



التاريخ: 2017/04/10

الرقم: 023 / م.ع.ت.ن.ر.ب / 2017

مستخرج من محضر اجتماع المجلس العلمي لمعهد علوم وتقنيات النشاطات البدنية
والرياضية
المنعقد بتاريخ 22 جانفي 2017 بالمعهد (الدورة العادية)

بناء على محضر اجتماع المجلس العلمي لمعهد علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية وهذا
في دورته العادية وبعد الطلب المقدم من طرف الأستاذ حاج أحمد مراد بخصوص تحكيم المطبوعة تحت
عنوان: **Application de la Biomécanique en médecine et en Sport (exemples) 3^{eme} année**

قرار المجلس:

الموافقة على طلب الأستاذ حاج أحمد مراد بخصوص تحكيم المطبوعة تحت عنوان:
Application de la Biomécanique en médecine et en Sport (exemples) 3^{eme} année وهذا
بعد استلام تقارير لجنة التحكيم بالإيجاب.

رئيس المجلس العلمي
رئيس المجلس العلمي
د. شكور بن مسعود



**Universite Akli Mhand Oulhadj –Bouira
Institut Des Sciences et Techniques
des Activites physiques et Sportives.**

**Application de la Biomécanique en Médecine et en Sport
(exemples)**
3^{ème} Année



Dr / Hadj Ahmed Mourad

Année Universitaire :2015/2016

Universite Akli Mhand Oulhadj –Bouira.
I.STAPS.

mourad.bcn.alg@gmail.com

Introduction :

Le centre de masse est concept que l'on utilise pour faciliter la description des phénomènes mécaniques, pour cela on fait l'hypothèse que la masse entière est située en un seul point appelé centre de masse (CM).

1. Notion du centre de masse :

C'est le point d'application de la résultante des forces de gravité ou de pesanteur (centre de gravité).

Pour une distribution uniforme de la matière comme l'indique la figure 01 le centre de masse est situé au centre de la matière qui le constitue.

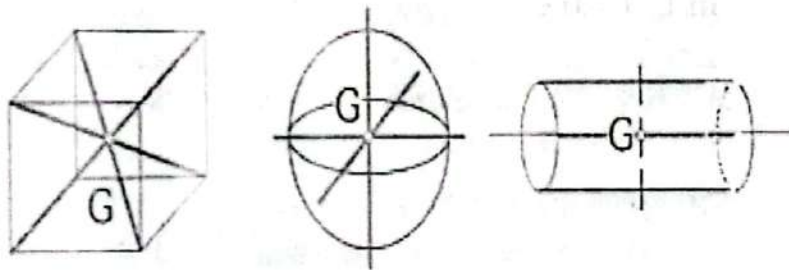


Figure 01 : Centre de gravité de solides ayant des géométries simples et une distribution uniforme des masses.

Par contre il n'est pas toujours situé au centre physique pour une distribution non uniforme, il est déporté vers l'extrémité la plus lourde comme le montre Figure 02. Dans les corps rigides le centre de masse est fixe (Immobile).



Figure 02: pour une batte de baseball, le centre de masse est déporté vers l'extrémité.

Le CM d'un corps à densité non uniforme est plus difficile à déterminer, le corps humain est de densité non uniforme, de forme irrégulière et peut adopter différentes postures: son CM se déplace constamment (Mobile) Figure 03 et Figure 04.



Figure 03: CM Corporel
Centre de masse du corps
humain est localisé au niveau
de la seconde vertèbre sacré S2.

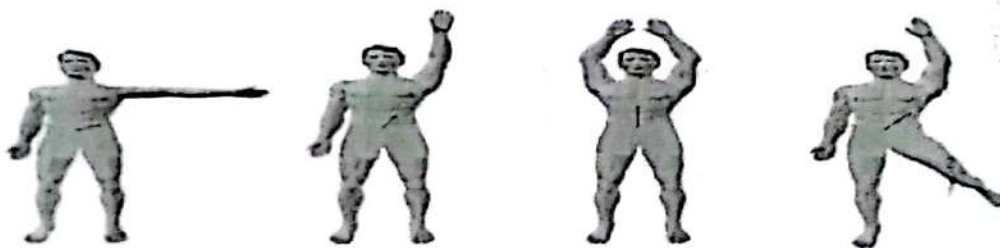
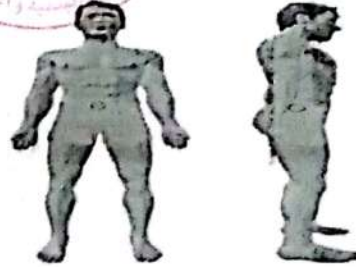


Figure 04: CM Corporel mobile

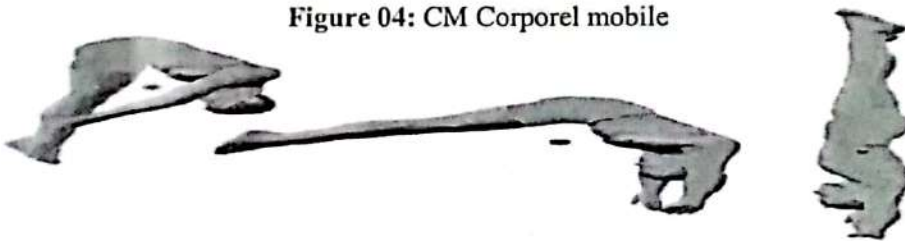


Figure 05: CM Corporel à l'extérieur du corps.

2. Base de support et équilibre postural

- **Base de support (Polygone de sustentation):** Il s'agit de la surface au sol sur laquelle une personne tient debout sur ses deux pieds. Le polygone de sustentation, qu'on appelle aussi "surface d'appui", est la surface créée par ses deux pieds : une sorte de rectangle qui entoure ses pieds.
- Le polygone de sustentation est le plus petit polygone reliant l'ensemble des points par lequel un corps repose sur un plan horizontal. Plus simplement, il s'agit de la surface entre l'extrémité des points d'appui. Figure 06

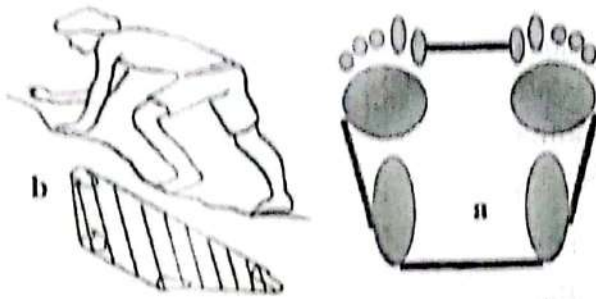


Figure 06 : base de support
 a. Appui bipodal.
 b. Appui manuel et podal.

3. **Equilibre posturale:** Une personne est en équilibre stable si la projection orthogonale de son centre de masse est à l'intérieur de son polygone de sustentation. Equilibre est un état qui caractérise un corps lorsque la somme des forces exercées et la somme de leur moment est nulle. Le contrôle de l'équilibre est un des aspects du contrôle postural, particulièrement développé chez l'homme en raison de l'instabilité de la position bipodale qui est le point de départ de la locomotion et se trouve déstabilisée par la réalisation de tâches manuelles.

3.1. Les types d'équilibre

a. **L'équilibre stable :** le centre de gravité est en dessous du polygone de sustentation et le corps revient à sa position initiale s'il est déplacé.

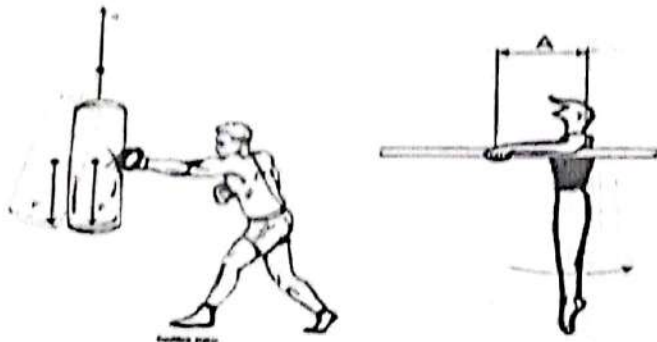


Figure 07: Equilibre Stable.

b. **L'équilibre instable :** le centre de gravité est au-dessus du polygone.



Figure 08: Equilibre Instable.

Plus cette ligne d'action passe au milieu de la base de support, et plus la stabilité est grande. En revanche, plus la ligne d'action de G est proche du périmètre de la surface des appuis, et plus la stabilité est faible. Sur le dessin de droite, la distance entre la ligne de gravité et les limites de la surface de sustentation est plus importante que sur le dessin de gauche, ce qui entraîne un équilibre plus stable.

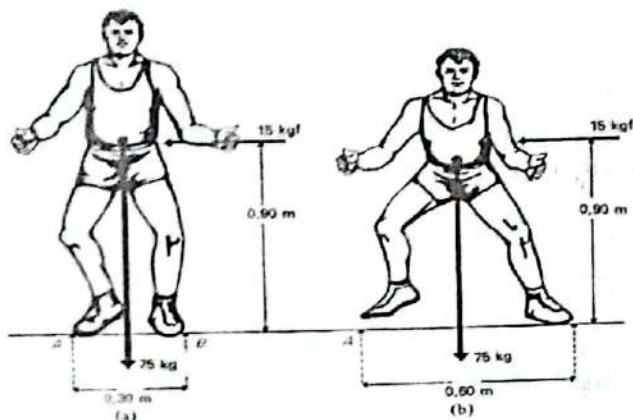


Figure 11: position de la ligne d'action.

3.3.5. l'adhérence au sol : une bonne adhérence entre les surfaces de contact telles que les pieds et le sol apporte un plus grand équilibre postural.

Principe N° 01 de la biomécanique

L'équilibre postural est assuré aussi longtemps que le centre de masse demeure à l'intérieur du périmètre de la base du support (polygone de sustentation).

4. Relation entre la pratique sportive et l'équilibre postural.

L'équilibre et la posture sont à la base de l'activité motrice, cela montre qu'il y a une relation entre la pratique sportive et l'équilibre postural. L'entraînement sportif augmente la faculté d'utiliser les informations visuelles et somesthésiques* et par conséquent améliore le contrôle postural chez les sportifs. Chaque sport, demande probablement une contribution différente du processus sensorimoteur pour l'exécution des gestes sportifs et du mouvement.

Une étude comparative entre les lutteurs et les basketteurs à montrer que le groupe de lutte démontré une stabilité supérieure dans les conditions sol souple yeux ouverts puis fermés témoignent ainsi un meilleur transfert des habilités motrices dans les situations inhabituelles. Le groupe de basket-ball est plus affecté par la suppression de vision dans toutes les circonstances.

* La somesthésie désigne un ensemble de différentes sensations (pression, chaleur, douleur... qui proviennent de plusieurs régions du corps (peau, tendons, articulations, viscères...)

Ces deux populations utilisent probablement un mode de contrôle sensoriel différent: principalement visuel pour le groupe de basket et principalement proprioceptif pour les lutteurs. Mais la moindre défaillance posturale ou un changement dans l'attitude de sportif. Ce changement aura par conséquent dans un premier temps une altération de sa performance sportive, de son état général et dans un deuxième temps, ce qui plus néfaste encore des conséquences traumatiques, rhumatismales ou des déformations squelettiques. L'équilibre est une forme très importante de l'adresse, c'est un élément de la valeur physique générale impossible à évaluer numériquement, mais qui procure de grands avantages à ceux qui ont pu développer suffisamment. Cette maîtrise de l'équilibre qui passe nécessairement par la prise de déséquilibre engendre la contrainte de la chute toujours possible plus au moins dangereuse et donc douloureuse.

5. Localisation du centre de masse

5.1. Méthode Borelli (système levier)

Pour localiser la position du CM d'un individu, on fait appel au principe de levier (Figure 12). Notons que cette méthode nous a été proposée par Borelli*

Ce système représente un levier inter résistant, l'effet de la planche est négligé.

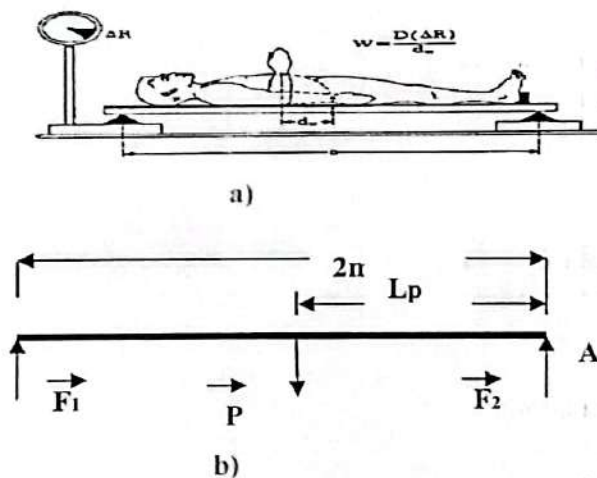


Figure 12 : a) système de mesure du CM corporel ; la longueur de la planche 2m ; la taille du sujet est de 1,70m ; son poids 700N. b) Diagramme représentant le système de levier ; $F_1 = 329\text{N}$ indiquée par la balance ; $P = 700\text{N}$; $F_2 ?$ au point d'appui A. On cherche la distance L_p entre le point d'appui podal et la position du CM.


- calcul de F_2 ; comme le système est en équilibre la 1^{ère} condition d'équilibre est applicable.

$$\sum F = 0 \longrightarrow F_1 - P + F_2 = 0 \longrightarrow F_2 = P - F_1 \longrightarrow F_2 = 700 - 329 \longrightarrow F_2 = 371\text{N}.$$

- Calcul de L_p ; comme le système est en équilibre la 2^{ème} condition d'équilibre est applicable.

* Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) était un physicien italien qui cherchait à rendre les lois mécaniques applicables à tous les phénomènes physiologiques.

$$\Sigma M_A = 0 \longrightarrow MP + MF_1 + MF_2 = 0 \longrightarrow -P \times L_p + F_1 \times L_{F1} + F_2 \times L_{F2} = 0,$$

$$L_p = \frac{F_1 \times L_{F1}}{P} \longrightarrow l_p = \frac{329 \times 2}{700} \longrightarrow L_p = 0,94m.$$


$MF_2 = 0$ car $LF_2 = 0$.

Ainsi le centre de masse de notre sujet se situe à 0,94m du point d'appui podal. Cela représente 55% de la taille.

Contrôle de connaissance

1. Reprenons l'exemple du cours mais avec les nouvelles valeurs qui sont :

$P = 700N$, les pieds sont à 15cm du point d'appui A, $F_1 = 381,5N$.

- Où est situé le centre de masse de l'individu par rapport au point A ?
 - Où est situé le centre de masse de l'individu par rapport à ses pieds ?
- En utilisant seulement la seconde condition d'équilibre, déterminer la force F_2 au point d'appui A sachant que le centre de masse se situe à 0,94m du point d'appui ?
 - Si dans l'exemple du cours la balance indique une force $F_1 = 379N$, où est situé le centre de masse d'une planche de 100N ? le centre de masse de l'individu est à 0,94m du point d'appui A.

5.2. Méthode segmentaire.

La méthode de Borelli ne permet pas de mesurer les variations en temps réel de la position du CM au cours des mouvements. Pour analyser ces variations on réalise un enregistrement vidéo du sujet en mouvement. La vidéo est ensuite numérisée pour repérer la position de certains repères anatomiques (épaule, coude, hanche, genou, cheville, etc.). On obtient une représentation du corps, chaque trait représente un segment du corps, c'est la méthode segmentaire. Cette méthode s'appuie sur les masses segmentaires et leurs centres de masse.

Masse et longueur segmentaire:

La branche de l'anthropologie physique qui a pour objet la mesure du corps humain s'appelle l'anthropométrie. Ces mesures anthropométriques sont souvent présentées sous forme de tableaux où les valeurs sont normalisées, c'est-à-dire généralisées à l'ensemble des individus d'âges, de masses et de sexes différents.

Ainsi, tout comme notre corps a un centre de masse, chacun de ses segments possède le sien.

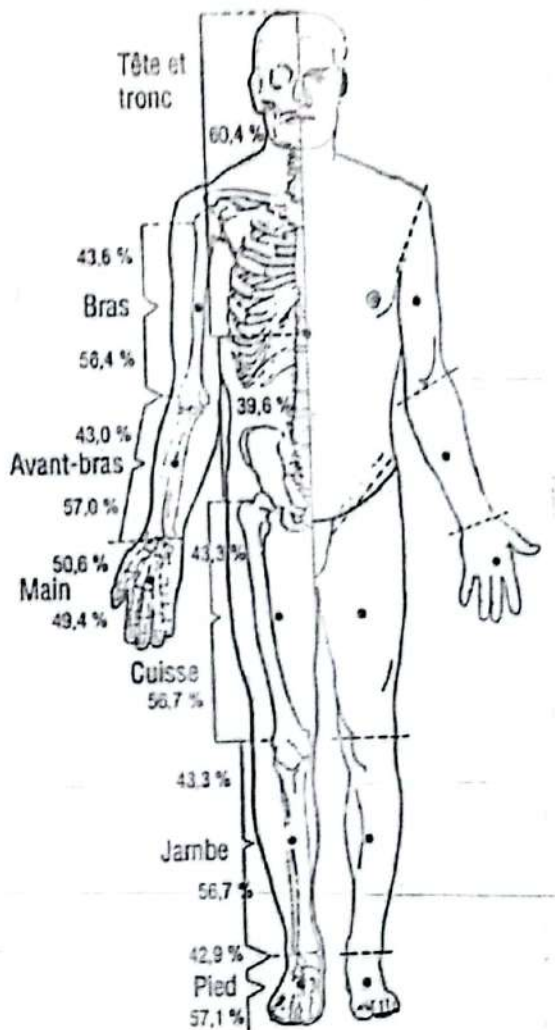



Figure 13 : position des centres de masse segmentaires exprimée en pourcentage de la longueur du segment.

Contrairement au centre de masse corporel qui peut se déplacer selon le mouvement des bras ou des jambes, le centre de masse segmentaire est fixe à l'intérieur du segment.

Résultat : centre de masse corporel est mobile
centre de masse segmentaire est immobile

Masse segmentaire : La masse d'un segment (m_s) est une valeur identifiant sa quantité de matière; elle dépend de la nature des différents tissus (os, muscles, graisse, peau, liquides) qui le composent.



Membre	Segment	Masse seg / masse corps	Distances	
			Proximale	Distale
Tête, cou et tronc	Epaule hanche	0,578	0,66	0,34
Tête et cou	7 ^e cervicale/oreille	0,081	1,000	0,000
Main	Poignet 2 ^e articu maj	0,006	0,506	0,494
Avant-bras	Coude/poignet	0,016	0,430	0,570
Bras	Epaule/coude	0,028	0,436	0,564
Membre supérieur	Epaule/poignet	0,050	0,530	0,470
Pied	Malléole lat/MTP II	0,0145	0,500	0,500
Jambe	Genou/ malléole méd	0,0465	0,433	0,567
Cuisse	Hanche/genou	0,100	0,433	0,567
Membre inférieur	Hanche/ malléole méd	0,161	0,447	0,553

Tableau 01 : Centres de masse segmentaires adaptés de Winter 1990.

Distribution de la masse segmentaire

Il est intéressant de noter la distribution de la masse des différents segments du corps humain par rapport à l'axe vertical du segment tronc/tête. La Figure 13 illustre la répartition des masses segmentaires.

Les segments du membre supérieur et inférieur sont d'autant moins lourds que l'on s'éloigne de l'axe du tronc dans un rapport d'environ 5 :3 :1 le bras est 4,7 fois plus lourd que la main et l'avant bras est 2,7 fois plus lourd que la main. Pour le membre inférieur, la cuisse fait 6,9 le poids du pied et la jambe 3,2.

L'effort nécessaire pour déplacer un segment dépend de sa masse et de la distance entre le centre de masse et l'axe de rotation. Or, les segments qui se déplacent le plus dans l'espace, comme la main ou le pied, sont les moins lourds facilitant le mouvement du corps notamment la tâche de lancer frappé. C'est cette distribution des masses segmentaires du plus lourds au plus léger qui constitue le seconde principe de la biomécanique du mouvement humain.

Principe n°2 : les masses segmentaires les plus légères sont les plus éloignées du tronc.

Le fait d'avoir les masses segmentaires les plus légers aux extrémités nous favorise. Nos articulations font surtout partie d'un système de levier inter-moteur. C'est-à-dire que nous avons cédé l'avantage mécanique pour faciliter nos mouvements par un meilleur avantage cinématique. la position des masses segmentaires les plus lourds près du tronc réduit l'effort musculaire que nous devons déployer dans un système de levier inefficace.

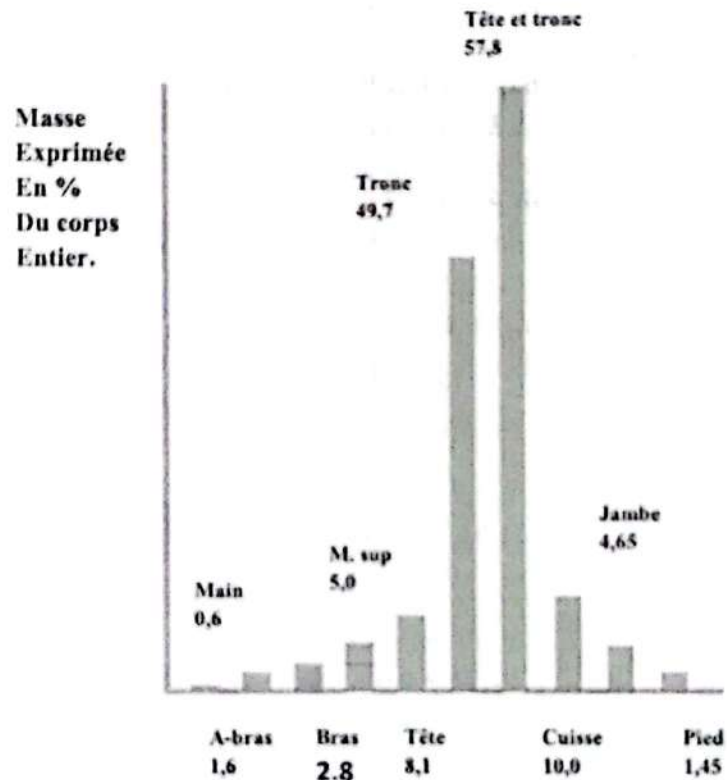


Figure14 : distribution de la masse segmentaire.

Segment	Emplacement relatif du CM exprimé en% de la distance entre les points de référence		Poids relatif (en % du poids total)
Tête	46% du vertex	54% jonction cou menton	7,3
Tronc	38 du creux sus-sternal	62% de l'axe de la hanche	50,7
bras	51% de l'axe de l'épaule	49% de l'axe de la hanche	2,6
Avant bras	39% de l'axe du coude	61% de l'axe du poignet	1,6
Main	82% de l'axe du poignet	18% de 3 ^{ème} articulation doigt	0,7
Cuisse	37% de l'axe de la hanche	63% de l'axe du genou	10,3
Jambe	37% de l'axe du genou	63% de l'axe de la cheville	4,3
Pied	45% de l'axe du talon	55% du bout de l'orteil	1,5

Tableau 03: valeurs adoptées de C.E. Clauser, et col. (Weight, volume and center of mass of the Human body. Technical report AMRL. 1969).

Segmentation du corps humain à partir de repères anatomiques articulaires externes.

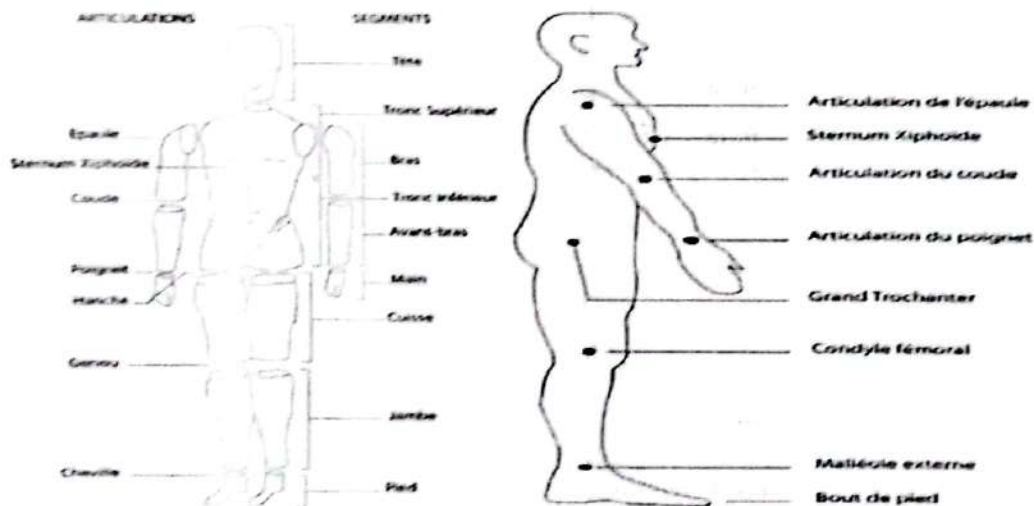
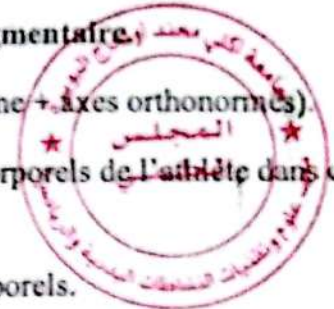


Figure 15: les différents segments et articulations du corps humain.

Démarche de détermination du CM par la méthode segmentaire.



1. Choisir un système de coordonnées cartésiennes (origine + axes orthonormés).
2. Repérer les positions des articulations des segments corporels de l'athlète dans ce référentiel.
3. Mesurer les longueurs d_i des différents segments corporels.
4. A l'aide des données de Clauser, indiquer les positions P_i des centres de masse qui correspond à chaque segment corporel.
5. Relever les positions horizontales X_i et verticales Y_i pour chacun de ces points A_i .
6. Attribuer la masse relative m_i à chaque segment corporel.
7. Déterminer les numériquement les différentes de $m_i X_i$ et $m_i Y_i$.
8. Remplir les données relatives à la détermination du centre de masse corporel dans le tableau n°03.
9. Calculer la position du CM de l'athlète tel qu'il est représenté sur la photographie à l'aide de la formule suivante :

Le Cdm d'un système corporel composé de plusieurs segments est le barycentre des centres de masse des différents segments.

$$CoM_x = \frac{m_1 \cdot X_1 + m_2 \cdot X_2 + m_3 \cdot X_3 \dots \dots \dots + m_n \cdot X_n}{m_1 + m_2 + m_3 \dots \dots \dots + m_n}$$

$$CoM_y = \frac{m_1 \cdot Y_1 + m_2 \cdot Y_2 + m_3 \cdot Y_3 \dots \dots \dots + m_n \cdot Y_n}{m_1 + m_2 + m_3 \dots \dots \dots + m_n}$$

$$COM = \frac{\sum m_i \cdot p_i}{M}$$

- CoMx : position horizontale du CM.
- CoMy : position verticale du CM.
- mn: masse segmentaire du segment (n).
- xn: position horizontale du CMs.
- Yn: position verticale du CMs.
- Pi : position du CMs.
- M : masse totale.

N.B : En cas d'utilisation d'une surcharge ou d'un engin, rajouter sa contribution et prendre en compte la masse totale (athlète + engin).

Segment (i)	Poids relatif m_i (%)	X horizontale X_i (m)	Y verticale Y_i (m)	$m_i X_i$	$m_i Y_i$
Tête					
Tronc					
Bras D					
A-Bras D					
D					
Main D					
Bras G					
A-Bras G					
G					
Main G					
Cuisse D					
Jambe D					
Pied D					
Cuisse G					
Jambe G					
Pied G					



Tableau n° 03 : données relatives à la détermination du centre de masse corporel.



Exemple d'application 1: calculer le CM de l'athlète dans les trois positions ; a/b/c/d/e ? Sachant que la masse de l'athlète est 75kg.

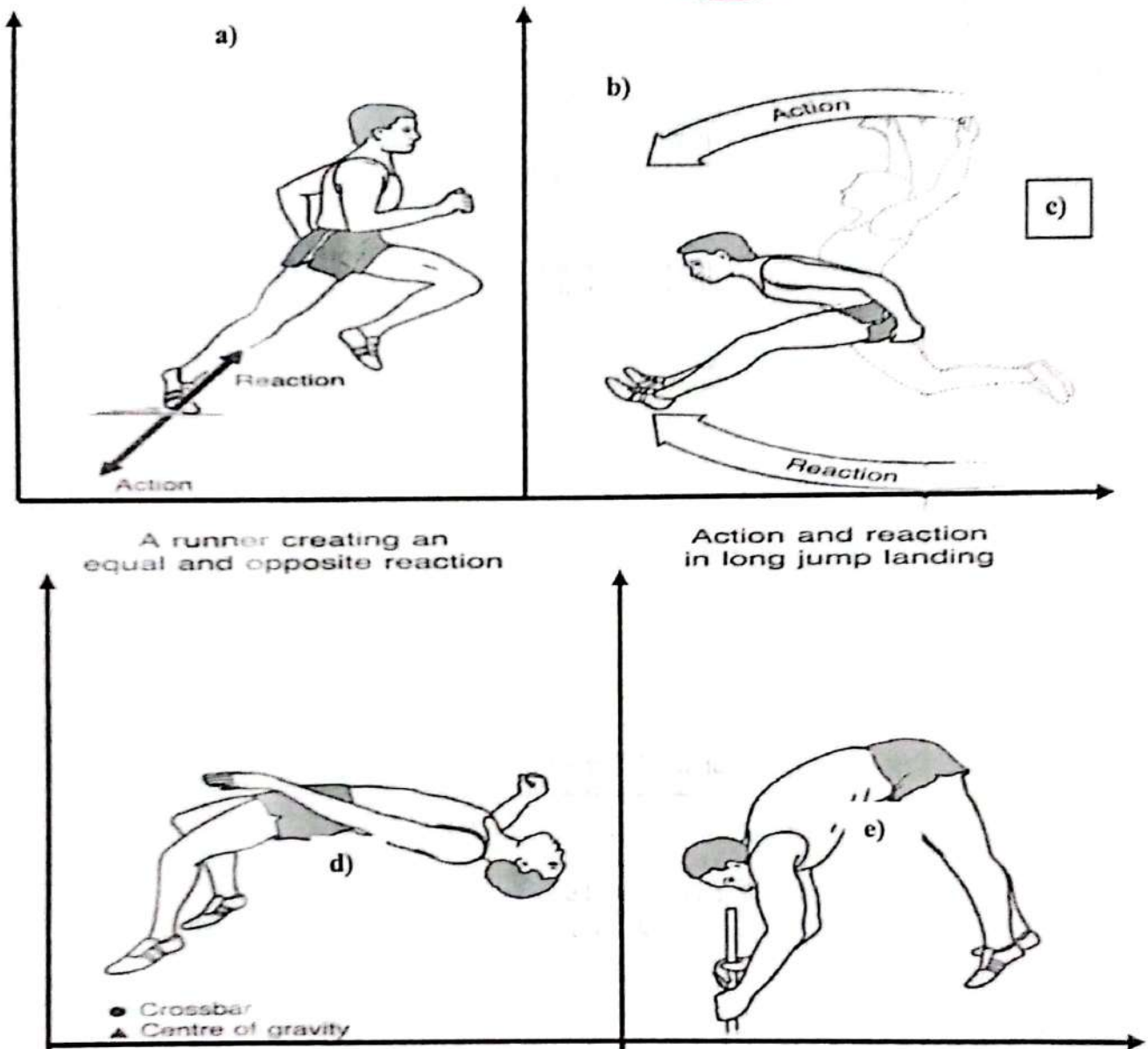


Figure 16 : mouvements sportifs (a) course, b) saut en longueur, d) saut en hauteur e) saut à la perche

Exemple d'application 2 : calculer le CM de l'athlète sachant que sa masse est de 70kg ?



Figure 17 : équilibre sur les mains

Exemple d'application 3 : calculer le centre de masse de cet individu ? sachant que sa masse est de 75kg, et il est entrain de soulever une boîte de 5kg.

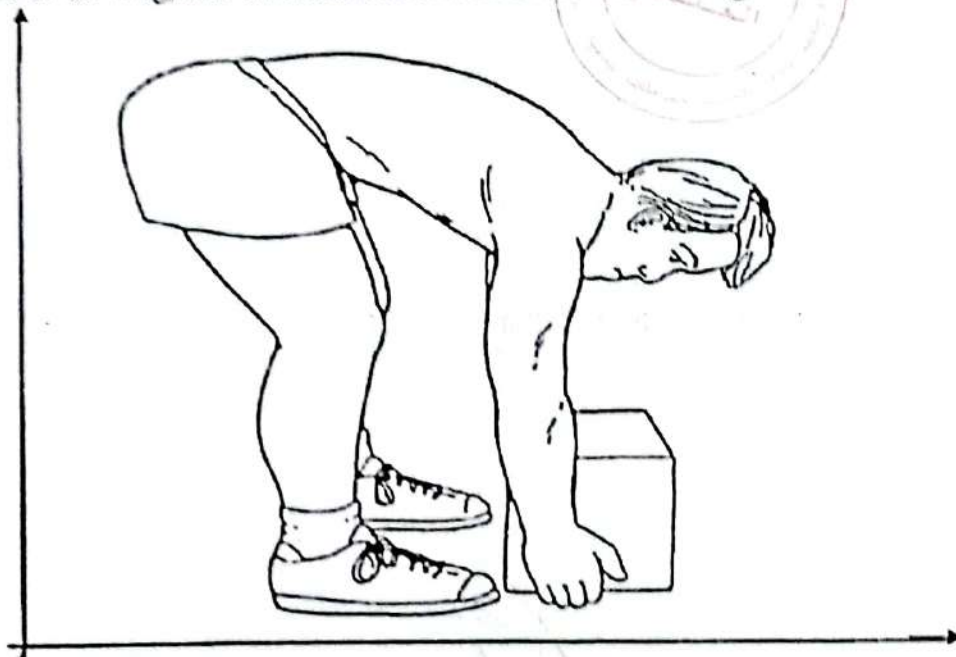
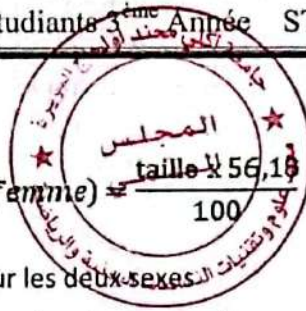


Figure 18 : Une personne soulevant une boîte

Détermination mathématique du CM corporel par Croskey

$$\text{Hauteur du CM par rapport au talon (homme)} = \frac{\text{taille} \times 55,4}{100}$$



Hauteur du CM par rapport au talon (femme)

Ou bien par la formule suivante valable pour les deux sexes

$$\text{Hauteur du CM} = \frac{\text{taille} \times 55,7}{100} + 1,4$$

Détermination du centre de masse combiné.

En additionnant toutes les masses segmentaires on obtient la masse totale du corps. De la même façon, en tenant compte de tous les centres de masse segmentaire et de leurs valeurs individuelles on pourrait déterminer la position du centre de masse d'un complexe (plusieurs segments).

Exemple d'application : on veut calculer la position du centre de masse du complexe Cuisse/Jambe/Pied tel qu'il est illustré dans la Figure 14.

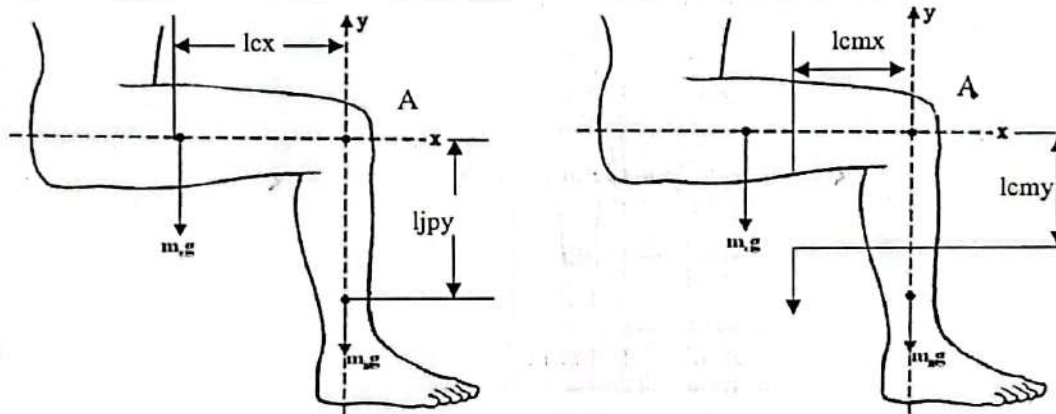


Figure 19 : complexe cuisse jambe pied.

Les coordonnées du centre de masse de la cuisse sont : (- 0,227, 0,000).

Les coordonnées du centre de masse de la jambe/pied sont : 0,000, -0,240).

Données du problème pour l'axe des x:

Masse de la cuisse $m_c = 7\text{kg}$. Masse du jambe/pied $m_{jp} = 4\text{kg}$. Masse totale $m_{tot} = 11\text{kg}$.

Bras de levier de la cuisse $l_{cx} = -0,227\text{m}$. Bras du levier jambe/pied en x $l_{jpx} = 0,000\text{m}$.

Bras de levier de la masse totale $l_{cmx} = ?$

$$L_{cmx} \cdot m_{tot} = l_{cx} \cdot m_c + l_{jpx} \cdot m_{jp}$$

$$L_{cmx} = \frac{l_{cx} \cdot m_c + l_{jpx} \cdot m_{jp}}{m_{tot}}$$

$$L_{cmx} = -0,114m$$

Données du problème pour l'axe des y:

Bras de levier de la cuisse $l_{cy} = 0,000m$. Bras du levier jambe/pied en x $l_{jpy} = -0,240m$.

Bras de levier de la masse totale $l_{cmx} = ?$

$$L_{cmx} \times m_{tot} = l_{cy} \times m_c + l_{jpy} \times m_{jg} \quad L_{cmx} = \frac{l_{cy} \times m_c + l_{jpy} \times m_{jg}}{m_{tot}}$$

$$L_{cmx} = \frac{0,000 \times 7 + -0,240 \times 4}{11}$$

$$L_{cmx} = -0,087m$$

Ainsi les coordonnées du centre de masse du complexe cuisse/jambe/pied sont :

(-0,144, -0,087).

Exercices d'application :

1. Reprendre l'exemple ci-haut mais en situant l'origine (point A) à la hanche. la longueur de la cuisse est de 40cm.
2. Reprendre l'exemple ci-haut mais situer par rapport au genou la position du centre de masse du complexe cuisse/jambe/pied lorsque le membre inférieur est en extension dans une position horizontale.
3. Localiser le centre de masse des trois segments tête/tronc/bras/avant-bras tel qu'il est illustré dans la figure 15 par rapport à l'origine O.

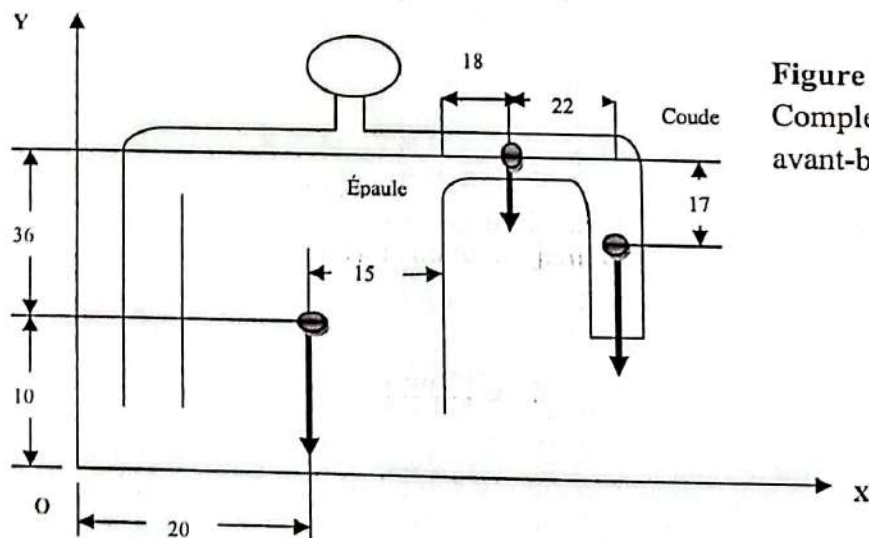


Figure 20 : Complexe tête tronc/ bras/ avant-bras

Masse tête/tronc, $m_t = 40kg$. Masse bras, $m_b = 2,0kg$. Masse avant-bras, $m_{ab} = 1,5kg$.

Données du problème pour l'axe des x:

$$m_{\text{tot}} = 43,5\text{kg}, l_{\text{cmx}} = ?, l_{\text{tx}} = 20\text{cm}, l_{\text{bx}} = 20+15+18, l_{\text{bx}} = 53\text{cm}, l_{\text{abx}} = 20+15+18+22, l_{\text{abx}} = 75\text{cm}.$$

$$m_{\text{tot}} \times l_{\text{cmx}} = m_{\text{t}} \times l_{\text{tx}} + m_{\text{b}} \times l_{\text{bx}} + m_{\text{ab}} \times l_{\text{abx}}$$

$$l_{\text{cmx}} = \frac{m_{\text{t}} \times l_{\text{tx}} + m_{\text{b}} \times l_{\text{bx}} + m_{\text{ab}} \times l_{\text{abx}}}{m_{\text{tot}}}$$

$$L_{\text{cmx}} = \frac{40 \times 20 + 2 \times 53 + 1,5 \times 75}{43,5}$$

$$L_{\text{cmx}} = 23,4\text{cm}$$

Le centre de masse total est situé à 23,4 cm de l'origine O, ou à 3,4cm du centre de masse du segment tête/tronc.

Données du problème pour l'axe des y:

$$m_{\text{tot}} = 43,5\text{kg}, l_{\text{cmy}} = ?, l_{\text{ty}} = 10\text{cm}, l_{\text{by}} = 10 + 36, l_{\text{by}} = 46\text{cm}, l_{\text{aby}} = 10 + 36 - 17,$$

$$l_{\text{aby}} = 29\text{cm}.$$

$$L_{\text{cmx}} = \frac{40 \times 10 + 2 \times 46 + 1,5 \times 29}{43,5} \quad L_{\text{cmx}} = 12,3\text{cm}$$

Le centre de masse total est situé à 12,3 cm de l'origine O, ou à 2,3 cm du centre de masse du segment tête/tronc. Ainsi les coordonnées du centre de masse du complexe sont : (23,4cm, 12,3cm).

Exercice d'application :

Un athlète porte un sac à dos de 20kg, le centre de masse du sac se situe à 1,40m de ses pieds ; ou se trouve le centre de masse combiné (athlète + sac), sachant que le centre de masse de l'athlète couché est à 0,94m de ses pieds.

Exercices corrigés

Exercice n°1 :

1. Donnez une définition précise du centre de gravité ?
2. Quelle est la différence entre le centre de gravité corporel et segmentaire ?
3. expliquez le phénomène de l'équilibre en utilisant la position du centre de gravité corporel ?

Exercice n°2 : vous avez le choix entre deux situations

Situation 01 :

1. Calculez le centre de gravité corporel de l'athlète(70kg) ?
2. Calculez le centre de gravité combiné tête /tronc / bras droit / avant bras droit ?

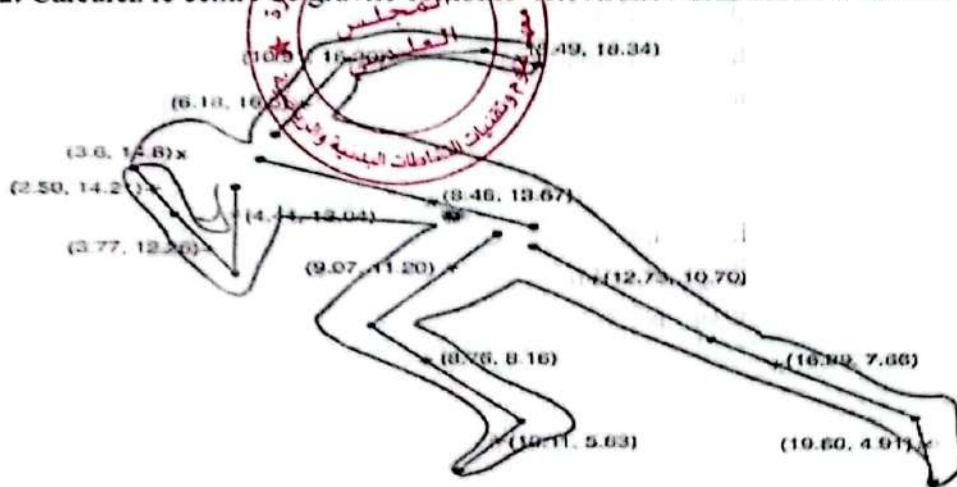
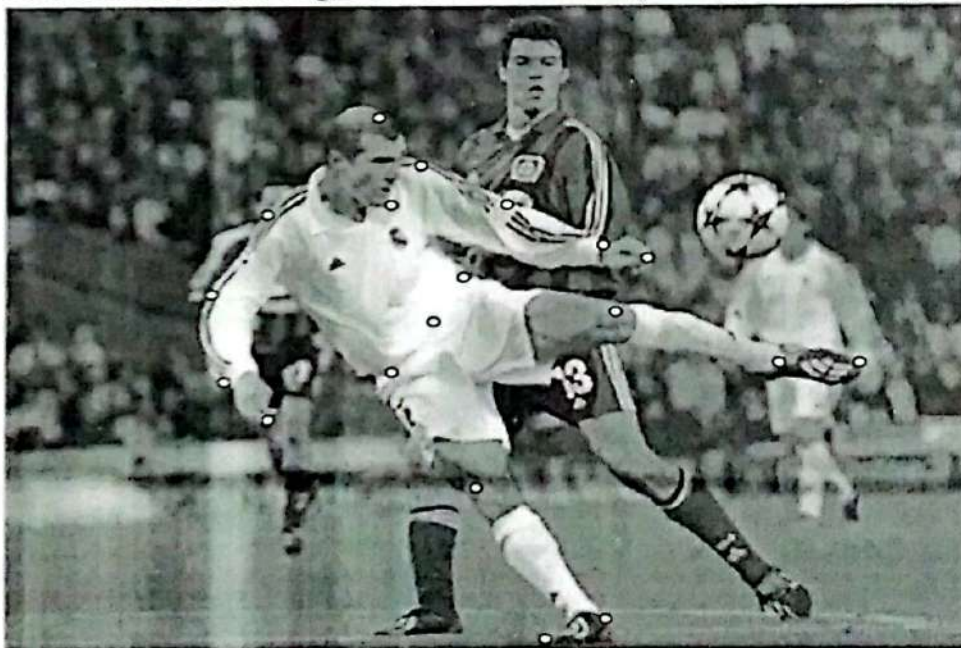


Figure 21 : représente les centres de gravité segmentaires d'un athlète(70kg).

Situation 02 :

1. Calculez le centre de gravité de zidane (80kg / 185cm) lors de l'action de son but victorieux de la champions league en 2002 avec le Réal contre Bayer leverkusen ?
2. Calculez le centre de gravité combiné cuisse / jambe gauche / pied gauche ?



Le tableau fournit les informations nécessaires au calcul de la position du centre de gravité de chaque segment du corps

Segments	Poids relatifs en%	Emplacement relatif du edg exprimé en% de la distance entre les points de référence
----------	--------------------	---

Tête	7,3	46% du vertex	54% jonction cou-menton
Tronc	50,7	38 % du creux sus-sternal	62% de l'axe de la hanche
Bras	2,6	51% de l'axe de l'épaule	49% de l'axe du coude
Avant Bras	1,6	39% de l'axe du coude	61% de l'axe du poignet
Main	0,7	82% de l'axe du poignet	18% de l'articulation/3doigt
Cuisse	10,3	37% de l'axe de la hanche	63% de l'axe du genou
Jambe	4,3	37% de l'axe du genou	63% de l'axe de la cheville
Pied	1,5	45% de l'axe du talon	55% du bout de l'orteil

Valeurs adaptées des données de C.E. Clauser, J.T. McConville et J.W. Young (Weight, Volume and center of mass of the Human Body, Technical Report AMRL 1969).

Exercice n°1 :

1. Le centre de gravité corporel est un Point imaginaire où s'applique le poids total du corps où s'applique la résultante des forces gravitationnelles en chaque point du corps.
2. Le centre de masse corporel se déplace constamment, il peut se situer à l'intérieur comme à l'extérieur du corps humain, tandis que le centre de gravité segmentaire est fixe à l'intérieur du segment.
3. L'équilibre postural est assuré aussi longtemps que le centre de gravité corporel demeure à l'intérieur du périmètre de la base du support (polygone de sustentation), la stabilité d'un corps augmente quand la surface de sa base d'appui augmente, les corps lourds sont généralement plus stables que les corps légers, la hauteur du centre de gravité joue aussi sur la stabilité, plus la hauteur est petite plus la stabilité est grande, ainsi les facteurs biomécaniques responsables de notre équilibre postural sont : la grandeur de la base de support, le poids, la hauteur du centre de gravité.....etc.

Exercice n°2 :

Situation 01 :

1 .mtot=70kg

$$X_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{m_{tot}}$$

$$Y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot y_i}{m_{tot}}$$

Tableau

Segment (i)	Poids relatif ml %	x horizontale xi (cm)	y verticale yi (cm)	mi.xi	mi.yi
Tête	5,84	5,1	6,6	29,78	38,54
Tronc	40,56	5,4	5,8	219,02	235,24
Bras D	2,08	3,1	5,4	06,49	11,23
A Bras D	1,28	2,7	4,3	3,45	5,5
Main D	0,56	3,2	3,3	1,79	1,85
Bras G	2,08	6	6,3	12,48	13,1
A Bras G	1,28	7,1	5,9	9,09	7,55
Main G	0,56	8,2	5,6	4,59	3,13
Cuisse D	8,24	5,4	3,2	44,5	26,36
Jambe D	3,44	6,7	1,6	23,05	5,5
Pied D	1,2	7,6	0,3	9,12	1,92
Cuisse G	8,24	6,7	4,8	55,21	39,55
Jambe G	3,44	8,9	4,4	30,62	15,13
Pied G	1,2	10,7	3,9	12,84	15,41

La position du centre de gravité de l'athlète est $(X,Y) = (5,77 \pm 0,5, 5,25 \pm 0,3)$.

2 La position du centre de gravité combiné (cuisse G/ jambeG / pied G).

$$m_{tot} = m_{cg} + m_{jg} + m_{pg} / m_{tot} = 42,54 \text{kg.}$$

$$X_{cm} = \frac{55,21 + 30,62 + 12,84}{42,54}$$

$$X_{cm} = 2,32 \pm 0,5 \text{cm.}$$

La position du centre de gravité com

$$Y_{cm} = \frac{39,55 + 15,13 + 15,41}{42,54}$$

$$Y_{cm} = 1,64 \pm 0,5 \text{cm.}$$

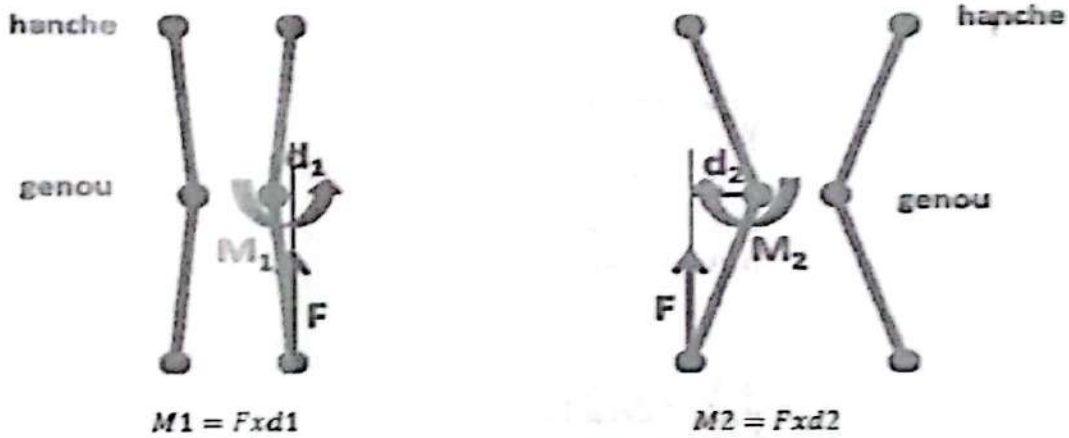
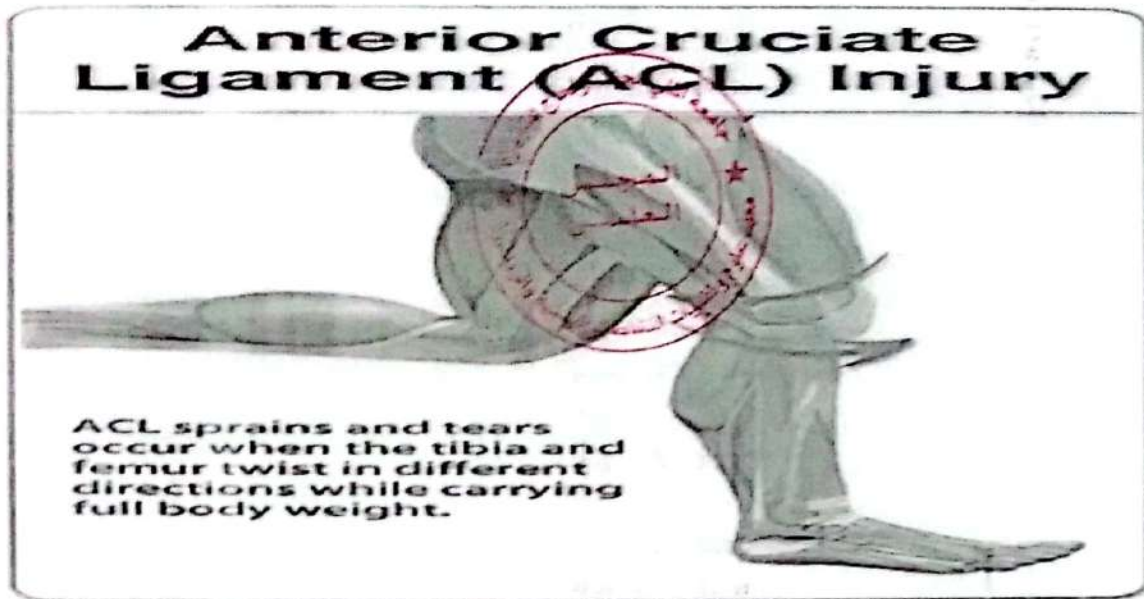
La position du centre de gravité combiné (cuisse G/ jambe G / pied G) est: (2,32, 1,64).

Application des lois physiques dans le domaine de la médecine :

Comprendre des risques de lésion à l'aide de la biomécanique

Etude de la rupture des ligaments croisés antérieurs (LCA) :

Dans l'exemple suivant nous montrons comment l'étude des moments de force peut expliquer pourquoi certaines techniques sont plus à risque que d'autres. A la réception d'un saut, un athlète peut présenter plus ou moins de valgus des genoux. On supposera ici que la force de réaction au sol F est la même pour les 2 types de réception. Dans un cas la distance d1 entre l'axe de rotation du genou (en abduction)



$d_2 > d_1 \longrightarrow M_2 > M_1$ donc dans la deuxième position il ya un risque de blessure (rupture des ligaments).



Abduction frontale d'un genou lors de diverses activités sportives (Image by: bretcontreras.com)

que la Terre attirera les objets 6 fois plus vers elle que la Lune et que leur poids sera 6 fois plus grand sur la Terre que sur la Lune.

Lois de Newton

Isaac Newton (1643-1727) est un physicien britannique reconnu pour avoir établi les trois lois universelles du mouvement en 1688. Ces trois lois, dites lois de Newton, ont permis d'élaborer la base de la mécanique classique.

La première loi de Newton

La première loi de Newton, ou le principe d'inertie, indique que tout corps conservera son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins qu'une force ne soit appliquée sur ce corps.

$$\sum f = 0$$

La deuxième loi de Newton La deuxième loi de Newton, ou principe fondamental de la dynamique, mentionne qu'une force résultante exercée sur un objet est toujours égale au produit de la masse de cet objet par son accélération. De plus, l'accélération produite et la force résultante ont la même orientation.

La deuxième loi de Newton se résume par l'application de l'équation suivante:

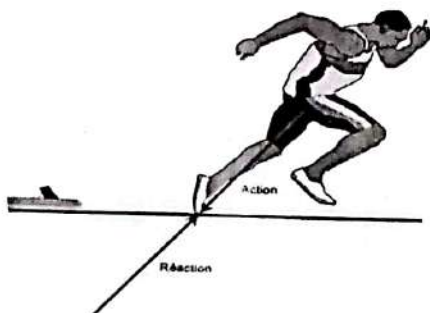
$$\sum f = m.a$$

$\sum f$ Représente la force résultante en Newtons (N) m représente la masse de l'objet en kilogrammes (kg) a représente l'accélération de l'objet en Newtons par kilogramme (N/kg) ou en mètres par seconde carré (m/s²).

La troisième lois de Newton: Action, réaction

La troisième loi de Newton (ou principe des actions réciproques) dit que : « Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B. »

Force d'action et réaction représentés par la phase d'appui chez le coureur



Prenons l'exemple d'un sprinter sur son starting block : l'athlète pousse (applique une force) sur le starting block (on suppose que celui-ci est bien fixé) et en retour le starting block va « pousser » l'athlète d'une même force mais de direction opposée (vers l'avant) ce qui lui permettra de s'élaner vers l'avant. Lorsque un athlète cours, c'est la force de frottement entre le sol et la chaussure qui permet de s'opposer à l'action horizontale de la jambe et qui permet au final à l'athlète d'avancer. Si la force de frottement est inférieure à l'action de poussée horizontale de l'athlète, celui-ci va glisser. Les forces de frottements donc vont dépendre du type de sol (et aussi évidemment de l'humidité) et du type de chaussure.

Les leviers du corps humain :

Archimède a dit: donnez – moi un point d'appui et avec un levier je soulèverai le monde, cela nous permet de comprendre toute l'importance du levier.

Le levier est une barre rigide, basculant autour d'un point d'appui et dont on se sert pour soulever, mouvoir les fardeaux trop lourds pour l'homme.

Le corps humain est composé d'une multitude de leviers, chaque articulation en est un, le muscle qui fait le travail joue le rôle de la force appliquée, l'articulation est le point d'appui, et la charge peut être un objet qu'on transporte, ou la masse de notre corps lui-même.

Types de leviers :

Le levier de type 1: Levier inter – appui; la force et la résistance se trouvent de part et d'autre du point fixe

Exemple physique : exemple classique est celui de la balance

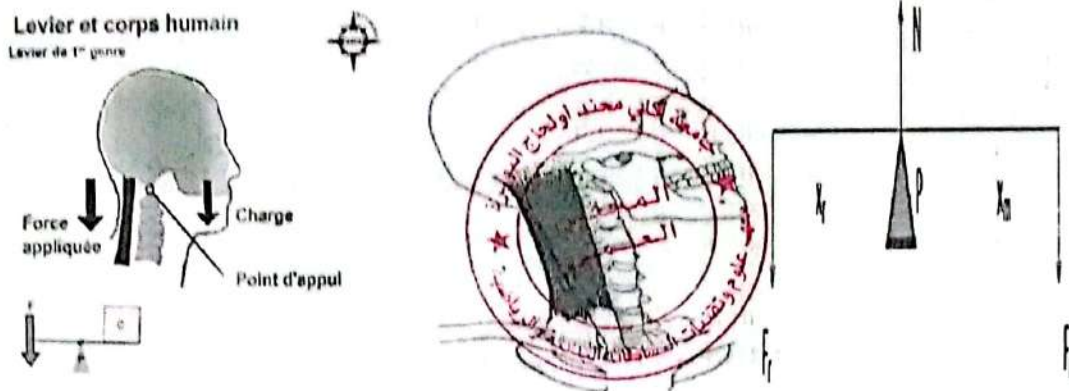
Exemple humain : les muscles postérieurs de la tête qui maintiennent la tête droite sur le tronc

-le point d'appui se trouve au niveau de l'articulation occipitales-axoïdienne

-pour qu'il y ait équilibre le moment de la force par son bras de levier doit être égal au moment de la résistance.

Type 1 = charge ↔ point d'appui ↔ force appliquée

Donc dans le corps humain : objet ou corps ↔ articulation ↔ muscle.



Au niveau du corps humain, le levier du premier genre se retrouve rarement. Lorsqu'il est présent, il joue surtout un rôle d'équilibration, comme au niveau coxo-fémorale ou encore occipito-axoïdienne.

Exemples de levier du 1^{er} genre en APS:

- Botter un ballon: muscle de la cuisse, genou, ballon.
- Lancer une balle: triceps, coude, balle.
- Lever et baisser la tête: muscle arrière du cou, cou, masse de la tête.

Le levier de type 2:

Levier inter-résistance: le point d'appui est à l'extrémité du levier et la force est appliquée à l'autre extrémité.

- la résistance est située entre l'axe de rotation et la force, ce système de levier est assez rare dans le corps humain.

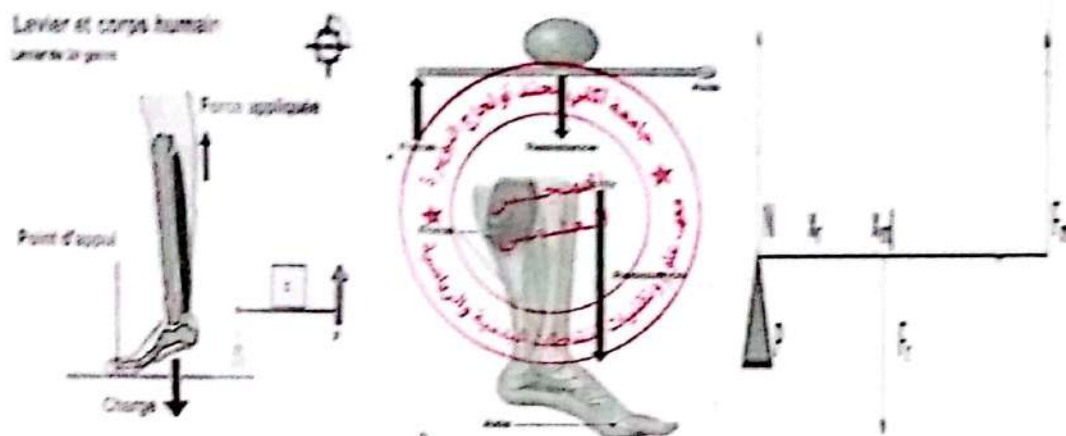
- on le nomme levier de force du fait que le bras du levier AF de la puissance est plus grand que celui de la résistance. Il est donc destiné à produire des mouvements de force du fait que le bras de levier de la puissance est plus grand que celui de la résistance.

Exemple physique : est celui d'une brouette.

Exemple humain: On trouve ce type de levier au niveau de l'articulation tibio-tarsienne (dans le cas d'une élévation sur la pointe des pieds).

Type 2= point d'appui ↔ charge ↔ force appliquée.

Donc dans le corps humain : articulation ↔ objet ou corps ↔ muscle.



Ce type de levier se retrouve rarement dans le corps humain.

Le levier de type 3 :

Levier type 3 inter-puissant:

la force motrice se trouve entre le point d'appui et la force résistante.

Il est caractérisé par le fait que la puissance se trouve entre le point d'appui et la résistance. La plupart des leviers du corps humain appartient à ce genre car il permet de produire des mouvements rapides et de grande amplitude. C'est aussi un levier de vitesse du fait, que le bras de levier de la résistance est plus long que celui de la force

Exemple physique : soulèvement d'une roche avec une Barre.

Exemple humain : flexion de l'avant bras par le brachial antérieur - Abduction du bras par le deltoïde moyen - Flexion de la hanche par le psoas-iliaque.



Abduction du bras par le deltoïde moyen



Flexion de l'avant bras par le brachial antérieur

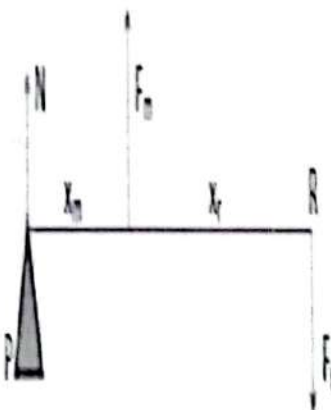
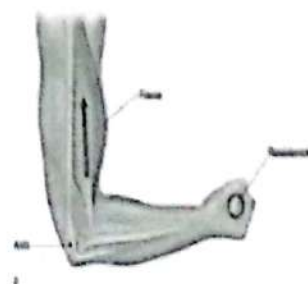
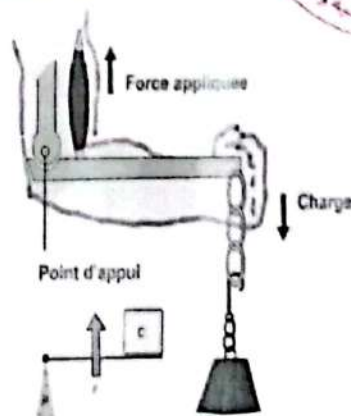


Flexion de la hanche par le psoas-iliaque

type3= point d'appui → force appliquée ↔ charge.

Donc dans le corps humain : articulation → muscle ↔ objet ou corps.

Levier et corps humain
Levier de 3^e genre



L'efficacité ou l'avantage mécanique (AM) d'un système de levier :

AM est le rapport des bras de leviers

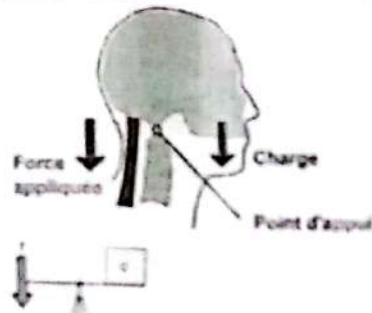
$$AM = \frac{\text{Distance de l'appui à la force appliquée (Lf)}}{\text{Distance de l'appui à la résistance (Lr)}}$$

$$AM = \frac{Lf}{Lr}$$

Exercices d'application :

1. Levier type 1 :

Levier et corps humain
Levier de 1^{er} genre



$L_r = 3\text{cm} / L_f = 4\text{cm}$.

Charge = résistance (R).

Force appliquée (F)

Point d'appui (P).

$R = 40\text{ N} / F? / \text{AM?}$

Conclusion: il faut exercer une force musculaire plus faible que celle due à la résistance pour maintenir le tout en équilibre. Bien qu'il soit efficace dans ce cas le corps humain possède très peu de tels leviers inter-appui.

2. Levier type 2:

Levier et corps humain
Levier de 2^{ème} genre



La résistance (R) au point de contact du sol avec le pied, alors que l'appui (P) se situe à la cheville, le tout est maintenu en équilibre par l'action de la force musculaire (F) du triceps sural.

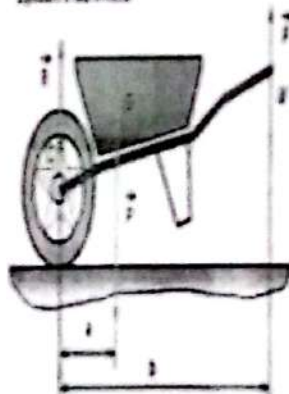
$L_f = 4\text{cm} / L_r = 16\text{cm} / R = 800\text{N}$

$F? / \text{AM?}$

Conclusion: système de levier inter-résistant est relativement inefficace l'avantage mécanique est en faveur de la résistance.

3. Levier type 3:

Levier de 3^{ème} genre



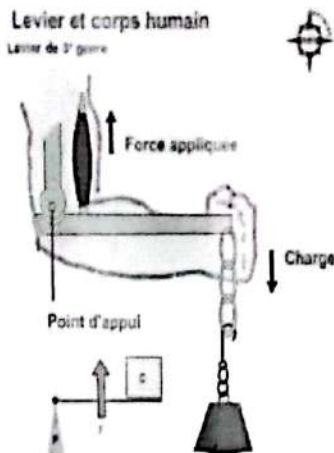
$R = 750\text{N}$

$L_r = 20\text{cm}$

$L_f = 95\text{cm}$.

$F? / \text{AM?}$ Type de levier?

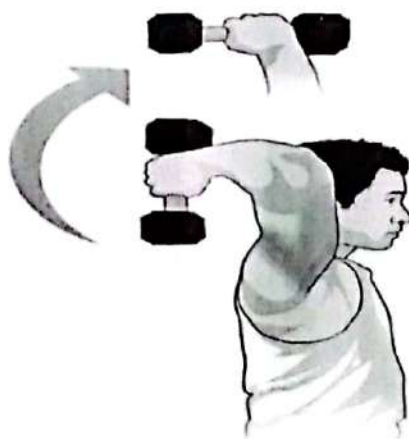
Conclusion: ce levier est toujours efficace car le bras de levier de résistance est toujours plus que petit que celui de la force appliquée.
 $F? / \text{AM?}$



$$R=50N / L_r= 36cm / L_f=3cm.$$

F? / AM? F est produite par quel muscle?

Conclusion: les leviers inter-puissants sont toujours inefficaces, car la longueur du bras de levier de la résistance est toujours supérieure à celle du bras de levier de la force ainsi on exercera toujours une force plus élevée que celle de la résistance ce type de levier est, le plus commun dans le système musculo-squeletique



$$R= 50N$$

$$L_r= 24cm$$

$$L_f= 3cm$$

F? / AM / AC? Type de levier? F est produite par quel muscle?

Conclusion: efficacité cinématique, donc il ya plus de mouvement plus de vitesse , une grande amplitude , avec une vitesse de contraction des triceps x la main aura une vitesse 8 fois x.

Inefficacité mécanique, les triceps doivent produire une force F 8 fois R pour maintenir le système en

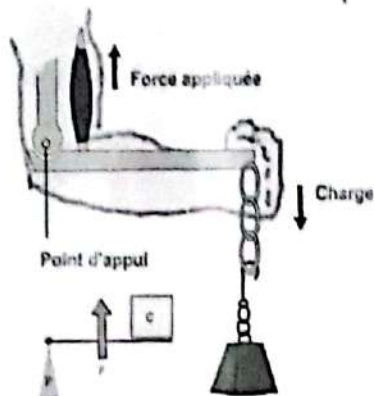
L'efficacité ou l'avantage cinématique (AC) d'un système de levier :

Certain systèmes de leviers ont un avantage mécanique $AM > 1$ (inter-résistants), d'autres sont inefficaces $AM < 1$ (inter-puissant), quant $L_f < L_r$ le système possède un avantage cinématique qui exprime l'amplitude de déplacement ou la rapidité du mouvement.

$$AC = \frac{\text{Distance de l'appui à la force (L}_f\text{)}}{\text{Distance de l'appui à la résistance (L}_r\text{)}}$$

$$AC = \frac{L_r}{L_f}$$

Levier et corps humain
Levier de 3^e genre



$L_r = 36\text{cm} / L_f = 3\text{cm}$.

$AM = 3/36$; $AM = 0,083$ / $AM < 1$ inefficace.

Avantage mécanique inefficace.

$AC = 36/3$; $AC = 12$ / $AC > 1$ efficace.

Avantage cinématique efficace.

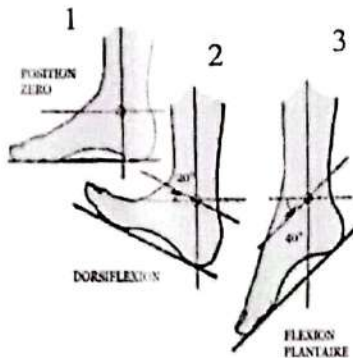
C'est-à-dire que pour une vitesse de contraction quelconque des fléchisseurs la main aura une vitesse 12 fois supérieure à celle du muscle, mais le biceps devra développer une force 12 fois supérieure à celle de la résistance. équilibre.

Avantage Genre	Cinématique rapidité	aucun	Mécanique force
Inter-appui	$L_r > L_f$	$L_r = L_f$	$L_r < L_f$
Inter-moteur	$L_r < L_f$		
Inter-résistant			$L_r > L_f$

Influence de la longueur des bras de levier :

Une modification dans la longueur d'un des bras influe sur les forces en jeu.

1. $L_r = 25\text{cm} / L_f = 3\text{cm} / R = 100\text{N}$. F?
2. $L_r = 28\text{cm} / L_f = 3\text{cm} / R = 100\text{N}$. F?
3. $L_r = 27\text{cm} / L_f = 3\text{cm} / R = 100\text{N}$. F?
4. $L_r = 27\text{cm} / L_f = 2,5\text{cm} / R = 100\text{N}$. F?



1. $R = 800\text{N}$, $L_r = 16\text{cm}$, $L_f = 4\text{cm}$

F? Type de levier? F est produite par quel muscle?

Conclusion:

2. $R = 800\text{N}$, $L_r = 4\text{cm}$, $L_f = 12\text{cm}$

F? type de levier? F est produite par quel muscle?

Conclusion:

3. $R = 800\text{N}$, $L_r = 16\text{cm}$, $L_f = 4\text{cm}$

F? Type de levier? F est produite par quel muscle?

Conclusion:

Application des lois de mouvement Linéaire et Angulaire en Football :

La longueur des membres peut-elle avoir une influence sur la performance ?

Lorsque nous fléchissons ou nous étendons notre genou, sans bouger la position de notre bassin, cela a une sur la position de notre cheville. Il existe intuitivement une relation entre un mouvement de rotation et un mouvement linéaire (et vice versa).

- Lorsque le genou bouge d'un angle θ , et que la jambe a une longueur L , la cheville bouge d'une distance d égale à $d = L \times \theta$
- Il est intéressant de remarquer qu'une extension de la jambe d'un même angle chez 2 sportifs n'aura pas forcément pour conséquence un déplacement de la cheville d'une distance identique : la distance de déplacement dépend également de la longueur de la jambe.
- On obtient le même type de relations pour les vitesses et les accélérations :
- $v = l \cdot \omega$ avec v la vitesse de déplacement et ω la vitesse angulaire.

$a = l \cdot \alpha$ avec a l'accélération du déplacement et α l'accélération angulaire.

Ces équations illustrent très bien comment des paramètres purement anthropométriques peuvent avoir une conséquence directe sur la performance. Imaginons 2 joueurs de football capable d'étendre leur jambe de « shoot » à la même vitesse (vitesse angulaire). La vitesse de la balle (la performance) va être fortement corrélée à la vitesse de la cheville. Or comme nous venons de le voir, la vitesse de la cheville et la vitesse d'extension du genou sont liés par la longueur de la jambe. Cela signifie que si l'un des joueurs a des jambes plus longues que l'autre, pour une même vitesse d'extension du genou, son shoot sera plus rapide. Suivant le même raisonnement un joueur de tennis avec un bras plus long aura besoin d'une rotation de son bras plus faible pour atteindre une même vitesse de raquette (et donc de balle).

Reprenons l'exemple du joueur de foot mais en supposant qu'il se sert maintenant à la fois de sa hanche et de son genou pour frapper dans la balle (ce qui est plus réaliste !). Est t'il possible de connaître la contribution relative de la hanche et du genou dans la vitesse finale du pied ? Si on pose (Figure 8) :

- l_1 et l_2 : les distances entre la balle et respectivement les axes de rotation du genou et de la hanche à l'instant étudié,
- ω_1 et ω_2 : les vitesses de rotation respectivement du genou et de la hanche

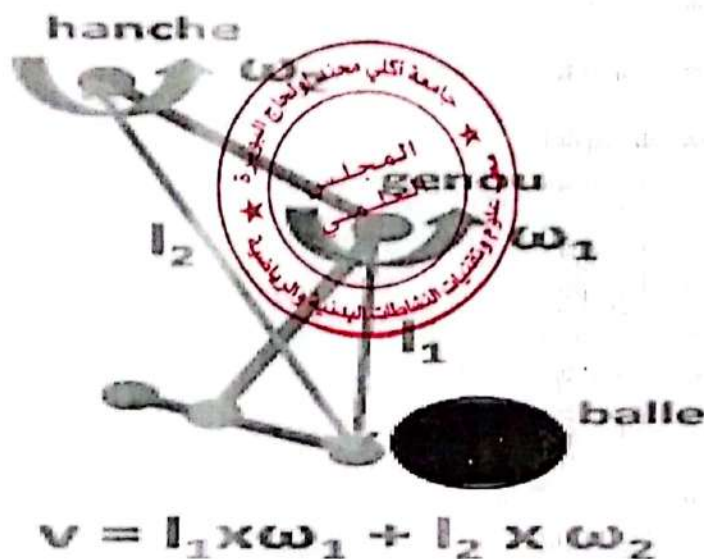


Figure: Représentation schématique de la jambe lors du shoot d'une balle.

Et si l'on reprend les équations que l'on vient de voir, nous pouvons écrire :

Pour le genou : $v_1 = l_1 \cdot \omega_1$

Pour la hanche : $v_2 = l_2 \cdot \omega_2$

A l'instant étudié, la vitesse totale v du pied est égale à la somme des contributions de chacune des articulations :

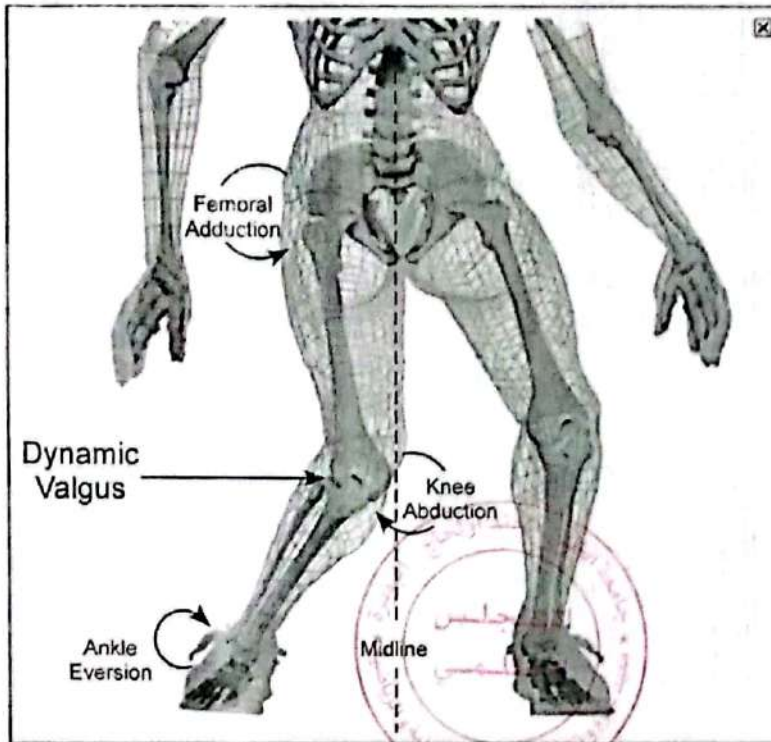
$$v = v_1 + v_2$$

La contribution relative du genou est donc de v_1/v et celle de la hanche de v_2/v .

La vitesse d'un point anatomique distal à une articulation dépend à la fois de la vitesse de rotation de l'articulation et de la distance entre l'axe de rotation et ce point. Si plusieurs articulations sont en jeu, la vitesse « globale » est égale à la somme des contributions de chaque articulation.

References

1. Allard. Blanche et col : Analyse du mouvement humain par la biomécanique, 2^{ème} édition, éd Décarie, 2000, Canada.
2. Paul. Grimshaw, Adrian. Burden / Biomécanique du sport et de l'exercice, 1^{ère} édition, éd De Boeck, 2010, Bruxelles.
3. Duane. Knudson: Fundamentals of biomechanics, second edition, springer, 2007, California.
4. Shirl J. and Janet C.Harris: Introduction to Kinesiology and Physical Activity, Hoffman editor, third edition, 2009, US.
5. Roger.Bartlett: Introduction to Sports Biomechanics Analysing Human Movement patterns, second edition, routledge editor, 2007, USA.
6. Peter M. McGinnis: Biomechanics of Sport and Exercise, third edition, 2013, USA.
7. <http://un-medecin-vous-informe.blogspot.com/2013/05/renforcement-musculaire-isocinetique.html>.
8. <http://www.anatomy-physiotherapy.com/articles/musculoskeletal/lower-extremity/knee/604-high-knee-abduction-moments-are-common-risk-factors-for-patellofemoral-pain-pfp-and-anterior-cruciate-ligament-acl-injury-in-girls>.



Angle du valgus du genou du plan frontal (Image par: epicski.com).

La masse et le poids

- La **masse** d'un **objet** mesure simplement la quantité de matière contenue dans cet **objet** c'est à dire la **masse** des particules qui constituent cet **objet** (atomes ou molécules) Cette quantité de matière (la **masse**) sera la même quel que soit l'endroit où se trouve l'**objet** dans l'univers.

L'unité de masse est le kilogramme (kg), **m** (kg).

- Le **poids** mesure, lui, la force d'attraction qu'exerce un astre sur un objet et cette force d'attraction sera d'autant plus grande que cet astre aura une masse élevée. Ce qui signifie que le poids d'un objet varie dans l'univers et dépend de l'astre où il se trouve. L'unité de poids est le Newton (N), **p** (N).

- masse et poids sont des grandeurs différentes mais sont quand même reliées l'une à l'autre par la relation suivante : Poids = masse x g. **p = mxg.**
- où g représente ce que l'on appelle l'accélération ou l'intensité de la pesanteur qui a une valeur différente selon l'astre où l'on se trouve .
Exemple: g sur la Terre est environ 6 fois plus grand que g sur la Lune c'est à dire

Application des lois de la mécanique sur les APS

I. Détermination du centre de masse (CM) d'un athlète

1. Notion du centre de masse.
2. Base de support
3. Equilibre postural.
 - 3.1. Types d'équilibre postural.
 - 3.2. Facteurs de l'équilibre postural.
4. Relation entre la pratique sportive et l'équilibre postural.
5. Localisation du centre de masse.
 - 5.1. Méthode Borelli (système levier).
 - 5.2. Méthode segmentaire.

c. **Equilibre dynamique** : L'équilibre dynamique correspond à la capacité de contrôler la position du corps alors que le centre de masse est déplacé au-delà de la base de sustentation.



3.2. Facteurs biomécaniques de l'équilibre postural

La stabilité d'un corps en équilibre est dépendante de 5 principaux facteurs:

3.2.1. Plus la surface de la Base de Support (Polygone de sustentation) est grande plus l'équilibre posturale est grand et inversement Figure 09.



Figure 09 : Bases de Support.

3.2.2. la hauteur du centre de masse au-dessus de cette Base (Polygone) plus le centre de gravité est bas, et plus l'équilibre est stable, et inversement

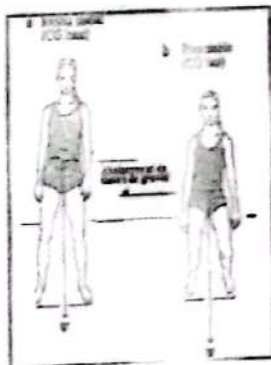


Figure 10 : stabilité du corps reliée à la hauteur du CM

3.3.3. le poids du sujet influe aussi sur l'équilibre

Plus le poids est important, et plus la stabilité est grande. Ce facteur est une des raisons évidentes de la division des athlètes en catégories de poids dans certains sports de combat.

3.3.4. la position de la ligne d'action de la gravité par rapport à la surface de sustentation

Segment (i)	Poids relatif mi %	x horizontale xi (cm)	y verticale yi (cm)	mi.xi	mi.yi
Tête	5,11	3,6	14,8	18,39	53,28
Tronc	35,49	4,44	13,04	157,57	462,79
Bras D	1,82	6,18	16,8	11,24	30,57
A Bras D	1,12	10,91	18,2	12,22	20,38
Main D	0,49	8,49	18,34	4,16	8,98
Bras G	1,82	4,44	11,2	8,08	20,38
A Bras G	1,12	3,77	12,26	4,22	13,73
Main G	0,49	2,5	14,2	1,22	6,95
Cuisse D	7,21	12,73	10,7	91,78	77,14
Jambe D	3,01	16,89	7,66	50,83	23,05
Pied D	1,05	19,6	4,91	20,58	5,15
Cuisse G	7,21	9,07	11,2	65,39	80,75
Jambe G	3,01	8,76	8,16	26,36	24,56
Pied G	1,05	10,11	5,63	10,61	5,91

La position du centre de gravité de l'athlète est $(X, Y) = (6,89, 11,91)$.

2. $m_{tot} = 18,39 + 157,57 + 11,24 + 12,22 = 43,54 \text{ kg}$

$X_{cm} = \frac{53,28 + 462,79 + 30,57 + 20,38}{43,54} = 4,58 \text{ cm}$

$Y_{cm} = \frac{18,39 + 157,57 + 11,24 + 12,22}{43,54} = 13,02 \text{ cm}$

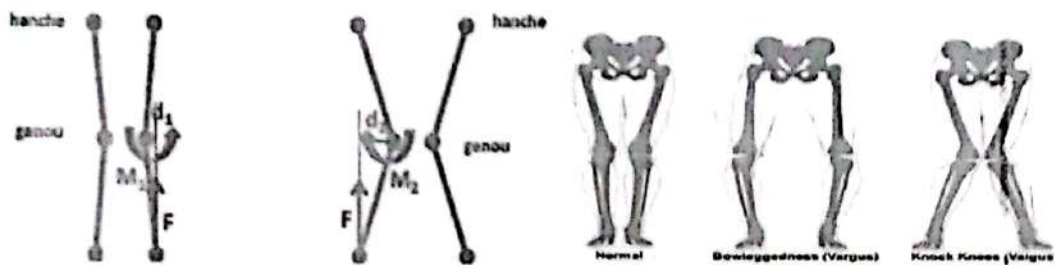
La position du centre de gravité combiné (Tête/Tronc/Bras D/A bras D) est:

$(X, Y) = (4,58, 13,02)$.

Situation 02 :

$$1. m_{tot} = 80 \text{ kg} \quad X_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{m_{tot}} \quad Y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot y_i}{m_{tot}}$$

est très faible alors que dans le second cas celle-ci d2 est beaucoup plus importante. Comme la force est identique cela signifie que le moment d'abduction autour du genou est d'autant plus important que le valgus l'est : $M_1 < M_2$. Lors de la réception, l'athlète cherche à se stabiliser et donc à s'opposer (annuler) les moments, qui, on le rappelle, représente la capacité à induire une rotation. Pour cela l'athlète « utilise » ses muscles et ses ligaments. Plus le moment de force est important, plus le travail des muscles et les contraintes sur les ligaments vont être importants. Logiquement, si les efforts demandés sont supérieurs à la résistance des muscles et ligaments, il y aura déchirure ou rupture. Une réception en valgus est donc ici plus dangereuse pour l'athlète



Étant donné que 60 à 80% des blessures du LCA se produisent dans des situations sans contact, il est probable que des efforts de prévention appropriés sont justifiés. Les manœuvres d'éloignement sont associées à une augmentation spectaculaire des moments de varus-valgus et de rotation interne. Le LCA est placé à un risque plus élevé avec les deux moments de rotation interne et varus. La lésion de LCA typique survient lorsque le genou est tourné à l'extérieur et à 10-30 ° de flexion lorsque le genou est placé en valgus lorsque l'athlète se détache du pied planté et tourne intérieurement dans le but de changer soudain de direction.

