

## ARTICLE III.

## NOTIONS SUR LA COMPOSITION DES FORCES DANS LES MOUVEMENTS DE LOCOMOTION.

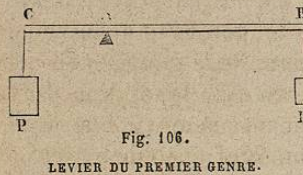
## § 241.

**Des leviers. — Applications à l'économie animale. —** On désigne sous le nom de *levier* une barre inflexible qui peut tourner librement autour d'un point fixe. La position du point fixe ou point d'appui, relativement à celle de la puissance appliquée au levier, et de la résistance qui lui est opposée, est très-variable.

On désigne sous le nom de bras de levier de la puissance la distance qui sépare le point d'appui du point d'application de la puissance. On désigne sous le nom de bras de levier de la résistance la distance qui sépare le point d'appui du point d'application de la résistance. *Pour qu'un levier soit en équilibre, c'est-à-dire pour que la puissance fasse équilibre à la résistance, il faut que ces deux forces soient, entre elles, dans le rapport inverse de leurs bras de levier.*

On distingue en mécanique trois sortes de leviers, d'après la position du point d'appui par rapport à la puissance et à la résistance.

Le levier du *premier genre* (Voy. fig. 106) est celui dans lequel le point d'appui A est placé entre la résistance R appliquée au point B, et la puissance P appliquée au point C. Dans ce levier, le bras de la puissance et AC, est le bras de la résistance est AB. Le point d'appui A peut être placé à égale distance des points B et C, cas dans lequel, le bras de la



puissance et celui de la résistance étant égaux, la puissance P et la résistance R doivent être égales pour maintenir le levier dans l'équilibre. Lorsqu'au contraire le point d'appui A est plus rapproché de C, comme sur la figure 106, la puissance P doit l'emporter sur la résistance R pour lui faire équilibre. Si le point d'appui A était plus rapproché de B, ce serait le contraire. En d'autres termes, et d'après le principe posé plus haut, la position d'équilibre est représentée par la proportion suivante:  $P : R :: AB : AC$ ; ou, encore (le produit des extrêmes étant égal au produit des moyens dans toute proportion)  $P \times AC = R \times AB$ . D'où il résulte que la puissance ou la résistance augmentent à mesure que leurs bras de levier diminuent, et réciproquement.

Le levier du premier genre se rencontre assez fréquemment dans l'économie animale. En ce qui concerne l'homme, on pourrait l'appeler le levier de la station. C'est dans l'équilibre de la station qu'on en trouve les plus nombreux exemples. Lorsque la tête est en équilibre sur la colonne vertébrale dans l'articulation occipito-atloïdienne (Voy. fig. 107), elle représente, en effet, un levier du premier genre, dont le

point d'appui correspond à l'articulation en A. La résistance est placée sur le bras de levier AB et correspond au poids de la tête R, qui tend à tomber en avant. La puissance qui fait équilibre à la résistance est représentée, sur le bras de levier AC, par les muscles de la région postérieure du cou (le muscle grand droit postérieur de la tête P est seul conservé sur la figure 107). Lorsqu'au lieu d'être immobile sur la colonne vertébrale, la tête s'incline en avant ou en arrière, le levier qu'elle représente ne cesse pas d'être un levier du premier genre. Le point d'appui est toujours dans l'articulation, à condition que le mouvement se passe dans l'articulation de la tête, et que la colonne cervicale tout entière n'y prenne pas part, ce qui est le plus ordinaire; le

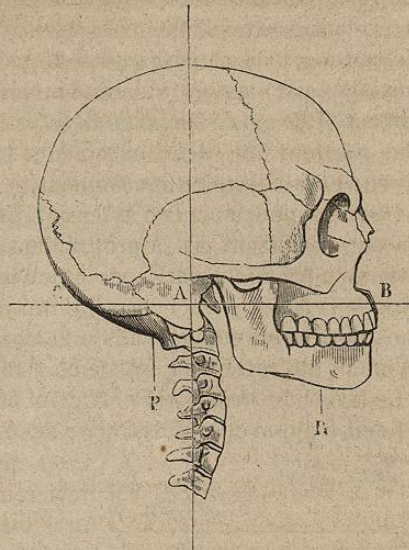


Fig. 107.

point d'appui, dis-je, est toujours dans l'articulation occipito-atloïdienne; seulement, la puissance et la résistance changent réciproquement de position. Dans la flexion en avant, la puissance est dans les muscles antérieurs du cou, et la résistance est représentée par la tonicité des muscles de la région postérieure. Dans la flexion de la tête en arrière, au contraire, la puissance est dans les muscles postérieurs du cou, et la résistance dans le poids de la partie antérieure de la tête et dans la tonicité des muscles antérieurs du cou.

La colonne vertébrale, qui fait corps avec le bassin, et par conséquent le tronc entier, repose aussi sur les têtes des fémurs, suivant le levier du premier genre. Le point d'appui est l'articulation; la puissance et la résistance, qui se font équilibre, sont représentées en avant par l'action des muscles, qui tendent à fléchir le tronc en avant, et en arrière par les muscles fessiers, qui empêchent le bassin d'obéir à l'action des fléchisseurs et de tourner autour de la tête du fémur.

Dans les mouvements des membres, le levier du premier genre est assez rare chez l'homme. Il est très-fréquent chez les animaux, et surtout chez les grands quadrupèdes. On l'observe chez eux dans les *mouvements d'extension* des membres. La puissance correspond aux muscles extenseurs, le point d'appui est à l'articulation, et la résistance est le poids du membre redressé. Le levier osseux représente chez les animaux un levier du premier genre, parce que l'extrémité de l'os sur laquelle vient s'appliquer la puissance d'extension dépasse angulairement le centre du

mouvement (c'est-à-dire l'articulation), lorsque le membre est fléchi. Il est vrai que le bras de la puissance est ici assez court, car il n'est mesuré que par la distance comprise entre l'insertion du muscle extenseur et le centre articulaire, c'est-à-dire par une apophyse osseuse de peu d'étendue; mais cette disposition, c'est-à-dire la brièveté du bras de la puissance par rapport à celui de la résistance, se rencontre presque partout. Elle existe au maximum dans le levier du troisième genre, le plus répandu dans les mouvements des animaux, et elle favorise singulièrement la vitesse du mouvement.

Dans les mouvements d'extension des membres chez l'homme, les extenseurs n'agissent pas, à proprement parler, sur les os à la manière de leviers du premier genre, parce que les saillies osseuses d'insertion sont loin d'être aussi prononcées chez lui que chez la plupart des animaux. Dans l'extension comme dans la flexion, les membres représentent généralement des leviers du troisième genre<sup>1</sup>.

Le levier du *second genre* est celui dans lequel la résistance est entre le point d'appui et la puissance; aussi l'appelle-t-on quelquefois levier inter-résistant (Voy. fig. 108). Dans ce levier, le bras de la puissance est AB: ce bras est mesuré par la distance qui sépare le point B, où est appliquée la puissance P, du point d'appui A. Le bras de la résistance est AC: ce bras est mesuré par la distance qui sépare le point C, où est appliquée la résistance R, du point d'appui A. Il est aisé de voir que, dans

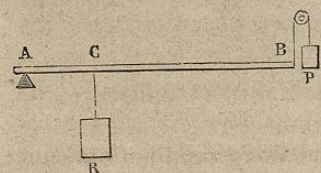


Fig. 108.

LEVIER DU SECOND GENRE.

ce levier, le bras de la puissance est toujours plus grand que celui de la résistance; car le premier mesure toujours toute la longueur du levier, tandis que l'autre n'en est jamais qu'une fraction plus ou moins grande. Une petite force appliquée à l'extrémité du levier de la puissance peut donc faire équilibre à des résistances considérables; et la puissance employée peut être d'autant moindre que la différence entre les bras du levier est plus grande. Ce levier est très-rare dans l'économie animale. Il est vrai qu'une petite force peut vaincre à son aide de grandes résistances; mais ce que ce levier *fait gagner en force, il le fait perdre en vitesse*, et le déplacement de la résistance est toujours moindre que le

<sup>1</sup> Cependant, à certains moments du mouvement d'extension des membres, le mode du levier se rapproche beaucoup du levier du premier genre. Ainsi, par exemple, quand l'avant-bras, fortement fléchi sur le bras, est redressé par la contraction du triceps brachial, le cubitus représente un levier du troisième genre, au commencement du mouvement, attendu que l'insertion du triceps à l'olécrane est à ce moment située du même côté du point d'appui (articulation) que la résistance (avant-bras et tonicité des fléchisseurs); mais au moment où l'avant-bras ne forme plus qu'un angle droit avec le bras, l'olécrane est un peu en arrière de l'articulation, le bras de la puissance se trouve transporté de l'autre côté du point d'appui, et le levier devient un levier du premier genre. Le bras de la puissance reste toujours très-court, d'ailleurs, relativement à celui de la résistance, et la vitesse du mouvement n'est pas sensiblement modifiée.

chemin parcouru par la puissance. Les organes de la locomotion, au contraire, sont surtout disposés pour faire exécuter à la résistance des mouvements étendus, avec un déplacement assez faible de la puissance, c'est-à-dire avec un faible raccourcissement des muscles.

Le levier du second genre ne se rencontre guère dans la mécanique animale; mais c'est celui dont l'homme se sert le plus fréquemment dans le travail manuel. Cela se conçoit aisément, car, à l'aide de ce levier, il n'a à déployer qu'une force toujours moindre que la résistance qu'il veut vaincre. La plupart de ses instruments de travail peuvent être rattachés à ce genre de levier. La brouette, par exemple (Voy. fig. 109), est un levier dont le point d'appui est en A, à l'endroit où la roue touche le sol. La puissance P correspond au point où est appliquée la force musculaire de l'homme qui la soutient: le bras de la puissance est donc mesuré par AP. La résistance R est représentée par le poids des objets placés dans la brouette; le bras

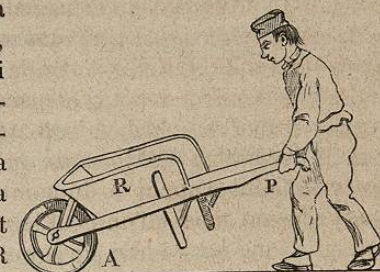


Fig. 109.

de la résistance est donc mesuré par AR. Plus la distance AR sera petite par rapport à la longueur AP, et moins l'homme aura d'efforts à faire; aussi, l'ouvrier a-t-il soin de disposer le chargement dans le fond de la brouette, afin de diminuer, autant que possible, le bras de la résistance AR. Lorsque l'homme cherche à dresser contre le mur une échelle, dont le pied, appuyé à terre, représente le centre des mouvements qu'il lui imprime, il développe un effort bien moindre que s'il *soulevait* l'échelle pour la mettre en place, etc., etc.

Le levier du deuxième genre, où la vitesse est sacrifiée à la force, ne se montre chez l'homme que dans une seule circonstance, c'est lorsqu'il soulève son propre corps, en s'élevant sur la pointe du pied. Le soulèvement du corps sur la pointe du pied a lieu, dans les mouvements de la marche, chaque fois que le pied se détache du sol. L'homme, pour soulever son propre poids, agit donc suivant le levier qui lui sert à soulever la plupart des corps pesants. Lorsque le corps est soulevé sur la pointe du pied, en effet (Voy. fig. 110), le point d'appui est en a, sur le sol, à la jonction des métatarsiens et des phalanges; la puissance d (muscles du mollet) est appliquée en e (nous pouvons la prolonger jusqu'en c dans sa direction); Le bras de la puissance est donc représenté par ac. La ré-

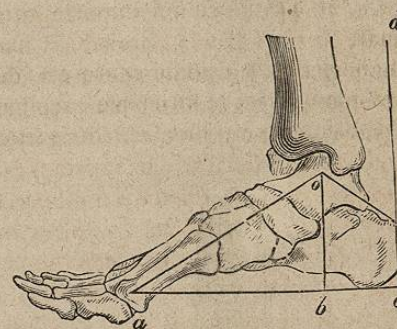


Fig. 110.

sistance, c'est le poids du corps soulevé, lequel poids fait effort sur le sol dans la direction du tibia, c'est-à-dire suivant la perpendiculaire *ob*: *b* est donc le point d'application de la résistance, et *ab* est le bras du levier de la résistance. Or, le bras de la puissance *ac* étant plus long que le bras de la résistance *ab*, la puissance déployée par les muscles du mollet pour soulever le corps est inférieure au poids du corps lui-même.

Le levier du troisième genre (Voy. fig. 111) est celui dans lequel la puissance est placée entre le point d'appui et la résistance. On l'appelle quelquefois levier inter-puissant. Dans ce levier, le bras de la résistance mesure la distance qui sépare le point d'appui A du point B, où est appliquée la résistance R. Le bras de la puissance mesure la distance qui sépare le point d'appui A du point C, où est appliquée la puissance P. Dans ce levier, ainsi qu'on peut le voir, le bras de la résistance est toujours plus long que le bras de la puissance, d'où il résulte que la puissance doit toujours être plus grande que la résistance pour lui faire équilibre. La puissance appliquée en C étant représentée dans les leviers de l'économie animale par la contraction musculaire, l'intensité de la contraction doit donc être toujours plus considérable que la résistance à vaincre. Mais, par compensation, dans tous les mouvements du levier, le chemin parcouru par le point B est plus grand que le chemin parcouru par le point C. Aussi, *ce qui est perdu en force est gagné en vitesse*; et c'est là ce qui importe surtout dans les mouvements de l'animal.

Le levier du troisième genre est, de beaucoup, le plus répandu dans l'économie; c'est le levier par excellence de la locomotion; on le trouve dans la plupart des mouvements partiels ou d'ensemble, et particulière-

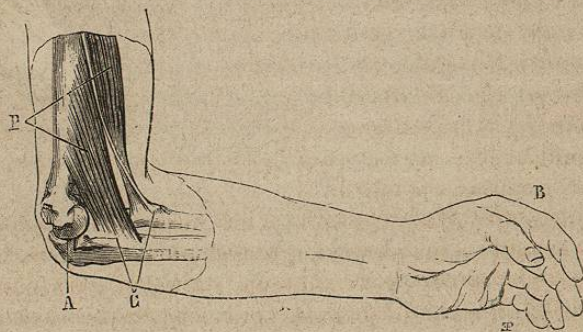


Fig. 112.

ment dans les mouvements de flexion. En voici quelques exemples. Dans la flexion de l'avant-bras sur le bras (Voy. fig. 112), le point d'appui est

dans l'articulation du coude A. La puissance P (muscles fléchisseurs, biceps et brachial antérieur) est appliquée au point C. Le bras de la puissance est donc mesuré par la distance qui sépare le point A du point C. La résistance est représentée par le poids de l'avant-bras. Le poids de l'avant-bras et de la main a sa résultante ou son centre de gravité vers la partie moyenne, en R. Le point d'application de la résistance correspond donc au point R, et le bras de la résistance est mesuré par la distance qui sépare le point d'appui A du point R. On conçoit que la longueur du bras de la résistance augmente quand la main soulève en même temps des corps pesants, parce que le centre de gravité de l'avant-bras se trouve transporté du côté de B. Le bras de la résistance AR est toujours plus long que le bras de la puissance AC; d'où il résulte que le point R et le point B décrivent, autour du point A comme centre, des arcs de cercle beaucoup plus étendus que le point C; d'où il résulte encore que, pour un faible raccourcissement du muscle P, la main éprouve un mouvement très-étendu.

Ce que nous devons dire pour la flexion de l'avant-bras sur le bras, nous pouvons le répéter pour la flexion de la jambe sur la cuisse (Voy. fig. 113). Dans ce mouvement, le point d'appui est dans l'articulation du genou A. La puissance P (représentée sur la figure par les muscles cou-

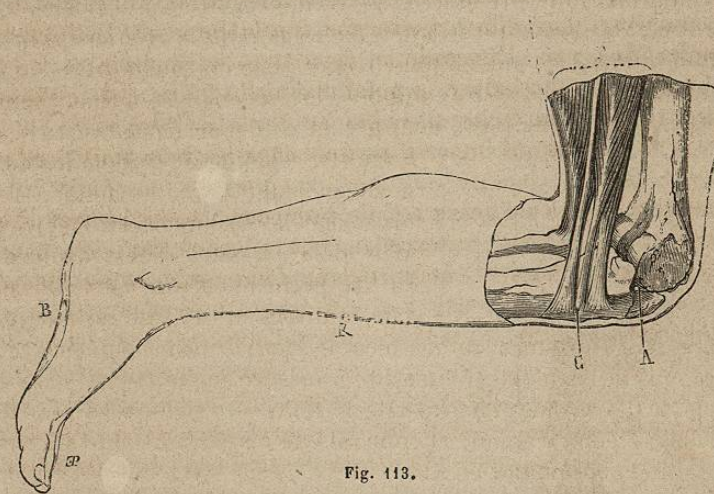


Fig. 113.

turier, droit interne, demi-tendineux et biceps sural), est appliquée en C. Le bras de la puissance est donc AC. La résistance est représentée par le poids de la jambe soulevée, et le bras de la résistance est mesuré par la distance qui sépare le point A du point R. De plus, on voit aussi que quand le point C, attiré par la contraction des muscles, décrit un petit arc de cercle autour du point A comme centre, le pied B, placé à l'extrémité du levier de la résistance, décrit un arc de cercle beaucoup plus étendu autour du même point A.

Dans la plupart des mouvements d'extension, les membres de l'homme se comportent aussi comme des leviers du troisième genre. Lorsqu'en effet le droit antérieur de la cuisse (continué par l'intermédiaire de la rotule et des ligaments de la rotule jusqu'à la tubérosité du tibia) se contracte pour redresser la jambe, la puissance contractile agit sur son tendon suivant la direction réfléchie du ligament rotulien; le point d'application de la puissance se trouve à la tubérosité du tibia, le point d'appui du mouvement se trouve dans l'articulation, et la résistance est encore à la jambe. Cette résistance est tantôt le poids de la jambe elle-même, comme quand nous sommes assis les jambes *pendantes* et que nous les étendons sur les cuisses; tantôt, au contraire, la résistance est représentée par les muscles postérieurs de la jambe, qui luttent contre l'extension.

En résumé, que les mouvements s'accomplissent suivant le levier du premier genre ou suivant celui du troisième genre, ce qu'il y a de plus remarquable et de plus général, dans les mouvements des leviers osseux de l'homme ou des animaux, c'est la longueur du bras de la résistance, comparé à la brièveté du bras de la puissance.

Remarquons encore que la *direction* suivant laquelle la puissance agit sur le bras de levier doit être prise en grande considération dans le mouvement. Quand la direction de la force est perpendiculaire au levier qu'elle doit mouvoir, elle est le plus favorablement disposée: à mesure que sa direction devient plus oblique par rapport au bras de levier, l'effet produit diminue de plus en plus, la puissance doit augmenter de plus en plus pour continuer à faire équilibre à la résistance. Soit, par exemple, un levier ABC (Voy. fig. 114), dont le centre du mouvement est en A.

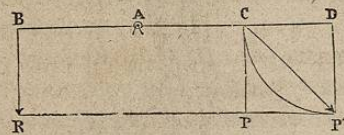


Fig. 114.

force P, appliquée perpendiculairement au point C, fait équilibre à la résistance R, appliquée au point B; mais si la puissance P est détournée de la perpendiculaire, si elle agit dans la direction CP', elle ne fera plus équilibre à la résistance R, ou bien il faudra, pour maintenir l'équilibre, qu'elle augmente d'intensité. A mesure que la force CP se rapprochera de CD, la plus grande partie de l'effort qu'elle exerce sera détruite dans le point d'appui; et enfin, si elle agissait suivant CD, toute la force serait consommée en A.

Or, pour peu qu'on réfléchisse aux mouvements de flexion ou d'extension des membres, on s'aperçoit que la puissance musculaire n'agit suivant la perpendiculaire aux leviers qui doivent être mus que dans certains moments du mouvement. Lorsque commence la flexion de l'avant-bras sur le bras, la puissance musculaire représentée par le biceps est loin d'être perpendiculaire au radius; elle est, au contraire, très-oblique. Elle ne lui devient perpendiculaire que plus tard. Dans les mouvements de flexion, le mouvement est, en général, d'autant plus favorisé que les muscles arrivent vers leur limite de contraction. Dans les mouvements

d'extension, la puissance agit, pendant toute la durée du mouvement, suivant une direction oblique, voisine de la parallèle au levier. Voilà pourquoi, sans doute, la force des extenseurs l'emporte sur celle des fléchisseurs. Le poids des premiers, comparé à celui des seconds, est, en effet, comme 11 : 5. Leur force *absolue* est donc le double de celle des fléchisseurs (Voy. § 237).

Nous avons vu précédemment que les extrémités renflées des os ont pour effet de diminuer l'obliquité de la puissance sur les leviers. Ce serait, par conséquent, se faire une fausse idée de la direction *réelle* de la puissance musculaire par rapport aux os qu'elle met en mouvement, que de l'apprécier suivant la direction du *corps charnu* des muscles. Le tendon d'insertion, alors même qu'il ne décrit autour du renflement articulaire qu'un arc de cercle de peu d'étendue, change la direction définitive de la puissance, au point d'application, d'une quantité bien plus grande qu'on ne serait tenté de le penser au premier abord.

## § 242.

**Centre de gravité du corps humain.** — La pesanteur agit verticalement de haut en bas sur tous les corps; en d'autres termes, tous les corps sont pesants. Les poids des différentes molécules, dont l'ensemble constitue les corps, représentent donc autant de forces agissant suivant la verticale. Les forces sont sensiblement parallèles les unes aux autres, et ont en conséquence une *résultante* commune. Le point du corps qui résume toutes ces forces différentes, ou, autrement dit, le point d'application de la résultante, se nomme le *centre de gravité* de ce corps. Tout corps soutenu par son centre de gravité est nécessairement en équilibre.

Lorsque le corps repose sur une surface ou sur un plan, il est en équilibre toutes les fois que la verticale qui passe par son centre de gravité tombe perpendiculairement sur sa *base de sustentation*.

L'homme n'est en équilibre qu'autant que la verticale qui passe par son centre de gravité tombe dans la base de sustentation représentée par les pieds, ou dans le parallélogramme construit aux limites de ses pieds, lorsque ceux-ci sont écartés.

Le centre de gravité de l'homme doit être pris en grande considération dans la station et dans les mouvements de la locomotion: de sa position, en effet, résulte l'équilibre ou la chute du corps.

La détermination expérimentale du centre de gravité n'offre pas de sérieuses difficultés. Si nous partageons le corps de l'homme (supposé debout) par un plan idéal perpendiculaire, qui le divise en deux parties égales, l'une droite, l'autre gauche, nous pouvons admettre que chacune de ces parties a sensiblement le même poids. Le centre de gravité du corps humain occupe donc ce plan. Si maintenant, ainsi que l'a fait Borrelli, on place l'homme sur une surface horizontale mobile, à la manière d'une balance (Voy. fig. 115), on constate que le corps se maintient en équilibre lorsque le plan vertical qui passe par le point d'appui