

SÉRIE A. N° 8

N° DORDRE

340

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

G. CARLET.

Docteur en médecine de la Faculté de Paris

ESSAI EXPÉRIMENTAL SUR LA LOCOMOTION HUMAINE

ÉTUDE DE LA MARCHÉ

Soutenues le 1872 devant la Faculté des sciences de Paris

MM. HÉBERT.....	} <i>Président;</i>
DUCHARTRE.....	
BERT.....	

Examineurs.



PARIS

IMPRIMERIE DE E. MARTINET

RUE MIGNON, 2

1872

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Doyen	MILNE EDWARDS, Professeur.	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
Professeurs honoraires	{ DUMAS. BALARD.	
	DELAFOSSÉ	Minéralogie.
	CHASLES	Géométrie supérieure.
	LE VERRIER	Astronomie.
	DELAUNAY	Mécanique physique.
	P. DESAINS	Physique.
	LIOUVILLE	Mécanique rationnelle.
	PUISEUX	Astronomie.
	HÉBERT	Géologie.
	DUCHARTRE	Botanique.
Professeurs	{ JAMIN	Physique.
	SERRET	Calcul différentiel et intégral.
	H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE	Chimie.
	PASTEUR	Chimie.
	DE LACAZE-DUTHIERS	Anatomie, Physiologie comparée, Zoologie.
	BERT	Physiologie.
	HERMITE	Algèbre supérieure.
	BRIOT	Calcul des probabilités, Physique mathématique.
	{ BERTRAND	} Sciences mathématiques.
Agrégés	{ J. VIEILLE	
	{ PELIGOT	Sciences physiques.
Secrétaire	PHILIPPON.	

PREMIÈRE THÈSE

ESSAI EXPÉRIMENTAL

SUR LA LOCOMOTION HUMAINE

ÉTUDE DE LA MARCHÉ

L'étude de la locomotion a, depuis longtemps déjà, occupé les physiologistes. La question est en effet intéressante à plusieurs points de vue ; mais elle est aussi plus compliquée qu'elle ne le paraît au premier abord. Il suffit de lire les belles leçons du professeur Marey sur le vol de l'insecte et de l'oiseau, pour apprécier toutes les difficultés du problème.

Mes recherches expérimentales sur la locomotion humaine ont été faites dans le laboratoire de M. Marey, avec cette méthode graphique qu'il a si justement définie « le microscope du mouvement ». C'est fort des conseils du maître que j'ai entrepris ce travail. Qu'il me soit ici permis de lui témoigner ma vive reconnaissance.

CHAPITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET HISTORIQUES SUR LA LOCOMOTION
HUMAINE.

La *locomotion* est l'ensemble des phénomènes au moyen desquels le corps se transporte *de lui-même* d'un lieu à un autre. Ce terme implique l'idée de mouvement, et l'on a tort de lui faire souvent comprendre les questions de mécanique animale qui dépendent de la *station*.

Un fait digne de remarque et qui domine toute l'histoire de la locomotion, c'est la tendance qu'ont eue les savants à soumettre la question au calcul. A peine l'observation avait-elle donné quelques résultats, qu'en 1670 Borelli essayait de leur appliquer les lois de la mécanique; mais il se montra plus judicieux observateur qu'habile mécanicien. Une seconde tentative fut faite par Poisson; malheureusement les données sur lesquelles il se fonda n'avaient pas reçu le contrôle de l'expérience, et le calcul ne lui servit que d'intermédiaire entre l'inexactitude du point de départ et celle du point d'arrivée.

L'expérimentation permit enfin de mesurer les phénomènes qu'on s'était jusqu'alors contenté d'observer. Les frères Weber, en Allemagne, publièrent, à la suite de l'exposé de leurs recherches expérimentales, une théorie mathématique des principaux modes de la locomotion humaine. Leur procédé opératoire était des plus simples, mais il ne comportait pas une précision suffisante, et l'erreur servit, encore cette fois, de base au calcul.

Depuis cette époque, l'électro-physiologie et l'observation des faits pathologiques ont montré l'inexactitude de la théorie allemande. C'est M. Duchenne (de Boulogne), en France, qui lui a porté le premier coup.

Nous diviserons cet historique de la locomotion en deux grandes périodes, l'une d'observation et l'autre d'expérimentation.

1° PÉRIODE D'OBSERVATION. — Elle s'étend depuis Aristote jusqu'aux frères Weber, et peut être subdivisée en trois phases principales que nous allons successivement passer en revue.

a. *Phase métaphysique.* — C'est elle pendant laquelle la métaphysique, régnant en souveraine, venait en aide à l'insuffisance des connaissances anatomiques. Dans l'étude des mouvements, on commença par croire que la volonté agissait directement pour les produire; puis on fit intervenir, comme instruments intermédiaires, les *esprits animaux* qui servaient à établir une communication entre l'esprit et la matière.

Aristote étudia la locomotion sans connaître l'action des muscles. Il croyait que les mouvements de flexion et d'extension étaient produits par les esprits animaux qui, arrivés dans les articulations, attiraient les os ou les repoussaient. C'était à Erasistrate, petit-fils d'Aristote, qu'était réservée la gloire de découvrir la contraction musculaire.

b. *Phase anatomique.* — Elle commence avec Galien qui, dans un ouvrage *sur la dissection des muscles*, décrit la plupart de ces organes en indiquant leurs principaux usages. Son traité *De usu partium* contient quelques détails intéressants sur la locomotion, mais l'auteur prend souvent pour guide la théorie des causes finales, qui l'entraîne loin de la vérité.

Fabrice d'Acquapendente donne une description minutieuse des organes de la locomotion, et signale déjà cette espèce de mouvement circulaire par lequel le pied se déroule sur le sol.

Glisson démontre l'*irritabilité* de la fibre musculaire, c'est-à-dire la faculté qu'elle possède de se contracter sous l'influence des excitations.

Mayow explique la contraction musculaire par l'action réciproque de l'air et des matières combustibles du sang. Il avait donc entrevu, dès 1670, la véritable origine de la force mécanique des muscles.

Gassendi fait observer l'influence de la longueur du pied sur la grandeur du pas; mais il croit que, dans la marche, le tronc se trouve porté en avant dans un plan entièrement horizontal. C'est dans Gassendi qu'on trouve la première idée de l'assimila-

tion du mouvement des membres supérieurs de l'homme avec celui des membres antérieurs des quadrupèdes.

c. *Phase mécanique.*— Jusqu'ici la locomotion n'est pas encore nettement définie, et l'on ne voit intervenir dans le problème aucune considération sur la force motrice, le point d'appui du corps ou les résistances à vaincre. En s'adressant à ces éléments, Borelli va inaugurer une ère nouvelle, qu'on peut appeler la phase mécanique de la période d'observation.

Borelli compare la marche de l'homme au mouvement d'un bateau que le batelier pousse à l'aide d'une gaffe. Mais il commet une grave erreur en attribuant au point d'appui de la gaffe un *mouvement réflexe* qu'il regarde comme la cause de la progression. Membre de l'Académie *del Cimento*, il subit l'influence des savants au contact desquels il se trouve, et c'est à lui que revient l'honneur d'avoir fait la première tentative d'expérience sur la locomotion. Borelli dit, en effet, que si l'on marche dans la direction de deux poteaux placés à une distance assez grande l'un de l'autre, il est impossible de voir l'antérieur couvrir toujours le postérieur. Le poteau le plus éloigné apparaît tantôt à droite, tantôt à gauche de l'autre, et le savant napolitain en déduit que la marche s'accompagne d'oscillations alternatives du corps à droite et à gauche. Quant à la démonstration des oscillations de bas en haut, et réciproquement, elle se trouve contenue en germe dans la comparaison que fait Borelli de la marche de l'homme avec celle d'un compas qu'on ferait progresser par rotation sur ses pointes.

Barthéz, dans sa *Nouvelle Mécanique des mouvements de l'homme et des animaux*, ajoute peu aux faits énoncés par Borelli. Il démontre cependant que le sol agit par sa seule résistance, et qu'il faut mettre de côté toute espèce d'*action réflexe* de sa part. On doit donc à Barthéz d'avoir, le premier, introduit dans la science des idées nettes sur la force motrice du corps, en montrant qu'elle réside tout entière dans l'action musculaire.

Magendie, dans son *Précis élémentaire de physiologie*, signale un mouvement de rotation horizontale du bassin sur la tête du fémur qui est resté fixe, et il attribue à l'inégalité des arcs de cercle

décrits de part et d'autre la déviation qui se produit toujours dans la marche quand la vue ne vient pas en aide pour la corriger.

En 1821, M. Roulin fait paraître dans le journal de Magendie des *Recherches théoriques et expérimentales sur le mécanisme des attitudes et des mouvements de l'homme*. C'est une critique fine et quelquefois un peu mordante des travaux des prédécesseurs. On y trouve des détails intéressants sur le mécanisme de la colonne vertébrale et des principales articulations.

Quelques années plus tard, Chabrier publie un *Mémoire sur les mouvements progressifs de l'homme et des animaux*. Il pose comme règle générale, que, dans la progression, les muscles du membre à l'appui ont leur extrémité fixe en bas, et leur extrémité mobile en haut, tandis que, dans les muscles du membre qui a quitté le sol, les points fixes et les points mobiles sont inversement disposés. C'est là l'idée dominante et le point essentiel du mémoire de Chabrier. Il regarde, de plus, les muscles des gouttières vertébrales comme des muscles locomoteurs.

Dans sa *Physiologie médicale, didactique et critique*, Gerdy traite longuement de la locomotion. Il examine surtout les phénomènes qui se passent dans le tronc, pendant la marche, et décrit, entre autres, le mouvement de bascule du bassin autour d'un axe qui traverserait horizontalement d'avant en arrière la tête du fémur immobile.

Je citerai, pour mémoire seulement, les calculs de Poisson sur la quantité de travail produite pendant la marche. On trouvera, dans son *Traité de mécanique*, ses hypothèses et ses résultats.

2° PÉRIODE D'EXPÉRIMENTATION. — Elle fut inaugurée, en Allemagne, par les recherches des Weber sur la *mécanique des organes de la locomotion*. Après avoir étudié d'une manière toute spéciale l'anatomie de l'appareil locomoteur, ils instituèrent des expériences dont les résultats devaient servir de base à leur théorie mathématique de la marche, de la course et du trotter.

Un coup d'œil rapide jeté sur le travail des Weber permettra d'en apprécier la valeur.

Leurs recherches anatomiques portèrent principalement sur les articulations. C'est à eux que l'on doit la connaissance exacte du mécanisme des articulations coxo-fémorale et fémoro-tibiale. Ils firent ensuite des expériences afin de mesurer : 1° la longueur et la durée des pas ; 2° le temps de l'appui et celui de l'oscillation de la jambe ; 3° la valeur de l'inclinaison du tronc pendant la marche et la course ; 4° l'amplitude de ses oscillations verticales pendant ces deux modes de progression. Ils cherchèrent enfin à déterminer, d'une manière précise, la situation du centre de gravité du corps, que Borelli avait trop vaguement définie en disant que ce point se trouvait entre les fesses et le pubis.

1° Pour mesurer les éléments du pas, les Weber se servirent d'un espace couvert et offrant un sol horizontal d'une quarantaine de mètres de long. Le sujet soumis à l'expérience faisait marcher, au moment d'entrer dans la carrière, une montre arrêtée jusque-là par un crochet d'enrayure, et il comptait le nombre de ses pas. En divisant par ce nombre la longueur du trajet et le temps employé à le parcourir, on avait la longueur et la durée moyenne du pas.

2° Les temps de l'appui et de l'oscillation de la jambe furent obtenus de la manière suivante.

a. Pour avoir le temps de l'appui, on introduisit une montre à tierces dans un bloc de bois massif qui fut ensuite enfoncé dans le sol. Le bouton de la montre faisait saillie au dehors, et il suffisait d'exercer sur lui une pression pour que l'instrument se mît en marche. Une planche longue et mince, sur laquelle le pied devait s'appuyer, fut ensuite appliquée sur le bouton, qui demeurerait abaissé tant que le pied restait en contact avec elle. La durée de l'appui se trouvait en observant l'état de la montre avant et après.

b. La durée de l'oscillation de la jambe fut déduite de celle de l'appui par la considération du double pas. Pendant un pas double, en effet, chaque jambe est une fois à l'appui et une fois au soutien. Si donc, de la durée d'un double pas, on retranche celle de l'appui, le reste obtenu représentera le temps d'une oscillation de la jambe.

3° Pour mesurer l'étendue de l'inclinaison du tronc et voir comment elle varie avec la vitesse, les Weber avaient installé une lunette à 100 mètres sur le côté de la carrière parcourue. L'oculaire de cette lunette était mobile et contenait un fil qu'on pouvait faire coïncider avec l'image d'une ligne tracée à l'avance sur le tronc. Il était facile d'obtenir ainsi l'angle du tronc avec la verticale.

4° C'est en observant un point du tronc au moyen d'une lunette horizontale contenant un micromètre, que les Weber mesurèrent l'amplitude de ses oscillations verticales.

Je ne rendrai pas compte ici du procédé expérimental des deux frères pour déterminer la situation exacte du centre de gravité du corps. Cette détermination précise peut-être utile dans l'étude de la station, mais elle est complètement illusoire dans celle de la locomotion. Le moindre déplacement d'une partie quelconque du corps suffit en effet à changer la position du centre de gravité, et il est impossible d'indiquer, d'une manière précise, les variations que subit ce point pendant les diverses phases de la progression. L'expérimentation ne peut d'ailleurs se prêter à l'étude directe de son mouvement, et je me suis imposé, dans ce travail, de n'avoir pour guide que la méthode expérimentale.

Il ne faut pas, non plus, se laisser abuser par la précision fictive que les Weber ont donnée à leurs mesures en disant que « le centre de gravité du corps est situé à 8^{mm},7 au-dessus de l'angle sacro-vertébral. » L'exactitude sera, au contraire, indispensable quand il s'agira de mesurer la longueur et la durée du pas, pour chercher, par exemple, s'il existe une relation entre ces quantités. Or, les deux frères se sont adressés, dans ce cas, au calcul des moyennes, qui ne pouvait leur donner qu'un résultat approché.

Il est presque inutile d'ajouter que les procédés employés par les Weber pour mesurer l'amplitude des oscillations verticales du tronc et la valeur de l'inclinaison, laissent beaucoup à désirer sous le rapport de la précision. Aucun de ces procédés ne peut donner la hauteur du tronc ou son inclinaison à chaque instant.

Ils ne permettent d'apprécier qu'approximativement les écarts extrêmes.

Pour en finir avec la partie expérimentale de l'ouvrage des Weber, je rappellerai que l'expérience, si connue, de l'un d'eux, sur l'articulation coxo-fémorale, fut le point de départ de recherches qui tendaient à prouver que les muscles ne jouaient aucun rôle dans l'oscillation de la jambe.

Sur un homme vivant dont les muscles étaient relâchés, le membre inférieur fut écarté de la verticale, puis abandonné à lui-même, et les Weber crurent voir qu'il oscillait comme sur un cadavre. Ils conclurent de là que « le membre inférieur soulevé se porte en avant par la seule impulsion de son propre poids, absolument comme un pendule, et suivant les mêmes lois. »

On comprend que, dans l'expérience précédente, il soit très-difficile de relâcher entièrement les muscles du membre libre et de les soustraire complètement à l'action de la volonté. Il est donc téméraire de vouloir fonder sur une telle base une théorie aussi importante que celle de l'oscillation des membres inférieurs. C'est sans plus de fondements que les Weber ont attribué à la pesanteur les oscillations du membre thoracique qui se font en sens contraire de celles des membres abdominaux.

Il résulte de ce qui précède qu'on ne doit pas attacher une grande importance aux résultats expérimentaux des Weber. Quant à la partie mathématique de leur ouvrage, elle offre, outre l'inexactitude des données, des erreurs nombreuses qui amènent des impossibilités dans les résultats numériques.

Le travail des Weber fut à l'abri de toute atteinte jusqu'à l'époque où M. Duchenne (de Boulogne) publia ses observations cliniques sur le rôle des muscles du membre inférieur pendant la période de soutien. « Il suffit, dit-il, de la paralysie des muscles fléchisseurs de la cuisse sur le bassin pour rendre toute progression absolument impossible. Quelque effort que fasse alors le sujet, dans le but de soulever ses membres inférieurs et de les porter en avant, il ne peut les détacher du sol. »

Le même auteur démontra ensuite que la paralysie des fléchisseurs de la jambe sur la cuisse, ou du pied sur la jambe, gêne considérablement le mouvement d'oscillation. Le pied butte alors contre le sol, et le malade est obligé d'exagérer la flexion du pied ou celle de la cuisse, ce qui occasionne une sorte de claudication.

Se basant sur ses observations, M. Duchenne (de Boulogne) conclut à l'insuffisance de la pesanteur pour produire l'oscillation de la jambe. Il montra enfin que, contrairement à l'assertion des Weber, c'est l'action musculaire qui est la cause des mouvements oscillatoires des membres supérieurs. Ces mouvements sont en effet abolis consécutivement à l'atrophie des muscles deltoïdes.

Ce ne sont pas là les seuls faits que M. Duchenne (de Boulogne) ait introduits dans la science. On lui doit encore d'avoir éclairé d'un jour nouveau la physiologie musculaire des organes de la locomotion.

Il n'y a pas longtemps qu'on déterminait l'action d'un muscle par le seul examen de ses insertions et de la direction de ses fibres. Bichat avait posé, comme règle générale, « qu'il suffit de voir un muscle sur le cadavre pour prononcer sur ses usages ». L'électro-physiologie est venue enlever à cette règle une partie de sa généralité. M. Duchenne (de Boulogne) a parfaitement démontré, par l'excitation électrique de chaque muscle en particulier, que les anatomistes s'étaient souvent trompés. C'est ainsi qu'il a prouvé que le *tenseur du fascia lata* n'était pas extenseur de la jambe sur la cuisse, comme on l'avait cru d'abord, mais uniquement fléchisseur de la cuisse sur le bassin. D'après lui, ce muscle est destiné à modérer l'action rotatrice en dehors du *psoas iliaque*, afin de faire osciller le membre inférieur directement en avant.

Il semble qu'il n'y ait rien à ajouter aux travaux de M. Duchenne (de Boulogne) sur la physiologie des muscles. Cependant la méthode graphique, en permettant de constater la contraction *volontaire*, pourra encore éclaircir quelques points. En prenant, pour ainsi dire, les muscles *sur le fait*, elle donnera des

indications plus précises sur le rôle de certains d'entre eux pendant la progression.

Dans son *Traité de mécanique animale*, M. Giraud-Teulon consacre un chapitre à l'examen de la théorie des Weber. Il signale les erreurs mathématiques des physiologistes allemands, mais on le voit aussi quelquefois admettre leurs résultats erronés.

On trouvera, dans le chapitre suivant, la description des appareils qui m'ont servi à étudier les phénomènes de la marche.

CHAPITRE II.

APPAREILS ET PROCÉDÉ OPÉRATOIRE.

Pour obtenir un trajet d'une longueur suffisante dans l'espace qui m'était offert, et dans le but aussi d'utiliser le manège que le professeur Marey avait fait construire pour ses recherches sur le vol de l'oiseau, j'ai dû étudier les phénomènes de la locomotion sur un chemin circulaire. La circonférence de ce chemin avait une longueur d'environ 20 mètres. Son rayon de courbure était donc assez grand pour ne gêner en rien la marche qu'on pouvait considérer comme s'effectuant en ligne droite.

Le sol du laboratoire servit d'abord aux expériences, mais il fallut bientôt renoncer à son emploi. Ce sol offrait en effet des différences de niveau qui s'accusaient sur les tracés. Pour remédier à cet inconvénient, un chemin circulaire de plâtre fut coulé sous le manège. Il avait le même centre que ce dernier et l'horizontalité de sa surface fut obtenue de la manière suivante.

On commença par construire, à l'aide d'un fort gabarit de bois, une rigole circulaire en plâtre de 80 centimètres de large, à bords verticaux. On fixa ensuite à l'un des bras du manège deux règles verticales dont les extrémités inférieures étaient situées sur un même plan horizontal. Chacune de ces extrémités portait un crayon dont la pointe s'appliquait contre les bords de la rigole. On fit alors tourner le manège, et les deux crayons décrivirent sur chaque bande une ligne circulaire horizontale. On écréta les deux bandes jusqu'au niveau de ces lignes, puis on

coula dans la rigole du plâtre qu'on étendit au moyen d'une règle qui glissait sur ses deux bords. Il est clair que tous les points du chemin ainsi obtenu se trouvèrent situés sur un même plan horizontal, et par là fut supprimée la cause d'erreur qui tenait à l'inégalité du sol.

Au centre du chemin circulaire que je viens de décrire s'élève une table de photographe (voy. pl. 41). Sa planchette, parfaitement horizontale, supporte une pièce de fonte qui, destinée à donner de la stabilité par son poids, soutient en outre l'axe de rotation du manège. Les bras de ce dernier ont chacun 3 mètres de long et leurs bords sont taillés en biseau, afin d'offrir à l'air moins de résistance. A l'extrémité de ces bras et perpendiculairement à leur longueur, est fixée, de chaque côté, une règle horizontale destinée à empêcher les vibrations verticales et la torsion des bras du manège. Elle porte pour cela, à ses extrémités, deux fils qui vont au plafond s'accrocher à une plaque métallique mobile autour d'un pivot, lequel est enfoncé dans une poutre, suivant l'axe même du manège.

Pour analyser les phénomènes de la marche, j'ai employé deux appareils, l'un *explorateur* et l'autre *enregistreur*, reliés entre eux par des tubes de communication destinés à transmettre au second appareil les indications fournies par le premier.

L'appareil enregistreur sera toujours le même. L'appareil explorateur variera au contraire avec le genre de recherches qu'on se proposera de faire. Ce sera une baguette qui servira à explorer les oscillations verticales ou horizontales d'un point du tronc, et l'inclinaison de ce dernier sera appréciée par le moyen d'un parallélogramme. C'est avec une semelle de caoutchouc qu'on trouvera la valeur des éléments de la foulée et du pas ; enfin c'est un tambour explorateur qui rendra compte des contractions musculaires.

APPAREIL ENREGISTREUR. — C'est celui dont le docteur Marey s'est servi pour étudier le vol de l'oiseau (1). Je n'ai fait qu'y

(1) Marey, *Deuxième Mémoire sur le vol des insectes et des oiseaux* (*Ann. sc. nat.*, 1869, t. XII).

substituer un cylindre fixe au cylindre mobile du régulateur de Foucault. Cet appareil se compose essentiellement d'un cylindre fixé sur l'axe du manège, et de tambours à levier (1) destinés à tracer des indications sur une feuille de papier enfumé qui recouvre la surface du cylindre. Les tambours sont adaptés à une tige verticale dont les tourillons reposent sur deux coussinets fixés au manège. Cette tige pivote sur son axe de façon à éloigner du cylindre les leviers enregistreurs ou à les mettre en contact avec lui. Grâce à ce dispositif, dû à M. Marey, on peut faire en sorte que les pointes écrivantes ne touchent le cylindre qu'au moment où se produit le phénomène que l'on veut enregistrer. La tige pivotante est, pour cela, mise en rapport avec un tambour vertical où l'on peut comprimer de l'air. La compression se fait au moyen d'une poire de caoutchouc que l'expérimentateur tient à la main et qui est reliée au tambour vertical par un tube qui longe le bras du manège. Si l'on cesse de presser la poire, un ressort ramène les tambours à leur position première, et les leviers ne sont plus en contact avec le cylindre.

Il est utile que la longueur des leviers enregistreurs soit la même. Les indications qu'ils fournissent alors sont exactement superposées, et tous les points situés sur une même génératrice du cylindre sont enregistrés au même instant, ce qui facilite beaucoup la lecture des tracés.

Avant de passer à la description des appareils explorateurs, il est indispensable de dire comment on écrit sur le cylindre le temps, l'espace et la vitesse.

Mesure du temps, de l'espace et de la vitesse. — 1° Le temps est enregistré par un compteur électrique dont le levier, terminé par une plume, s'élève ou s'abaisse toutes les fois qu'un métronome vient ouvrir ou fermer un courant de pile.

La ligne *t* de la figure 1 est le tracé graphique du compteur enregistrant. Le métronome bat la demi-seconde, et l'intervalle qui sépare, sur la figure, deux montées ou deux descentes du levier, représente la durée d'une seconde.

(1) Pour la description des tambours à levier, voyez Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, p. 148.

2° *L'espace parcouru* se trouve enregistré par le manège lui-même. Les circonférences sont en effet entre elles comme les rayons. Or, le rayon du manège a 3 mètres et celui du cylindre 6 centimètres; leur rapport est, par suite, celui de 50 à 1. Il suffira donc de multiplier par 50 la longueur d'un arc de la circonférence du cylindre, pour avoir la longueur correspondante du trajet parcouru par l'homme sur le chemin circulaire.

3° La *vitesse* sera donnée par la combinaison des graphiques du temps et de l'espace. Il est évident qu'elle sera proportionnelle à la longueur de l'intervalle qui, dans le tracé du temps, mesure la durée d'une seconde. Ainsi, dans la figure 1, la vitesse va en augmentant, à mesure qu'on s'avance dans le sens de la flèche, car la longueur qui mesure la durée d'une seconde est de plus en plus grande.

APPAREILS EXPLORATEURS. — Ils sont au nombre de quatre et servent à étudier : 1° les éléments des foulées et des pas; 2° les mouvements oscillatoires du tronc; 3° ses mouvements d'inclinaison; 4° les contractions de certains muscles.

1° *Appareil explorateur des foulées.* — *Chaussure exploratrice.* — L'acte par lequel le pied passe de l'appui au lever, pendant la progression, constitue ce qu'on appelle une *foulée*.

Il résulte des considérations dans lesquelles je viens d'entrer au sujet de la mesure du temps, de l'espace et de la vitesse, que, si l'on pouvait écrire sur le cylindre les foulées du pied, il serait facile d'obtenir séparément la longueur et la durée de chaque pas en particulier, ainsi que le temps de l'appui et celui de l'oscillation de la jambe pendant que ce pas s'effectue. C'est dans le but d'enregistrer les foulées que j'ai imaginé la *chaussure exploratrice*. J'appelle ainsi une semelle de caoutchouc qu'on peut fixer sous le pied avec des courroies, à la manière antique. Cette semelle (pl. 12, fig. 2) est creusée, dans son épaisseur, de deux chambres à air séparées, qui s'étendent, l'une sous la région antérieure et l'autre sous la région postérieure du pied. Chaque chambre communique avec un tambour enregistreur, par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc. Ces tubes ont des parois

très-épaisses qui leur permettent de résister à l'écrasement, et ils sont maintenus, le long de la jambe, par de larges bandes de caoutchouc, en forme de jarretières, qui les empêchent de flotter pendant la progression. Ils se rendent à l'appareil enregistreur en suivant le bras du manège.

Voyons maintenant de quelle nature sont les indications fournies par cette sandale exploratrice.

Si l'on vient à presser le sol par le talon seulement, avec le pied chaussé de la semelle de caoutchouc, l'air contenu dans la chambre sous-jacente sera comprimé et soulèvera le levier enre-

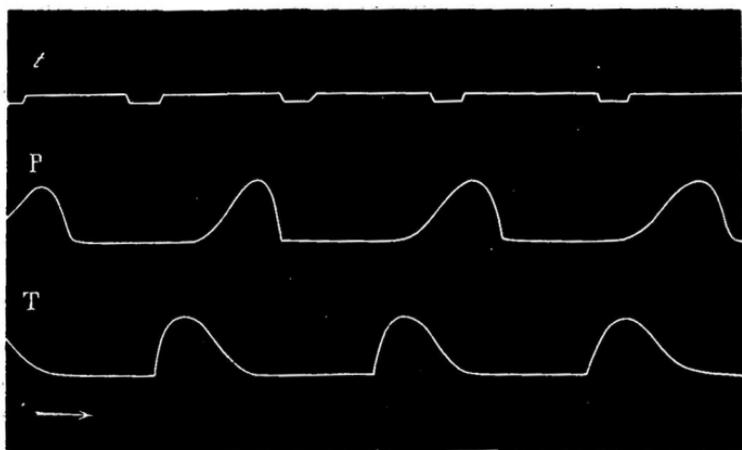


FIG. 1. — Obtenue en faisant communiquer, pendant la marche, les chambres à air de la chaussure exploratrice avec deux tambours enregistreurs. — T, graphique du talon (partie postérieure du pied). — P, graphique de la pointe (partie antérieure du pied). — t, une série de secondes enregistrées pendant la marche par le compteur électrique. (Dans cette figure et les suivantes, le sens de la marche est indiqué par la flèche.)

gistrateur correspondant. Si le pied, continuant son mouvement, s'appuie sur le sol par toute sa longueur, l'air de la chambre antérieure sera aussi comprimé, et le levier du tambour auquel il se rend s'élèvera aussitôt. Quand le talon quittera le sol, le premier levier reviendra au zéro. Tant que le pied reposera par sa partie antérieure, le second levier restera soulevé. Il ne s'abaissera au zéro que lorsque le pied se détachera par la pointe pour osciller, et il restera horizontal tout le temps de l'oscillation.

Pendant la progression, le corps en mouvement communique sa vitesse au manège, et par suite aux tambours enregistreurs qui y sont fixés.

On aura donc, avec les sandales exploratrices, des courbes décrites au moment de l'appui de la jambe et des lignes horizontales tracées au moment de son oscillation.

Les lignes P et T de la figure 1 représentent respectivement les graphiques de la partie antérieure et de la partie postérieure de l'un des pieds pendant la marche.

Les tracés des deux pieds pourraient être obtenus de la même manière, au moyen de deux semelles et de quatre tambours à levier ; mais, pour ne pas multiplier les tambours et simplifier en même temps les graphiques, j'ai fait communiquer les deux chambres à air de chaque chaussure avec un seul tambour à levier, au moyen de la disposition suivante.

Un tube de verre, en forme d'Y, reçoit, par chacune de ses branches latérales, le tube de caoutchouc de l'une des chambres

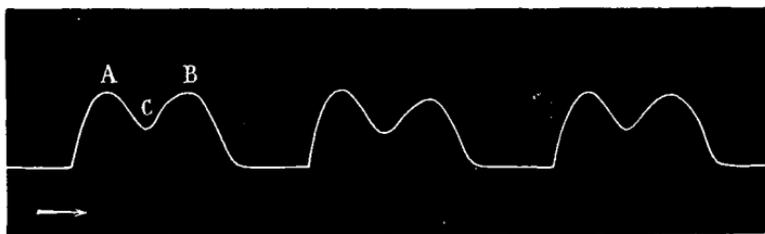


FIG. 2. — Représentant le tracé graphique d'une foulée obtenue en faisant communiquer, pendant la marche, les chambres à air de la chaussure exploratrice avec un seul tambour enregistreur (1).

à air, et la branche terminale est mise en rapport avec un tambour enregistreur. Les contacts successifs du talon et de la pointe du pied avec le sol s'enregistrent alors sur la même ligne (fig. 2), se signalant par deux saillies A et B que sépare une dépression C. Le soulèvement ACB représente donc une foulée, et l'intervalle qui le sépare du soulèvement suivant est produit par

(1) Dans cette figure, la marche s'effectue avec des chaussures à talon, ce qui modifie légèrement la forme de la foulée. Tous les autres graphiques (obtenus avec des chaussures sans talons) offrent une dépression C moins accentuée par rapport aux deux saillies A et B.

le retour du levier à sa position horizontale, pendant que la jambe effectue son oscillation.

Mais ce n'est pas seulement la forme de la foulée que la sandale exploratrice permet d'obtenir, elle peut encore en donner la valeur numérique. La semelle est, en effet, suffisamment épaisse pour que les chambres qui y sont creusées résistent à l'écrasement complet, de sorte que l'augmentation de pression du pied se traduira toujours par un accroissement de l'ordonnée du tracé. On conçoit alors que si l'on remplace le pied par une surface égale supportant des poids marqués qui produisent le même écart du levier enregistreur, ces deux pressions seront égales et l'une pourra servir à la mesure de l'autre. Les sandales exploratrices sont donc de vrais dynamomètres qui permettront d'apprécier à chaque instant la valeur de la pression du corps sur le sol.

2° *Appareil explorateur des mouvements oscillatoires du tronc.* — Il est disposé à l'extrémité de l'un des bras du manège (pl. 14),

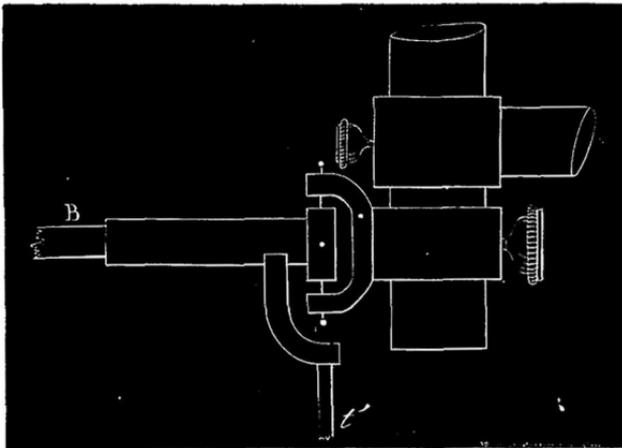


FIG. 3. — Élévation d'une partie de l'appareil explorateur des mouvements oscillatoires du tronc. — Articulation de Cardan.

et un poids lui fait équilibre à l'autre bras. Une baguette B doit transmettre les mouvements d'un point du tronc à deux tambours explorateurs T et T'. Elle est, pour cela, encastree à l'une de ses extrémités dans une articulation de Cardan (fig. 3), et porte à l'autre extrémité une pointe qu'on enfonce dans les vêtements,

au niveau du point exploré. Avant d'arriver au Cardan, la baguette exploratrice porte deux petites tiges t et t' , perpendiculaires à sa direction, et contenues dans un plan qui passe par le centre de l'articulation. La première de ces tiges est horizontale et la seconde verticale. Cette dernière est seule visible sur la figure 3. Le Cardan est appliqué contre une virole qu'on peut fixer, à l'aide d'une vis, sur un axe vertical qui est implanté sous le bras du manège. (Pl. 12, fig. 1.)

Parallèlement à la baguette exploratrice et devant elle, se trouve une tige dont on voit le tronçon sur la figure 3. Elle porte les deux tambours explorateurs dont les leviers sont, l'un horizontal, L , et l'autre vertical, L' . Cette tige est terminée par une potence bifurquée, dont les branches b et b' donnent attache à deux fils de caoutchouc R et R' , qui vont aboutir aux leviers L et L' . Ces leviers sont, d'un autre côté, reliés aux deux tiges t et t' par des fils inextensibles f et f' que les fils antagonistes R et R' doivent toujours tenir tendus.

Les deux tambours explorateurs sont mis en communication avec deux tambours enregistreurs, par le moyen de tubes de caoutchouc fixés sur le bras du manège.

Voyons maintenant la nature des indications fournies par cet appareil, quand les leviers enregistreurs sont en contact avec le cylindre enfumé.

Si l'on vient à faire mouvoir la baguette exploratrice *dans un plan vertical*, il est clair que le levier L' sera seul influencé par ces mouvements, et que le levier L restera immobile. Ainsi, *les mouvements verticaux sont tous transmis à l'appareil enregistreur par le levier vertical de l'appareil explorateur.*

Si l'on fait mouvoir la baguette *dans un plan horizontal*, le levier L suivra seul son mouvement, et, par suite, *les mouvements horizontaux sont tous transmis à l'appareil enregistreur par le levier horizontal de l'appareil explorateur.*

Si l'on promène enfin la baguette exploratrice *dans un plan incliné*, les deux leviers L et L' seront influencés, et par consé-

quent les mouvements obliques sont tous transmis à l'appareil enregistreur par les deux leviers de l'appareil explorateur.

Supposons maintenant les appareils que je viens de décrire réglés de telle sorte que les pointes écrivantes tracent à la surface du cylindre des arcs égaux, quand on écarte la baguette du même angle dans le plan vertical et dans le plan horizontal. Si,

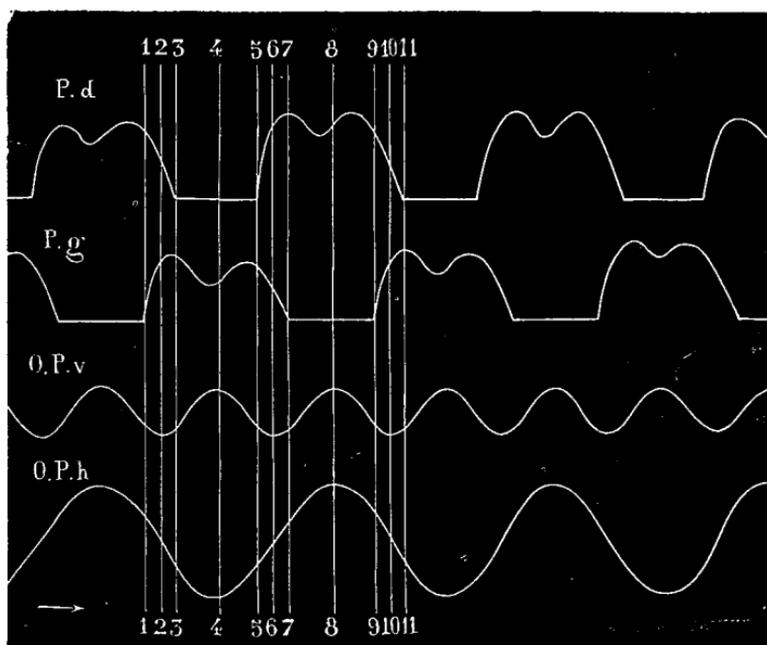


FIG. 4. — Représentant les foulées des deux pieds et les mouvements oscillatoires du pubis. — P. d., tracé du pied droit. — P. g., tracé du pied gauche. — O. P. v., graphique des oscillations verticales du pubis. — O. P. h., graphique de ses oscillations horizontales. (Le sens de la marche est indiqué par la flèche.)

dans ces conditions, un homme marche en poussant devant lui le manège au moyen de la baguette exploratrice fixée en un certain point du corps, les mouvements de ce point seront écrits par les deux leviers enregistreurs à la surface du cylindre. Ces courbes, ramenées à leur vraie grandeur, seront les projections verticale et horizontale du trajet décrit dans l'espace par le point considéré. La réunion des deux courbes formera l'épure de la trajectoire.

La planche 11 représente l'expérimentateur au moment où il enregistre à la fois les foulées des deux pieds et les mouvements

oscillatoires d'un point du tronc. La poire de compression, qu'il tient à la main droite, lui sert à recueillir les graphiques au moment opportun. Deux lignes tracées à l'avance sur le chemin de plâtre guident sa marche.

La figure 4 montre les résultats obtenus dans les conditions précédentes, quand on explore les mouvements de la symphyse du pubis.

Il est clair que, si l'on connaît le rapport de similitude entre l'arc décrit par la pointe de la baguette et celui qui est tracé par la pointe du levier enregistreur, on pourra trouver la valeur numérique de l'amplitude des oscillations du pubis et construire sa trajectoire en vraie grandeur.

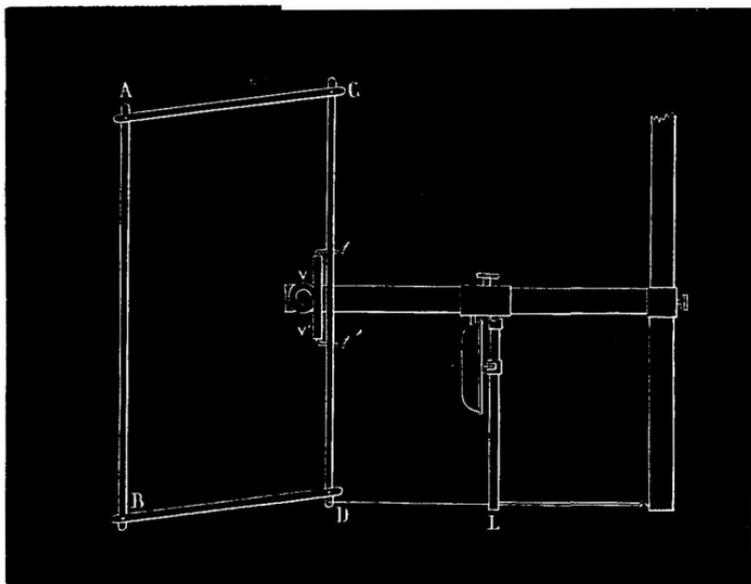


FIG. 5. — Parallélogramme d'inclinaison.

3° *Appareil explorateur des mouvements d'inclinaison du tronc.*
 — *Parallélogramme d'inclinaison.* — J'ai dit (voyez page 7) comment les Weber mesuraient l'inclinaison variable du tronc. Leur procédé ne permettait d'obtenir que les valeurs extrêmes. L'appareil que je décris sous le nom de *parallélogramme d'inclinaison* donne les variations angulaires du tronc à chaque instant. Il est constitué par un parallélogramme articulé ABCD (fig. 5),

dont le plan est vertical. Son côté AB doit être appliqué sur la ligne médiane du tronc. Le côté opposé CD agit sur le levier vertical d'un tambour explorateur, par l'intermédiaire d'un fil inextensible DL auquel est opposé un fil antagoniste.

Ce parallélogramme est rendu mobile dans son plan par le moyen d'une virole V, qui tourne autour d'un axe horizontal; mais il peut aussi effectuer des mouvements de latéralité, c'est-à-dire se mouvoir de droite à gauche ou de gauche à droite. Ce dernier mouvement s'exécute autour d'une seconde virole V' soudée perpendiculairement à la première, et il a pour axe une petite tige qui est implantée à ses deux extrémités t et t' dans le côté CD.

Le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre.

a. Les mouvements *verticaux* de AB n'agiront pas sur CD, et, par suite, les oscillations verticales du tronc ne seront pas enregistrées.

b. Les mouvements *horizontaux* de AB n'auront pas d'autre effet sur CD que d'amener la rotation de ce côté sur son axe. Les oscillations horizontales du tronc ne se transmettront donc pas au levier explorateur, puisque le fil DL s'implante sur l'axe même de CD.

c. Les mouvements *angulaires* de AB, soit en avant, soit en arrière, agiront sur CD, de manière à le maintenir constamment parallèle à AB. Le fil DL et son antagoniste joueront alors leur rôle pour transmettre le mouvement.

Le parallélogramme ne pouvant éprouver de torsion autour de son point de suspension, il s'ensuit que :

Les mouvements d'inclinaison du tronc dans le plan vertical sont tous transmis par le parallélogramme à l'appareil enregistreur, et ils lui sont seuls transmis, à l'exclusion de tous les autres.

La figure 6 montre la courbe C.i. obtenue avec le parallélogramme d'inclinaison, dans le cas de la marche naturelle.

Il est facile de voir que les ordonnées de cette courbe varient comme les tangentes trigonométriques des angles que fait le tronc avec la verticale, l'axe des abscisses répondant à la position du levier enregistreur quand le côté AB est vertical.

4° *Appareil explorateur de la contraction musculaire.* — J'ai fait mes premières expériences avec la coquille cardiographique de Marey; mais cet instrument ne peut donner d'indications précises que lorsqu'il est appliqué sur la peau. J'ai trouvé plus commode et aussi exact de me servir du tambour avec lequel

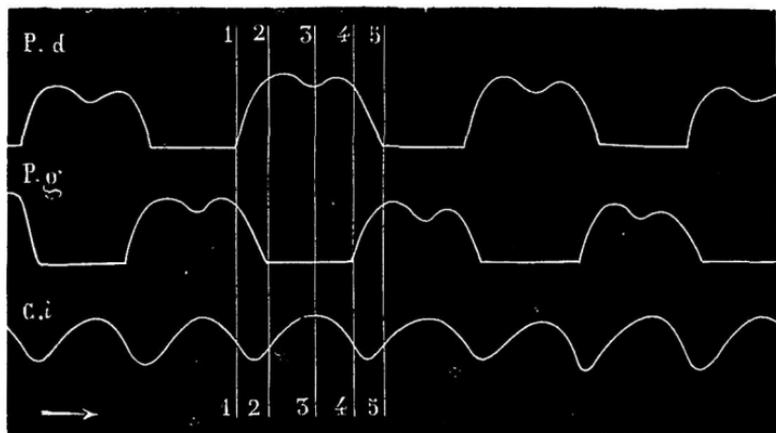


FIG. 6. — Représentant les foulées des deux pieds et la courbe obtenue avec le parallélogramme d'inclinaison. — P. d., tracé du pied droit. — P. g., tracé du pied gauche. — C. i., courbe d'inclinaison.

M. Marey interrogeait le durcissement pectoral de l'oiseau pendant le vol. C'est un tambour à fond métallique, recouvert d'une membrane de caoutchouc, et contenant à son intérieur, un ressort-boudin qui appuie sur le muscle dont on explore la contraction. Cette dernière est recueillie par un tambour à levier enregistreur. J'ai pu obtenir ainsi les tracés graphiques des muscles locomoteurs les plus importants.

La figure 7 représente, en A, la contraction des muscles postérieurs de la cuisse, et en C, celle du droit antérieur pendant la marche.

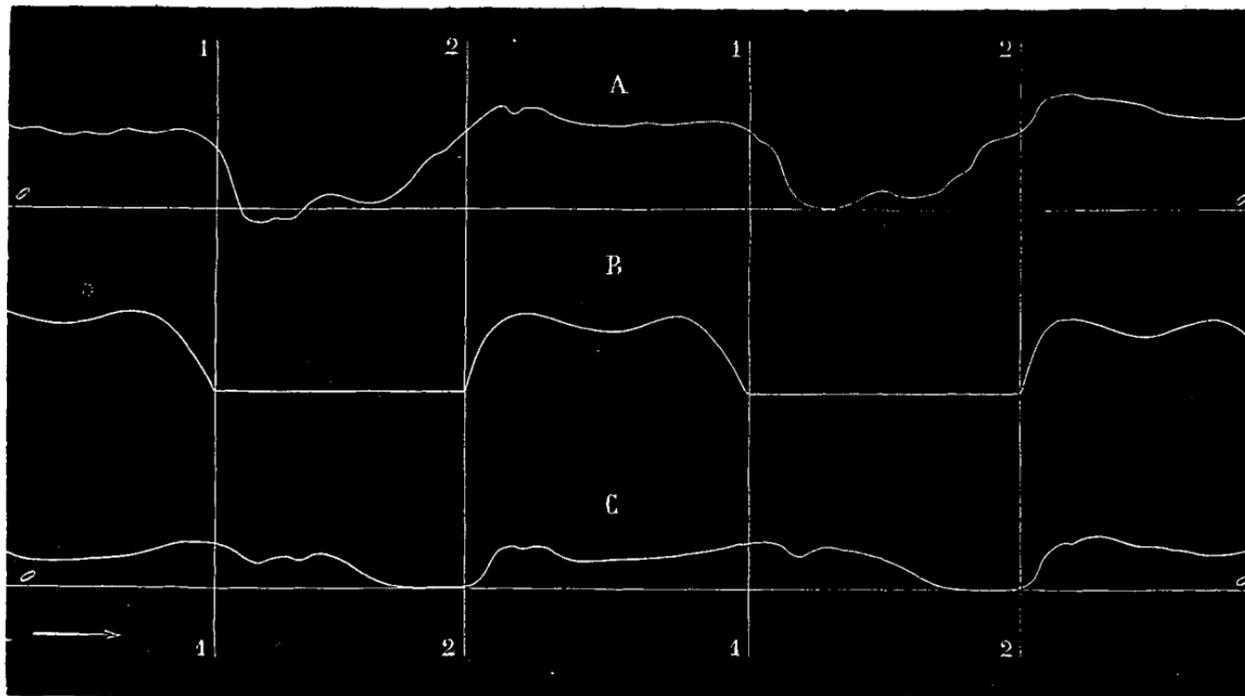


FIG. 7. — Représentant les contractions des muscles de la cuisse aux diverses phases d'une foulée. — A, tracé de la contraction des muscles postérieurs de la cuisse gauche. — C, tracé de la contraction musculaire du droit antérieur de la cuisse gauche. — B, foulées du pied gauche. (Ce tracé a été obtenu en substituant au cylindre fixe le cylindre mobile du régulateur de Foucault.)

CHAPITRE III.

DES FOULÉES ET DU PAS.

La *marche* est ce mode de locomotion dans lequel le corps ne quitte jamais le sol. Elle se distingue nettement, par là, de la *course* et du *trotter*, où le corps reste un certain temps suspendu en l'air.

Je ne m'occuperai ici que de la marche en avant sur un terrain horizontal, et je diviserai la question pour en faciliter l'étude. Dans une première partie, qui fera l'objet de ce chapitre, je m'occuperai des foulées et du pas; dans une deuxième, j'examinerai le rôle des membres inférieurs. Je passerai ensuite en revue les divers mouvements du tronc, ainsi que ceux des membres supérieurs. La dernière partie, enfin, contiendra une théorie de la marche qui sera, pour ainsi dire, la synthèse des différents phénomènes que j'aurai analysés dans les sections précédentes. Cette théorie différera sensiblement de toutes celles qui ont été données jusqu'alors, et c'est elle qui servira de conclusion à mon travail.

ARTICLE 1^{er}.

Des foulées.

J'ai déjà défini les foulées. Elles consistent dans le temps d'appui du pied sur le sol, pendant la marche, depuis son poser jusqu'à son lever.

Les foulées offrent à étudier : 1° la manière dont chacune d'elles s'accomplit; 2° la manière dont elles se succèdent; 3° la valeur numérique de la pression qu'elles représentent; 4° leur durée ou le temps d'appui du pied sur le sol; 5° la durée des intervalles qui les séparent ou le temps d'oscillation de la jambe; 6° la valeur de l'empiètement des foulées ou le temps du double appui.

1° *Manière dont s'accomplit une foulée.* — La figure 1, qui donne l'indication du moment où le talon et la pointe d'un même

pied sont à l'appui ou au lever, montre clairement que le pied commence à se poser par le talon, et se déroule ensuite sur le sol pour le quitter par la pointe.

2° *Manière dont se succèdent les foulées.* — J'ai déjà expliqué comment j'ai pu, par l'intermédiaire d'un tube en Y, faire communiquer les deux chambres à air de la chaussure exploratrice avec un seul tambour à levier, ce qui permet d'enregistrer sur la même ligne les foulées successives du talon et de la pointe du pied.

La figure 4 a été obtenue en marchant avec deux semelles mises chacune en communication avec un seul tambour. P.d. est le graphique des foulées du pied droit, et P.g. celui des foulées du pied gauche. On voit, à l'inspection de ces tracés, qu'au moment où le talon gauche, par exemple, se pose sur le sol (ligne 1, fig. 4), la pointe du pied droit y est encore. Il y a donc un moment où le corps repose sur les deux jambes, et il est indiqué, sur la figure 4, par l'empiètement (1-3) des deux foulées. Le pied gauche, continuant se mouvoir, porte ensuite sur toute sa longueur et est à l'appui complet. Alors le pied droit quitte le sol (ligne 3), oscille (3-5), et va se poser (ligne 5) par le talon, avant que le pied gauche se soulève par la pointe. Les deux pieds touchent donc de nouveau le sol (5-7), et les mêmes phénomènes se reproduisent; mais, cette fois, c'est le pied droit qui se comporte comme tout à l'heure se comportait le gauche, et réciproquement.

On peut, de cette longue énumération, donner la traduction littérale suivante, qui n'est autre que l'explication des graphiques P.d. et P.g. de la figure 4.

	1°.	2°.	3°.	4°.	5°.
Pied droit. . .	} Appui de la pointe.	Lever.	} Appui du talon.	Appui.	} Appui de la pointe.
Pied gauche..		Appui.		Appui de la pointe.	

Telle est la série des phénomènes qui s'accomplissent dans les foulées, pendant que le corps passe de la position qu'il occupe à une position exactement semblable. Cette période, pendant la-

quelle chaque jambe est une fois à l'appui et une fois au soutien, constitue ce qu'on appelle un *double pas*, et elle est représentée (fig. 4) par l'intervalle (1-9).

3° *Valeur numérique de la pression que représentent les foulées.*

— Pour la trouver, j'ai cherché l'écart que produisait, sur un levier enregistreur, le poids de mon corps reposant par le talon seulement sur la chambre postérieure de la semelle exploratrice. J'obtins ainsi un arc de 9 millimètres, correspondant à mon poids, qui est de 70 kil. Je remplaçai ensuite mon talon par un morceau de bois arrondi, de même surface, sur lequel je fixai un prisme triangulaire en forme de *couteau*, destiné à supporter un fort levier (voy. pl. 11, fig. 3). Ce levier était mobile dans un plan vertical, autour d'un point fixe pris au dehors. Des divisions marquées sur sa longueur permettaient d'arrêter un poids de 10 kil. à des distances connues du point d'appui et du couteau. Je trouvai le même arc de 9 millimètres pour un poids de 70 kil., et j'augmentai la pression en rapprochant le poids de l'extrémité libre du levier. J'observai alors que, pour les poids de 80 et 90 kil., j'avais les longueurs respectives de 11 et 12 millimètres. Fixant alors la sandale à une chaussure sans talon, je fis divers pas de marche, toutes choses égales d'ailleurs. Les plus grands écarts que j'obtins ne dépassèrent pas 12 millimètres; mais je trouvai toujours des arcs supérieurs à 9 millimètres. J'opérai de même sur la chambre antérieure de la semelle, et je vis la pression augmenter avec la grandeur des pas, tout en restant comprise entre les mêmes limites.

Je suis donc autorisé à dire que :

1° *La pression du pied sur le sol est plus forte pendant la progression que pendant la station.*

2° *Cette pression augmente avec la grandeur des pas.*

3° *L'augmentation de pression ne dépasse pas un poids de 20 kil.*

Les tracés graphiques de la figure 1 montrent que *la foulée du talon atteint son maximum un peu après son poser, et celle de la pointe un peu avant son lever.*

La même figure permet aussi de voir que *la foulée du talon atteint rapidement son maximum, tandis que celle de la pointe n'y*

arrive que plus lentement. Il faut en chercher la raison dans le choc déterminé par la chute du tronc, quand le membre antérieur se pose sur le sol.

On peut conclure des considérations précédentes que :

Dans la marche naturelle, le pied commence à se poser en tombant sur le talon, puis il continue son mouvement en s'appliquant par toute la plante, et se déroule en s'appuyant fortement sur sa partie antérieure pour se détacher enfin par la pointe.

4° *Durée de la foulée ou temps d'appui du pied sur le sol.* — Il s'agit d'évaluer le temps correspondant à l'intervalle qui sépare les lignes 4 et 7 (fig. 4).

Soient L la longueur de l'intervalle 4-7, et λ celle de la seconde enregistrée, pendant ce temps, par le compteur électrique. En désignant par x le temps d'appui, on aura :

$$\frac{x}{L} = \frac{1}{\lambda}, \quad \text{d'où } x = \frac{L}{\lambda}.$$

Le temps de l'appui du pied sera donc exprimé par le rapport de la longueur de la foulée à la longueur de la ligne qui représente la seconde correspondante.

Il est clair qu'on pourra ainsi calculer le temps de l'appui pour chaque partie en particulier.

5° *Durée de l'oscillation du membre inférieur.* — On l'obtiendra en cherchant la durée de l'intervalle 7-9 (fig. 4) qui sépare deux foulées consécutives du même pied.

Soit x le temps inconnu. Désignons par l la distance 7-9 et par λ' la longueur de la seconde correspondante. On aura :

$$\frac{x}{l} = \frac{1}{\lambda'}, \quad \text{d'où } x = \frac{l}{\lambda'}.$$

Le temps de l'oscillation de la jambe sera donc donné par le rapport de la longueur de l'intervalle d'oscillation à la longueur de la ligne qui représente la seconde correspondante.

On voit aussi qu'on pourra calculer séparément la durée de chaque oscillation en particulier.

Remarque. — La seule inspection de la figure 4 suffit à montrer que, dans la marche, le temps de l'oscillation d'une jambe (3-5) est toujours plus court que le temps d'appui (1-7) de la jambe opposée. Cela résulte d'ailleurs de la définition même de la marche.

Dans la marche, en effet, le corps ne doit jamais quitter le sol. Or, au moment où une jambe se lève pour osciller, l'autre est à l'appui et elle y reste encore après que l'oscillation est terminée. La durée de l'appui d'une jambe est donc forcément plus longue que celle de l'oscillation de l'autre. On peut même dire que, si les pas se suivent et se ressemblent (ce qui a lieu le plus souvent), *la durée de l'appui d'une jambe est égale au temps de l'oscillation de l'autre, plus deux fois le temps du contact simultané des pieds avec le sol.*

On peut vérifier cette égalité sur la figure 4, et nous l'exprimerons par l'équation :

$$(1) \quad T_a = T_o + 2T_{2a},$$

où T_a , T_o , T_{2a} , représentent respectivement les durées de l'appui unilatéral, de l'oscillation et du double appui.

Cette relation permettra de calculer l'une quelconque de ces quantités, quand on connaîtra les deux autres.

6° *Valeur de l'empiètement des foulées, ou temps du double appui.* — On peut déduire ce temps de l'équation précédente, ce qui donne :

$$T_{2a} = \frac{T_a - T_o}{2}.$$

C'est-à-dire que *la durée du double appui est égale à la demi-différence de la durée de l'appui unilatéral et de celle de l'oscillation de la jambe.*

On peut aussi trouver directement la durée du double appui, en divisant sa longueur graphique 1-3 (fig. 4) par celle de l'unité de temps correspondante. Ce temps n'est donc pas « inappréciable », comme le dit M. Giraud-Teulon, dans l'article *Locomotion*, que vient de publier le *Dictionnaire des sciences médicales*.

ARTICLE II.

Du pas.

On appelle *pas*, l'espace mesuré dans la direction du chemin, qui sépare les points où les deux pieds ont touché le sol l'un après l'autre par le talon ou l'ont quitté par la pointe.

Il est clair qu'on pourrait aussi prendre, pour mesure du pas, l'espace compris entre deux autres points symétriquement placés dans les deux pieds; mais la distance entre les talons ou les pointes de ces pieds étant plus facile à apprécier que celle qui existe entre deux points intermédiaires quelconques, on a dû prendre l'une ou l'autre de ces extrémités pour définir le pas. Nous choisirons ici de préférence le talon, à cause du soulèvement plus brusque de sa foulée. On peut voir (fig. 2) que, dans la marche, il est plus difficile de saisir le moment précis du lever que celui du poser. Cette simple considération nous fera prendre toujours la distance entre les foulées du talon pour la représentation graphique de la longueur du pas.

Chaque pas présente deux éléments essentiels à considérer : 1° sa grandeur, 2° sa durée.

1° *Grandeur du pas*. — Pour trouver la grandeur du pas, d'après sa représentation graphique 1-5 (fig. 4), appelons k le rapport des rayons du chemin circulaire et du cylindre enfumé. Si d est la longueur de l'intervalle 1-5, il est clair que kd sera la grandeur réelle du pas correspondant.

La grandeur d'un pas s'obtiendra donc en multipliant la longueur de son tracé graphique par le rapport des rayons du chemin sur lequel s'effectue la marche et du cylindre sur lequel elle s'enregistre.

Dans les expériences que j'ai faites, ce rapport était égal à 50.

2° *Durée du pas*. — On la trouvera en cherchant le temps employé à parcourir l'espace 1-5 (fig. 4).

Soient d la longueur de l'espace 1-5, et λ celle de la seconde

enregistrée dans cet intervalle, on aura, appelant α la durée du pas :

$$\frac{\alpha}{d} = \frac{1}{\lambda^n}, \quad \text{d'où } \alpha = \frac{d}{\lambda^n}.$$

La durée d'un pas est donc égale au quotient de sa longueur graphique par celle de la seconde correspondante.

Remarque I. — On peut voir, sur la figure 4, que la durée d'un pas est égale à celle du double appui, plus celle de l'oscillation de la jambe ; ce qu'on pouvait d'ailleurs facilement prévoir, d'après la définition même du pas, et ce qu'on peut exprimer par l'équation :

$$(2) \quad T_p = T_o + T_{2a},$$

où T_p représente la durée du pas, les autres lettres ayant la même signification que dans l'équation (1).

Remarque II. — Pour trouver la durée des phénomènes que je viens d'analyser, on est obligé de prendre comme mesure du temps la longueur de la seconde qui correspond à l'intervalle que l'on considère ; or ce dernier ne comprend que très-exceptionnellement la longueur d'une seconde.

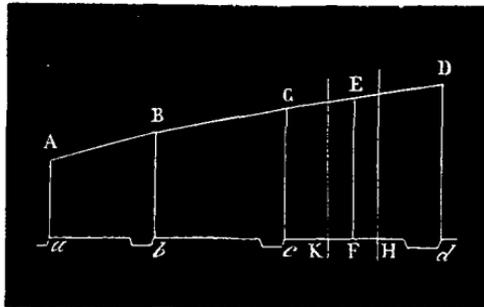


FIG. 8.

Soit, par exemple (fig. 8) à mesurer la durée d'un espace HK qui tombe entre les points extrêmes c et d de la longueur d'une seconde. Voici comment j'opère :

En chacun des points c et d j'éleve, sur la ligne des temps, des perpendiculaires cC et dD égales respectivement à la longueur de la seconde précédente, et je joins CD . Cherchant alors le point F milieu de HK , j'éleve sur cette ligne la perpendiculaire EF , que je prolonge jusqu'à sa rencontre en E avec CD . Je prends la ligne EF ainsi obtenue pour représenter la longueur de la seconde correspondant à l'intervalle HK .

La démonstration est des plus simples.

Si, pour évaluer la durée de l'intervalle HK , on prenait la longueur de l'une des perpendiculaires élevées aux points H ou K , on aurait certainement un résultat plus exact qu'en prenant la longueur trop grande dD de la seconde cd . Un résultat encore plus approché sera donné par l'emploi de la ligne EF qu'on sait être égale à la demi-somme ou à la moyenne des perpendiculaires élevées aux extrémités de l'intervalle à mesurer.

Rapport entre la durée et la grandeur des pas. — Les frères Weber ont cru pouvoir poser, comme règle générale, que « le nombre des pas faits dans un temps donné est directement proportionnel à leur longueur ». Ils expriment le même fait en disant encore : « Dans la marche naturelle et sans efforts, mais variée quant à la vitesse, la longueur des pas croît avec la vitesse..... Moins un pas coûte de temps, plus il est grand. »

Cette assertion des Weber a été vivement attaquée. Tout le monde sait, en effet, qu'on peut marcher très-vite en faisant de petits pas, et aller au contraire très-lentement en en faisant de grands. Mais cette objection n'est pas aussi sérieuse qu'on pourrait croire, car les Weber disent fort bien : « Nos déductions théoriques ou expérimentales sur la marche *naturelle* ont constaté un accroissement simultané de la grandeur des pas et de leur nombre dans un temps donné. » Or ils entendent par marche *naturelle*, celle dans laquelle les pas ne sont ni trop petits ni trop grands, et ne s'effectuent ni trop vite ni trop lentement. Nous verrons que, dans ce cas, l'opinion des Weber n'est pas très-éloignée de la vérité.

Pour mieux faire concevoir la loi qu'ils énoncent, les Weber en donnent une représentation graphique. Ils prennent deux axes rectangulaires et portent sur l'axe des x , à partir de l'origine, diverses longueurs de pas. Les durées de ces pas sont comptées sur des perpendiculaires élevées aux extrémités des abscisses. En joignant par un trait continu les sommets des ordonnées ainsi obtenues, on a la courbe de la loi du rapport de la longueur des pas à leur durée. Comme cette courbe, sur le dessin qu'en donnent les Weber, se rapproche beaucoup d'une ligne droite, ils sont fondés à dire que « les changements correspondants de la longueur et de la durée des pas sont presque proportionnels les uns aux autres ».

LONGUEUR du pas.	DURÉE DU PAS.	TEMPS de l'appui.	TEMPS de l'oscillation.
m	s	s	s
0,52	0,91	0,95	0,88
0,56	0,78	0,84	0,73
0,60	0,73	0,81	0,66
0,67	0,69	0,74	0,65
0,71	0,69	0,74	0,65
0,75	0,69	0,74	0,65
0,79	0,69	0,74	0,65
0,82	0,69	0,74	0,65
0,85	0,68	0,73	0,63
0,87	0,67	0,72	0,62
0,90	0,65	0,70	0,60
0,93	0,65	0,70	0,60
0,97	0,65	0,70	0,60

Pour vérifier, par la méthode graphique, la valeur de l'assertion des Weber, j'ai fait diverses marches dans lesquelles la grandeur des pas allait en augmentant ; puis j'ai calculé exactement la durée et la grandeur de chacun de mes pas au moyen du procédé dont la figure 8 donne la démonstration géométrique. J'ai cherché, en outre, la durée de l'appui et celle de l'oscillation pour chaque pas en particulier. Rapportant alors ces données à deux axes rectangulaires, j'ai obtenu trois courbes pour les durées respectives du pas, de l'appui et de l'oscillation.

Je donne, dans le tableau ci-dessus, les résultats numériques d'une de mes expériences.

La figure 9 représente les tracés construits avec ces données.

AA' est la ligne qui joint les sommets des ordonnées dont chacune correspond à la durée de l'appui, pour un pas dont la grandeur est prise pour abscisse. Je l'appellerai, pour simplifier, la courbe de la durée de l'appui. PP' et OO' sont, en employant le même langage, les courbes respectives des durées du pas et de l'oscillation de la jambe.

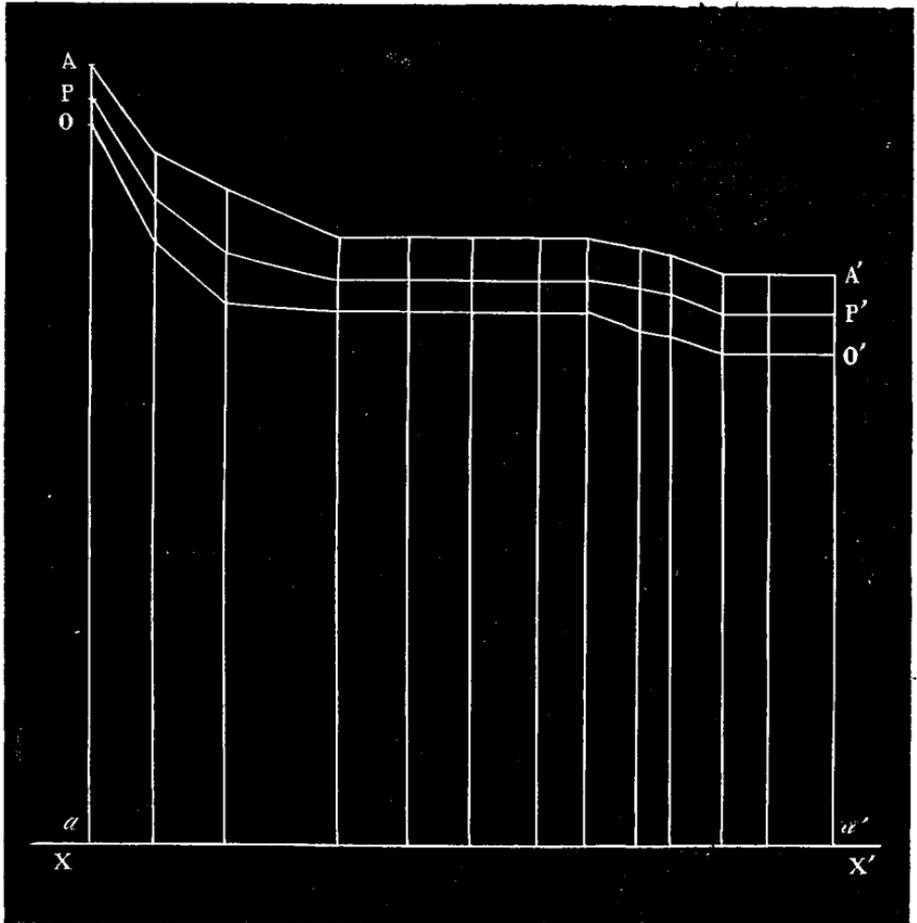


FIG. 9.

L'origine à partir de laquelle sont comptées les longueurs de pas est située à gauche du point a. Le centimètre est représenté par une longueur de 2 millimètres sur la ligne des abscisses,

et le centième de seconde répond à 1 millimètre de la longueur des ordonnées.

Cette expérience est, de toutes celles que j'ai faites, celle qui est le plus favorable à la théorie des Weber. Il n'est pas rare de voir les trois courbes AA', PP', OO', présenter une légère courbure à concavité inférieure, en un point de leur trajet; mais on peut dire néanmoins, qu'en général, *la durée du pas diminue à mesure que sa longueur augmente*. Seulement, je n'ai point constaté, entre ces deux éléments, la variation inversement proportionnelle dont parlent les Weber. Ainsi, on peut voir (page 31) que des pas de 0^m,67, 0^m,71, 0^m,75, 0^m,79 et 0^m,82 ont mis le même temps 0^s,69 à s'effectuer.

Je me borne donc à signaler le fait de la diminution de durée du pas, coïncidant généralement avec son augmentation de longueur, et j'adopte entièrement la raison qu'en donne M. Giraud-Teulon. « Au moment, dit-il, où le corps ne repose que sur une seule jambe, à mesure que l'angle antérieur de cette jambe avec l'horizon diminue, la chute devient de plus en plus imminente; il est donc important, pour la prévenir, que la jambe antérieure arrive vite à son poste, en avant ou à l'aplomb de la ligne de propension. C'est cette nécessité qui crée une sorte de rapport entre la longueur du pas et sa vitesse. »

Relations entre les foulées et les pas. — Les lignes 1 et 2 de la figure 10 représentent les foulées respectives de la partie antérieure et de la partie postérieure du même pied obtenues en faisant des pas d'abord très-petits, puis de plus en plus grands, au fur et à mesure qu'on s'avance dans la direction de la flèche. Or, il est manifeste que *les foulées de la pointe accusent une augmentation de pression qui coïncide avec l'augmentation de longueur des pas*, tandis que *les foulées du talon restent très-sensiblement constantes*.

La ligne 3 de la figure 10 donne l'explication de ces deux résultats de l'expérience. Cette ligne représente le tracé des oscil-

lations verticales du pubis, obtenu dans les mêmes conditions que le graphique des foulées.

On voit que tous les maxima de la courbe des oscillations ver-

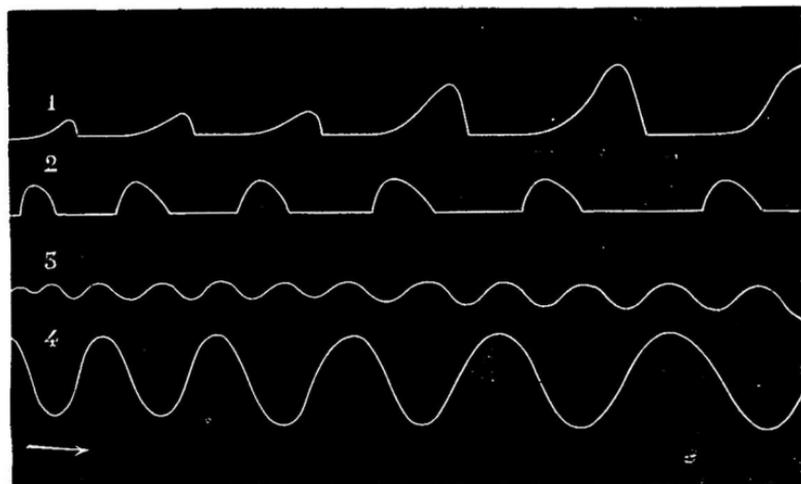


FIG. 10. — Représentant les foulées d'un pied et les mouvements oscillatoires du pubis, quand la grandeur des pas va en augmentant à mesure qu'on s'avance dans le sens de la flèche. — 1, graphique de la pointe du pied gauche. — 2, graphique du talon gauche. — 3, oscillations verticales du pubis. — 4, ses oscillations horizontales.

тикаles du pubis sont situés sur une ligne horizontale, tandis que le niveau des minima s'abaisse de plus en plus. J'aurai plus tard à revenir sur ces faits ; mais, dès à présent, leur simple constatation suffit pour qu'on puisse dire :

1° Le tronc, s'élevant constamment au même niveau, tombera toujours de la même hauteur sur le talon, dont la foulée aura par suite aussi toujours la même hauteur (1).

2° Le tronc s'abaissant de plus en plus, l'effort musculaire du membre inférieur devra être de plus en plus considérable, pour pouvoir porter le tronc à la même hauteur. Cet effort se traduira par une augmentation de pression de la partie antérieure

(1) Il est bien entendu que je laisse ici de côté cette espèce de marche à très-grands pas où l'on fléchit fortement le genou avant de toucher terre, et où, par suite, le tronc parcourant un plus grand trajet, le talon frappe le sol avec plus de force. Il n'est question, dans ce travail, que de la marche *naturelle* (tout le monde sait ce que c'est). Je ne prétends pas assigner des lois *générales* à des phénomènes qui offrent tant de cas *particuliers* à étudier.

du pied, qui seule alors touche le sol; d'où l'augmentation de hauteur constatée dans la foulée de la pointe.

Relation entre la durée d'un pas et les temps d'appui et d'oscillation des jambes. — On n'a qu'à jeter les yeux sur la figure 9, pour voir que les points P et P' sont les milieux des lignes AO et A'O'. On constatera de même que tous les points intermédiaires de la ligne PP' sont situés à égale distance des points correspondants des lignes AA' et OO'. On peut exprimer ce fait en disant que les ordonnées de la ligne PP' sont égales à la demi-somme des ordonnées correspondantes des lignes AA' et OO'; ou encore que la durée d'un pas est égale à la demi-somme des durées de l'appui et de l'oscillation des jambes qui l'effectuent.

On aura donc, en se servant de la notation déjà employée :

$$T_p = \frac{T_a + T_o}{2}.$$

Ce résultat pouvait être prévu. Nous avons vu, en effet, page 27, et plus loin, page 29, qu'on a les équations :

$$(1) \quad T_a = T_o + 2T_{2a}.$$

$$(2) \quad T_p = T_o + T_{2a}.$$

Or, si nous éliminons T_{2a} entre ces deux équations, il vient :

$$T_p = T_o + \frac{T_a - T_o}{2}, \quad \text{d'où} \quad T_p = \frac{T_a + T_o}{2},$$

formule identique avec celle que nous venons de trouver expérimentalement.

Remarque. — On ne saurait, après cela, admettre la loi suivante, qui a été formulée par les Weber :

« La durée d'un pas, dans la marche la plus rapide, est égale à la demi-durée d'une oscillation de la jambe. »

Mais, si rapide que soit la marche, il y aura toujours un temps d'appui, et, T_a n'étant pas nul, jamais la dernière équation ne pourra se réduire à :

$$T_p = \frac{T}{2}.$$

D'ailleurs, les expériences que j'ai faites sur la marche rapide, en calculant directement les durées du pas et de l'oscillation, ne m'ont jamais donné le résultat annoncé par les Weber. J'ai constamment trouvé que T_p l'emportait notablement sur $\frac{T_o}{2}$. Plus la marche est rapide, plus ces deux quantités se rapprochent l'une de l'autre, mais elles ne deviennent *jamais* égales, comme le veulent les physiologistes allemands.

CHAPITRE IV.

DES MEMBRES INFÉRIEURS DANS LA MARCHÉ.

Les membres inférieurs sont des appuis qui peuvent s'allonger ou se raccourcir, par l'extension ou la flexion de leurs segments les uns sur les autres.

Trois articulations sont destinées à produire l'allongement ou le raccourcissement du membre inférieur : 1° l'articulation que la cuisse forme avec la jambe, au genou ; 2° l'articulation que la jambe fait avec le pied ; 3° l'articulation que font les orteils avec le reste du pied.

On trouvera, dans tous les traités d'anatomie, la description de ces articulations ; mais je rappellerai ici que c'est surtout aux travaux des Weber qu'on doit la connaissance de leur mécanisme.

Je considérerai le membre inférieur dans ses deux positions successives d'appui et de soutien.

1° DU MEMBRE INFÉRIEUR A L'APPUI. — Au moment du *poser*, la jambe est étendue ou très-légèrement fléchie. Cette flexion augmente au début de l'*appui*, comme j'ai pu m'en assurer en mar-

chant, avec un genou ankylosé artificiellement. J'ai vu alors paraître, dans la courbe des oscillations verticales du pubis, deux séries de minima situées sur deux plans différents. Ceux dont le niveau était le plus élevé se produisaient quand la jambe ankylosée se posait sur le sol; les autres se rapportaient à la jambe normale. Immédiatement après son poser, l'articulation du genou se fléchit donc, mais elle s'étend presque aussitôt, et son extension est complète au moment où le talon quitte le sol. Les articulations du pied avec la jambe et les orteils s'ouvrent ensuite successivement l'une après l'autre. Ainsi se produit un allongement du membre, qui peut aller, suivant les Weber, jusqu'au septième de sa longueur. Par le fait de cet allongement, le tronc se trouve poussé en avant.

La jambe à l'appui joue donc un double rôle, et la comparaison de Borelli est incomplète. La gaffe sert bien à la progression du bateau, mais c'est l'eau qui le porte, tandis que la jambe doit en même temps soutenir le tronc et le faire avancer.

Quand l'extension du membre inférieur est arrivée à son maximum, le pied quitte le sol par la flexion du genou, et non pas, comme on pourrait le croire, par une action de ses muscles fléchisseurs. Le pied ainsi que les orteils restent étendus, et le *lever* s'effectue alors sans frottement.

2° DU MEMBRE INFÉRIEUR AU SOUTIEN. — Suivant les Weber, la jambe suspendue est chassée par son propre poids et oscille, comme un pendule, d'arrière en avant. « Pendant ce temps, disent-ils, les muscles qui unissent le membre inférieur au tronc tombent dans l'inaction. » M. Duchenne (de Boulogne) soutient, au contraire, que la projection du membre inférieur en avant ne peut avoir lieu sans l'intervention des muscles.

En rendant compte du procédé expérimental des Weber, j'ai montré (voy. page 8) le peu de cas qu'il fallait faire de leur assertion. Pour apprécier la valeur des observations de M. Duchenne (de Boulogne), j'ai cherché à enregistrer, au moyen du tambour explorateur de Marey, la contraction des principaux muscles du membre inférieur, dans la marche. Les résultats que

j'ai obtenus confirment la théorie de M. Duchenne et peuvent même servir à la compléter.

Les deux graphiques A et C de la figure 7 répondent respectivement aux contractions des muscles postérieurs et du droit antérieur de la cuisse. Le tracé intermédiaire B représente les foulées du pied correspondant, et, par suite, l'intervalle 1-2 est la période d'oscillation de la jambe. Or, on voit que la contraction des muscles de la région postérieure de la cuisse commence bien avant que le pied vienne se poser sur le sol. Le droit antérieur lui-même, en faveur duquel M. Duchenne (de Boulogne) avait fait une exception, se contracte pendant plus de la première moitié de la période de soutien, fléchissant ainsi la cuisse sur le bassin (fig. 7, ligne C, intervalle 1-2).

Il résulte de ce qui précède que la théorie de l'oscillation pendulaire *imaginée* par les Weber est entièrement fausse. Si l'on veut assimiler le membre inférieur à un pendule, il faut ajouter que ce pendule est soumis, non-seulement à l'action de la pesanteur, mais encore à l'influence musculaire.

DE LA TRAJECTOIRE DÉCRITE PAR LE SOMMET DU MEMBRE INFÉRIEUR (GRAND TROCHANTER). — On lit, dans l'ouvrage des Weber (trad. Jourdan, p. 248) : « Lorsque, dans la marche, la jambe s'étend peu à peu, la sphère de la tête du fémur peut se mouvoir en ligne horizontale. » Plus loin (p. 269), les mêmes auteurs disent encore : « Pour empêcher la jambe qui pèse sur le sol de faire tourner le tronc, le point du pied qui appuie sur le sol, la tête du fémur qui appuie sur le bassin, et le centre de gravité du corps peuvent facilement être maintenus dans un plan vertical parallèle au chemin, ce qui, en réalité, arrive aussi. »

Autrement dit, les Weber prétendent que la tête du fémur, pendant la marche, se meut à la fois dans deux plans, l'un horizontal, et l'autre vertical, parallèle à l'axe du chemin. Sa trajectoire serait alors la ligne d'intersection de ces deux plans, c'est-à-dire une ligne droite horizontale parallèle au chemin. Or, c'est là une erreur si grossière et tellement incompatible avec le passage qu'on va lire, que j'hésite à en tenir compte. Les Weber

disent, en effet (*loc. cit.*, page 386) : « Pour faire des expériences précises à ce sujet (oscillations verticales du tronc), nous employâmes le moyen suivant. L'un de nous, dont on devait observer la marche, portait à la main une mesure blanche, divisée en millimètres par des lignes droites, et tenue appliquée contre le grand trochanter, dans une situation telle que l'autre pouvait la voir avec la lunette, quand le marcheur lui tournait le dos. Comme le sommet du grand trochanter est de niveau avec le centre de la tête du fémur, et qu'il conserve toujours cette même hauteur relative pendant la marche, on pouvait, dans nos expériences, l'observer à la place de la tête du fémur elle-même. La lunette fut établie à la même hauteur que les têtes des fémurs et dans la direction du chemin. Si l'on observait le marcheur à l'aide de cet instrument, on voyait la mesure qu'il portait monter et descendre par rapport au fil immobile contenu dans la lunette, suivant que le tronc s'abaissait ou s'élevait. »

Ainsi les Weber conviennent eux-mêmes que, dans la marche, le grand trochanter et la tête du fémur se comportent l'un comme l'autre. Comment alors expliquer leurs deux opinions contraires au sujet de la trajectoire de ces points ? Je ne chercherai pas ici à les mettre d'accord avec eux-mêmes, et je laisserai entièrement de côté une discussion qui roulerait sur les *mots*, afin de m'occuper uniquement des *choses*.

Pour trouver la trajectoire du grand trochanter, je n'ai eu qu'à fixer en ce point la baguette exploratrice des mouvements oscillatoires du tronc. La marche, effectuée dans ces conditions, m'a fourni les deux courbes représentées par la figure 41. Le graphique T.g.v. est donné par le tambour explorateur à levier vertical, et la courbe T.g.h. est transmise par le levier horizontal de l'autre tambour. Ces deux tracés indiquent, le premier, que le grand trochanter s'élève ou s'abaisse par rapport à un plan horizontal ; le second, qu'il se rapproche et s'éloigne d'un même plan vertical parallèle à l'axe du chemin parcouru. Il faut donc, d'après cela, regarder comme entièrement dénuée de fondement l'hypothèse de la trajectoire rectiligne et horizontale du grand trochanter.

Pour décrire les divers mouvements du trochanter pendant la marche, je les rapporterai à trois axes rectangulaires. Le premier (axe des x) sera dirigé horizontalement en avant, dans le sens de la marche ; le second (axe des y), également horizontal, sera perpendiculaire à la direction du chemin, et le troisième enfin (axe des z) sera vertical.

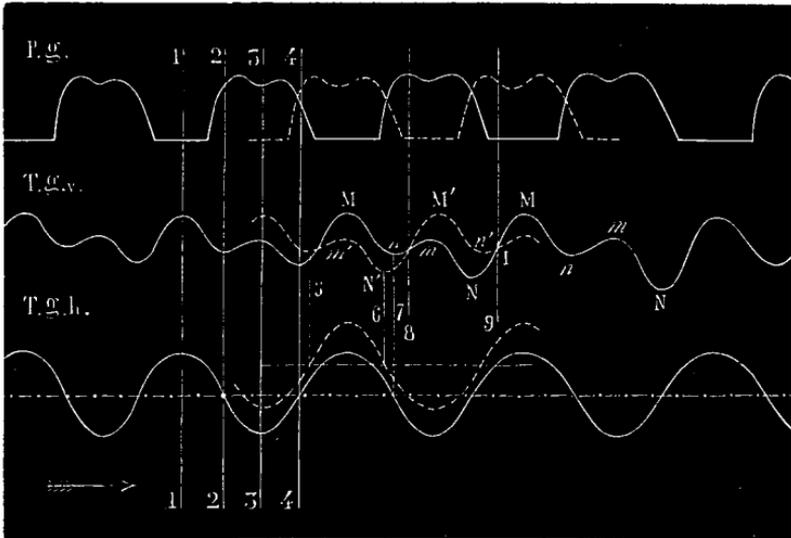


FIG. 11. — Représentant les rapports de la trajectoire du grand trochanter avec les foulées et les pas. — P. g., tracé du pied gauche (la partie ponctuée répond au pied droit). — T. g. v., graphique des oscillations verticales du grand trochanter gauche (la courbe ponctuée correspond au grand trochanter droit). — T. g. h., graphique des oscillations horizontales du grand trochanter gauche (la courbe ponctuée correspondant encore au grand trochanter droit).

1° MOUVEMENT HORIZONTAL DU GRAND TROCHANTER DANS LA DIRECTION DU CHEMIN, OU D'ARRIÈRE EN AVANT (suivant l'axe des x). — On peut voir, sur la figure 11, que si l'on mène des lignes verticales à l'origine ou à la fin de deux foulées consécutives d'un même pied, les points de rencontre de ces lignes avec les deux tracés T.g.v. et T.g.h. seront semblablement situés sur les deux courbes. Or, d'après la manière dont ces courbes ont été obtenues, ceux de leurs points qui se trouvent sur une même ligne verticale répondent à un même point de l'espace.

Il suit de là que :

1° La série des phases par lesquelles passe le grand trochanter,

pour effectuer une révolution complète, s'accomplit dans l'intervalle d'un double pas.

2° La distance des deux extrémités de la trajectoire décrite par le grand trochanter, pendant un double pas, est égale à la longueur de ce double pas.

Il était, on va le voir, facile de prévoir ce dernier résultat de l'expérience.

Représentons, pour simplifier, le membre inférieur par une ligne droite, le pied par un point, et partons de l'instant où les deux jambes à l'appui font le même angle avec l'horizon, et où, par suite, le triangle qu'elles déterminent est isocèle.

Soient, dans cette hypothèse (fig. 12), OA la jambe anté-

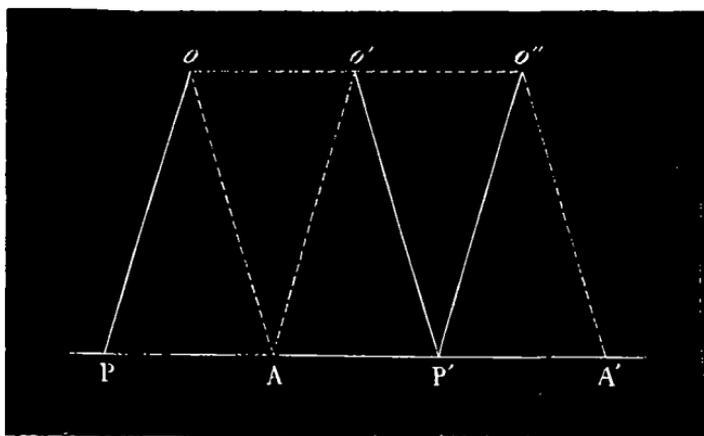


FIG. 12.

rieure, et OP la jambe postérieure. Quand cette dernière sera venue en O''P', c'est-à-dire dans une position parallèle à celle de départ, un double pas aura été effectué, dont la longueur sera PP'. Il est clair que, pendant ce temps, le point O sera venu en O', et que le trajet OO'O'' sera égal au chemin PAP', puisque les deux lignes OO'' et PP' sont des parallèles comprises entre parallèles.

Nous verrons plus loin la quantité dont le grand trochanter s'avance, dans la direction du chemin, pendant un pas simple.

2° MOUVEMENT HORIZONTAL DU GRAND TROCHANTER PERPENDICULAIREMENT A LA DIRECTION DU CHEMIN, OU DE GAUCHE A DROITE, ET RÉCIPROQUEMENT (*suivant l'axe des y*). — La considération de la courbe T.g.h. (fig. 11) montre que le trochanter, pendant la marche, oscille de droite à gauche, et réciproquement. Or, si l'on se souvient de la description de l'appareil explorateur des mouvements oscillatoires du tronc (voy. page 17), et si l'on jette les yeux sur la planche 11 ou sur la figure 1 de la planche 12, on verra que les maxima de la courbe T.g.h. correspondent aux déviations extrêmes du grand trochanter à droite, et ses minima aux déviations extrêmes de cette apophyse à gauche.

En d'autres termes, quand la courbe monte, sur la figure, cela veut dire que le grand trochanter va de gauche à droite, et quand elle descend, qu'il se dirige au contraire de droite à gauche.

Si l'on rapproche le graphique T.g.h. du tracé P.g. (fig. 11), on voit (ligne 1) que le trochanter gauche est à son maximum d'écart à droite, quand le pied droit est au milieu de sa période d'appui et le gauche au milieu de celle de soutien. La ligne 3 de la même figure montre que ce point est à son maximum d'écart à gauche, quand au contraire le pied gauche est au milieu de l'appui, et, par suite, le droit au milieu du soutien. Les lignes 2 et 4 sont aussi faciles à comprendre. Elles indiquent qu'au moment du double appui, le grand trochanter est au milieu de son oscillation horizontale.

Le trochanter droit se comporte évidemment avec le pied droit comme le trochanter gauche avec le pied gauche.

On peut donc dire que :

1° *Les deux trochanters sont chacun à leur maximum d'écart à gauche, quand le pied gauche est au milieu de sa période d'appui, et à leur maximum d'écart à droite, quand ce même pied est au milieu de la période de soutien.*

2° *Les deux trochanters sont chacun au milieu de leur période d'oscillation bilatérale, quand les deux pieds sont en contact avec le sol.*

Il faut bien faire attention que les maxima et les minima des

deux courbes d'oscillation horizontale sont situés deux à deux sur une même ligne verticale, tandis que les points d'inflexion se trouvent, dans ces deux courbes, sur des perpendiculaires différentes. (Voy. fig. 11, lignes 4 et 5, 6 et 7). Cela veut dire que :

3° Les deux trochanters se trouvent, au milieu de la période d'appui unilatéral, dans un même plan vertical perpendiculaire au chemin. A tout autre instant de la marche, cette condition cesse d'avoir lieu, et le trochanter de la jambe postérieure se trouve situé derrière celui de la jambe antérieure.

3° MOUVEMENT VERTICAL DU GRAND TROCHANTER, OU DE HAUT EN BAS, ET INVERSEMENT (suivant l'axe des z). — Une particularité offerte par la courbe T.g.v. (fig. 11) des oscillations verticales du grand trochanter, c'est que les maxima et les minima y présentent deux séries de grandeurs. Ainsi, pour aller sur la courbe du maximum situé le plus haut, M, au minimum situé le plus bas, N, il faut passer d'abord par un minimum n plus élevé que N, et ensuite par un maximum m moins élevé que M.

Tout ce que je viens de dire, au sujet de la courbe décrite par le grand trochanter gauche, peut s'appliquer à celle qui est fournie par le grand trochanter droit. J'ai représenté une partie de cette dernière, en traits pointillés, sur la figure 11, où deux foulées du pied droit se trouvent aussi indiquées.

Si l'on rapproche les tracés des oscillations verticales du trochanter de ceux des foulées correspondantes, on voit que les maxima M, M' répondent au milieu de la période de soutien, et les maxima m , m' au milieu de celle d'appui. Or ces deux périodes ont lieu en même temps. Au milieu de l'appui unilatéral, les deux trochanters sont donc dans un même plan vertical (ce que nous savions déjà), mais ils s'y trouvent à des hauteurs différentes. Celui du membre à l'appui est toujours situé plus bas que l'autre.

Que si l'on considère maintenant la série des minima, on verra qu'ils ont tous lieu au moment du double appui ; mais le grand trochanter de la jambe antérieure est toujours situé plus haut que celui de la jambe postérieure. Or, nous savons qu'à ce mo-

ment, le premier trochanter est situé en avant du second. Il y a ainsi, entre les deux trochanters, un double mouvement de bascule, sur lequel j'aurai à revenir plus tard. Par le fait de ce mouvement, l'un des trochanters s'élève ou s'abaisse par rapport à l'autre, en même temps qu'il s'approche ou s'éloigne de lui. De même qu'il y a un moment où les deux apophyses se trouvent dans un plan perpendiculaire au chemin, de même il y aura un moment où elles seront situées dans un plan qui lui sera parallèle. Ce dernier moment est indiqué, sur la figure 11, par l'intersection des deux courbes au point I. Il suit presque immédiatement le lever du pied postérieur, ainsi qu'on pouvait s'y attendre (voy. fig. 11, lignes 8 et 9).

Donc :

1° *Le grand trochanter passe par deux maxima d'élévation situés à des niveaux différents. Le plus élevé correspond au milieu de la période de soutien, et le moins élevé au milieu de la période d'appui de la jambe correspondante.*

2° *Le grand trochanter passe par deux minima d'élévation situés à des niveaux différents. Ils ont lieu au moment du double appui. Le plus élevé correspond à la jambe antérieure, et le moins élevé à la jambe postérieure.*

3° *Il y a un moment où les deux trochanters sont situés à la même hauteur. Ce moment arrive presque immédiatement après le lever du pied postérieur.*

RAPPORTS DES OSCILLATIONS VERTICALES ET HORIZONTALES DU GRAND TROCHANTER. — Nous venons de voir que :

1° *Les deux trochanters sont soumis à un double mouvement de bascule par lequel l'un s'élève ou s'abaisse par rapport à l'autre, en même temps qu'il s'approche ou s'éloigne de lui.*

Si l'on consulte la figure 11, on verra facilement que :

2° *Chaque trochanter atteint ses limites extrêmes d'oscillation horizontale au moment même où arrivent ses maxima d'élévation.*

3° *Chaque trochanter arrive au milieu de sa période d'oscil-*

lation horizontale en même temps qu'il passe au minimum dans la verticale.

Enfin on peut voir que les maxima M sont situés à droite, et les maxima *m* à gauche de l'axe de la trajectoire du grand trochanter gauche. Inversement, les maxima M' sont situés à gauche et les maxima *m'* à droite de l'axe de la trajectoire du grand trochanter droit. Il suit de là que :

4° Les maxima les plus élevés de la trajectoire du grand trochanter sont situés plus près de l'axe du chemin parcouru que les maxima les moins élevés.

D'où il est facile de conclure que :

5° Dans la trajectoire du grand trochanter, les maxima les plus élevés correspondent aux minima d'écart, et les maxima les moins élevés aux maxima d'écart, par rapport à l'axe du chemin parcouru.

Tous ces faits sont rendus évidents par la figure 17, dont je donnerai plus tard l'explication.

VARIATIONS DE L'AMPLITUDE DES OSCILLATIONS DU GRAND TROCHANTER AVEC LA GRANDEUR DES PAS. — Nous avons déjà vu (fig. 10) que l'amplitude des oscillations verticales du pubis augmentait avec la grandeur des pas. Le niveau des maxima reste sensiblement constant, et celui des minima s'abaisse au fur et à mesure que les pas deviennent de plus en plus grands. On voit ce phénomène se produire également sur la figure 11, où les maxima M, M', *m*, *m'*, sont tangents à deux lignes horizontales, tandis que les minima N, N', *n*, *n'*, se trouvent situés sur des lignes qui se dirigent vers le bas de la figure. On peut d'ailleurs mesurer directement la grandeur de chacun des pas du tracé P.g. (fig. 11) et l'on verra qu'ils augmentent à mesure que l'on s'avance dans le sens de la flèche.

Ainsi, dans la marche naturelle :

1° Les maxima de la trajectoire décrite par le sommet du membre inférieur sont tous situés à la même hauteur.

2° *Le niveau des minima s'abaisse à mesure que la grandeur des pas augmente.*

Je suis, à ce sujet, en opposition complète avec les Weber. Ces physiologistes, en effet, admettent la constance de l'amplitude des oscillations verticales du grand trochanter, et je viens de montrer qu'au contraire, cette amplitude augmente avec la grandeur des pas. Il faut chercher la raison de cette contradiction dans la valeur du procédé opératoire employé de part et d'autre.

Les Weber observaient avec une lunette placée au loin les oscillations d'une mesure blanche, divisée en millimètres, portée à la main et tenue appliquée contre le grand trochanter du sujet en expérience. La division en millimètres de la mesure semble donner aux recherches des physiologistes allemands une précision mathématique; mais le moyen de fixité de cette mesure qu'on tient à la main, appliquée contre le grand trochanter, fait bien vite évanouir ce semblant de précision. De plus, avec la lunette, il était impossible de noter la valeur exacte de l'amplitude d'oscillation, et il fallait apprécier cette valeur « au moment où le marcheur arrivait à la distance pour laquelle la position de la lunette avait été déterminée. »

Si l'on rapproche de ce procédé celui que j'ai employé, et pour l'application duquel j'ai été obligé de me mettre à l'abri des légères inégalités du sol, on n'aura, j'espère, nulle peine à admettre mes résultats et à rejeter ceux des Weber.

Quant aux oscillations horizontales du trochanter, on peut se convaincre, en jetant les yeux sur la figure 44, que leur amplitude est sensiblement constante. Donc :

3° *L'amplitude des oscillations horizontales de la trajectoire décrite par le sommet du membre inférieur est constante, si l'écart des pieds, compté perpendiculairement à la direction du chemin, est lui-même constant.*

Les expériences faites en écartant plus ou moins les jambes pendant la marche permettent de conclure que :

4° *L'amplitude des oscillations horizontales du grand trochanter*

augmente ou diminue avec l'écart des jambes compté perpendiculairement à la direction du chemin.

VALEUR NUMÉRIQUE DE L'AMPLITUDE DES OSCILLATIONS VERTICALES ET HORIZONTALES DU GRAND TROCHANTER. — Pour obtenir la valeur réelle de l'amplitude des oscillations verticales et horizontales du grand trochanter, je fis décrire un arc A à l'extrémité de la baguette trochantérienne, et j'obtins, sur le cylindre enfumé, un arc correspondant d'une longueur a . Si D et d sont les amplitudes maxima et minima des oscillations du trochanter, enregistrées respectivement pendant les grands et les petits pas, la vraie grandeur de ces amplitudes, dans l'espace, sera représentée par les expressions :

$$\frac{A}{a} \cdot D \quad \text{et} \quad \frac{A}{a} \cdot d.$$

Les deux valeurs extrêmes que j'ai obtenues, pour les oscillations verticales, pendant la marche naturelle, sont :

$$D = 10^{\text{mm}} \quad \text{et} \quad d = 5^{\text{mm}}.$$

Les lettres A et a avaient alors les valeurs : $A = 120$ millim., et $a = 13$ millimètres ; ce qui donne, pour l'expression de la plus grande et de la plus petite amplitude d'oscillation verticale, les nombres 92 millimètres et 46 millimètres, dont la moyenne est de 69 millimètres.

Quant à l'amplitude des oscillations horizontales, elle est d'environ 74 millimètres en moyenne.

Remarques. — 1° Il faut bien faire attention que les courbes T.g.v. et T.g.h. (fig. 11) ne sont pas géométriquement les projections verticale et horizontale de la trajectoire du grand trochanter. Elles ne représenteront son épure qu'à la condition d'être rapportées à la même échelle, dans tous leurs éléments. Or, les abscisses sont réduites dans le rapport de 1 à 50, qui est celui du rayon du cylindre au rayon du chemin circulaire sur lequel

s'effectue la marche. Les ordonnées subissent une réduction moins considérable, car nous avons vu qu'une amplitude de 120 millimètres, dans l'espace, correspondait à un arc enregistré de 13 millimètres. Ainsi, les ordonnées ne sont réduites que dans le rapport de 13 à 120, ou de 1 à 9, 23. Il faudrait donc multiplier les abscisses par 50 et les ordonnées par 9, pour avoir, en vraie grandeur, les projections de la trajectoire elle-même dans l'espace.

2° Je donnerai plus tard le moyen de construire pratiquement la trajectoire que décrit dans l'espace le sommet du membre inférieur. Les considérations dans lesquelles j'entrerai à ce sujet seront mieux comprises, quand j'aurai résolu le problème pour le cas plus simple de la trajectoire du pubis.

3° Les Weber ont parfaitement observé que, dans tout mouvement de progression, le corps se divise en deux sections distinctes. L'une représente le poids à porter et à mouvoir : elle comprend le tronc, la tête et les bras ; l'autre, constituée par les membres inférieurs, doit supporter le fardeau et le mettre en mouvement. Il faut, d'après cela, s'attendre à voir le membre inférieur transmettre au tronc les mouvements du grand trochanter. C'est, en effet, ce qui a lieu, et ce sont même ces mouvements que j'étudierai, dans un instant, sous le nom de *mouvements d'oscillation* du tronc.

4° Le grand trochanter est encore susceptible d'un autre mouvement, qui provient de la rotation du membre suspendu, autour du membre à l'appui. L'étude de ce mouvement sera beaucoup mieux placée plus loin, quand il sera question de la dynamique du bassin.

DE LA CAUSE DES MOUVEMENTS DU MEMBRE INFÉRIEUR. — Ce n'est pas ici le lieu d'examiner les muscles qui entrent en jeu pour produire les mouvements du membre inférieur, pendant la marche. On trouvera leur description détaillée dans tous les traités d'anatomie. Leur action est mieux étudiée que nulle part dans l'excellent ouvrage de M. Duchenne (de Boulogne), sur la physiologie des mouvements.

CHAPITRE V.

DES MOUVEMENTS D'OSCILLATION DU TRONC.

On peut considérer dans le tronc quatre sortes de mouvements : 1° des mouvements d'*oscillation*, 2° des mouvements d'*inclinaison*, 3° des mouvements de *rotation*, 4° des mouvements de *torsion*.

Pour bien comprendre ces divers mouvements du tronc, pendant la marche, il faut les rapporter aux trois axes rectangulaires qui nous ont servi à étudier la trajectoire du grand trochanter dans l'espace (voy. p. 40). Ce chapitre sera consacré uniquement à l'étude des mouvements d'oscillation.

DÉFINITION. — Les mouvements oscillatoires du tronc ne sont autres que ceux qui lui sont transmis par les têtes fémorales dans les variations de longueur et d'incidence qu'éprouvent les membres inférieurs pendant la marche. L'analyse de ces mouvements sera considérablement simplifiée par celle que nous avons faite de la trajectoire du grand trochanter.

J'ai choisi, pour étudier les mouvements oscillatoires, la symphyse du pubis comme point d'exploration (1). Ce point étant en effet très-rapproché de l'axe bicotyloïdien, autour duquel s'effectue le mouvement angulaire du tronc, n'est pas influencé par ce mouvement. En prenant un point plus élevé, j'aurais enregistré le mouvement résultant à la fois de l'inclinaison du tronc et du changement de longueur ou d'incidence des membres inférieurs, ce qu'il fallait éviter. De plus, la symphyse est très-rapprochée du centre de gravité du corps, et les trajectoires de ces deux points doivent différer très-peu l'une de l'autre.

Cela posé, passons à l'examen des mouvements oscillatoires du tronc par rapport aux trois axes coordonnés.

(1) J'emploierai souvent, par abréviation, le mot de *pubis* pour désigner la symphyse du pubis.

1° MOUVEMENT HORIZONTAL DU TRONC DANS LA DIRECTION DU CHEMIN, OU D'ARRIÈRE EN AVANT (*suivant l'axe des x*). — Si l'on se reporte à la figure 4, on verra que l'intervalle compris entre les lignes 1 et 9 se termine par des points semblablement situés sur les courbes O.P.v. et O.P.h., c'est-à-dire que :

1° *La série des phases par lesquelles passe le pubis, pour revenir à une position semblable à celle du point de départ, s'effectue dans l'intervalle d'un double pas.*

2° *La distance des deux extrémités de la trajectoire décrite par le pubis, pendant un double pas, est égale à la longueur de ce double pas.*

Si l'on prend l'intervalle compris entre les lignes 1 et 5, qui représente la longueur graphique d'un pas simple, on voit que cet intervalle se termine par des points semblablement situés sur la courbe O.P.v. et par des points situés à la même distance de l'axe sur la courbe O.P.h.; ce qui prouve que :

3° *La distance, comptée sur la direction du chemin, entre les deux extrémités de la trajectoire décrite par le pubis, pendant un pas, est égale à la longueur de ce pas.*

Ces résultats de l'expérience pouvaient être facilement prévus au moyen d'une démonstration analogue à celle que j'ai donnée pour le mouvement du grand trochanter suivant l'axe des x . (Voy. p. 41, fig. 12).

2° MOUVEMENT HORIZONTAL DU TRONC, PERPENDICULAIREMENT A LA DIRECTION DU CHEMIN, OU DE GAUCHE A DROITE, ET RÉCIPROQUEMENT (*suivant l'axe des y*). — C'est le mouvement par lequel le tronc se porte alternativement à droite et à gauche sur le membre à l'appui.

J'ai donné, avec la description de l'appareil explorateur des mouvements oscillatoires du tronc (voy. p. 18), le moyen d'obtenir le tracé des mouvements bilatéraux du pubis. Le graphique O.P.h. (fig. 4) représente la courbe des oscillations horizontales de ce point pendant la marche. Je rappellerai ici

que les maxima de cette courbe correspondent aux moments où le pubis est le plus éloigné à droite, et les minima aux moments où il est le plus éloigné à gauche. L'ascension de la courbe exprime que le pubis se porte à droite, et sa descente qu'il se dirige au contraire vers la gauche. De plus, il résulte de la symétrie de la courbe que ses points d'inflexion (1) correspondent aux moments où le pubis se trouve au-dessus de l'axe du chemin.

a. *Forme de la courbe des oscillations horizontales du pubis.* — A en juger par la figure 4 (p. 18), la courbe O.P.h. se rapproche énormément d'une sinusoïde. Elle en diffère cependant beaucoup en réalité. Dans la figure 4, en effet, les ordonnées et les

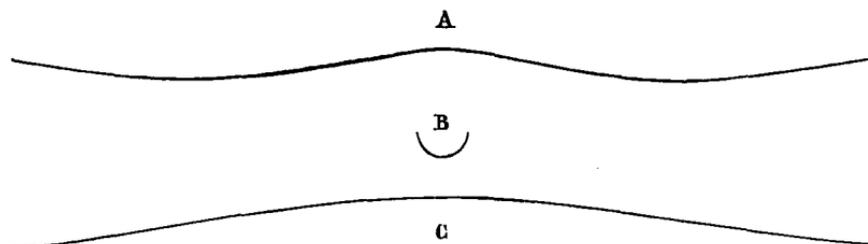


FIG. 13. — Représentant au dixième les projections de la trajectoire du pubis sur les trois plans coordonnés. — A, projection sur le plan vertical xz parallèle à la direction du chemin. — B, projection sur le plan vertical yz perpendiculaire à la direction du chemin. — C, projection sur le plan horizontal xy parallèle à la direction du chemin. — (La longueur de ces courbes correspond à la durée d'un pas double.)

abscisses ne sont pas rapportées à la même échelle, et, pour avoir une idée exacte de la forme de la courbe, il faudrait réduire ces coordonnées dans le même rapport. C'est ce que j'ai fait dans la figure 13, où la courbe C représente, réduite au dixième, la projection horizontale de la trajectoire décrite en vraie grandeur par le pubis. La longueur de cette courbe correspond à l'intervalle d'un double pas et à la distance qui sépare, dans la figure 4, deux minima consécutifs de la courbe O.P.h.

(1) On appelle points d'inflexion d'une courbe, ceux où la courbure change de sens. Ils sont représentés, sur la figure 4, par les intersections des lignes 2, 6, 10 avec la courbe O.P.h.

La courbe des oscillations horizontales du pubis est une sinusoïde considérablement surbaissée, où l'angle que fait, aux points d'inflexion, la courbe avec l'axe est d'environ 7 degrés, tandis que cet angle a, dans la sinusoïde, une valeur de 45 degrés.

b. *Rapports des oscillations horizontales du pubis avec les foulées.* — Ils sont clairement indiqués par la figure 4, où P.d. et P.g. représentent respectivement les foulées du pied droit et du pied gauche, pendant la marche.

1° *Le pubis est à son maximum d'écart à gauche (ligne 4) quand le pied gauche est au milieu de sa période d'appui et le droit au milieu de celle de soutien.*

2° *Le pubis est à son maximum d'écart à droite (ligne 8) quand le pied droit est au milieu de sa période d'appui et le gauche au milieu de celle de soutien.*

3° *Le pubis est au milieu de sa période d'oscillation horizontale (lignes 2, 6, 10) quand les deux pieds sont au milieu de leur période de double appui.*

La figure 4 montre encore que, si l'on rapporte la situation du pubis à l'axe du chemin, on aura les formules suivantes, qui correspondent à chacun des temps de la marche :

4° *Au début de la période du double appui (lignes 1, 5, 9), le pubis est situé, par rapport à l'axe du chemin, du même côté que la jambe postérieure.*

5° *Au milieu de la période du double appui (lignes 2, 6, 10), le pubis est situé au-dessus de l'axe du chemin.*

6° *A la fin de la période du double appui (lignes 3, 7, 11), le pubis est situé, par rapport à l'axe du chemin, du même côté que la jambe antérieure.*

7° *Pendant tout le temps de l'appui unilatéral, le pubis est situé, par rapport à l'axe du chemin, du même côté que la jambe à l'appui.*

c. *Rapports des oscillations horizontales du pubis avec la grandeur des pas.* — Le tracé 4 de la figure 10 représente la courbe des oscillations horizontales du pubis quand la grandeur des pas va

en augmentant, à mesure que l'on s'avance dans le sens de la flèche. Les propositions suivantes résultent des expériences que j'ai faites :

1° *Si l'écart transversal des pieds reste le même (marche naturelle), l'amplitude des oscillations horizontales du pubis est sensiblement constante quand la grandeur des pas augmente.*

2° *Si l'écart transversal des pieds reste le même (marche naturelle), la distance entre deux points semblablement situés sur la courbe des oscillations horizontales du pubis augmente dans le même rapport que la grandeur des pas.*

3° *Si l'écart transversal des pieds varie, l'amplitude des oscillations horizontales du pubis varie dans le même sens, augmentant ou diminuant avec lui.*

3° MOUVEMENT VERTICAL DU TRONC, OU DE HAUT EN BAS, ET INVERSEMENT (suivant l'axe des z). — Ce mouvement a été l'objet de l'étude des Weber, et j'ai rapporté (voy. page 7) les expériences qu'ils ont faites pour en mesurer l'amplitude.

Le tracé O.P.v. de la figure 4 représente la courbe des oscillations verticales de la symphyse pubienne pendant la marche. Les maxima et les minima de cette courbe répondent respectivement aux positions les plus hautes et les plus basses du pubis. La courbe s'élève donc et s'abaisse avec lui.

a. *Forme de la courbe des oscillations verticales du pubis.* — Les détails dans lesquels je suis entré au sujet de la véritable forme de la courbe des oscillations horizontales du pubis (voy. p. 51) me permettent de dire immédiatement que la courbe de ses oscillations verticales n'est pas non plus une sinussoïde.

Je renverrai le lecteur à la courbe A de la figure 13, pour lui montrer, réduite au dixième, la projection verticale de la trajectoire décrite en vraie grandeur par le pubis. La longueur de cette courbe correspond à l'intervalle d'un double pas et à la distance qui sépare, dans la figure 4, deux maxima consécutifs de la courbe O.P.v.

La courbe des oscillations verticales du pubis est une sinusoïde très-surbaissée, où l'angle que fait, aux points d'inflexion, la courbe avec l'axe, est d'environ 9 degrés, tandis que cet angle α , dans la sinusoïde, a une valeur de 45 degrés.

On ne saurait donc admettre cette phrase de M. Giraud-Teulon : « La ligne décrite par le centre de gravité n'est pas continue ; c'est une courbe offrant à chaque pas un point de rebroussement comme on en observerait dans la représentation d'une série de branches de cycloïdes posées à la suite les unes des autres. »

La figure ci-dessous, empruntée à M. Giraud-Teulon, montre l'idée qu'il se fait de la courbe décrite par le pubis C. Il admet que la portion CG de la courbe arrive rapidement au maxi-

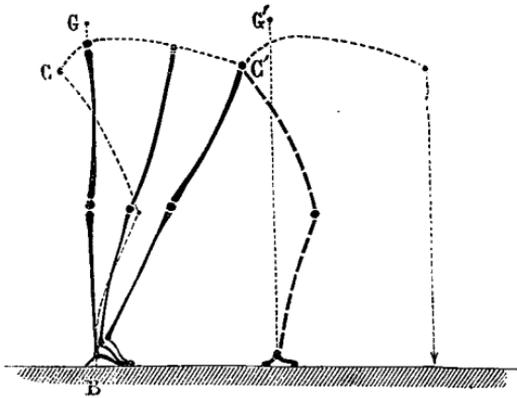


FIG. 14 (empruntée à l'ouvrage de M. Giraud-Teulon).

um, par suite de l'ouverture de l'angle du genou, et il attribue la portion GC' à l'ouverture de l'articulation du pied qui suit celle du genou. « Les ordonnées de la courbe, dit-il, croissent proportionnellement aux sinus des angles déterminés par l'ouverture successive de l'articulation du genou, puis du pied. Comme ces sinus croissent beaucoup plus rapidement dans la première phase du pas que dans la suivante, le maximum de hauteur du centre de gravité correspond nécessairement à cette première phase. »

Rien de semblable ne m'a été révélé par les tracés graphiques que j'ai obtenus, tant sur les autres que sur moi. Jamais la courbe des oscillations verticales du pubis n'offre de points de rebroussement, et les maxima de cette courbe sont presque toujours situés à égale distance des deux minima voisins.

La théorie de M. Giraud-Teulon serait exacte si, au moment du minimum, la jambe antérieure était à l'état de repos. Le membre inférieur étant alors fléchi dans ses articulations, et celle du genou s'ouvrant brusquement, il se produirait en C' (fig. 14) un point de rebroussement près duquel serait situé le maximum. Mais pendant la marche, au moment du minimum d'oscillation verticale du tronc, en même temps que s'ouvre l'angle du genou, le sommet du membre inférieur se meut en avant. Ce mouvement résulte, tant de la vitesse acquise du tronc que de l'effet d'extension de la jambe postérieure. Pour cette double raison, le point C' ne peut arriver brusquement à son maximum malgré l'ouverture brusque de l'articulation du genou, et c'est aussi pourquoi il ne se produit pas de point de rebroussement en C', comme l'admet M. Giraud-Teulon.

b. Rapports des oscillations verticales du pubis avec les foulées.

— Les propositions suivantes sont faciles à vérifier sur la figure 4 :

1° *Le pubis passe au maximum de son oscillation verticale (lignes 4, 8) quand l'un des pieds est au milieu de sa période d'appui et l'autre au milieu de celle de soutien.*

2° *Le pubis passe au minimum de son oscillation verticale (lignes 2, 6, 10) quand les deux pieds sont au milieu de leur période de double appui.*

Toutes ces positions peuvent être reliées entre elles par les formules que voici :

3° *Au début de la période du double appui (lignes 1, 5, 9), le pubis descend.*

4° *A la fin de la période du double appui (lignes 3, 7, 11), le pubis monte.*

5° *Pendant la première moitié de l'appui unilatéral (intervalles 3-4, 7-8), le pubis s'élève.*

6° *Pendant la seconde moitié de l'appui unilatéral (intervalles 4-5, 8-9), le pubis s'abaisse.*

c. Rapports des oscillations verticales et horizontales du pubis. —

Nous avons vu (page 52) les rapports qui lient les oscillations horizontales du pubis aux foulées, et nous venons de voir ceux qui existent entre ces mêmes foulées et les oscillations verticales du pubis. Nous avons donc maintenant un terme de comparaison (les foulées) entre les courbes d'oscillation du pubis dans deux plans rectangulaires, et nous pouvons, par suite, étudier les rapports qu'affectent ces deux courbes, indépendamment de toute autre considération. Cette étude sera singulièrement facilitée par la lecture de la figure 4. Nous voyons en effet sur cette figure que :

1° Tous les minima de la courbe O.P.v. correspondent aux points d'inflexion de la courbe O.P.h., ou autrement dit :

Le pubis passe au minimum de son oscillation verticale toutes les fois qu'il se trouve au milieu de son oscillation horizontale, c'est-à-dire sur l'axe du chemin parcouru.

2° Deux maxima consécutifs de la courbe O.P.v. correspondent respectivement à un maximum ou à un minimum de la courbe O.P.h. En d'autres termes :

Le pubis passe au maximum de son oscillation verticale toutes les fois qu'il se trouve le plus loin possible, à droite ou à gauche de l'axe du chemin parcouru.

Remarques. — 1° Si l'on considère (fig. 4) les segments des courbes O.P.v. et O.P.h. compris dans l'intervalle 1-11, et que l'on rapporte ces segments à l'échelle qui a donné la figure 13, on aura la raison de l'énoncé mnémotechnique suivant :

Dans l'espace de deux foulées consécutives, le pubis décrit une *M* ronde majuscule, considérablement surbaissée, dans le plan vertical, et une *S* italique couchée, considérablement allongée, dans le plan horizontal.

2° On peut encore préciser davantage les rapports des oscillations du pubis avec les foulées.

La figure 15 représente les rapports des oscillations du pubis avec une seule foulée, celle du pied gauche. Le tracé t.g. est le

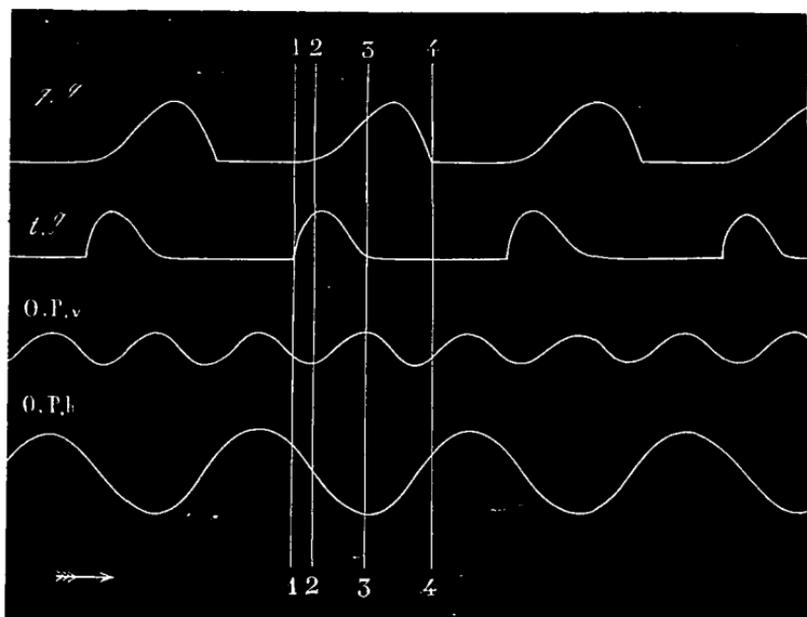


Fig. 15. — Représentant les rapports des oscillations du pubis [avec les élément d'une foulée. — p.g, tracé de la pointe du pied gauche. — t.g, tracé du talon de ce pied. — O.P.v, oscillations verticales du pubis. — O.P.h, ses oscillations horizontales.

graphique du talon, et le tracé p.g. celui de la pointe du pied. La ligne 2 montre que le minimum de l'oscillation verticale du pubis a lieu au moment où la partie antérieure du pied commence à toucher le sol (O.P.v. et p.g.). La ligne 3 fait voir que la symphyse passe au maximum de son oscillation verticale quand le talon quitte le sol (O.P.v. et t.g.).

Ainsi :

Le minimum de l'oscillation verticale du pubis a lieu au mo-

ment où le pied antérieur commence à toucher le sol par toute la plante.

Le maximum de l'oscillation verticale du pubis a lieu au moment où le talon du membre à l'appui quitte le sol.

Dans le tableau ci-dessous, je résume les rapports qui unissent les oscillations verticales et horizontales du tronc avec les foulées. Ce tableau rend un compte exact des phénomènes qui se passent dans l'intervalle d'un pas double, et contient l'explication détaillée des figures 4 et 15.

PIED GAUCHE.		PIED DROIT.		SYMPHYSE DU PUBIS.	
TALON	POINTE	TALON	POINTE	Situation dans la verticale.	Situation dans un plan horizontal, par rapport à l'axe du chemin.
se pose.	est levée.	est levé.	est à l'appui.	descend.	à droite.
est à l'appui.	se pose.	est levé.	est à l'appui	minimum.	sur l'axe.
est à l'appui.	est à l'appui.	est levé.	se lève.	monte.	à gauche.
se lève.	est à l'appui.	oscille.	oscille.	maximum.	à gauche.
est levé.	est à l'appui.	se pose.	est levée.	descend.	à gauche.
est levé.	est à l'appui.	est à l'appui.	se pose.	minimum.	sur l'axe.
est levé.	se lève.	est à l'appui.	est à l'appui.	monte.	à droite.
oscille.	oscille.	se lève.	est à l'appui.	maximum.	à droite.
se pose.	est levée.	est levé.	est à l'appui.	descend.	à droite.

d. *Rapports des oscillations verticales du pubis avec la grandeur des pas.* — J'ai déjà eu l'occasion (voy. page 34) d'appeler l'attention du lecteur sur ce point.

Il est clair que plus la longueur d'un pas sera considérable, plus aussi sera grand l'angle d'écart des jambes qui l'effectuent, et par suite plus le tronc sera rapproché du sol. L'amplitude des oscillations verticales du corps augmentera donc avec la longueur des pas. Ces faits semblent évidents; cependant les Weber sont venus les infirmer: « D'après nos mesures, disent-ils, ces oscillations ne sont pas plus petites dans les petits pas, ni plus grandes dans

les grands pas. En général elles offrent peu de différence, toutes circonstances du dehors égales d'ailleurs; tout au plus sont-elles au contraire un peu plus grandes dans les petits pas, et un peu plus petites dans les grands. »

J'ai montré, à propos des oscillations du grand trochanter (voy. page 46), le cas qu'il fallait faire des observations et des mesures des physiologistes allemands. Je ne reviendrai donc pas sur ce sujet et je passerais immédiatement à l'examen d'une autre question si la théorie des Weber sur la constance de l'amplitude des oscillations verticales du tronc n'avait trouvé, dans M. Giraud-Teulon, un hardi défenseur. Il dit, en effet, après avoir essayé de faire comprendre la figure 14 :

« Maintenant, comme ce rayon vecteur doit s'incliner d'autant plus en avant que le pas s'allonge davantage, on devrait donc, à mesure que le pas augmente, observer un abaissement, une dépression plus notable du centre de gravité.

Pourtant il résulte des expériences de MM. Weber, qu'il n'en est rien; ces oscillations demeurent approximativement les mêmes pour de très-longs pas ou des pas très-courts.

On se rendra compte de cette apparente anomalie, si l'on réfléchit aux circonstances suivantes : Dans la marche à grands pas, il faut que la jambe antérieure arrive en contact du sol, fléchie sur elle-même d'une certaine quantité sur le corps incliné en avant, de façon que la verticale de la gravité vienne rencontrer le sol vers le talon. Si alors la jambe fixe opérait son mouvement d'extension par l'ouverture *simultanée* des articulations du genou et du pied, il est clair qu'on ne pourrait comprendre comment les oscillations verticales ne seraient pas de beaucoup supérieures dans la marche à grands pas... Il faut donc penser que l'angle du pied avec la jambe, celui de la jambe avec la cuisse, ne s'ouvrent pas simultanément, mais bien successivement l'un après l'autre. Cette succession d'ouvertures angulaires a pour conséquence un accroissement plus longtemps soutenu des ordonnées de la courbe, quoique ces accroissements, pris en totalité, conservent la même valeur absolue, ce qui établit la constance de la hauteur de l'oscillation verticale, que le pas soit long ou qu'il

soit court.» Et M. Giraud-Teulon termine en disant : « Ainsi se trouvent clairement et facilement expliquées les propositions expérimentales de MM. Weber, concernant l'étendue des oscillations verticales; ainsi se voit justifiée leur constance pour les différentes longueurs du pas. »

J'avoue qu'il m'est impossible de me rendre au raisonnement de M. Giraud-Teulon. L'ouverture successive des articulations du genou et du pied, — fait exact signalé par les Weber, — n'empêche pas que la jambe antérieure n'ait son sommet situé plus bas dans les grands pas que dans les petits, ainsi que je l'ai montré (voy. page 45), et ainsi que l'admet lui-même M. Giraud-Teulon, puisqu'il dit que, dans les grands pas, la jambe antérieure arrive au contact du sol fléchie sur elle-même. J'ai même démontré que cet abaissement était encore plus considérable pour la jambe postérieure. Comment, après cela, accepter la constance de l'amplitude des oscillations verticales du tronc? Cette première erreur, commise par M. Giraud-Teulon, l'entraîne dans une seconde. Il dit, en effet (article *Locomotion* du *Dictionnaire des sciences médicales*) : « Dans les pas longs, les oscillations demeurent bien comprises entre les mêmes limites, mais alors les deux plans horizontaux entre lesquels s'opèrent ces oscillations sont plus rapprochés du sol que pendant les pas courts, et d'autant plus que le pas est plus long. » Mais M. Giraud-Teulon admet (voy. fig. 14) que le maximum de l'oscillation verticale du tronc a lieu immédiatement après l'appui complet du pied, au moment où la jambe est à peu près normale au sol. Or, que le pas soit long ou qu'il soit court, il arrivera *toujours* un moment où le pied sera à l'appui complet et la jambe normale au sol (1). C'est immédiatement après ce moment, quand le talon quittera le sol, qu'aura lieu le maximum (voy. fig. 15). On peut donc établir que :

1° *Le niveau des maxima des oscillations verticales du tronc pendant la marche naturelle est constant.*

(1) Il reste bien entendu que je m'occupe de la marche naturelle *seulement*, et que je laisse ici de côté cette espèce de marche accroupie qui se fait à grands pas, la jambe antérieure restant toujours fléchie dans ses articulations,

Si les maxima sont tous contenus dans un plan horizontal, il n'en est pas de même des minima.

2° *Le niveau des minima des oscillations verticales du tronc descend de plus en plus, à mesure que la grandeur des pas augmente.*

Les deux lois précédentes sont clairement démontrées par le graphique 3 de la figure 10 qui représente le tracé des oscillations verticales du pubis, quand la grandeur des pas va en augmentant, à mesure que l'on s'avance dans le sens de la flèche.

VALEUR NUMÉRIQUE DE L'AMPLITUDE DES OSCILLATIONS VERTICALES ET HORIZONTALES DU PUBIS. — Soit a la grandeur d'un arc enregistré, correspondant à un arc A décrit dans l'espace par la pointe de la baguette exploratrice. Si D et d sont respectivement les valeurs maxima et minima de l'amplitude des oscillations enregistrées sur le cylindre, les vraies grandeurs de ces amplitudes dans l'espace seront représentées par les expressions :

$$\frac{A}{a} \times D \quad \text{et} \quad \frac{A}{a} \times d.$$

Dans une de mes expériences j'avais : $A = 150^{\text{mm}}$, $a = 24^{\text{mm}}$, $D = 9^{\text{mm}}$, $d = 3^{\text{mm}}$, pour les oscillations verticales; ce qui donne les valeurs respectives 56^{mm} et 18^{mm} pour représenter la plus grande et la plus petite de ces oscillations dont la moyenne est de 37 millimètres. Ce nombre ne diffère pas sensiblement des 32 millimètres trouvés par les Weber; seulement l'amplitude n'est pas constante, comme ils l'admettent. Elle peut varier, sur le même individu, de 18 à 56 millimètres.

J'ai trouvé que l'amplitude des oscillations horizontales était, dans la marche naturelle, environ le double de l'amplitude des oscillations verticales. On peut donc assigner une valeur moyenne de 74 millimètres à l'étendue des oscillations horizontales du tronc.

FORME DE LA TRAJECTOIRE DU PUBIS DANS L'ESPACE. MOYEN DE LA CONSTRUIRE. — On sait que les courbes A et C (fig. 13) sont les projections verticale et horizontale de la trajectoire du pubis réduite au dixième de sa longueur. Ces courbes vont nous servir à réaliser la trajectoire elle-même dans l'espace.

Prenons deux planchettes de forme rectangulaire sur chacune desquelles nous tracerons la courbe C de la figure 13. Disposons-les parallèlement l'une au-dessous de l'autre, de manière que les courbes soient exactement superposées, et fixons les planchettes dans cette position, au moyen de quatre tiges qui réunissent leurs sommets. Menons ensuite d'une courbe à l'autre et perpendiculairement à leurs plans un grand nombre de fils parallèles équidistants. Si sur chacun de ces fils, à partir d'un même niveau parallèle aux planchettes, nous portons des longueurs égales aux ordonnées correspondantes de la courbe A (fig. 13), il est clair que nous obtiendrons ainsi une série de points de la trajectoire du pubis. En joignant ces points par un fil qui les relie tous, nous aurons sous les yeux la représentation d'une trajectoire qui sera la réduction au dixième de celle que parcourt en réalité le pubis dans l'espace.

Si l'on possède quelques connaissances en géométrie analytique, on verra facilement que les courbes A, B, C (fig. 13) sont respectivement les projections de la trajectoire pubienne sur les trois plans des oxz , des yz et des xy . Le premier de ces plans est vertical et parallèle à la direction du chemin; le second, également vertical, est perpendiculaire au chemin; le troisième enfin est horizontal, et par suite parallèle au plan sur lequel on marche.

Il résulte de la considération des trois courbes A, B, C, de la fig. 13, qu'on peut regarder la trajectoire du pubis comme étant inscrite dans un demi-cylindre creux au fond duquel se trouvent les minima, et sur les bords duquel viennent se terminer tangentiellement les maxima.

On peut encore prendre une très-bonne idée de cette trajectoire en décalquant la courbe C (fig. 13) sur une bande de papier de même largeur qu'elle, mais dont la longueur permette de pro-

longer la courbe au delà des limites de la figure 13. Si l'on trace alors l'axe de la courbe, et qu'on incurve, de chaque côté, la bande en forme de gouttière, on aura sous les yeux l'image même de la trajectoire du pubis réduite des neuf dixièmes de sa longueur.

RAPPORTS DE LA TRAJECTOIRE DU PUBIS AVEC CELLE DU GRAND TROCHANTER.—Les considérations précédentes suffisent à montrer qu'on pourra construire la trajectoire du grand trochanter de la même manière que celle du pubis, mais le cylindre sur lequel sera tracée la courbe trochantérienne différera beaucoup de celui de la courbe pubienne. Les maxima, qui sont tous situés à la même hauteur dans la trajectoire du pubis, se trouvent à des niveaux différents dans celle du trochanter, et il en est de même des minima.

On peut donc considérer la courbe trochantérienne comme appartenant à deux cylindres dans la concavité desquels elle serpente. Ces cylindres ont deux génératrices communes ou d'intersection, auxquelles la courbe est tangente.

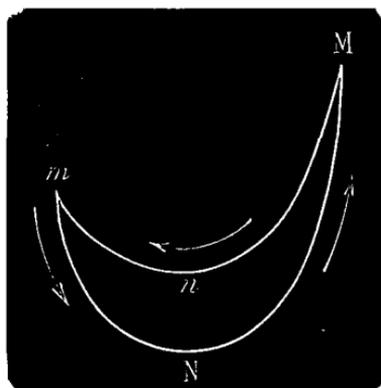


FIG. 16. — Représentant la projection de la trajectoire du grand trochanter sur un plan perpendiculaire à l'axe du chemin parcouru (plan yz).

On peut encore dire que la trajectoire du trochanter est tracée à la surface d'un cylindre dont la section droite serait représentée par la figure 16.

Les lettres M , m , N , n , représentent les mêmes points que dans la figure 11, et le sens du mouvement est indiqué par les

flèches. En d'autres termes, la courbe $NMnmN$ (fig. 16) est la projection, sur un plan vertical perpendiculaire au chemin, de la trajectoire que décrit un trochanter qui part de sa position la plus basse pour y revenir après avoir accompli un double pas. Nous savons déjà (voy. page 45) que les maxima les plus élevés correspondent aux points où le trochanter est le plus rapproché de l'axe du chemin parcouru. La courbe de la figure 16 représente donc indifféremment la trajectoire décrite par le trochanter gauche d'un homme qu'on regarde marcher par derrière, ou celle du trochanter droit d'un homme qu'on voit s'avancer de face. Les points M et m , qui paraissent anguleux sur la figure, ne le sont pas en réalité dans l'espace. En ces points, la courbe est tangente aux génératrices les plus élevées du cylindre. Cette apparence sera facilement comprise par les personnes qui sont familiarisées avec l'étude de la géométrie descriptive.

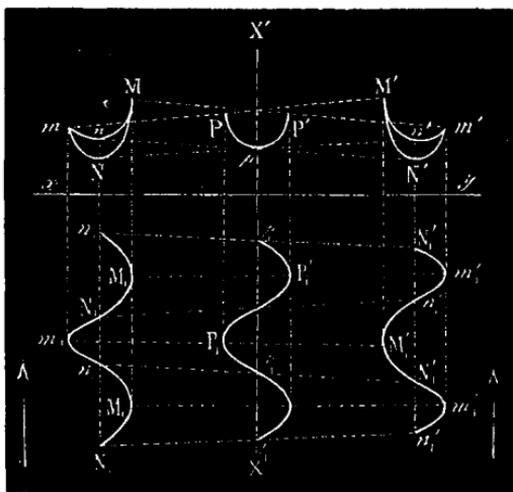


FIG. 17. — Épure schématique des trajectoires du pubis et des trochanters.
(La marche s'effectue sur le plan horizontal, dans le sens des flèches.)

Pour donner une idée nette des rapports qui existent entre les trajectoires des trochanters et du pubis, je ne saurais mieux faire que d'en construire l'épure. La figure 17 représente cette épure, abstraction faite des dimensions réelles des trajectoires. La marche s'effectue dans le sens des flèches, sur le plan horizontal.

Par conséquent, sur le plan vertical, la courbe $N'M' n'm'$ représente la projection du trochanter droit, tandis que la courbe $NM nm$ répond au trochanter gauche. PpP' est la projection de la courbe pubienne sur le même plan, avec l'hypothèse que les deux trochanters et le pubis sont situés sur une ligne droite dont le pubis occupe le milieu. Les points N_1, M_1, n_1, m_1 , sont respectivement les projections horizontales des points de l'espace dont N, M, n, m , sont les projections verticales. Ils correspondent à la trajectoire du grand trochanter gauche. Les points N'_1, M'_1, n'_1, m'_1 , sont de même les projections horizontales des points de la trajectoire du trochanter droit, qui ont respectivement N', M', n', m' , pour projections verticales.

Le double mouvement de bascule des trochanters, dont j'ai parlé à la page 44, se trouve nettement accusé sur l'épure. Ainsi, quand le trochanter gauche se trouve dans sa position la plus basse, NN_1 , le droit est en $n'n'_1$, plus élevé que le gauche et situé en avant de lui. Les deux trochanters sont à la même distance du plan vertical quand le gauche est arrivé en MM_1 , et le droit en $m'm'_1$, mais cette fois c'est le gauche qui est le plus élevé. En nn_1 , le gauche passe devant le droit et reste plus élevé que lui. Ce dernier occupe alors la position $N'N'_1$. En mm_1 , $M'M'_1$, le droit reprend le dessus et arrive à la même distance du plan vertical que le gauche. A partir de ce moment, ils descendent tous deux; mais le droit repasse devant et arrive, en $n'n'_1$, dans une situation plus basse que le gauche, etc. Tels sont les phénomènes qui relient les deux trochanters l'un à l'autre pendant qu'un double pas s'effectue.

Quant au pubis, il oscille entre les deux trochanters et se comporte comme le milieu d'une tige qui les relierait l'un à l'autre. Il est intéressant de chercher le rapport qui existe entre ces oscillations.

Nous avons vu que l'amplitude des oscillations verticales du trochanter était d'environ 69 millimètres, celle du pubis étant de 37 millimètres, dont le double est 74 millimètres. *La valeur de l'oscillation verticale du trochanter est donc plus petite que le double de l'oscillation correspondante du pubis*, ou, ce qui revient

au même : *L'oscillation verticale du pubis est plus grande que la moitié de celle des trochanters.*

Ce résultat pouvait être prévu.

Supposons, en effet (fig. 18), que T soit l'un des trochanters, et T₁ l'autre, P étant le pubis.

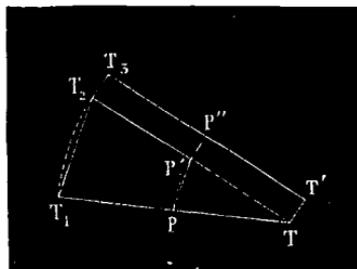


FIG. 18.

Si le trochanter T était immobile pendant que l'autre va de T₁ en T₂, le trajet du pubis serait représenté par PP' et égal à la moitié de T₁T₂. Mais quand le trochanter T₁ se meut, le trochanter T se déplace aussi, et vient, par exemple, en T'. Alors, par le fait de ce déplacement, le point T₁ se trouve transporté jusqu'en T₃, et le trajet du pubis devient PP'.

Il s'agit de comparer PP' et T₁T₃. Or on a :

$$PP'' = PP' + P'P'' = \frac{T_1 T_2}{2} + T_2 T_3 ;$$

$$\text{mais } \frac{T_1 T_2}{2} + T_2 T_3 > \frac{T_1 T_2}{2} + \frac{T_2 T_3}{2} > \frac{T_1 T_3}{2},$$

$$\text{c'est-à-dire } PP'' > \frac{T_1 T_3}{2}.$$

La différence entre ces deux quantités étant égale à $\frac{T_2 T_3}{2}$, il s'ensuit que :

L'amplitude des oscillations verticales du pubis est plus grande que la demi-amplitude de celles du trochanter. Elle en diffère d'une

quantité égale à la moitié de la distance qui sépare le maximum le moins élevé du minimum le plus élevé, dans l'oscillation trochantérienne.

Nous savons déjà que :

Les amplitudes des oscillations horizontales du pubis et du trochanter ont la même valeur.

RAPPORTS DE SITUATION DU PUBIS DANS LA PROGRESSION ET DANS LA STATION. — J'ai démontré (voy. fig. 15) que le maximum de l'oscillation verticale du pubis a lieu au moment précis où le talon quitte le sol. L'un des membres inférieurs est alors à l'appui et l'autre au soutien. Le premier est dans la rectitude et normal au sol, tandis que le second est au contraire fléchi dans toutes ses articulations. Soient (fig. 17) m le sommet du membre à l'appui, et M' celui du membre au soutien, le pubis sera en P , et mm' représentera la ligne de station. Le point P est nécessairement situé au-dessus de cette ligne (1), et j'évalue à 10 millimètres environ la distance qui l'en sépare.

Ainsi :

Au moment où le pubis atteint le maximum de son oscillation verticale, il s'élève d'environ 10 millimètres au-dessus de la position qu'il occupe dans la station.

CHAPITRE VI.

DES MOUVEMENTS D'INCLINAISON DU TRONC.

DÉFINITION. — Les mouvements d'inclinaison du tronc sont ceux qui déterminent les angles qu'il fait, pendant la marche, avec les axes coordonnés.

(1) Pour obtenir, sur les graphiques, la ligne de niveau du pubis dans la station verticale, il suffit de faire tourner le cylindre sur son axe, le sujet en expérience étant dans la position de la station et ayant la baguette exploratrice fixée à la hauteur du pubis. Le levier enregistreur décrit alors sur le cylindre une circonférence qui est la ligne de niveau cherchée.

Dans la station verticale, le tronc est dirigé suivant l'axe des z , mais, pendant la marche, il s'incline en avant, et en même temps alternativement à droite ou à gauche. Pour étudier ce double mouvement, il convient de le décomposer en deux autres : l'un ayant lieu parallèlement au plan yz , ou de droite à gauche, et réciproquement, l'autre s'effectuant dans le plan xz , c'est-à-dire directement en avant.

MOUVEMENT D'INCLINAISON DU TRONC DE DROITE A GAUCHE, ET RÉCIPROQUEMENT (*parallèlement au plan yz*). C'est à ce mouvement que Gerdy fait allusion quand il dit : « Pendant ce temps-là (l'accomplissement du pas) le corps se balance au-dessus du bassin par un mouvement d'inclinaison qui, se faisant en sens inverse de celui du bassin, infléchit latéralement l'axe du tronc sur l'axe de cette cavité. A chaque pas, en effet, le corps se penche du côté du bassin qui s'élève, et l'épaule correspondante s'abaisse. »

Nous verrons tout à l'heure, en étudiant les mouvements du bassin, qu'il est impossible d'admettre cette opinion de Gerdy, qui consiste à croire que le tronc se penche du côté du bassin qui s'élève. C'est le contraire qui est vrai. Toujours est-il que le mouvement d'inclinaison latérale du tronc s'effectue, à chaque pas, du côté du membre à l'appui, et arrive à son maximum quand ce membre est normal au sol, c'est-à-dire au moment où l'oscillation verticale du tronc atteint son maximum du même côté. L'inclinaison diminue à partir de cet instant, pour devenir minima lorsque les deux pieds sont en contact avec le sol. Le tronc n'est alors penché ni à droite ni à gauche, et ce moment coïncide avec celui du minimum de son oscillation verticale.

On peut donc dire, en résumé :

Le tronc s'incline alternativement à chaque pas du côté du membre à l'appui. Cette inclinaison latérale est nulle quand le tronc, occupant sa position la plus basse, est situé sur l'axe du chemin. Elle augmente à mesure que le tronc, s'éloignant de cet axe, s'élève, et diminue à mesure que, s'en approchant, il s'abaisse.

L'observation suffit à rendre compte de ce fait. On n'a, pour cela, qu'à se regarder marcher devant une glace qui permette de se voir en pied et qui soit située perpendiculairement à l'axe du chemin que l'on parcourt.

2° MOUVEMENT D'INCLINAISON DU TRONC D'AVANT EN ARRIÈRE, ET RÉCIPROQUEMENT (*dans le plan xz.* — Ce mouvement, qui n'a pas été isolé par Gerdy, a été singulièrement compris par les Weber. Ils partent, pour le faire concevoir, de l'assimilation du tronc « à une baguette supportée par sa partie inférieure, inclinée en avant et qui serait transportée d'arrière en avant. » Ils disent ensuite : « On marche plus vite quand le corps penche davantage en avant, et moins vite quand il penche moins. En un mot, dans la marche, on établit un tel accord entre l'inclinaison du tronc et le mouvement des jambes, que le tronc, pendant qu'il est transporté, demeure de lui-même en équilibre malgré sa mobilité sur les têtes des fémurs, que toute la force musculaire qui serait nécessaire sans cela pour établir et conserver cet équilibre, soit épargnée, et qu'aucun muscle n'entre en jeu pour obtenir ce résultat. Aussi reconnaît-on tout de suite, d'après le sens dans lequel s'incline le tronc d'un homme qui marche, quelle est la direction qu'il suit, et apprécie-t-on la vitesse de sa marche d'après le degré de cette inclinaison. »

Ainsi, variation proportionnelle de l'inclinaison et de la vitesse, constance de l'inclinaison pour une vitesse donnée, négation de l'effort musculaire pour produire l'inclinaison : tels sont les trois ordres de faits admis par les Weber et qu'ils croient avoir démontrés. Nous verrons bientôt que ce sont là autant d'erreurs.

J'ai déjà dit comment les deux frères opéraient pour mesurer l'inclinaison. Ils se servaient d'une lunette dont l'oculaire mobile contenait un fil qu'on pouvait faire coïncider avec une ligne tracée sur le tronc, et c'est la variation angulaire de cette ligne avec la verticale qu'ils étudiaient. Il est évident qu'un pareil procédé, s'il permet d'apprécier le maximum de l'inclinaison, ne peut donner aucun renseignement sur la valeur de cette inclinaison à un moment donné. Elle sera, au contraire, indiquée

à chaque instant par le *parallélogramme d'inclinaison*. Je ne reviendrai pas ici sur son emploi, et je renverrai à la description que j'en ai donnée (voy. page 19) pour faire comprendre la manière dont a été obtenue la courbe C.i. de la figure 6.

a. *Forme de la courbe d'inclinaison*. — Elle est représentée par la série d'arceaux de la courbe C.i. (voy. fig. 6). Les ordonnées de cette courbe varient proportionnellement aux tangentes trigonométriques de l'angle que fait le tronc avec la verticale ; par conséquent l'inclinaison du tronc en avant croîtra et décroîtra avec elles.

Les minima de la courbe C.i. ont une très-forte courbure qui les fait presque ressembler à des points anguleux, tandis que ses maxima offrent au contraire une courbure peu considérable, qui serait encore moins accentuée, si l'on faisait subir à cette courbe un développement analogue à celui que représente la figure 13. Il faut conclure de là que :

L'inclinaison du tronc dans le plan vertical varie brusquement aux environs de son minimum, et lentement, au contraire, aux environs de son maximum.

b. *Rapports de la courbe d'inclinaison avec les diverses phases des foulées*. — Ils sont indiqués sur la figure 6, où P.d. et P.g. représentent respectivement les foulées du pied droit et du pied gauche. On voit que :

L'inclinaison du tronc dans le plan vertical est minima au milieu de la période du double appui, et maxima au milieu de celle de l'appui unilatéral.

c. *Rapports de la courbe d'inclinaison avec les éléments du pas*. — Il résulte de mes expériences que :

L'inclinaison du tronc en avant augmente avec la grandeur des pas.

Les Weber regardent cette coïncidence comme liée d'une façon obligée à la résistance de l'air, mais nous verrons plus tard qu'il est impossible d'adopter cette opinion. Remarquons seule-

ment ici que, dans les grands pas, la jambe antérieure doit arriver plus vite à son poste, et que l'inclinaison du tronc en avant contribue à produire ce résultat.

On ne saurait, avec les Weber, « apprécier la vitesse de la marche d'après le degré d'inclinaison du tronc ». On peut, en effet, se tenir très-droit et marcher vite, ou au contraire se tenir très-incliné et marcher lentement.

RAPPORT DES INCLINAISONS ANTÉRO-POSTÉRIEURE ET LATÉRALE DU TRONC. — Il résulte des considérations précédentes que :

Le tronc s'incline de côté en même temps qu'il s'incline en avant, et les maxima de ces inclinaisons coïncident de même que leurs minima.

VALEUR NUMÉRIQUE DE L'INCLINAISON DU TRONC. — J'ai été conduit, par l'observation et l'expérience, à admettre que :

Dans la marche naturelle, l'angle du tronc avec la verticale ne dépasse pas un maximum d'environ 10 degrés (1).

Le minimum ne peut être fixé d'une manière absolue, car le tronc est, suivant les cas, légèrement incliné en avant, vertical ou même incliné un peu en arrière quand a lieu ce minimum.

Ces trois cas sont faciles à reconnaître sur les tracés graphiques. Dans le premier, le minimum de la courbe d'inclinaison est situé un peu au-dessus de la ligne de station; dans le second il lui est tangent; dans le troisième, enfin, il est situé au-dessous.

RAPPORTS DES MOUVEMENTS D'INCLINAISON ET DES MOUVEMENTS D'OSCILLATION DU TRONC. — Ils ressortent de la comparaison des figures 4 et 6. Si l'on rapproche les tracés de ces figures, on verra que :

1° *L'inclinaison minima du tronc en avant a lieu au moment*

(1) Je fais ici abstraction de ces espèces de marches où le tronc est rejeté en arrière, comme dans certaines allures théâtrales, où le tronc est maintenu dans la rectitude, comme dans beaucoup d'exercices militaires, où enfin le tronc est constamment penché en avant, comme chez les vieillards. La marche naturelle de l'homme adulte est la seule dont je m'occupe.

du minimum de l'oscillation verticale du pubis, et par conséquent lorsque ce point est situé au-dessus de l'axe du chemin parcouru.

2° L'inclinaison maxima du tronc en avant a lieu au moment du maximum de l'oscillation verticale du pubis, et par conséquent lorsque ce point est situé le plus loin possible de l'axe du chemin.

3° L'inclinaison du tronc en avant augmente ou diminue quand sa partie inférieure (le pubis) s'élève ou s'abaisse.

Le tronc est donc soumis en même temps à deux mouvements de sens contraire : l'un qui tend à l'élever (*mouvement d'oscillation en haut*), l'autre qui tend à l'abaisser (*mouvement d'inclinaison en avant*). Pour apprécier la résultante de ces deux effets, il faut chercher à les évaluer séparément.

Soient (fig. 19) OA la colonne vertébrale supposée rectiligne et verticale au moment où le pubis est au minimum, et O'A' cette même colonne quand le pubis est au maximum d'élévation.

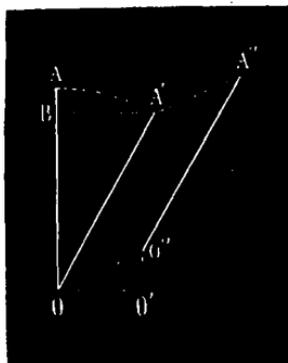


FIG. 19.

Menons OA' parallèle et égal à O''A''; puis abaissons A'B perpendiculaire sur OA. Il est clair que, pour passer de OA à O''A'', le sommet A du rachis ou le vertex (en supposant toute la colonne rigide) s'est élevé de la hauteur O'O'' en même temps qu'il s'est abaissé de la quantité AB. Or, nous connaissons déjà la valeur de O'O'', qui est égale à 37 millimètres en moyenne, et il est facile d'évaluer AB.

On a en effet :

$$AB = AO - BO = AO - A'O \cos O,$$

$$AB = AO (1 - \cos O),$$

$$AB = 2AO \sin^2 \frac{O}{2}.$$

On trouvera toujours que, dans la marche naturelle, AB est plus petit que $O'O''$, c'est-à-dire que :

Dans la marche naturelle, si la tête se meut d'une seule pièce avec le rachis, elle s'abaisse, par le fait de l'inclinaison du tronc, moins qu'elle ne s'élève par suite de son mouvement d'oscillation.

L'amplitude des oscillations verticales est donc moins considérable pour le vertex que pour le pubis, ou, d'une manière plus générale :

L'amplitude des oscillations verticales du tronc diminue de la base au sommet.

D'après ce que nous savons, le contraire aura lieu pour les oscillations horizontales, et par conséquent :

L'amplitude des oscillations horizontales du tronc augmente de la base au sommet.

CHAPITRE VII.

MOUVEMENTS DE ROTATION ET DE TORSION DU TRONC. — MOUVEMENTS DES MEMBRES SUPÉRIEURS.

DÉFINITIONS. — Si l'un des côtés du bassin et l'épaule correspondante sont animés de mouvements de rotation *dans le même sens*, le tronc est aussi animé d'un mouvement de *rotation*.

Si l'un des côtés du bassin et l'épaule correspondante sont animés de mouvements de rotation *en sens contraire*, le tronc est animé d'un mouvement de *torsion*.

Les mouvements de rotation et de torsion du tronc étant ainsi

nettement définis, je vais, avant de passer à leur étude, m'occuper des mouvements de rotation du bassin et de l'épaule.

MOUVEMENTS DE ROTATION DU BASSIN.—Si l'on transporte l'origine des trois axes coordonnés au centre de la tête du fémur à l'appui, il est clair que tous les mouvements de rotation du bassin s'effectueraient autour de ces axes.

1° *Mouvement de rotation autour de l'axe des x.* — Il a été décrit par Gerdy sous le nom de *mouvement de bascule*.

Voici comment s'exprime le savant physiologiste : « Chacun des côtés du bassin, dit-il, s'élève et s'abaisse alternativement, et c'est toujours du côté correspondant au pied sur lequel se décharge et s'appuie le poids du corps, que s'observe l'élévation. Dans cette inclinaison, le bassin se meut en bascule de haut en bas, sur la tête du fémur immobile et autour d'un axe qui la traverserait horizontalement d'avant en arrière. »

« Cette matière, dit à son tour M. Giraud-Teulon, est délicate et d'observation difficile. Voici cependant ce qui nous semble devoir se passer :

« Le côté le plus élevé du bassin est toujours celui qui correspond à la jambe suspendue, au moins dans les trois premiers quarts de son mouvement. C'est une nécessité pour que la jambe oscille sans heurter le sol. »

Ainsi il y a opposition complète, au sujet du mouvement de bascule du bassin, entre Gerdy et M. Giraud-Teulon. Le premier veut que le bassin s'élève du côté de la jambe à l'appui ; le second veut, au contraire, qu'il s'abaisse de ce côté. Toutefois M. Giraud-Teulon n'est pas très-sûr de son dire, car il se hâte d'ajouter : « Des observations répétées nous ont toujours conduit à cette même conclusion dont nous nous étions longtemps défié, à raison de l'opposition où elle nous met avec notre savant maître M. Gerdy. Cependant il nous semble qu'elles sont l'expression de la vérité. Si des observations plus positives venaient à établir le contraire, nous ne ferions pas difficulté de modifier sur ce point nos assertions. »

L'expérimentation permet d'être plus affirmatif, et l'on peut dire que, contrairement à l'opinion de Gerdy :

Le bassin s'élève toujours du côté correspondant à la jambe qui oscille.

Nous savons, en effet, par l'étude des mouvements du grand trochanter (voy. fig. 11), que cette apophyse est plus élevée dans le membre au soutien que dans le membre à l'appui. Il en est, par suite, de même pour le côté du bassin correspondant.

2° *Mouvement de rotation autour de l'axe des y.* — Ce mouvement a lieu en même temps que l'inclinaison du tronc dans le plan antéro-postérieur (voy. page 69).

3° *Mouvement de rotation autour de l'axe des z.* — C'est le mouvement de *rotation horizontale* décrit par Magendie. Il s'effectue autour de la tête du fémur qui est à l'appui, et l'on peut facilement l'observer sur soi-même, en appliquant, pendant la marche, les mains sur les hanches. Ce mouvement a été nié par les Weber. « On l'aperçoit bien, disent-ils, chez certains individus, mais il est facile de le reconnaître, quand on le rencontre, pour un défaut qui défigure beaucoup la marche. »

L'expérience donne un démenti formel à l'assertion des Weber.

Nous savons, en effet (voy. page 43), qu'au moment du double appui, le trochanter de la jambe postérieure est situé *en arrière* de l'autre. Il est au contraire situé *en avant* de celui-ci quand la jambe, après avoir oscillé, est devenue antérieure. Autrement dit :

Pendant la durée d'un pas, le trochanter de la jambe au soutien parcourt un plus grand espace que celui de la jambe à l'appui.

Considérons l'intervalle qui sépare, sur la figure 11, les deux points N, n, énoncés dans le sens de la flèche. Il représente l'espace que parcourt, pendant un pas, le trochanter de la jambe suspendue. La distance nN est, dans les mêmes conditions, le trajet du trochanter de la jambe appuyée. Si nous comparons deux intervalles consécutifs, Nn, nN, nous verrons que le premier est toujours plus grand que le second. Ainsi se trouve véri-

fiée expérimentalement l'existence du mouvement de rotation horizontale du bassin.

Remarque. — On pourrait croire que, par suite de la rotation du bassin, le trochanter de la jambe suspendue décrit autour de l'autre une courbe dont la concavité regarde du côté de cet autre. C'est le contraire qui a lieu.

Soient, en projection horizontale (fig. 17), N'_1 et n_1 les trochanters droit et gauche, au moment du double appui. Quand un pas s'est effectué, les points N'_1 et n_1 sont respectivement venus en n'_1 et N_1 . La distance $N'_1 n'_1$ est plus grande que la distance $n_1 N_1$, ainsi que nous le savions déjà; mais la courbe $N'_1 n'_1$ tourne sa concavité à droite, ce qui, à première vue, semble paradoxal. Il est cependant facile d'expliquer cette particularité.

Le grand trochanter de la jambe qui oscille est soumis à l'influence de quatre mouvements, dont deux horizontaux et deux verticaux. Les mouvements horizontaux sont ceux d'oscillation et de rotation horizontales du bassin. Les mouvements verticaux sont, l'un celui de bascule et l'autre celui d'oscillation verticale. Or, ces deux derniers mouvements sont moins étendus que les deux premiers. Le grand trochanter de la jambe suspendue obéira donc aux mouvements horizontaux, et, comme le mouvement d'oscillation horizontale est le plus fort, c'est lui qui imposera sa loi.

Ainsi s'explique pourquoi :

Malgré le mouvement de rotation horizontale du bassin, la courbe décrite par le trochanter au soutien a sa concavité dirigée dans le même sens que celle de la courbe décrite par le trochanter à l'appui.

MOUVEMENTS DE ROTATION DE L'ÉPAULE. — MOUVEMENTS DES MEMBRES SUPÉRIEURS. — Le plus important des mouvements de rotation de l'épaule et le seul, pour ainsi dire, qu'il y ait à considérer dans l'étude de la locomotion, est celui qui s'effectue au-

tour de la verticale. Il correspond au mouvement de rotation horizontale du bassin; mais il faut ici faire une distinction.

Les mouvements du bassin ne peuvent être considérés indépendamment de ceux des membres inférieurs auxquels ils sont forcément liés. Il n'en est pas de même pour les mouvements de l'épaule et des membres supérieurs. On peut, en effet, marcher sans bras; mais, si les membres thoraciques ne sont pas indispensables à l'accomplissement de la locomotion, ils lui sont cependant utiles dans une certaine mesure.

Parlant du mouvement de rotation horizontale des épaules, Gerdy s'exprime ainsi :

« La poitrine, les épaules surtout, et particulièrement lorsque nous balançons les bras, tournent horizontalement autour d'un axe vertical qui semble passer par la colonne vertébrale, et, dans ce mouvement, elles se portent alternativement en avant et en sens inverse des côtés du bassin et des membres inférieurs correspondants. Ainsi il se passe habituellement et simultanément un mouvement de rotation inverse à chaque extrémité du tronc, et le corps en est, pour ainsi dire, tordu. »

Le même auteur décrit, de la manière suivante, les mouvements des membres supérieurs pendant la marche :

« Les mouvements des membres supérieurs, dit-il, se font habituellement en sens inverse de ceux des membres inférieurs. Ces mouvements sont analogues à ceux des membres antérieurs de la plupart des Mammifères quadrupèdes, et particulièrement du cheval dans la marche ordinaire et naturelle. Ils disparaissent lorsque nous marchons les bras croisés sur la poitrine, derrière le dos, ou les mains dans les poches de nos vêtements; en un mot, toutes les fois que les bras restent attachés au tronc et perdent leur liberté. Alors les mouvements de rotation du bassin se propagent jusqu'aux épaules, qui se portent en avant, chacune en même temps que la jambe correspondante s'y porte elle-même. Dans ce cas, il n'y a qu'un seul mouvement de rotation dans le tronc; et la marche de l'homme rappelle, pour ainsi dire, la marche des animaux connue sous le nom d'amble. Ainsi

l'homme, dans son marcher, ressemble plus aux bêtes qu'il ne s'en doute. »

Cette assimilation du mouvement des membres thoraciques de l'homme et de ceux des grands quadrupèdes pendant la marche est due à Gassendi. Elle est certainement intéressante, mais il ne faudrait pas la pousser trop loin et dire avec son auteur : « Il est à remarquer que, dans ce balancement des extrémités supérieures, celle qui vient d'être portée en avant ne rétrograde jamais. Elle s'arrête à la limite du degré d'oscillation en avant et comme si elle s'y fixait. Le tronc vient l'y retrouver, et alors l'autre bras part à son tour. » C'est là une observation inexacte. Le bras de l'homme ne rencontre pas d'appui ni d'obstacles comme la patte de devant des Mammifères, et *il rétrograde toujours* pour compléter son oscillation en arrière. M. Duchenne (de Boulogne) a d'ailleurs nettement établi ce fait, en démontrant que, dans l'atrophie de la moitié antérieure du deltoïde, l'oscillation antérieure du bras disparaît, tandis que l'oscillation postérieure continue en arrière sous l'influence de la partie saine du muscle, et *vice versa*.

MOUVEMENTS DE ROTATION ET DE TORSION DU TRONC.— Il résulte de ce qui précède que :

1° Si les bras sont fixés au tronc, l'allure de l'homme rappelle l'amble des quadrupèdes.

2° Si les bras sont libres, l'allure de l'homme rappelle la marche ordinaire des quadrupèdes.

Autrement dit :

1° *Si les bras sont fixés au tronc, l'un des côtés du bassin et l'épaule correspondante sont animés de mouvements de rotation dans le même sens. Le tronc est donc aussi animé d'un mouvement de rotation.*

2° *Si les bras sont libres, l'un des côtés du bassin et l'épaule correspondante sont animés de mouvements de rotation en sens contraire. Le tronc est donc animé d'un mouvement de torsion.*

Les lois de la mécanique permettaient de prévoir que, si les bras sont libres, ils oscilleront en sens inverse des jambes ; mais il ne faut pas, je le répète, attribuer ces oscillations à la seule influence de la pesanteur. Les muscles y prennent au contraire une large part.

DES MUSCLES QUI PRODUISENT LES DIVERS MOUVEMENTS DU TRONC.

— L'étude de ces muscles sort des limites du cadre que je me suis tracé. Je renverrai, pour leur description, aux traités d'anatomie et à l'ouvrage de M. Duchenne (de Boulogne) sur la *Physiologie des mouvements*. Je m'occuperai seulement ici du rôle que jouent dans la marche les muscles spinaux postérieurs, et encore me bornerai-je à étudier l'action de quelques faisceaux du sacro-lombaire et du long dorsal. Ces faisceaux s'attachent supérieurement aux quatre ou cinq dernières côtes et aux apophyses transverses des vertèbres lombaires. Ils constituent physiologiquement un seul muscle désigné par M. Duchenne (de Boulogne) sous le nom de *spinal lombaire superficiel*, et qui est extenseur fléchisseur latéral des vertèbres lombaires et des dernières vertèbres dorsales. Quand ce muscle se contracte synergiquement avec son symétrique, il produit l'extension directe des vertèbres lombaires et des dorsales inférieures. Gerdy fait allusion à ces muscles spinaux superficiels quand il dit : « Enfin, il se passe dans le tronc, et particulièrement dans les gouttières vertébrales, de continuels efforts, sensibles à la main chez un homme recouvert de ses vêtements, sensibles à l'œil chez un homme nu. Mais ils me paraissent de deux sortes : Le premier de ces efforts produit un gonflement ou une augmentation manifeste de consistance dans les muscles vertébraux correspondants au côté dont le pied se détache du sol, s'élève et reste suspendu ; l'autre gonfle aussi, mais beaucoup moins, les mêmes muscles du côté correspondant au pied immobile. Ces deux efforts succèdent immédiatement l'un à l'autre, et celui de droite alterne avec celui de gauche, comme les pas de nos membres. Je nomme le premier *effort d'élévation*, parce qu'il est dû à la contraction des muscles sacro-spinaux, qui font effort pour élever ou fixer le bassin, et par suite pour détacher le membre du sol et le

maintenir suspendu en l'air. Le second agit pour modérer l'impulsion communiquée au tronc par le pied qui se trouve en arrière et prévenir la chute du corps en avant. Je le nomme *effort de station*, parce que c'est le même qui, dans la station, s'oppose au mouvement du tronc en avant et qu'il est le principal agent de l'équilibre dans la marche. »

Gerdy croit donc que la contraction des muscles spinaux est nécessaire pour prévenir la chute du tronc et le maintenir en équilibre. Les Weber prétendent, au contraire, « que le tronc demeure de lui-même en équilibre, et qu'aucun muscle n'entre en jeu pour obtenir ce résultat. »

J'ai pu enregistrer la contraction des muscles spinaux, pendant la marche. Je me suis servi, pour cela, du tambour explorateur de Marey (voy. page 21). Il était appliqué sur la région spinale et maintenu avec une ceinture de gymnase sanglée autour des reins.

Le tracé L. g. (fig. 20) représente le graphique des contractions du muscle spinal superficiel gauche.

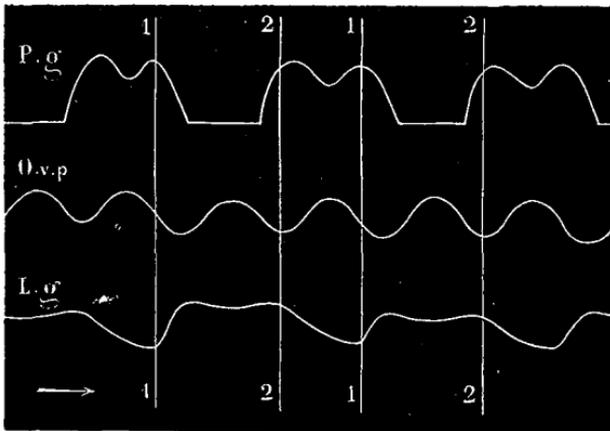


FIG. 20. — Représentant les rapports qui lient la contraction des muscles spinaux superficiels aux foulées et aux oscillations du tronc. — P. g., foulées du pied gauche. — O. v. p., oscillations verticales du pubis. — L. g., contraction du muscle lombaire gauche.

Dans l'intervalle 1-2, la contraction du muscle augmente, et elle diminue dans l'intervalle 2-1. Si l'on regarde à quoi correspondent ces contractions, dans le tracé des foulées,

on reconnaît que le gonflement ou le durcissement du muscle spinal lombaire gauche commence au moment où le talon droit se pose sur le sol et avant que la pointe du pied gauche le quitte. Ce gonflement persiste tout le temps que la jambe gauche oscille, et il ne diminue qu'après que les deux pieds ont été de nouveau en contact avec le sol.

Il est évident, à cause de la symétrie, que le muscle lombaire droit se comportera avec le pied gauche de la même manière que le lombaire gauche avec le pied droit. De là résulte que :

1° Au moment du *double appui*, les muscles spinaux lombaires sont tous deux fortement contractés.

2° Au moment de l'*appui unilatéral*, un seul des muscles spinaux est fortement contracté : c'est celui qui correspond à la jambe suspendue. La contraction de l'autre diminue pendant ce temps.

On sait qu'au moment du double appui, le tronc est à son minimum d'inclinaison dans le plan vertical antéro-postérieur. Les deux muscles lombaires sont alors fortement contractés. Cette double contraction a pour but d'étendre le tronc et de le maintenir dans un plan vertical.

Au moment de l'appui unilatéral, le tronc est incliné en avant et du côté de l'appui. Or, c'est précisément le muscle lombaire de ce dernier côté qui est peu contracté, tandis que l'autre l'est fortement. Voyons à quoi cela tient.

Dans la contraction peu énergique du muscle lombaire, qui a lieu du côté de l'appui, il faut reconnaître l'*effort de station* dont parle Gerdy. Cet effort résiste à l'action des muscles de la paroi antérieure de l'abdomen qui inclinent le tronc en avant, au moment de l'appui unilatéral. Quant à la contraction énergique du muscle lombaire, c'est elle que Gerdy désigne sous le nom d'*effort d'élévation*. Cette contraction ne peut, en effet, qu'étendre le rachis en le fléchissant de son côté, ou bien élever la partie correspondante du bassin. Or, nous venons de voir qu'à ce moment le rachis est incliné de l'autre côté; l'élévation du bassin peut donc seule se produire. Mais c'est, contrairement à l'opinion de Gerdy, du côté opposé à l'appui qu'on observera cette élévation.

Pendant l'effort de station, les muscles lombaires ont leur point fixe en bas, tandis qu'il est au contraire en haut pendant l'effort d'élévation. On peut donc dire finalement que :

1° *Au moment du double appui, les muscles spinaux lombaires sont contractés FORTEMENT de chaque côté et prennent leur point fixe en bas pour étendre le rachis.*

2° *Au moment de l'appui unilatéral, les muscles spinaux lombaires sont contractés de chaque côté, l'un FAIBLEMENT (effort de station, Gerdy) et l'autre FORTEMENT (effort d'élévation, Gerdy). Le premier correspond au côté de l'appui et a son point fixe en bas pour soutenir le tronc; le second correspond au côté du soutien, et a son point fixe en haut pour soulever et soutenir le bassin.*

Les muscles spinaux des lombes jouent donc un rôle considérable dans les mouvements du tronc. Ainsi se trouve démontrée l'erreur des Weber, qui attribuent l'inclinaison en avant du tronc à la seule résistance de l'air. Leur comparaison s'écroule, qui assimile le mouvement du tronc sur les têtes fémorales à celui d'une baguette portée verticalement sur le doigt et qui penche du côté vers lequel on se dirige.

CHAPITRE VIII.

CONCLUSIONS. — THÉORIE EXPÉRIMENTALE DE LA MARCHÉ.

Les principaux résultats de mes recherches expérimentales sur la marche peuvent être résumés dans les propositions suivantes :

1. — La foulée du talon atteint son maximum un peu après le poser, et celle de la pointe un peu avant le lever (voy. p. 25).

2. — La foulée du talon atteint rapidement son maximum, celle de la pointe n'y arrive que plus lentement (voy. p. 25).

3. — La pression de la foulée *dynamique* est plus forte que celle de la foulée *statique*. Autrement dit : L'effort du pied contre le

sol est plus grand pendant la marche que pendant le repos (voy. p. 25).

4. — Dans les foulées, la pression augmente avec la grandeur des pas (voy. p. 25).

5. — L'augmentation de pression ne dépasse pas un poids d'environ 20 kilos. (voy. p. 25).

6. — Quand la grandeur des pas augmente, la foulée du talon reste constante et celle de la pointe s'accroît (voy. p. 33).

7. — Dans la marche naturelle, le pied commence à se poser, en *tombant* sur le talon ; puis il continue son mouvement, en *s'appliquant* par toute la plante, et se déroule, en *s'appuyant* fortement sur sa partie antérieure, pour se *soulever* enfin par la pointe (voy. p. 26).

8. — La durée de l'appui d'une jambe est égale au temps de l'oscillation de l'autre, plus deux fois le temps du contact simultané des pieds avec le sol (voy. p. 27).

9. — La durée du double appui est égale à la demi-différence entre la durée de l'appui unilatéral et celle de l'oscillation de la jambe (voy. p. 27).

10. — La durée d'un pas est égale à la somme des durées de l'oscillation et du double appui (voy. p. 29).

11. — La durée d'un pas est égale à la demi-somme des durées de l'appui et de l'oscillation des jambes qui l'effectuent (voy. p. 35).

12. — On ne saurait admettre, avec les Weber, que : « Dans la marche la plus rapide, la durée d'un pas est égale à la demi-durée d'une oscillation de la jambe. » Plus la marche est rapide, plus ces deux quantités se rapprochent l'une de l'autre ; mais elles ne deviennent jamais égales (voy. p. 36).

13. — En général, la durée des pas diminue à mesure que leur longueur augmente (voy. p. 33).

14. — Le rapport inverse, admis par les Weber, entre la durée des pas et leur longueur, n'existe pas (voy. p. 33).

15. — Au début de l'appui, la flexion du genou augmente, jusqu'à ce que le tronc soit arrivé à sa situation la plus basse (voy. p. 36).

16. — Si l'on veut assimiler le membre qui oscille à un pendule, il faut ajouter que ce pendule est soumis à l'action musculaire (voy. p. 38).

17. — Le muscle droit antérieur de la cuisse se contracte au début de la période d'oscillation (voy. p. 38 et 22, fig. 7).

18. — Les muscles de la région postérieure de la cuisse se contractent, au commencement et à la fin de la période d'oscillation (voy. p. 22, fig. 7).

19. — Le grand trochanter (1) ne se meut pas en ligne droite. Il décrit dans l'espace une courbe gauche (voy. p. 40).

20. — La série des phases par lesquelles passe le grand trochanter, pour arriver à une position semblable à celle que l'on considère, s'accomplit dans l'intervalle d'un double pas (voy. p. 41).

21. — La distance des deux extrémités de la trajectoire décrite par le grand trochanter, pendant un double pas, est égale à la longueur de ce double pas (voy. p. 41).

22. — Pendant la durée d'un pas, le trochanter de la jambe au soutien parcourt un plus grand espace que celui de la jambe à l'appui (voy. p. 75).

23. — Les deux trochanters sont chacun à leur maximum d'écart à gauche, quand le pied gauche est au milieu de sa période d'appui, et à leur maximum d'écart à droite, quand ce même pied est au milieu de sa période de soutien (voy. p. 42).

24. — Les deux trochanters sont chacun au milieu de leur

(1) Le grand trochanter est employé ici pour désigner le sommet du membre inférieur.

période d'oscillation bilatérale, quand les deux pieds sont en contact avec le sol (voy. p. 42).

25. — Les deux trochanters se trouvent, au milieu de la période d'appui unilatéral, dans un même plan vertical perpendiculaire au chemin. A tout autre instant de la marche, cette condition cesse d'avoir lieu, et le trochanter de la jambe postérieure se trouve situé derrière celui de la jambe antérieure (voy. p. 43).

26. — Le trochanter passe par deux maxima d'élévation situés à des niveaux différents. Le plus élevé correspond au milieu de la période de soutien et le moins élevé au milieu de celle d'appui de la jambe correspondante (voy. p. 44).

27. — Le trochanter passe par deux minima d'élévation situés à des niveaux différents. Ils ont lieu au moment du double appui. Le plus élevé correspond à la jambe antérieure et le moins élevé à la jambe postérieure (voy. p. 44).

28. — Il y a un moment où les deux trochanters sont situés à la même hauteur. Ce moment a lieu très-peu après le lever du pied postérieur (voy. p. 44).

29. — Les deux trochanters sont soumis à un double mouvement de bascule par lequel l'un s'élève ou s'abaisse, par rapport à l'autre, en même temps qu'il s'approche ou s'éloigne de lui (voy. p. 44).

30. — Chaque trochanter atteint ses limites extrêmes d'oscillation horizontale, au moment même où arrivent ses maxima d'élévation (voy. p. 44).

31. — Chaque trochanter arrive au milieu de la période d'oscillation horizontale, en même temps qu'il se trouve au minimum d'élévation (voy. p. 45).

32. — Dans la trajectoire du grand trochanter, les maxima les plus élevés correspondent aux minima d'écart, et les maxima les moins élevés aux maxima d'écart, par rapport à l'axe du chemin parcouru (voy. p. 45).

33. — Les maxima de la trajectoire décrite par le sommet du membre inférieur sont tous situés à la même hauteur (voy. p. 45).

34. — Le niveau des minima de la trajectoire du grand trochanter s'abaisse, à mesure que la grandeur des pas augmente (voy. p. 46).

35. — L'amplitude des oscillations horizontales de la trajectoire du grand trochanter est constante, si l'écart des pieds, compté perpendiculairement à la direction du chemin, est lui-même constant (voy. p. 46).

36. — L'amplitude des oscillations horizontales du grand trochanter augmente ou diminue avec l'écart transversal des pieds (voy. p. 46).

37. — L'amplitude des oscillations verticales du grand trochanter est, en moyenne, de 70 millimètres, et celle des oscillations horizontales d'environ 75 millimètres (voy. p. 47).

38. — On doit considérer, dans le tronc en marche, quatre sortes de mouvements : 1° des mouvements d'*oscillation*, 2° des mouvements d'*inclinaison*, 3° des mouvements de *rotation*, 4° des mouvements de *torsion* (voy. p. 49).

39. — La distance, comptée suivant la direction du chemin, entre les deux extrémités de la trajectoire décrite par le pubis, pendant un pas, est égale à la longueur de ce pas (voy. p. 50).

40. — La courbe des oscillations horizontales du pubis est une espèce de sinussoïde considérablement surbaissée, où l'angle que fait, aux points d'inflexion, la courbe avec l'axe est d'environ 7 degrés (voy. fig. 13, p. 51).

41. — Le pubis est à son maximum d'écart à droite ou à gauche, quand le pied est au milieu de sa période d'appui, à droite ou à gauche (voy. p. 52).

42. — Au milieu de la période du double appui, le pubis est au milieu de son amplitude d'oscillation horizontale (voy. p. 52).

43. — Au début de la période du double appui, le pubis est

situé, par rapport à l'axe du chemin, du même côté que la jambe postérieure (voy. p. 52).

44. — Au milieu de la période du double appui, le pubis est situé au-dessus de l'axe du chemin (voy. p. 52).

45. — A la fin de la période du double appui, le pubis est situé, par rapport à l'axe du chemin, du même côté que la jambe antérieure (voy. p. 52).

46. — Pendant la période de l'appui unilatéral, le pubis est situé, par rapport à l'axe du chemin, du même côté que la jambe à l'appui (voy. p. 52).

47. — Si l'écart transversal des pieds reste le même pendant la marche, l'amplitude des oscillations horizontales du pubis est sensiblement constante, quand la grandeur des pas augmente (voy. p. 53).

48. — Si l'écart transversal des pieds varie, l'amplitude des oscillations horizontales du pubis varie dans le même sens, augmentant ou diminuant avec lui (voy. p. 53).

49. — La courbe des oscillations verticales du pubis est une espèce de sinussoïde très-surbaissée, où l'angle que fait, aux points d'inflexion, la courbe avec l'axe est d'environ 9 degrés (voy. fig. 13, p. 51).

50. — La ligne décrite par le centre de gravité n'offre pas de points de rebroussement (voy. p. 55).

51. — Le pubis passe au maximum de son oscillation verticale, quand l'un des pieds est au milieu de sa période d'appui et l'autre au milieu de celle de soutien (voy. p. 55).

52. — Le pubis passe au minimum de son oscillation verticale, quand les deux pieds sont au milieu de la période du double appui (voy. p. 55).

53. — Au début de la période du double appui, le pubis s'abaisse, et il s'élève à la fin (voy. p. 55).

54. — Le pubis passe au minimum de son oscillation verticale toutes les fois qu'il se trouve au milieu de son oscillation horizontale, c'est-à-dire sur l'axe du chemin parcouru (voy. p. 56).

55. — Le pubis passe au maximum de son oscillation verticale toutes les fois qu'il se trouve le plus loin possible, à droite ou à gauche, de l'axe du chemin (voy. p. 56).

56. — Dans l'espace de deux foulées consécutives, le pubis décrit une *M* ronde majuscule, considérablement surbaissée dans le plan vertical, et une *S* italique couchée, considérablement allongée dans le plan horizontal (voy. p. 57).

57. — Le minimum de l'oscillation verticale du pubis a lieu au moment où le pied antérieur commence à toucher le sol par toute la plante (voy. page 57).

58. — Le maximum de l'oscillation verticale du pubis a lieu au moment où le talon du membre à l'appui quitte le sol (voy. p. 58).

59. — Il est impossible d'admettre les théories des Weber et de M. Giraud-Teulon, au sujet de la constance d'amplitude des oscillations verticales du tronc pendant la marche (voy. p. 60).

60. — Le niveau des maxima des oscillations verticales du tronc, pendant la marche naturelle, est constant. Celui des minima descend, au contraire, de plus en plus, à mesure que la grandeur des pas augmente (voy. p. 61).

61. — L'amplitude moyenne des oscillations verticales du tronc, dans la marche naturelle, est d'environ 37 millimètres; celle des oscillations horizontales est à peu près le double et d'environ 74 millimètres (voy. p. 61).

62. — On peut construire pratiquement la trajectoire du pubis et celle du trochanter (voy. p. 62).

63. — On peut regarder la trajectoire du pubis comme étant inscrite dans un demi-cylindre creux, au fond duquel se trouvent les minima, et sur les bords duquel viennent se terminer tangentiellement les maxima (voy. p. 62).

64. — On peut considérer la trajectoire du trochanter comme tracée à la surface de deux cylindres, dans la concavité desquels elle serpente. Ces cylindres ont deux génératrices communes ou d'intersection, auxquelles la courbe est tangente. La section

de ce double cylindre a la forme d'un croissant (voy. fig. 16, p. 63).

65. — L'épure de la figure 17 montre les rapports qui existent entre les trajectoires des trochanters et du pubis (voy. p. 64).

66. — L'amplitude des oscillations verticales du pubis est plus grande que la moitié de celle des trochanters (voy. p. 65).

67. — Les amplitudes des oscillations horizontales du pubis et des trochanters ont la même valeur (voy. p. 67).

68. — Au moment où le pubis atteint le maximum de son oscillation verticale, il s'élève d'environ 10 millimètres au-dessus de la position qu'il occupe dans la station (voy. p. 67).

69. — Le tronc s'incline alternativement à chaque pas, du côté du membre à l'appui. Cette inclinaison latérale est nulle quand le tronc, occupant sa position la plus basse, est situé sur l'axe du chemin. Elle augmente à mesure que le tronc, s'éloignant de cet axe, s'élève, et diminue à mesure que, s'en rapprochant, il s'abaisse (voy. p. 68).

70. — On ne saurait accepter la théorie des Weber, qui consiste à admettre la variation proportionnelle de l'inclinaison avec la vitesse, ainsi que la constance de cette inclinaison, pour une vitesse donnée, et à nier la nécessité de l'effort musculaire pour incliner le tronc (voy. p. 70, 71 et 82).

71. — L'inclinaison du tronc dans le plan vertical varie brusquement aux environs de son minimum, et lentement aux environs de son maximum (voy. p. 70).

72. — L'inclinaison du tronc dans le plan vertical est minima au milieu de la période du double appui, et maxima au milieu de celle de l'appui unilatéral (voy. p. 70).

73. — L'inclinaison du tronc en avant augmente avec la grandeur des pas (voy. p. 70).

74. — Le tronc s'incline de côté en même temps qu'il s'incline en avant, et les maxima de ces inclinaisons coïncident, de même que leurs minima (voy. p. 71).

75. — Dans la marche naturelle, l'angle du tronc avec la verticale ne dépasse pas un maximum d'environ 10 degrés (voy. p. 71).

76. — L'inclinaison maxima ou minima du tronc en avant a lieu en même temps que le maximum ou le minimum de l'oscillation verticale du pubis (voy. p. 71).

77. — L'inclinaison du tronc en avant augmente ou diminue, quand sa partie inférieure (le pubis) s'élève ou s'abaisse (voy. p. 72).

78. — Dans la marche naturelle, si la tête se meut d'une seule pièce avec le rachis, elle s'abaisse, par le fait de l'inclinaison du tronc, moins qu'elle ne s'élève par suite de son mouvement d'oscillation verticale (voy. p. 73).

79. — L'amplitude des oscillations verticales du tronc diminue de la base au sommet; celle des oscillations horizontales augmente, au contraire, de la base au sommet (voy. p. 73).

80. — Contrairement à l'opinion de Gerdy, le bassin s'élève toujours du côté correspondant à la jambe qui oscille (voy. p. 75).

81. — Malgré le mouvement de rotation horizontale du bassin, la courbe décrite par le trochanter au soutien, a sa concavité dirigée dans le même sens que celle de la courbe décrite par le trochanter à l'appui (voy. p. 76).

82. — Si les bras sont fixés au tronc, l'un des côtés du bassin et l'épaule correspondante sont animés de mouvements de rotation dans le même sens. Le tronc est donc aussi animé d'un mouvement de rotation (voy. p. 78).

83. — Si les bras sont libres, l'un des côtés du bassin et l'épaule correspondante sont animés de mouvements de rotation en sens contraire. Le tronc est donc animé d'un mouvement de torsion (voy. p. 78).

84. — Au moment du double appui, les muscles spinaux lombaires sont contractés *fortement* de chaque côté, et prennent leur point fixe en bas, pour étendre le rachis (voy. p. 82).

85. — Au moment de l'appui unilatéral, les muscles spinaux lombaires sont contractés de chaque côté, l'un *faiblement* (effort de station, Gerdy) et l'autre *fortement* (effort d'élévation, Gerdy). Le premier correspond au côté de l'appui, et a son point fixe en bas, pour soutenir le tronc; le second correspond au côté du soutien, et a son point fixe en haut, pour soulever et soutenir le bassin.

THÉORIE DE LA MARCHÉ.

Les propositions précédentes constituent un ensemble qui permet d'établir la *théorie expérimentale* de la marche. Laisant ici de côté les divisions numériques, je distinguerai le temps du double appui et celui de l'appui unilatéral. Chacun de ces temps peut se subdiviser en trois périodes qui seront successivement celles du *début*, du *milieu* et de la *fin*.

A. — TEMPS DU DOUBLE APPUI.

1° Au *début* du double appui, c'est-à-dire quand le pied antérieur ne touche le sol que par le talon, la jambe postérieure est étendue. Elle n'appuie que sur les extrémités des métatarsiens et les phalanges. La jambe antérieure est étendue ou légèrement fléchie dans l'articulation du genou. L'axe bicotyloïdien est oblique d'avant en arrière et de haut en bas. Le tronc descend, en même temps que son inclinaison en avant et de côté diminue. Le pubis est situé en dehors de l'axe du chemin, du côté de la jambe postérieure.

2° Au *milieu* du double appui, c'est-à-dire quand le pied antérieur commence à toucher le sol par toute l'étendue de la plante, la jambe postérieure ne le touche que par les phalanges. La jambe antérieure est fléchie davantage qu'au début dans l'articulation du genou. L'axe bicotyloïdien est toujours oblique, d'avant en arrière et de haut en bas. Le tronc a fini de descendre et est parvenu à sa situation la plus basse. Son inclinaison,

en avant et de côté est également arrivée à son minimum. Le pubis est situé au-dessus de l'axe du chemin.

3° A la *fin* du double appui, c'est-à-dire quand la jambe postérieure ne touche plus le sol que par l'extrémité des phalanges, la jambe antérieure a commencé à ouvrir son articulation du genou. La ligne bicotyloïdienne est oblique comme précédemment. Le tronc commence à s'élever en même temps qu'il s'incline en avant et de côté. Le pubis est situé en dehors de l'axe du chemin, du côté de la jambe antérieure.

B. — TEMPS DE L'APPUI UNILATÉRAL.

1° Au *début* de l'appui unilatéral, c'est-à-dire quand le pied postérieur vient de quitter le sol et que l'antérieur repose par toute la plante, la jambe à l'appui continue à ouvrir son articulation du genou pendant que celle au soutien commence à la fermer. L'axe bicotyloïdien est toujours oblique, mais d'avant en arrière seulement, et il est horizontal. Le tronc continue à s'élever, en même temps qu'il s'incline en avant et de côté. Le pubis s'écarte de l'axe du chemin, du côté de la jambe antérieure.

2° Au *milieu* de l'appui unilatéral, c'est-à-dire quand le talon de la jambe à l'appui quitte le sol, elle a ouvert au maximum son articulation du genou. La jambe au soutien a au contraire fermé la sienne au maximum. L'axe bicotyloïdien est toujours oblique, mais de haut en bas seulement. Il est situé dans un plan vertical, et son extrémité inférieure répond au membre à l'appui. Le tronc a fini de s'élever et est parvenu à sa situation la plus haute. En même temps, son inclinaison en avant et de côté est maxima. Le pubis est à son maximum d'écart de l'axe du chemin, du côté de la jambe à l'appui.

3° A la *fin* de l'appui unilatéral, c'est-à-dire quand le pied à l'appui ne touche le sol que par sa partie métatarso-phalangienne et que la jambe au soutien a dépassé le milieu de sa période d'oscillation, l'articulation du cou-de-pied de la jambe à l'appui s'ou-

vre, pendant que celle du genou continue à être au maximum d'extension. L'axe bicotyloïdien redevient oblique d'avant en arrière et de haut en bas ; mais cette fois son obliquité est dirigée dans un autre sens, et l'extrémité qui était en avant et en haut, dans la période du double appui, est maintenant en arrière et en bas. Le tronc s'abaisse, en même temps que son inclinaison en avant et de côté diminue. Le pubis se rapproche de l'axe du chemin.

Ces phénomènes ont lieu, quelle que soit la grandeur des pas.

Si la grandeur des pas augmente, on voit, *en général*, diminuer leur durée, mais *toujours* augmenter l'abaissement du tronc et son inclinaison. Un fait remarquable, c'est la hauteur de l'élévation du tronc, qui reste constante, quand la grandeur des pas augmente ou diminue.

Dans la marche naturelle, ni trop lente, ni trop rapide, si les bras sont fixés, le tronc subit un mouvement de rotation, qui devient un mouvement de torsion si les bras sont libres.

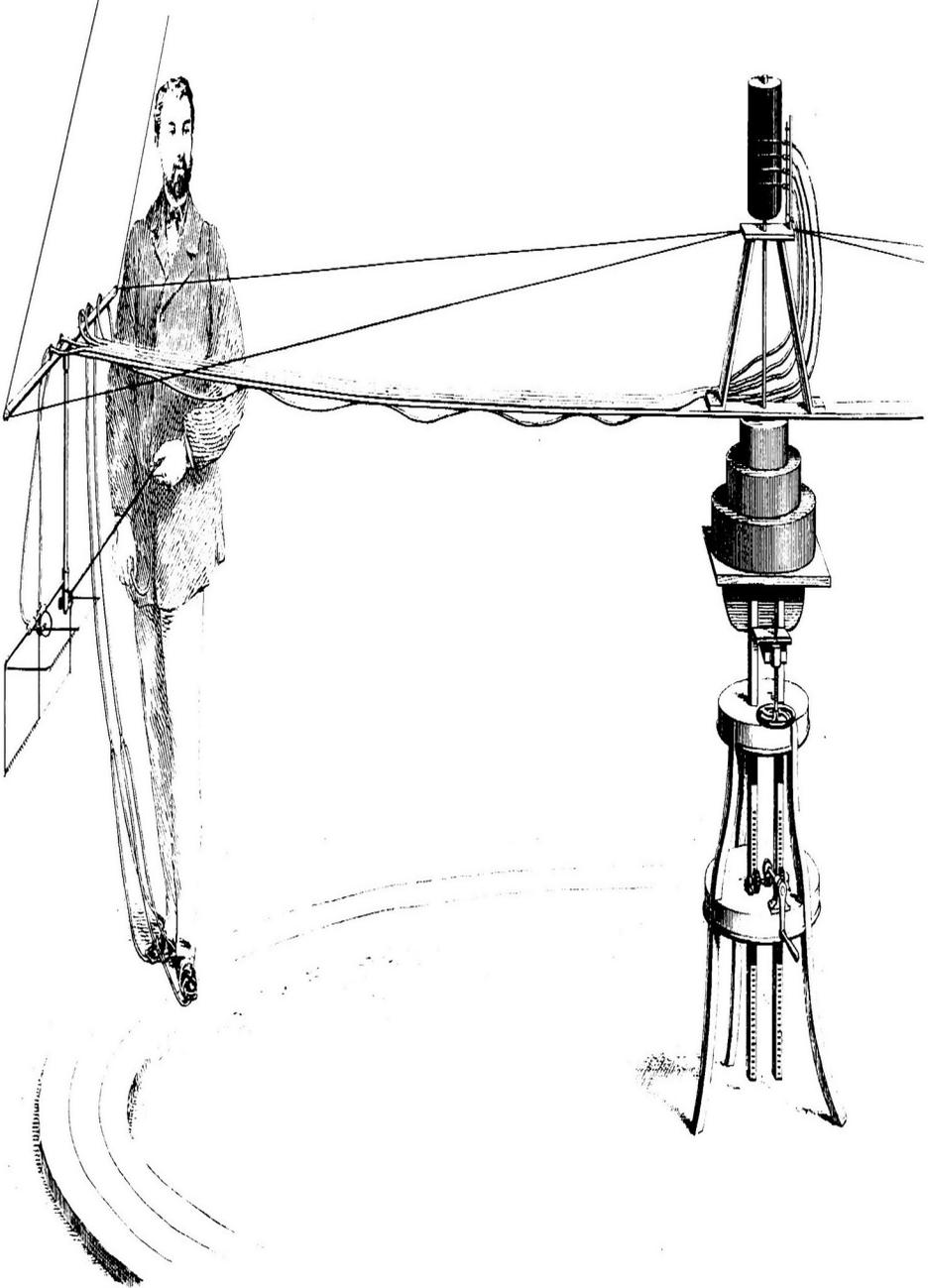
La collection des faits que j'ai analysés dans ce mémoire, et dont je viens de donner une rapide synthèse, a été établie d'après une série d'expériences faites sur un grand nombre de personnes différentes. Je dois, en particulier, des remerciements à mon ami Phelebon, qui a bien voulu répéter plusieurs fois avec moi les expériences les plus délicates, s'associant ainsi à une œuvre qui ne pouvait offrir d'intérêt qu'à un véritable ami de la science.

Vu et approuvé, le 3 juillet 1872.

Le doyen de la Faculté des sciences,
MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer, le 3 juillet 1872.

Le vice-recteur de l'Académie de Paris,
A. MOURIER.



Appareil pour l'Etude de la Locomotion.

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrégnade, 16, Paris.

