

réservoirs et des canaux dont ils constituent les parois, des matières liquides ou du moins ramollies, et c'est en produisant dans ces réservoirs des inégalités de pression qu'ils atteignent leur but, les liquides tendant toujours à se déplacer dans le sens de la plus faible pression. (V. *Mouvements de l'estomac, de l'intestin, de la vessie, de l'utérus, etc.*)

Dans le second cas, la fibre musculaire va s'insérer sur les organes qu'elle doit attirer, sur les leviers qu'elle doit mouvoir (os), par l'intermédiaire de cordes résistantes (tendons). A l'étude des os (et de leurs articulations) se rattache celle des *ligaments*; à l'étude des *tendons* et des *muscles*, celle des *aponévroses*. Les os, les cartilages articulaires, les ligaments, les tendons, les aponévroses, forment donc l'ensemble des *organes passifs de la locomotion*. Les tissus de ces organes ont des rapports histologiques et chimiques si intimes qu'on les a réunis dans une vaste famille dite *groupe du tissu conjonctif* ou *collagène*; les tendons, les aponévroses, les ligaments et la gangue connective des organes forment le *tissu conjonctif* ou *cellulaire* proprement dit.

Tissu conjonctif. — Il a les connexions les plus intimes avec l'élément musculaire: c'est lui qui, sous les noms de *périnysium* et d'*aponévrose d'enveloppe*, réunit les fibres musculaires en faisceaux et en corps charnus, de façon à permettre une action d'ensemble de la part des éléments contractiles; du reste ce tissu se trouve répandu non seulement dans les muscles, mais dispersé dans tous les autres organes: c'est ce que Bichat appelait *système* ou *tissu cellulaire*, nom devenu impropre, car il n'exprime qu'une disposition grossière de ce tissu, apte à se laisser pénétrer par des gaz ou des liquides qu'il circonscrit dans des *vacuoles* ou *cellules* (dans le sens macrographique du mot). Le corps entier peut, jusqu'à un certain point, être considéré comme une masse de tissu conjonctif ou de ses diverses formes, masse au milieu de laquelle sont plongés les éléments plus essentiellement actifs.

Les tissus de substance conjonctive sont en général assez riches en cellules, dites *cellules plates* du tissu conjonctif (Ranvier), ou *cellules plasmiques* (voir les cellules de la cornée, fig. 11, p. 21), ou *corps fibro-plastiques* (ou leurs dérivés: cellule cartilagineuse, cellule osseuse, fig. 50 et 51). Il est des points où ces éléments globulaires paraissent jouer un certain rôle, comme peut-être dans les villosités intestinales, où ils pourraient ne pas rester étrangers au travail de l'absorption; ailleurs ils peuvent, en se remplissant de graisse (*cellules adipeuses*), jouer le rôle de réservoir pour cette substance, comme dans le *pannicule adipeux* de l'enfant. Cependant on peut dire que l'élément cellulaire du tissu

conjonctif est surtout remarquable par le rôle qu'il joue dans les processus pathologiques (tumeurs, inflammations), lorsque, sous l'influence d'une excitation plus ou moins directe, il prolifère et donne lieu à la production du pus et des diverses néoformations (tissu cicatriciel entre autres). Aussi, à l'état normal, la nutrition des tissus de substance conjonctive, est-elle assez peu active. Leur sensibilité est aussi très faible; mais, sous l'influence des processus pathologiques, elle devient très marquée; c'est ainsi que les tendons et les ligaments deviennent très sensibles quand ils sont le siège d'une inflammation.

Nous avons donc à étudier, dans les organes divers constitués par le tissu conjonctif ou ses dérivés (cartilage, os, tendons), surtout des propriétés physiques et des rôles mécaniques, qui sont dus à la nature de la substance fondamentale au milieu de laquelle sont noyées les cellules plasmiques.

Ces propriétés physiques sont très diverses et parfois opposées, quoique réalisées dans des formes de tissu connectif très proches parentes: telles sont la *rigidité des os* d'une part, et, d'autre part la *flexibilité* ou *l'élasticité des ligaments*.

Os. — Les os sont formés de lamelles emboîtées les unes dans les autres, incrustées de sels calcaires, et circonscrivant ainsi des canaux dans lesquels se trouve la moelle; les os renferment dans leurs lamelles calcaires des éléments cellulaires (corpuscules osseux, cellules osseuses), analogues aux cellules plasmiques (fig. 51); mais ces cellules ne présentent que des phénomènes obscurs de nutrition et n'acquièrent d'importance qu'en pathologie; il est vrai que les os s'accroissent: à leur pourtour on voit des cellules embryonnaires en voie de prolifération; des parties osseuses disparaissent, d'autres font leur apparition¹.

Tendons et ligaments. — Les tendons et les ligaments se composent essentiellement de fibres ondulées, et parfois enchevêtrées et anastomosées (fig. 52); leur rôle est purement mécanique et résulte de leur résistance.

Quelques ligaments (*ligaments jaunes* des lames vertébrales),

¹ Nous verrons plus loin que la moelle des os joue un rôle important dans la formation des globules rouges du sang.

* Section transversale d'une partie de l'os entourant un canal de Havers a; -- corpuscules osseux avec leurs prolongements anastomosés. Grossiss., 380 (Told et Bowmann, *Physiological Anatomy of man*, London, 1845, vol. I, p. 109).

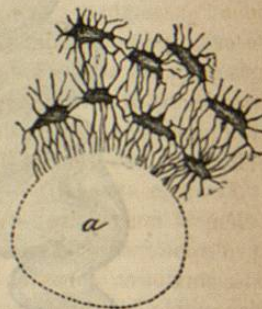


Fig. 51. — Éléments histologiques de l'os*.

sont remarquables par leur élasticité ; aussi sont-ils formés de *tissu élastique*, variété non collagène du tissu connectif ; la fibre élastique est encore plus ondulée que la fibre connective ; elle est excessivement *crépue* (fig. 52, *b* et *c*), et exerce, quand on l'a allongée, de fortes tractions pour reprendre sa forme naturelle ; aussi les *ligaments jaunes* ou *élastiques* servent-ils à ramener les pièces du squelette dans leurs positions primitives, quand elles en ont été écartées par l'action musculaire, d'où le nom de *muscles passifs*



FIG. 52. — Éléments du tissu connectif : fibres conjonctives et élastiques*.

qu'on leur a donné parfois. Nous verrons dans les artères cet élément élastique toujours en jeu pour régulariser le cours du sang, en agissant comme le ferait la paroi d'un tube de caoutchouc.

Notons avec soin ce fait important, à savoir que l'élasticité des fibres élastiques est une propriété purement physique, qui ne dépend nullement, comme celle des muscles, des actes de nutrition ; il faut donc bien distinguer l'élasticité et la contractilité du muscle de

* *a*, Fibres connectives avec quelques globules embryonnaires ; — *b*, fibres élastiques avec leurs anastomoses et leurs divisions ; *c*, fibres élastiques plus bouclées (en crin de matelas) ; — *d*, noyaux de cellules avec nucléoles. Pris sous le muscle pectoral. Grossiss., 320 diamètres (Todd et Bowmann, *The Physiological Anatomy of man*, London, 1845, p. 74).

l'élasticité du tissu élastique ; il faut distinguer surtout la *contractilité* du muscle de l'élasticité du tissu jaune ; en effet, la *contractilité* est une propriété qu'on peut appeler *vitale*, en ce sens qu'elle n'existe que sur le muscle qui se nourrit, qui vit, et qu'elle disparaît sur le cadavre ; au contraire, les tissus élastiques conservent leur propriété après la mort ; bien plus, un fragment de ligament jaune, par exemple, étant enlevé sur le cadavre, puis entièrement desséché, reprendra, lorsqu'on le replongera dans l'eau, toute l'élasticité qu'il présentait sur le sujet vivant ou sur le cadavre frais ; c'est que l'élasticité, propriété physique des tissus élastiques, est due uniquement à la disposition physique des éléments constitutifs, disposition qui subsiste indéfiniment, tant que la composition chimique n'est pas modifiée (par la dessiccation, par exemple).

Aussi comprenons-nous facilement que, partout où cela est possible, le muscle est remplacé par du tissu jaune, car cet élément, agissant comme un ressort, ne consomme pas comme le muscle, et il en résulte une grande économie pour l'organisme ; tel est le cas pour le grand ligament cervical des quadrupèdes à tête lourde, ligament qui va des apophyses épineuses du dos aux apophyses épineuses du cou et à l'occiput, et soutient ainsi la tête dont le poids fatiguerait trop les muscles (c'est avec ce ligament cervical qu'on fait ce qu'on appelle le *nerf de bœuf*) ; tel est le cas des ligaments jaunes des lames vertébrales ; des ligaments jaunes de l'aile des oiseaux, de l'aile de la chauve-souris, etc.

Les tendons ne sont, au point de vue mécanique, que des *apophyses* molles et flexibles. Les apophyses osseuses ont pour but de multiplier la surface des os, afin de permettre à un grand nombre de fibres musculaires de s'y insérer. Là où une apophyse serait devenue trop longue et aurait, par sa consistance et sa position, compromis le mécanisme d'un membre, elle est devenue un *tendon*. Nous voyons certaines apophyses, l'apophyse styloïde par exemple, être tantôt osseuses et tantôt tendineuses ; d'ailleurs ce qui est tendineux chez l'homme est souvent osseux chez certains animaux. Chez les reptiles par exemple, la ligne blanche est devenue un os, les intersections des muscles droits sont représentés par autant d'os distincts. Chez les oiseaux, les tendons sont représentés en certains points par des tiges osseuses placées le long des portions étendues des os principaux. L'existence et la longueur des tendons dépendent de la nature et de l'étendue du mouvement ; là où le mouvement doit être étendu et puissant, le tissu musculaire règne seul dans toute la longueur de l'appareil musculaire et va directement s'insérer sur l'os. Là où les mouvements des parties osseuses sont peu étendus, là où il suffit pour les produire, de légers raccourcissements du muscle, nous

voyons les fibres de celui-ci être courtes et venir aboutir à un véritable tendon.

Aussi reconnaît-on, en général, la force d'un muscle au nombre de ses fibres, c'est-à-dire à son épaisseur, à son diamètre (V. p. 154); la longueur du muscle, au contraire, est en rapport avec le degré de déplacement des os (comparez le couturier et les muscles du thénar). Nous trouvons des muscles courts placés entre des points très éloignés et cependant très peu mobiles l'un par rapport à l'autre. Aussi, dans ces cas, une grande partie du muscle est-elle remplacée par un tendon; tel est le cas des nombreux muscles de l'avant-bras, dont les corps musculaires sont relativement courts et les tendons très longs; et, en effet, une longueur plus considérable de la fibre musculaire eût été ici superflue pour produire un déplacement aussi peu considérable que la flexion de la main sur l'avant-bras et des phalanges les unes sur les autres. Le muscle *cubital antérieur* semble faire exception à cette règle; mais, en réalité, quoique son corps charnu occupe toute la longueur de l'avant-bras, ses fibres musculaires sont très courtes, car elles sont disposées obliquement et constituent un muscle demi-penniforme, en s'étendant de l'os cubitus au tendon qui règne sur toute la longueur de l'avant-bras¹.

Mécanique des os considérés comme leviers. — Dans le jeu des muscles, des tendons et des os, nous trouvons des appareils mécaniques identiques aux leviers, dont ils présentent les trois variétés.

¹ Rien n'est plus démonstratif à cet égard que les recherches de Marey (*Acad. des sciences*, 12, septembre 1887). Les variétés de forme qu'un même muscle présente chez les différents animaux sont toutes motivées par les exigences d'un type particulier de locomotion, l'épaisseur du muscle étant en rapport avec l'énergie de son effort, sa longueur étant en rapport avec l'étendue des déplacements de ses points d'insertion. L'anatomie de l'homme en fournit un exemple : certains nègres n'ont pas de mollet, c'est-à-dire que leurs muscles gastro-cnémiens sont longs et minces; mais aussi agissent-ils sur un bras de levier plus long que chez le blanc, c'est-à-dire qu'en mesurant les squelettes du Musée de la Société d'anthropologie, on trouve que la longueur moyenne du calcaneum (du centre articulaire à l'attache du tendon d'Achille) est chez le nègre représentée par 7 alors qu'elle l'est seulement par 5 chez le blanc. Cette harmonie est-elle préétablie ou engendrée par la fonction elle-même? La recherche expérimentale suivante répond à cette question. Sur des chevreaux et des lapins, Marey reséque le calcaneum, de manière à réduire de moitié sa longueur; pendant plus d'un an les animaux opérés vivent en pleine liberté dans les vastes terrains de la station physiologique du Bois-de-Boulogne. Sacrifié après ce temps, l'un d'eux montre déjà un muscle très raccourci, car, tandis que chez le lapin normal le muscle a à peu près la même longueur que son tendon, sur le lapin à calcaneum reséqué la longueur du muscle n'est plus guère que la moitié de celle du tendon.

Le levier du premier genre se rencontre assez souvent dans l'économie. On pourrait chez l'homme l'appeler le levier de la station, car c'est dans l'équilibre de la station qu'on en rencontre les plus nombreux exemples, et il est assez rare de le voir employé dans les mouvements du corps. Lorsque la tête est en équilibre sur la colonne vertébrale, dans l'articulation occipito-atloïdienne (fig. 53), 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

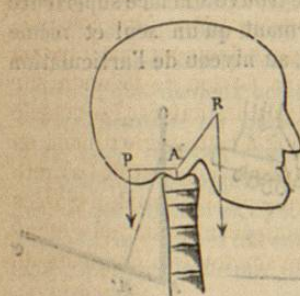


FIG. 53. — Schéma de l'équilibre de la tête sur la colonne vertébrale.

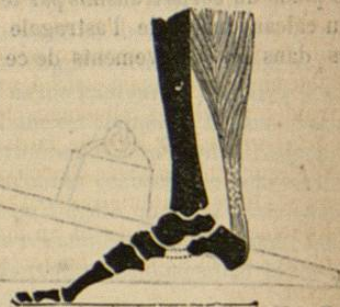


FIG. 54. — Schéma du pied et de la cheville, le talon étant soulevé par le tendon d'Achille.

s'insérant à la moitié inférieure de l'occipital (en P). En réunissant 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,

* 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).

par conséquent, le bras de levier de la puissance est plus long que 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. 54, 55), 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 calcanéum; la résistance, c'est-à-dire le poids du corps transmis par le tibia, se trouve à la face supérieure du calcanéum et de l'astragale (ne formant qu'un seul et même os dans les mouvements de ce genre), au niveau de l'articulation

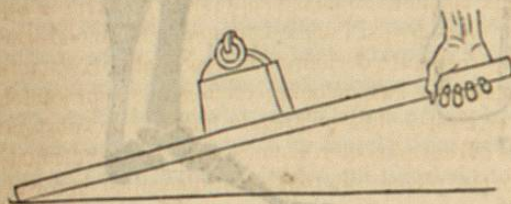


FIG. 55. — Type d'un levier du deuxième genre, auquel se ramène la figure 54.

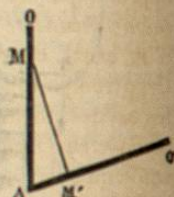


FIG. 56. — Schéma du coude, comme levier du troisième genre*.

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. 55).

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. 56) 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.

* 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).

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 matière 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 colonnes de même hauteur et formées d'une 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; 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 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. Robin⁴). 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 *symphyses*, 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 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

⁴ Ch. Robin, *Leçons sur les humeurs normales et morbides*, 2^e édit. Paris, 1874.

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 Weber⁴). 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 vers 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 supposait que, dans le pas ordinaire, chacune des deux jambes est alternativement poussée en avant par un mouvement passif 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 produirait, 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

⁴ G. et E. Weber (les frères Weber), physiologistes allemands nés en 1834 et 1806. — *Mécanique des organes de la locomotion chez l'homme*, trad. de l'allemand par Jourdan.

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 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.

Telle est la célèbre théorie des frères Weber, à laquelle il n'y a qu'un détail à modifier, à savoir que la jambe dite *passive* est en réalité légèrement active (beaucoup moins que l'autre), c'est-à-dire que son oscillation est aidée par de légères contractions de ses muscles. En effet tout démontre qu'elle présente 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.

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

D'autre part 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 complet¹, 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 (flexion de la cuisse sur le bassin); puis entrent en jeu les muscles de la région postérieure (flexion de la jambe sur la cuisse); 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*).

Jugeant peu utile de nous livrer ici à une analyse des mouvements qui

¹ G. Carlet, *Essai expérimental sur la locomotion (Annales des sc. nat., 1872)*.

² 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, a été définitivement renversée par les recherches expérimentales de Marey¹. 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.

¹ Marey, *La Machine animale et Études sur la marche de l'homme a moy de l'odographe (Acad. des sciences, 3 nov. 1884)*.

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 proprement dit) ou bien constituent les *leviers* (os) que les muscles meuvent par l'intermédiaire des *tendons*.

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 certaines surfaces (principalement la muqueuse intestinale) et entraîne les déchets de l'organisme en général vers d'autres organes chargés de les rejeter à l'extérieur. Il remplit ainsi, vis à vis des éléments anatomiques, un rôle *afférent* et un rôle *efférent*; il contient les substances de *nutrition* et les produits de *dénutrition*. 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*¹ (Cl. Bernard).

¹ « On donne le nom de *milieu* 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