

REGLES MECANQUES FONDAMENTALES

Le 28 Février 1999

{Licence STAPS 98-99. Cours de biomécanique}

INTRODUCTION.....	2
1. LA FORCE.....	2
<u>1.1. Principe d'inertie.....</u>	<u>2</u>
<u>1.2. Les unités.....</u>	<u>3</u>
<u>1.3. Représentation graphique d'une force.....</u>	<u>3</u>
<u>1.4. Le moment cinétique.....</u>	<u>4</u>
2. DIFFERENTS LEVIERS ET CONDITION D'EQUILIBRE.....	7
<u>2.1. Les systèmes de leviers.....</u>	<u>8</u>
2.1.1. Les leviers du 1 ^{er} genre ou inter appui.....	9
2.1.2. Les leviers du 2 ^{ème} genre ou inter résistant.....	9
2.1.3. Les leviers du 3 ^{ème} genre ou inter puissant.....	10
<u>2.2. Analyse mathématique des différents leviers.....</u>	<u>11</u>
2.2.1. Les leviers du 1 ^{er} genre.....	11
2.2.2. Les leviers du 2 ^{ème} genre.....	12
2.2.3. Les leviers du 3 ^{ème} genre.....	13
BIBLIOGRAPHIE.....	15

INTRODUCTION

La mécanique est l'étude des forces et de leurs effets. La biomécanique est l'application des principes mécaniques à l'homme et aux animaux, aussi bien en mouvement qu'au repos. En d'autres mots, la biomécanique essaie d'allier la mécanique à l'étude de l'anatomie et de la physiologie. Elle couvre un large éventail de secteurs, qui vont de l'étude théorique à l'application pratique.

En anatomie, un examen rapide du système musculaire permet de constater que les fibres musculaires ne sont pas toutes disposées de la même façon. La structure interne des muscles détermine la force qu'ils peuvent produire ainsi que la distance sur laquelle ils peuvent se contracter. Le résultat d'une contraction musculaire dépend aussi des points d'attache d'un muscle sur le squelette alors que l'angle avec lequel un muscle exerce une traction sur un levier osseux permet d'établir ses composantes de rotation et de coaptation. La distance entre l'endroit où un muscle est rattaché à un os et l'axe articulaire détermine quant à elle le moment de force qui peut être produit. Quand deux ou plusieurs muscles agissent sur un même os, le résultat final dépend de la force déployée par chaque muscle, de leurs angles de traction et de leurs positions par rapport à l'axe articulaire.

Pour comprendre la constitution du squelette et l'action des muscles sur les différents segments du corps, on doit connaître la nature des forces en présence et avoir la notion de ce qu'est un moment cinétique.

1. LA FORCE

On appelle force tout facteur qui modifie l'état d'inertie d'un corps, donc qui met en mouvement un corps au repos ou qui modifie la trajectoire ou la vitesse d'un corps en mouvement.

C'est aussi tout facteur qui tend à modifier l'état d'inertie d'un corps donc qui tend à mettre en mouvement un corps au repos ou qui tend à modifier la trajectoire ou la vitesse d'un corps en mouvement.

Cette nuance est importante à introduire depuis l'utilisation des contractions isométriques comme technique de musculation. Dans ce procédé le sujet exerce un effort sur un corps quelconque dont la résistance est supérieure à la force musculaire exercée. Aucun déplacement n'a lieu, l'état d'inertie du corps n'est pas modifié cependant une force est exercée dont le sujet tire un bénéfice, l'augmentation de la puissance du groupe musculaire utilisé.

Une force est donc tout ce qui communique accélération (positive ou négative) à une masse.

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{a}$$

La masse d'un corps est une valeur invariable, c'est une quantité de matière, l'inertie qu'un corps oppose aux forces.

1.1. Principe d'inertie

Selon Newton, le principe d'inertie peut s'exprimer de la manière suivante :

- un corps au repos ne se met pas de lui-même en mouvement ;

- un corps en mouvement ne s'arrête pas de lui-même ; il tend à conserver indéfiniment la direction et la vitesse de son mouvement qui est rectiligne et uniforme.

Un corps en mouvement tend à demeurer en mouvement et à conserver la même vitesse et la même direction rectiligne ; un corps au repos tend à rester au repos si aucune force n'intervient.

1.2. Les unités

L'unité de masse est le kilogramme masse. C'est la masse d'un cylindre de platine iridié de 49 mm de hauteur et de 40 mm de diamètre conservé au Bureau international des poids et mesures à Sèvres.

L'unité de force est le newton. C'est la force qui communique à une masse de 1 kg, une accélération de 1 m par seconde à la seconde.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm} \times 1 \text{ m/s}^2$$

Lorsque l'accélération communiquée au corps est celle due à l'attraction terrestre g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) la force qui la communique est la pesanteur ou poids du corps.

L'unité de poids est le kilogramme-poids.

$$1 \text{ kgp} = 1 \text{ kgm} \times 9,81 \text{ m/s}^2 -$$

Une autre unité de force est le kilogramme-force. C'est la force qui communique à une masse unitaire une accélération $a = g$.

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kgm} \times 9.81 \text{ m/s}^2 -$$

Les rapports de grandeur entre ces unités sont :

$$1 \text{ kgp} \text{ ou } 1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N} (+ \text{ ou } - 10 \text{ N})$$

$$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kgp} \text{ ou } \text{kgf} (+ \text{ ou } - 0,1 \text{ kg})$$

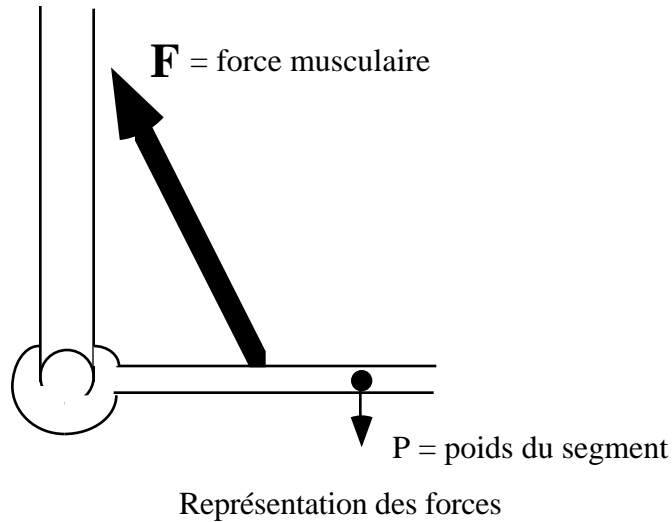
Donc, si un corps pèse 5 kg, on dit que l'attraction terrestre qui s'exerce est de 5 kilos-poids ou de 50 Newton (50 N).

1.3. Représentation graphique d'une force

Une force est définie quand on connaît les quatre éléments que sont :

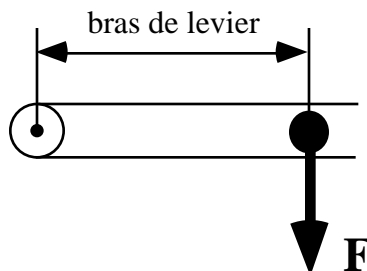
1. le point d'application,
2. la direction ou ligne d'action,
3. le sens,
4. l'intensité.

La force se représente par un segment de droite orienté ou vecteur.



1.4. Le moment cinétique

Lorsqu'une force agit à une certaine distance (ℓ) d'un point, on dit que cette force exerce un moment par rapport au point. On appelle bras de levier (ℓ), la distance la plus courte entre le point d'application des forces et le point d'appui du levier.



Le moment cinétique représenté par la lettre **M** se calcule en multipliant la force **F** par la longueur du bras de levier :

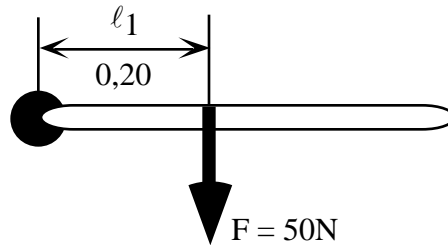
$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \times \ell$$

La valeur du moment cinétique indique l'importance de la contrainte subie par le sujet. Le moment cinétique est par conséquent un nombre qui représente deux choses en une, à savoir que la même force peut agir de façon variable en fonction de l'endroit où elle s'applique.

Une même force exerce un certain moment dans les exemple suivants, on note un plus grand moment dans l'exemple 2, et un encore plus grand dans l'exemple 3.

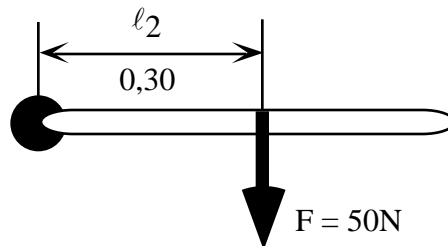
Supposons que la force reste constante à 50 N et que $\ell_1 = 0,20$ m que $\ell_2 = 0,30$ m et que $\ell_3 = 0,50$ m. Le moment cinétique sera : $M = F \times \ell$

Exemple 1



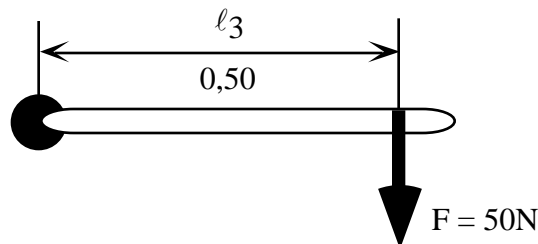
$$M_1 = 50 \text{ N} \times 0,20 \text{ m} = 10 \text{ Nm}$$

Exemple 2



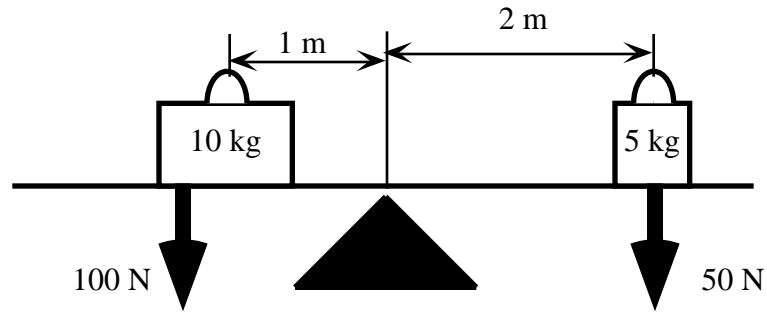
$$M_2 = 50 \text{ N} \times 0,30 \text{ m} = 15 \text{ Nm}$$

Exemple 3



$$M_3 = 50 \text{ N} \times 0,50 \text{ m} = 25 \text{ Nm}$$

Si on place un poids de 5 kg à 2 m de l'axe d'une balance on aura : $50 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 100 \text{ Nm}$. Le moment cinétique de 100 Nm peut aussi être obtenu en plaçant un poids de 10 kg à 1 m de centre de gravité. On dit que les moments s'annulent. Un raisonnement identique peut s'appliquer à tous les muscles.



Pour que les moments cinétiques s'annulent, il faut que $F_m \times \ell_m = F \times \ell$

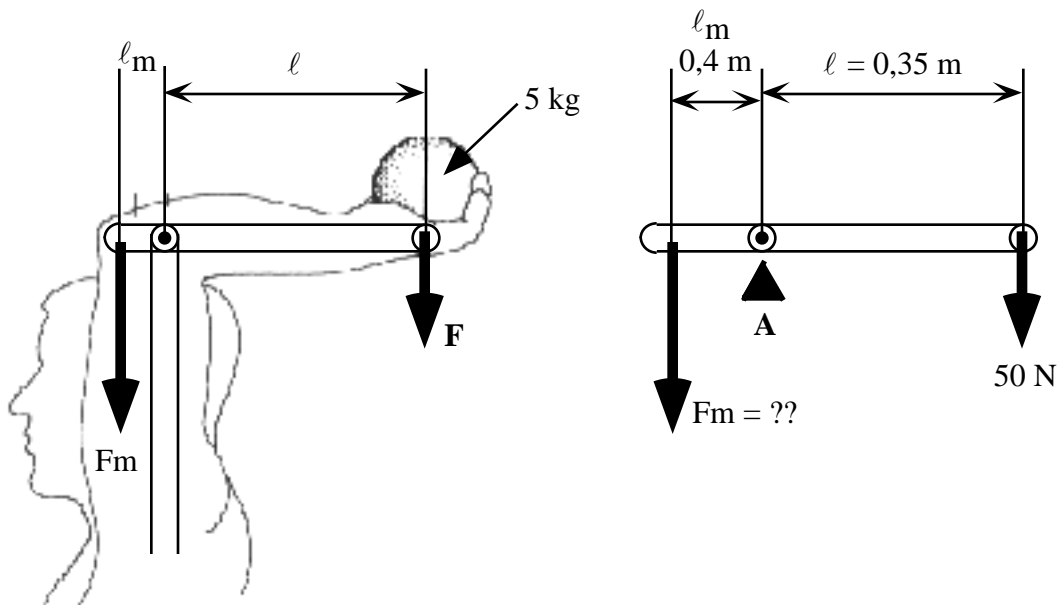
On peut comparer l'articulation du coude à une balance où la force extérieure F agit d'un côté et la force intérieure F_m de l'autre. Le bras reste immobile si : $F_m \times \ell_m = F \times \ell$; soit :

F = force de gravité de la boule

ℓ = distance du point d'application de la force à l'axe de l'articulation

F_m = force musculaire

ℓ_m = longueur du bras de levier à partir de l'axe articulaire



Si $F = 50 \text{ N}$; $\ell = 0,35 \text{ m}$; $\ell_m = 0,4 \text{ m}$; la force musculaire F_m doit être de :

$$F_m \times \ell_m = F \times \ell$$

$$F_m \times 0,4 = 0,35 \text{ m} \times 50 \text{ N}$$

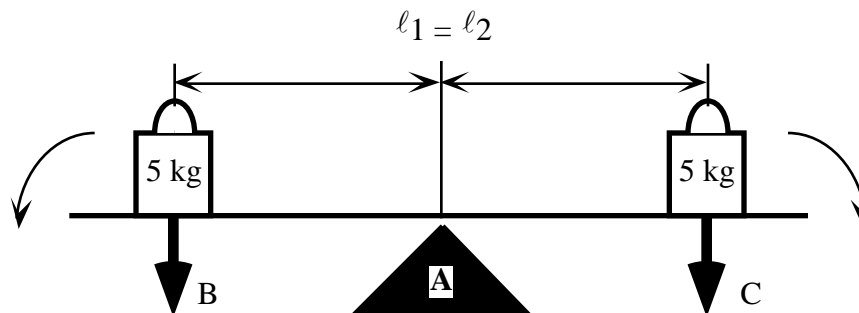
$$F_m \times 0,4 = 17,5$$

$$F_m = 17,5 : 0,4 = 43,75 \text{ Nm}$$

La force musculaire est donc dépendante de la longueur de ℓ . Si $\ell = 0,40 \text{ cm}$, alors $F_m = 50 \text{ Nm}$.

2. DIFFERENTS LEVIERS ET CONDITION D'EQUILIBRE

Dans le cas d'une balance, il faut pour que l'équilibre soit conservé, que la somme de leurs poids soit contrebalancée par une autre force qui s'exerce vers le haut sur l'axe de rotation de la planche. Toutefois dans ce système, on doit introduire une deuxième condition d'équilibre. En effet, une force qui s'exerce sur un corps à une certaine distance d'un point fixe, tend à le faire tourner. Comme le montre la figure, la force C cause une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un point fixe A, alors que la force B produit une rotation dans le sens contraire. Tous ceux et toutes celles qui se sont amusés(es) sur ce type de balançoire savent d'expérience que l'équilibre n'est possible que si le (la) plus pesant(e) des deux s'assoit plus près de l'axe de rotation. Cela illustre bien toute l'importance de la distance entre l'axe et le point où s'exerce la force. On nomme bras de levier cette distance, mesurée perpendiculairement, entre la ligne d'action de la force et le point de rotation. En conséquence, la mesure de l'efficacité d'une force à faire tourner un corps dépend non seulement de sa grandeur, mais aussi de la position de son point d'application. Toute variation de l'une ou de l'autre entraîne une variation de cette efficacité.



Sur la balance, les forces B et C sont de chaque côté du point d'appui A ; B tend à faire tourner le système dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, tandis que C tend à le faire tourner dans le sens contraire.

Le moment de force d'une force, c'est la mesure de son efficacité à produire une rotation autour d'un axe quelconque ; il est égal au produit de la grandeur de la force par la distance mesurée perpendiculairement entre la ligne d'action de la force et l'axe de rotation. On peut aussi le définir comme le produit de la distance entre l'axe de rotation et le point d'application de la force, par la composante de la force perpendiculaire à cette distance. Peu importe la définition retenue, le moment de force, M, est égal au produit d'une force, F, par une distance, d ; plus succinctement $M = F \times d$. Les unités s'expriment en newton-mètre (N.m) ou en newton-centimètre (N.cm).

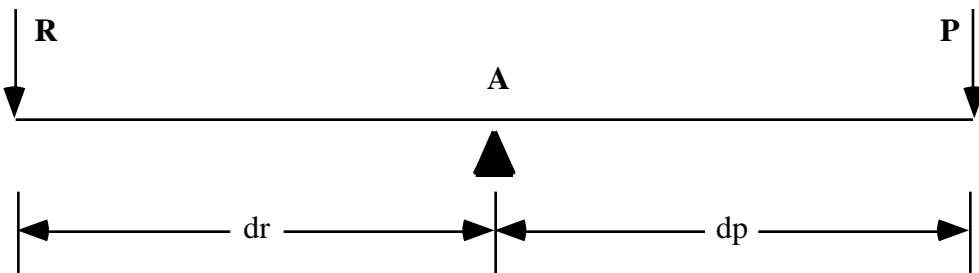
Pour qu'un corps soit en équilibre de rotation, il doit être au repos ou tourner à vitesse constante. Dans cette partie de chapitre, on va s'intéresser aux corps au repos soumis à la deuxième condition d'équilibre. Celle-ci s'énonce ainsi : la somme des moments de force autour d'un point est nulle ($\sum M = 0$). En d'autres termes, la somme des moments de force qui tendent à faire tourner le corps dans le sens des aiguilles d'une montre ($\sum M_h$), plus la somme des moments de force qui tendent à le faire tourner dans le sens inverse ($\sum M_{ah}$) s'annulent. On peut écrire algébriquement :

$$\sum M_h + \sum M_{ah} = 0$$

Par convention, les forces produisant une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre ont un moment de force positif ; celles qui agissent en sens inverse ont un moment de force négatif.

2.1. Les systèmes de leviers

Le système le plus simple où se retrouvent des moments de force exercés par des forces coplanaires et parallèles est le levier. Un levier barre rigide, mobile autour d'un point fixe nommé point d'appui, est soumis à deux forces qui tendent à le faire tourner en sens opposés. Par convention, on appelle ces forces la puissance et la résistance.



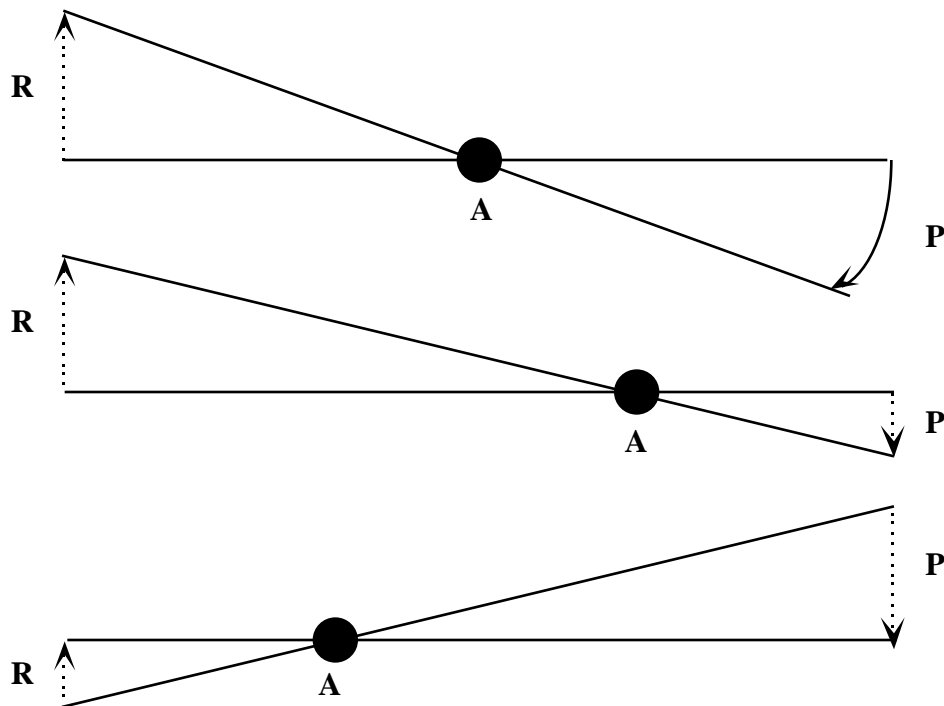
La distance entre la force de puissance et le point d'appui se nomme le bras de puissance, dp ; de même, on nomme bras de résistance, dr la distance entre la force de résistance et le point d'appui. On détermine l'avantage mécanique, AM , du levier en divisant le bras de puissance par le bras de résistance :

$$AM = \frac{dp}{dr}$$

La valeur de cette quantité dépend donc de la position des forces par rapport au point d'appui. Selon la position des forces, on distingue trois genres de leviers.

2.1.1. Les leviers du 1^{er} genre ou inter appui

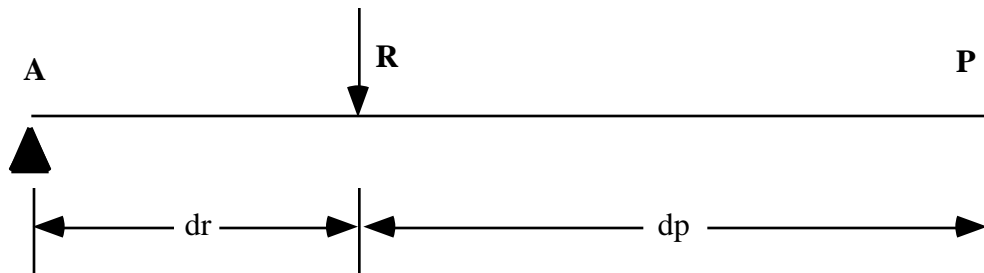
Les leviers dont le point d'appui est situé entre la puissance et la résistance, sont des leviers du premier genre. Ils sont remarquables par les possibilités qu'ils offrent. Par exemple, selon les longueurs relatives du bras de puissance et du bras de résistance, ils peuvent déplacer une grande résistance à l'aide d'une faible puissance ou encore déplacer une résistance sur une grande distance à l'aide d'une puissance dont le déplacement est plus petit.



La valeur de l'avantage mécanique (AM) peut être supérieure, inférieure ou égale à un. Lors de la rotation d'un levier, les forces impliquées se déplacent dans les directions opposées ; en effet, lorsque la puissance s'abaisse, la résistance s'élève et vice versa. La balançoire à bascule ou la paire de ciseaux sont des exemples de leviers du premier genre. Parmi les exemples anatomiques, on peut noter l'action du triceps brachial sur le cubitus lorsque le bras est au-dessus de la tête, de même que l'action du muscle splenius qui provoque l'extension de la tête par l'intermédiaire des articulations atlanto-occipitales.

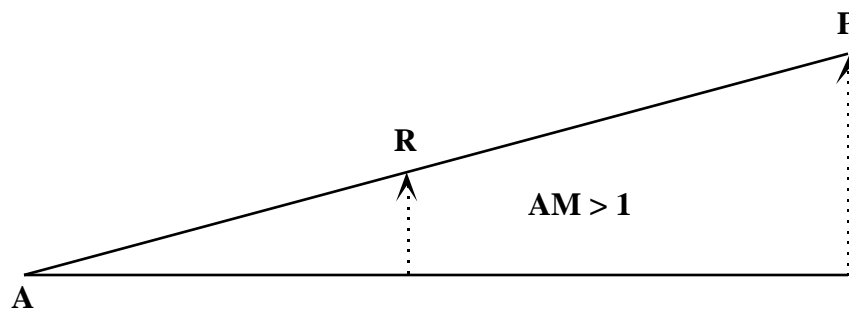
2.1.2. Les leviers du 2^{ème} genre ou inter résistant

Dans les leviers du deuxième genre, la résistance se trouve entre le point d'appui et la puissance.



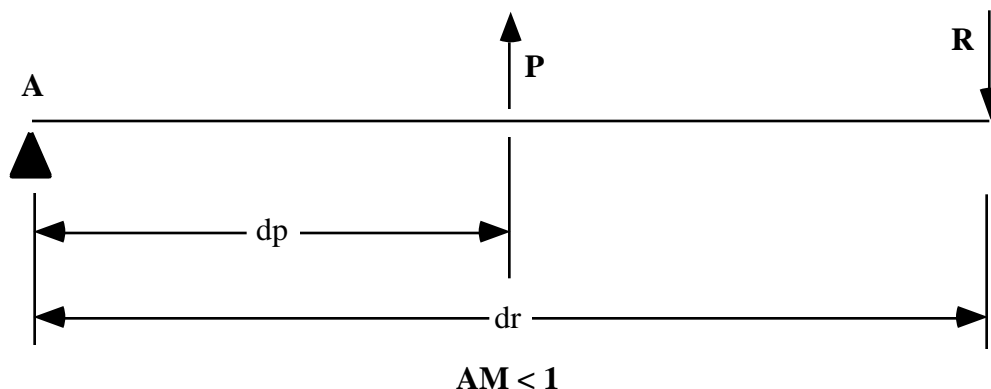
L'avantage mécanique d'un tel système est toujours supérieur à un et ce, parce que le bras de puissance dépasse en grandeur le bras de résistance. La résistance excède donc la puissance, mais elle se déplace moins qu'elle. Le système agit de la façon suivante : si la puissance se déplace vers le haut, la résistance en fait autant ; de même, si la puissance se déplace vers le bas, la résistance se déplace elle aussi vers le bas. La brouette et le casse-noix sont des exemples de leviers du deuxième genre.

On en retrouve un exemple anatomique quand quelqu'un se tient debout sur la pointe des pieds : les fléchisseurs plantaires luttent contre la gravité alors que l'articulation métatarso-phalangienne sert de point d'appui.



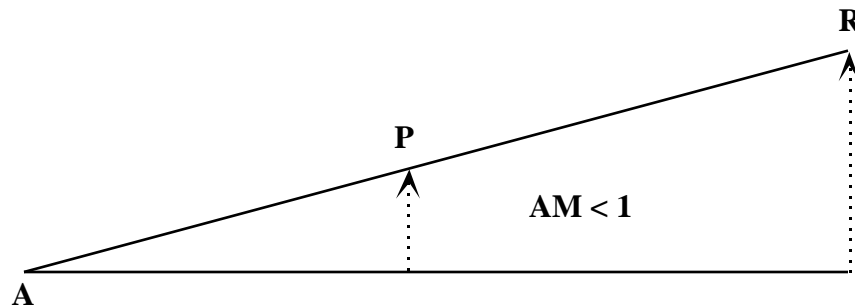
2.1.3. Les leviers du 3^{ème} genre ou inter puissant

Enfin, dans un levier du troisième genre, la puissance se trouve entre le point d'appui et la résistance.



Dans cette situation, le bras de puissance est toujours plus petit que le bras de résistance. Pour supporter une résistance, la puissance doit lui être supérieure, mais sa course est petite. Par contre, on y gagne en

distance parcourue par la résistance. La canne à pêche et la pince à glace sont des exemples de leviers du troisième genre. Anatomiquement, plusieurs arrangements osseux appartiennent à ce genre ; on peut citer par exemple, l'action du biceps brachial sur l'avant-bras.



2.2. Analyse mathématique des différents leviers

Pour que les conditions d'équilibre se réalisent, il faut que : $F_m \times \ell_m = F \times \ell$. On peut appliquer cette équation quelque soit le type de levier et calculer ainsi les différents moments cinétiques qui s'exercent en fonction de la longueur des bras de levier pour un même charge.

2.2.1. Les leviers du 1^{er} genre

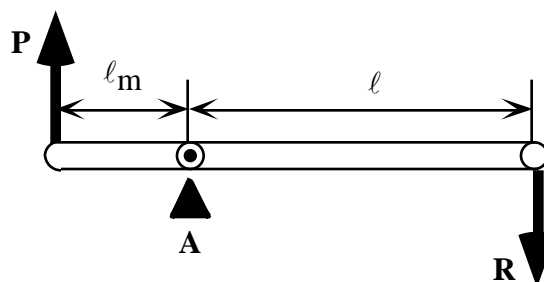
Les leviers inter appui se caractérisent par le fait que le point d'appui (A) se situe obligatoirement entre la puissance (P) et la résistance (R). Si le point d'appui se trouve éloigné de la résistance (R), cela nécessitera de développer une force musculaire (F_m) importante pour que les conditions d'équilibre se réalisent ($F_m = 0$). Nous avons dit que :

F_m = force musculaire ;

ℓ_m = longueur du bras de levier à partir de l'axe articulaire ;

F = force de gravité, c'est à dire la résistance (R) ;

ℓ = distance du point d'application de la force à l'axe de l'articulation.



Si $\ell_m = 4 \text{ cm}$; $\ell = 20 \text{ cm}$; $R = 10 \text{ N}$; quelle est la valeur de F_m pour que le levier reste strictement horizontal ?

$$F_m \times \ell_m = R \times \ell$$

$$F_m \times 4 \text{ cm} = 10 \text{ N} \times 20 \text{ cm}$$

$$F_m \times 4 = 200 \text{ N cm}$$

$$F_m = 200 : 4 = 50 \text{ N cm.}$$

Supposons maintenant que $\ell_m = 5 \text{ cm}$ et que l'on garde les autres mêmes valeurs.

$$F_m \times 5 \text{ cm} = 10 \text{ N} \times 20 \text{ cm}$$

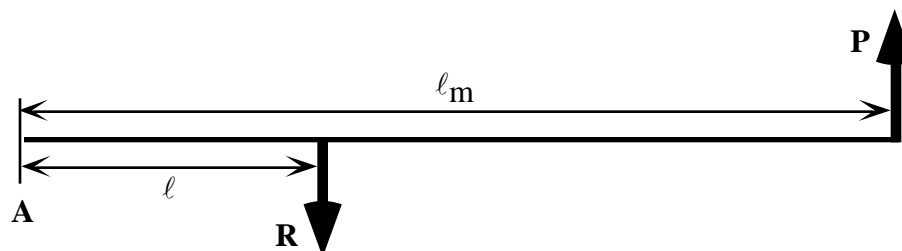
$$F_m \times 5 = 200 \text{ N cm}$$

$$F_m = 200 : 5 = 40 \text{ N cm.}$$

Ainsi, si on déplace le point d'appui de 1 cm vers la droite, on pourra diminuer F_m de 10 N cm pour conserver l'équilibre. Ce genre de leviers est répandu dans le corps humain comme l'axe vertébrale où chaque vertèbres peut être assimilée à un levier du 1^{er} genre.

2.2.2. Les leviers du 2^{ème} genre

Les leviers du 2^{ème} genre ou inter résistant se caractérisent par le fait que la résistance (R) se situe entre le point d'appui (A) et la puissance (F). Les caractéristiques mécaniques font apparaître que dans ce type de levier F_m est avantageux puisque le bras de puissance dépasse toujours le bras de résistance.



Si $\ell_m = 4 \text{ cm}$; $\ell = 20 \text{ cm}$; $R = 10 \text{ N}$; quelle est la valeur de F_m pour que le levier reste strictement horizontal ?

Il faut se souvenir que ℓ est la distance entre le point d'application de la résistance (R) et le point d'appui (A) et ℓ_m la longueur du bras de levier musculaire à partir du point d'appui.

$$F_m \times \ell_m = R \times \ell$$

$$F_m \times 20 \text{ cm} = 10 \text{ N} \times 4 \text{ cm}$$

$$F_m \times 20 \text{ cm} = 40 \text{ N cm}$$

$$F_m = 40 : 20 = 2 \text{ N cm.}$$

Si on déplace la résistance (R) de 1 cm vers la droite, on obtient :

$$F_m \times 20 \text{ cm} = 10 \text{ N} \times 5 \text{ cm}$$

$$F_m \times 20 \text{ cm} = 50 \text{ N cm}$$

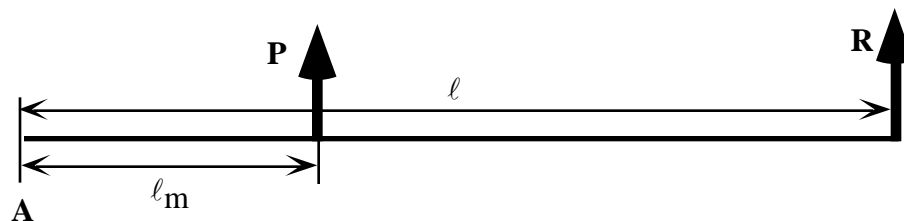
$$F_m = 50 : 20 = 2,5 \text{ N cm.}$$

Autrement dit, plus ℓ_m va augmenter pour se rapprocher de P et plus F_m devra être importante. Il faut considérer que dans ce contexte, on se rapproche d'un levier du troisième genre.

Les leviers inter résistants sont peu répandus dans le corps humain car si ils offrent l'avantage de développer une force considérable, ils sont en contre partie peu étudiés pour le mouvement. La mâchoire dispose de ce type de levier.

2.2.3. Les leviers du 3^{ème} genre

Les leviers du 3^{ème} genre ou inter puissant se caractérisent par le fait que la puissance (P) se situe entre le point d'appui (A) et la résistance (R). Les caractéristiques mécaniques font apparaître que dans ce type de levier F_m est désavantageux puisque le bras de puissance est inférieur au bras de résistance. Par contre ils sont bien étudiés pour le mouvement puisque pour un petit déplacement angulaire de la puissance, on obtiendra un grand déplacement de la résistance.



Si $\ell_m = 4 \text{ cm}$; $\ell = 20 \text{ cm}$; $R = 10 \text{ N}$; quelle est la valeur de F_m pour que le levier reste strictement horizontal ?

Dans ce contexte là et par rapport à l'exemple précédent ℓ et ℓ_m s'inverse mais garde bien la même définition. ℓ est toujours la distance comprise entre le point d'application de la résistance (R) et le point d'appui (A) et ℓ_m la longueur du bras de levier musculaire à partir du point d'appui.

$$F_m \times \ell_m = R \times \ell$$

$$F_m \times 4 \text{ cm} = 10 \text{ N} \times 20 \text{ cm}$$

$$F_m \times 4 \text{ cm} = 200 \text{ N cm}$$

$$F_m = 200 : 4 = 50 \text{ N cm.}$$

Si on déplace la puissance (P) de 1 cm vers la droite, on obtient :

$$F_m \times 5 \text{ cm} = 10 \text{ N} \times 20 \text{ cm}$$

$$F_m \times 5 \text{ cm} = 200 \text{ N cm}$$

$$F_m = 200 : 5 = 40 \text{ N cm.}$$

Ainsi, F_m devient plus favorable d'autant qu'on se rapproche de R. Ce qui caractérise les leviers du 3^{ème} genre, c'est que la charge et le muscle se trouvent du même côté que l'articulation mais travaillent dans des directions différentes. Au niveau du corps humain, ce sont par exemple le biceps, le deltoïde, le triceps. Ce dernier muscle est un levier du 3^{ème} genre lorsque le bras est le long du corps mais un levier du 1^{er} genre lorsque le bras est en extension au-dessus de la tête.

BIBLIOGRAPHIE

WILLIANS ; LISSNER ; LE VEAU (1986), Biomécanique du mouvement humain - Vigot.

WOESTYN J (1977), Etude du mouvement - Maloine.

WIRHED R, (1984), Anatomie et science du geste sportif - Vigot.