

dans les mouvements du corps. Lorsque la tête est en équilibre sur la colonne vertébrale, dans l'articulation occipito-atloïdienne (fig. 47), elle représente un levier du premier genre, dont le *point d'appui* est au niveau de son union avec la colonne vertébrale (en A); la *résistance* (poids de la tête) siège au centre de gravité de la tête, c'est-à-dire au-dessus et un peu en avant du centre des mouvements (en R); la *puissance* est représentée par les muscles de la nuque s'insérant à la moitié inférieure de l'occipital (en P). En réunissant

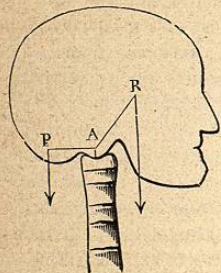


Fig. 47. — Schéma de l'équilibre de la tête sur la colonne vertébrale *.



Fig. 48. — Schéma du pied et de la cheville, le talon étant soulevé par le tendon d'Achille (Dalton).

ces divers points, on obtient un *levier coudé du premier genre* qu'on peut facilement transformer en un levier droit. Il en est de même pour le maintien en équilibre du tronc sur les têtes des deux fémurs; les articulations coxo-fémorales forment le point d'appui d'un levier du premier genre dont la résistance (centre de gravité du tronc) est placée en arrière, et la puissance (muscles antérieurs de la cuisse) en avant. Semblable levier se trouve dans l'articulation de la cuisse avec la jambe, et de la jambe avec le pied (dans les mouvements d'équilibre de la station verticale).

Les deux autres genres de leviers se trouvent surtout réalisés, non dans l'équilibre de station, mais dans les mouvements de locomotion.

Le *levier du deuxième genre*, ou *interrésistant*, dans lequel, par conséquent, le bras de levier de la puissance est plus long que

* Levier du premier genre: — A, point fixe; — R, résistance (centre de gravité de la tête — P, puissance (les flèches indiquant la direction dans laquelle agissent la puissance et la résistance).

celui de la résistance, et où dès lors la vitesse est sacrifiée à la force, ne se rencontre guère chez l'homme que lorsqu'on soulève le poids total du corps en s'élevant sur la pointe des pieds, ce qui a lieu dans le mouvement de la marche, à chaque pas, dans le pied qui se détache du sol pour osciller et se porter au-devant de l'autre. Dans ce cas (fig. 48, 49), le point d'appui est sur l'axe du cylindre transversal que forme la série des têtes métatarsiennes au niveau de leur jonction avec les phalanges. La puissance est représentée par les muscles du tendon d'Achille, et son point d'application se trouve à l'extrémité postérieure du calcaneum; la résistance, c'est-à-dire le poids du corps transmis par le tibia, se trouve à la face supérieure

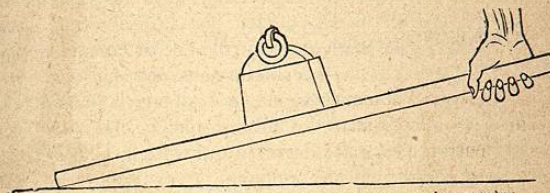


Fig. 49. — Type d'un levier du deuxième genre, auquel se ramène la figure 42. (Dalton, *Physiologie et Hygiène*.)

du calcaneum et de l'astragale (ne formant qu'un seul et même os dans les mouvements de ce genre), au niveau de l'articulation tibio-tarsienne, et par conséquent entre le point fixe et le point d'application de la puissance. Le bras de levier de la puissance est donc plus long que celui de la résistance, et, par suite, la puissance déployée par les muscles du mollet pour soulever le corps peut être inférieure au poids du corps lui-même, ainsi que nous l'indique la loi des leviers du deuxième genre (fig. 49).

Le *levier du troisième genre* ou *interpuissant* est de beaucoup le plus répandu dans l'économie; c'est par excellence le *levier de la locomotion*; on le trouve dans la plupart des mouvements partiels ou d'ensemble, et spécialement dans les mouvements de flexion et d'extension. Inutile d'analyser, par exemple, les articulations de l'épaule ou du coude (fig. 50) dans la préhension, pour y constater le type de ce levier, dans lequel le bras de la puissance est plus court que celui de la résistance, de sorte que l'énergie de la contraction musculaire doit toujours être supérieure à la résistance à vaincre. Mais, en compensation, le chemin parcouru par l'extrémité résistante du levier (main, par exemple, dans la flexion de l'avant-bras) est plus grand que celui parcouru par le point d'application de la

force (insertion du biceps à la partie supérieure de l'avant-bras) : ce qui est perdu en force est donc gagné en étendue.

Le jeu de ces divers leviers est facilité par la disposition des os ; ceux-ci sont creusés d'une vaste cavité (médullaire) remplie de matières molles et presque liquides (moelle). Grâce à cette disposition, le poids des leviers osseux est diminué, en même temps que l'os présente une surface suffisante pour donner insertion aux nombreux muscles qui doivent le mouvoir. La substance qui remplit ces cavités est la substance la plus légère de l'économie, la graisse (moelle de l'adulte). Enfin cette disposition de la substance osseuse favorise aussi le rôle des os comme supports, car la mécanique nous apprend que de deux

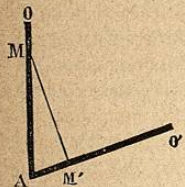


FIG. 50. — Schéma du coude, comme levier du troisième genre*.

même quantité de matière, si l'une est pleine, et l'autre creusée d'un canal central, c'est cette dernière qui sera la plus résistante. Ce principe est applicable aux colonnes creuses que représentent les os des membres, c'est-à-dire qu'à égale quantité de substance osseuse ces organes offrent plus de résistance avec la forme canaliculée qu'avec la forme pleine ; ils réunissent donc ainsi la force à la légèreté.

Les os ne servent pas seulement comme leviers rigides nécessaires aux mouvements ; nous avons vu que pendant la station ils servent de colonnes ou supports destinés à soutenir le poids du corps. Parfois aussi ils servent encore à former autour de certaines cavités une charpente plus ou moins complète destinée à les protéger : telles sont les côtes, le bassin, et, au plus haut degré, la boîte crânienne dont les diverses pièces sont immobiles les unes sur les autres, et qui par suite ne sert qu'à former pour la masse cérébrale une enveloppe incompressible.

Articulations. — Les parties par lesquelles les pièces du squelette s'unissent les unes aux autres constituent les articulations. Les articulations sont donc, la plupart du temps, des centres de mouvements ; aussi sont-elles disposées de manière à éviter autant que possible les frottements. Les cartilages qui revêtent les surfaces articulaires sont compressibles et élastiques, et forment ainsi des

* O, A, Humérus ; A, O', avant-bras ; M, M', le biceps. — Comme levier : A, point fixe ; O', point d'application à la résistance (main) ; M', point d'application de la puissance (levier interpuissant).

coussinets protecteurs qui modèrent les chocs, diminuent les frottements et résistent aux pressions, dans les divers mouvements de la locomotion et dans l'équilibre de la station. Ils sont lubrifiés par une substance liquide, filante, onctueuse, la synovie.

La synovie, qu'on a à tort comparée aux sérosités des plèvres ou du péritoine, s'en distingue par une viscosité caractéristique due à une grande quantité de mucosine (64 p. 1000, d'après Ch. Robin¹). Elle ne contient de fibrine que dans les cas d'inflammation (arthrite) ; elle est d'ordinaire d'une coloration jaunâtre, ou simplement citrine, ou même parfois tout à fait incolore. Les mouvements et les frottements des surfaces articulaires les unes contre les autres influent beaucoup sur la composition de la synovie ; chez un animal au repos, ce liquide est très aqueux, peu gluant et pauvre en débris cellulaires. A la suite d'un exercice long et énergique, le liquide devient épais, gluant, plus riche en synovine ou mucosine (V. *Physiologie des surfaces muqueuses : épithéliums*) et en débris épithéliaux (Frerichs). La synovie, ainsi formée, jouit d'une grande force de cohésion et adhère très énergiquement aux surfaces qu'elle enduit. Il en résulte qu'à la rigueur ce ne sont pas les cartilages, mais ces couches liquides qui se meuvent les unes sur les autres, de sorte que le frottement est à peu près nul. Ce n'est que dans certains cas de maladies que la synovie disparaît et que le frottement, commençant alors à se produire, amène rapidement l'usure et la déformation des couches cartilagineuses et osseuses sous-jacentes.

Autour des articulations, se trouvent, outre la capsule articulaire et son épithélium synovial, des pièces formées de tissu fibreux résistant, appelées ligaments articulaires. Plus en dehors de l'articulation et autour des muscles, se trouvent d'autres appareils fibreux membraniformes, les aponévroses ; l'ensemble de ces appareils sert à limiter les mouvements, et non à maintenir les os en contact.

Les ligaments ne servent à maintenir les os en contact que lorsqu'ils sont situés entre les deux os, comme dans les symphyse, réunissant alors deux pièces du squelette peu mobiles l'une sur l'autre. Mais, dans les articulations mobiles (diarthroses), les ligaments, situés surtout à la périphérie, ne peuvent empêcher la disjonction des surfaces articulaires, comme on peut facilement le vérifier sur les articulations scapulo-humérales et coxo-fémorales, où les

¹ Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs normales et morbides*, 2^e édit. Paris, 1874.

têtes osseuses peuvent être considérablement écartées des cavités correspondantes, malgré l'intégrité de l'appareil ligamenteux. Dans les articulations de ce genre, c'est simplement la *pression atmosphérique* (Weber) qui détermine l'adhérence des surfaces articulaires. On peut, en effet, sur un cadavre dont on laisse pendre librement le membre inférieur, enlever toutes les parties molles, peau et muscles, qui entourent l'articulation coxo-fémorale; on peut couper enfin la capsule articulaire, sans que le membre cesse d'être suspendu dans la cavité cotyloïde; un poids additionnel peut même être surajouté sans que l'adhérence soit détruite; mais si, par un trou pratiqué dans l'arrière-fond de la cavité cotyloïde, on laisse pénétrer l'air entre les surfaces articulaires, l'adhérence cesse aussitôt et la tête fémorale quitte sa cavité. Si alors, remettant les os en contact, on opère quelques mouvements en différents sens pour expulser les bulles d'air qui peuvent être interposées, et qu'on bouche ensuite avec le doigt le trou artificiellement pratiqué, le membre restera de nouveau suspendu, tant qu'on empêchera ainsi l'accès de l'air (expériences des frères Weber¹). C'est donc le vide, le contact intime des surfaces, qui permet à la pression atmosphérique de faire contrepoids aux membres, lesquels se trouvent ainsi supportés sans que les puissances musculaires aient besoin d'être mises en jeu.

Lorsque, en tirant fortement sur les doigts, on parvient à en écarter légèrement les phalanges, il se produit un craquement bien connu, dont l'étude précédente nous fournit l'explication; la force de traction exercée sur les articulations phalangiennes parvient à vaincre la pression atmosphérique et à écarter les surfaces articulaires qu'elle maintenait en contact; mais au moment de la séparation, les parties molles périphériques sont précipitées par cette même pression dans l'intervalle des deux os; ces phénomènes sont très brusques et déterminent des vibrations sonores, d'où le bruit de craquement.

Les notions précédentes sur la mécanique des os, des muscles et des tendons permettent de se rendre compte immédiatement des différentes formes de travail et de mouvements que l'homme peut exécuter. Les plus intéressants de ces mouvements sont ceux de la *locomotion* et surtout ceux de la *marche*. Les frères Weber ont consacré de longues études à l'analyse de la marche et en ont donné une théorie qui a été longtemps classique, mais que de nouvelles recherches ont renversée en grande partie. Cette théorie était remarquable en ce qu'elle suppo-

¹ G. et E. Weber, *Mécanique des organes de la locomotion chez l'homme*, trad. de l'allemand par Jourdan.

sait que, dans le pas ordinaire, chacune des deux jambes est alternativement poussée en avant par un mouvement d'oscillation identique à celui d'un pendule.

Supposons un homme pris au milieu de sa marche; il vient d'achever un pas, il repose sur les deux jambes; la gauche, par exemple, en avant, la droite en arrière. Pour continuer la marche, pour former un nouveau pas, voici ce qui se produit, d'après la théorie des Weber: La jambe gauche, que nous appellerons *jambe active*, est posée perpendiculairement sur le sol, et forme le côté droit d'un triangle rectangle dont l'hypoténuse est formée par la jambe droite étendue en arrière; nous allons voir que cette jambe droite peut être dite la *jambe passive* (Weber). La jambe gauche ou active, d'abord légèrement fléchie, s'étend alors et pousse en avant et en haut le bassin; à cet effet, le talon de la jambe gauche se détache du sol, par le mécanisme que nous avons expliqué à propos des leviers du deuxième genre, et le membre n'appuie plus que sur l'extrémité du métatarse. Pendant ce mouvement, la jambe droite ou passive, forcée de suivre le mouvement de projection en avant du bassin, se détacherait passivement du sol, et ferait autour de son point de suspension au bassin un mouvement de pendule en avant, par lequel le pied droit est porté aussi loin devant le pied actif (gauche) qu'il était précédemment loin en arrière de lui; il est alors placé sur le sol et, le mouvement de projection du bassin en avant par la jambe active (gauche) se continuant et s'achevant, le pied droit se trouve finalement placé perpendiculairement sur le sol, comme l'était la jambe gauche au commencement du pas. Le pas considéré est fini, et dans le nouveau pas qui va se produire, les choses se passeront de même que précédemment, seulement les rôles seront inverses: la jambe droite va devenir active, la jambe gauche passive.

En somme, dans la marche, qui peut être considérée comme une *série de chutes en avant*, arrêtées par l'appui d'un pied jusque-là resté en arrière, le pas pourrait être représenté par un triangle rectangle qui se déplace, en même temps que ses côtés se meuvent de telle manière que celui qui représentait le côté droit au commencement du pas (jambe gauche dans l'exemple choisi) passe à une position oblique d'hypoténuse et *vice versa*. La jambe qui de côté droit passe à la position d'hypoténuse serait *tout le temps active*, celle qui passe de la position d'hypoténuse à la position de côté droit serait *tout le temps passive*; elle oscillerait à la manière d'un pendule.

Pour osciller sans rencontrer le sol, la jambe passive doit se raccourcir légèrement; c'est ce qui a lieu, en effet, et, d'après la théorie précédente, il serait inutile d'invoquer pour cela l'action des muscles de ce membre; en effet, le membre inférieur oscillant représenterait un pendule double (cuisse d'une part et totalité du membre de l'autre). Or, on sait que les lois des oscillations des pendules sont telles, que tout pendule composé de deux parties réunies par une charnière fléchit légèrement dans la charnière au moment de l'oscillation.

Cependant, déjà dans ces dernières années, quelques physiologistes se refusaient à admettre que la jambe dite passive fût complètement passive; et ils la considéraient comme présentant un léger degré de contraction des fléchisseurs, précisément pour effectuer cette légère flexion nécessaire à l'exécution de l'oscillation. D'après les arguments tirés de l'observation pathologique, Duchenne (de Boulogne) considérait déjà les mouvements oscillatoires de cette jambe comme impossibles sans l'intervention de la contraction des fléchisseurs de la jambe sur la cuisse, et des fléchisseurs du pied sur la jambe¹. La question était difficile à résoudre, car quelques auteurs faisaient encore intervenir ici la question de la *prédominance des fléchisseurs sur les extenseurs*, question sur laquelle nous nous sommes déjà expliqués (V. plus haut, p. 133).

Enfin une étude expérimentale, basée sur l'emploi de la méthode graphique, a permis à G. Carlet de résoudre les questions les plus difficiles de la théorie de la marche, et de venir, dans un travail complet², confirmer quelques-uns des points de la théorie des Weber, en infirmer le plus grand nombre, et enfin élucider certains points qui n'avaient même pas fixé l'attention des précédents expérimentateurs. G. Carlet a montré ainsi que le membre qui oscille, loin de se mouvoir comme un pendule inerte, est si bien soumis à l'action musculaire, que l'on voit le droit antérieur de la cuisse se contracter au début de la période d'oscillation; puis entrent en jeu les muscles de la région postérieure, et cela jusqu'à la période d'oscillation. Mais cet expérimentateur s'est surtout attaché à analyser les mouvements d'oscillation de diverses parties du tronc, et du tronc dans son ensemble: ainsi, loin de se mouvoir en ligne droite, le grand trochanter décrit dans l'espace une courbe, en oscillant à la fois dans le plan vertical et dans le plan horizontal. D'autre part, l'inclinaison du tronc n'est pas, comme l'admettaient les Weber, proportionnelle à la vitesse de la marche, et constante pour une vitesse donnée. L'inclinaison du tronc dans le plan vertical varie brusquement aux environs du minimum, et lentement aux environs de son maximum; les muscles du tronc ne sont pas étrangers à la production de cette inclinaison. Réunissant tous ces résultats de l'expérience en une *théorie de la marche*, l'auteur, en décrivant avec soin toute la série des phénomènes qui constituent le pas, distingue le temps où les deux pieds sont posés sur le sol, l'un en avant, l'autre en arrière (*temps du double appui*), et celui où le pied postérieur oscille pour devenir antérieur (*temps de l'appui unilatéral*)³.

¹ Duchenne (de Boulogne), *Physiologie des mouvements*, Paris, 1867, p. 386.

² G. Carlet, *Essai expérimental sur la locomotion (Annales des sc. nat., 1872)*.

³ Enfin l'opinion si longtemps admise, d'après les frères Weber, que dans la marche humaine l'oscillation de la jambe qui se déplace n'est due qu'à la pesanteur (oscillation pendulaire), opinion déjà réfutée par Duchenne (de Boulogne), par Giraud-Teulon et par Carlet, vient d'être de nouveau et

Jugeant peu utile de nous livrer ici à une analyse des mouvements qui constituent la course, le saut, la natation, etc., nous indiquerons seulement le caractère essentiel de la course comparée à la marche ordinaire.

Dans la course il n'y a plus de *double appui*; au contraire il y a un *temps de suspension* pendant lequel, entre deux appuis des pieds, le corps reste en l'air un instant. La durée de ce temps de suspension semble peu varier d'une manière absolue; mais si on l'apprécie relativement à la durée d'un pas de course, on voit la valeur relative de cette suspension croître avec la vitesse de la course, car avec cette vitesse diminue la durée de chacun des appuis. Mais ce qu'il y a de plus remarquable, c'est la manière dont se produit, d'après Marey, ce temps de suspension; on pourrait croire, au premier abord, que c'est l'effet d'une sorte de saut, dans lequel le corps serait projeté en haut, de manière à décrire en l'air une courbe au milieu de laquelle il serait à son maximum d'éloignement du sol. Il n'en est rien; le temps de suspension correspond au moment où le corps est à son minimum d'élévation; ce temps de suspension ne tient donc pas à ce que le corps est projeté en l'air, mais à ce que les *jambes se sont retirées du sol par l'effet de leur flexion* (Marey).

RÉSUMÉ. — Les muscles sont les *agents actifs* des mouvements: les tissus de substance conjonctive servent à séparer les muscles (tissu conjonctif ou lamineux proprement dit) ou bien constituent les *leviers* (os) que les muscles meuvent par l'intermédiaire des *tendons*.

définitivement renversée par les recherches expérimentales de M. Marey⁴. Au moyen de nouveaux appareils graphiques, l'habile physiologiste nous montre que le mouvement de cette jambe se traduit, sur un tracé, par une ligne droite, c'est-à-dire qu'il est *uniforme pendant toute sa durée*. Or, tel n'est point le caractère d'une oscillation pendulaire. Il montre de plus que cette uniformité, qu'il faut attribuer à l'action des muscles, ne saurait être expliquée par une combinaison des maxima du mouvement du pied avec les minima du mouvement de translation totale du corps et *vice versa*. Nous ne pouvons résumer ici les nombreuses recherches de Marey sur la locomotion humaine, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique. A ce dernier point de vue, indiquons, comme exemple, que ses dernières études lui ont montré l'influence favorable que des talons bas exercent sur la rapidité de la marche; de plus que, au moins chez bon nombre de sujets, l'allure est plus rapide quand la semelle est un peu longue. Les frères Weber avaient cru pouvoir formuler comme une loi que les pas sont d'autant plus longs que le rythme de la marche est plus rapide; mais cette formule est trop générale; en réalité il y a une limite, à déterminer par l'expérience, limite à partir de laquelle il n'y a que désavantage à presser la mesure du tambour ou du clairon qui règle le pas du soldat. Sur ce point comme sur beaucoup d'autres, il faudra des expériences répétées pour déterminer les conditions les plus favorables à l'utilisation des forces humaines.

⁴ Marey, *La Machine animale et Études sur la marche de l'homme au moyen de l'odographe (Acad. des sciences, 3 nov. 1884)*.

Il faut bien distinguer la *contractilité* des muscles, propriété vitale (liée à la *vie*, c'est-à-dire à la *nutrition*, de l'*élasticité* des tissus élastiques, propriété purement physique qui subsiste sur le cadavre.

Dans le jeu des muscles, des tendons et des os, on retrouve les trois ordres de leviers.

La *pression atmosphérique* maintient le contact des surfaces articulaires. La *synovie* (riche en *mucosine*) favorise le glissement de ces surfaces.

Dans un *pas* (élément de la marche ordinaire), il y a une jambe dite *active* et une jambe dite *passive*; mais cette dernière n'est point soumise à une simple oscillation pendulaire : comme la jambe active, elle est le siège de contractions musculaires, très faibles, il est vrai.

QUATRIÈME PARTIE

SANG ET CIRCULATION ; SYSTÈME LYMPHATIQUE

DU SANG

Le sang est un liquide qui, circulant dans l'organisme de la périphérie au centre et du centre à la périphérie, transporte dans l'économie les éléments absorbés par certains globules de la surface et entraîne les déchets de l'organisme en général vers d'autres globules de la surface chargés de les rejeter à l'extérieur. Dans ce continuel commerce d'échange, il est impossible qu'il y ait, à chaque instant, compensation parfaite, de sorte que le sang n'a pas une composition fixe, normale, typique, et qu'on peut même, à un moment donné, distinguer plusieurs espèces de sang, notamment le *sang artériel* et le *sang veineux*.

Le sang est donc l'une des principales *humeurs constituantes* (Ch. Robin). En ayant égard à ce fait que c'est par son intermédiaire que tous les principes introduits dans l'organisme (même les gaz, V. *Respiration*) viennent au contact des éléments anatomiques, c'est-à-dire que ces éléments vivent réellement dans le liquide sanguin, on peut appeler le sang le *milieu intérieur* (Cl. Bernard) ¹.

¹ « On donne le nom de *milieux* à l'ensemble des circonstances qui environnent l'être vivant et dans lesquelles il trouve les conditions propres à développer, entretenir et manifester la vie qui l'anime. Il faut distinguer les *milieux cosmiques* (air, eau, aliment, température, lumière, électricité) et les *milieux intérieurs*. Les premiers entourent l'individu tout entier, les seconds sont en contact immédiat avec les éléments anatomiques qui composent l'être vivant. » (Cl. Bernard, *Propriétés des tissus vivants*). Au point de vue purement anatomique, on a pu considérer le sang comme un *tissu*, ainsi que le font aujourd'hui un grand nombre d'histologistes (Frey, Rouget), et le définir un *tissu cellulaire avec substance intercellulaire liquide*. Il rentre ainsi dans l'une des quatre grandes classes de tissus :

¹⁰ Tissus cellulaires avec un peu ou pas de substance intercellulaire épithélium et leurs dérivés (ongles, poils, émail, cristallin) ;

²⁰ Tissus cellulaires avec substance fondamentale liquide (sang, lymphe, chyle) ;

³⁰ Tissus cellulaires avec substance fondamentale abondante, muqueuse, hyaline ou fibreuse (cartilage et tous les tissus collagènes ou conjonctifs) ;

⁴⁰ Tissus formés par des globules ayant donné lieu par leur juxtaposition à des formes de fibres ou de tubes (muscles, nerfs, vaisseaux, etc.).