


Fig. 329. — Comparaison des projections verticales des trajectoires du sommet de la tête, de l'épaule et de la hanche dans la marche.

On a fait coïncider les points 5 et 6 des trajectoires. On voit que la tête occupe constamment une position intermédiaire entre les trajectoires correspondantes de l'épaule et de la hanche marquées par les mêmes chiffres, H H, ligne horizontale.

— La vitesse de progression est le produit de la longueur du pas par la cadence, elle est le produit de facteurs complexes que nous allons examiner. L'expérience nous a montré que la vitesse maximum de la marche ne correspond pas à la cadence donnant la plus grande longueur du pas. Cela tient à la relation existant entre la longueur du pas et le rythme de l'allure. Le tableau précédent (fig. 322) indique que la longueur du pas augmente sans cesse jusqu'au rythme de 75 pas à la minute. Il est alors de 1.70 m. pour une taille moyenne de 1,67 m. Au delà de ce rythme la longueur du pas diminue ; lorsqu'on précipite trop la marche on ne laisse plus le temps à la jambe oscillante de se porter en avant, c'est la raison du raccourcissement du pas. La vitesse de progression aurait son maximum pour le rythme 85 soit 121 mètres à la minute mais cette vitesse ne peut être continuée longtemps dans ces conditions, ce n'est pas une allure économique. Elle diminue ensuite si la cadence s'accélère.

VARIATION DE LA VITESSE DU CORPS PENDANT L'APPUI DU PIED. — La vitesse de translation du corps n'est pas constante, pendant l'appui du pied il y a un ralentissement de la vitesse horizontale de la masse du corps. Lorsqu'on traîne une voiture à bras, les

traits de la voiture sont alternativement tendus et relâchés. Cela se voit également dans la figure 295 où les points formant la trajectoire de la hanche ou de la tête sont plus ou moins rapprochés. On voit le ralentissement maximum correspondre au passage du rayon du membre actif par la verticale c'est-à-dire au maximum d'élevation du tronc au-dessus du plan horizontal (fig. 302),

Ces variations absolues de la vitesse ainsi que les réactions

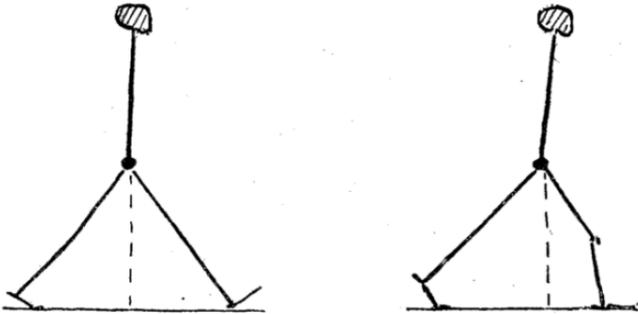


Fig. 330. — Schéma indiquant deux façons d'allonger le pas dans la marche ; l'une défectueuse en étendant fortement la jambe en avant. l'autre économique en poussant avec la jambe d'arrière et en recevant le poids du corps sur la jambe fléchie.

verticales augmentent avec la longueur du pas. Il y a là une limite de rendement, vouloir aller trop vite en allongeant le pas démesurément exagérerait tellement les oscillations verticales et les variations de la vitesse du tronc que l'allure deviendrait impraticable à cause de la fatigue qu'elle procurerait.

Les figures 296 à 304 montrent la loi des vitesses des différents segments du membre inférieur.

**MANIÈRE ÉCONOMIQUE DE MARCHER.** — Il y a du reste une manière d'obvier à ces défauts dans la pratique.

Les allures trop lentes ou trop vives doivent être laissées de côté, les rythmes de 55 à 65 pas à la minute sont les seuls avantageux. La longueur du pas doit s'obtenir par l'allongement du membre à l'appui, les jambes doivent rester légèrement fléchies à leur passage par la verticale, le tronc un peu incliné en avant et le pied posé en avant sans étendre démesurément la jambe (fig. 330).

La longueur du pas est ainsi obtenue en poussant avec la jambe en arrière le plus longtemps possible, en utilisant tout le déroulement du pied au lieu d'écarter les jambes d'une façon exagérée (fig. 331 et 332). La poussée avec le pied d'arrière a une certaine analogie avec la fente de l'escrime; la jambe est légèrement fléchie au moment du poser, elle

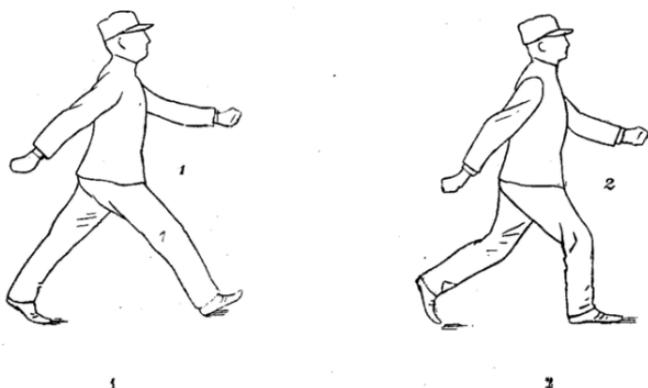


Fig. 331. — Deux images successives d'une marche fléchie :

1, Instant du double appui; 2, instant suivant immédiatement après flexion de la jambe en avant pour éviter l'oscillation verticale du tronc.

est alors dans de bonnes conditions pour amortir le choc du pied. Ce choc n'est pas perdu, il se transforme en changeant la trajectoire de la hanche en diminuant son élévation et en uniformisant le mouvement. Le tronc glisse ainsi sur une surface moins accidentée et avec plus de régularité, sa translation se rapproche d'un mouvement rectiligne et uniforme, qui serait l'idéal.

La force motrice qui entraîne le tronc en avant est la résultante de la pesanteur et de l'effort d'extension du membre à l'appui.

La pesanteur tend à faire décrire à la hanche un arc de cercle autour du pied (fig. 333). Mais le rayon du membre en s'allongeant modifie la trajectoire de la hanche qui se rapproche ainsi de l'horizontale; cependant l'extension n'est jamais suffisante et la trajectoire s'abaisse à la fin de l'appui.

Néanmoins la résultante de la rotation de la hanche autour du pied et de la poussée du membre inférieur peut devenir une action horizontale  $F$  dans le sens de la progression (fig. 333).

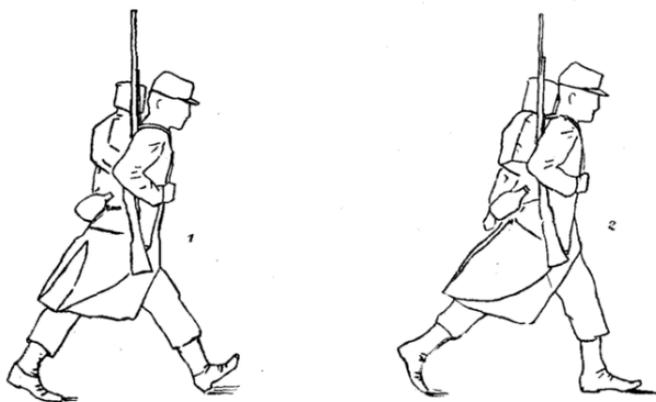


Fig. 332. — Soldat chargé au moment du double appui et du lever du pied d'arrière. On voit l'inclinaison considérable du tronc.

Monsieur le C<sup>t</sup> de Raoul a longtemps pratiqué la marche fléchie<sup>1</sup>, l'allure du paysan, de l'homme fatigué, et l'a popularisée dans l'armée. Je suis d'accord avec lui sur bien des points et j'avais déjà signalé depuis longtemps les avantages de cette allure au point de vue pratique<sup>2</sup>. On conçoit sans peine que plus le déroulement du pied sera complet et prolongé, plus l'action du membre à l'appui sur la hanche sera durable, plus celle-ci sera poussée en avant et plus le pas sera allongé.

L'inclinaison du tronc en avant facilite l'obliquité du membre qui pousse. L'extension complète de ce dernier donne à la trajectoire de la hanche une direction plus horizontale et plus rectiligne et prolonge l'action utile à la progression.

ÉTAT DU SOL. — La longueur du pas dépend aussi de l'état

1. C<sup>t</sup> de Raoul, *Comment on marche*.

2. Demy. L'Éducation physique. *Bulletin d'Anthropotechnie*, 1886, et *Manuel d'exercices gymnastiques de l'Instruction publique*.

du sol. Plus le sol est poli et glissant, plus la longueur du pas devient petite.

. Sur un terrain parfaitement poli, la progression serait

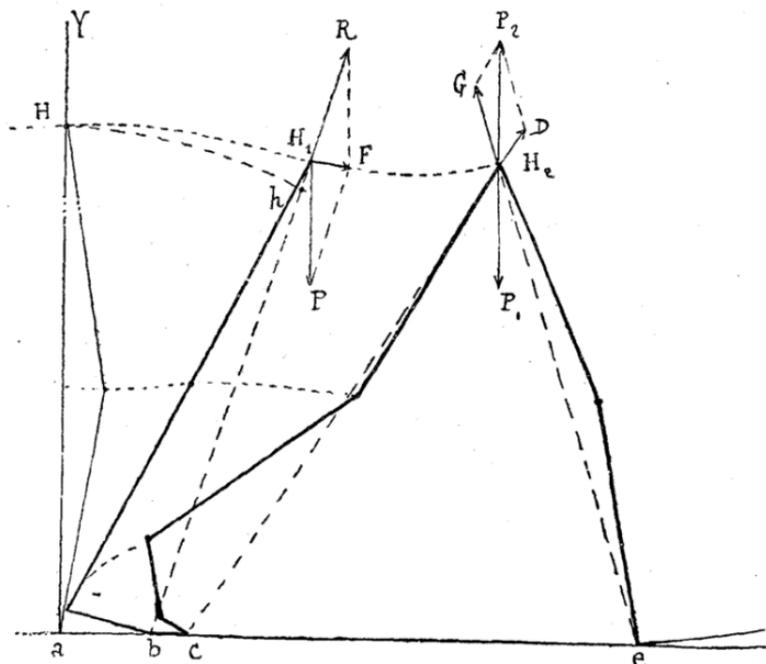


Fig. 333. — Action du membre inférieur dans la marche comme organe propulseur ou organe de soutien de la masse du corps. Combinaison de cette action avec le poids du corps pour engendrer la trajectoire de la hanche.

a Y, verticale et attitude de la jambe fléchie au moment du passage par cette ligne; H H<sub>1</sub> H<sub>2</sub>, trajectoire de la hanche différant de l'arc de cercle H h à cause de l'allongement du rayon C h; F, résultante de l'action de la pesanteur P et de l'effort d'extension R du membre inférieur. Cette résultante est dirigée suivant la tangente à la trajectoire et représente la force motrice de progression. P<sub>2</sub>, résultante de l'action des membres au moment du double appui et égale et contraire au poids du corps.

impossible, le pied glisserait en arrière, le corps tomberait, son centre de gravité descendant le long d'une verticale. La longueur du pas peut au contraire s'exagérer si le sol est rugueux, si les semelles des chaussures portent des pointes pénétrant dans la terre. Pour éviter le glissement sur les plans inclinés servant à l'abordage des bateaux, on les munit de baguettes en relief sur lesquelles le pied vient buter et trouve un point d'appui solide.

Si le sol ne résiste pas à la pression du pied, s'il est formé de terre ou de sable meuble, l'extension de la jambe n'est plus complètement utilisée pour la progression; si le tronc avance d'un côté, le pied recule de l'autre en pénétrant dans le sol (fig. 334 et 335). Il ne progresse en réalité que de la différence de ces deux chemins en sens inverse. Pour éviter cette



Fig. 334. — Écrasement du sol sous la poussée du pied dans la marche; a, excavation produite; b, soulèvement consécutif.



Fig. 335. — Empreinte du pied dans un terrain meuble. T, talon; P, pointe.

perte de travail il faut précipiter son pas et ne laisser agir la pression du pied qu'un temps très court. Les semelles larges

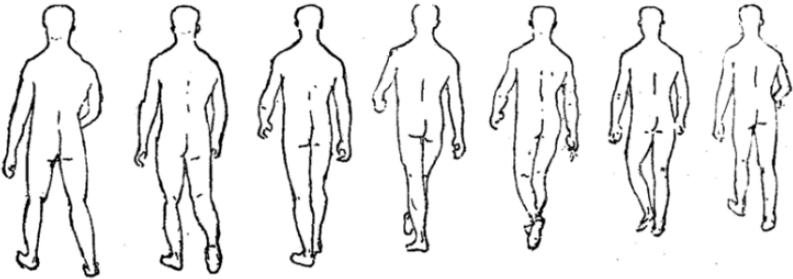


Fig. 336. — Images successives d'un marcheur fuyant devant l'observateur, montrant le synchronisme du mouvement des bras et des jambes.

donnent une base d'appui plus résistante. Les Lapons marchent sur la neige au moyen de patins ressemblant à de grandes raquettes; plus le milieu est fluide plus les organes locomoteurs des animaux présentent de grandes surfaces d'appui. Les membranes palmées du canard, les nageoires du poisson sont plus petites que l'aile de l'oiseau, elles trouvent sur l'eau et sur l'air des résistances suffisantes à la progression.

**MOUVEMENTS DES BRAS.** — Les mouvements des bras sont syn-

chrones et opposés au mouvement du membre inférieur du même côté. Ils ont pour effet de corriger en partie les déplacements du centre de gravité dus au mouvement des jambes et à la torsion du tronc. Plus l'allure est rapide moins l'oscillation des bras est étendue; ceux-ci se fléchissent même pour osciller plus rapidement (fig. 336 et 337).

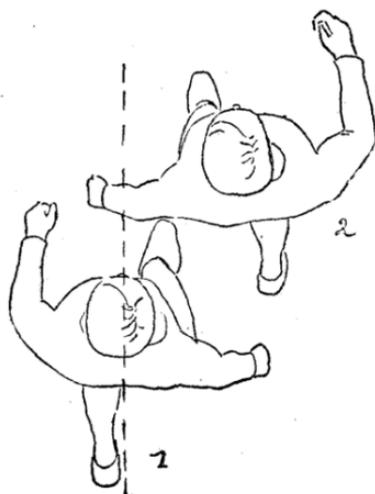


Fig. 337. — Images successives d'un marcheur vu d'en haut.

La figure 2 a été portée à droite pour éviter la superposition.

L'oscillation du bras se fait souvent dans un plan oblique coupant en avant la ligne de progression, ce qui atténue encore l'instabilité de l'équilibre sur un seul pied au moment du lever<sup>1</sup>. Ces mouvements doivent être modérés, cependant si on les supprime, la démarche est gênée. Les amputés nouveaux, les malades atteints d'une paralysie ou atrophie des parties antérieure et postérieure du deltoïde ont une allure spéciale.

1. Le déplacement du centre de gravité dans le corps est la somme algébrique des déplacements dus au mouvement des bras et au mouvement des jambes. Or, à la fin du double appui, la jambe qui se lève est suspendue à la hanche, ce qui amène pendant l'oscillation le centre de gravité de ce côté et en avant. A ce moment s'il y a un bras en arrière et un bras en avant dans le plan transversal, le déplacement du centre de gravité sera moindre, la trajectoire qu'il décrit plus rectiligne, de là économie et utilisation de la force musculaire.

Quelques sportmen cherchent à rendre synchrones les oscillations des membres du même côté, prenant ainsi une allure qui ressemble à l'amble chez le cheval. Rien ne peut approuver cette façon anormale de procéder.

D'autres sujets incoordonnés font des mouvements exagérés des bras et du tronc, ils dépensent en pure perte leurs forces

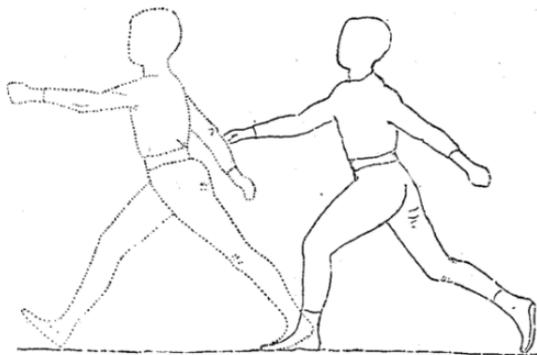


Fig. 338. — Images d'un marcheur incoordonné allongeant le pas en faisant des mouvements exagérés des bras et des jambes.

sans avancer et en se fatiguant beaucoup; il ne faut pas les imiter (fig. 338).

**PRESSIION DES PIEDS SUR LE SOL.** — La pression du pied sur le sol présente un grand intérêt dans toutes les allures. Reprenant les premiers travaux de M. Marey sur ce sujet<sup>1</sup> nous avons avec ce dernier approfondi la question et construit un dynamographe enregistreur donnant la valeur de la pression du pied aux différentes phases de son appui. Nous avons remplacé les semelles à réservoir d'air par un plancher fixe s'appuyant sur des spirales de tube de caoutchouc à section étroite<sup>2</sup>. Le poids du corps se répartit sur une surface assez grande pour que l'écrasement soit presque insignifiant. Néanmoins la quantité d'air chassée des tubes est suffisante pour faire mouvoir un tambour enregistreur. Nous nous sommes mis ainsi à l'abri des erreurs dues à la masse même de l'instrument; bien réglé

1. Marey, *La Machine animale*; Paris, F. Alcan.

2. Marey, *Le mouvement*; Paris, Masson.

ce dernier devient assez sensible pour obéir à des pressions ou

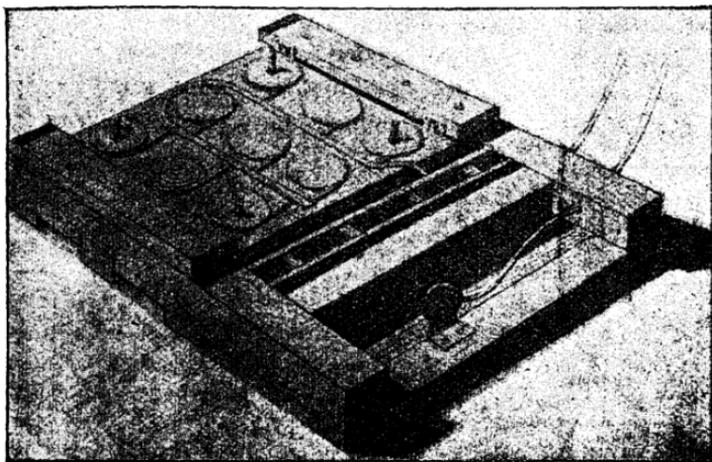


Fig. 339. — Intérieur d'un dynamographe donnant en fonctions du temps la courbe de la pression normale et tangentielle des pieds sur le sol dans les diverses allures (MAREY et DEMENY).

des chocs instantanés et retomber immédiatement à 0. Nous avons ajouté à l'enregistrement des pressions verticales l'ins-

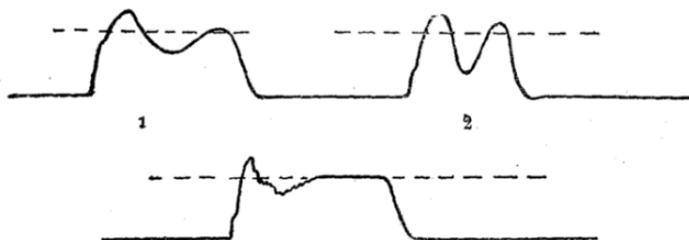


Fig. 340. — Forme de la pression normale du pied dans différentes allures.

1, pas de route; — 2, pas de charge; 3, pas cadencé. Le pas cadencé (3) se fait remarquer par le choc du pied au début, puis par le maintien de la pression au poids du corps.

cription des pressions tangentielles en ajoutant à l'instrument une disposition spéciale (fig. 339). (Voir *L'École française*.)

Avec de la pratique et beaucoup de soin on arrive à connaître assez cet appareil pour lui demander des mesures abso-

lues des pressions, la chose la plus délicate et la plus scabreuse de la méthode graphique.

On constate d'abord que la courbe de la pression normale du

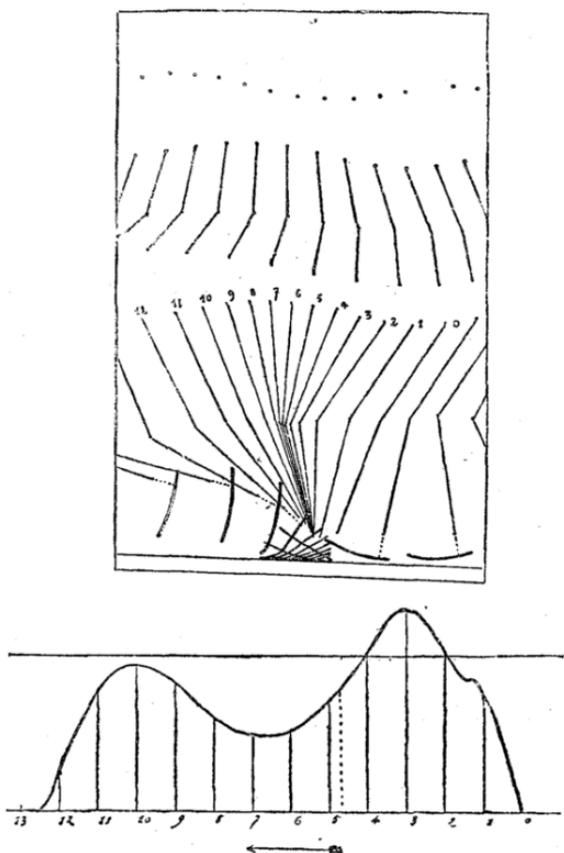


Fig. 341. — Combinaison des indications dynamographiques avec les données cinématiques de la chronophotographie.

pied oscille de part et d'autre de la ligne de poids, elle a une forme caractéristique (fig. 340). La pression dépasse au début la valeur du poids et cette valeur s'acquiert en deux montées dues aux contacts successifs du talon et de la pointe du pied.

La figure 341 nous montre la combinaison des données cinématiques de la photographie avec les données du dynamographe dans un appui du pied. Aux attitudes de la jambe

indiquées par numéros correspondent les pressions mesurées par les ordonnées portant le même chiffre.

On voit deux lignes horizontales entre lesquelles oscille la pression; ce sont la ligne de 0 et la ligne du poids du corps.

Nous avons étudié de très près ces tracés dans les allures normales et pathologiques (fig. 342)<sup>1</sup>.

Chaque démarche possède sa courbe caractéristique et ses

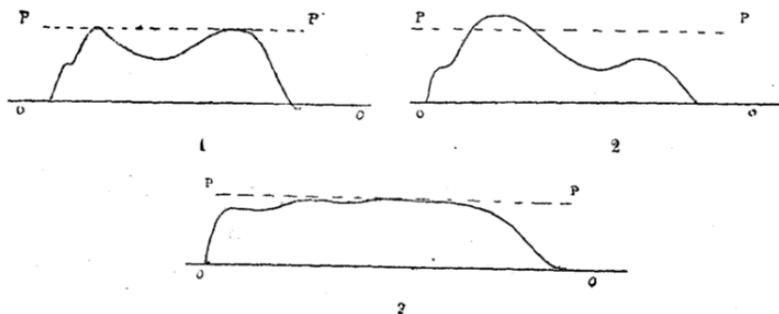


Fig. 342. — Forme de la pression normale du pied.

1, dans la marche ordinaire; — 2, dans la marche fléchie; — 3, dans la marche jambe raidie. — 0 0, ligne de zéro du dynamographe; P P, ligne de poids du corps.

trajectoires spéciales. Avec de la pratique nous étions assez familiarisé avec ces formes pour les reconnaître sans erreur.

Cette constance de la forme de la courbe du dynamographe tient à la relation intime qui la lie au mouvement (fig. 343 à 348).

RELATION ENTRE LA PRESSION DES PIEDS SUR LE SOL ET LE MOUVEMENT DU CENTRE DE GRAVITÉ. — La pression normale du pied sur le sol dépend de la vitesse du déplacement vertical du centre de gravité du corps. Cette pression est tantôt inférieure et tantôt supérieure au poids du corps; l'excès de la pression normale sur ce poids est proportionnel à l'accélération du mouvement vertical du centre de gravité.

Ainsi le dynamographe n'indique aucune pression supérieure au poids si la trajectoire du centre de gravité est une ligne droite horizontale ou si le mouvement vertical du centre de

1. Demeny et Quénu, Étude de la locomotion dans les cas pathologiques, *Comptes rendus Ac. des Sc.*, 28 mai 1838.

gravité est un mouvement uniforme; il y a alors égalité entre le poids du corps et l'action verticale du membre inférieur.

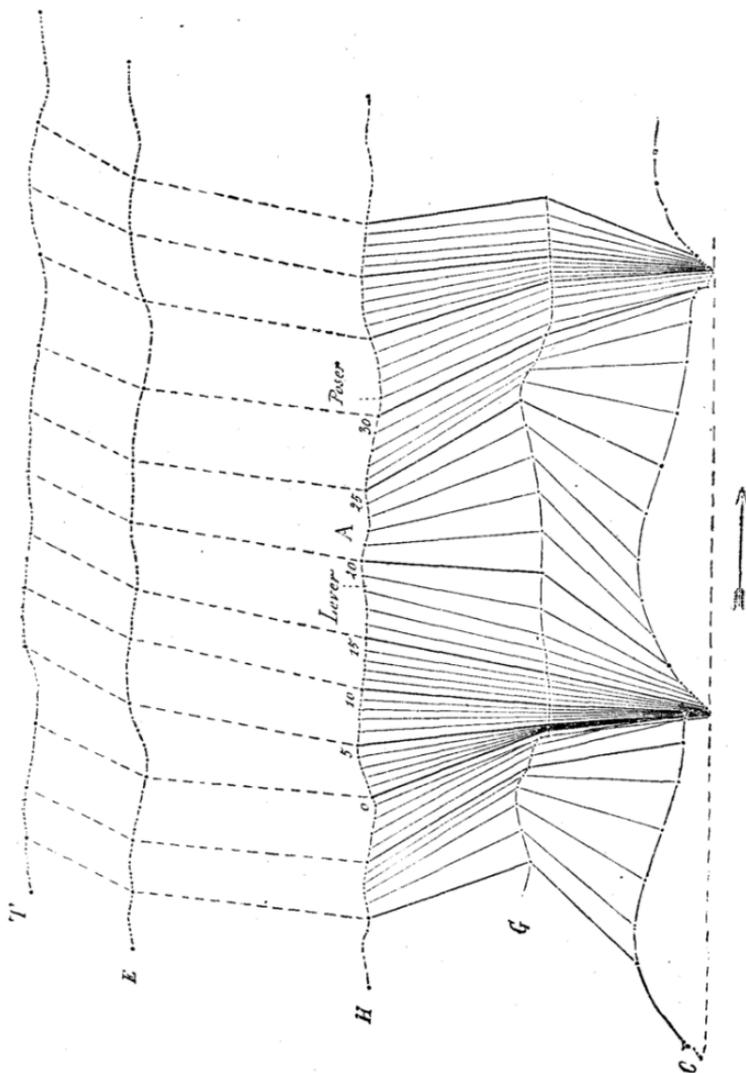


Fig. 343. — Analyse de la marche de l'ataxique.

T, tête; — E, épaule; — H, hanche; — G, genou; — C, cheville. (Comparer ces trajectoires à celles de la marche normale, fig. 293.)

Le dynamographe indique une pression constante et supérieure au poids du corps, si le mouvement vertical du centre de gravité est uniformément accéléré ascendant ou retardé

descendant; les muscles extenseurs font du travail moteur dans le premier cas, du travail résistant dans le second.

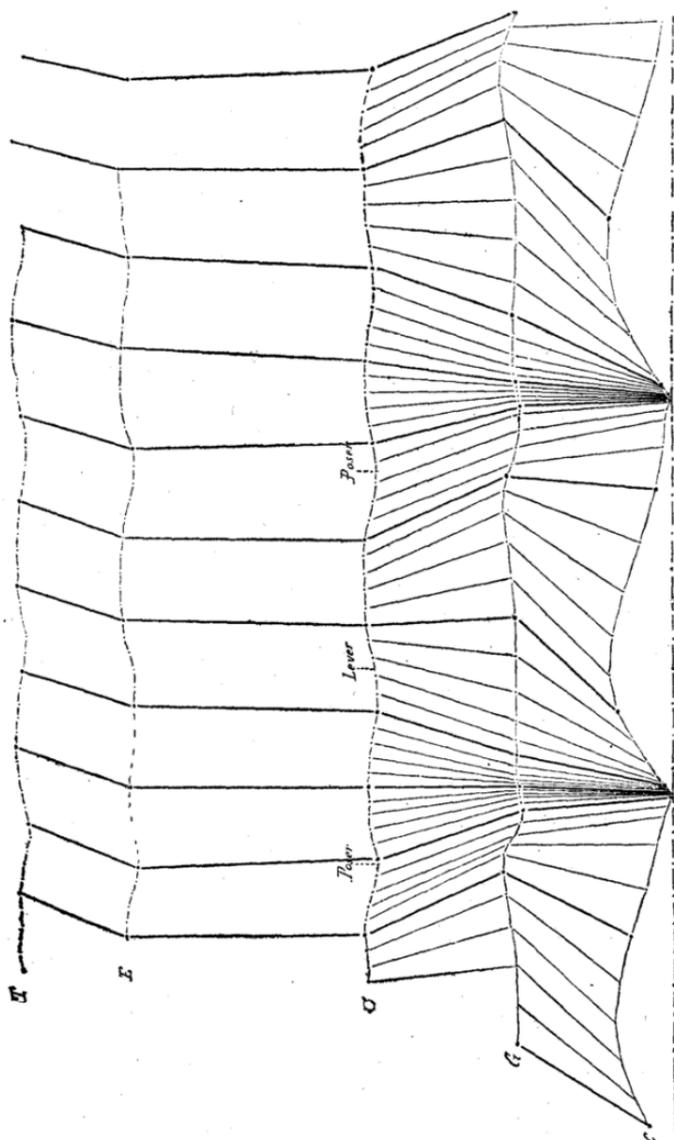


Fig. 344. — Marche de l'ataxique précédant après un traitement (pendaison). Clinique de l'Hôtel-Dieu (DEMEY et QUÉNU, 1888).

Si le mouvement vertical du centre de gravité était uniformément accéléré descendant ou uniformément retardé ascen-

ant, les choses se passeraient comme dans la chute libre et le dynamographe indiquerait une pression nulle.

Ainsi en se laissant tomber librement en fléchissant les genoux on voit la pression tomber à 0 dès que le mouvement

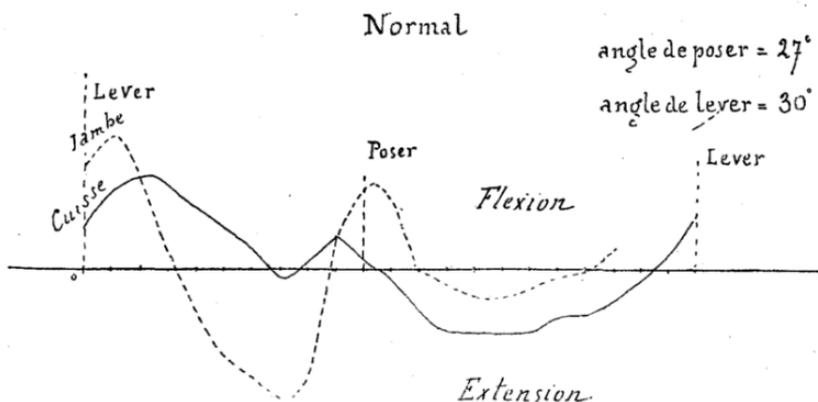


Fig. 345. — Courbes de la vitesse de flexion et d'extension de la jambe sur la cuisse, et de la cuisse sur le tronc, pendant la marche normale dans le lever et le poser du pied. La flexion est inscrite au-dessus de la ligne des abscisses, l'extension au-dessous; les vitesses de flexion et d'extension sont tirées des figures 295, 296, 297, 298 et 299.

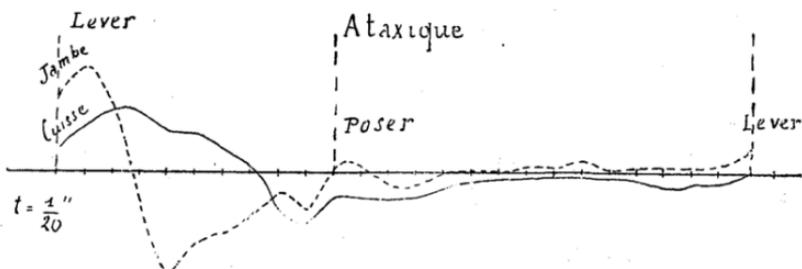


Fig. 346. — Loi du mouvement de flexion et d'extension du membre inférieur pendant le lever et le poser du pied dans la marche d'un ataxique. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 7 mai 1889.*)

du centre de gravité est uniformément accéléré. Le corps se trouve même suspendu un instant si l'on a retiré assez vivement les pieds (fig. 349, 350 et 351).

Si le mouvement vertical du centre de gravité est varié sans être uniformément varié, les courbes du dynamographe sont sinueuses et ses inflexions sont celles de la courbe de l'accélération du mouvement vertical.

Mais il faut avoir soin de remarquer que l'instrument ne distingue pas, pour les pressions excédant le poids du corps, si elles sont dues à une extension active du membre à l'appui, ou bien à un effort résistant, résistance accompagnée cepen-

## Normal

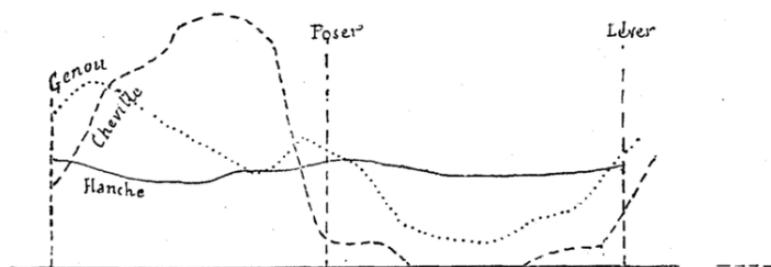


Fig. 347. — Courbes indiquant les vitesses relatives projetées horizontalement de la hanche, du genou et de la cheville pendant un pas.

Les ordonnées représentent les espaces parcourus dans  $\frac{1}{20}$  de seconde.

## Ataxique

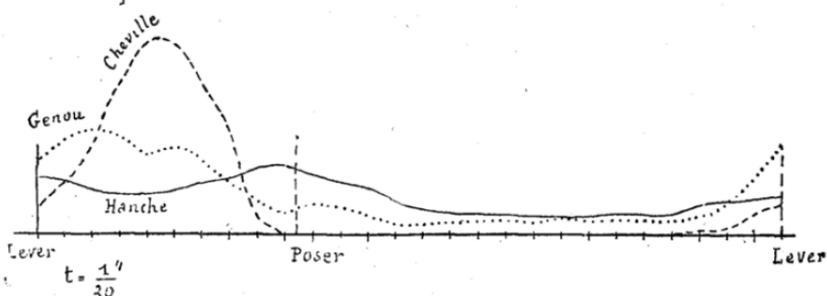


Fig. 348. — Vitesses horizontales de la hanche, du genou et de la cheville chez un ataxique.

Comparer ces courbes à celles de la marche normale, fig. 347.

dant d'une flexion. M. Marey n'a pas tenu compte de ces observations ce qui lui a valu de la part de M. Giraud-Teulon quelques critiques fort justes<sup>1</sup>.

En opérant dans ces conditions nous avons pu, après un

1. Voir *Comptes rendus de l'Académie de médecine*, 25 septembre 1883; discussion de Marey et Giraud-Teulon.

travail assez délicat reconstituer les courbes données par le dynamographe au moyen des trajectoires chronophotographiques de la même allure.

FORMES CARACTÉRISTIQUES DE LA PRESSION DES PIEDS DANS DIFFÉRENTES ALLURES. — Nous indiquons ci-dessus quelques formes caractéristiques de la pression du pied dans la marche normale, la marche fléchie, la marche raidie et les allures.

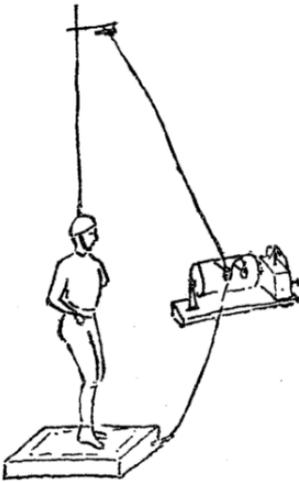


Fig. 349. — Disposition pour inscrire simultanément la pression des pieds sur le sol et le mouvement vertical de la tête au moyen du dynamographe et d'un fil de caoutchouc (MAREY et DEMENY).

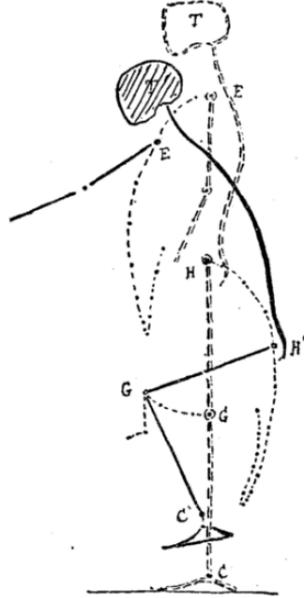


Fig. 350. — Suspension du corps sans sauter par la simple flexion vive des jambes.

La figure ponctuée correspond à la station droite, la figure en traits pleins à la suspension. Les lettres indiquent la situation de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville correspondant dans les deux attitudes et sont réunies par les trajectoires décrites par ces points.

militaires, pas de route, pas de charge et pas cadencé (fig. 340 et 342).

Ce dernier pas est assez brutal, il ne peut être considéré comme allure pratique, c'est peut-être un exercice gymnastique, mais qui est si différent de la marche normale qu'il est impossible de le considérer comme un moyen d'éducation ayant pour but d'améliorer la marche. Tout ce que nous voulons atténuer dans celle-ci, réactions verticales du corps, choc du

pied au poser, variations dans la vitesse horizontale de progression, tous ces défauts sont justement exagérés dans cette

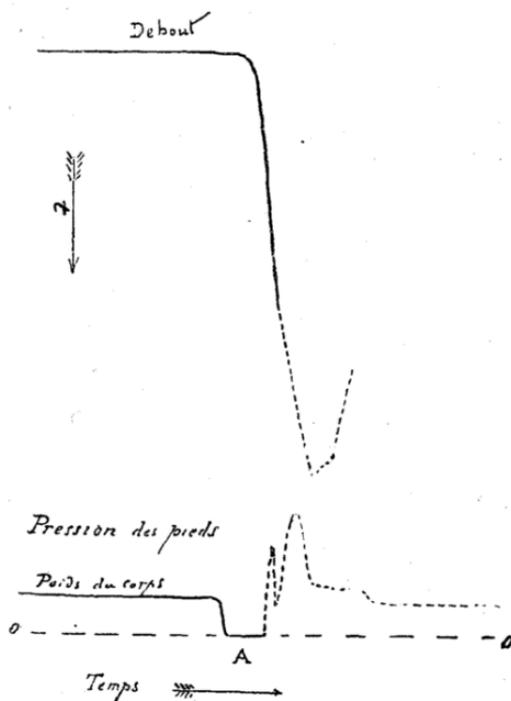


Fig. 351. — Inscription du mouvement vertical de la tête et de la pression normale des pieds montrant qu'on se détache de terre sans sauter par le raccourcissement rapide des jambes.

On voit la tête descendre dès le début et le dynamographe tomber à zéro.

allure d'ailleurs très fatigante qui ne peut être considérée que comme allure de parade (fig. 352).

COMPOSANTE TANGENTIELLE DE LA PRESSION DU PIED. — La force impulsive n'est pas en réalité représentée par la pression normale du pied, mais par la composante tangentielle horizontale dans la direction de la progression (fig. 353).

Cette pression tangentielle du pied d'abord négative au moment où le pied pose à terre devient ensuite positive. Le choc du pied retarde donc la vitesse de progression tant que le rayon du membre n'a pas dépassé la verticale. Cependant le

pied au moment du poser n'a pas nécessairement une action retardatrice. Il y a des cas où l'on tire avec le pied comme le

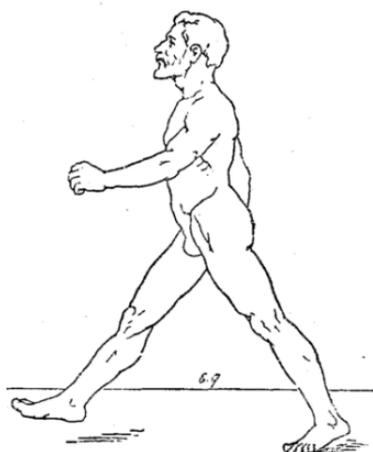


Fig. 352. — Marche de parade au pas cadencé, la jambe étendue en avant, le pied posant à plat (Allure défectueuse).

cheval attelé tire avec son avant-main dans le démarrage. Les muscles fléchisseurs de la jambe et extenseurs de la cuisse

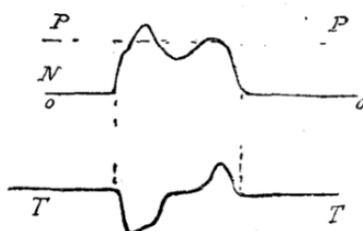


Fig. 353. — Tracés correspondants de la pression normale  $N$  et de la pression tangentielle  $T$  du pied pendant la marche.

0, 0, ligne de zéro du dynamographe; P, P, ligne de poids. On voit la pression  $T$  être négative au poser du talon et devenir ensuite positive à la fin de l'appui du pied.

peuvent produire cet effet très facilement. On expliquerait ainsi la substitution subite de leur contraction à celle des extenseurs de la jambe et des fléchisseurs de la cuisse au moment du poser. (Voir pression tangentielle du pied in *L'Ecole française*.)

ET LA FATIGUE. — On voit dans la figure 354 la loi de variation de la pression des pieds dans la marche de plus en plus accélérée. Des deux maxima de la pression qui ont lieu pendant l'appui, le premier augmente avec la cadence, le second diminue avec elle, en même temps la petite échancrure qui précède le premier maximum diminue de plus en plus.

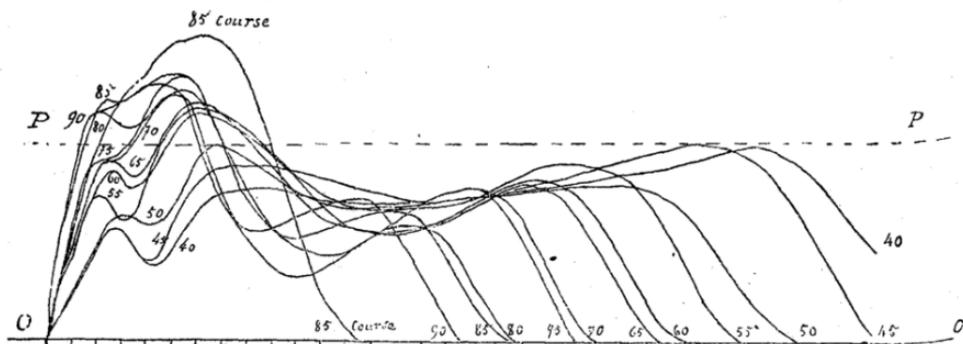


Fig. 354. — Forme de la pression normale du pied sur le sol dans des marches variant de la cadence 40 à 90.

On a pris une même origine des temps en O. — 0, 0, ligne de zéro du dynamographe; P, P, ligne de poids du corps. On voit la différence des tracés correspondant à une marche et à une course effectuées au même rythme, 85 pas à la minute.

La charge et la fatigue agissent dans le même sens sur la durée de l'appui du pied.

L'effet principal est de prolonger cet appui et surtout de prolonger la durée du double appui comme dans les claudications douloureuses. Il est pénible en effet de rester en équilibre sur une jambe lorsqu'on est lourdement chargé, c'est pourquoi le pied aussitôt levé se porte rapidement en avant pour diminuer le temps d'appui unipédal et la fatigue qui en résulterait (fig. 312).

INFLUENCE DE LA CHARGE ET DE LA TAILLE SUR LA LONGUEUR DU PAS ET LA VITESSE. — La longueur du pas diminue chez l'homme fortement chargé, il en est de même de la cadence. La taille produit un effet à peu près semblable sur la cadence, la longueur du pas n'augmente pas assez avec la taille pour compenser le ralentissement de la cadence, il en résulte une différence peu sensible dans la vitesse de progression. Il n'y a pas

similitude entre deux hommes l'un de grande, l'autre de petite

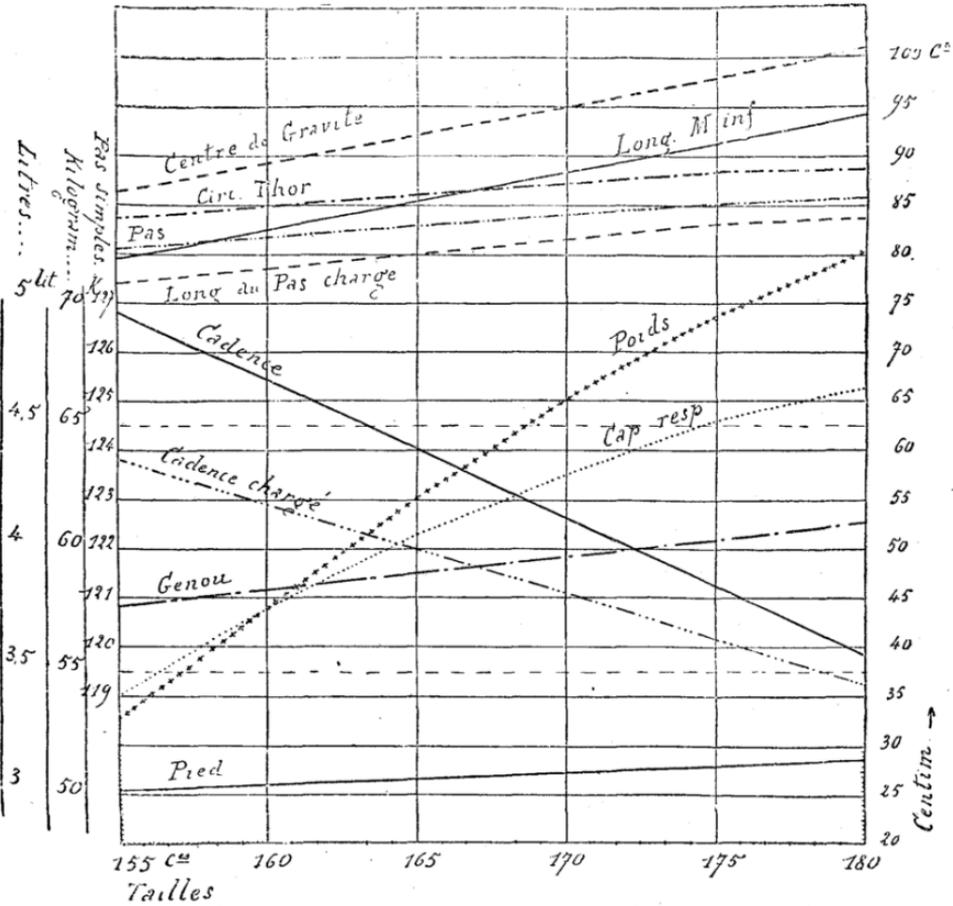


Fig. 355. — Tableau résumant un grand nombre de mesures et d'expériences faites sur 250 hommes d'infanterie, en collaboration avec le capitaine Andriveau, en 1891.

Les tailles sont portées en abscisses et en centimètres. Les courbes indiquent la longueur du pied, la hauteur du genou, la longueur du membre inférieur, la hauteur du centre de gravité, le poids, la circonférence thoracique, la capacité respiratoire en fonction de la taille. On voit la longueur du pas ordinaire, du pas avec charge de 20 kilogrammes, et la cadence à la minute (pas simples) de la marche sans charge et avec charge de 20 kilogrammes.

taille. L'homme petit compense la petitesse du pas par la vivacité de ses mouvements et la rapidité de son pas.

Le tableau précédent est le résultat d'expériences faites sur 250 hommes d'infanterie avec le capitaine Andriveau, il indique

les variations de la longueur du pas et de la cadence avec ou sans charge et suivant les tailles de 1<sup>m</sup>,55 à 1<sup>m</sup>,80 (fig. 355).

**MONTÉE ET DESCENTE D'UN ESCALIER.** — L'inclinaison du terrain agit sur la longueur du pas. Celui-ci est plus long en montée qu'en descente et la pente du terrain a pour effet de changer l'attitude du marcheur. Lorsqu'on gravit un esca-

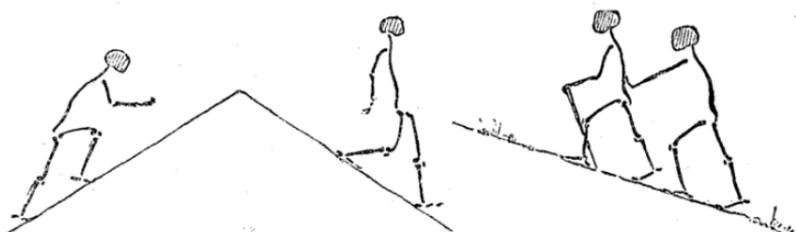


Fig. 356. — Attitudes de l'homme à la montée et à la descente d'une forte rampe. Marche ascendante facilitée par une légère poussée horizontale.

lier, on soulève la jambe gauche pour la placer sur la marche qui est au-dessus, puis la jambe droite étant totalement étendue, on incline fortement le tronc en avant de façon à ce que le centre de gravité du corps se projette verticalement au-dessus du pied gauche, le corps peut alors se maintenir en équilibre sur ce pied, les segments du membre inférieur gauche formant un système solide grâce à la contraction des extenseurs. Le pied droit se soulève, la jambe droite se fléchit fortement pour aller prendre appui sur la marche suivante pendant que le tronc est soulevé par la seule extension de la jambe gauche à l'appui. Si la marche est très élevée et surtout très large, la flexion du tronc sera maximum, on tendra même les bras horizontalement en avant, pour amener dans cette direction le centre de gravité. Celui-ci est à chaque pas porté un peu plus haut que sa position définitive lors de l'appui de la jambe, et les oscillations latérales sont aussi plus prononcées que dans la marche en plaine (fig. 356). Dans la montée, la composante horizontale d'entraînement diminue beaucoup d'intensité. Aussi favorise-t-on cette allure en s'aidant d'une canne sur laquelle le bras exerce une traction. La moindre poussée horizontale exercée par un aide avec la main dans la région lombaire est aussi active et vous procure un soulagement considérable.

La montée est toujours pénible à cause de la grande quantité

de travail effectué (poids du corps élevé à la hauteur d'une marche) par chacune des jambes alternativement à chaque pas. Nous ne parlons pas ici de la manière d'atténuer les troubles cardiaques et respiratoires qui se produisent de façon à continuer le travail produit ; ceci touche à la coordination respiratoire et à la résistance à la fatigue dont nous avons parlé précédemment.

*Marche descendante.* — Dans la marche descendante si l'on part du pied gauche, le corps d'abord soutenu en équilibre par la jambe droite descend d'une hauteur verticale égale à celle d'une marche sous l'action de la pesanteur, la contraction des extenseurs luttant contre celle-ci et ne permettant qu'une descente lente et uniforme. Le tronc est porté en avant au-dessus du pied droit qui pose sur la marche placée en dessous. Si la descente est rapide le tronc s'incline en arrière et les bras se portent de ce côté, pour éviter la chute en avant qui tend toujours à se produire. Les extenseurs du tronc agissent dans la descente, les muscles abdominaux dans la montée.

Les oscillations verticales pendant l'appui du pied ont disparu. Le travail n'est guère moindre que pour la montée, la contraction des extenseurs des membres sert ici, non plus à élever le corps, mais à s'opposer à sa chute et au mouvement uniformément accéléré dû à la pesanteur.

La marche descendante sur une pente un peu forte demande un travail constant des extenseurs, elle fatigue pour cette raison ces muscles. Le poids du corps fait de plus glisser le pied tout au fond de la chaussure, les orteils sont ainsi froissés et deviennent douloureux.

La montée et la descente semblent demander une même dépense de travail mécanique. Il y a cependant physiologiquement une différence entre la production de travail résistant et

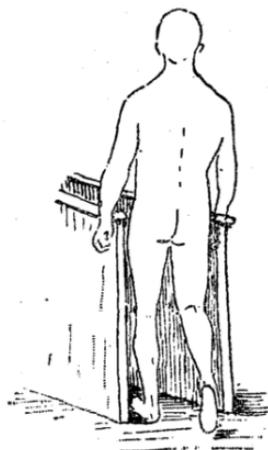


Fig. 357. — Marche rendue impossible dans un couloir étroit qui empêche les oscillations latérales du bassin.

le travail moteur. Dans la descente, les muscles de la jambe se fatiguent, *mais on ne s'essouffle pas*. Ce fait reste à expliquer.

Le travail des muscles dans la descente peut être comparé au travail d'un frein. Nous pensons que les troubles respiratoires ne sont pas identiques dans les deux cas, parce que :

1° dans la descente les muscles font du travail négatif, et leur allongement facilite la circulation de retour ;

2° l'attitude est favorable à l'inspiration ;

3° le muscle raccourci en contraction concentrique abandonne et développe plus de chaleur que le muscle étiré et que la chaleur centrale augmentée est un excitant des mouvements respiratoires.

Remarque intéressante : il est plus pénible de descendre une rampe continue qu'un escalier. Dans ce dernier il y a un repos à chaque degré tandis que dans la descente du plan incliné il y a continuité dans l'effort de soutien et de résistance de la part des membres inférieurs.

Dans la *marche à reculons*, la longueur du pas est diminuée. Dans la marche latérale avec ou sans croisement des jambes, celles-ci n'ont plus d'avantage à se fléchir.

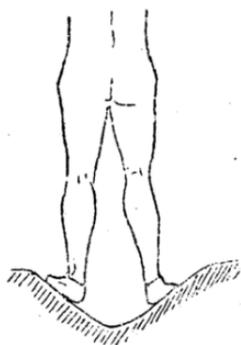


Fig. 358. — Piste en forme de caniveau pour redresser les déviations du pied en dedans.

Dans la marche, en tirant ou poussant un véhicule, la durée de l'appui du pied augmente ; le corps s'incline fortement en avant et on utilise son poids au début comme force motrice. Dans la marche sur la pointe des pieds la longueur du pas diminue ainsi que les réactions verticales, on n'avance pas vite ; nous en avons expliqué la raison à propos des hauts talons.

**MARCHE DANS UN COULOIR ET DANS UN FOSSÉ.** — Si l'on marche entre deux barrières resserrées assez étroites pour empêcher les oscillations latérales du tronc, la marche devient impossible, on se voit obligé de se placer de côté pour progresser. Si l'on marche dans un caniveau ou un fossé présentant des talus inclinés, le pied est tourné en dehors ; c'est un moyen employé contre

le vice de conformation du pied consistant à marcher sur le bord externe. Nous ne pouvons pas nous arrêter plus longtemps à analyser ces progressions d'un usage d'ailleurs peu pratique (fig. 357 et 358).

**EFFET HYGIÉNIQUE.** — La marche est l'exercice hygiénique par excellence. Si l'on a le souci de sa santé on doit faire au moins deux heures par jour de marche à l'air pur et à une allure modérée. On se repose ainsi du travail ou d'une longue station debout ou assise. Les contractions musculaires activent le cours du sang, les ébranlements légers communiqués à toute la masse viscérale ont le meilleur effet sur la décongestion des organes contenus dans l'abdomen et sur le cerveau. La respiration activée agit aussi favorablement sur la circulation pulmonaire.

Il faut bien entendu choisir ses heures pour ne pas être incommodé par la chaleur ou par le froid.

Si l'on veut dormir et avoir un sommeil calme on fera une promenade après le repas du soir, on devra s'habituer à ce régime quelque temps qu'il fasse. Les vêtements de laine seront toujours préférables, l'homme prudent aura sur son bras un manteau ou un plaid pour parer aux changements brusques de température si funestes dans nos contrées. Si l'on prend une canne à la promenade il faut plutôt s'en servir pour la défense et l'amusement que pour s'appuyer, sinon la démarche devient mauvaise et le corps perd de sa symétrie.

Une promenade à pied vaut infiniment mieux qu'une course en bicyclette ou en voiture, surtout en voiture automobile.

Il ne faut pas confondre la marche hygiénique avec les longues étapes comme on en parcourt dans les records. Autant la première profite à la santé, autant les secondes sont défectueuses et peuvent occasionner des accidents graves. Les moins dangereux se manifestent du côté du pied si la chaussure est mauvaise et si l'on n'apporte pas de soins constants à cet organe.

**HYGIÈNE DU PIED.** — Les personnes qui transpirent beaucoup se trouveront bien de saupoudrer le pied de fécule de pomme de terre ou de poudre d'amidon. Elles s'essuieront à sec en ayant soin de ne pas se laver fréquemment. Les durillons peuvent

être évités par des petits coussins de ouate et surtout en ayant des bas de laine ajustés de préférence au fil et au coton.

Les ampoules au talon ou à la plante seront percées d'un fil passé en séton et se desséchant ainsi facilement sans former de plaie. Certaines personnes se trouvent bien de se frotter les pieds de vaseline ou de dissolution de savon dans l'eau-de-vie. Il faudra éviter de se chauffer à la cheminée si l'on craint les engelures.

Les ongles doivent être coupés carrément sans chercher à les dégager de la peau (fig. 359).

L'ongle est nécessaire pour soutenir les parties molles ; en le



Fig 359. — Déformation des orteils par la chaussure et la taille arrondie des ongles.

A, taille carrée ; — B, orteil en marteau et ongle incarné.

taillant en pointe sur leurs côtés, on s'expose à l'infirmité connue sous le nom d'ongle incarné.

Les marches forcées, les stations debout prolongées finissent par fatiguer et enflammer les articulations ; le genou et la cheville sont particulièrement sujets à des arthrites graves.

M. Carrieu cite des exemples nombreux de tarsalgies dont il a été témoin chez les adolescents qui ont abusé de la marche<sup>1</sup>.

**INFLUENCE DE LA FAIBLESSE SUR LA MARCHÉ.** — Les personnes faibles, vieillards ou convalescents n'ayant pas assez de vigueur musculaire, marchent en n'étendant jamais complètement les rayons de leurs segments osseux. Le pas est alors raccourci et les réactions verticales du tronc sont augmentées à cause de la

<sup>1</sup>. Dr Carrieu, *De la fatigue et de son influence pathogénique.*

faiblesse musculaire qui modifie la forme de la trajectoire normale de la hanche. Il est beaucoup plus pénible d'engendrer une trajectoire rectiligne horizontale que de procéder par arcs de cercles lorsque les segments sont étendus. Ce ne sont pas là des allures à imiter, elles sont extrêmement désavantageuses au point de vue du rendement en effet utile. Nous aurons à revenir sur le rendement quand nous nous occuperons du travail dans les diverses allures.

## COURSE

CARACTÉRISTIQUE DE LA COURSE. — Si l'on accélère graduellement la vitesse de la marche, on passe inévitablement de la

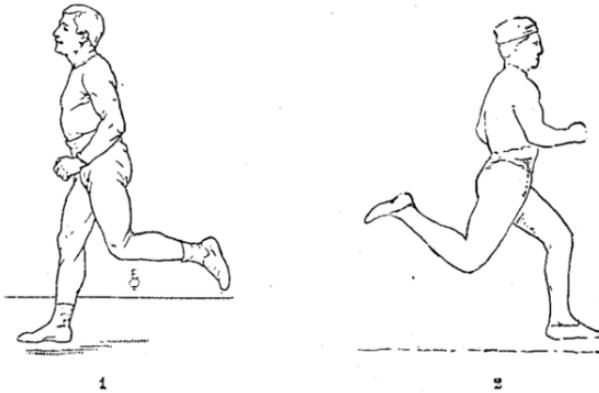


Fig. 360. — 1, Petite course gymnastique ; — 2, Course de résistance.  
Suspension du corps au moment où le pied va poser par la plante.

marche à la course. La transition est brusque et ne correspond pas au maximum de vitesse de la marche ni au minimum de vitesse de la course. Ce qui caractérise ce passage c'est que le double appui est remplacé dans la course par l'absence complète d'appui sur le sol. Le corps est lancé par une impulsion énergique de la jambe et à la fin de l'appui, il progresse en vertu de la vitesse acquise, comme dans un saut, jusqu'au moment du poser du pied en avant.

Cette période a reçu le nom de *suspension* du corps, nous aurons à l'examiner en même temps que l'*impulsion* et l'*appui*.

POSER DU PIED. — Le pied touche en général le sol par la plante, quelquefois par le talon, rarement par la pointe. La longueur du pas dépend de ces trois façons de procéder. Si le pied touche le sol par la pointe le pas est court; par la plante le pas est plus long, par le talon le pas est d'une grande longueur (fig. 360), mais il faut surtout considérer dans l'appui du pied la fonction amortissante. Au moment où le pied

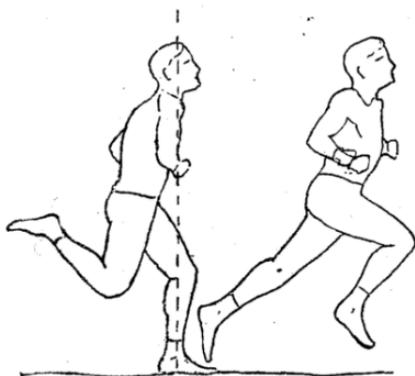


Fig. 361. — Attitudes du coureur au commencement et à la fin de l'appui du pied, montrant la flexion de la jambe au moment du poser et l'extension au moment du lever.

s'appuie, le corps vient de décrire une courbe dans l'espace, il fait en réalité une chute, et l'important c'est d'amortir le choc en le faisant supporter par des organes tendus élastiquement, il faut encore transformer cette chute en élan utile dans la période suivante de l'appui au lieu de la perdre dans un choc brutal.

Dès qu'il a touché le sol le pied se déroule complètement jusqu'à l'extrémité des métatarsiens, la face plantaire se lève presque verticalement. L'emploi de semelles longues et rigides reporte le centre de déroulement du pied à l'extrémité des orteils (fig. 361).

La jambe au moment du poser est verticale et fléchie sur la cuisse. Le genou, au moment où le rayon du membre passe par la verticale, est toujours fléchi et cela d'autant plus que la course est plus rapide. L'angle d'appui est plus petit que dans la marche et reste constant aux différentes vitesses de l'allure (fig. 362).

L'angle de lever est plus grand que dans la marche, surtout lorsque le pas est allongé. L'angle de déroulement est sensible-

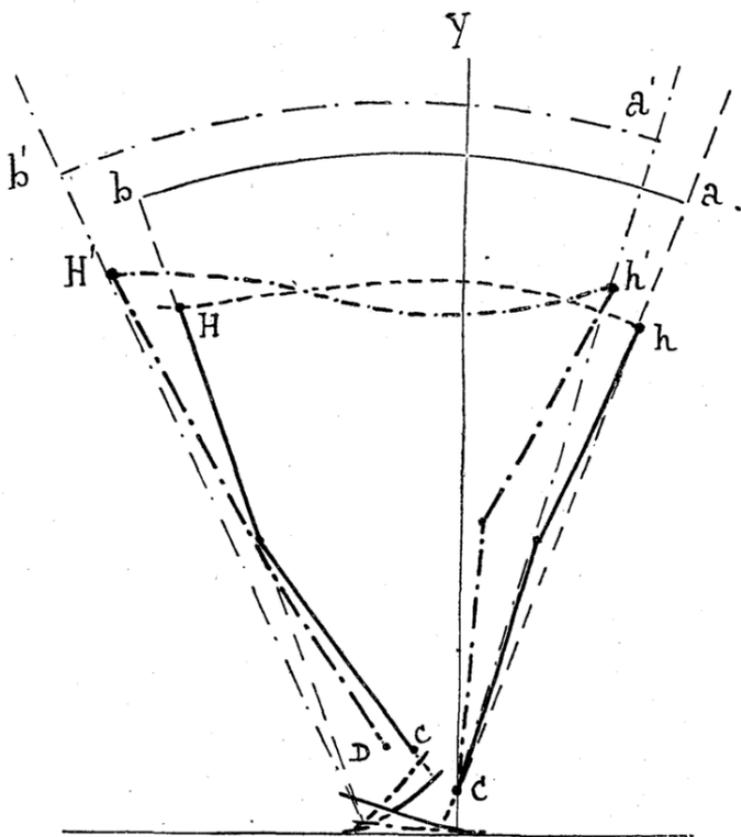


Fig. 362. — Positions et trajectoires des articulations du membre inférieur dans la marche et dans la course modérée.

$H-H'$ , trajectoire de la hanche dans la marche; —  $h-h'$ , trajectoire dans la course; —  $cY$ , verticale passant par la cheville à l'appui; —  $a-b, a'-b'$ , angles de déroulement.

ment le même que dans la marche; mais en raison du temps de suspension pendant lequel le corps progresse, il n'y a pas de relation entre cet angle et la longueur du pas.

**VITESSE DU PIED AU LEVER.** — La vitesse moyenne du pied est inférieure au double de la vitesse de progression du corps. Dans la course, en effet, la durée de la suspension du corps

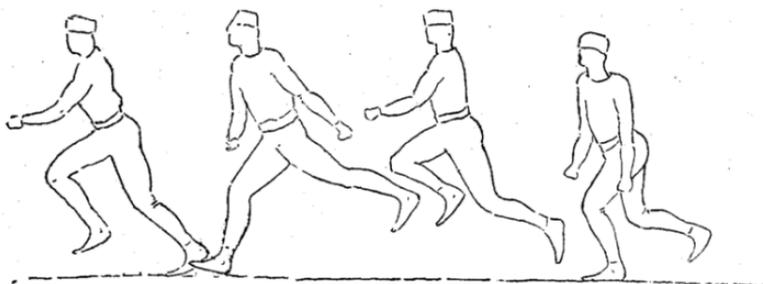


Fig. 363. — Coureur très rapide procédant par bonds et augmentant ainsi beaucoup sa longueur de pas en diminuant relativement la vitesse d'oscillation de la jambe (École de Joinville).

s'ajoute à la durée du demi-pas pour constituer celle de l'oscillation (fig. 363).

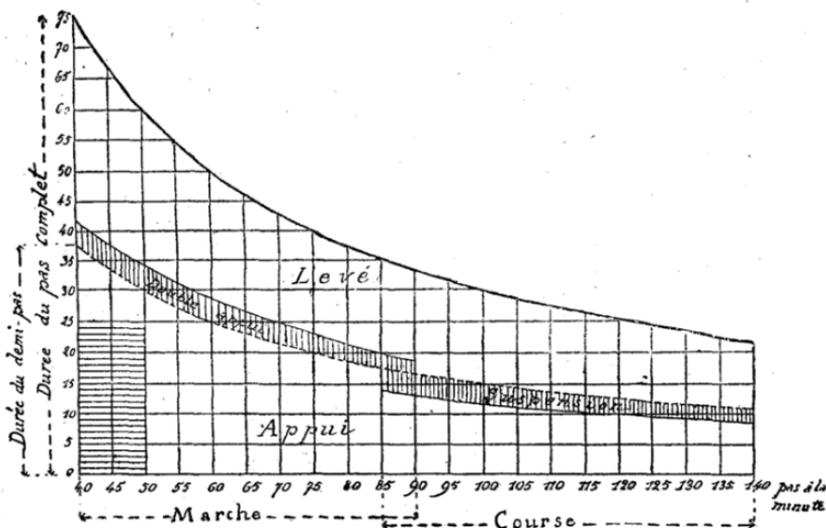


Fig. 364. — Comparaison de la durée de l'appui et du levé du pied, du double appui et de la suspension dans la marche et la course (DEMÉNY).

Les ordonnées totales représentent en cinquantièmes de seconde la durée du pas, celle du demi-pas est limitée par une courbe ponctuée. Les chiffres sur la ligne des abscisses indiquent le rythme de l'allure. On voit que dans la marche, la durée de l'appui excède le demi-pas de toute la longueur du double appui. Dans la course, au contraire, la durée de l'appui est inférieure à celle du demi-pas de toute la durée de la suspension.

On s'explique alors comment, pour une même vitesse de progression, la vitesse du pied par rapport à celle de la masse du

corps est plus petite dans la course que dans la marche puisque, à cadence égale, la durée de l'oscillation est plus grande dans la course. Ces faits sont clairement indiqués dans le tableau précédent et nous montrent l'avantage des allures courues sur les allures marchées à partir d'une certaine vitesse.

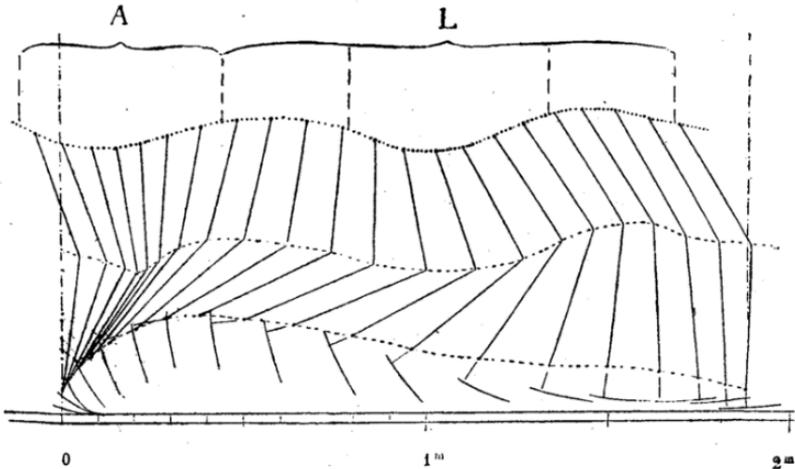


Fig. 365. — Analyse chronophotographique d'un pas de course modérée (MAREY et DEMENY).

A, période d'appui du pied droit; le pied, qui avait été immobile dans la première partie de cette phase, pivote autour de sa pointe. — L, période de lever du pied; elle se divise en trois phases: la première et la dernière correspondent à des suspensions du corps au-dessus du sol; la trajectoire de la hanche y est convexe par en haut; la phase moyenne correspond à l'appui du pied gauche; la trajectoire de la hanche y est concave par en haut. Dans ces épreuves chronophotographiques, les vitesses se mesurent d'après l'écartement des images qui sont prises à des intervalles de temps égaux. Un ralentissement se traduit donc par un rapprochement des points sur la trajectoire, une accélération par l'écartement de ces points.

La figure 364 montre comment varient le double appui et la suspension du corps dans la marche et la course à des rythmes croissant de 5 en 5 pas entre 40 et 140 appuis d'un même pied à la minute.

TRAJECTOIRES DES POINTS REMARQUABLES DU CORPS. — La tête décrit pendant l'appui du pied une courbe à concavité supérieure. Dans le pas complet, les trajectoires produites par l'appui alternatif des pieds sont séparées par un arc parabolique représentant la suspension et suivant les lois du saut (fig. 365).

Le ralentissement de la progression à chaque choc des pieds

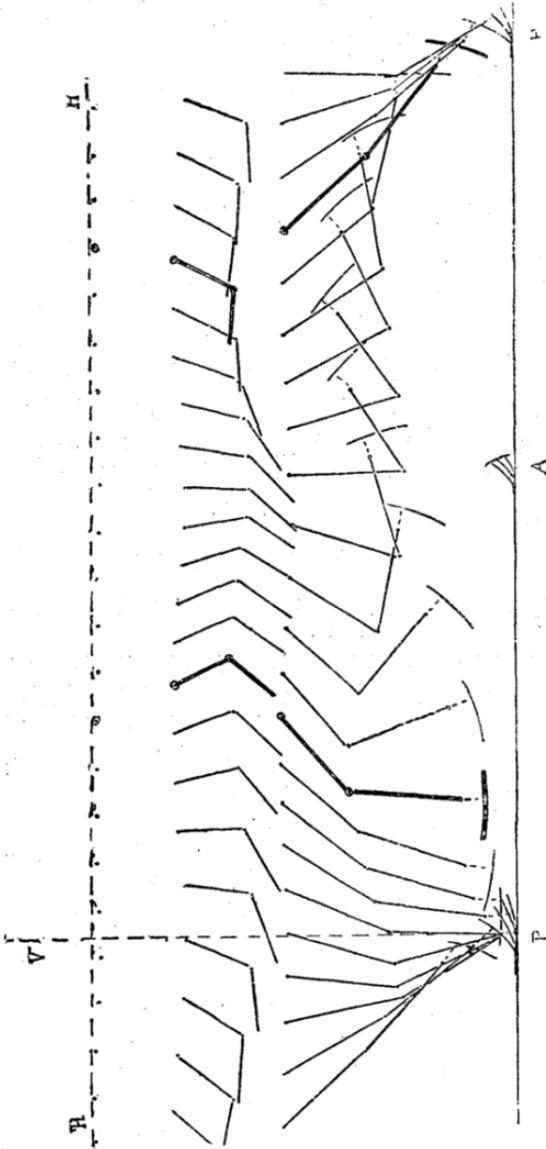


Fig. 366. — Course de vélocité.

P, P, appuis successifs du même pied gauche, longueur du pas, 3<sup>m</sup> 27; A, appui du pied droit; V P, verticale passant par la cheville du pied à l'appui; H H, horizontale se confondant presque avec la trajectoire du sommet de la tête. (Analyse chronophotographique).

sur le sol coïncide avec la concavité de la trajectoire de la tête.

Les figures 366 à 372 servent d'analyse et de comparaison de la marche avec la course (fig. 366).

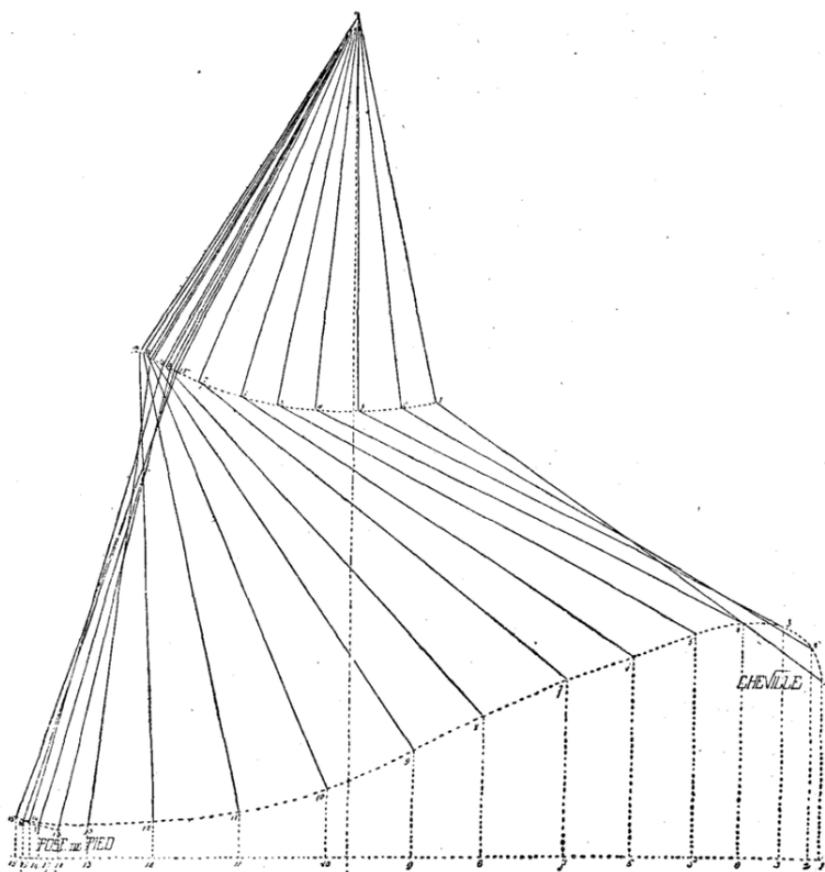


Fig. 367. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc dans la marche.

Projection de la vitesse sur l'horizontale. 1, lever du pied. On voit nettement la jambe se fléchir légèrement de 15, 16, 17 à 18 du poser du pied. Marche au rythme, 60. Unité de temps =  $1/40^e$  de seconde. (Comparer avec la figure 371.)

**NIVEAU DE LA TÊTE.** — Le niveau moyen des oscillations de la tête est plus bas que dans la marche. L'amplitude des oscillations verticales est indépendante de la longueur du pas de course; celles-ci tendent plutôt à diminuer d'amplitude quand le pas s'allonge (fig. 373).

L'instant du maximum de l'oscillation correspond à la suspension (fig. 365).

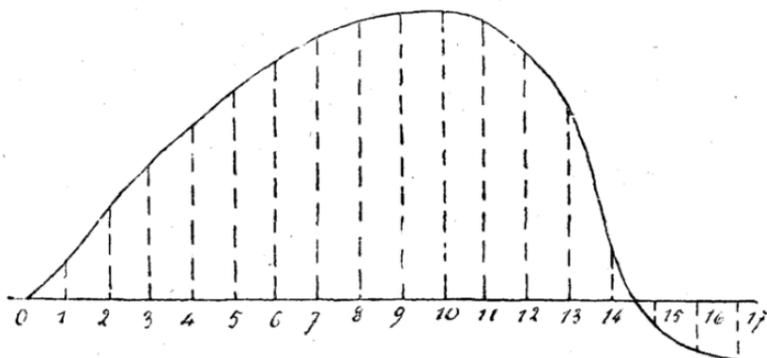


Fig. 368. — Variation de la vitesse relative du pied par rapport à la branche dans la marche pendant le lever et projetée horizontalement. Les périodes correspondent à l'analyse cinématique de la figure 367. Les valeurs 15, 16 et 17 de la vitesse sont négatives et correspondent au changement de sens du pied.

M. Marey, dans *La Machine animale*<sup>1</sup>, donne l'explication suivante de la suspension dans la course.

« Le temps de suspension, dit-il, ne tient pas à ce que le corps

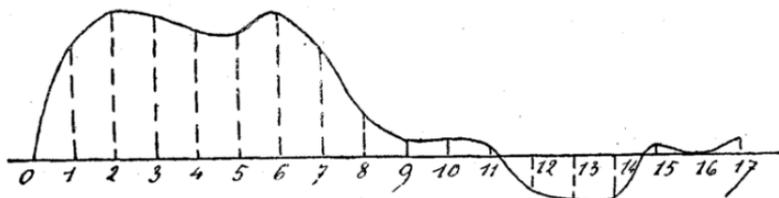


Fig. 369. — Variation de la vitesse relative du genou projetée horizontalement pendant le lever du pied et correspondant aux attitudes de l'épure 367.

projeté en l'air, aurait abandonné le sol, mais à ce que les jambes se sont retirées du sol, par l'effet de leur flexion et cela au moment même où le corps était à son maximum d'élévation.»

Nous n'avons jamais été d'accord avec cette manière de voir que la plus simple expérience récuse. La photographie nous a donné raison.

1. Marey, *La Machine animale*, p. 135; Paris, F. Alcan.

L'erreur est due à la mauvaise interprétation des appareils enregistreurs. L'appareil d'exploration des réactions verticales dont s'est servi M. Marey indique seulement les différences de vitesse entre le corps et la masse de plomb. Au moment de la foulée, la vitesse verticale du corps devenant nulle, l'appareil indiquera une réaction verticale due à l'abaissement de la masse de plomb comme si le corps se relevait à ce moment.

Dans bien des cas l'observation directe peut éviter les erreurs des appareils graphiques dont l'interprétation est quelquefois fort délicate.

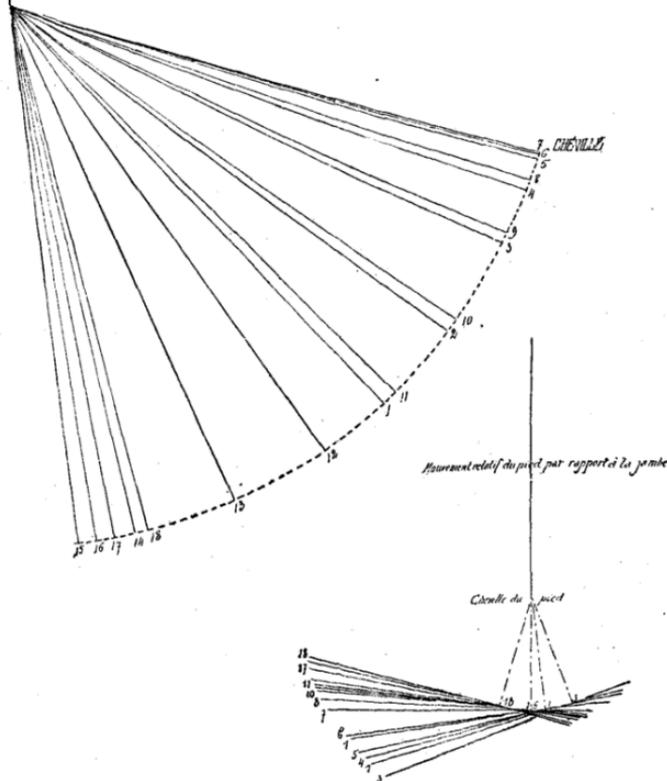


Fig. 370. — Mouvement relatif de la jambe sur la cuisse pendant le lever ou l'oscillation de la jambe. Celle-ci se fléchit de 1 à 7, puis s'étend de 7 à 15 pour se fléchir de nouveau de 15 à 18; les chiffres correspondent à la figure 367. Mouvement du pied sur la jambe.

(Comparer avec la même analyse dans la course, fig. 372.)

La verticale qui passe par le point d'appui est toujours située en arrière du minimum d'abaissement de la hanche et à mesure que la vitesse augmente, le minimum se porte de plus en plus

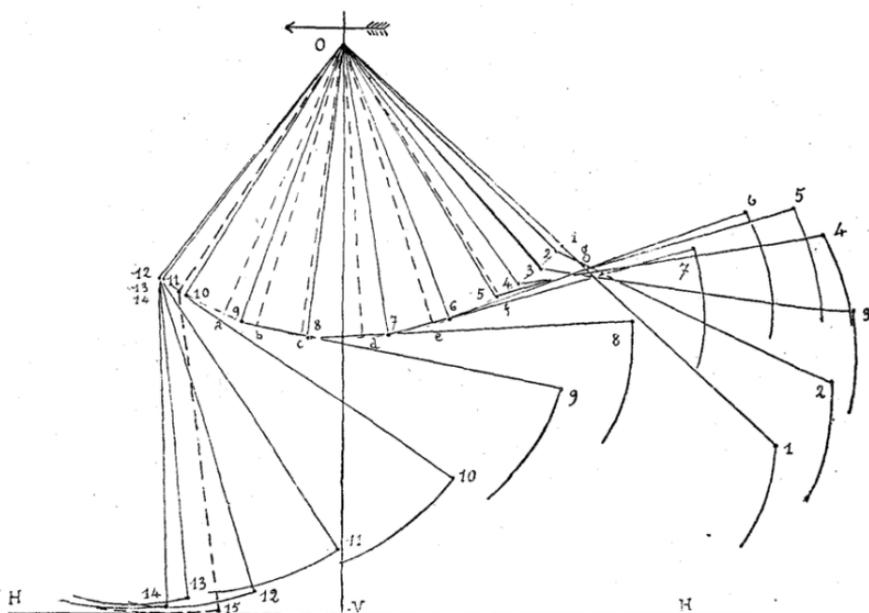


Fig. 371. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc dans la course. Les numéros correspondent aux positions successives du genou et de la cheville pendant le lever du pied.

Les lettres indiquent les positions du genou pendant l'appui.

en avant, cela tient à l'inclinaison de l'angle de lever dans les allures rapides.

Plus la course est rapide et le pas allongé, plus les trajectoires de la tête et du bassin tendent à se rapprocher d'une ligne droite; l'écart maximum latéral a lieu pendant l'appui, il coïncide avec le minimum d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal ainsi qu'avec le minimum de la vitesse horizontale de la masse du corps (fig. 366 et 374).

ANGLE DU PIED ET ÉCART DES EMPREINTES DU PIED. — Sa valeur est moindre que dans la marche et diminue comme l'écartement des empreintes des pieds sur le sol avec la longueur du pas; en

même temps, l'angle que forme l'axe du pied avec la ligne moyenne de progression, ou angle d'ouverture du pied, tend à diminuer aussi (fig. 375).

L'écart latéral est nul pendant le milieu de la suspension ; à ce moment la trajectoire de la tête croise la ligne moyenne de progression. Les sujets à bassin large et à jambes courtes ont, comme la femme, beaucoup de peine à courir à cause des oscillations latérales qu'ils ne peuvent éviter.

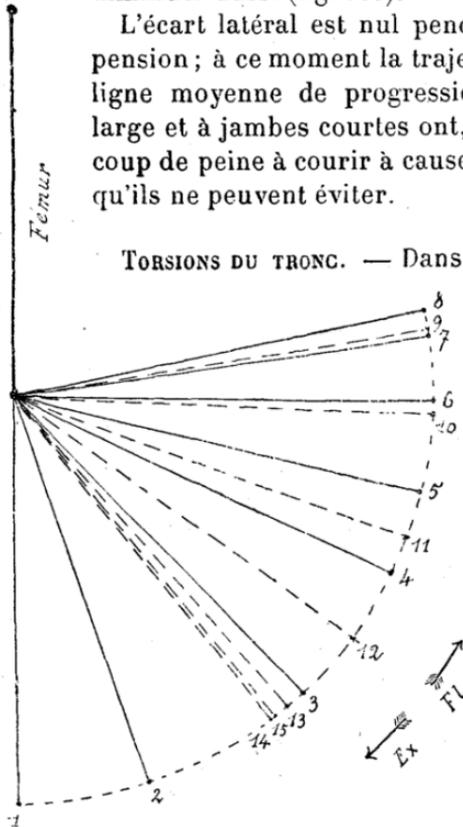


Fig. 372. — Mouvement relatif de la jambe sur la cuisse pendant la course.

1, 2, 3, 8, flexion au début du lever ; — 9, 10, 14, extension ; — 14, 15, léger mouvement de flexion au moment de l'appui.

**TORSIONS DU TRONC.** — Dans la course, la torsion du

bassin est plus considérable que dans la marche ; le maximum a lieu au milieu de la suspension du corps (fig. 376). La torsion est nulle au milieu de l'appui et pendant l'abaissement du corps au-dessus du sol. Elle diminue avec la rapidité de l'allure. Les figures 377 montrent chez un coureur photographié d'en haut, les torsions du corps et les mouvements correspondants des bras. Le mouvement des épaules est inverse du mouvement des han-

ches, il peut aller jusqu'à 45° dans la course au milieu de la suspension du corps. La torsion des épaules est nulle en même temps que celle du bassin quand les bras passent par la verticale, elle augmente avec la vitesse de progression (fig. 378 et 379).

Les mouvements des hanches et des épaules dans un plan vertical sont extrêmement faibles dans la course, ils deviennent tout à fait nuls dans la course rapide. La ligne des hanches



s'abaisse, et la ligne des épaules se relève du côté de la hanche suspendue, dans les allures très modérées (fig. 373).

**INCLINAISON DU CORPS.** — Le corps s'incline en avant pendant le commencement de l'appui du pied et en arrière pendant la fin de l'appui. L'inclinaison s'exagère avec la longueur du pas mais n'excède pas 5 degrés dans les allures ordinaires (fig. 380)

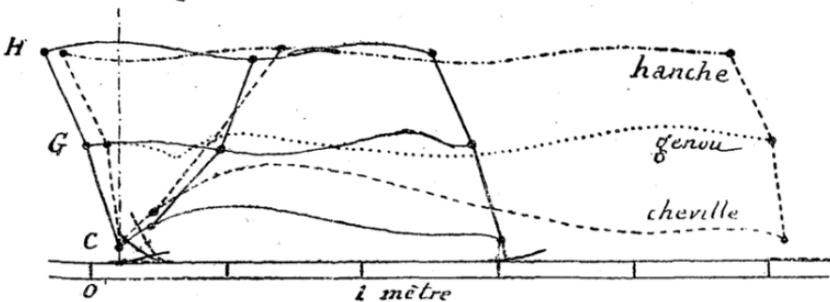


Fig. 374. — Attitudes, longueur de pas et angle de déroulement du membre inférieur droit dans la marche et dans la course.

Les lignes ponctuées correspondent à la course.

**DEGRÉ DE FLEXION DES BRAS ET DES PIEDS AVEC LA VITESSE.** — Plus l'allure est rapide plus les bras se fléchissent, ceci afin d'éviter d'être gêné par leur oscillation. Certains coureurs même placent les bras horizontalement (fig. 381) et leur font suivre seulement le mouvement de torsion des épaules.

Plus l'allure est rapide, plus le pied se soulève de terre (fig. 382 et 383). Certains coureurs arrivent ainsi à faire toucher du talon la partie basse des fessiers. La figure 384 nous montre la forme des trajectoires de la cheville à différentes allures, on voit que le pied rase le sol avant de se poser. La flexion de la jambe pendant l'oscillation facilite la rapidité de transport du pied en avant. L'abaissement de la trajectoire de celui-ci au moment du poser empêche le choc de se produire et ces deux actes contribuent beaucoup à l'économie de la force (fig. 385).

**APPUI DU PIED, PRESSION SUR LE SOL.** — L'appui du pied se divise en deux phases distinctes. Dans la première phase l'action est

retardatrice et amortissante, elle est dirigée en sens inverse de

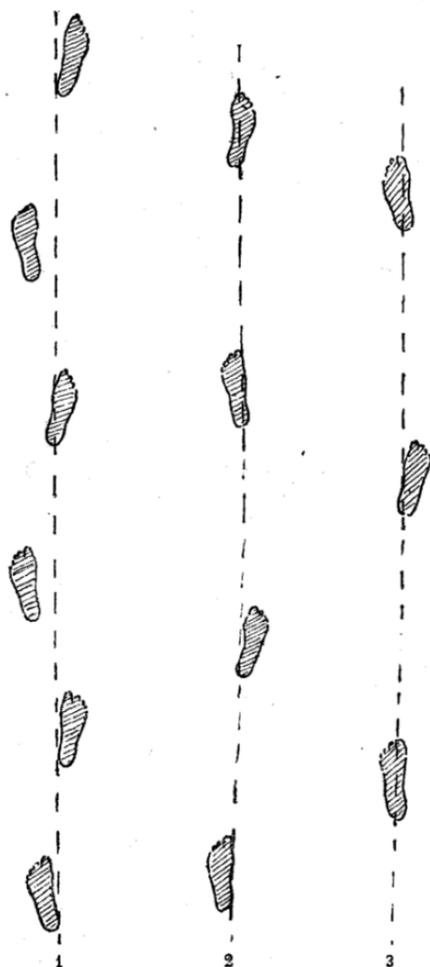


Fig. 375. — Empreintes des pieds sur le sol.

1, dans une marche; 2 et 3, dans des courses de plus en plus vives. On voit l'axe du pied se rapprocher de la ligne de progression.

la progression, elle diminue d'intensité jusqu'au passage du rayon du membre par la verticale.

A ce moment le membre inférieur soutient seulement le poids du corps, mais cela dure extrêmement peu, sitôt que le rayon a dépassé la verticale, l'action impulsive commence (fig. 386).

La pression normale du pied n'a qu'une seule courbure et un

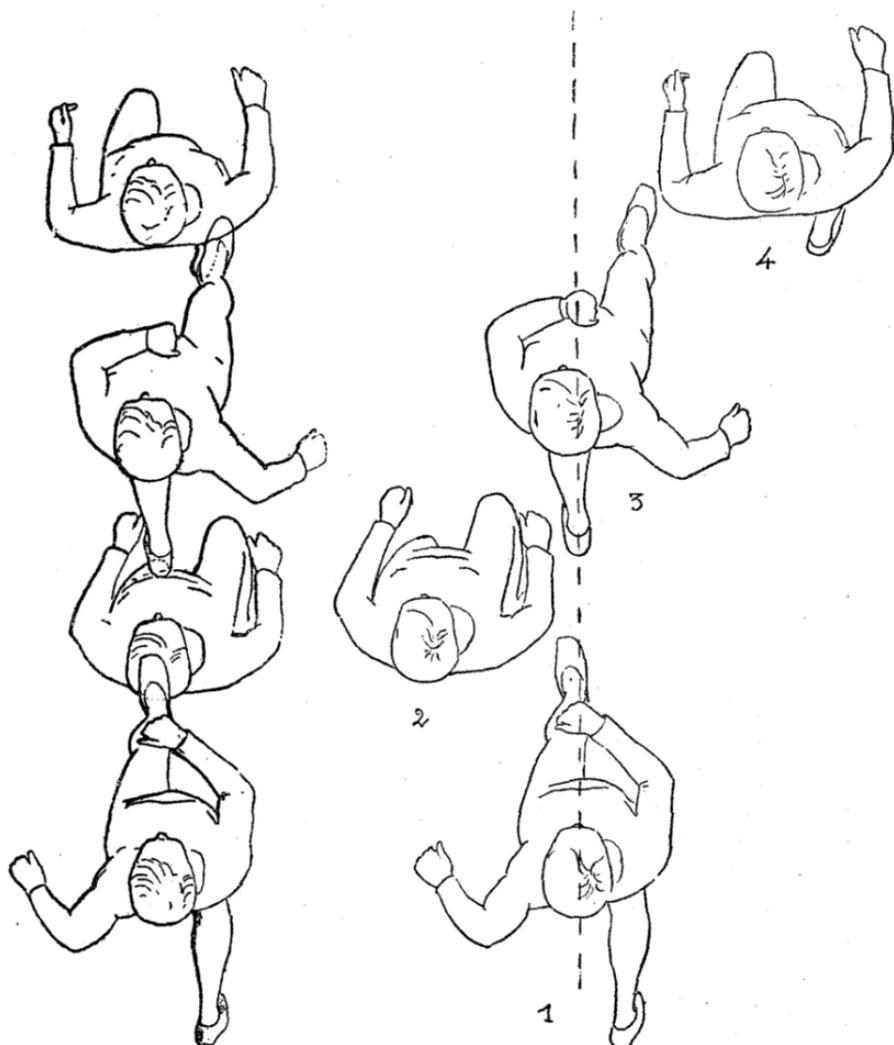


Fig. 376. — Attitudes successives d'un coureur photographié sur une même plaque à  $1/10^e$  de seconde d'intervalle et vu d'en haut.

Fig. 377. — Images successives d'un coureur vu d'en haut.

On a dissocié les images en laissant les figures 1 et 3 à leur vraie place, et en reportant la figure 2 à gauche et la figure 4 à droite.

seul maximum toujours supérieur à la ligne du poids du corps et grandissant avec la rapidité de l'allure (fig. 387 et 388).

**PRESSION TANGENTIELLE.** — La pression tangentielle est négative au moment du poser puis devient positive au moment de l'impulsion (fig. 389), sa valeur grandit également avec la rapidité de l'allure.

**RÔLE AMORTISSEUR DES MUSCLES.** — Les actions musculaires mises en jeu dans les deux phases consécutives de l'appui sont

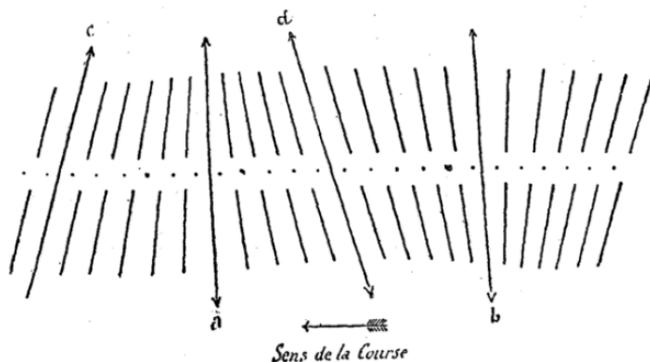


Fig. 378. — Mouvement de torsion du tronc dans la course mesuré par l'analyse chronophotographique.

principalement localisées dans les muscles extenseurs. Dans la première phase les extenseurs résistent à la flexion des segments en se laissant étirer, en faisant du travail négatif, puis ils exécutent un effort statique de courte durée; ils produisent enfin du travail positif dans la seconde phase de l'appui.

On voit ici le rôle des muscles antagonistes signalé antérieurement; les extenseurs antagonistes de la flexion entrent en contraction bien avant que l'extension se manifeste. Ils sont déjà dans un état de tension considérable au moment où le mouvement change de sens; ils utilisent ainsi l'effort résistant qu'ils ont opposé à la flexion. Il leur aurait fallu un certain temps pour acquérir une tension aussi considérable s'ils étaient partis de l'état de relâchement, et ils n'ont pour agir utilement qu'une fraction de la durée de l'appui, 14 à 8 cinquantièmes de seconde environ, il y a tout avantage à ne rien perdre de ce temps déjà si restreint<sup>1</sup> (fig. 386).

1. G. Demeny. *Archives de Physiologie*.

LONGUEUR DU PAS ET VITESSE DE PROGRESSION. — La longueur du pas de course croît toujours à mesure que la cadence s'accélère. La vitesse de progression augmente également avec la rapidité

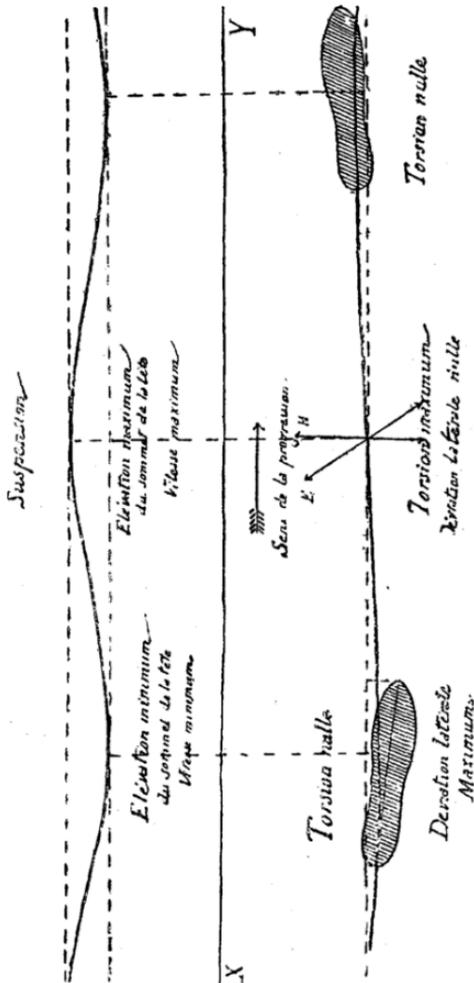


Fig. 379. — Projections horizontale et verticale de la trajectoire de la tête d'un coureur montant, par comparaison avec la figure 323, les différences entre les divers mouvements du tronc dans la marche et la course.

de la cadence et tend vers un maximum qui est à peu près 11 mètres à la seconde.

Le pas de course est plus long que le pas de marche, sa durée est plus petite. Il varie de 1<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,40 et de 70 à 41 cen-

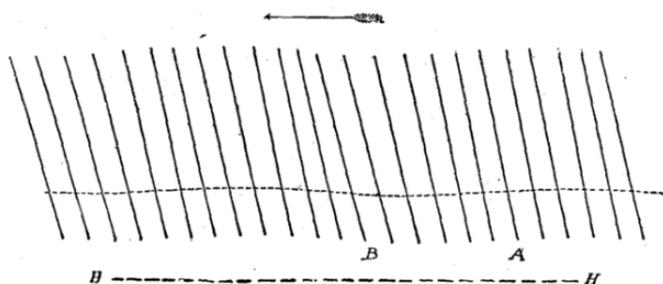


Fig. 380. — Figure montrant les inclinaisons du tronc dans la course.

La ligne ponctuée représente la trajectoire du sommet de la tête; H, H, horizontale. Les attitudes correspondent à des intervalles de temps de  $1/50^{\text{e}}$  de seconde.



Fig. 381. — Coureurs fléchissant les bras pour éviter leur balancement rapide, devenu impossible par la vitesse de la cadence (d'après photographies de MUYBRIDGE).

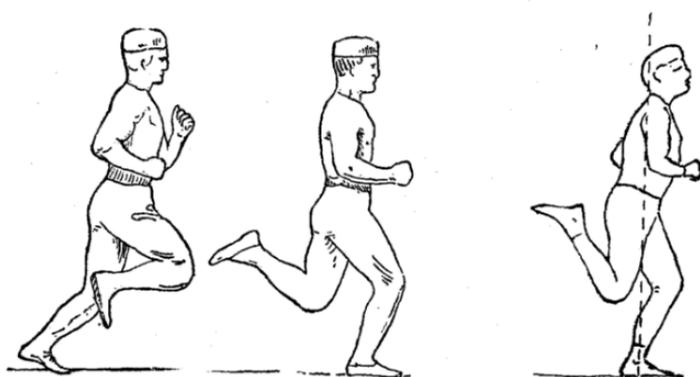


Fig. 382. — Photographies de coureurs montrant le degré de flexion de la jambe pendant l'appui et le lever du pied.

Fig. 383. — Attitude du coureur quand le rayon du membre à l'appui passe par la verticale.

tièmes de seconde (voir fig. 322). La grande longueur de pas dans la course ne tient pas seulement à l'écartement des jambes comme dans la marche mais à l'espace parcouru pendant la suspension ; le tableau (fig. 364) montre comment varie la durée de celle-ci à différents rythmes. Le pas de course dépend aussi de la longueur du pied et de son complet déroulement sur le sol.

Comme pour la marche un terrain glissant diminue la longueur du pas ; un terrain meuble agit de même en absorbant une partie du ravail de l'impulsion.

La taille élevée donne une longueur de pas plus grande pour des déplacements angulaires égaux des membres. L'inclinaison du tronc n'est pas nécessaire à la grande rapidité de la course. Nous avons étudié de grands coureurs qui restaient le corps vertical dans les plus grandes vitesses, cependant la résistance de l'air oppose un obstacle sérieux à la progression, on ne peut la diminuer qu'en s'inclinant un peu.

**ALLURES DE PARADE. ALLURES DE FOND ET ALLURES VIVES.** -- Les allures courues à des rythmes lents vulgairement appelées pas gymnastique sont des allures de parade, mais tout à fait défectueuses au point de vue de l'effet

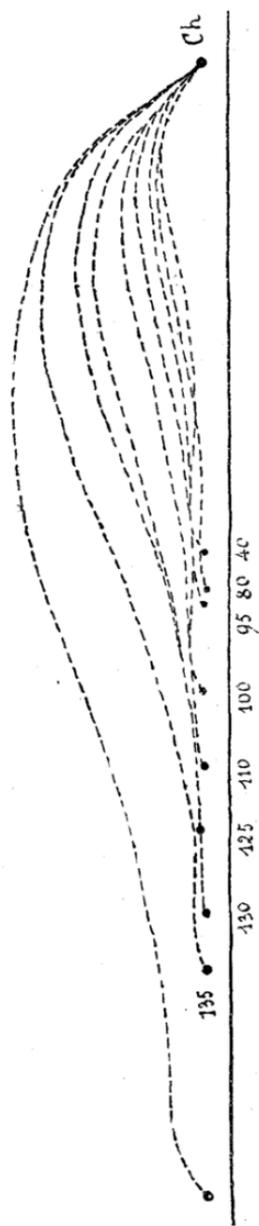


Fig. 384. — Comparaison des trajectoires décrites par la cheville du pied pendant le lever dans la marche et la course, à des rythmes variant de 40 à 135 pas à la minute. C V, course de vélocité ; -- Ch, cheville au moment du poser ; l'élévation des courbes indique le degré de flexion de la jambe. La longueur du pas est donnée par les distances entre les deux posers représentés par les points. Marche de 40 à 80. Course de 95 à 140.

utile qu'on peut en attendre. On est obligé de sauter presque sur place à de grandes hauteurs (voir fig. 360) pour utiliser le temps long qui sépare deux posers successifs des pieds. Nous verrons combien ces grandes réactions verticales absorbent de travail sans rien utiliser au point de vue de la vitesse de progression. Quand l'allure s'accélère jusqu'au rythme 105 les réactions verticales diminuent et la vitesse augmente sans pour cela demander plus d'effort (fig. 322).

La véritable cadence d'une course de résistance est 105 à 115 pas à la minute. On n'y voit plus ces sauts sur place, mais une impulsion oblique de la jambe qui utilise l'extension de la

jambe pour progresser.

Chez les vieillards, les sujets affaiblis, les femmes on constate la fréquence des allures sautées, les chevaux usés sont dans le même cas; c'est qu'il est moins dur d'étendre la jambe

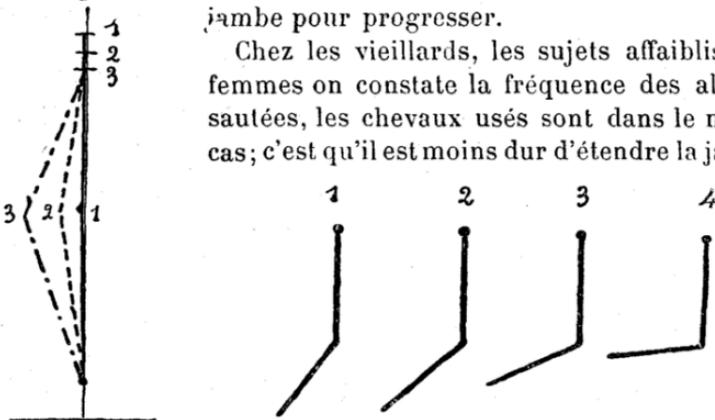


Fig. 385. — Degrés de flexion du membre inférieur et du membre supérieur suivant la rapidité de l'allure.

1, Marche lente; — 2, Marche vive; — 3 et 4, Course.

à l'appui quand elle passe par la verticale que de l'étendre obliquement. Cette dernière manière est la seule bonne pour faire de la vitesse horizontale, mais elle demande une grande force musculaire. Cette obliquité et cette force d'impulsion sont poussées à l'extrême au moment où le pied quitte terre chez les coureurs de vitesse (fig. 391 et 396).

Plus le rythme de la course s'accélère plus la force impulsive doit s'accroître avec la longueur du pas et le travail produit augmente toujours.

Au delà du rythme 120, la course n'est plus une allure de fond que l'on puisse soutenir longtemps car elle demande des efforts croissant très vite avec la vitesse. Pour augmenter sa

vitesse d'une petite quantité il faut dépenser d'autant plus de

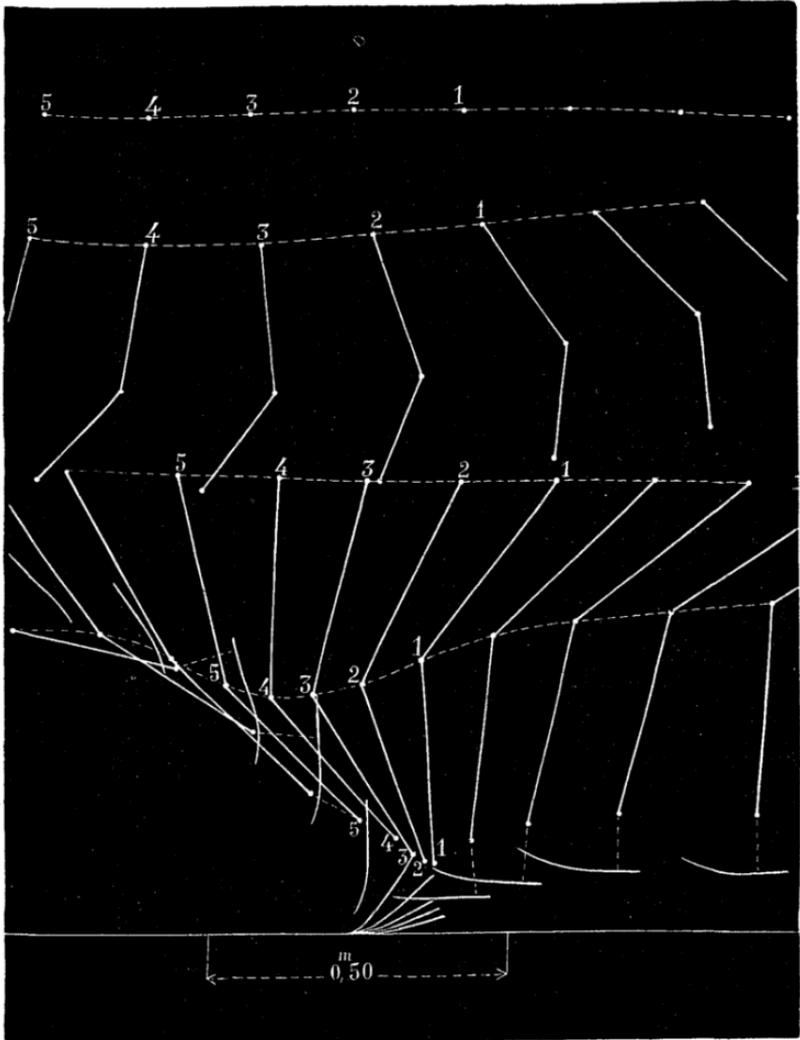


Fig. 386. — Analyse du mouvement du membre inférieur pendant l'appui du pied dans une course vive.

1, 2, 3, phase d'amortissement ; — 3, 4, 5, phase impulsive.

travail qu'on a déjà une vitesse plus grande.

C'est pour cette raison qu'il y a une limite à la vitesse d'un coureur, 10 à 11 mètres à la seconde sont presque un maximum.

Ces vitesses ne peuvent être raisonnablement soutenues que

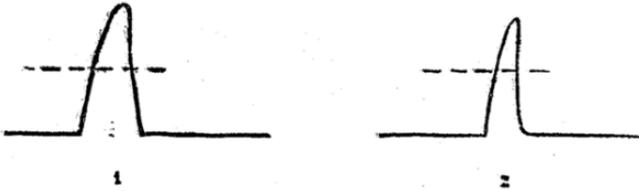


Fig. 387. — Courbe dynamographique de la pression normale du pied : 1, Pas gymnastique; — 2, Pas de course vive.

On s'explique la hauteur plus grande dans le premier par la grandeur des oscillations verticales du tronc. La ligne ponctuée est la ligne de poids du corps.

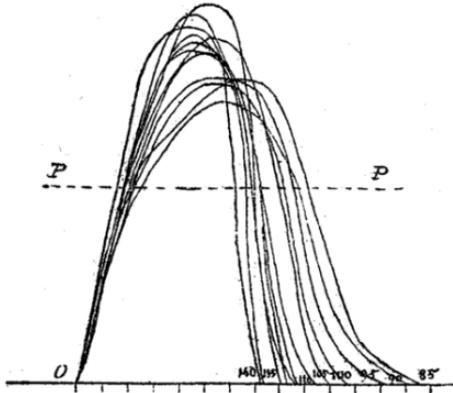


Fig. 388. — Formes de la pression normale du pied dans la course depuis la cadence de 85 à 140 pas à la minute.

O, origine commune des appuis; unité de temps, 40° de seconde; P, P, ligne correspondant au poids du corps.

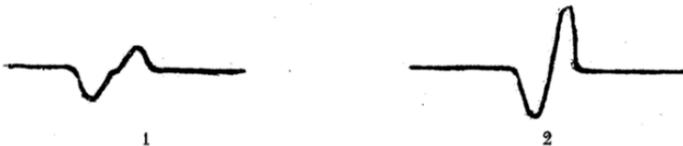


Fig. 389. — Pression tangentielle du pied sur le sol : 1, dans la marche; 2, dans la course.

On voit la pression être d'abord négative, ce qui indique une action du pied en sens inverse de la progression au moment de l'appui.

pendant un temps très court : 10 à 13 secondes pour une centaine de mètres parcourus. Il y a lieu de faire à ce sujet une distinction très nette entre les courses de fond et les courses de vélocité si l'on veut éviter des accidents.

Dans les courses de vélocité où l'on donne tout ce que l'on peut donner d'effort, la longueur du pas dépasse 3<sup>m</sup>,50, pendant 10 à 13 secondes le sujet ne respire pas ; nous avons déjà montré plus haut que cet effort permanent ne peut impunément être prolongé.

La longueur du pas est obtenue par une poussée énergique qui dure un peu plus d'un dixième de seconde et pendant laquelle l'extension du membre est complète.

Nous avons vu l'attitude du coureur à la fin de l'appui du pied (fig. 391) quand tout le déroulement s'est effectué et qu'il ne touche plus le sol que par l'extrémité des orteils. La longueur du pas dépend surtout de cet allongement complet bien plutôt que de l'extension exagérée de la jambe au moment du poser. Cependant,



Fig. 390. — Pas gymnastique ; appui d'un pied.

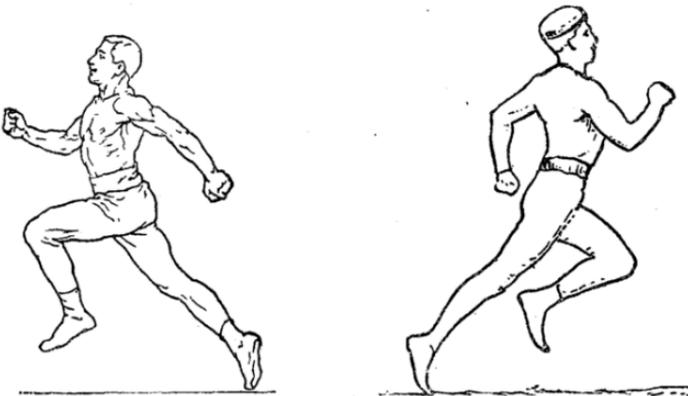


Fig. 391. — Attitude du coureur à la fin de l'appui du pied montrant l'obliquité de la jambe et du pied donnant l'impulsion du corps avant la suspension.

comme dans la marche, la longueur du pas dépend de la manière dont on pose le pied à terre. Si on pose la pointe la première, le pas est forcément raccourci (fig. 392) parce qu'on doit plier en même temps la jambe. Si on pose le talon le premier le pas est allongé il est vrai (fig. 393), mais il y a des

inconvéniens sérieux à procéder de cette façon. Le choc du pied au moment du poser est alors très considérable et la jambe portée en avant ne fait que ralentir la vitesse de pro-

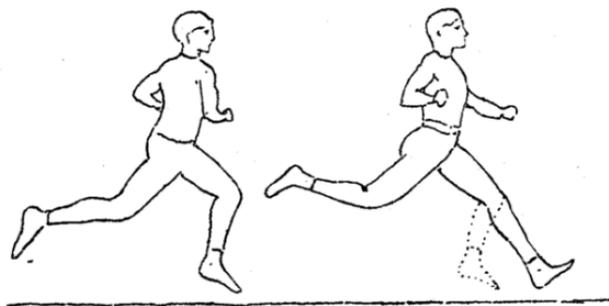


Fig. 392. — Montrant le raccourcissement du pas lorsqu'on pose le pied par la pointe dans la course.

La figure de droite indique l'allongement en posant le pied par le talon.

gression en effectuant un travail résistant nuisible et perdu. Si le sol est glissant cela deviendrait très dangereux.

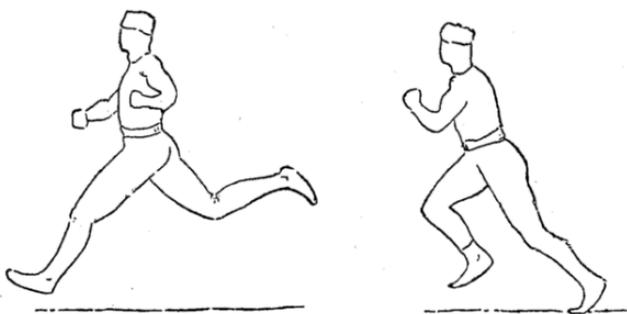


Fig. 393. — Attitudes d'un coureur à la fin de l'appui et au moment du poser du pied par le talon.

La meilleure manière est de poser le pied à plat, la jambe est alors verticale (fig. 394) fléchie sur la cuisse, le choc est supporté par les muscles extenseurs, le corps toujours en arrière de la verticale passant par l'appui du pied. Les artistes peintres et surtout les sculpteurs semblent ignorer cette attitude bien qu'elle soit la seule caractéristique de la vitesse. Presque toujours l'attitude du coureur est prise sur un modèle dans

une position stable, c'est une pose mais non une course (fig. 395). Le corps ne peut jamais être verticalement placé au-dessus du pied à l'appui et à plus forte raison penché en avant; où trouverait-il un appui en avant pour éviter la chute. Ces représentations du coureur au lieu d'être expressives sont singulièrement fausses et vous donnent un sentiment de gêne inexprimable. Quand le corps passe au-dessus du pied la jambe qui est en arrière est alors portée déjà en avant (fig. 383 et 396) pour se préparer au choc du poser, le corps est penché en avant au départ de la course (fig. 400) et lorsque l'on pousse une voiture devant soi (fig. 397).



Fig. 394. — Coureur en suspension; le pied va poser à plat.

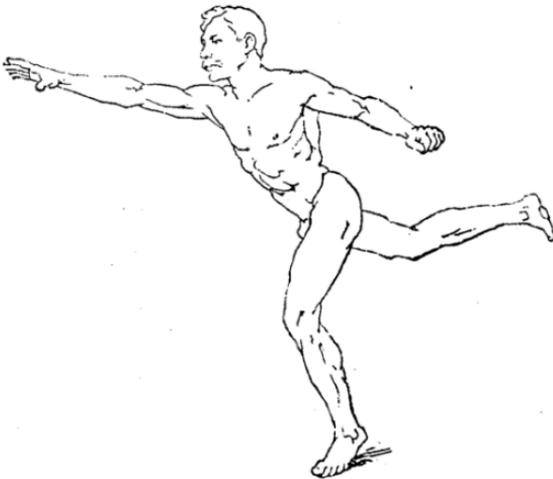


Fig. 395. — Représentation conventionnelle et fausse du coureur.

**ORGANISATION FAVORABLE A LA MARCHÉ ET A LA COURSE.** — L'organisation la plus parfaite pour la marche, la course, le saut est celle qui présente un développement relativement considérable des organes essentiellement moteurs, les autres organes dont

la masse est inutile ou même nuisible demeurant d'un développement relativement moindre.

Ainsi l'homme apte à la marche et à la course est en général

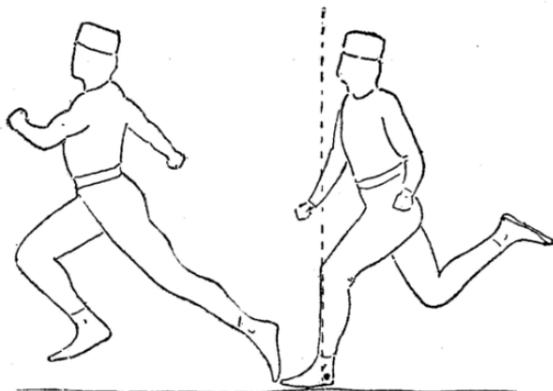


Fig. 395. — Mêmes attitudes que dans les figures précédentes chez un autre sujet.

On voit nettement le pied poser à plat la jambe verticale ; le corps est en arrière du pied et le pied lève après son déroulement complet, la semelle verticale, la jambe complètement étendue sous une inclinaison de 45°.

un sujet de taille moyenne, d'un poids de 60 à 70 kilog. ; il est dépourvu de graisse ; les muscles de ses membres inférieurs

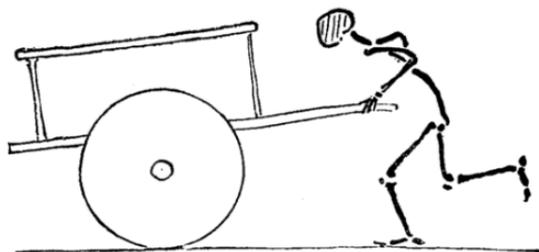


Fig. 397. — Attitude penchée en avant du coureur poussant une voiture devant lui.

sont relativement plus développés que ceux des membres supérieurs et du tronc.

On conçoit en effet que ceux-ci deviennent pour lui une charge inutile. Comme il demande la force impulsive à l'extension des segments de ses membres inférieurs, les muscles du

mollet, ceux de la partie antérieure de la cuisse ainsi que les fessiers sont bien développés, mais il ne faut pas croire cependant qu'un développement excessif de ces régions soit nécessaire et même utile à l'homme qui n'a qu'à mouvoir son propre poids sur une route horizontale. Quand le membre à l'appui a fini de donner son impulsion, il doit être rapidement porté en avant dans la période du lever du pied. Cet acte semble très

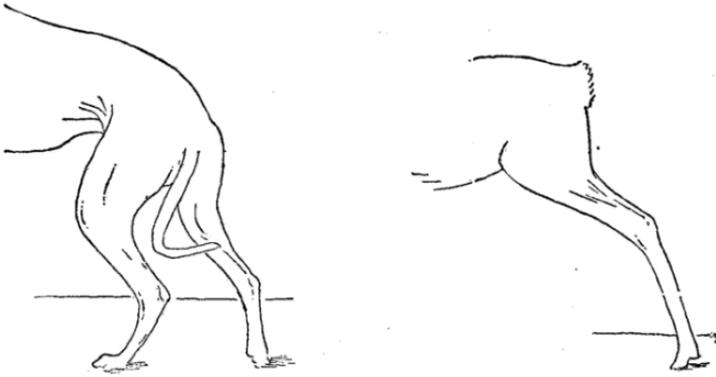


Fig. 398. — Forme des membres impulsifs chez les animaux de vitesse (*Lévrier et Cerf*).

aisé à accomplir, grâce à la pesanteur qui tend à faire osciller la jambe d'arrière en avant. Cela est vrai pour les cadences de la marche et de la course qui se rapprochent de la durée de l'oscillation libre de la jambe (une demi-seconde environ), c'est-à-dire pour le rythme de 55 pas à la minute. Mais, pour les cadences plus vives que présente la course, cadences qui excèdent 140 à 145 pas à la minute, la durée de l'oscillation de la jambe devient bien inférieure à la demi-seconde, elle tombe au-dessous de deux dixièmes de seconde, comme le montre le tableau ci-dessus (fig. 364).

Le coursier doit donc, en course de vélocité, ramener son pied en avant dans un temps presque moitié moindre. La pesanteur l'aide alors bien peu dans cet acte, et pour vaincre l'inertie de son membre tout entier, il doit faire un effort musculaire de flexion de la cuisse qui est d'autant plus intense que la masse de son membre inférieur est plus grande. C'est pourquoi il est vraisemblable que pour des allures très vives, il n'est pas

avantageux pour un coureur d'avoir les jambes trop massives.

La gazelle, le chien lévrier, l'autruche, le cheval de course, ces animaux coureurs par excellence, n'ont-ils pas leurs membres grêles et leurs masses musculaires importantes, celles

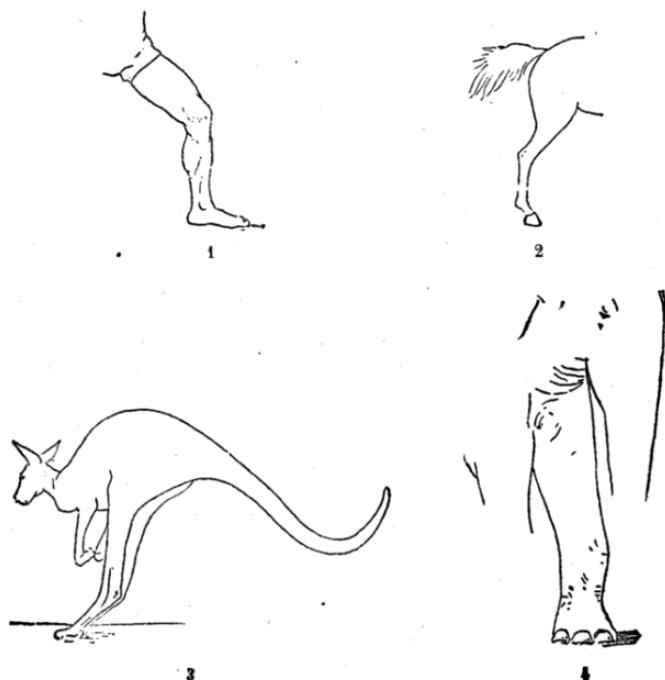


Fig. 399. — Différentes formes des membres inférieurs chez l'homme, le cheval, le kangaroo et l'éléphant.

qui sont nécessaires à l'oscillation, reportées près des centres du mouvement là où la vitesse est minimum (398 et 399).

Ce qu'il faut au marcheur et au coureur qui est débarrassé de toute charge inutile, ce sont de longs segments pour se donner de la vitesse, absolument comme pour les locomotives express, il faut des roues de grand diamètre.

Il y a avantage pour lui à être bien fendu, à avoir de longues jambes, mais il doit posséder surtout la force musculaire suffisante pour allonger au maximum ses segments pendant la dernière phase de l'appui.

Il y a avantage pour le coureur à avoir le pied long et même

à l'allonger un peu au moyen de ses semelles. Toutes les conditions qui réduisent le déroulement du pied sont mauvaises au point de vue de la progression.

Le coureur, pour résister à la fatigue, doit avoir de bons poumons. Cela indique une bonne capacité respiratoire et surtout une bonne manière de respirer.

Nous avons en d'autres endroits appuyé sur l'importance de

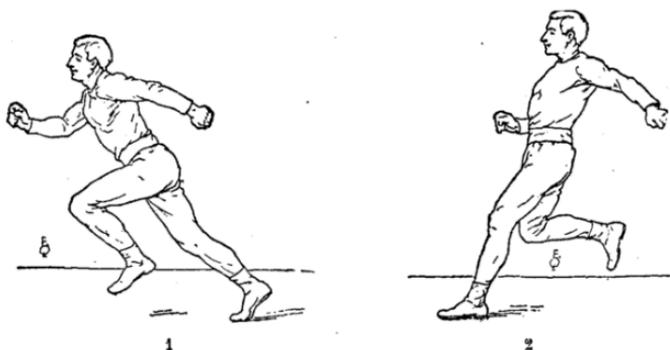


Fig. 400. — 1, Départ de la course ; — 2, Arrêt de la course  
On voit l'inclinaison du corps en sens inverse.

cette coordination des mouvements respiratoires et sur l'avantage qu'il y a à régler le rythme des inspirations et expirations sur le rythme même de l'allure. Tout consiste à exécuter volontairement de grandes inspirations lentes en une ou plusieurs fois suivant la cadence de la course ; on évite ainsi les troubles de la circulation pulmonaire qui sont la véritable cause de l'essoufflement, et l'on arrive bientôt à un régime régulier qui peut se continuer pendant longtemps.

Entre la dépense occasionnée par le travail musculaire pendant la course et la réparation due à une bonne circulation et à une respiration libre, il s'établit alors un équilibre parfait par la pratique d'un entraînement spécial. De cet équilibre dépendent les grandes qualités de fond qui sont la véritable qualité du coureur.

Cette dernière qualité est donc une qualité acquise par l'entraînement et l'éducation plutôt qu'une qualité de structure venant de naissance. (Voir respiration après la course : *L'École française.*)

**DÉPART DE LA COURSE.** — Il nous reste à dire quelques mots du départ, de l'arrêt dans la course et des transitions de la marche à la course et de la course à la marche.

On part de la position fendue, le corps fortement penché en avant afin d'acquérir toute la vitesse possible au début. Dans

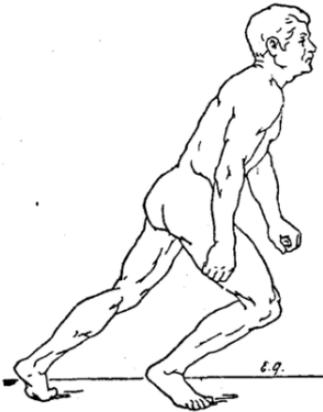


Fig. 401. — Départ de la course montrant l'inclinaison du corps dans la direction de la progression.



Fig. 402. — Arrêt de la course, montrant l'inclinaison du corps en sens inverse de la progression.

les records de vitesse où une faute première suffit pour faire perdre du terrain, il est important d'obtenir le maximum d'accélération, au premier coup de jarret (fig. 400), le mouvement de départ est facilité par une chute du corps en avant accélérée encore par l'impulsion de la jambe en arrière (fig. 401).

Certains coureurs américains partent même de la position à quatre pattes et s'élancent de cette position d'un bond formidable ; ils gagnent dès le premier pas une certaine longueur de terrain.

**ARRÊT DE LA COURSE.** — L'arrêt de la course vive est caractérisé par un effort résistant des jambes pour annuler la vitesse acquise. C'est la jambe en avant qui lutte à chaque instant contre cette vitesse et produit une action retardatrice sur la masse du corps. Ce dernier est fortement penché en arrière pour faire agir la pesanteur en sens inverse de la progression (fig. 402).

Il faut un certain nombre de pas pour annuler la vitesse de la course et au fur et à mesure du ralentissement de l'allure le corps se redresse peu à peu pour être tout à fait vertical au moment de l'arrêt.

Nous voyons combien les représentations fantaisistes des

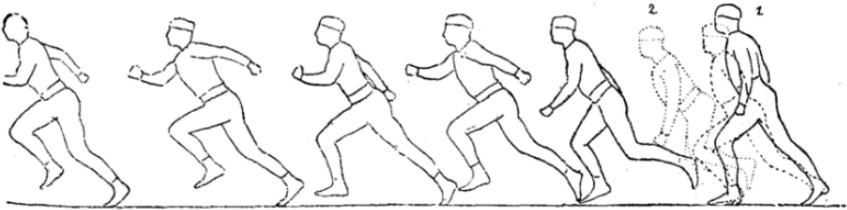
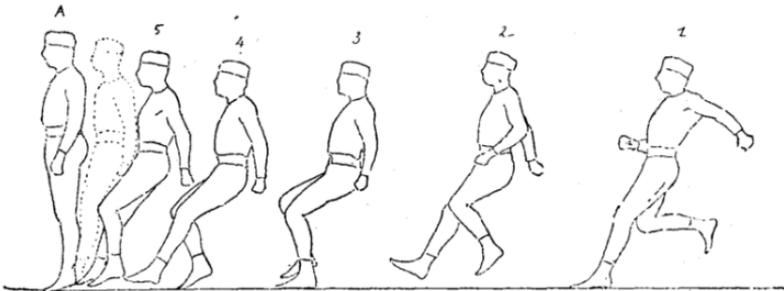


Fig. 403. — Départ de la course.

L'espacement des images indique l'accroissement de la vitesse. La poussée du membre inférieur est inclinée dans le sens de la progression.

artistes diffèrent de la réalité ; représenter un coureur penché en avant lorsqu'il arrive au but c'est avoir bien peu regardé la



On voit l'inclinaison du corps en arrière et l'action retardatrice de la jambe en avant pour arriver à l'immobilité en A. Les chiffres indiquent l'ordre des images successives. La poussée du membre inférieur est inclinée en sens inverse de la progression et le poids du corps diminue sa vitesse.

nature ou ignorer singulièrement le mécanisme du corps humain. Le sujet représenté (fig. 395) non seulement ne s'arrête pas, mais il ne court même pas, il tombe.

Les figures 403 et 404 sont des analyses chronophotographiques du départ et de l'arrêt de la course.

CHANGEMENT DE DIRECTION DANS LA COURSE. — L'inclinaison du corps indique le sens de l'accélération du mouvement ; ainsi un

coureur lancé en avant, veut-il revenir sur ses pas sans s'arrêter, il se penche en arrière fait agir une force constante pour retarder son mouvement, lorsque sa vitesse est nulle il se retourne toujours le corps incliné, il repart ensuite dans la direction opposée avec la même force constante qui devient alors accélératrice (fig. 405).

Nous avons construit la courbe de la vitesse de la tête dans

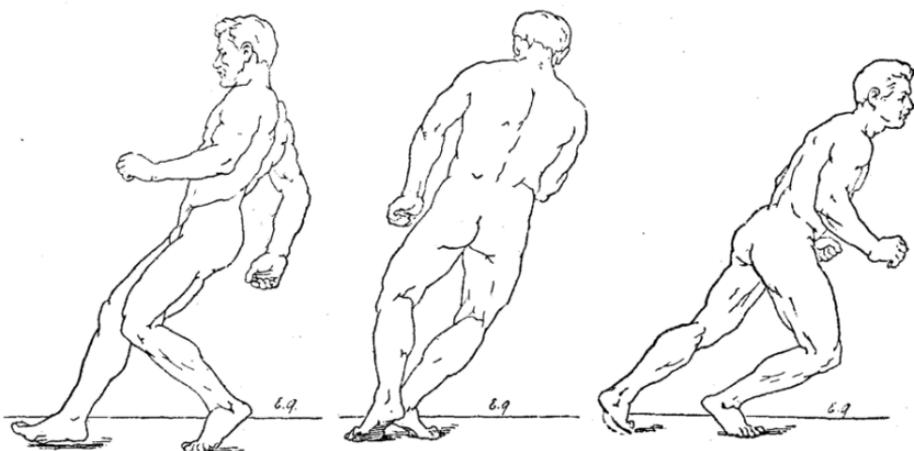


Fig. 405. — Attitudes d'un coureur qui revient sur ses pas.

On voit l'inclinaison du corps nécessitée par l'arrêt se conserver lors du changement de direction dans la vitesse.

le départ et l'arrêt de la course, nous avons pu constater qu'à chaque poser du pied la vitesse augmente ou diminue d'une quantité constante, le mouvement est uniformément accéléré dans le départ, uniformément retardé dans l'arrêt ce qui prouve l'action régulière ou constante du coup de jarret (fig. 406 et 407). La forme générale du tracé est une ligne droite inclinée présentant des sinuosités correspondant à chaque poser du pied. Cette figure montre aussi le temps employé soit pour acquérir le maximum de vitesse soit pour s'arrêter. Une distance de 6 mètres au moins devant soi est nécessaire pour cela.

TRANSITIONS DE LA MARCHÉ A LA COURSE ET DE LA COURSE A LA MARCHÉ. — De la marche à la course (fig. 408) la transition se fait

directement pendant un appui du pied, sans passer par une allure

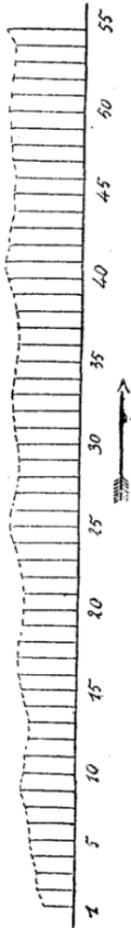


Fig. 406. — Exemple d'accélération dans la course. Courbe de la vitesse de la tête projetée horizontalement. La direction moyenne de la courbe montre que la vitesse croit proportionnellement aux temps; les inflexions de la courbe correspondent aux appuis des pieds et montrent les variations de la vitesse sous leur influence. La vitesse s'accroît par poussées successives bien évidentes. Il a été parcouru 6 mètres avant le temps 1 et 7 m. 50 depuis le temps 1 jusqu'à 55.



Fig. 407. — Exemple de ralentissement après la course. Courbe de la vitesse de la tête projetée horizontalement. La vitesse décroît proportionnellement aux temps; la diminution de la vitesse se fait à chaque appui du pied par le travail résistant des extenseurs du membre inférieur; les sinuosités de la courbe correspondent aux appuis des pieds; l'unité de temps est la même que dans la figure précédente. Il a été parcouru 6 mètres depuis le temps 1 jusqu'à l'arrêt.

mixte. Le marcheur qui veut courir penche le corps en avant, puis fait un appel du pied semblable à un saut, il fléchit pour

cela la jambe à l'appui et l'étend ensuite brusquement pour détacher le corps du sol. La figure 409 ne montre que les mouvements de la moitié droite du corps; la transition se fait en B sur le pied gauche invisible, mais les réactions se font suffisamment sentir sur la moitié droite du corps. On voit que la flexion de la jambe au moment de son appui modifie immédiatement les trajectoires de la hanche et de la tête, en leur donnant les caractères propres à la course, c'est-à-dire la forme concave par en haut à la place de la convexité qui s'observait en A dans la

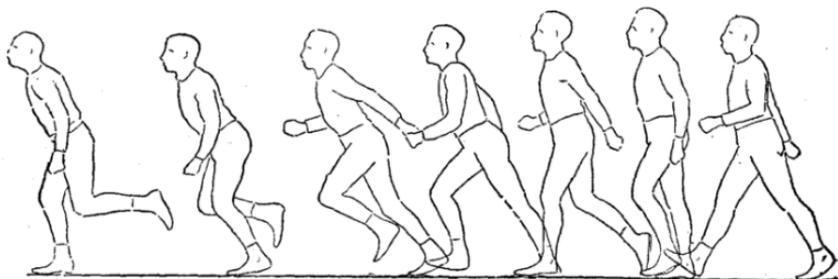


Fig. 408. — Transition de la marche à la course.

Le marcheur se penche en avant pour accélérer sa vitesse.

marche. A la fin de cet appui, la brusque détente de la jambe projette le corps comme dans un saut, la suspension est obtenue en C; un autre appui s'observe en D; le régime de la course est régulièrement établi.

De la course à la marche la transition est inverse (fig. 410 et 411); le coureur ralentit sa vitesse en penchant le corps en arrière. L'appui prochain A est un peu plus prolongé, le membre inférieur plie en faisant un travail résistant pour atténuer la vitesse; il se redresse ensuite sans brusquerie comme dans la marche.

Pendant cet appui, la trajectoire de la hanche offre une forme mixte; concave d'abord comme dans la course, puis convexe comme dans la marche.

A partir de ce moment, les actes qui se succèdent sont ceux de la marche ordinaire: le lever du pied correspond à un minimum des trajectoires de la tête et de la hanche, il se produit au moment où le pied gauche vient toucher le

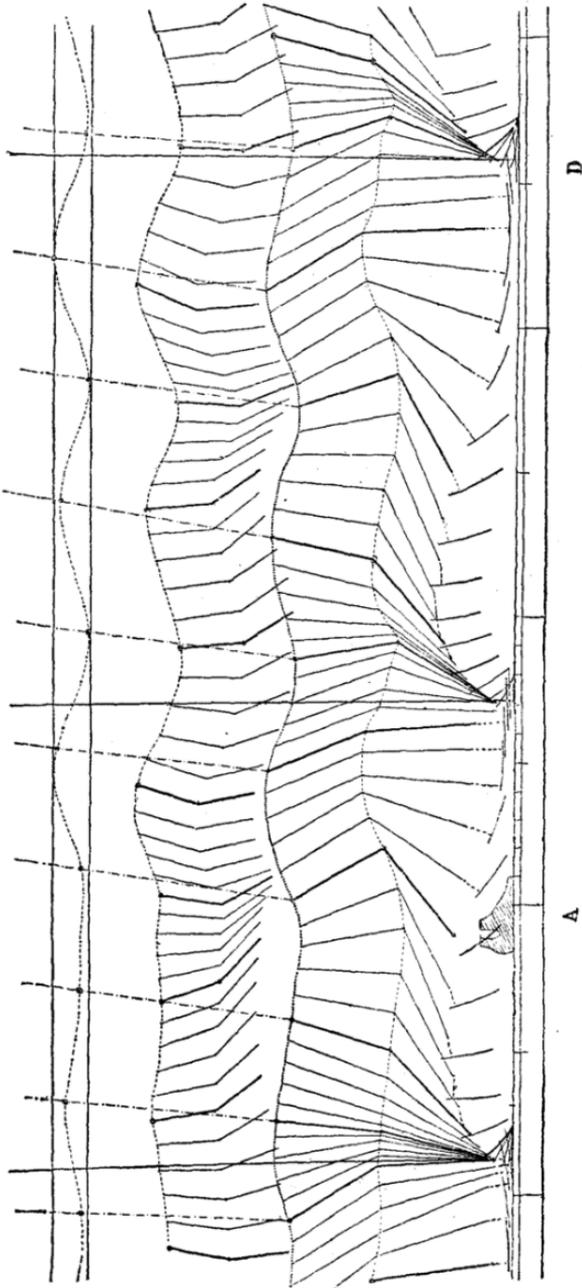


Fig. 409. — Transition de la marche à la course. Analyse chronophotographique (25 images par seconde).  
On voit les modifications dans les trajectoires se produire en A au moment du poser du pied gauche.

sol ; enfin le corps reprend l'inclinaison propre à l'allure de la marche.

La série des actes exécutés dans cette transition est semblable à celle qui s'observe dans la chute qui suit un saut en longueur.

Les transitions d'ailleurs peuvent s'étudier au moyen de la méthode des appuis et levers. Le tracé suivant montre la durée relative d'appui et de lever de chaque pied dans une marche accélérée qui devient en C une course modérée. On voit com-

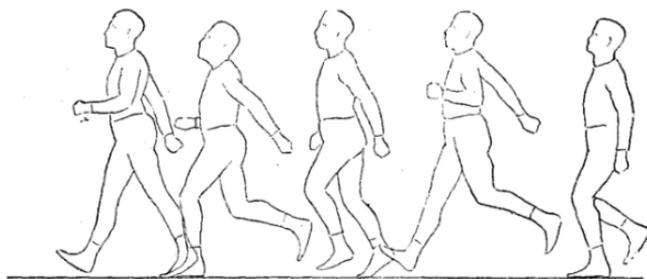


Fig. 410. — Transition de la course à la marche.

On voit le coureur porter le corps en arrière pour ralentir la vitesse.

ment il y a subitement transition d'allure et substitution de la suspension du corps au double appui ce qui est la caractéristique de la course et de la marche (fig. 412 et 413).

Nous aurons encore à examiner à propos de l'économie du travail les allures les plus avantageuses au point de vue pratique pour parcourir une distance donnée dans des conditions voulues de temps ou de moindre fatigue.

**GALOP.** — L'allure appelée galop est une combinaison de la course et une combinaison de la course et de la marche ; elle contient une suspension correspondant à l'impulsion d'une seule jambe. Cette impulsion est supérieure en intensité et en durée à celle de l'autre jambe qui exécute seulement la poussée nécessaire à un demi-pas de marche précipité (fig. 414).

Les distances des empreintes des pieds sur le sol ne sont plus égales ; cette allure est usitée seulement dans les jeux d'enfants.

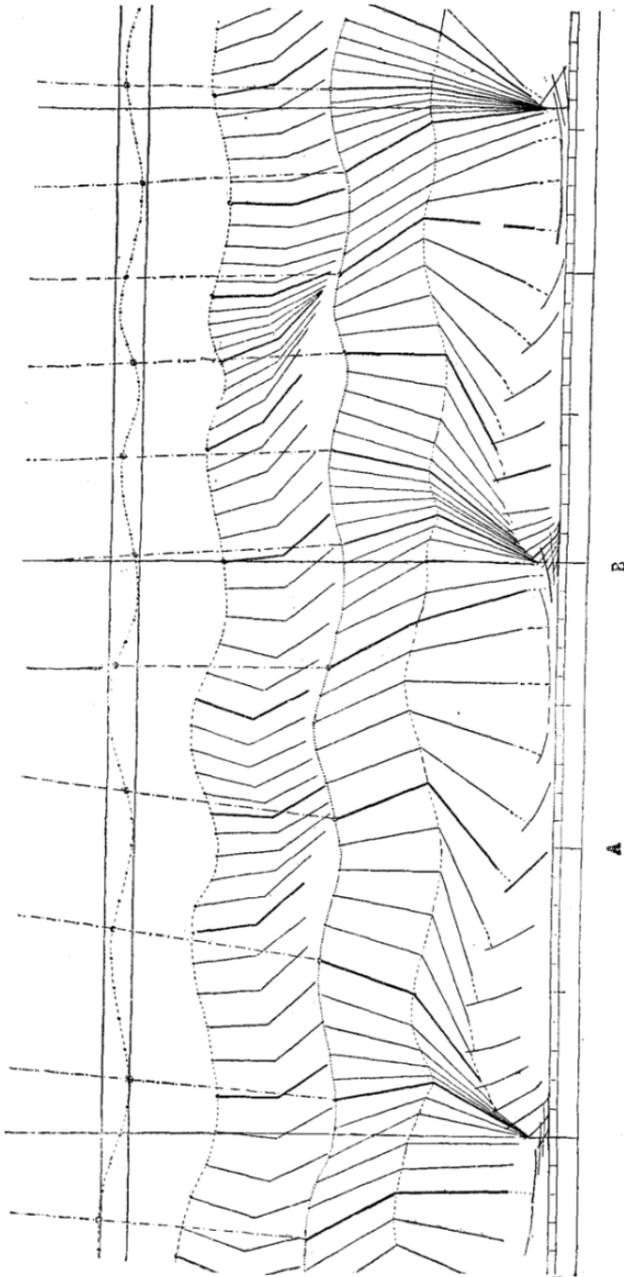


Fig. 411. — Transition de la course à la marche.

La transition se fait en B, où l'on voit la trajectoire de la hanche se modifier et devenir convexe pendant l'appui du pied.

PROPOSITIONS RÉSUMANT LES LOIS DE LA LOCOMOTION HUMAINE<sup>1</sup>

I. Le niveau moyen des oscillations verticales de la tête est plus élevé dans la marche que dans la course et s'abaisse avec

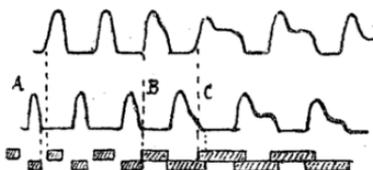


Fig. 412. — Inscription des appuis des pieds avec notation des appuis et levers dans une transition de la course à la marche.

En A, il y a suspension ; en B, les appuis se succèdent et en C, il y a double appui.

la vitesse de l'allure ; la distance entre les maxima et les minima des oscillations verticales, c'est-à-dire la valeur absolue

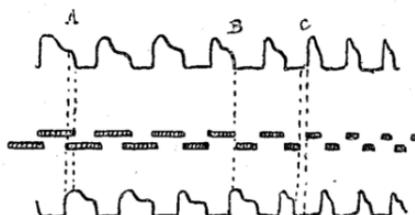


Fig. 413. — Inscription simultanée des appuis du pied droit et du pied gauche avec notation des appuis et levers dans la transition de la marche à la course.

On voit en A le double appui ; en B, ce double appui est nul ; en C, il y a suspension du corps.

de ces oscillations varie comme la longueur du pas dans la marche ; dans la course les oscillations verticales sont indépendantes de la longueur du pas, elles diminuent plutôt quand la longueur du pas augmente.

II. L'angle compris entre les deux positions extrêmes du rayon du membre inférieur au moment de l'appui et du lever du pied, c'est-à-dire l'angle de déroulement du rayon du

1. Ces propositions ont été publiées dans « L'Éducation physique », *Bulletin du Cercle de Gymnastique rationnelle*, décembre 1885, n° 14.

membre inférieur, varie peu et équivaut en moyenne à  $52^\circ$  environ dans la marche. Dans la course il est de  $42^\circ$  et augmente avec la vitesse de progression, à mesure que l'extension du membre inférieur est plus complète.

III. Au moment de l'appui, la jambe est sensiblement étendue dans la marche, toujours fléchie dans la course; elle pose d'autant plus verticalement que l'allure est plus rapide. Au moment du lever, la jambe est toujours fléchie dans la marche, et d'autant plus étendue dans la course, que l'allure est plus

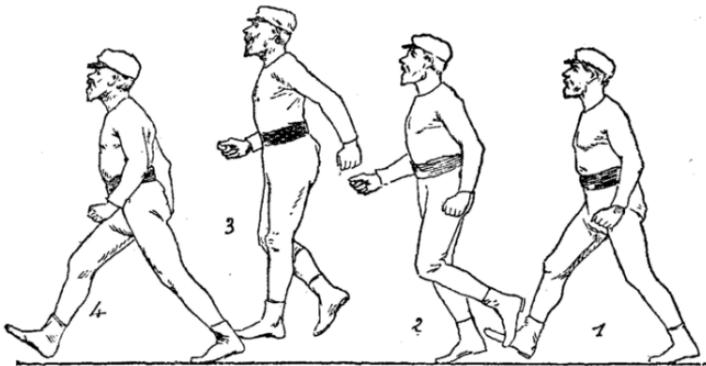


Fig. 414. — Galop. Analyse d'un pas.

rapide. Dans le passage de la hanche par la verticale, la jambe est étendue dans la marche, mais incomplètement, elle est fléchie au maximum dans la course.

IV. Dans la marche, la trajectoire de la hanche est toujours une courbe offrant, pendant l'appui du pied, un maximum compris entre deux minima et présentant une concavité moyenne tournée vers le sol.

Dans la course, la trajectoire de la hanche pendant l'appui du pied est une courbe à une seule courbure, tournant sa convexité moyenne vers le sol. Cette forme de la trajectoire de la hanche pendant l'appui est caractéristique des allures marchées et courues et suffit pour les différencier.

V. Comme conséquence, les maxima d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal ont lieu pendant les appuis dans la marche et entre deux appuis dans la course, c'est-à-dire pendant la suspension du corps.

La position des maxima de la trajectoire de la tête est au delà de la verticale passant par l'articulation de la cheville au poser, et d'autant plus loin dans le sens de la progression que l'allure est plus rapide. Cela tient à l'exagération de l'inclinaison du tronc en avant. On peut étendre cette proposition à la course, à la condition de remplacer les maxima par les minima.

Plus le pas est long dans la marche, plus le minimum est surbaissé, la hauteur maximum du sommet de la tête est égale à la taille de l'homme diminuée du raccourcissement de la jambe due à sa flexion.

VI. Dans la marche il y a toujours double appui, quel que soit le rythme; la durée du double appui varie depuis le quart jusqu'au huitième de la durée du demi-pas. La durée du double appui diminue plus vite que la durée de l'appui; elle vaut de 7 à 2 quarantièmes de seconde. La durée du double appui est toujours la différence entre la durée de l'appui et la durée de la suspension du même membre.

Pour la marche au rythme 60, la durée du double appui est un peu supérieure au quart de la durée totale du demi-pas. Sa valeur absolue est de 7 quarantièmes de seconde.

Dans la course, il y a toujours suspension du corps, et l'espace parcouru horizontalement pendant cette suspension augmente beaucoup avec la vitesse, tandis que l'espace parcouru pendant l'appui du pied reste constant ou augmente fort peu.

VII. Le membre oscillant est d'autant plus fléchi que l'allure est plus vive, c'est-à-dire que la durée d'oscillation est plus petite. Cette flexion est donc en rapport avec la moindre durée de l'oscillation, elle a pour résultat une économie sensible de travail musculaire.

La vitesse maximum du pied pendant la suspension est toujours supérieure à la vitesse de progression. Elle est plus grande que le double de celle-ci dans la marche; cela tient à ce que la durée du lever du pied est, dans la marche plus petite que la durée de l'appui du pied; cette dernière excède la durée du demi-pas de la durée du double appui.

Dans la course, la durée de la suspension s'ajoute à la durée du demi-pas pour constituer la durée du lever du pied; aussi celle-ci l'emporte-t-elle sur la durée de l'appui.

On s'explique ainsi comment, pour une même vitesse de progression, la vitesse relative du pied, par rapport à la vitesse de la masse du corps, peut être beaucoup plus petite dans la course que dans la marche; car, dans la course, la durée de l'oscillation du membre suspendu est plus grande, à cadence égale. Le pied acquiert son maximum de vitesse au dernier tiers environ de la longueur du pas.

Les membres supérieurs sont d'autant plus fléchis que l'allure est plus rapide, pour la même raison économique donnée plus haut pour les membres inférieurs.

VIII. Les demi-pas sont souvent inégaux; celui qui correspond à l'impulsion de la jambe gauche est généralement le plus long. La force musculaire est plus grande dans la jambe avec laquelle on a l'habitude de faire les appels dans les sauts.

La longueur du pas augmente jusqu'à la cadence 75, puis diminue; dans la course, la longueur du pas augmente sans cesse.

IX. La vitesse de progression augmente dans la marche jusqu'au rythme 85, et le maximum ne coïncide pas nécessairement avec la plus grande longueur de pas.

Le maximum du produit : fréquence par longueur de pas, a lieu dans la série considérée au rythme 85, mais la vitesse, qui est alors de 121 mètres à la minute, ne pourrait être continuée longtemps sans fatigue.

X. La pression normale du pied excède toujours le poids du corps et atteint son maximum au moment du poser du pied dans la marche.

Cette pression maximum est toujours suivie d'un minimum, dont la valeur absolue est inférieure au poids du corps et décroît avec le rythme. A ce minimum succède un maximum pendant les derniers moments de l'impulsion; ce maximum est toujours inférieur au premier en valeur absolue.

Dans la course, la pression normale du pied est toujours supérieure au poids du corps; elle croît très vite au moment du poser, passe par un maximum et décroît ensuite jusqu'à zéro au moment du lever.

Ces variations de la pression normale sont directement liées à l'accélération du mouvement vertical ascendant ou descen-

dant du centre de gravité du corps, elles suivent la loi qui lie le mouvement de la masse du corps à l'impulsion qui agit sur elle. C'est-à-dire qu'à chaque instant la différence entre le poids du corps et la composante verticale de l'action du membre à l'appui, est égale à l'accélération du mouvement de centre de gravité du corps multipliée par la masse de celui-ci, et la pression du pied, dans le simple appui bien entendu, est supérieure au poids du corps, tant dans le mouvement vertical ascendant accéléré, que dans le mouvement vertical descendant retardé.

La pression tangentielle du pied dans la marche et la course est négative, c'est-à-dire dirigée en sens inverse de la progression au moment du poser du pied; elle devient nulle, puis positive. Ces changements de signe correspondent à l'obliquité du rayon du membre inférieur au moment du poser, puis à sa perpendicularité, ensuite à son action impulsive oblique dans le sens opposé. C'est dans cette dernière phase seulement que le membre effectue le travail véritablement utile à la progression. La première phase, au contraire, donne naissance à du travail résistant et correspond au ralentissement de la masse du corps que nous signalons dans le paragraphe suivant.

XI. Pendant l'appui du pied, il y a un ralentissement de la vitesse horizontale de la masse du corps; le maximum de ce ralentissement correspond au passage du rayon du membre actif par la verticale, c'est-à-dire au maximum d'élévation du tronc au-dessus du plan horizontal dans la marche et au minimum dans la course.

Les variations absolues de la vitesse horizontale augmentent, ainsi que les réactions verticales, avec la longueur du pas dans la marche.

Il est important de constater que ces deux éléments, qui sont fonction de la longueur du pas et une fonction plus compliquée de la vitesse de progression, sont justement les éléments principaux du travail mécanique dépensé dans la locomotion.

XII. Le travail mécanique dépensé dans la marche croît d'abord depuis le rythme 40 jusqu'au rythme 55, il croît beaucoup moins vite dans les allures normales (55 à 65 pas à la minute) que l'on peut appeler pour cette raison allures avantageuses; à partir du rythme 65 le travail croît considérablement.

Pour la course, le travail, assez grand aux cadences les plus lentes, diminue d'abord quand la fréquence des pas s'accroît, passe par un minimum correspondant à la cadence 110 environ, puis augmente toujours.

Il y a donc pour chaque allure certaines cadences particulièrement favorables : ce sont celles où la vitesse croît plus vite que la dépense de travail, à savoir les rythmes 60 à 65 pour la marche et 110 à 115 pour la course.

Le travail à l'heure croît toujours avec le rythme ; le travail au kilomètre, au contraire, est d'autant plus faible que l'allure est plus rapide, excepté pour les marches défavorables dont le rythme dépasse 65. On peut déjà prévoir que ces conclusions sont à l'avantage des allures où le pas est le plus long.

Mais 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 des forces musculaires n'arriverait plus à compenser la dépense.

On peut impunément soutenir une longue marche au bout de laquelle on aura dépensé un grand travail, tandis qu'une course rapide épuiserait en très peu de temps la force musculaire, avec une dépense totale de travail beaucoup moindre.

Il y aura donc lieu de déterminer pour chaque allure la dépense de travail à l'heure et au kilomètre, ainsi que les relations de la vitesse avec la cadence.

D'autre part, il faudra répéter sur un grand nombre de sujets ces études, qui n'ont porté jusqu'ici que sur deux hommes, et chercher l'influence du poids et de la taille, celle de la charge portée, de la pente et de la nature du terrain. C'est particulièrement au perfectionnement des exercices du soldat que s'appliquent ces recherches ; elles ont excité l'intérêt de quelques officiers supérieurs de notre armée ; nous comptons sur leur concours pour les diriger dans le sens le plus utile.

#### SAUT

Le saut consiste dans une projection de la masse du corps par la détente brusque des membres inférieurs préalablement fléchis.

Le saut est vertical ou oblique suivant que la vitesse communiquée au corps a une direction verticale ou oblique.

Le saut est dit de  *pied ferme*  lorsque le corps ne possède aucune vitesse au moment du saut. Le saut précédé d'une course s'exécute au contraire quand le corps possède la vitesse de la course. C'est toujours un saut oblique, on l'appelle saut en hauteur ou saut en longueur suivant le degré d'obliquité.

Il y a dans le saut quatre phases principales à considérer :

La préparation et l'impulsion, la suspension et la chute.

PRÉPARATION, IMPULSION ET CHUTE DU SAUT. — La  *préparation*  consiste dans la flexion des membres inférieurs, elle est exécutée en même temps que l'abaissement des bras et suivie immédiatement de l' *impulsion* , c'est-à-dire de l'extension brusque des membres inférieurs avec élévation des bras (fig. 415).

La  *suspension*  est la période suivante pendant laquelle le corps détaché du sol s'élève et progresse sans toucher terre avec la vitesse communiquée pendant l'impulsion.

La  *chute*  commence au moment où le corps touche terre; elle dure jusqu'à ce que toute la vitesse soit annulée. Dans la chute les membres inférieurs jouent le rôle contraire à celui qu'ils avaient dans l'impulsion.

SAUT VERTICAL. — Les actes musculaires exécutés pendant la préparation et l'impulsion ont pour but de communiquer à la masse du corps une vitesse initiale considérable dans la direction du saut. Cette vitesse est produite par l'extension vive des membres inférieurs qui a pour effet de repousser avec la même intensité et en sens contraire, le corps d'une part, la terre de l'autre.

La vitesse initiale communiquée est en raison inverse des masses, la terre ayant une masse infinie par rapport au corps, son mouvement est nul et le corps se meut comme un projectile sous l'effet d'un ressort. Il se détache de terre si la vitesse initiale communiquée est suffisante pour l'élever à une hauteur supérieure à la longueur des jambes. Si l'on était sur un obstacle n'ayant pas la solidité du sol, un bateau, ou un tremplin, par exemple, l'impulsion ne serait plus utilisée totale-

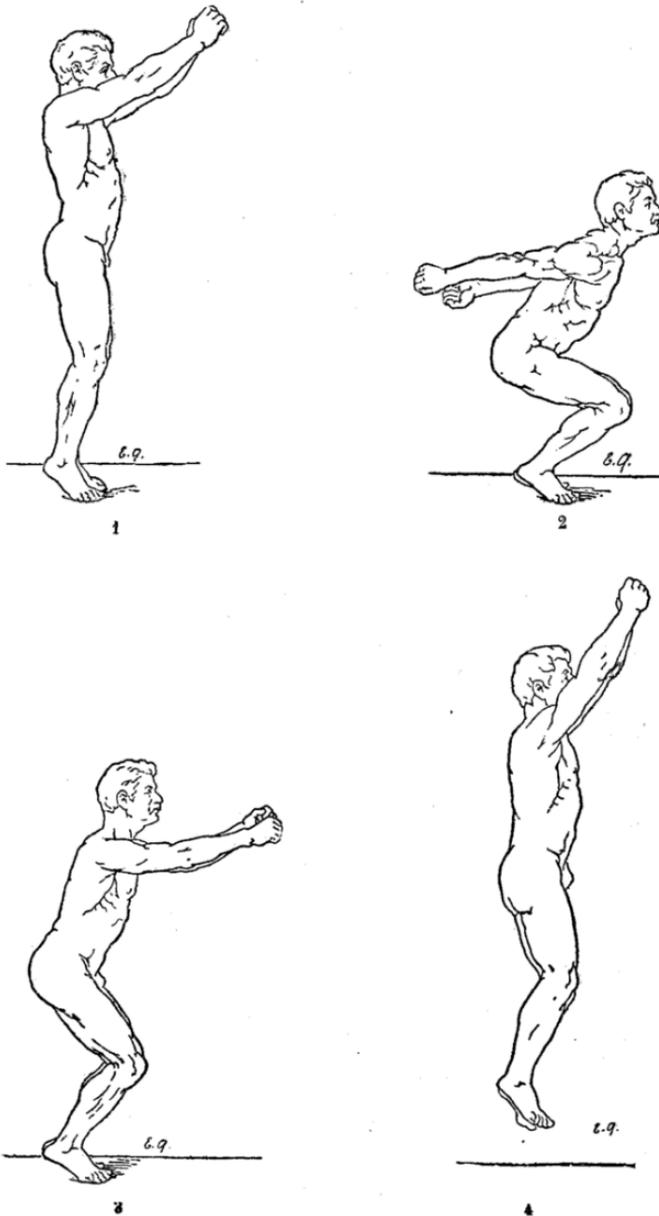


Fig. 415. — Attitudes principales d'un saut en hauteur.  
1 et 2, préparation; — 3, impulsion; — 4, suspension du corps.

ment pour le saut, l'obstacle serait mis en mouvement comme le canon recule lors du départ du projectile et les quantités de mouvement c'est-à-dire le produit des masses mises en mouvement par les vitesses respectives du corps et de l'obstacle seraient égales.

L'impulsion se mesure par la pression des pieds sur le sol au moyen du dynamographe inscripteur dont nous avons déjà parlé à propos de la marche (fig. 339).

Nous avons vu la pression des pieds croître toutes les fois que l'accélération verticale du centre de gravité a le même signe que sa vitesse d'ascension ou de descente, c'est-à-dire quand le mouvement est accéléré ascendant ou retardé descendant. La pression des pieds est égale à la somme algébrique  $P + m\gamma$ .

$P$  étant le poids du corps,  $m$  sa masse,  $\gamma$  l'accélération du mouvement vertical du centre de gravité en grandeur et signe.

La courbe des pressions donnée par le dynamographe n'est autre que la courbe des accélérations du mouvement vertical du centre de gravité et nous avons pu reconstituer ce dernier mouvement avec les données de l'impulsion; à chaque instant

la relation  $\frac{P}{g} \left( \frac{dz}{dt} - v_0 \right) = \int_0^t F dt - Pt$  doit être vérifiée.

PRÉPARATION DU SAUT. — La préparation du saut consiste dans un abaissement des bras et une flexion des membres inférieurs, l'impulsion suit immédiatement, commence avec l'extension vive et l'élévation brusque des bras.

On élève les bras au début (fig. 416) pour pouvoir les lancer davantage en abduction en arrière dans la position suivante et finalement pour leur communiquer, au moment de l'impulsion, une plus grande vitesse d'élévation. On peut substituer au mouvement de balancement des bras un mouvement de circumduction, cela importe peu pourvu que l'élévation soit exécutée très vivement comme nous allons le voir.

IMPULSION, EFFET DU MOUVEMENT DES BRAS. — Les mouvements des bras ont une grande influence sur l'intensité de l'impulsion.

Voici par quel mécanisme :

L'abaissement du tronc et des bras produit des variations de la pression des pieds dans le même sens et s'ajoutant. Il en est

de même de l'élevation du tronc et des bras exécutés simultanément immédiatement après l'abaissement (fig. 417 et 418).

L'élevation des bras augmente l'accélération du mouvement ascensionnel du centre de gravité et par suite la pression des pieds sur le sol liée intimement, nous l'avons vu, à cette accélération. La pression considérable des pieds sur le sol qui a lieu en ce moment s'exerce à l'extrémité des segments fléchis du membre inférieur; la tension des muscles extenseurs devient considérable. C'est justement alors que commence l'extension

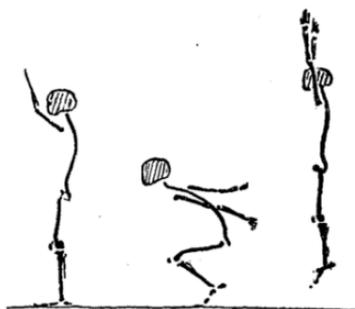


Fig. 416. — Les trois temps d'un saut de pied ferme sur place.  
Élévation des bras, préparation, impulsion et suspension.

active ou la phase utile de l'impulsion. L'acte musculaire d'impulsion est donc favorisé par l'élevation des bras, puisque la contraction volontaire se transmet à des muscles déjà fortement tendus, ce qui leur permet, dans un temps très court, de produire une action extrêmement énergique.

La vitesse d'élevation du centre de gravité est produite par la tension des muscles. On peut remarquer que l'élevation des bras annule en partie l'abaissement du centre de gravité dû au changement d'attitude du corps quand la jambe s'étend.

La vitesse ascensionnelle du centre de gravité pendant l'impulsion est d'autant plus grande que la pression des pieds est plus considérable.

Si la pression se maintient constante, cela indique un mouvement uniformément accéléré; sitôt qu'elle baisse, l'accélération du mouvement diminue, quand elle est égale au poids du corps, le mouvement est uniforme mais cela ne dure qu'un court espace de temps.

La pression tombe à 0 dès que l'accélération devient égale

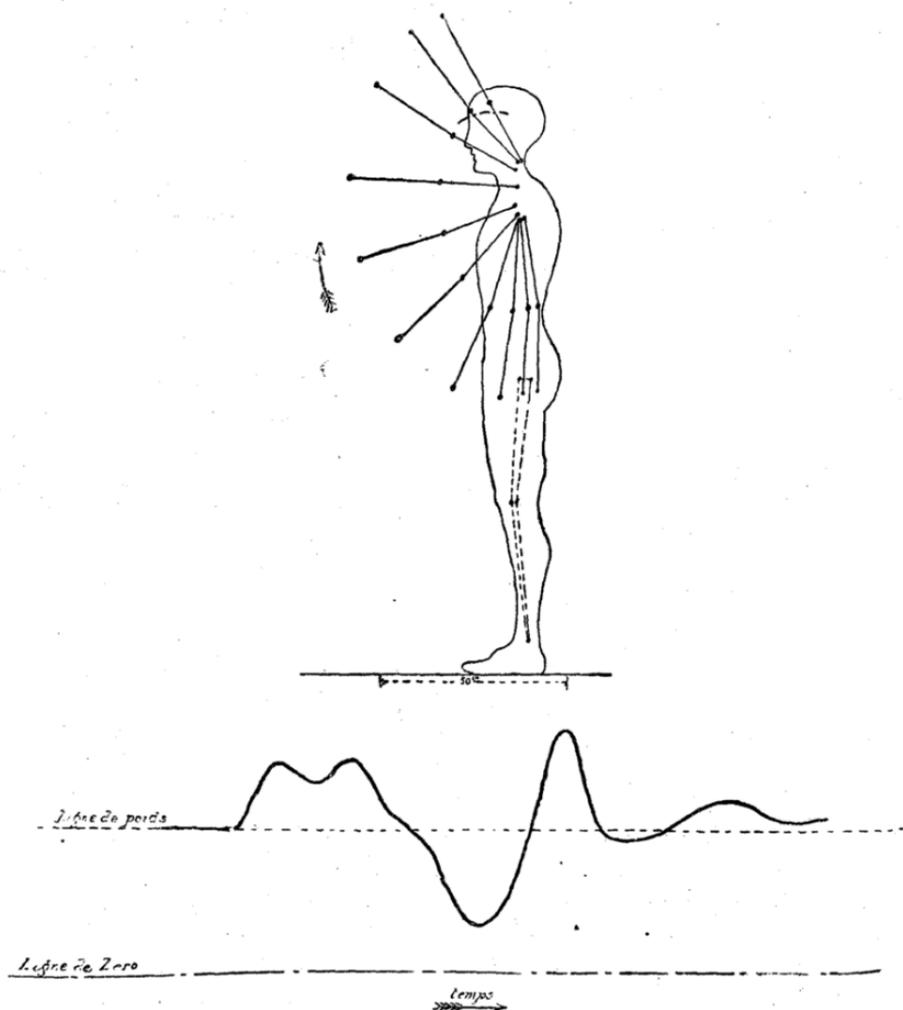


Fig. 417. — Effet de l'élévation brusque des bras sur la pression des pieds sur le sol. Analyse cinématique du mouvement par la chronophotographie et tracé dynamographique correspondant.

La pression est supérieure puis inférieure au poids du corps. On voit la hanche se déplacer en arrière pendant l'élévation des bras en entraînant le corps entier.

à celle de la pesanteur dans la chute libre. A ce moment, il n'y a plus d'action des membres inférieurs et le centre de gravité

s'élève verticalement jusqu'à ce que sa vitesse soit annulée par l'action constante de la pesanteur.

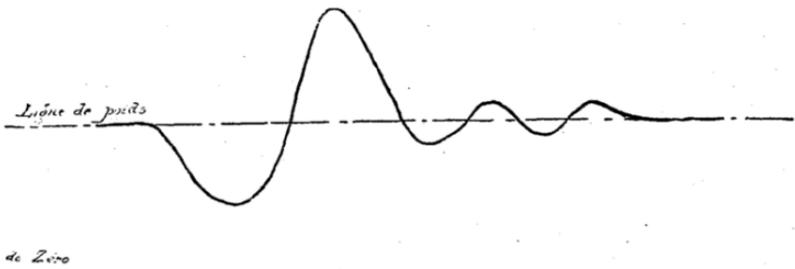
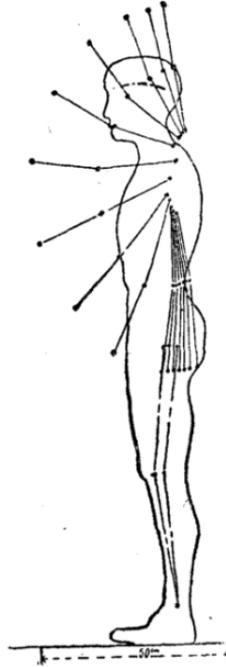


Fig. 218. — Abaissement brusque des bras. Analyse cinématique du mouvement et tracé dynamographique correspondant obtenus simultanément.

On voit la pression des pieds s'abaisser, puis remonter tout à coup au-dessus du poids du corps dès que l'accélération du mouvement vertical descendant du centre de gravité diminue, puis la pression revient à la valeur du poids après quelques oscillations.

L'accélération du mouvement vertical diminue toujours, s'an

nule, change de signe, mais quand bien même la vitesse communiquée du corps ne serait pas suffisante pour le séparer au sol, la pression des pieds reste nulle tant que l'accélération du mouvement ascendant retardé ou descendant accéléré est égale à celle de la pesanteur. Elle augmente dès que l'accélération du mouvement descendant diminue.

La figure 419 montre que le fait d'élever vivement les bras et

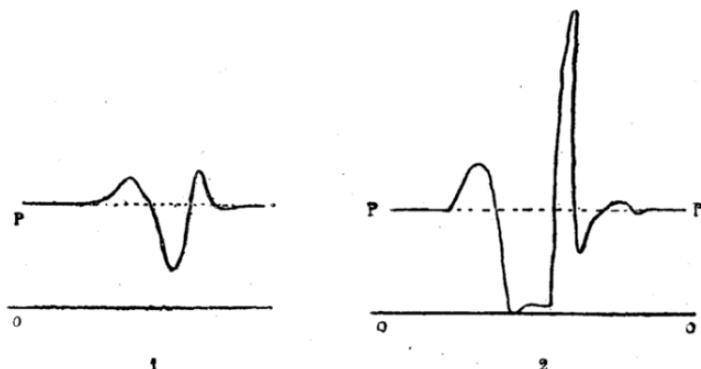


Fig. 419. — Pression normale des pieds sur le sol dans l'élévation vive des bras.

1, la pression s'élève puis s'abaisse ; — 2, la pression s'abaisse jusqu'à zéro.

de les arrêter brusquement dans la position horizontale peut faire tomber la pression des pieds à 0.

L'arrêt brusque se fait aux derniers moments de l'impulsion ; il favorise la séparation du corps et du sol, séparation qui se produit dès que la distance verticale parcourue par le centre de gravité est plus grande que la longueur dont s'accroît le rayon des membres inférieurs pendant le même temps et par leur extension.

On voit dans le tableau suivant les variations de la pression des pieds sur le sol pendant les actes de la préparation du saut et de l'impulsion (fig. 420).

On voit en 3 la combinaison des tracés dus séparément à l'abaissement des bras et à la flexion des jambes. Ce tracé pris pendant l'exécution des actes simultanés ne diffère des précédents que par l'intensité des variations dans la pression.

Il en est de même des tracés 4 et 5 dus à l'élévation des bras

et à celle du corps, qui donnent par superposition des deux actes simultanés le tracé 6.

La succession des mouvements d'abaissement et d'élévation

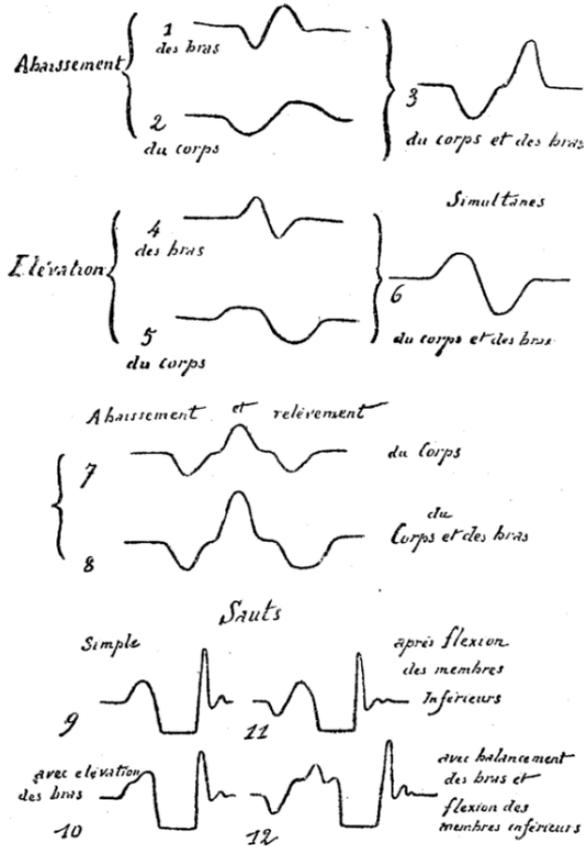


Fig. 420. — Différentes formes de la pression normale des pieds sur le sol obtenues en combinant les mouvements du corps et des bras et permettant de comprendre le rôle de ceux-ci dans le saut.

du corps (tracés 2 et 5) donne le tracé 7 qui est la superposition des deux premiers avec coïncidence des maxima de la pression.

Le balancement des bras ajouté au mouvement d'abaissement et d'élévation du corps ne fait qu'exagérer encore les maxima et minima de la courbe des pressions sans en changer la forme et donne le tracé 8.

Les tracés 9, 10, 11 et 12 montrent les complications de l'impulsion dans un saut vertical simple exécuté d'abord en partant fléchi, puis fléchi avec mouvement des bras, ensuite debout avec flexion et extension des membres inférieurs, enfin avec mouvement complet des bras.

FORME DE L'IMPULSION EN RAPPORT AVEC LA HAUTEUR DU SAUT.

— Nous avons vu que pendant l'appui des pieds qui précède

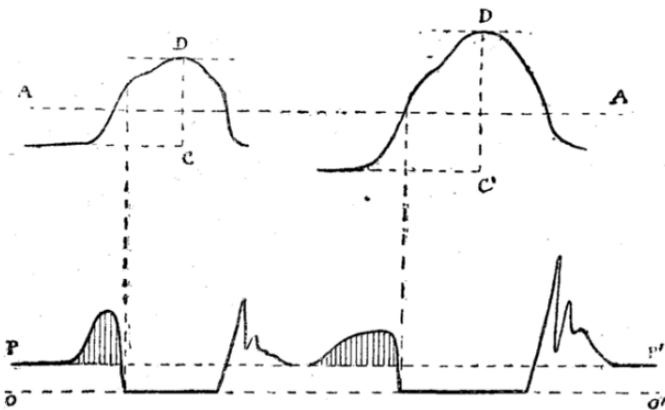


Fig. 421. — Analyse dynamographique de deux sauts de hauteurs différentes, partant de la position accroupie.

Le saut le plus haut D' C' ne correspond pas à l'effort maximum du pied mais à l'aire d'impulsion la plus grande. Les aires d'impulsion sont teintées de hachures; le saut le plus haut correspond à un abaissement plus grand du corps pendant la phase de préparation.

la suspension du corps, la pression varie constamment. Elle nous est donnée par les courbes du dynamographe. Si nous considérons l'aire comprise entre les ordonnées (vitesse 0 et instant où les pieds quittent le sol) et l'axe du temps, elle représente l'impulsion des membres inférieurs pendant le temps considéré.

$$\text{Aire d'impulsion} = \int_0^{t'} F dt = m (V_t - v_0)$$

Cette aire est proportionnelle à la vitesse communiquée au centre de gravité du corps au bout du temps  $t$ ; elle mesure exactement la quantité de mouvement du corps après l'impulsion.

La forme de l'aire d'impulsion n'est pas fixe; considérons-la dans des sauts simples, sans mouvements de bras, c'est-à-dire des sauts de pied ferme en partant de la station accroupie. Nous constatons que, pour une même hauteur de saut et une même masse à mouvoir, la pression passe par des valeurs

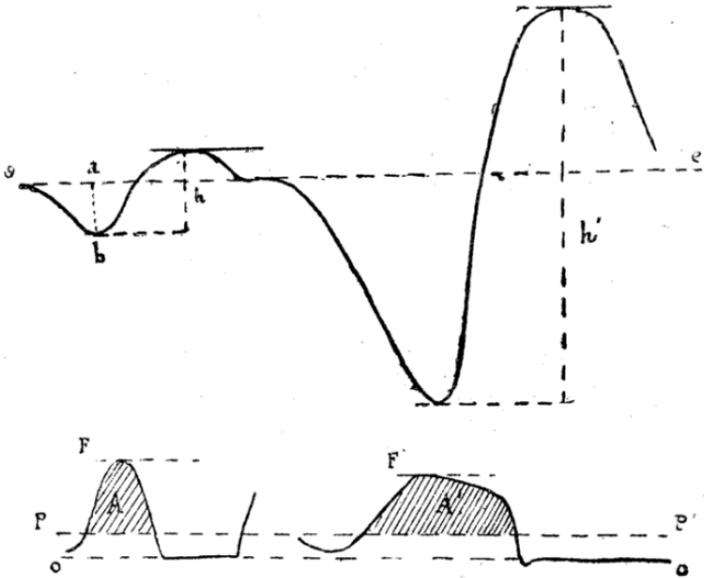


Fig. 422. — Deux sauts en hauteur de hauteurs inégales, avec abaissement préalable sans mouvement des bras.

*ab*, abaissement de la tête; — *h*, élévation successive. La pression maximum du pied *F* ne correspond pas au saut le plus élevé. Ce dernier est obtenu grâce à une durée plus longue de l'appui du pied provenant d'une flexion plus marquée des jambes; l'aire d'impulsion *A'* étant plus étendue que *A*.

maxima très différentes et qu'aux plus grandes valeurs correspondent les durées d'appui les plus courtes.

Pour un même sujet, la hauteur du saut dépend de la valeur de l'aire d'impulsion quelle que soit sa forme<sup>1</sup>; les sauts les plus élevés ne correspondent pas forcément aux efforts plus intenses, mais on compense la faiblesse du coup de jarret par la durée de la détente.

Ceci est comparable à l'effet d'une poudre lente agissant

1. Marey et Demeny, Mécanisme du saut, *Académie des Sciences*, 24 août 1885.

longtemps sur un projectile dans le canon d'une arme à feu ou d'une poudre brisante agissant pendant un temps très court, mais acquérant pendant ce temps une force élastique considérable. La vitesse initiale communiquée au projectile peut être cependant la même dans les deux cas (fig. 421).

Les sujets qui ont un grand pied ou qui l'allongent au moyen

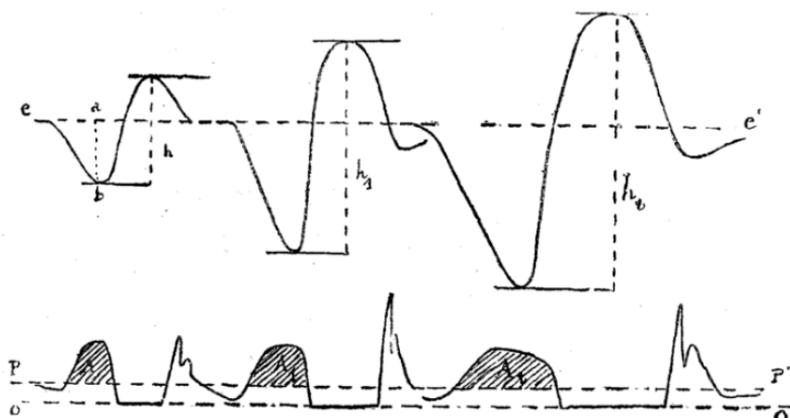


Fig. 423. — Trois sauts en hauteur analysés au moyen de l'inscription simultanée du mouvement de la tête et de la pression des pieds sur le sol.

On voit les hauteurs d'élévation de la tête *h*, *h*<sub>1</sub>, *h*<sub>2</sub>, croître avec les abaisséments préalables au-dessous de la ligne de niveau *e* dans la station debout. On voit également les hauteurs du saut croître avec les aires d'impulsion *A*, *A*<sub>1</sub>, *A*<sub>2</sub>.

d'une semelle rigide, prolongent l'action de leurs membres inférieurs et augmentent l'aire d'impulsion. Il en est de même de ceux qui font une grande flexion préalable des genoux. Les sauts les plus élevés sont tous précédés par une plus grande flexion (fig. 422 et 423).

Pour un même sauteur, les aires d'impulsion sont proportionnelles aux vitesses communiquées au centre de gravité ou aux racines carrées des hauteurs d'élévation de ce dernier.

$$\frac{\text{Aire}}{\text{Aire}'} = \frac{mv}{mv'} = \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{h'}}$$

Cette loi se vérifie expérimentalement si l'on a soin d'allonger complètement les jambes pendant la suspension du

saut de façon à ce que la hauteur dont s'élève la tête soit égale à celle dont s'élève le centre de gravité.

En réalité l'aire d'impulsion dans un saut n'est autre que le coup de jarret, dont les deux éléments principaux sont la force et la durée.

**COMMENT SE PRODUIT LA PRESSION DES PIEDS DANS L'ÉLEVATION DES BRAS.** — On peut expliquer l'influence de l'élévation des bras sur l'augmentation de la pression des pieds par l'inertie de la masse du corps.

L'élévation brusque des bras produit un changement de forme du corps qui a pour effet d'élever brusquement le centre de gravité de quelques centimètres (fig. 417).

Si le corps était libre dans l'espace, aucun déplacement des membres ne pourrait déplacer le centre de gravité, puisqu'il serait dû à des forces intérieures, c'est le corps qui se déplacerait autour de son centre de gravité demeurant fixe.

L'élévation des bras produirait un abaissement de la masse du corps d'une valeur égale au déplacement absolu du centre de gravité dans le corps lui-même. Mais si les membres inférieurs reposent sur le sol, le corps tend à descendre par le fait de l'élévation des bras, cette descente du corps se manifeste par une tendance à la flexion des membres inférieurs. Cette flexion des membres inférieurs tendant à se produire juste au moment où l'action des extenseurs commence, nous comprenons qu'elle augmente la tension de ces extenseurs et que la vitesse de propulsion soit ainsi augmentée par l'élévation brusque des bras.

**INFLUENCE D'UN SAUT PRÉALABLE.** — Lorsqu'on veut sauter haut, on fait un saut préalable qui sert pour ainsi dire d'appel. Au moment où l'on touche terre on résiste par la contraction des extenseurs à la flexion des membres inférieurs qui tend à se produire dans cette chute. La vitesse du corps diminue alors et s'anule. A ce moment les extenseurs sont fortement étirés et d'autant plus tendus qu'ils ont plus résisté à la flexion des jambes.

Sous l'influence de cette tension des extenseurs, le mouvement va changer de sens et la vitesse communiquée au corps sera d'autant plus grande que l'effort d'extension a dès le début du mouvement une valeur plus grande.

L'entrée en jeu des extenseurs, avant même le changement

de sens du mouvement, réalise donc la meilleure condition d'effet utile.

La figure 424 représente les aires d'impulsion et les hauteurs d'élévation correspondantes de la tête dans des sauts successifs<sup>1</sup>.

Les tracés du dynamographe montrent que la pression des pieds sur le sol, pression qui mesure la force d'extension des

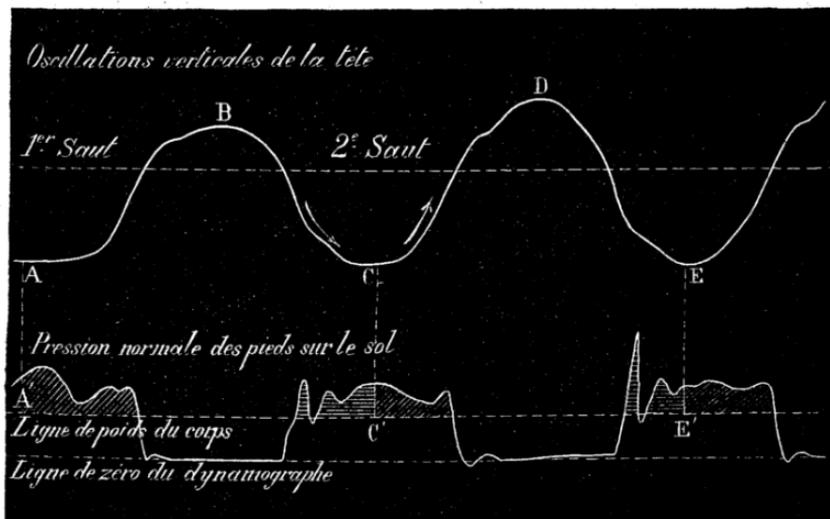


Fig. 424. — Sauts successifs en hauteur.

Inscription du mouvement vertical de la tête et de la pression des pieds sur le sol.

membres inférieurs, se maintient à une valeur considérable pendant la phase d'amortissement et la phase de détente qui se succèdent sans discontinuité; finalement la hauteur du second saut D est plus élevée que celle du premier B.

L'accélération dans la descente du centre gravité du corps à la suite du saut B est la même que l'accélération dans la montée de l'impulsion du saut D. La vitesse a changé de sens, mais l'instrument n'indiquant pas de différence entre le travail résistant des muscles dans la phase d'amortissement et le travail moteur dans la phase d'impulsion, la pression des pieds se maintient pendant le changement de sens du mouvement.

1. G. Demeny. Du rôle des muscles antagonistes dans les actes de la locomotion. *Archives de Physiologie*, avril 1891.

Dans un saut avec préparation complète consistant dans l'abaissement du corps et le balancement des bras (fig. 425).

On voit la division de l'aire d'impulsion en deux parties : celle qui correspond au travail résistant de flexion et au travail moteur d'impulsion lors du changement de sens de la vitesse du corps.

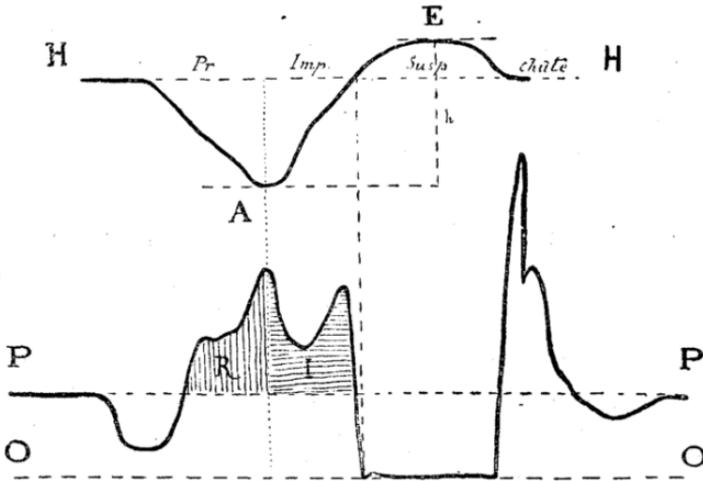


Fig. 425. — Décomposition de l'aire d'impulsion dans un saut complet avec préparation et mouvement des bras.

La partie R correspond au travail résistant des muscles des jambes pendant l'abaissement du corps ; la partie I correspond au travail impulsif qui est obtenu lors de l'élévation du corps par une tension déjà considérable de ces muscles. La ligne supérieure représente le mouvement vertical de la tête réduit au moyen d'un fil de caoutchouc et dont le tracé correspond à celui du dynamographe qui est au-dessous.

**INFLUENCE DE LA MASSE A MOUVOIR.** — Si l'on ajoute une surcharge au poids du corps, la durée de l'appui pour une même hauteur de saut augmente avec la masse (fig. 426).

Les aires d'impulsion sont, pour une même vitesse initiale, proportionnelles aux masses en mouvement. Elles sont proportionnelles aux produits des masses par la vitesse correspondante, c'est-à-dire aux quantités de mouvement communiquées après l'impulsion.

Il en résulte que pour une même aire d'impulsion, le produit du poids du sauteur par la racine carrée de la hauteur d'élévation du centre de gravité est constant. L'aire d'impulsion est

proportionnelle à ce produit  $\frac{P}{P'} = \frac{\sqrt{h'}}{\sqrt{h}}$ , les hauteurs de saut

sont inversement proportionnelles aux carrés des poids pour un même coup de jarret.

Nous avons pu vérifier expérimentalement cette loi dans des cas simples.

SAUTS AVEC HALTÈRES. — Les anciens se chargeaient les mains de masses additionnelles qui avaient pour cette raison reçu le

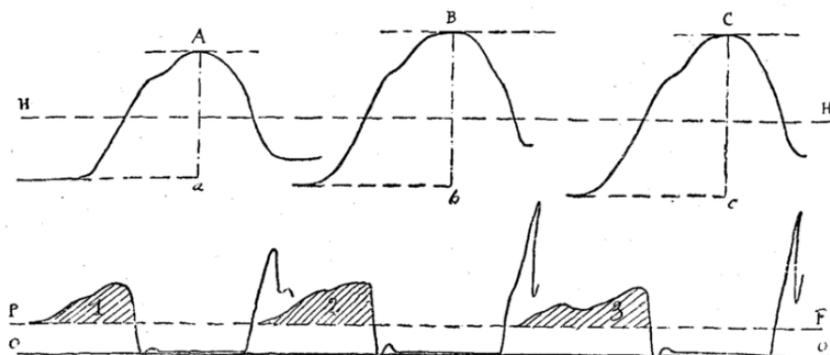


Fig. 426. — Sauts simples verticaux sans l'aide des bras avec surcharge de 5 kilogrammes (haltères aux hanches).

Hauteurs d'élévations de la tête et aires d'impulsion correspondantes. 1, sans poids ; 2, charge de 5 kilog. — 3, charge de 10 kilog.

nom d'haltères. L'effet de ces masses est d'augmenter la force impulsive en augmentant l'aire d'impulsion. La masse des haltères agit aussi comme un balancier à cause de son inertie. Le sauteur en abaissant vivement les bras peut trouver sur ces masses un point d'appui momentané qui permette au corps de s'élever plus vite. Mais il doit lâcher les haltères à un moment convenable pour cela. Nous avons vu dans les cirques des sauteurs franchir ainsi facilement une voiture de fiacre.

A cet effet le sauteur fait deux sauts successifs, le premier sur le sol, le second sur un tabouret et pour exécuter le saut en longueur il lève les bras et les abaisse vivement en lâchant les haltères lors de leur abduction forcée en arrière (fig. 427).

Un peu avant de lâcher des poids additionnels, le corps avance avec une vitesse due au déplacement horizontal du centre de gravité par le rejet des bras en arrière.  $m$  étant la masse des haltères,  $M$  celle du corps, le partage de la quantité de mouvement se fait toujours de façon à ce que  $M \times V = mv$ .

$V = \frac{mv}{M}$ . Plus la masse et la vitesse des haltères sera grande et plus petite sera la masse du corps, plus la vitesse de celui-ci sera importante.

On pourrait comparer cette répartition de la quantité du mouvement à celle d'un marcheur placé sur un terrain meuble. Ici le terrain sur lequel s'appuie le sauteur c'est la masse de l'haltère offrant par son inertie un point d'appui en l'air. Tant qu'il ne possède pas la vitesse de la main il se pro-

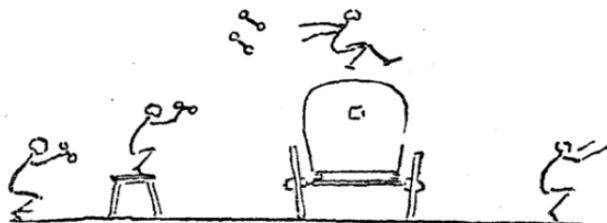


Fig. 427. — Saut avec haltères (schéma).

Au moment du lâcher des haltères la vitesse horizontale du corps est augmentée. Comme dans l'explosion d'une bombe qui éclate, les morceaux, projetés en avant, vont toucher terre à un point plus éloigné.

duit une pression entre la main et l'haltère, pression permettant de pousser le corps en avant comme le pied sur un terrain fuyant.

Les haltères doivent être lâchés lorsqu'ils ont acquis la vitesse du bras, et n'être jamais retenus par ce dernier. Lancés en arrière par la force musculaire, ils s'éloignent de plus en plus du corps mais, comme les morceaux d'une bombe qui éclate, ils forment avec le corps un système dont le centre de gravité continue à se mouvoir sur sa trajectoire parabolique avec une vitesse indépendante du lancer des haltères; la force musculaire constituant une force intérieure au système, ne peut en rien modifier le mouvement du centre de gravité.

SUSPENSION DU CORPS DANS L'ESPACE. — Le corps abandonne son appui sur le sol dès que la vitesse d'ascension du centre de gravité est supérieure à la vitesse d'allongement du rayon des membres inférieurs. L'extension de ceux-ci n'est pas nécessaire pour qu'il y ait suspension, mais elle favorise la vitesse en

augmentant la durée de l'appui et fait profiter le sauteur de tous les moyens dont il dispose. La pression tombe à 0 dès qu'il n'y a plus d'action des membres inférieurs, c'est-à-dire dès que le mouvement du centre de gravité est uniformément retardé. Au début de la suspension, la tête est d'autant plus élevée que l'extension des jambes est plus complète; souvent même la tête est élevée au-dessus de son niveau habituel en station droite à cause de l'extension énergique du pied.

La quantité dont s'élève verticalement le centre de gravité à

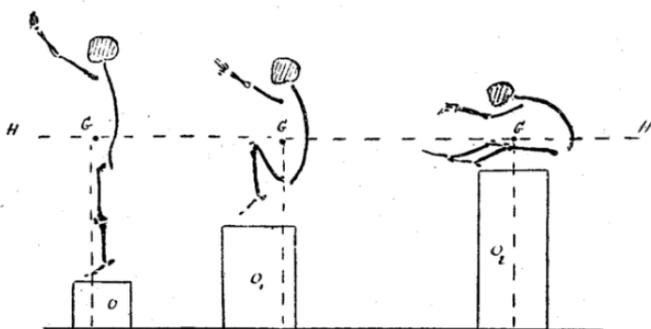


Fig. 428. — Destinée à montrer l'influence de l'attitude du corps sur la hauteur franchie dans un saut.

Dans les trois cas correspondant à un même coup de jarret le centre de gravité G a été élevé à la même hauteur HH', mais les hauteurs franchies O, O<sub>1</sub> et O<sub>2</sub> augmentent avec les raccourcissements du corps.

partir du commencement de la suspension est la hauteur réelle du saut. Dans les comparaisons faites précédemment des aires d'impulsion et des hauteurs nous avons vu que celles-ci doivent être comptées à partir du niveau où se fait le changement de sens dans la vitesse du centre de gravité, c'est-à-dire dès que le mouvement de ce dernier est ascendant.

Une fois le corps en suspension, le sauteur ne peut modifier le mouvement de son centre de gravité qui progresse suivant la loi des corps graves lancés verticalement avec une vitesse initiale donnée.

Si la direction de l'impulsion ne passe pas par le centre de gravité, le sauteur tourne autour de ce point comme dans les sauts périlleux ou involontairement dans les sauts maladroitement exécutés et qui amènent de mauvaises chutes.

LA HAUTEUR PRATIQUE DU SAUT DÉPEND DE L'ATTITUDE DU SAUTEUR.  
 — Dans la pratique, le saut est un moyen de franchir un obstacle et l'on compte comme hauteur du saut, la hauteur de l'obstacle franchi, c'est-à-dire la distance verticale qui sépare le point le plus bas du corps à son maximum d'élévation.

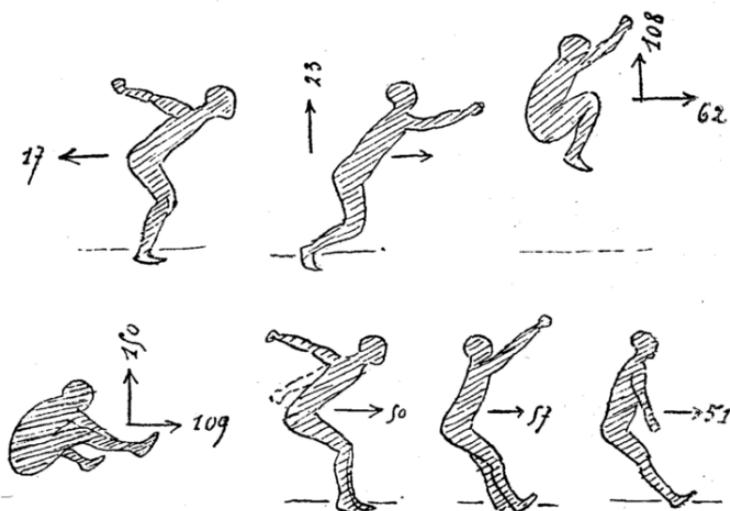


Fig. 429. — Attitudes principales du sauteur au moment de la préparation de l'impulsion, de la suspension et de la chute.

Les chiffres indiquent en millimètres les déplacements correspondants du centre de gravité dans le sens horizontal et dans le sens vertical.

La hauteur du saut ainsi considérée dépend de l'attitude du sauteur pendant la suspension autant que de l'élévation du centre de gravité due à l'impulsion.

Nous avons vu plus haut que le centre de gravité s'élève dans le corps par le fait de l'élévation des bras et des genoux. Or le mouvement du centre de gravité suit une loi fixe. Quelle que soit sa position dans le corps, son mouvement ne dépend que de l'impulsion et de la vitesse communiquée. Si le centre de gravité s'élève dans le corps, le corps tout entier descendra de la hauteur dont il s'est élevé pour l'attitude considérée.

La hauteur franchie est donc égale à la quantité dont s'élève le centre de gravité plus le raccourcissement de la longueur du corps par la flexion des jambes diminuée de la quantité dont

s'élève le centre de gravité par le fait même de ce raccourcissement (fig. 428).

J'ai déterminé expérimentalement la position du centre de gravité dans le corps dans les différentes attitudes du sauteur, données par la chronophotographie. J'ai pu constater qu'il s'élève des quantités suivantes pour un sujet de 1<sup>m</sup>,66 du poids de 63 kilogrammes (fig. 419 et 429).

ATTITUDE	Quantité dont s'élève le centre de gravité.
Position initiale debout, haut. du centre de gravité.	0 <sup>m</sup> ,945
Une jambe fléchie. . . . .	+ 4 c. 5
Deux jambes fléchies . . . . .	12 c.
Un bras en abduction horizontale . . . . .	1 c. 8
Deux bras — — . . . . .	3 c.
Un bras en élévation verticale . . . . .	2 c. 25
Deux bras — — . . . . .	4 c. 5
Une jambe fléchie et un bras horizontal . . . . .	4 c. 5
Deux jambes fléchies et deux bras horizontaux . . . . .	15 c.
Une jambe fléchie et un bras vertical. . . . .	7 c.
Une jambe fléchie et deux bras verticaux . . . . .	9 c. 7
Deux jambes fléchies et deux bras verticaux . . . . .	18 c.

DÉTERMINATION DE LA TRAJECTOIRE DU CENTRE DE GRAVITÉ DANS UN SAUT. — En joignant à ces données les déplacements du centre de gravité dans le plan antéro-postérieur, j'ai pu alors reconstituer la trajectoire du centre de gravité dans un saut en longueur de pied ferme en pointant pour chaque attitude la position réelle du centre de gravité dans le corps <sup>1</sup>.

La figure 430 représente ainsi les positions successives des jambes, des bras et de l'épaule chez un homme qui exécute un saut en longueur de *pied ferme*, c'est-à-dire sans course préalable (on a retranché de cette figure les images qui précèdent et qui suivent le saut proprement dit). Des lignes ponctuées ont été tracées pour éclairer cette figure : l'une montre la direction de l'impulsion au moment où le corps quitte le sol; l'autre, inclinée inversement, correspond à la direction dernière de la chute. La bissectrice de l'angle formé par ces deux lignes est

1. Voir Marey, *Le mouvement*; Paris, Masson, 1894.

verticale et représente l'axe de la parabole sur laquelle se mouvra le centre de gravité.

On voit cette trajectoire parabolique en ligne ponctuée et l'on

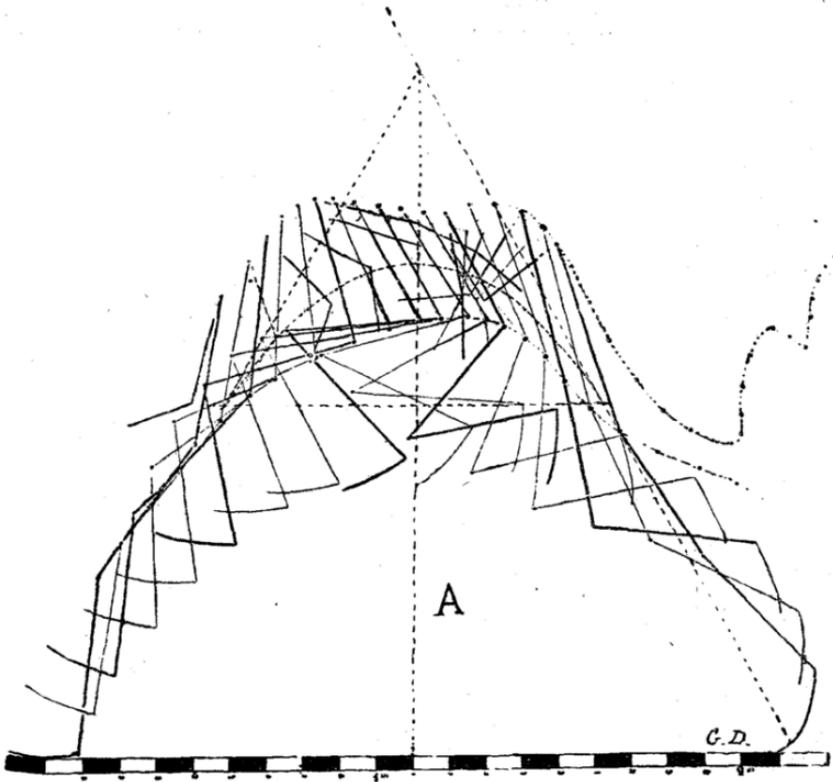


Fig. 430. — Analyse chronophotographique et détermination de la trajectoire parabolique du centre de gravité dans un saut de pied ferme (DEMENY).

On voit l'axe de la parabole et les deux directions symétriques de l'effort impulsif et de la résistance à la chute. A, espace enveloppé par le membre inférieur. L'échelle indique les longueurs en décimètres. La trajectoire de la tête présente un abaissement du sommet au moment du raccourcissement des jambes et diffère sensiblement de la trajectoire parabolique.

peut constater combien elle diffère de la trajectoire décrite par le sommet de la tête. La partie supérieure du corps s'abaisse en effet si les jambes se relèvent, c'est même la condition nécessaire du maintien du centre de gravité sur sa trajectoire parabolique.

FORME DE LA TRAJECTOIRE DE LA TÊTE. — La forme de la courbe du mouvement de la tête peut être obtenue directement par réduction au moyen d'un fil de caoutchouc (voir méthode graphique de M. Marey). Cette courbe serait une parabole si le mouvement de la tête était celui du centre de gravité. Elle s'en rap-

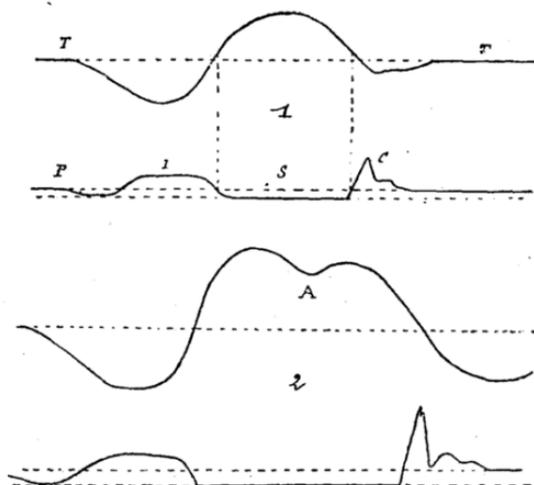


Fig. 431. — Inscription du mouvement vertical de la tête dans un saut en hauteur sur place avec le tracé dynamographique correspondant.

1. Saut sans plier les jambes ; — TT, réduction du mouvement de la tête ; — P, ligne de poids du dynamographe ; — I, pression des pieds pendant l'impulsion ; — S, suspension, — C, chute. — 2. Mêmes tracés d'un saut vertical en élevant les genoux pendant la suspension. On voit en A l'inflexion du mouvement de la tête dû à l'élévation du centre de gravité dans le corps par suite de l'élévation des genoux.

proche beaucoup lorsque les jambes restent immobiles par rapport au tronc après l'impulsion. Dans le cas contraire, lors d'une flexion marquée, la courbe présente une forte inflexion (fig. 431). La différence entre une ordonnée de cette courbe et celle de la parabole est égale à la quantité dont s'est déplacé verticalement le centre de gravité dans le corps du sauteur.

Le tracé dynamographique correspondant donne la durée relative de la suspension et de l'impulsion, l'instrument retombant à 0 dès que les pieds ont quitté le sol. Au moment de la chute un ébranlement se produit dans l'appareil par le choc des pieds.

TEMPS DE SUSPENSION. — Le temps pendant lequel le corps reste suspendu dans l'espace dépend de la hauteur à laquelle il

s'élève verticalement ou de la profondeur à laquelle il tombe. Pour une même vitesse initiale, le temps de suspension sera maximum pour un saut vertical. Le temps de suspension ne dépend pas de la longueur du saut. Pour la même raison un boulet tombant verticalement et librement de la gueule d'une pièce de canon et un boulet lancé au même instant horizontalement par la pièce se trouveront à chaque instant dans un même plan horizontal et toucheront en même temps la surface de la

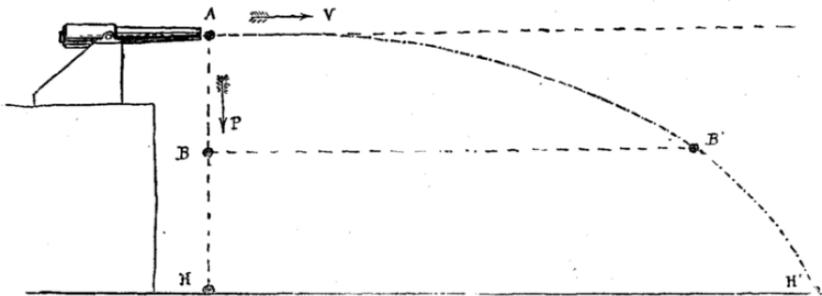


Fig. 432. — Indépendance des mouvements d'un projectile sollicité par l'impulsion de la poudre et l'attraction de la pesanteur. Comparaison avec la chute libre.

Cette figure est destinée à expliquer la longueur d'un saut précédé d'une course.

mer. Il y a indépendance des deux mouvements : la pesanteur fait tomber le boulet de la quantité  $AB$  pendant que la poudre pendant le même temps le lancerait en  $A'$ . Le boulet se trouve donc en  $B'$  résultante des deux mouvements (fig. 432)

**ATTITUDE FAVORABLE POUR FRANCHIR UN OBSTACLE.** — Il y a intérêt pour un sauteur de passer sur l'obstacle à franchir dans une attitude où il laisse le plus d'espace possible entre son corps et l'obstacle. Il y arrive en se couchant horizontalement de côté sur l'obstacle et en l'enjambant pour ainsi dire. Il fait passer successivement les jambes au-dessus de la corde et tourne en roulant autour d'elle. On voit quelle faible épaisseur il présente ainsi verticalement, ce qui lui permet d'utiliser au mieux la hauteur d'élévation de son centre de gravité (fig. 436). Certains sauteurs passent même sur la corde en filant tout à fait horizontalement grâce à une rotation du corps. C'est évi-

demment à une condition encore plus favorable pour franchir une grande hauteur, mais cela est peu pratique et rentre dans la classe des sauts périlleux.

Une façon très usitée consiste à fléchir fortement les cuisses



Fig. 433. — Attitude ramassée du sauteur au-dessus de l'obstacle ne donnant pas la plus grande hauteur franchie pour un même coup de jarret.

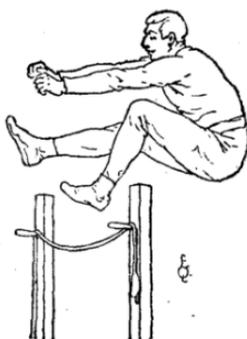


Fig. 434. — Attitude du sauteur au-dessus de l'obstacle à franchir; les cuisses fortement fléchies, les jambes étendues permettent de raccourcir assez le corps pour ne pas toucher la corde.

sur le tronc, les jambes et bras allongés en avant (fig. 435). Cette attitude n'est pas mauvaise, mais évidemment elle n'offre



Fig. 435. — Attitude avantageuse avec flexion complète des jambes sur le tronc permettant au sauteur de franchir un obstacle très élevé.

pas autant d'avantages que la première. Elle est bien préférable à l'attitude groupée (fig. 434) et surtout à l'attitude (fig. 433) où les pieds toucheront l'obstacle à coup sûr si le saut n'est pas très élevé. Le corps une fois parvenu à son maximum d'élévation redescend en repassant sensiblement par les mêmes

valeurs de la vitesse que pendant l'ascension ; il arrive ainsi au contact du sol avec la vitesse initiale du départ mais en sens contraire.

**CHUTE SUR LES PIEDS.** — La chute commence dès qu'il y a contact des pieds avec le sol ; elle dure tant que la vitesse du

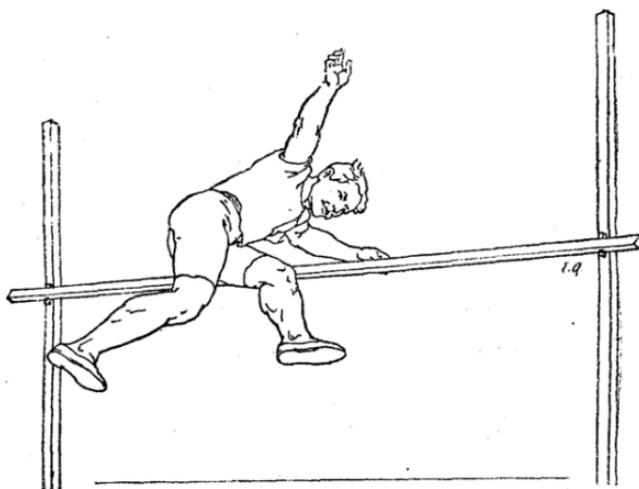


Fig. 436. — Position du sauteur franchissant la barre du sautoir le corps presque horizontal. Les pieds passent les premiers au-dessus de l'obstacle.

centre de gravité n'est pas annulée. Il s'agit d'épuiser toute la force vive que possède le corps à ce moment sans léser aucun organe. A cet effet on fait porter le choc sur les muscles extenseurs des membres inférieurs. Ceux-ci doivent toucher terre légèrement fléchis et l'on résiste activement à la flexion exagérée qui tend à se produire. Le travail résistant produit par les extenseurs de tous les segments : cuisse, jambe, pied ralentit progressivement la vitesse du centre de gravité et finit par l'annuler. L'action du membre inférieur devra pour cela être dirigée en sens inverse de la vitesse de chute. Le poids du corps ajoute son action retardatrice à celle des muscles extenseurs.

**CHUTE SUR LES TALONS ET SUR LA POINTE DES PIEDS.** — Plus la chute est élastique plus elle dure, la pression des pieds demeure dans ce cas supérieure au poids du corps d'une quantité cons-

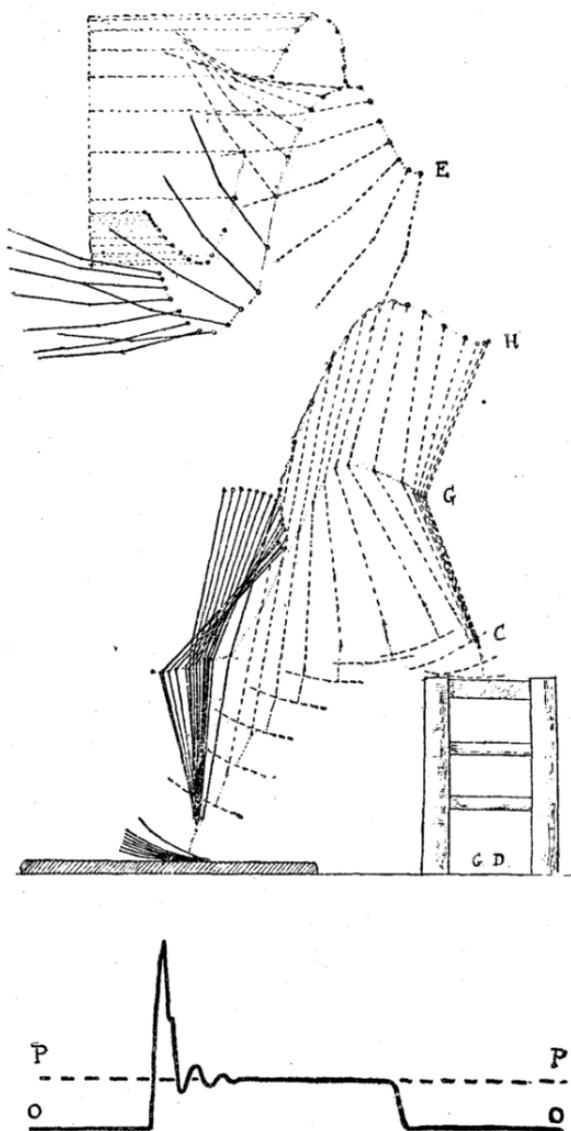


Fig. 437. — Analyse chronophotographique d'une chute sur les talons, jambes raidies, et tracé dynamographique correspondant.

On voit la brutalité avec laquelle la vitesse de la tête T et de la hanche H s'annulent au moment du choc en produisant une commotion dans les centres nerveux. Le tracé du dynamographe montre la valeur considérable de la pression pendant le choc revenant après quelques oscillations à la valeur du poids du corps.

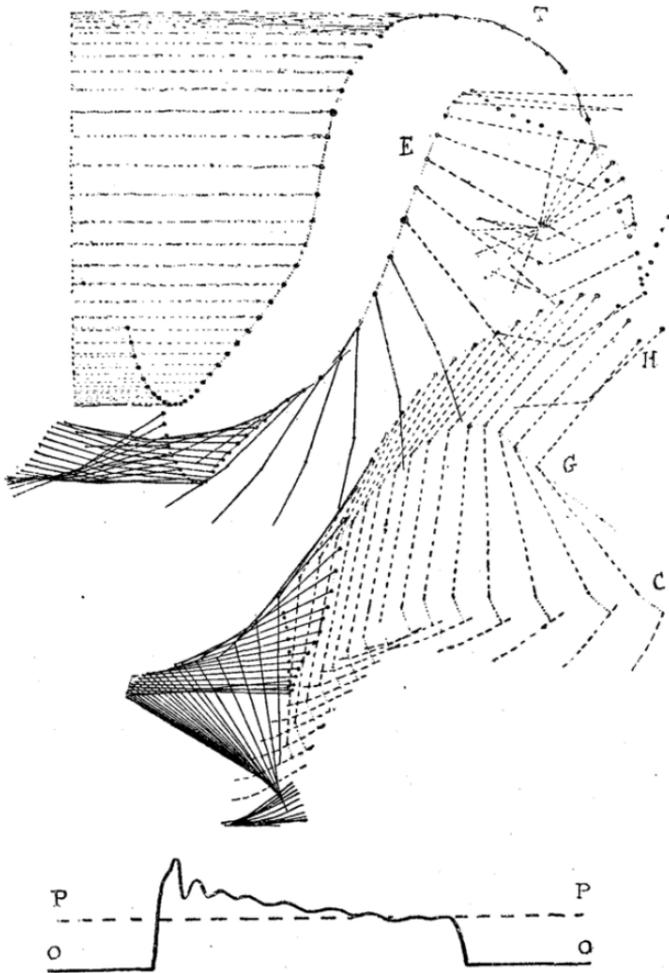


Fig. 438. — Analyse chronophotographique d'une chute élastique sur la pointe des pieds et tracé dynamographique correspondant

T, E, H, G, C, trajectoires respectives de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville. On voit la vitesse de la tête s'annuler progressivement sous l'effort résistant des muscles extenseurs des membres inférieurs. La pression des pieds acquiert une valeur moindre que dans le saut précédent ; elle diminue progressivement jusqu'au poids en lui restant toujours supérieur.

tante, la vitesse diminue de quantités égales dans des temps égaux, le mouvement est presque uniformément retardé.

Dans une chute sur les jambes raides ou sur les talons, la

vitesse du corps s'annule dans un temps très court, la pression des pieds augmente immédiatement et présente une grande valeur pour retomber aussitôt et devenir égale au poids du corps.

Les figures 437 et 438 montrent l'analyse cinématique d'une chute raidie et d'une chute élastique, ces figures renferment les tracés dynamographiques correspondants; on y voit dans la chute raidie le choc violent des pieds; dans la chute élastique au contraire la pression d'abord supérieure au poids du corps diminue peu à peu et arrive graduellement après quelques variations à la valeur de ce poids.

La force vive est alors absorbée par les muscles suivant les lois du choc.

**MANIÈRE D'ANNULER LA VITESSE AU POINT DE CHUTE.** — Nous savons que si un corps tombe d'une certaine hauteur, il arrive au sol possédant une certaine vitesse dont le carré multiplié par la masse du corps s'appelle la puissance vive et représente le double du travail effectué par la pesanteur pendant la chute.

Au moment du choc, divers phénomènes se produisent suivant la nature du corps et du sol.

Si l'un et l'autre sont parfaitement élastiques, le sol se déprime et le corps s'aplatit, mais, aussitôt que la vitesse du corps sera devenue nulle, les réactions moléculaires dues aux déformations produites tant dans le corps que dans le sol restitueront en sens contraire toute la force vive perdue par le corps, c'est-à-dire un travail égal à celui de la pesanteur : le corps rebondira à la hauteur d'où il est tombé (fig. 439).

Si le sol est parfaitement élastique et le corps ne l'est point, une partie de la force vive restituée par le sol sera employée à déformer le corps, aussi celui-ci ne rebondira plus qu'à une faible hauteur (fig. 439). Si c'est le sol qui n'est point élastique le corps s'y enfoncera sans déformation avec fort peu de rebond. Si enfin ni le corps ni le sol ne sont élastiques, toute la force vive du corps s'épuisera en déformations et la vitesse s'annulera presque instantanément.

Dans tous les cas, la somme des travaux élémentaires dus au déplacement des molécules du corps, du sol et des milieux environnants est toujours égale à la perte totale ou partielle

de force vive que subit le corps après le choc. La déformation du corps sera d'autant moindre que celle du sol sera plus grande.

C'est pour cette raison que l'on peut impunément se laisser tomber à l'eau dans la position verticale, toute la puissance vive que possède le corps au moment du choc se communiquant

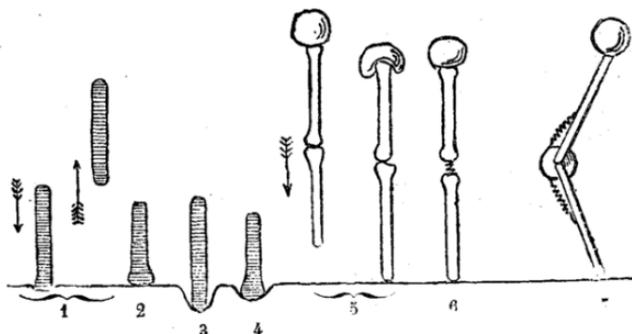


Fig. 439. — Différents cas qui se présentent dans la chute d'un corps suivant l'élasticité de ce corps et celle du sol.

Rebondissement d'un corps élastique sur un sol élastique ; — 2. Déformation d'un corps non élastique sur un sol élastique ; — 3. Déformation du sol mou sous l'action du corps élastique ; — 4. Déformation du corps et du sol ; — 5. Déformation du corps élastique sous l'action d'une chute raidie ; — 6. Déformation moindre par l'interposition d'un ressort entre les 2 segments ; — 7. Déformation nulle, les segments étant fléchis et reliés par un ressort.

de proche en proche aux molécules de l'eau et servant à les déplacer. Sur un tas de sciure de bois ou de toute autre substance finement et irrégulièrement divisée, le partage du travail se fait encore assez avantageusement pour le corps, tandis que sur des dalles de marbre, sur un sol gelé, la grande élasticité de ces surfaces restituant aussitôt tout le travail communiqué, c'est dans le corps lui-même que doit s'épuiser toute la force vive; il est alors nécessaire de la distribuer sur des organes susceptibles de se déplacer sans grand dommage pour l'organisme afin de ne pas s'exposer à des désordres d'une extrême gravité.

En effet, si deux segments dans le prolongement l'un de l'autre viennent normalement au contact du sol élastique animés d'une force vive considérable, cette force vive, restituée presque aussitôt par le sol se communique aux molécules voisines et de proche en proche à toutes les molécules du corps. S'il existe

donc le long des deux segments ou bien à leur extrémité des parties non élastiques ou faiblement élastiques, ces parties se déformeront.

Si l'on interpose entre les deux segments un coussin de matière élastique, un ressort à boudin, une partie de la force étant employée à la déformer, il ne parviendra à l'extrémité qu'un ébranlement moindre et plus tardif (fig. 439). Si les segments sont articulés, fléchis et maintenus par un lien élastique tendant à empêcher la flexion de s'exagérer, nous voyons que la plus grande partie de la réaction du sol tendra à étirer le ressort ou le muscle, elle s'épuisera dans ce dernier et ne parviendra que progressivement à l'extrémité avec une intensité qui sera inverse de l'allongement subi par le muscle. La vitesse du point extrême à l'opposé du point de contact avec le sol s'annulera moins brusquement.

Toutes ces dispositions se retrouvent dans le corps. Celui-ci tombant d'une certaine hauteur verticale, arrive au sol avec une vitesse déterminée. Il possède une force vive qui est annulée quand le corps arrive au repos. Cette force vive s'est donc épuisée en partie dans le sol en produisant des déformations suivant son degré de dureté, en allongeant les muscles, en étirant les ligaments.

Il faut, avant tout, faire supporter tous les déplacements, toutes les déformations par des organes solides, peu sensibles et de telle sorte qu'il n'arrive plus au cerveau qu'un ébranlement modéré et supportable.

Si l'on tombait sur les talons le corps droit, les jambes tendues, la tête droite, tout le corps se rapprocherait évidemment d'une colonne solide, et comme nous l'avons vu, le choc se transmettant presque intégralement au cerveau, celui-ci tendrait à s'aplatir contre la base du crâne vu sa faible élasticité; il subirait tous les effets d'une compression violente et instantanée qui amènerait la syncope.

Au contraire, en tombant sur la pointe des pieds, les jambes, la tête et le tronc légèrement fléchis, la force vive de la masse du corps s'épuise successivement sur les fléchisseurs des orteils, sur les muscles extenseurs du pied, de la jambe, de la cuisse, du tronc et de la tête; sur les ligaments articulaires des os du tarse, des genoux, ligaments ronds de l'articulation coxo-

fémorale, ligament interarticulaire de la symphyse sacro-iliaque tous les disques intervertébraux et ligaments jaunes des lames des vertèbres, de sorte qu'il ne s'en transmet au cerveau qu'une quantité fort minime qui dépend de la hauteur de chute du poids du corps et de la force des muscles.



Fig. 440. — Disposition pour montrer l'influence de la tension préalable des muscles dans le saut.

AB, cordon passant sur l'épaule; — D, dynamomètre; — C, crochet d'attache.

Dans le saut en hauteur ou profondeur c'est toujours la pointe des pieds qui doit toucher le sol la première, dans les sauts en longueur il y a avantage pour la longueur du saut à toucher par le talon la jambe étendue, la vitesse acquise horizontalement rétablit l'équilibre.

**TENSION ACQUISE PAR LES MUSCLES.** — Au moment de la chute nous avons vu que l'on pouvait prolonger utilement la tension des muscles et l'utiliser immédiatement pour refaire un autre saut qui sera sans plus d'effort plus haut que le premier. C'est l'avantage des sauts successifs. La tension des muscles extenseurs acquiert ainsi une valeur supérieure à celle que l'on obtiendrait par la volonté seule.

Nous avons essayé de tendre nos muscles comme dans la chiquenaude en passant sur les épaules une bretelle attachée au plancher (fig. 440)

Une disposition spéciale permettait de rompre ce lien quand on l'avait fortement bandé au moyen d'un effort énergique d'extension des jambes. Au moment de la rupture il se produisait une projection du corps en hauteur mais ce saut involontaire n'était pas comparable à celui précédé d'un sursaut.

La jambe doit toujours être dirigée au moment du poser du pied suivant la tangente au dernier élément de la trajectoire du centre de gravité, nous y reviendrons à propos des sauts obliques.

**SAUT OBLIQUE DE PIED FERME. —** Les sauts ont lieu en longueur



Fig. 441. — Préparation à l'impulsion du saut en longueur montrant la flexion de tous les segments du membre inférieur, la position des bras et l'inclinaison du corps.

ou en hauteur suivant la direction première de l'impulsion, leur mécanisme est semblable à celui des sauts en hauteur. Dans un saut oblique de pied ferme (fig. 441) la préparation est la même que dans le saut vertical, mais l'impulsion se fait pendant une chute du corps en avant.

Le rayon du membre impulsif change de direction pendant l'appui, sa dernière direction se confond avec la tangente au premier élément de la trajectoire du centre de gravité (fig. 442).

La longueur du saut dépend de la vitesse initiale communiquée à la fin de l'impulsion et de la dernière direction de celle-ci. Le maximum correspond à l'angle de  $45^\circ$  avec l'horizontale. L'attitude au moment de la chute influe sur la longueur du saut. Les jambes doivent être allongées obliquement en avant dans la direction de la tangente à la trajectoire au point

de chute. Le pied touche terre par le talon et la vitesse acquise par le corps est annulée par les muscles extenseurs résistant

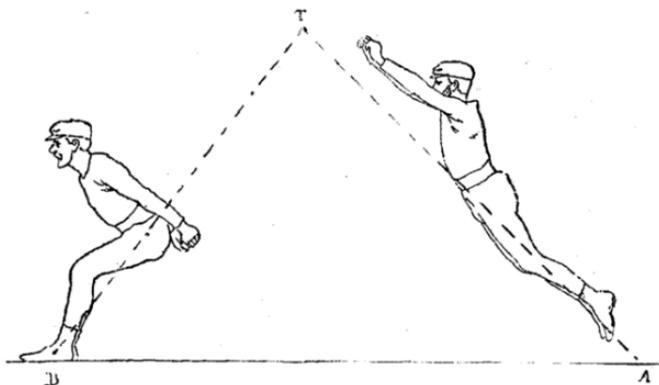


Fig. 442. — Inclinaison du rayon des membres inférieurs au départ et à l'arrivée d'un saut en longueur de pied ferme.

TA et TB, tangentes symétriques aux premier et dernier éléments de la parole décrite par le centre de gravité représentant la direction de l'effort d'impulsion et de l'effort d'amortissement des jambes.

à la flexion qui tend à se produire. Le corps est bientôt immobile, en station accroupie, puis se redresse (fig. 443).

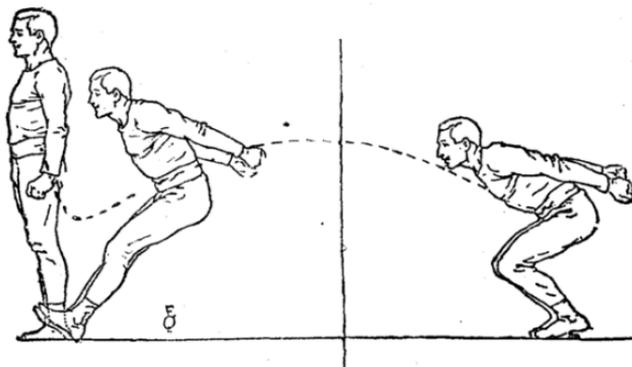


Fig. 443. — Saut en longueur de pied ferme.

Attitude préparatoire, attitude à la chute et position finale en station droite. Pendant la suspension les bras ont été abaissés vivement, ils se sont élevés au moment de la chute pour s'abaisser ensuite.

**RÔLE DES BRAS.** — Le rôle des bras est aussi important pendant la suspension et au moment de la chute que pendant l'impulsion. Ils règlent la rotation du corps autour du centre de

gravité lorsque l'impulsion ne passe pas par ce point au départ. Les bras exécutent un balancement complet (fig. 444) pendant

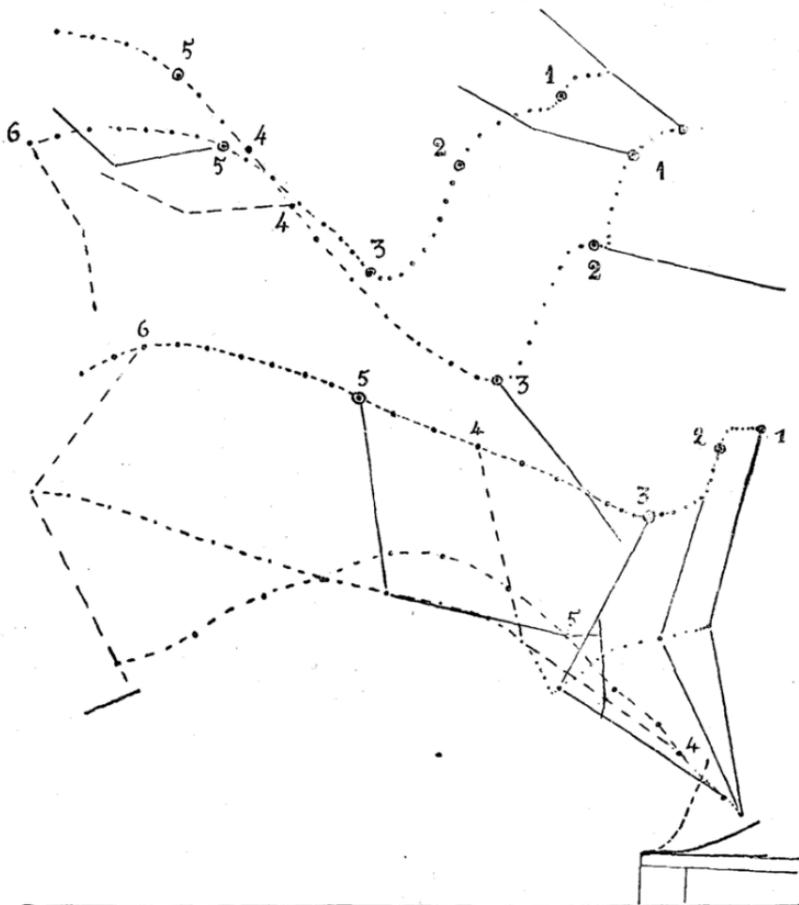


Fig. 444. — Analyse chronophotographique d'un saut en longueur de pied ferme.

On n'a laissé dans l'épure que les trajectoires de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville et les positions des bras et du membre inférieur toutes les dix images. Les mêmes chiffres indiquent les positions correspondantes dans l'espace. On voit l'inclinaison du corps et le point de rebroussement de la trajectoire du genou au moment du départ.

la suspension : abaissement et abduction en arrière suivis de l'élévation au moment de la chute. Nous avons vu que le balancement peut être remplacé par un mouvement de circumduction.

Dans le saut en hauteur et profondeur, ils s'élèvent au moment de la chute et contribuent à diminuer la vitesse du

corps en augmentant la tension des muscles extenseurs comme dans l'impulsion.

Les bras agissent pour rétablir l'équilibre au point de chute ;

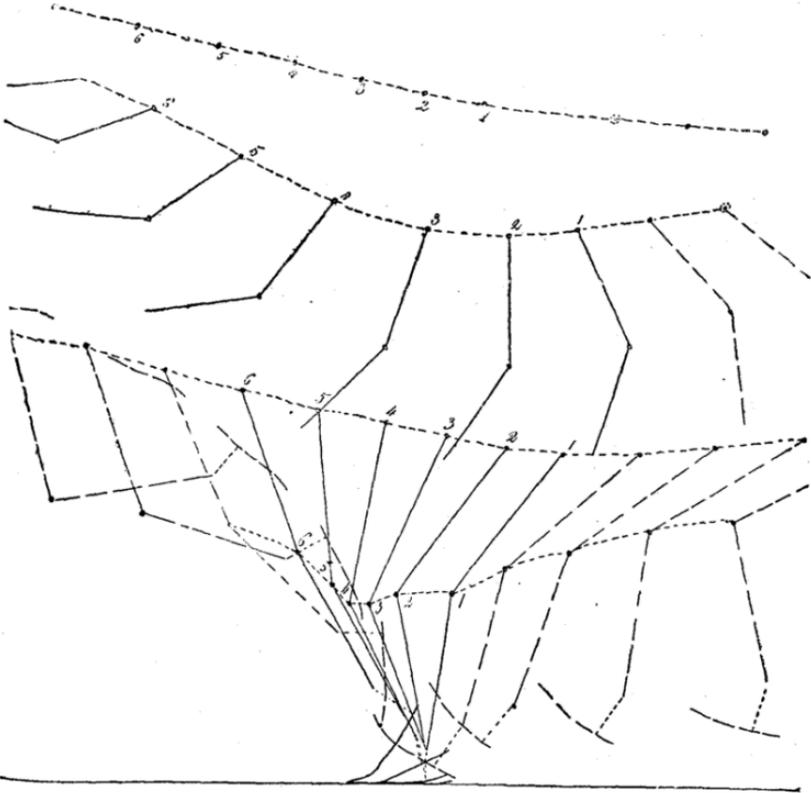


Fig. 445. — Analyse chronophotographique d'un saut en longueur avec élan au moment de l'appel du pied.

1, 2, 3, 4, 5, 6, images correspondant à la période d'appui. On voit la trajectoire de la hanche s'élever après l'appel et l'obliquité du rayon du membre inférieur au moment du lever être moindre que dans la course vive (fig. 336).

suivant la vitesse que possède encore à ce moment le tronc, ils se portent plus ou moins vite en avant pour éviter de tomber sur la face ou sur le dos.

Le rôle des bras est donc essentiellement variable. C'est avec l'attitude des membres inférieurs au moment du poser l'un des plus importants facteurs d'une bonne chute. L'idéal dans le saut est de mettre une harmonie parfaite entre l'action des bras et l'action des jambes pour communiquer au corps la plus

grande vitesse initiale possible et annuler ensuite toute cette vitesse sans danger en restant presque sur place.

La plus mauvaise condition d'équilibre dans un saut en longueur est de tomber sur la pointe des pieds le corps droit les jambes fléchies et les bras tendus immobiles comme on l'indique

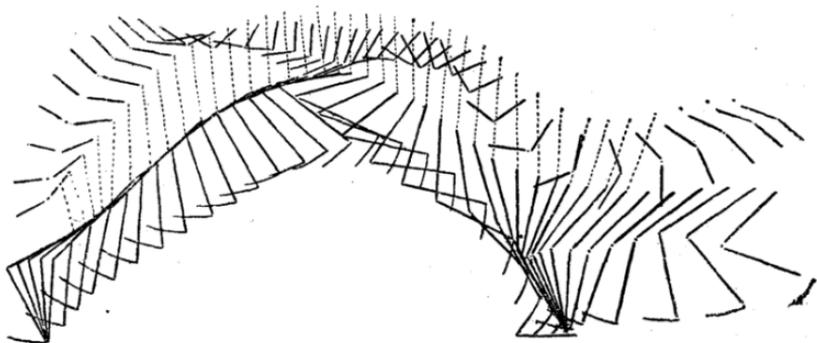


Fig. 446. — Analyse cinématique d'un saut mixte en longueur et hauteur avec élan.

Course; — impulsion; — suspension; — chute.

dans certains manuels. On peut dire que cette chute est impossible à exécuter en restant sur place. On doit forcément ou tomber en avant ou continuer à courir (fig. 446 bis).

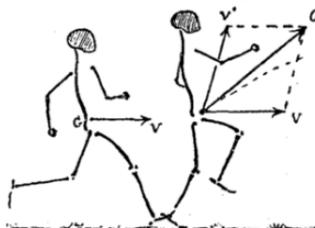


Fig. 446 bis. — La résultante de la vitesse de la course  $V$  et du coup de jarret  $V'$  est une vitesse oblique  $O$  qui allonge le saut.

Aussitôt les pieds à terre, le corps tend à tourner autour de ceux-ci, en vertu de la vitesse horizontale  $V_h$  qu'il possède au moment de la chute, et la face serait ainsi projetée contre terre.

Si l'on allonge trop les jambes en avant on risque de glisser sur les talons et de tomber en arrière sur les ischiens.

L'effet du balancement rapide des bras d'arrière en avant est de projeter le corps en arrière et de diminuer ainsi la vitesse horizon-

tale de la quantité dont le centre de gravité est déplacé dans le corps.

Dans un saut en longueur il n'y a pas chute verticale, mais une vitesse horizontale à annuler : il n'y a donc aucun inconvénient à tomber sur les talons.

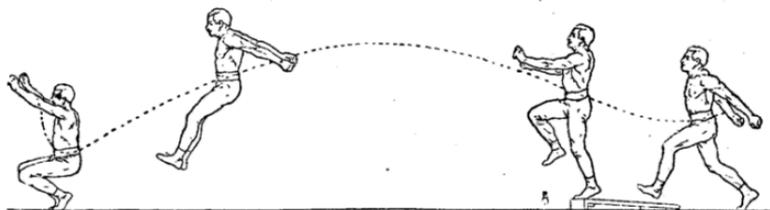


Fig. 447. — Saut en longueur avec élan.

On voit les attitudes caractéristiques de la préparation, de l'impulsion, de la suspension et de la chute.

**SAUTS PRÉCÉDÉS D'UNE COURSE.** — La vitesse communiquée au corps par la course se conserve après le coup de jarret et l'appel a seulement pour but de détacher le corps de terre (fig. 445).

La vitesse de la course  $v$  se compose avec la vitesse  $v'$  due au coup de jarret produisant le saut et la résultante  $o$  est toujours abaissée vers l'horizon ; en un mot tout élan allonge le saut (fig. 446 bis).

**INFLUENCE DE LA VITESSE DE LA COURSE PRÉALABLE.** — Les analyses chronophotographiques montrent qu'au moment de l'appel la vitesse du corps diminue, le membre à l'appui se fléchit fortement, puis s'étend pour communiquer au corps une vitesse verticale dont l'effet est de prolonger la durée de la suspension<sup>1</sup> (fig. 446).

1. Le problème revient à déterminer la trajectoire d'un mobile animé d'une vitesse initiale horizontale  $v_1$  et auquel est subitement appliquée une percussion sous l'influence de laquelle il prend une vitesse  $v_2$  dans une direction faisant avec l'axe des  $x$  ou l'horizontale l'angle  $\varphi$ . M. Lamic nous a communiqué l'équation de la parabole dans ce cas.

Le point où la parabole coupe l'horizontale a pour coordonnées :

$$y = 0 \quad x = \frac{2v_2 \sin \varphi (v_1 + v_2 \cos \varphi)}{g}$$

C'est le point de chute qui est d'autant plus loin que  $\varphi$  est plus grand. Projection de l'accélération au temps  $t$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0 \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -g$$

Projection de la vitesse.

$$\frac{dx}{dt} = v_1 + v_2 \cos \varphi \quad \frac{dy}{dt} = -gt + v_2 \sin \varphi$$

Coordonnées du point au temps  $t$

$$x = (v_1 + v_2 \cos \varphi) t \quad y = -\frac{gt^2}{2} + v_2 t \sin \varphi$$

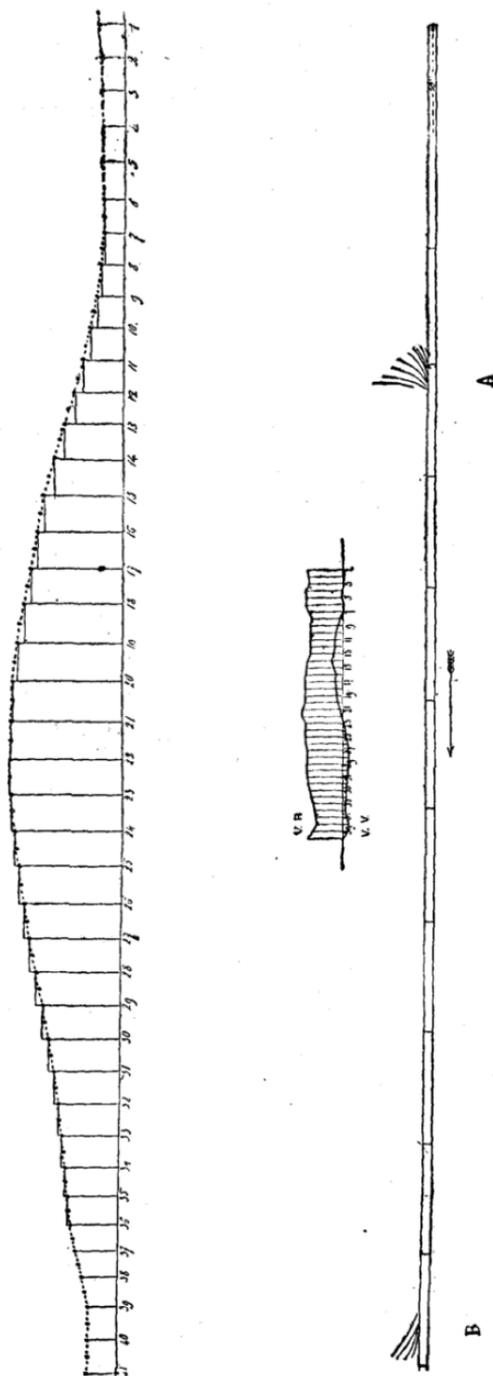


Fig. 448. — Trajectoire de la tête dans un saut en longueur précédé d'une course.

Le niveau du sol est indiqué par une échelle divisée en 50 centimètres. On voit l'appel du pied se faire en A et la chute sur les deux pieds en B. La courbe VH représente les variations de la vitesse de la tête en projection horizontale; — VV les variations de la même vitesse projetée verticalement. Les numéros correspondent aux positions de la tête dans l'espace, indiqués sur la trajectoire. On voit que la vitesse horizontale de translation du corps se conserve pendant toute la suspension du saut. La courbe de la vitesse verticale indique la nature de l'impulsion de la jambe. Cette vitesse, d'abord positive, devient ensuite négative, la chute due à la pesanteur étant indépendante de la vitesse horizontale.

Pendant la durée de celle-ci la vitesse horizontale reste sensiblement constante (voir les fig. 447 et 448) et égale à celle de la course préalable. La longueur du saut dépend donc de cette vitesse horizontale, elle est égale à l'espace parcouru pendant la suspension, c'est-à-dire pendant le temps que le corps met à monter et à descendre sous l'influence du coup de jarret. En réalité le saut précédent est une combinaison d'un saut en hauteur et d'une course.

Un peu avant la chute on observe un ralentissement de la



Fig. 449. — Saut en longueur avec élan dont la chute est mal assurée parce que le mouvement des bras a été retenu et que les jambes se sont fléchies trop tôt.

masse du corps dû à l'allongement des jambes en avant et peut-être aussi à la résistance de l'air. La chute est extrêmement difficile, souvent le sauteur doit continuer sa course pour ne pas tomber la face contre terre (fig. 449 et 450).

Dans le saut en hauteur précédé d'une course (fig. 451 et 452), la grande vitesse de la course est inutile car elle donnerait à l'impulsion une direction trop oblique et cette impulsion doit être la plus verticale possible. Mais la vitesse de la course est utilisée voici comment : le sauteur en détruit une grande partie en se rejetant en arrière et en fléchissant fortement le membre qui donne l'appel. Il met les muscles extenseurs dans une tension favorable à l'intensité de l'impulsion qui va suivre immédiatement. C'est ainsi que l'on explique que faisant l'appel d'un seul pied, on puisse sauter plus haut que dans le saut de pied ferme où les deux membres inférieurs se détendent à la fois.

COMPOSANTES TANGENTIELLES. — Dans les sauts en longueur les

composantes tangentielles de la pression du pied deviennent très importantes. La figure 453 montre leurs valeurs relatives dans le saut en longueur sur place, dans le saut en hauteur et dans le saut en longueur et hauteur précédé d'une

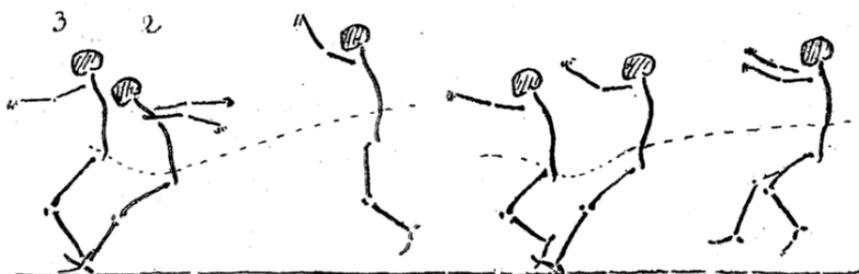


Fig. 450. — Chute de deux sauts en longueur.

Dans le premier au moment de la chute les bras étaient en arrière et l'équilibre final a été rétabli avec leur balancement ; dans le second les bras ont été immobilisés et il en est résulté une chute défectueuse.



Fig. 450 bis. — Chute sur les talons ou sur la pointe des pieds après un saut en longueur.

course. On voit dans ces deux derniers sauts la pression être d'abord négative puis positive, ce qui correspond au travail résistant et au travail moteur des muscles. Dans le saut en hauteur la pression est négative seulement ce qui corrobore bien l'observation précédente de l'action de la jambe au moment de l'appel. Nous avons vu qu'elle produit du travail résistant pour transformer la vitesse horizontale en vitesse verticale d'ascension.

**INFLUENCE DE LA NATURE DU SOL.** — La nature des surfaces d'appui est toujours des plus importantes à considérer ; en

effet dans le cas de surfaces polies et glissantes, mais solides, le saut en hauteur, dû à une impulsion absolument verticale serait seul possible. Le corps s'élèverait dans ce cas verticalement et retomberait sur les premières empreintes. Toute direction d'impulsion oblique à la verticale, nécessite le développement de résistances de frottement et l'angle limite de cette direction avec la verticale est l'angle de frottement déjà men-

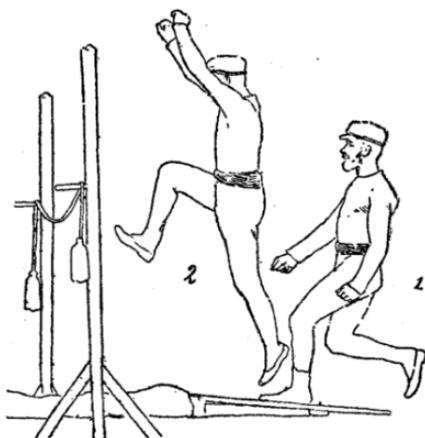


Fig. 451. — Appel du pied dans un saut en hauteur précédé d'une course. On voit en 1 le corps rejeté en arrière et en 2 la poussée de la jambe presque verticale

tionné dans la marche ; dans le cas contraire, la chute est inévitable.

Si le sol n'est pas résistant, le travail de l'impulsion ne sera plus nul pour la terre, une partie sera absorbée par des déplacements du sol et les éléments de la trajectoire, flèche et corde seront diminués.

Mais cet état de mollesse du sol sera avantageux au point de chute, justement pour la raison qu'une partie de la force vive sera absorbée en déformations et c'est pourquoi l'on a tout intérêt à placer des surfaces dures et enduites de résine à l'endroit de l'appel des pieds et des couches épaisses de sable ou de sciure de bois à l'endroit de la chute. La surface d'appel pour les sauts en longueur de pied ferme serait même avantageusement inclinée du côté où l'on saute, justement pour permettre une inclinaison plus grande de la direction impul-

sive qui est, comme nous le verrons, une condition de la longueur du saut.

La surface d'appui de la chaussure devra être la plus large et la plus plate possible pour augmenter encore les frottements et pour faciliter la chute et l'équilibre final.

Ce que nous avons dit au sujet de l'attitude des jambes ou de leur direction à l'arrivée, relativement à la longueur du saut, se rapporte au cas d'un sol non glissant, assez ferme et,

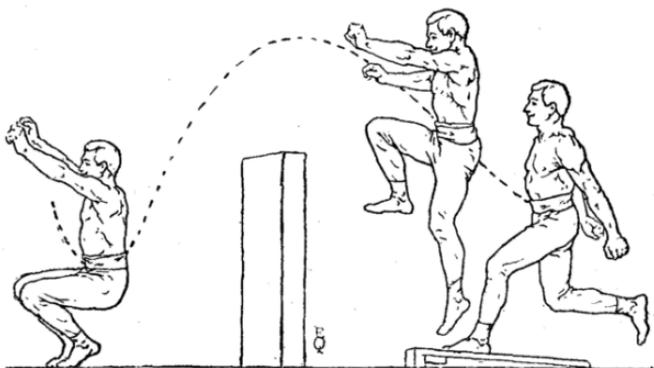


Fig. 452. — Saut en hauteur précédé d'une course.  
Préparation, impulsion et chute. — Trajectoire d'un point de la ceinture.

de plus, horizontal. Si le sol est glissant, s'il est meuble, s'il est incliné comme le revers d'un talus ou d'un fossé il faudra modifier sa manière de tomber et être très prudent pour éviter la chute en arrière ou en avant. L'équilibre final devient alors extrêmement difficile.

L'équilibre ne peut être établi qu'à deux conditions :

1° Que la vitesse du corps soit complètement annulée par la résistance des membres inférieurs et que la destruction de la force vive se fasse dans les muscles ou dans le sol si ce dernier est meuble ; il faut pour cela que l'action des jambes ait lieu en sens inverse de la vitesse du corps, c'est-à-dire dans la direction de la tangente à la trajectoire du centre de gravité. Cette tangente coupe le sol de plus en plus en avant suivant la longueur du saut et l'aplatissement de la parabole. Les cuisses doivent donc se fléchir sur le tronc, d'autant plus que le saut est plus allongé, elles touchent donc par la pointe si le saut

est en profondeur ou en hauteur et par le talon si le saut est très allongé. Vouloir toucher par la pointe dans un saut en longueur, c'est raccourcir forcément les jambes et par conséquent diminuer la longueur du saut, c'est aussi se mettre dans l'impossibilité d'annuler la vitesse horizontale du corps. Ce der-

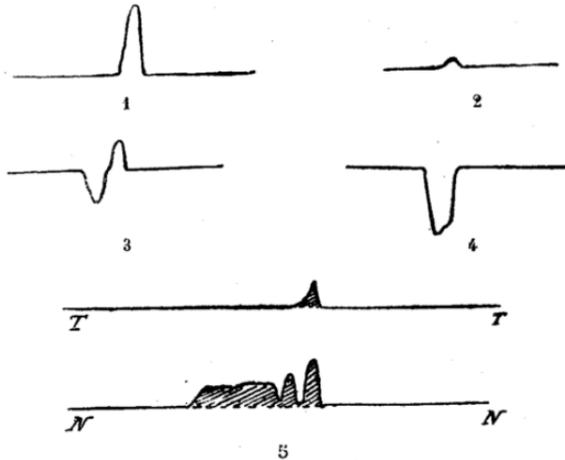


Fig. 453. — Forme de la pression tangentielle des pieds sur le sol<sup>1</sup>.

1, dans le saut en longueur et 2, dans le saut en hauteur de pied ferme ; 3, dans le saut en longueur et 4 dans le saut en hauteur avec élan ; 5, tracés simultanés de la pression normale et tangentielle du pied dans l'appel d'un saut en longueur avec élan ; — T, pression tangentielle ; N, pression normale.

nier doit forcément pivoter autour des pieds et tomber face contre terre (fig. 446 bis et 449). Il n'y a pas de composante verticale, mais une composante horizontale de la vitesse à annuler ; l'action des jambes doit s'exercer en sens inverse de celle-ci, et par conséquent les jambes doivent être obliques et poser par le talon.

2° Quand la vitesse du corps est annulée, il faut encore demeurer d'aplomb pour se relever. La position des pieds, talons joints, pointes ouvertes, ce qui entraîne l'écartement des genoux, peut être avantageuse pour empêcher une chute latérale, mais comme à ce moment le corps n'a plus de vitesse en avant, la réunion des pieds n'a aucun inconvénient.

La base de sustentation est augmentée légèrement dans le premier cas et les pieds peuvent, surtout étant écartés, avoir une action latérale pour redresser le corps. C'est même par

1. Voir *L'École française*, pression tangentielle et amortissement de la chute des sauts.

cet effet que la stabilité est établie, bien plus que par la grandeur de base de sustentation qui est bien peu de chose.

En tous cas, il ne faut point gêner sa chute par la préoccupation d'exagérer l'écartement des genoux, ce qui est tout à fait anormal.

Le rôle des bras lancés vivement d'arrière en avant au moment de la chute est de déplacer le centre de gravité du corps en avant. Ceci a pour conséquence de ralentir la vitesse du corps de celle du déplacement du centre de gravité et par conséquent d'atténuer le choc et de faciliter l'équilibre final (fig. 450).

Il sera très difficile d'obtenir l'équilibre final si le sol est glissant.

TREMPAINS. — Les sols artificiels élastiques comme les tremplins, restituent le travail qu'ils ont d'abord absorbé, leur effet est donc d'autant plus intense qu'on leur communique une plus grande quantité de force vive par un violent appel provenant d'une course préalable ; le poids du sujet joue aussi son rôle dans ce cas.

Mais les tremplins sont des ressorts ayant leur période propre de vibration, si cette période est égale à la durée de l'impulsion du saut ou plus petite, ils rendront utilement le travail communiqué, sinon ils contrarieront singulièrement le mouvement en absorbant ce travail et en ne le restituant pas au moment voulu.

DEGRÉ DE FLEXION DES JAMBES. — *La longueur des segments des membres* et leur degré de flexion influent sur la durée de l'appui, par conséquent sur la vitesse initiale au départ, plus la flexion sera grande, plus la hauteur d'élévation le sera aussi. Dans les figures 422 et 423 on peut remarquer que les sauts les plus élevés correspondent à l'inflexion préalable la plus grande. La longueur du pied est très avantageuse à ce point de vue. Au moment de la chute, la flexion ne sera pas exagérée. elle sera en rapport avec la force vive acquise et à détruire.

*La direction de l'impulsion* dépend de l'inclinaison du tronc au départ. Cette inclinaison, qui est limitée elle-même par le frottement au contact du pied, doit être nulle pour un saut en hauteur et tendre vers  $45^\circ$  pour le saut en longueur de la plus grande étendue, étant donné un même coup de jarret ou une même vitesse initiale. L'inclinaison est intermédiaire

pour les sauts en hauteur et largeur, elle influe principalement sur la longueur du saut.

L'inclinaison de la direction de l'impulsion, ainsi que la vitesse initiale est augmentée par la composition de cette vitesse due au coup de jarret avec une autre vitesse horizontale antérieurement acquise par une course préalable.

INFLUENCE DU POIDS DU CORPS. — L'influence de *la grandeur de la masse à mouvoir*, c'est-à-dire du poids du corps, est des plus grandes, tout ce qui n'est pas actif dans le corps, absorbant un travail inutilisé doit présenter le moindre développement relatif possible; un bon sauteur est celui qui, sous un faible poids, développe un coup de jarret relativement très intense; car, pour un même coup de jarret dans le saut vertical, les hauteurs auxquelles s'élèvent deux sauteurs sont inversement proportionnelles aux carrés des poids du corps.

Pour deux sujets de même poids, le rapport des hauteurs auxquelles ils s'élèvent est égal au rapport des carrés de l'impulsion définie plus haut (p. 326).

COMPARAISON DE DEUX SAUTEURS. — La comparaison de deux sauteurs se fera donc en mesurant les hauteurs maximum auxquelles ils s'élèvent et leurs poids respectifs.

Le rapport des produits des poids par les racines carrées des hauteurs correspondantes, sera celui des impulsions ou coups de jarret.

Si, d'autre part, on avait une relation entre la force musculaire ou la force de détente et la longueur des segments ou la taille du sujet, on pourrait imaginer un sauteur type, pris comme unité, d'une taille et d'un poids déterminés qui développerait une impulsion correspondante maximum, reconnue pratiquement possible en sachant utiliser tous ses moyens; on pourrait lui comparer des sujets de tailles différentes en tenant compte de leur organisation.

Il y a, en effet, deux points de vue auxquels on peut considérer la valeur d'un sauteur.

Le point de vue absolu ou pratique où l'on envisage les longueur et hauteur du saut sans s'occuper du poids du corps, et le point de vue théorique où l'on considère les hauteur et longueur du saut en tenant compte de la masse à mouvoir.

Ces deux points de vue peuvent mener à une estimation toute différente d'un sujet. En effet, un sauteur qui, par la distance franchie, l'emporterait sur d'autres dans la première méthode de comparaison serait, quelquefois, mal classé d'après la seconde s'il était très léger; et inversement, un sauteur lourd franchissant une courte distance pourrait l'emporter si son effort d'impulsion était relativement supérieur à celui du premier.

Nous ne nous prononçons pas sur le choix de ces deux méthodes de classement, pourtant c'est évidemment la seconde qu'on devra appliquer pour un même individu afin de le comparer à lui-même à différentes époques de sa croissance. Elle revient, pour des sauteurs différents, à égaliser les poids en leur ajoutant des masses additionnelles.

M. Chabry<sup>1</sup> fait remarquer que deux sauteurs de poids différents mais géométriquement semblables et formés des mêmes tissus jouissant des mêmes propriétés, s'élèveront à la même hauteur quelles que soient les différences de poids et de taille puisque le travail moteur maximum dont sont susceptibles les muscles chez chacun d'eux est proportionnel au poids des individus.

L'auteur combat le préjugé qui fait considérer la puce et le criquet comme doués relativement d'une grande force musculaire. Il fait remarquer que les animaux ne sautent si haut que parce qu'ils sont très légers, mais leurs muscles ne développent pas à poids égal plus de travail que ceux des mammifères ordinaires.

*L'état de vigueur ou de faiblesse du sujet* agit sur l'impulsion en faisant varier, soit l'intensité, soit la durée de la contraction. C'est ici que l'excitation nerveuse a sa plus grande part et fait varier les résultats d'après les différences ou dispositions individuelles. On sait combien différent la brièveté ou la lenteur de la contraction des muscles, suivant la température, l'activité de la circulation, l'état de repos ou de fatigue, la constitution du sujet. Nous croyons que c'est la vivacité dans la détente qui est une des principales qualités du coup de jarret.

1. L. Chabry, Mécanisme du saut, *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1883.

RÉSUMÉ DES CONSIDÉRATIONS PRATIQUES RELATIVES A LA MARCHÉ, A LA COURSE ET AU SAUF. — La *chaussure sera sans talon*, la semelle large et assez épaisse permettant au pied de s'étaler tout à son aise lors de son déroulement sur le sol.

La *marche en plaine* se fera en développant le moins de force musculaire possible, l'allure de l'homme fatigué, du paysan, le corps penché en avant, le pas régulier et d'une longueur en rapport avec la taille, sera celle que l'on pourra soutenir le plus longtemps avec une vitesse de six kilomètres à l'heure, non chargé.

La marche s'accélélera en allongeant le pas et en observant en même temps une cadence plus vive, car nous avons vu que la cadence et la longueur du pas sont intimement liées l'une à l'autre.

On cherche à faire l'éducation d'un marcheur par des exercices de marche cadencée qui consistent à étendre totalement la jambe et le pied au moment du lever, le pied posant à terre et par toute la surface plantaire à la fois, le corps étant légèrement penché en avant. Cet exercice souvent répété donnerait au pas une grande longueur moyenne qui se maintient pendant de longues étapes. C'est ainsi que dans une marche des élèves de l'École normale de gymnastique de Joinville-le-Pont, élèves ayant cinq mois d'entraînement gymnastique, la même longueur de pas (60 pas pour 100 mètres) a été soutenue en moyenne, pendant que varient la durée du pas et la vitesse de progression sous l'influence de la fatigue. Cette éducation est fort discutable.

Dans la *marche ascendante* le corps sera penché fortement en avant et inversement dans la marche descendante.

Dans la *course de résistance* on conservera une cadence constante et modérée, environ 88 pas à la minute, ce qui pourra permettre, au maximum, une vitesse de 13 kilomètres à l'heure.

On ne devra soutenir la *course de vélocité* que durant une longueur de 100 à 150 mètres au plus pour les jeunes gens moyens.

On partira le corps penché en avant et on allongera le pas progressivement jusqu'au maximum. La vitesse pourra ainsi acquérir pendant dix secondes, jusqu'à la valeur de 11 mètres 25 par seconde

La condition essentielle pour soutenir la marche et la course est de dépenser le moins de force musculaire possible et d'éviter l'essoufflement en réglant les mouvements respiratoires avec le rythme du pas ; on respirera, si l'on peut, par le nez.

*Le saut* est différent suivant que l'on est en repos ou en mouvement au moment de l'impulsion.

Si l'on saute de pied ferme, en hauteur, au-dessus d'un obstacle, on se placera le plus près possible de cet obstacle (fig. 454)

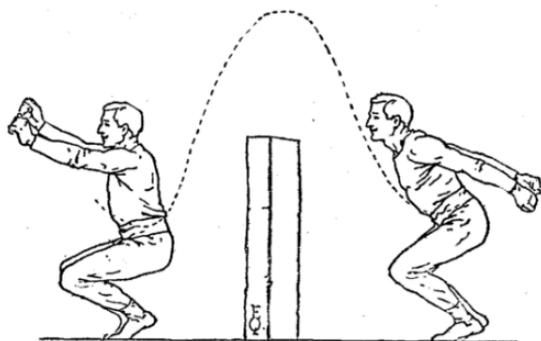


Fig. 454. — Saut en hauteur de pied ferme.

le corps très légèrement incliné, les jambes réunies, fortement fléchies dans tous leurs segments et les bras abaissés pour la préparation. Au temps de l'impulsion, les bras s'élèveront vivement et s'arrêteront brusquement environ à l'horizontale, les jambes resteront unies et, si l'on peut, allongées et fléchies sur le tronc afin que la distance comprise entre le point le plus bas du corps et le sol pendant la suspension soit maximum ; L'obstacle franchi, on étendra vigoureusement le tronc afin d'éviter le frottement de l'obstacle avec les fessiers ; enfin au moment de la chute les membres inférieurs en contact avec le sol par la pointe des pieds se fléchiront pendant que les bras s'élèveront pour atténuer le choc et assurer l'équilibre.

Si l'obstacle est très large et que l'on désire y prendre appui, (saut en hauteur) il faudra fléchir fortement les jambes, être suffisamment distant de l'obstacle afin de permettre cette flexion ainsi que le mouvement des bras, prendre appui au moment où la vitesse s'est annihilée et se relever immédiatement (fig. 455).

Ici la chute n'existe pas ; dans le saut en profondeur au contraire (fig. 456) c'est l'impulsion qui est presque nulle, elle doit être suffisante pourtant pour lancer horizontalement le corps loin de l'obstacle sur lequel on repose et éviter une chute tout à fait verticale. Cette chute est ici fort difficile et fort dangereuse. Les entorses, les fractures, les déchirures de muscles et de tendons, les commotions cérébrales, les hernies crurales et

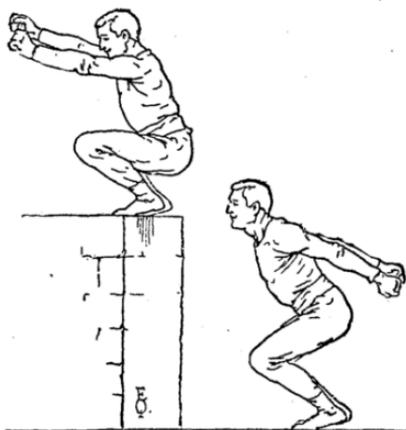


Fig. 455. — Saut en hauteur de pied ferme.  
Attitudes de départ et d'arrivée.

peuvent être la conséquence (fig. 457). Nous conseillons dans la chute, terminaison de tous les sauts, d'avoir les talons réunis, les genoux et pointes des pieds à l'écartement ordinaire de la station ou de la marche. Cette attitude que doivent avoir les extrémités pendant la suspension est celle qui donne le plus de solidité pour soutenir le choc.

Le saut en longueur de pied ferme (fig. 443) tire ses qualités de l'intensité du coup de jarret et du mouvement de projection des bras, mais aussi de l'inclinaison du corps en avant au moment de l'impulsion. Il faut, pour ainsi dire, donner son coup de jarret pendant une chute en avant. Sans cette condition, le saut sera toujours trop élevé et raccourci.

Les jambes seront étendues et les cuisses fléchies sur le tronc, les pieds toucheront le sol par le talon au moment de la chute, Ce mode d'appui n'a aucun inconvénient, car la vitesse à annuler

est dirigée plutôt horizontalement que verticalement, les jambes sont aussi très obliques et rasant le sol ; il a au contraire avantage à utiliser toute la vitesse acquise et de reculer au maximum le point de chute, c'est-à-dire la longueur du saut. L'équilibre final sera rétabli par un mouvement convenable des bras, généralement peu utile, si le saut est bien exécuté ; la vitesse dont le corps est animé au moment de la chute, suffira

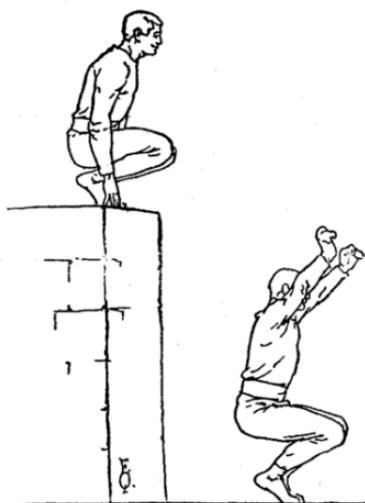


Fig. 456. — Saut en profondeur.  
Face en avant.

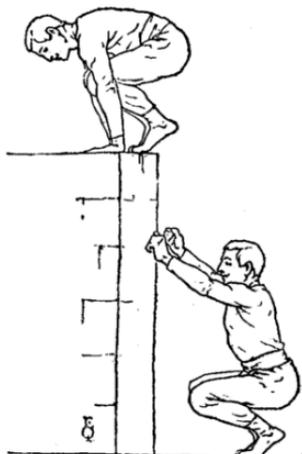


Fig. 457. — Saut en profondeur dans  
le cas de grandes hauteurs.

pour amener le tronc au-dessus du point d'appui qui, vu l'allongement des jambes, se trouve verticalement au-devant du centre de gravité. Cependant, dans le cas où des frottements suffisants ne seraient pas développés au contact du talon, une chute sur les ischions serait à redouter.

Dans les sauts précédés d'une course, celle-ci doit aller en s'accélégrant au moment de l'appel qui se fait alors généralement d'un seul pied, la longueur des pas diminue aussi (fig. 447) ; la vitesse horizontale préalablement acquise se composant avec celle qui est due au coup de jarret, a pour résultante une vitesse initiale, toujours plus inclinée que cette dernière. On en conclut que le saut précédé d'une course augmente bien plus la longueur que la hauteur du saut. L'inclinaison de la surface

et la nature du sol à l'appel et à la chute modifieront ces résultats.

Il sera avantageux de s'exercer à prendre cet appel indistinctement de l'un ou l'autre pied; dans tous les cas, les jambes



Fig. 458. — Préparation à l'impulsion du saut.

seront réunies pendant la suspension et la chute exécutée comme dans le saut de pied ferme.

L'appel des deux pieds ne s'accorde pas avec une course préa-



Fig. 459. — Préparation à la chute des sauts.

lable bien vite; il demande un certain temps et s'exécute surtout dans les sauts avec appui des mains.

La chute finale d'un saut précédé d'une course est difficile, il sera bon de s'y exercer progressivement en y recherchant toujours les qualités énoncées plus haut. Elle différera dans les cas où l'on voudrait après le saut continuer la course, mais cependant, il faudra toujours observer la réunion des talons au moment du choc et marquer un temps d'arrêt. La chute d'un saut doit trouver dans les muscles extenseurs du membre inférieur l'amortissement nécessaire et peut alors se faire sur un sol dur pourvu qu'il ne soit pas glissant. Mais pour les sauts en profondeur il est indispensable de tomber sur un sol meuble composé de tan ou de sable. Dans une salle fermée on emploiera les

matelas d'aloès et de crin végétal pour éviter la poussière si funeste aux organes respiratoires.

EXERCICES PRÉPARATOIRES AU SAUT. — Avant de sauter, on

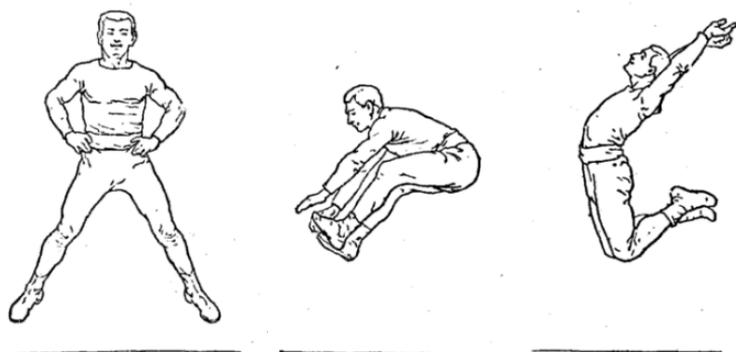


Fig. 460. — Sautillements les jambes écartées, les cuisses fléchies et saut cambré.

s'exercera à fléchir les membres inférieurs (fig. 458), balancer les bras en arrière du corps en s'accroupissant, puis en se

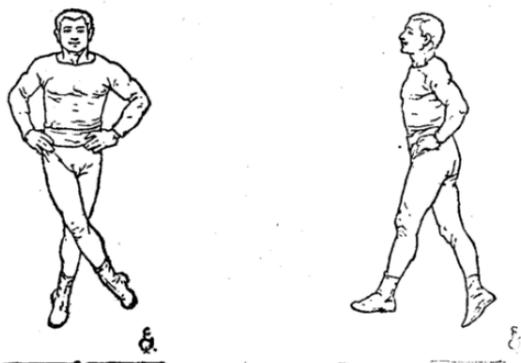


Fig. 461. -- Sautillements avec croisement et avec écartement des jambes.

redressant immédiatement en portant les bras en avant (fig. 459), comme dans l'impulsion du saut, ou en s'accroupissant en levant les bras comme dans la chute. On fera aussi des sautillements sur place pour habituer le corps à prendre diverses attitudes pendant la suspension, les jambes écartées latéralement ou en

arrière, les jambes croisées, fléchies en arrière ou fléchies en avant (fig. 460 et 461). On s'exercera aussi à une espèce de danse russe accroupie, où l'on étend alternativement la jambe en avant (fig. 462) et de côté.

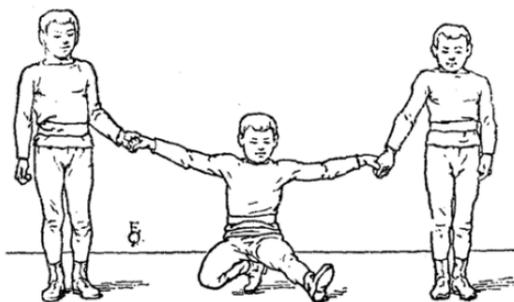


Fig. 462. — Danse accroupie avec l'aide de deux camarades.

**SAUTS DIVERS.** — Toutes les variétés de sauts obéissent aux principes généraux que nous avons donnés sur la préparation,

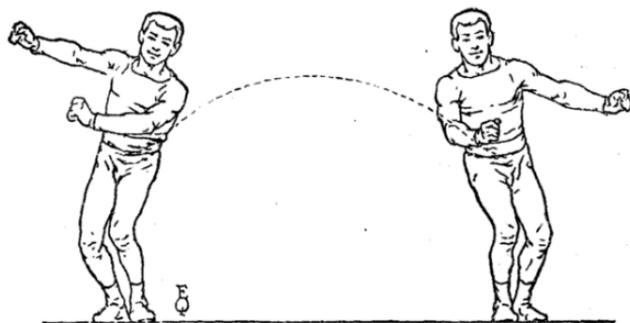


Fig. 463. — Saut de côté.

l'impulsion, la suspension et la chute. Ainsi dans le saut en arrière ou de côté, l'inclinaison du tronc et le mouvement des bras doivent être dirigés dans la direction du saut (fig. 463).

Dans les sauts successifs, les jambes fléchies pour la chute doivent immédiatement s'étendre avec une nouvelle élévation des bras (fig. 464).

Dans les progressions par sauts successifs sur un pied qu'on nomme progressions à *cloche-pied*, les bras aident peu, mais le

tronc est fortement incliné en avant. Ces progressions très pénibles ne s'exécutent que comme exercices gymnastiques.

**SAUTS AVEC APPUI DES MAINS.** — Dans les sauts de barrière et

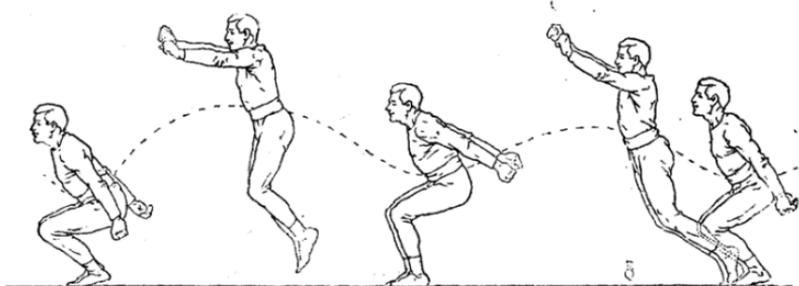


Fig. 464. — Sauts successifs.

au cheval de bois avec appui des mains (fig. 466), la suspension proprement dite est de beaucoup réduite : tantôt il y a appui



Fig. 465. — Saut à cloche-pied.

simultané des pieds sur le sol et des mains sur l'obstacle, et l'adduction des bras ajoute son effet à l'extension des jambes (fig. 466 et 467) tantôt l'appui sur les mains est effectué après le saut, ce qui permet une obliquité extrême du corps pendant la suspension et une grande longueur du saut. Il y a alors, en réalité, deux chutes, l'une sur les poignets, l'autre finale sur les pieds. Dans ces sauts, les jambes passent au-dessus de l'obstacle, fléchies entre les bras ou allongées latéralement pendant que le corps est à l'appui sur un seul bras toujours allongé ; le poids du corps doit toujours être porté par le bras à l'appui, ce qui exige que

l'on ne s'éloigne pas de cet appui au moment du saut (fig. 468 et 469).

On peut ainsi se suspendre d'une main et s'appuyer de l'autre, passer aussi entre deux barres parallèles situées dans un même plan, tous ces sauts rentrent dans la série des exercices gymnastiques (fig. 470).

Dans le *saut à la perche*, la hauteur d'élévation du corps est augmentée par une vigoureuse traction des bras effectuée pen-

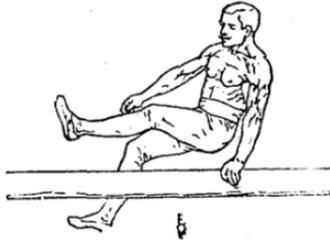


Fig. 466. — Saut de barrière de côté en passant alternativement les jambes.

dant la suspension et pendant que la perche a point d'appui sur

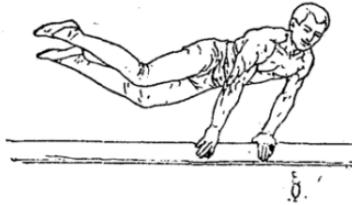


Fig. 467. — Saut de barrière de côté les jambes réunies.

le sol. Théoriquement, ce saut revient à prolonger l'appui du

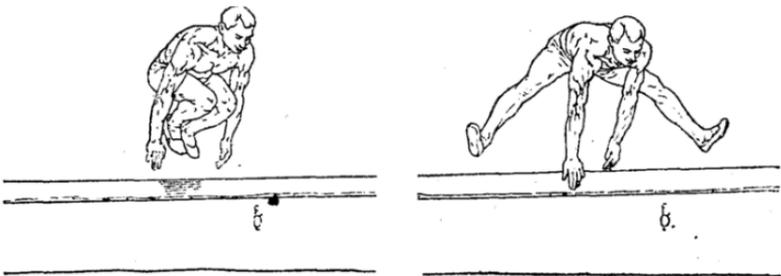


Fig. 468. — Sauts de barrière les jambes entre les bras et les jambes écartées.

pied par l'appui de la perche et l'effort des extenseurs par celui des fléchisseurs et adducteurs des bras. Le corps s'attire donc

vers l'extrémité de la perche, tandis que celle-ci oscille autour de son point d'appui. Il résulte de toutes ces circonstances une plus grande hauteur et longueur de saut (fig. 471, 472 et 473).

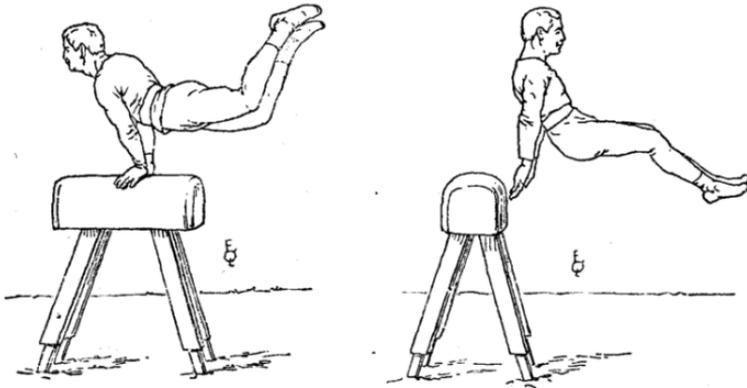


Fig. 469. — Sauts avec appui des mains sur le mouton.

**PASSE-RIVIÈRE.** — Il est une manière de franchir une grande distance, c'est de se suspendre à une corde oscillante et de la lâcher à bout de course. Cette disposition a reçu le nom de



Fig. 470. — Saut entre deux barres horizontales.

passé-rivière et rentre un peu dans la locomotion avec les mains (fig. 474).

**SAUTS PÉRILLEUX.** — Comme nous l'avons indiqué à propos de l'impulsion du saut, la masse du corps est soumise à une force de projection qui le détache de terre et à un couple qui lui donne un mouvement de rotation autour de son centre de gravité pendant la suspension.

Il est toujours très difficile d'empêcher cette rotation de se produire ou de s'en rendre maître. Dans les sauts dits périlleux

ce couple prend une importance très grande et la vitesse de rotation se trouve réglée par le changement d'attitude.

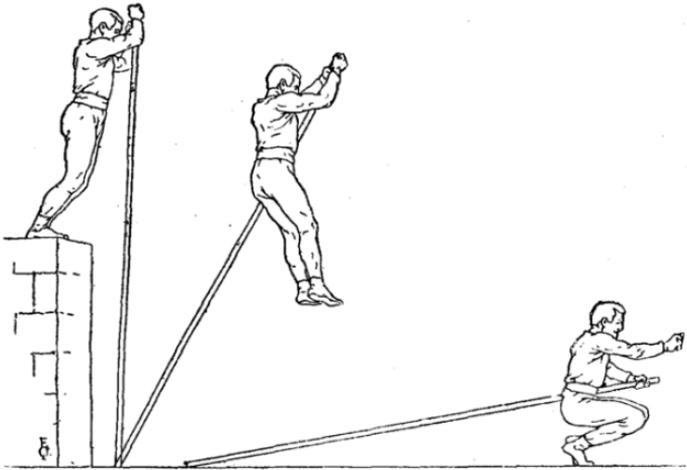


Fig. 471. — Saut en profondeur à l'aide d'une perche.

Chaque point du corps décrit son orbite autour du centre de gravité comme un satellite autour d'une planète et le mouve-

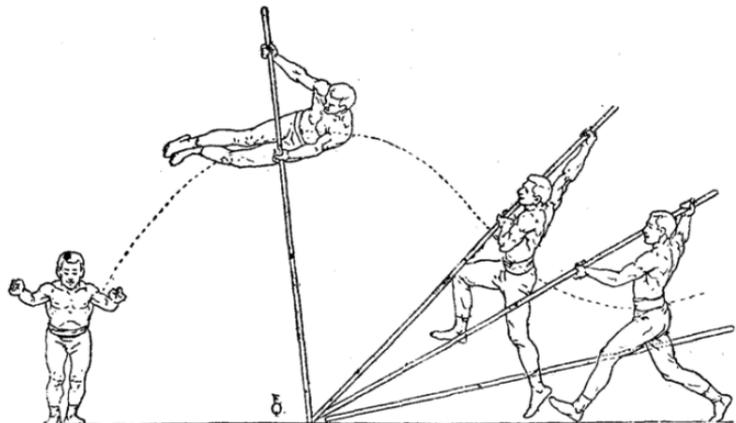


Fig. 472. — Saut en hauteur à la perche.

ment suit les lois de Képler. Il faut que les aires décrites par les rayons vecteurs dans des temps égaux soient égales. Si l'on avait au début une vitesse lente de rotation en partant le corps

allongé (fig. 475) ; le fait de se ramasser raccourcit les distances d'un point de la masse du corps au centre de gravité et accélère ainsi la vitesse de rotation du corps (fig. 476).

Nous n'avons pas à étudier ici plus longuement ces genres de locomotion qui n'offrent aucun intérêt pratique.

**PROGRESSIONS DIVERSES. PROGRESSION SUR DES PISTES ÉTROITES ET SINUEUSES.** — Les progressions précédentes, marche, course et saut, présentent de grandes difficultés si l'on réduit l'espace

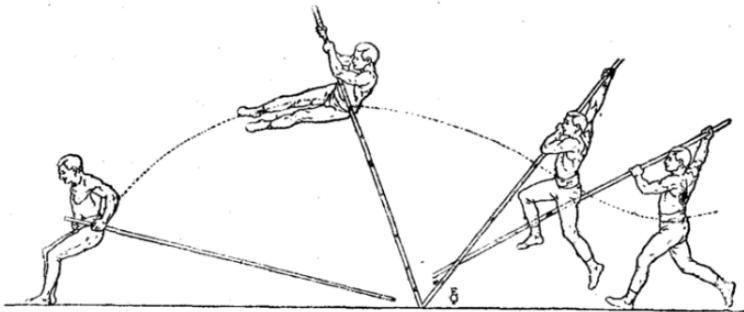


Fig. 473. — Saut en longueur à la perche.

sur lequel elles doivent s'effectuer. En laissant de côté le trouble dans la coordination provenant du vertige lorsque la progression a lieu sur un lieu élevé, la réduction latérale dans la surface d'appui, comme cela a lieu dans la marche sur une poutre ou sur des piquets, oblige les pieds à se mettre dans des positions relatives qui ne sont pas naturelles, nécessite pour rétablir l'équilibre à chaque instant, des contractions musculaires difficiles à régler et demande une éducation nouvelle et longue.

**INCLINAISON DU CORPS DANS LES COURBES.** — Si le chemin à parcourir est une ligne sinueuse, une circonférence de petit rayon, le corps est incliné vers le centre d'une quantité en rapport avec la vitesse de progression. A chaque instant, il tend à continuer son mouvement suivant la tangente à la courbe ; les deux actions qui le ramènent incessamment vers le centre, sont : celle des jambes qui, par une légère adduction et abduc-

tion respectives, ramènent les pieds sur la ligne à suivre et celle de la pesanteur du corps qui tend à faire une chute vers le centre du mouvement.

**PLANCHE OSCILLANTE.** — Il y a une difficulté de plus à marcher sur une planche élastique dont les oscillations interfèrent avec les réactions de la marche. Il faut éviter que la période d'oscillation propre à la planche coïncide avec le pas sinon les mouvements de la planche s'amplifieraient au point de devenir dangereux.

Cela arrive sur les quais d'abordage où la planche est quelquefois très inclinée (fig. 477).

Les oscillations provenant du rythme de la marche se font surtout sentir dans une troupe en marche. Des ponts suspendus se sont rompus pendant le passage d'un bataillon marchant au pas. Aussi est-il de règle d'interrompre la cadence et de marcher à volonté chaque fois qu'un corps d'armée doit franchir un pont élastique.

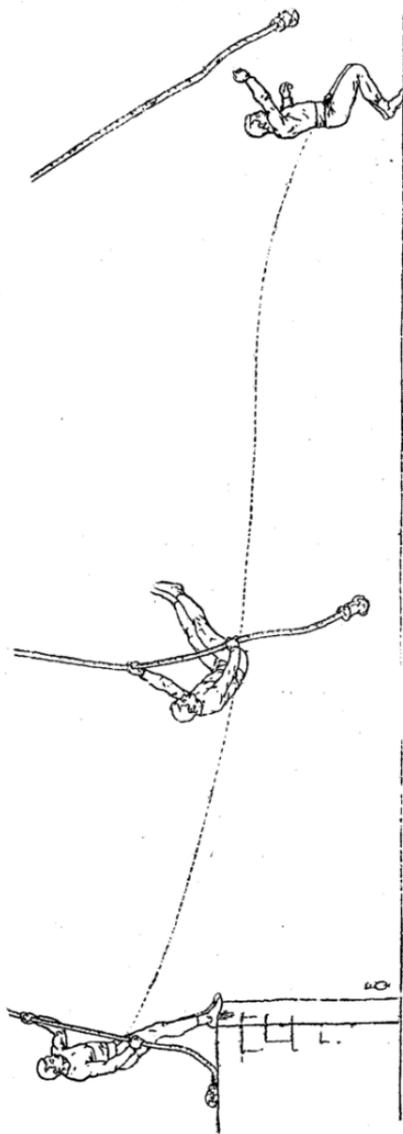


Fig. 474. — Passe-rivière.

Les trois attitudes principales du départ de l'oscillation et de la chute.

MOUVEMENTS GYMNASTIQUES EN PROGRESSANT. — MARCHES GYMNASTIQUES. — Tous les mouvements de plancher peuvent être exé-

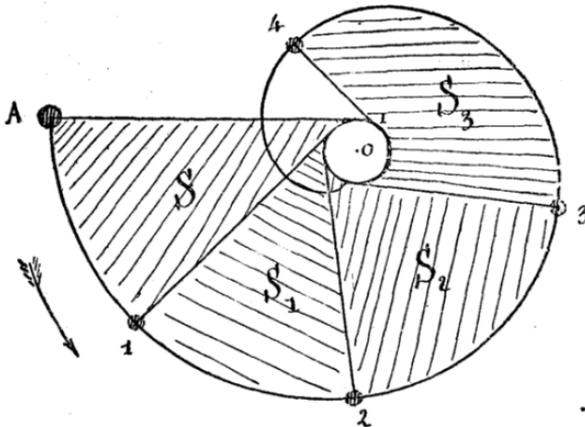


Fig. 475. — Loi de la vitesse d'une masse attachée à un cordon  $AO$  s'enroulant sur un cylindre  $O$ .

La trajectoire est une spirale développante ; — les positions 1, 2, 3, 4 de la masse au bout de temps égaux sont telles que les aires  $S, S_1, S_2, S_3$  décrites par les rayons vecteurs sont égales.

cutés en progressant. Le pas convenable à ces mouvements est

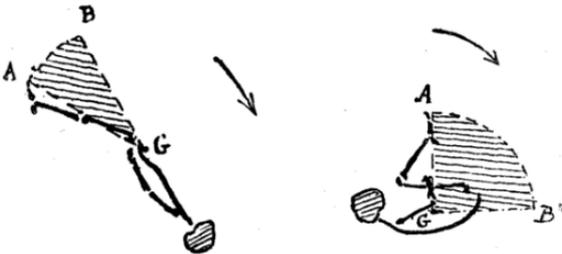


Fig. 476. — Sauter tournant autour de son centre de gravité  $G$  pendant la suspension.

La rotation devient plus rapide par le changement d'attitude. La surface décrite par un point  $A$  de la jambe reste constante pendant le même temps. Les secteurs  $ABG$  et  $A'B'G$  étant égaux, les arcs correspondants  $AB$  et  $A'B'$  sont différents ; ils augmentent quand les rayons diminuent.

un pas cadencé, lent, de grande longueur et dans lequel la jambe en avant reste fléchie, perpendiculaire au sol, tandis que la jambe en arrière est toujours allongée, le pied perpendiculaire à la direction de la progression à peu près comme

dans la fente de l'escrime. Les mouvements des bras se rythment avec ceux des jambes, le corps prend ainsi des attitudes élégantes et viriles ; il acquiert une rare stabilité surtout

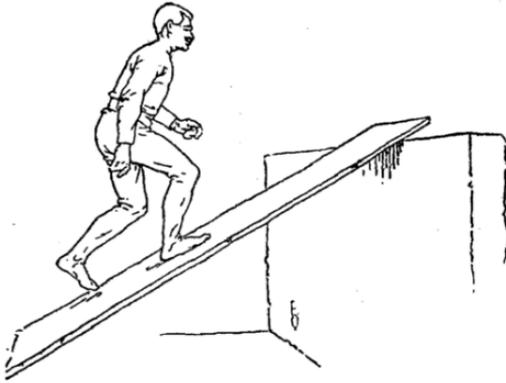


Fig. 477. — Planche d'assaut.

si l'on joint à tous les mouvements de la leçon de plancher complète ceux de la leçon dite de la *boxe française*, dans

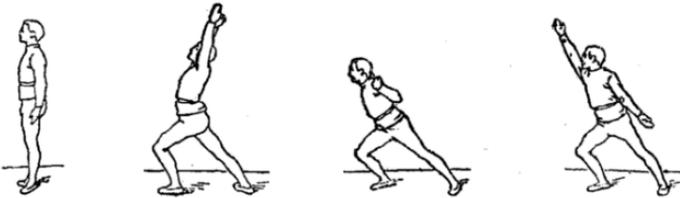


Fig. 478. -- Mouvements gymnastiques en progressant.

laquelle on demande, aux extrémités inférieures, une souplesse et une indépendance égales à celles des bras. Ces mouvements sont généraux, ils sont donc bons à exécuter en plein air par les temps froids. De plus, attrayants, naturels et difficiles ils doivent commencer toute séance de gymnastique, sérieusement et rationnellement pratiquée (fig. 478).