

main qui a touché une méduse phosphorescente reste quelque temps lumineuse. La substance, quelle qu'elle soit, qui produit la lumière peut donc être enlevée du corps et rester lumineuse un certain temps. Les pyrosomes, pholades, pennatules, etc., présentent aussi des phénomènes de phosphorescence.

Mécanique animale. — Les muscles sont les agents de la locomotion en général : ils peuvent chez certains animaux être remplacés ou aidés par le mouvement ciliaire ; mais chez les animaux quelque peu élevés en organisation, qu'ils marchent, rampent, volent ou nagent, les muscles seuls sont les agents de mouvement. Ils ne produisent leur maximum d'effet qu'à la condition qu'il y soit joint un squelette, une série de pièces osseuses, mobiles, mais rigides, intérieures comme chez les vertébrés, ou extérieures comme chez les invertébrés (coquille, carapace des mollusques, insectes, crustacés, etc.), pièces sur lesquelles les muscles peuvent prendre un point d'appui, de telle sorte, si elles sont fixes et rigides, que les pièces non fixes auxquelles s'insèrent les mêmes muscles peuvent être mises en mouvement par la contraction. Dans la mécanique humaine, le crâne et le tronc représentent les parties fixes (os du crâne, colonne vertébrale, os du bassin), et les parties mobiles sont la mâchoire inférieure et les os des membres : encore beaucoup d'os des membres sont-ils fixes comme ceux du corps et du tarse, ou ne sont que faiblement mobiles. Les parties mobiles elles-mêmes, cependant, ne le sont que dans certaines limites : tout os est articulé avec un autre, ou deux autres, et c'est autour de l'articulation comme pivot que s'exécute le mouvement. Il n'y a pas lieu d'insister sur ces notions, d'ailleurs, qui sont du ressort de l'anatomie. Celle-ci nous montre aussi que tout mouvement est nécessairement limité, de façon et dans des proportions variables, par la configuration même de l'articulation ; l'olécrane empêche l'avant-bras de se flé-

chir sur le côté dorsal du bras, etc. Les os mobiles, mis en mouvement par les muscles, sont autant de leviers, grâce auxquels le déplacement de l'extrémité relativement libre est rendu plus ample et est multiplié par rapport au raccourcissement réel du muscle : exemple le mouvement très ample de l'avant-bras sur le bras, pour un raccourcissement relativement peu considérable du biceps ; en outre, ils changent la forme du mouvement, de sorte qu'un raccourcissement se

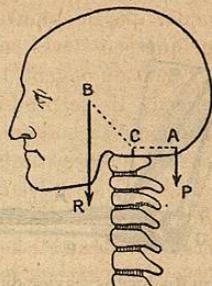


Fig. 84. — Equilibre de la tête sur la colonne vertébrale. B R, résistance. — C, occipito-atloïdienne. — A P, puissance (muscles de la nuque). — B, centre de gravité de la tête. (Viault et Jolyet.)

trouve se traduire au dehors par des mouvements de forme très variée, selon les combinaisons musculaires concomitantes, selon les contractions opérées simultanément dans d'autres muscles. Il suffit de signaler ce point en passant.

Ces leviers osseux se groupent en trois catégories, qui seront brièvement énumérées.

Levier du premier genre. — Le point d'appui est entre la puissance et la résistance. Exemple : l'équilibre de la tête : le point d'appui est à l'articulation occipito-atloïdienne ; la résistance, c'est le poids de la tête qui tend à basculer en avant ; la puissance est représentée par les muscles de la nuque qui s'insèrent sur l'occipital et luttent contre la pesan-

teur. Et encore : extension de l'avant-bras sur le bras : A est au coude; R est le poids de l'avant-bras; P à l'olécrane (insertion du triceps). Ce levier est celui de la station.

Levier du deuxième genre. — La résistance est placée entre A et P. Exemple le pied, dans l'acte de se dresser sur

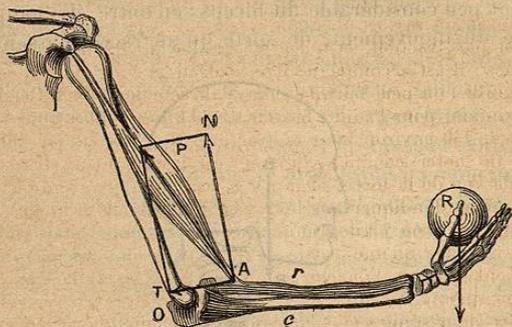


Fig. 85. — Action du biceps (levier du troisième genre).
A, puissance. — R, résistance. — T, appui (articulation du coude).

les pointes. A est au bout de la plante du pied; R est à l'articulation tibio-tarsienne; P est au calcaneum où s'insère le tendon d'Achille émané des muscles du mollet. Ce levier est un levier de force.

Levier du troisième genre. — P est entre A et R. Exemple, l'avant-bras et le bras. A est à l'articulation du coude; R est le poids de l'avant-bras; P est à l'insertion du biceps sur l'avant-bras. C'est le levier de la vitesse, le plus répandu dans l'économie.

Grâce à ces leviers, l'animal se meut et se déplace à sa volonté, exécutant ainsi un travail mécanique parfois très considérable, et des mouvements très variés en raison de l'aptitude que lui confère son organisation de mobiliser ou

d'immobiliser à volonté par des contractions combinées de muscles coopérateurs, ou antagonistes, divers segments osseux, et de transformer ceux-ci en tiges alternativement rigides et non rigides dans des attitudes diverses.

Le travail mécanique ainsi effectué peut se mesurer au dynamomètre, on à l'ergographe de Mosso. Le *dynamomètre* le plus usité consiste en un ressort élastique ovale sur lequel on agit par pression ou par traction, et qui a été gradué préalablement, en kilogrammes : il est accompagné d'un cadran le long duquel se dévie une aiguille ; on peut faire la lecture directe de l'effort. Celui-ci est au maximum, pour l'adulte moyen, de 70 kilogrammes pour la pression et de 140 environ pour la traction. Nous avons eu déjà l'occasion de noter combien l'homme est inférieur aux insectes, au point de vue de la force, et il n'y a pas lieu d'y revenir ici : contentons-nous d'indiquer que le travail de l'ouvrier ordinaire est représenté par 6 ou 7 kilogrammètres par seconde ; mais comme le travail ne dure qu'une partie de la journée et n'est pas toujours également soutenu, l'ouvrier ne produit pour les 24 heures, travail et repos, qu'une moyenne de 2, 3 kilogrammètres par seconde. Les animaux domestiques en fournissent beaucoup plus, même en ramenant à l'unité de poids : par seconde, et par kilogramme de poids, les chiffres sont en kilogrammètres : 0,157 pour l'homme ; 0,172, bœuf ; 0,178, âne ; 0,222, mulet ; 0,261, cheval (moyenne pour les 24 heures).

L'*ergographe* de Mosso consiste en un appareil où la main et l'avant-bras sont immobilisés horizontalement ; le médus porte un anneau où est attaché une corde qui est réfléchi sur une poulie et supporte un poids ; on enregistre le travail exécuté par le médus lors de sa flexion qui soulève le poids.

Avec les notions d'anatomie courante, chacun peut aisément se faire une idée exacte du mécanisme des principaux actes et gestes du corps. Mais pour comprendre le mécanisme de la station et de l'équilibre, il est besoin de quelques notions complémentaires. Dans la station verticale, les muscles de la nuque maintenant la tête, et la transformant en un tout en quelque sorte rigide, il faut, pour que le corps demeure debout et droit, deux conditions. La première est que les membres inférieurs soient rigides et que le bassin

ne vienne pas fléchir sur les cuisses, ou les cuisses sur les genoux, etc.; ceci s'obtient au moyen de la contraction de muscles appropriés, maintenant l'extension, ou produisant de la flexion, car il est à noter que les deux groupes de muscles antagonistes sont actifs, comme l'a dit Duchenne, de Boulogne; un mouvement quelconque est toujours la résultante

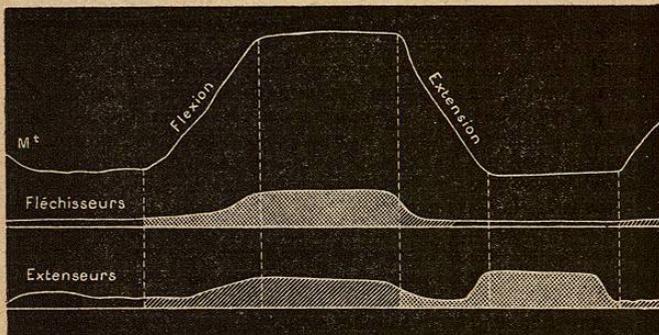


Fig. 86. — Mouvement uniforme de flexion et d'extension de l'avant-bras. On voit, par le graphique des fléchisseurs et extenseurs que les muscles antagonistes entrent en jeu dans les deux cas. (G. Demy.)

tante des actions qui se passent en même temps dans les muscles antagonistes : les fléchisseurs ne sont pas inactifs dans un mouvement d'extension, et vice versa (Beaunis)¹. La seconde condition, c'est que la verticale passant par le centre de gravité du corps, qui est dans le bassin au niveau du promontoire ou de la deuxième vertèbre sacrée, tombe dans la base de sustentation formée par les pieds, ayant ceux-ci pour côtés, et les deux autres côtés étant figurés par les lignes reliant

¹ Voir aussi G. Demy : *Du rôle mécanique des muscles antagonistes dans les actes de locomotion.* (Arch. de Physiol., 1890.)

les talons et les orteils. Comme on peut disposer les pieds dans un grand nombre de positions, les rapprochant, les écartant, les déplaçant en avant ou en arrière, à droite ou à gauche, on donne à la base de sustentation la forme la plus variée, en même temps qu'on l'accroît et la diminue à volonté. Sauf le cas où l'on se tient en équilibre sur la pointe d'un seul pied, dans la station normale, la base est minima dans le cas où les deux pieds sont parallèles et contigus : le quadrilatère est bien petit. Mieux vaut écarter les pointes : cela augmente la base. Si les deux pieds sont parallèles, mais quelque peu écartés, la base est bonne, surtout si l'équilibre est menacé de rupture par une force extérieure venant de côté : elle est médiocre si la force peut venir de devant ou de derrière, le champ où peut se déplacer le centre de gravité étant limité par la longueur des pieds. Aussi, pour résister à une force venant de devant ou de derrière avance-t-on un pied : on gagne en résistance dans ce sens, sans perdre beaucoup de la résistance à une force latérale. On remarquera que la station *hanchée* où la base de sustentation est très petite en apparence, est celle que l'on prend le plus souvent : on s'appuie sur une jambe principalement, et l'autre sert à maintenir l'équilibre au moyen de petits mouvements instinctifs. Cette station est moins fatigante que la station symétrique; mais naturellement elle entraîne des modifications dans l'attitude de toutes les parties musculaires du corps, ou peu s'en faut.

Durant la locomotion, surtout chez les bipèdes, l'équilibre est très instable : à tout moment la base de sustentation change de forme et d'étendue, et quand un pied seul pose sur le sol, elle est réduite à bien peu de chose : aussi une force extérieure fait-elle souvent tomber plus facilement le sujet en marche que le sujet immobile. L'étude de la locomotion, des mouvements qui la constituent, a été faite avec beaucoup de soin par M. Marey, et M. Carlet, et les résultats de cette étude sont tout autres que ceux des recherches des frères

Weber qui avaient dit que le mouvement de la jambe qui s'avance pour faire un pas, est un mouvement passif, une oscillation passive nécessitée par l'extension de la jambe immobile qui s'élève (sur la pointe du pied) et par là oblige la jambe restée en arrière et qui va se porter en avant, à quitter le sol. D'après eux, on devrait considérer la marche comme une série de chutes successives arrêtées par le pied passif qui oscille en avant à la distance où il se trouvait en arrière, en se fléchissant légèrement — comme le fait d'ailleurs tout pendule formé de deux articles — ce qui explique comment le pied ne butte pas contre le sol; l'agent actif de la marche était non la jambe en mouvement, mais la jambe immobile qui, en soulevant le corps, projetterait en avant le bassin (d'où le détachement de la jambe en arrière).

Cette théorie a régné longtemps; mais Carlet déjà avait montré que la jambe qui oscille se contracte — elle n'est donc pas passive — quand Marey entreprit l'étude de la locomotion par la méthode graphique, et la chronophotographie.

Les appareils enregistreurs de Marey consistent en une *chaussure exploratrice* qui sert à enregistrer la pression du talon et de la pointe du pied sur le sol, au moyen de deux chambres à air qu'on fait communiquer avec un tambour inscripteur; un *explorateur des excursions verticales*, un tambour à levier, horizontal, dont le levier porte une petite masse de plomb: quand le corps s'élève, la masse tend, par son inertie, à résister, et à peser plus sur le tambour, et le contraire a lieu quand le corps s'abaisse brusquement: un tambour enregistreur communique avec cet explorateur; et enfin les indications de ces deux instruments s'inscrivent sur un cylindre enregistreur portatif, que le coureur ou marcheur porte à la main, ou sur un *odographe*, autre appareil enregistreur. Enfin, pour photographier l'homme dans les différentes attitudes de la course ou de la marche, etc. M. Marey a eu recours d'abord à un fusil photographique pouvant prendre douze images par seconde, puis il s'est servi d'un procédé différent consistant à prendre, sur une même plaque, la photographie d'un marcheur ou d'un coureur, à intervalles connus (50, 70 ou plus par seconde) en simplifiant la photographie pour que celle-ci ne soit point confuse, par exemple en habillant le coureur de blanc du côté exposé à l'objectif et de

noir du côté opposé, ou mieux encore, en l'habillant tout en noir et ne photographiant que des raies blanches tracées sur le bras et la jambe: c'est par ce procédé qu'a été obtenue la figure ci-jointe qui représente les oscillations de la jambe d'un homme en marche.

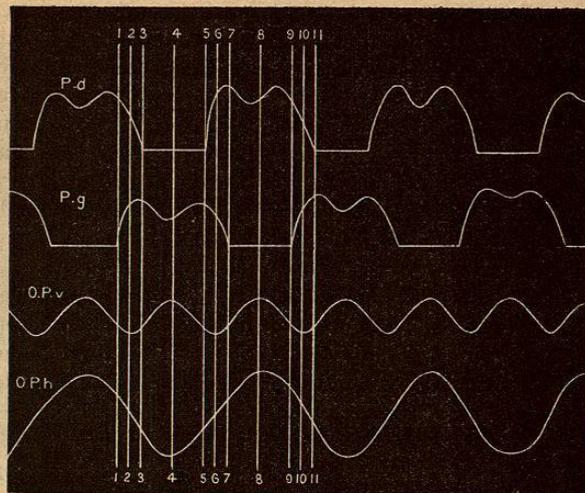


Fig. 87. — Graphique représentant les mouvements des deux pieds et les mouvements oscillatoires du pubis pendant la marche.

P d et P g, pieds droit et gauche. — O P h, O P v, oscillations horizontales et verticales du pubis. (D'après Carlet.)

Par l'emploi de ces méthodes, M. Marey a pu reconnaître un certain nombre de faits importants qu'il suffira de résumer.

Le pied pose sur le sol d'abord par le talon, et c'est par la pointe qu'il le quitte: le temps qui s'écoule entre le moment où le talon pose sur le sol et celui où la pointe le quitte (après le talon) s'appelle une *foulée* ou un temps d'appui, et Carlet a bien montré que la pression du pied qui se pose sur

le sol est plus forte (de 20 kilogrammes au plus) que celle du pied durant la station : il y a donc une part de vérité dans la chute qu'implique la théorie des Weber. Le tableau qui suit résume les faits inscrits dans le graphique précédent emprunté à Carlet :

| DOUBLE PAS | | | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| PAS | | PAS | |
| Temps de double appui. | Temps d'appui unilatéral. | Temps de double appui. | Temps d'appui unilatéral. |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pied droit. Appui de la pointe. | Lever. | Appui du talon. | Appui. |
| Pied gauche. Appui du talon. | Appui. | Appui de la pointe. | Lever. |

et ainsi de suite.

Marey a constaté que le pas est plus long quand le tronc s'abaisse plus et pour les jambes longues : pour faire un grand pas, il faut en effet abaisser le tronc; en même temps l'appui de la pointe augmente d'intensité : elle presse plus fort sur le sol. Comme l'avait dit Weber, le pas est d'autant plus long que la vitesse est plus grande : tous deux croissent et diminuent en même temps. Par contre, la *durée* est en raison inverse de la longueur et de la vitesse : aussi la durée des pas diminue à mesure que s'accroît la vitesse; mais en aucun cas un pied ne se détache du sol avant que l'autre s'y soit posé. En examinant ce qui se passe du côté des jambes, on constate que la jambe active (celle qui est en avant) se redresse peu à peu de façon à devenir droite, tandis que l'autre, étendue en arrière, allongée, touche le sol par la pointe étendue et pousse le corps en avant, se détache, oscille en avant en se fléchissant, puis s'allonge de nouveau et aborde le sol par le talon sur lequel elle tombe. Mais ce mouvement est uniforme pendant sa durée : il n'a pas le

caractère d'une oscillation de pendule, comme le croyaient les Weber; ce n'est pas un acte purement passif; il est d'autant plus actif que la marche est plus rapide, et chacun peut s'en assurer en se livrant au pas accéléré : s'il n'y est point accoutumé, il ressentira une fatigue spéciale de la cuisse due

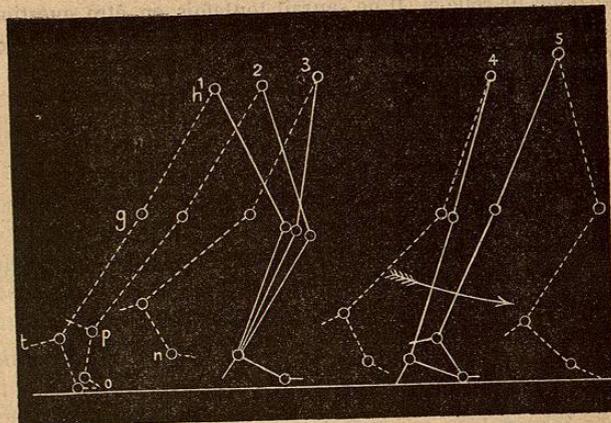


Fig. 38. — Phases de la marche.

(Les lignes pleines représentent la jambe active, les lignes pointillées la jambe passive.)

h, articulation de la hanche. — g, genou. — p, articulation tibio-tarsienne. t, talon. — o, orteil. (D'après Landois.)

au travail plus considérable des muscles qui fléchissent celle-ci sur le bassin.

Pendant la course, les phénomènes sont similaires, avec cette différence qu'il y a un temps durant lequel le corps ne touche plus le sol, grâce au saut exécuté sous l'influence d'une poussée plus forte de la jambe d'arrière qui est aussitôt après tirée avec force en avant pour recevoir le poids du corps au pas suivant.

Avec la même méthode M. Marey a fait d'intéressantes études sur la locomotion de différents animaux, quadrupèdes,

oiseaux, etc.; il a pu prendre d'admirables photographies d'oiseaux au vol, montrant comment se décomposent les mouvements des ailes. Ces études ont révélé nombre de faits intéressants, en particulier à l'égard des différentes espèces de vols (ramé, à voile, plané) et du rôle du vent dans la seconde de celle-ci. Il ne saurait toutefois en être question ici, et nous renverrons au beau livre de M. Marey : *le Vol des Oiseaux* (Masson, 1890).

LARYNX ET PHONATION

Définition. — Les animaux possédant un appareil respiratoire pulmonaire émettent tous, à quelques exceptions près, des sons, grâce à un appareil spécial disposé sur le passage de l'air : le larynx. Mais chez l'homme, le fonctionnement de cet appareil atteint un perfectionnement remarquable et l'étude de la phonation ne peut se faire réellement que sur lui.

L'appareil phonateur destiné à former le langage articulé, est constitué par le larynx, partie principale et par une série d'organes qui sont nécessaires pour modifier les sons émis par la langue : cavité buccale, langue, arcades dentaires, lèvres, etc.

Le larynx n'est que la continuation de la trachée, mais il présente des modifications pour faciliter et amplifier les mouvements vibratoires qui constituent le son.

En ce point, en effet, l'air expulsé par le mouvement expiratoire de la cage thoracique, rencontre trois rétrécissements successifs, les cordes vocales inférieures, les cordes vocales supérieures, les replis aryéno-épiglottiques. Ces rétrécissements déterminent entre eux des espaces qui jouent le rôle de résonnateur.

Mais de ces trois rétrécissements, un seul joue un rôle essentiel dans la production du son, ce sont les cordes vocales inférieures de la glotte : les lèvres vocales de Mandl.