# Le centre de gravité

D’une manière générale, le centre de gravité est un point d’équilibre (point moyen) par rapport auquel les quantités de matière sont également réparties de part et d’autre de ce point ; la forme et la distribution de la matière influencent la position du centre de gravité.

Comme exercice, si tu disposes d’un double décimètre et d’un compas, essaie de le maintenir en équilibre c’est-à-dire en le positionnant horizontalement sur la pointe du compas. Lorsque tu réussiras cela, la pointe du compas désignera la position du centre de gravité de la règle – normalement au milieu celle-ci. Si tu ajoutes à une extrémité de la règle un petit morceau de papier, la règle n’est plus en équilibre et tu devras déplacer la pointe du compas vers le côté de la règle lestée pour la remettre en équilibre.

En géométrie, le centre de gravité d’un triangle coïncide avec le point d’intersection des médianes. Quant au centre de gravité d’une roue, il se situe au centre de la roue, les masses étant également réparties autour de ce point. C’est ce que recherche le garagiste lorsqu’il équilibre une roue.

En physique, le **centre de gravité,** appelé G d’un solide, ou du corps humain, est le point d'application du poids de ce solide ou de ce corps.

Le centre de gravité du corps est donc un point où serait concentrée toute la masse du corps. Sa position est déterminée à partir de la moyenne des positions des centres de gravité segmentaires pondérées par la masse des segments (figure 1).

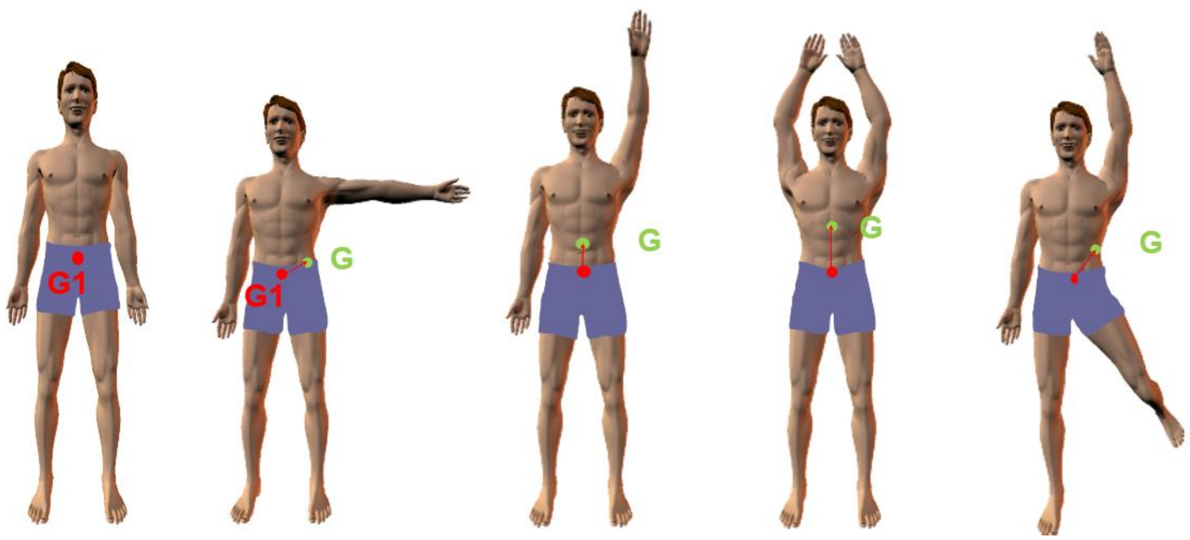


*Figure 1 : La position du centre de gravité change à chaque instant car elle dépend de la localisation dans l’espace des masses segmentaires qui varie dès qu'il se produit un déplacement d'un segment corporel dans l'espace.*

## Calcul de la position du centre de gravité du corps humain

Le calcul de la position du centre de gravité repose sur des tables anthropométriques établies soit à partir d’un ensemble de mesures effectué sur des pièces cadavériques, soit en assimilant les segments corporels à des formes géométriques de dimensions mesurées sur le corps ; ainsi la tête peut être représentée par une sphère, le bras par un cylindre, etc…

L’**anthropométrie** est la technique qui concerne la mesure des particularités dimensionnelles d'un humain. Il existe des tables spécifiques en fonction des populations étudiées comme les enfants, les femmes, les sujets obèses. Celle que nous proposons ici s'adressent aux adolescents et adultes hommes (Winter A.D[1]).

La **table anthropométrique** proposée modélise le corps humain en 14 segments délimités par des repères anatomiques tels que définis à la figure 2.

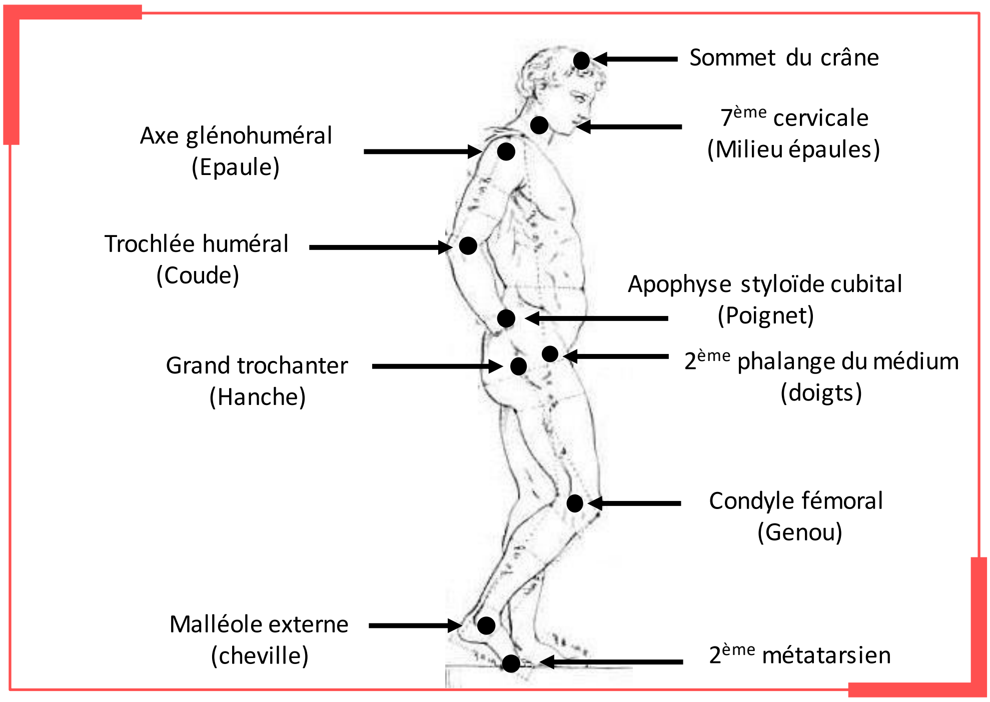


*Figure 2 : Repères anatomiques qui délimitent les segments corporels*

Dans le domaine de l'analyse du mouvement, nous avons besoin de ces mesures, car pour étudier ces mouvements, nous devons modéliser le corps humain c'est-à-dire représenter la réalité du corps de manière simplifiée sans trop s'éloigner de la réalité. L'amélioration des connaissances permet de rendre les modèles plus réalistes.

Les tables anthropométriques permettent de construire ces modèles ; elles prennent en compte :

- Les dimensions du corps :
  - La taille ;
  - La longueur de chaque membre et de chaque partie de membre (bras, avant-bras…) ;
- Les masses :
  - Masse totale ;
  - Masse de chaque partie du corps ;
  - La position des centres de gravité segmentaires dans les segments, soit par rapport à l'extrémité proximale du segment, soit par rapport à son extrémité distale ;
- Les circonférences, utiles pour mettre en œuvre certains modèles :
  - Bassin, poitrine, tour de cou… ;
  - Circonférence des membres.

La figure 3 donne la longueur des segments par rapport à la taille H du corps. Le tableau 1 permet de délimiter les segments par rapport à leurs extrémités, de calculer la masse de chaque segment en

[1] Winter A.D. (1990) « Biomechanics and motor control of human movement », Second edition. A Wiley-Interscience Publication, John and Sons, Inc. USA »

connaissant la masse totale du corps, et de positionner le centre de gravité de chaque segment par rapport à leurs extrémités, distale ou proximale.

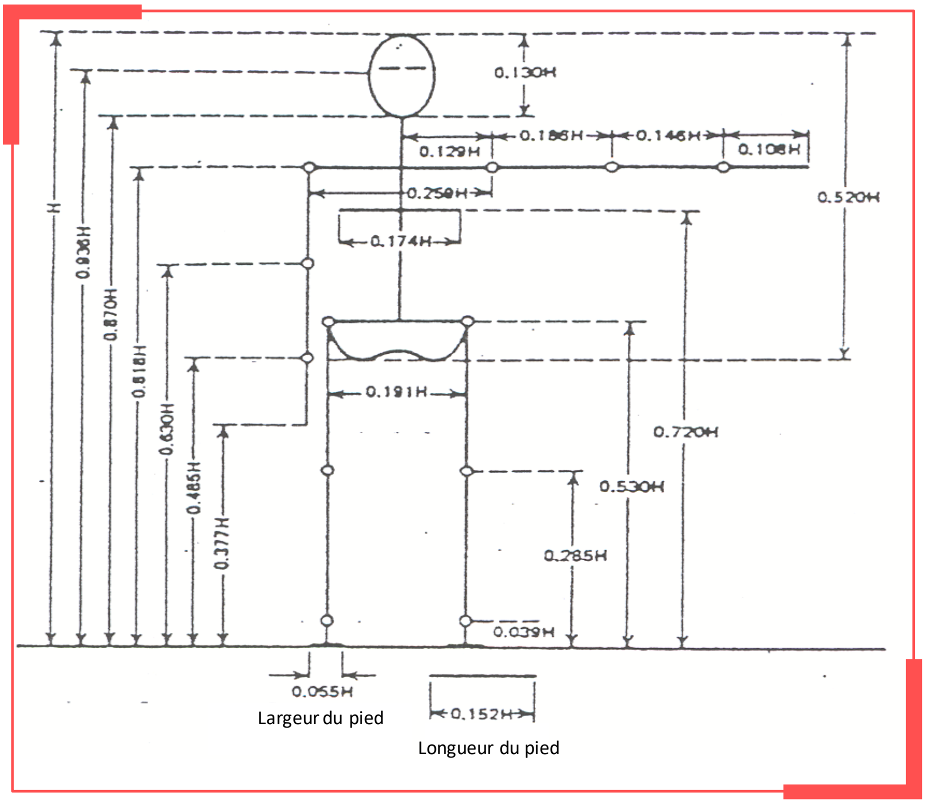


*Figure 3 : Détermination de la longueur des segments en fonction de la taille du corps (H) (Winter D.A. 1990)*

| | Repères anatomiques | | | Distance du centre de gravité |
|---|---|---|---|---|
| **Segments corporels** | **Proximal** | **Distal** | **Masse relative** | **segmentaire/longueur du segment et au repère proximal** |
| ***Pied*** | Cheville | Orteil | 0,0145 | 0,5 |
| ***Jambe*** | Hanche | Cheville | 0,0465 | 0,433 |
| ***Cuisse*** | Genou | Hanche | 0,1 | 0,433 |
| ***Tronc*** | Epaule | Hanche | 0,497 | 0,5 |
| ***Tête*** | Milieu épaule | Dessus tête | 0,081 | 0,6 |
| ***Bras*** | Coude | Epaule | 0,016 | 0,43 |
| ***Avant-bras*** | Poignet | Coude | 0,028 | 0,436 |
| ***Main*** | Doigts | Poignet | 0,006 | 0,506 |

Tableau 1 : Définition des segments, calcul de leur masse en connaissant la masse totale du corps, et position du centre de gravité par rapport aux extrémités, distale ou proximale.

## Exercices sur les centres de gravité segmentaires :

Soit une gymnaste de masse 65 kg et mesurant 1m60. En complétant le tableau 2 ci-après,

- Calcule la masse de ces différents segments en te référant au tableau 1 ci-dessus.
- Calcule la longueur de ces segments en te servant des informations données à la figure 3.

| Segments corporels | Masses segmentaires (kg) | Longueurs segmentaires (m) |
|---|---|---|
| ***Pied*** | | |
| ***Jambe*** | | |
| ***Cuisse*** | | |
| ***Tronc*** | | |
| ***Tête*** | | |
| ***Bras*** | | |
| ***Avant-bras*** | | |
| ***Main*** | | |

*Tableau 2 : Calcul des masses et des longueurs segmentaires*

Tu peux également faire ces calculs pour ton propre corps si tu connais ta masse et ta taille.

Cette gymnaste réalise une figure en sortie de barres asymétriques. Sa position dans l'espace est représentée à la figure 4.

- Essaie de calculer les coordonnées du centre de gravité de la cuisse droite par rapport au référentiel R(O,X,Y) sachant que les coordonnées de la hanche et du genou sont respectivement : (0,9 ; 0,15) et (0,55 ; 0,3).

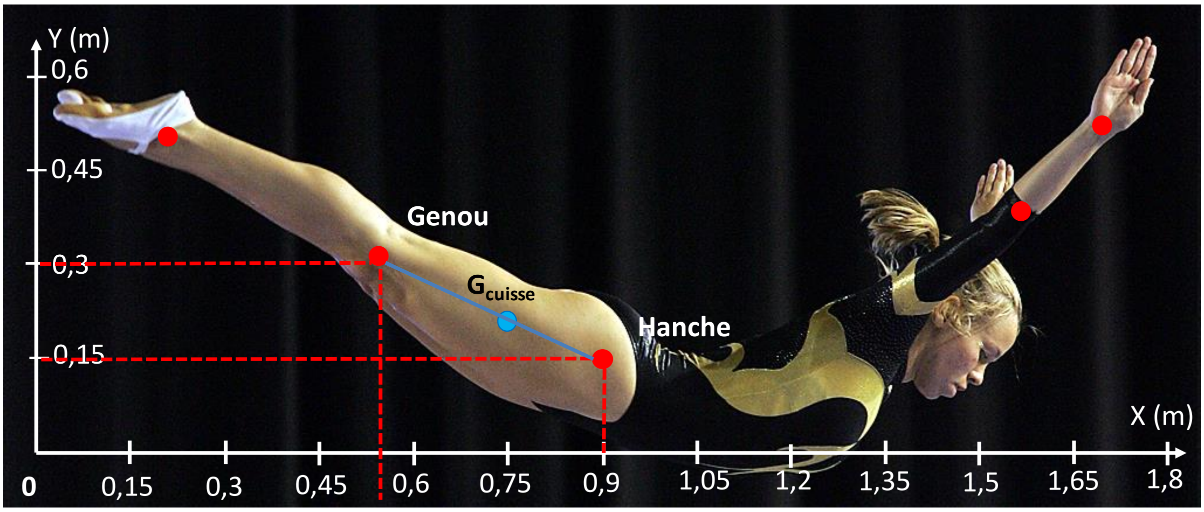


*Figure 4 : Représentation de la gymnaste en sortie de barres asymétriques*

Connaitre les coordonnées de $G_{cuisse}$ par rapport au référentiel R, revient à déterminer les composantes du vecteur $\overrightarrow{OG_{cuisse}}$. Pour cela, nous connaissons la relation de Chasles qui nous permet d'écrire :

$\overrightarrow{OG_{cuisse}} = \overrightarrow{OHanche} + \overrightarrow{HancheG_{cuisse}}$ (Figure 5)

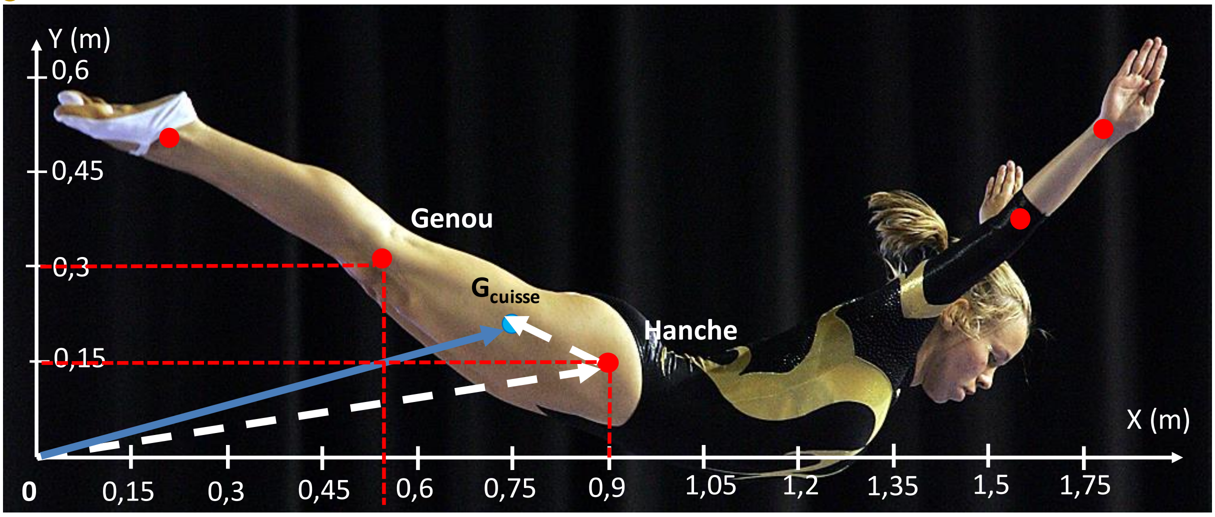

Figure 5 : Application de la relation de Chasles

Avec le même raisonnement, calcule le centre de gravité de la jambe et de l'avant-bras, sachant que :

Les composantes de $\overrightarrow{OCheville}$ sont $(X_{cheville} = 0{,}2$ et $Y_{cheville} = 0{,}5)$

Les composantes de $\overrightarrow{OCoude}$ sont $(X_{coude} = 1{,}57$ et $Y_{coude} = 0{,}37)$

Les composantes de $\overrightarrow{OPoignet}$ sont $(X_{poignet} = 1{,}7$ et $Y_{poignet} = 0{,}52)$

## Le centre de gravité global :

Une fois connues les coordonnées des centres de gravité segmentaires et la masse des segments, nous pouvons déterminer les coordonnées du centre de gravité globale du corps. Lors de la définition du centre de gravité, nous avons dit que c'était un point moyen du corps.

Comment calcule-t-on une moyenne ? Rien de plus facile. On procède de la même manière que lorsque tu calcules ta moyenne générale. Tu multiplies la moyenne obtenue en français par le coefficient de la matière, à laquelle tu ajoutes la moyenne obtenue en mathématiques multipliée par le coefficient des maths et ainsi de suite, le tout étant divisé par la somme des coefficients. Soit :

$$Moyenne_{générale} = \frac{Coef_{Français} * Moyenne_{FRançais} + Coef_{Maths} * Moyenne_{Maths} + Coef_{Anglais} * Moyenne_{Anglais} + \ldots\ldots}{somme\ des\ coefficients}$$

Et bien la coordonnée sur Ox du centre de gravité $X_G$, est égale à la moyenne des coordonnées sur Ox des centres de gravité segmentaires avec pour coefficient leur masse respective, soit :

$$X_G = \frac{\overbrace{masse\ segmentaire\ * \ X_{Gsegmentaire}}^{On\ additionne\ pour\ les\ 14\ segments}}{Somme\ des\ masses\ segmentaires}$$

## Exercice sur le centre de gravité global :

Le tableau 3 ci-dessous donne les coordonnées des centres de gravité Gi des 14 segments qui modélisent le corps d'un plongeur de masse 75 kg (figure 6).

Après avoir calculé les masses segmentaires, calcule les coordonnées du centre de gravité global.

| Segments | X (m) | Y (m) | Masses (kg) |
|---|---|---|---|
| Pied | -0,12 | 0,08 | |
| Jambe | -0,14 | 0,46 | |
| Cuisse | -0,21 | 0,87 | |
| Tronc | -0,15 | 1,28 | |
| Bras | -0,12 | 1,47 | |
| Avant-bras | -0,38 | 1,36 | |
| Tête +cou | 0,19 | 1,58 | |
| Pied | -0,15 | 0,11 | |
| Jambe | 0,18 | 0,47 | |
| Cuisse | 0,22 | 0,87 | |
| Bras | -0,16 | 1,47 | |
| Avant-bras | -0,35 | 1,36 | |

*Tableau 4 : Coordonnées des centres de gravité segmentaires et masses segmentaires*

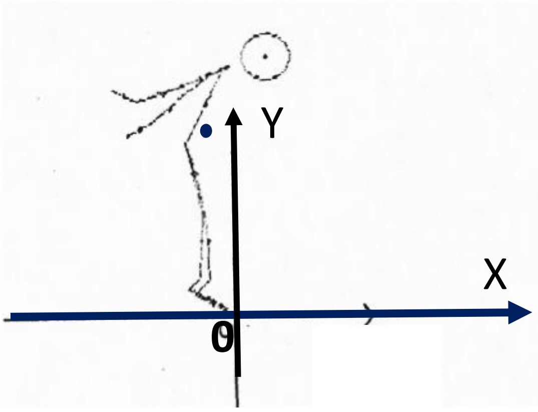


*Figure 6 : Position du gymnaste*

# *Corrections*

Soit une gymnaste de masse 65 kg et mesurant 1m60. En complétant le tableau 2 ci-après,

- Calcule la masse de ces différents segments en te référant au tableau 1 ci-dessus.
- Calcule la longueur de ces segments en te servant des informations données à la figure 3.

| Segments corporels | Masse relative | Masses segmentaires (kg) | Longueur relative | Longueurs segmentaires (m) |
|---|---|---|---|---|
| *Pied* | 0,0145 | 1,885 | 0,152 | 0,24 |
| *Jambe* | 0,0465 | 6,045 | 0,285 | 0,46 |
| *Cuisse* | 0,1 | 13 | 0,248 | 0,40 |
| *Tronc* | 0,497 | 32,305 | 0,34 | 0,54 |
| *Tête* | 0,081 | 5,265 | 0,13 | 0,21 |
| *Bras* | 0,016 | 2,08 | 0,186 | 0,30 |
| *Avant-bras* | 0,028 | 3,64 | 0,146 | 0,23 |
| *Main* | 0,006 | 0,78 | 0,106 | 0,17 |
| | Masse totale (kg) | 65 | Hauteur (m) | 1,6048 |

*Tableau 2 : Calcul des masses et des longueurs segmentaires*

On procède de la manière suivante :

Masse des pieds :

$$m_{pieds} = \underbrace{2}_{2\ pieds} * \underbrace{Coeff_{pied}}_{Tableau\ 1} * masse_{totale}$$

$$m_{pieds} = 2 * 0{,}145 * 65 = 1{,}885\ kg$$

Longueur de la jambe :

$$L_{jambe} = Longueur\ relative * Hauteur = 0{,}285 * 1{,}6 = 0{,}46m$$

- Connaitre les coordonnées de $G_{cuisse}$ par rapport au référentiel R, revient à déterminer les composantes du vecteur $\overrightarrow{OG_{cuisse}}$. Pour cela, nous connaissons la relation de Chasles qui nous permet d'écrire : $\overrightarrow{OG_{cuisse}} = \overrightarrow{OHanche} + \overrightarrow{HancheG_{cuisse}}$ (Figure 5)

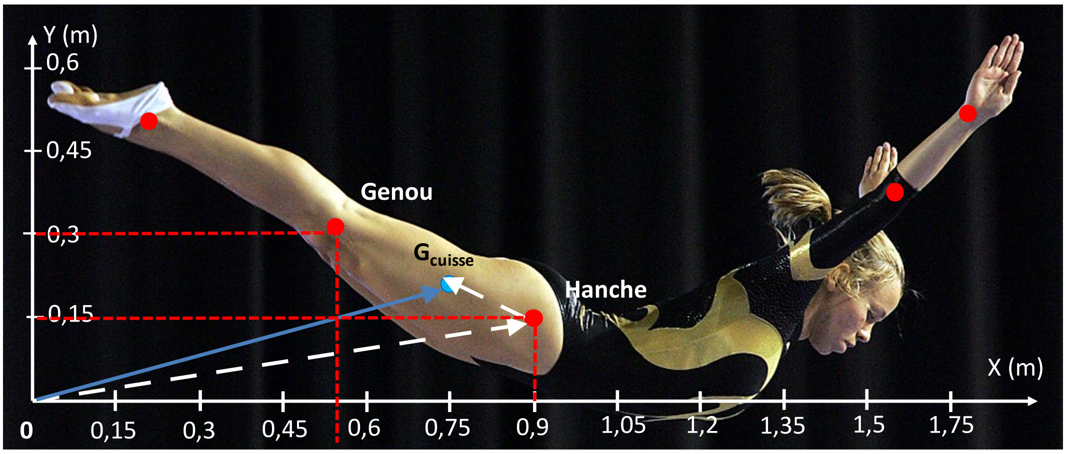


*Figure 5 : Application de la relation de Chasles*

Or, le tableau 1 nous renseigne que le $G_{cuisse}$ se situe sur le segment [Hanche-Genou] tel que la longueur [Hanche-Genou] représente 43,3% de la longueur du segment à partir de la hanche, ce qui s'exprime par la relation : $\overrightarrow{HancheG_{cuisse}} = 0{,}433\ \overrightarrow{HancheGenou}$

D'où ,

$$\overrightarrow{OG_{cuisse}} = \overrightarrow{OHanche} + 0{,}433\ \overrightarrow{HancheGenou}$$

Ainsi,

Sur l'axe OX,

$$X_{G_{cuisse}} = X_{Hanche} + 0{,}433\ (X_{Genou} - X_{Hanche})$$

$$X_{G_{cuisse}} = 0{,}9 + 0{,}433\ (0{,}55 - 0{,}9) = 0{,}75m$$

Sur l'axe OY,

$$Y_{G_{cuisse}} = Y_{Hanche} + 0{,}433\ (Y_{Genou} - Y_{Hanche})$$

$$X_{G} \quad = 0{,}15 + 0{,}433\ (0{,}3 - 0{,}15) = 0{,}22m$$

Avec le même raisonnement, calcule le centre de gravité de la jambe et de l'avant-bras, sachant que :

Les composantes de $\overrightarrow{OCheville}$ sont $(X_{cheville} = 0{,}2$ et $Y_{cheville} = 0{,}5)$

Les composantes de $\overrightarrow{OCoude}$ sont $(X_{coude} = 1{,}57$ et $Y_{coude} = 0{,}37)$

Les composantes de $\overrightarrow{OPoignet}$ sont $(X_{poignet} = 1{,}7$ et $Y_{poignet} = 0{,}52)$

- **Exercice sur le centre de gravité global :**

Le tableau 3 ci-dessous donne les coordonnées des centres de gravité Gi des 14 segments qui modélisent le corps d'un plongeur de masse 75 kg (figure 6).

Après avoir calculé les masses segmentaires, calcule les coordonnées du centre de gravité global.

| Segments | X (m) | Y (m) | Masses (kg) |
|---|---|---|---|
| Pied | -0,12 | 0,08 | 1,0875 |
| Jambe | -0,14 | 0,46 | 3,4875 |
| Cuisse | -0,21 | 0,87 | 7,5 |
| Tronc | -0,15 | 1,28 | 37,275 |
| Bras | -0,12 | 1,47 | 1,2 |
| Avant-bras + Main | -0,38 | 1,36 | 2,55 |
| Tête +cou | 0,19 | 1,58 | 6,075 |
| Pied | -0,15 | 0,11 | 1,0875 |
| Jambe | 0,18 | 0,47 | 3,4875 |
| Cuisse | 0,22 | 0,87 | 7,5 |
| Bras | -0,16 | 1,47 | 1,2 |
| Avant-bras+main | -0,35 | 1,36 | 2,55 |
| | | **Masse totale (kg)** | **75** |

Pour x :

$$x_G = \frac{\overbrace{masse\ segmentaire\ *\ x_{Gsegmentaire}}^{On\ additionne\ pour\ les\ 14\ segments}}{Somme\ des\ masses\ segmentaires}$$

$$x_G = \frac{(-0{,}12 + -0{,}15) * 1{,}087\ + (-0{,}14 + 0{,}18) * 3{,}487\ + (-0{,}21 - 0.22) * 7{,}5 + (-0{,}38 - 1{,}36) * 2{,}55 + (-0{,}12 - 0.16) * 1{,}2 - 0{,}15 * 37{,}27 + 0{,}19 * 6{,}075}{75}$$

$x_G = -0{,}09m$

Pour y :

$$y_G = \frac{\overbrace{masse\ segmentaire\ *\ y_{Gsegmentaire}}^{On\ additionne\ pour\ les\ 14\ segments}}{Somme\ des\ masses\ segmentaires}$$

$$y_G = \frac{(0{,}08 + 0{,}11) * 1{,}087\ + (0{,}46 + 0{,}47) * 3{,}487\ + (0{,}87 + 0{,}87) * 7{,}5 + (1{,}36 + 1{,}36) * 2{,}55 + (1{,}47 + 1{,}47) * 1{,}2 + 1{,}28 * 37{,}25 + 1{,}58 * 6{,}075}{75}$$

On trouve $y_G = 1{,}12m.$