

MOUVEMENTS ARTICULAIRES ET COORDINATION

DANS L'ANALYSE DE LA PERFORMANCE SPORTIVE

Septembre 2022
Diane HAERING



Plan du cours

- A) Indicateurs de la performance associés aux mouvements articulaires

- B) Cinématique et calcul des angles articulaires au cours d'un mouvement



Objectifs

- Connaître et expliquer le lien entre des indicateurs liés mouvements articulaires et la performance d'un geste
- Connaître les différents outils de mesure du mouvement, et être capable de choisir celui qui est le plus adapté au contexte d'évaluation d'une performance donnée
- Savoir réaliser/reconnaître une bonne vidéo pour l'analyse du mouvement
- Être capable d'extraire et de représenter l'évolution des angles articulaires au cours d'un geste sportif à partir d'une capture de mouvement



A) INDICATEURS DE LA PERFORMANCE ASSOCIÉS AUX MOUVEMENTS ARTICULAIRES

Amplitude articulaire dynamique
Coordination intersegmentaire
Organisation proximo-distale



Mouvement articulaire

- Définition :
 - C'est le mouvement de rotation d'un segment autour d'une articulation
 - Le mouvement global du corps reflète l'ensemble des mouvements articulaires
 - Les caractéristiques de ces mouvements articulaires sont donc primordiaux pour la performance



Amplitude articulaire dynamique

- L'amplitude articulaire est la différence entre l'angle maximal et minimal d'une articulation
- L'amplitude articulaire dynamique correspond à l'amplitude de mouvement utilisée lors d'un mouvement, elle peut correspondre à l'ensemble ou une partie de l'amplitude maximale de l'articulation
- L'amplitude articulaire statique ou dynamique maximale caractérise la souplesse de l'articulation, souplesse limitée la plupart du temps par la raideur musculaire.



Exemple 1: Tir au penalty

1. Quel est l'objectif du tir au penalty?
2. De quel angle articulaire dépend cet objectif et de quelle manière?



Coordination inter-segmentaire

- Le corps est un système redondant mis en mouvement par plusieurs centaines de muscles et articulations.
- Les gestes sportifs nécessitent la coordination entre plusieurs membres ou articulations qui simplifient la gestions de ces articulations grâce à des relations spatio-temporelles stables.
- L'identification de ces coordinations permet de mieux comprendre l'organisation et le contrôle du mouvement du mouvement



Exemple 2: Lancer de fléchettes



1. Quel est l'objectif du lancer de fléchette?
2. De quelle manière cet objectif dépend-il de la coordination intersegmentaire mise en jeu?



Coordination intersegmentaire sur la durée

- La coordination sur la durée est caractérisée par la variation de coordination intersegmentaire au cours d'une activité répétitive et prolongée.
- Cette variabilité est généralement attribuée à la fatigue.
- La coordination inter-segmentaire et sa variabilité est couramment représentée par des graphiques angle-angle

Muñoz, J. E., Villada, J. F., Casanova, S., Montoya, M. F., & Henao, O. A. (2018, September). Dynamic systems theory in human movement exploring coordination patterns by angle-angle diagrams using Kinect. In *2018 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)* (pp. 1-4). IEEE.



Exemple 3: Aviron

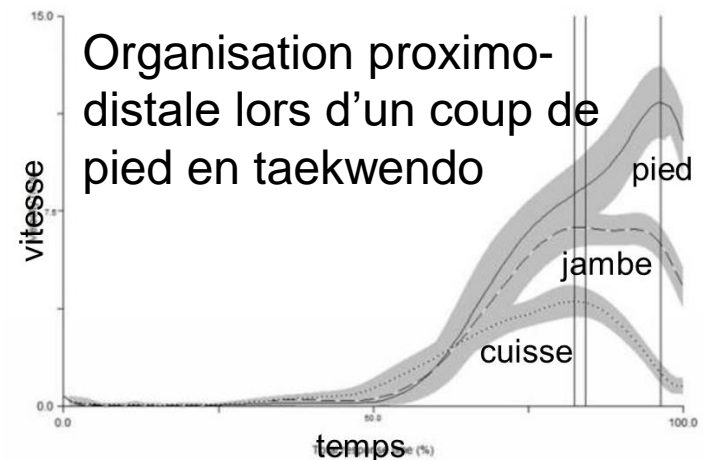
1. Quel est l'objectif de l'aviron?
2. De quelle manière cet objectif dépend-il de la coordination intersegmentaire sur la durée?



Organisation proximo-distale

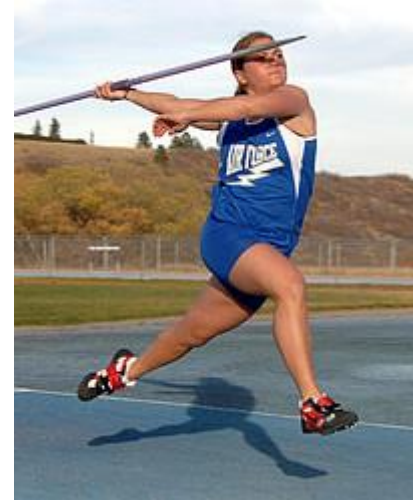
- La séquence proximo-distale est un mouvement multi-segmentaire (geste complexe) où les segments les plus proches de l'axe du corps (aussi les plus lourds), seront mobilisés avant les segments les plus excentrés.
- Souvent cette séquence est mise en évidence par l'ordre d'apparition des pics de vitesse des différents segments ou articulations

Allard P et Blanchi JP. Analyse du mouvement humain par la biomécanique. Paris : Vigot, 2000.



Exemple 4: Lancer de javelot

1. Quel est l'objectif du lancer de javelot?
2. De quelle manière cet objectif dépend-il des vitesses articulaires?



Exercice 1

- Choisissez un des gestes sportifs suivant et identifier les éléments suivants:
 - coup de pied arrêter au rugby,
 - tir en suspension au handball,
 - course d'élan lors du saut en longueur
- 1. Quel est l'objectif de ce sport? (qu'est ce qui détermine une victoire dans ce sport?)
- 2. En quoi ce geste permet-il d'atteindre cet objectif ou une partie de cet objectif?
- 3. Quelles sont les contraintes spécifiques à ce geste? (souvent liées aux caractéristiques de l'environnement)
- 4. Quels paramètres biomécaniques du mouvement sont liés le plus directement possible avec la performance? (choisissez parmi les paramètres liés aux organisations et contributions segmentaires vues en cours). Montrer ce lien.



Exercice 2 (à faire pour le 09.11)

- 1. Quelle est votre spécialité sportive?
- 2. Quel est l'objectif de cette discipline?
(qu'est ce qui détermine une victoire en compétition dans ce sport?)
- 3. Choisissez un geste dans cette discipline qui permet-il d'atteindre cet objectif ou une partie de cet objectif: justifiez votre choix.
- 4. Quelles sont les contraintes spécifiques à ce geste? (souvent liées aux caractéristiques de l'environnement)
- 5. Selon la littérature scientifique, quels paramètres biomécaniques du mouvement sont liés le plus directement possible avec la performance? (choisissez parmi les paramètres liés à la gestion du centre de masse, ou aux organisations et contributions segmentaires vus en cours). Montrer ce lien.



B) CINÉMATIQUE ET CALCUL DES ANGLES ARTICULAIRES ET VITESSES ARTICULAIRES AU COURS D'UN MOUVEMENT

Outils de mesure du mouvement,

Obtenir une vidéo pour l'analyse du mouvement,

Obtenir des angles articulaires à partir d'une vidéo

Calculs de la vitesse angulaire à partir des angles



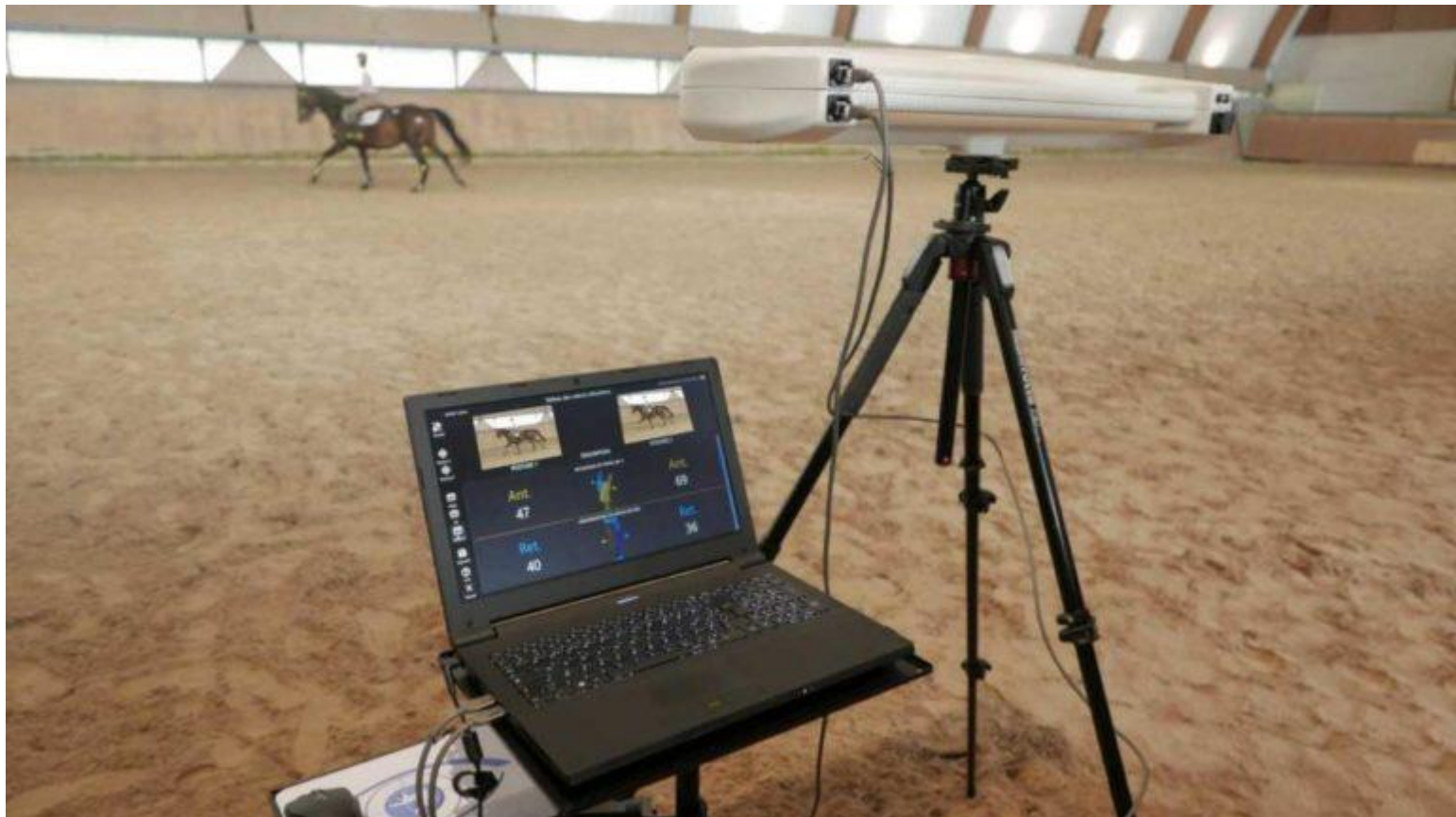
Quels sont les outils pour mesurer les paramètres cinématiques?

- Capteurs inertiels : accéléromètre + gyroscope pour mesurer l'accélération linéaire et l'orientation des segments



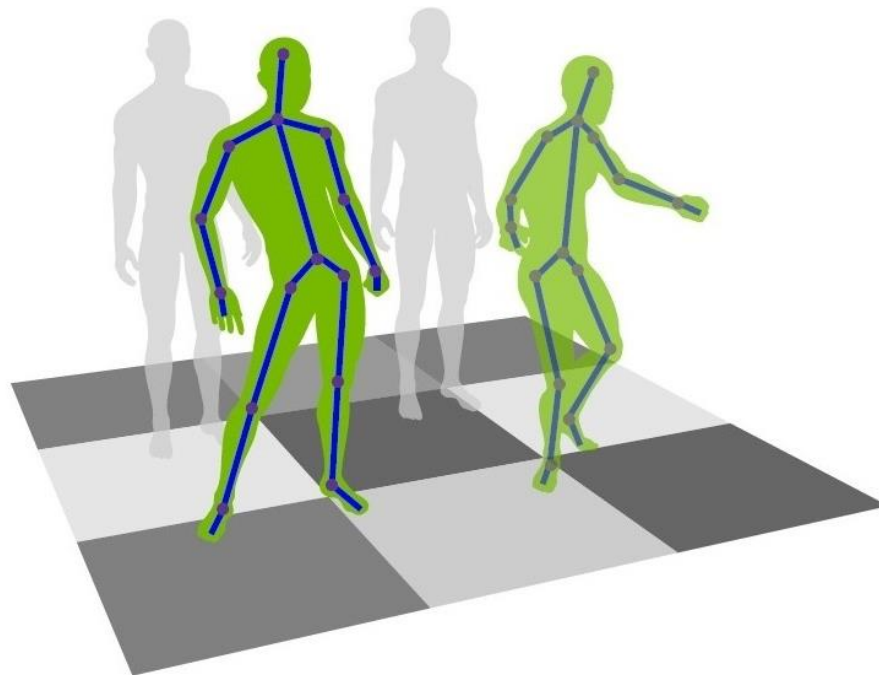
Quels sont les outils pour mesurer les paramètres cinématiques

- Caméra ou caméra haute fréquence : pour mesurer des positions de repères articulaires et segmentaires en 2D



Quels sont les outils pour mesurer les paramètres cinématiques

- Caméras + caméras de profondeur (kinect): pour mesurer des positions et orientations segmentaires en 3D

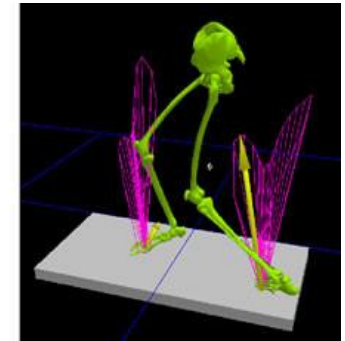
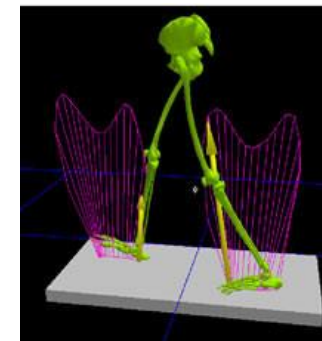


KINECT
for XBOX 360.



Quels sont les outils pour mesurer les paramètres cinématiques

- Système optoélectroniques: pour mesurer des positions de repères anatomiques en 3D



Comment obtenir une vidéo pour l'analyse de mouvement avec peu de matériel?

- Avec un smartphone ou une tablette
- Avec une caméra numérique



Qu'est-ce qu'une bonne vidéo?

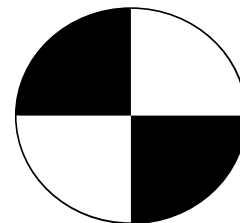
- L'image est de bonne qualité
 - la résolution est bonne, l'image n'est pas trop pixélisée
 - l'acquisition est rapide, l'image n'est pas trop floue,
 - la luminosité et les contrastes sont bien réglés, je distingue les différents éléments de l'image
- La caméra est bien positionnée
 - je peux suivre ou déduire les points d'intérêts dont j'ai besoin tout au long du mouvement
 - la caméra est perpendiculaire aux angles que je souhaite mesurer
 - la caméra est fixée, l'image ne bouge pas trop
 - La caméra est à la bonne distance je peux voir tout le mouvement, sans voir forcément tout l'environnement.



Comment obtenir les positions dont j'ai besoin sur une vidéo?

- Logiciel d'analyse de mouvement à partir d'images vidéo (exemple: Kinovea OU Tracker --> ne fonctionnent pas bien sous mac, mais installés en salles informatiques).
- Importer les vidéos dans le logiciel.
- Suivre le tutoriel pour extraire les données de position.

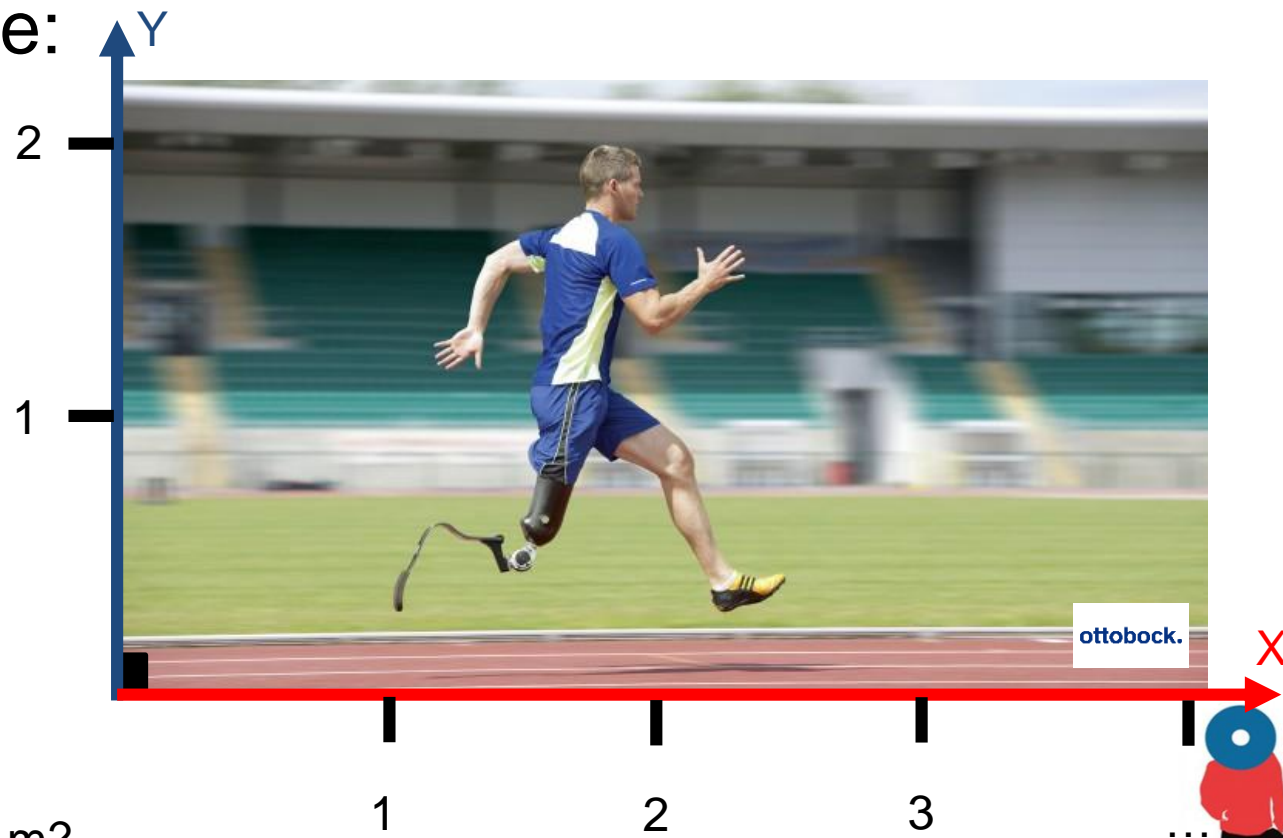
!!NB: Afin de mieux suivre des éléments (points d'intérêt) au cours du mouvement, des gommettes bien visibles peuvent être collées sur le sujet !!



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

- Des coordonnées dans un repère:

2D = 2 axes
orthogonaux
normés
directes



en mm, en cm, ou en m?

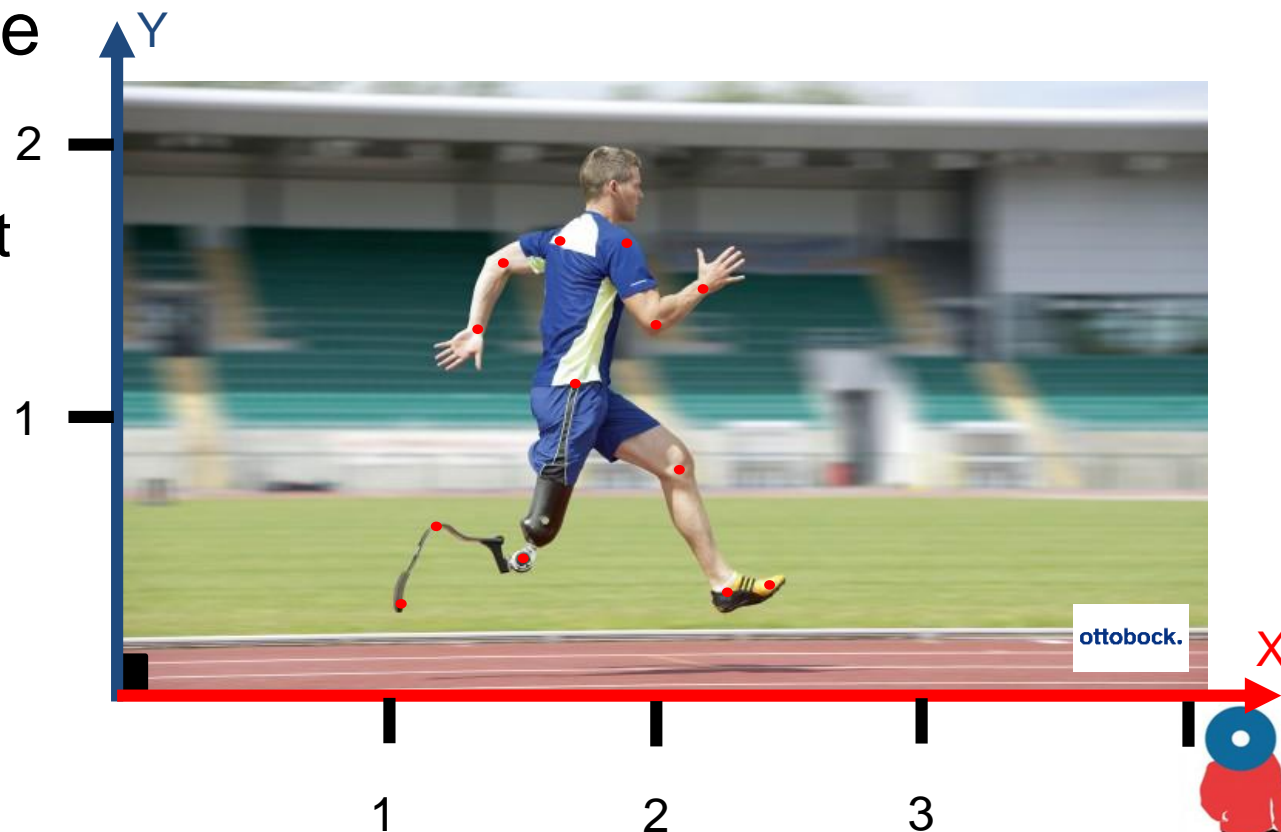


A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

- Des coordonnées dans un repère

qui correspondent à des **points anatomiques**,

en général à des **articulations**



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

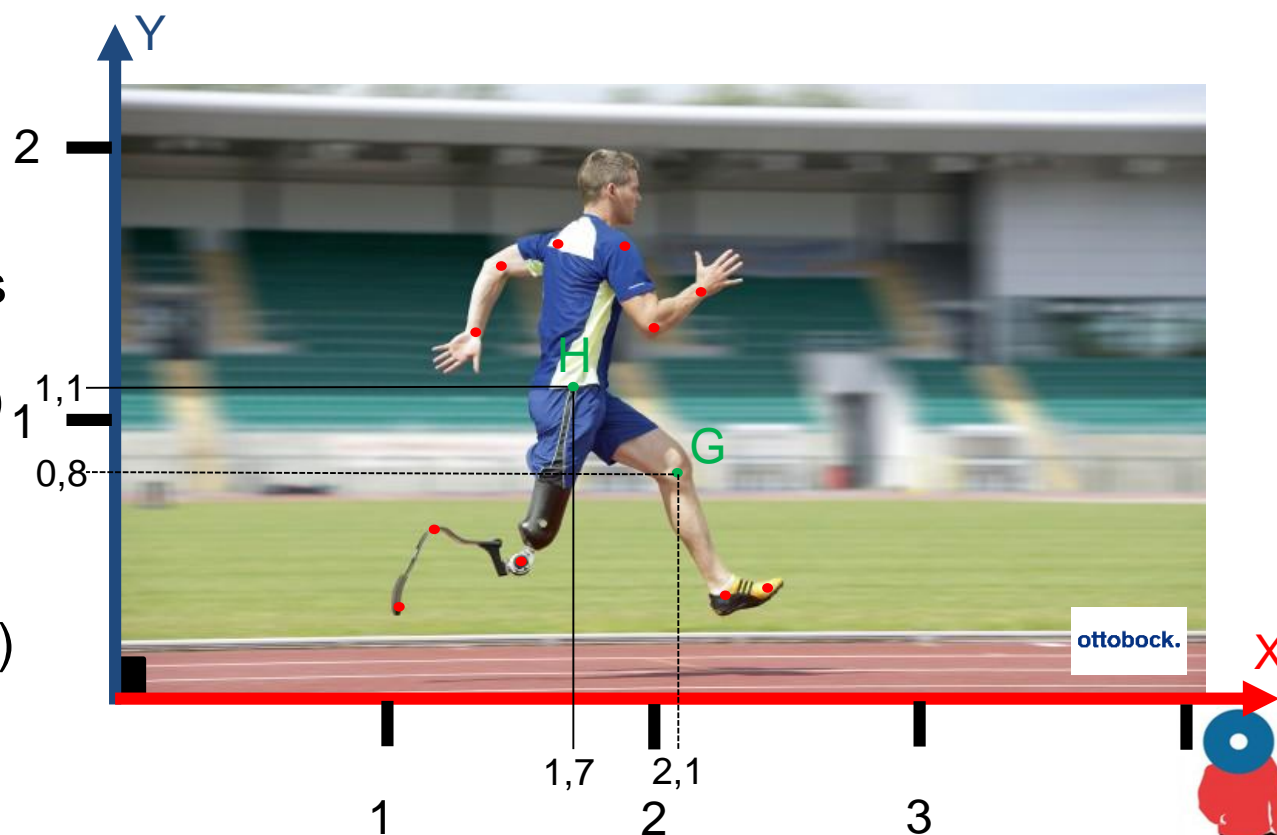
Ex:

Les coordonnées des Hanches sont:

$$H(x_H; y_H) = H(1,7; 1,1)$$

Les coordonnées du Genou sont:

$$H(x_G; y_G) = G(2,1; 0,8)$$

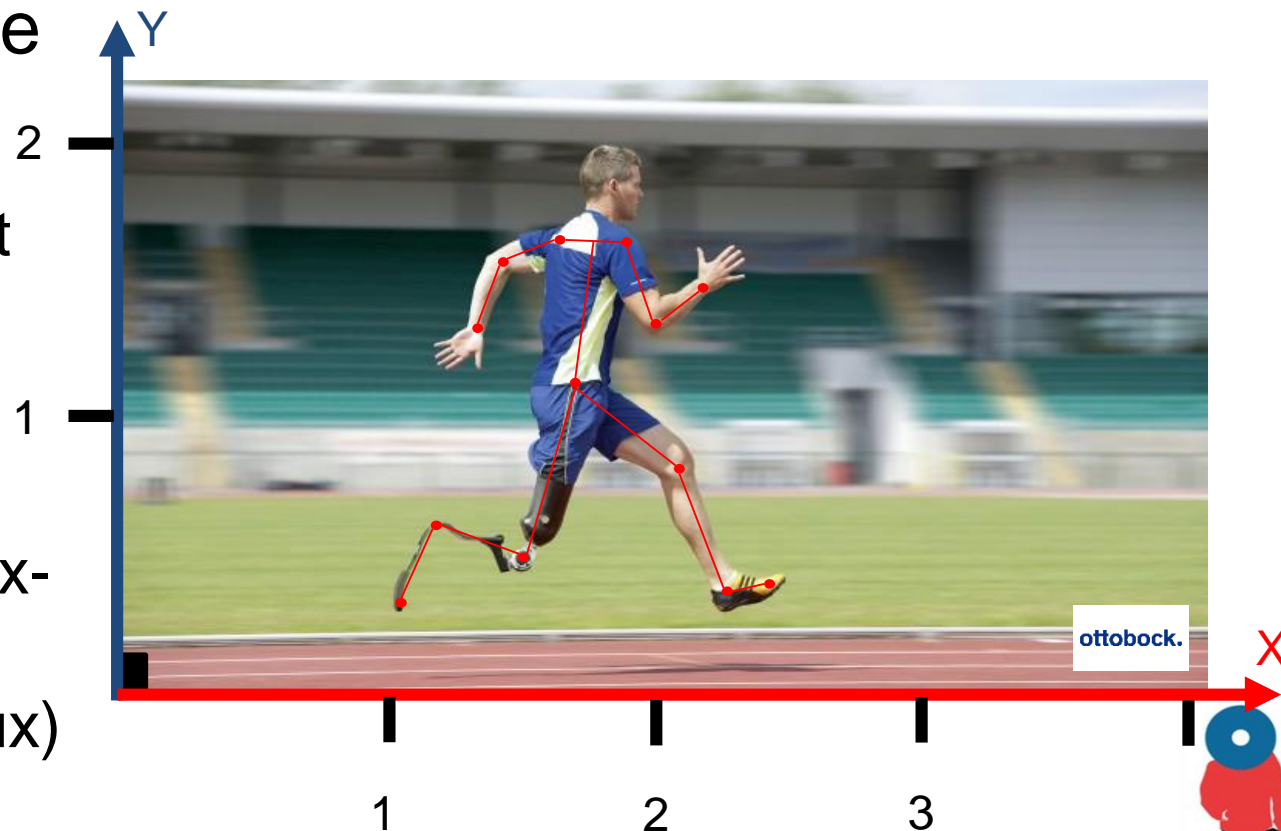


A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

- Des coordonnées dans un repère

qui correspondent à des **points anatomiques**,

qui définissent eux-mêmes **des segments** (osseux)



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

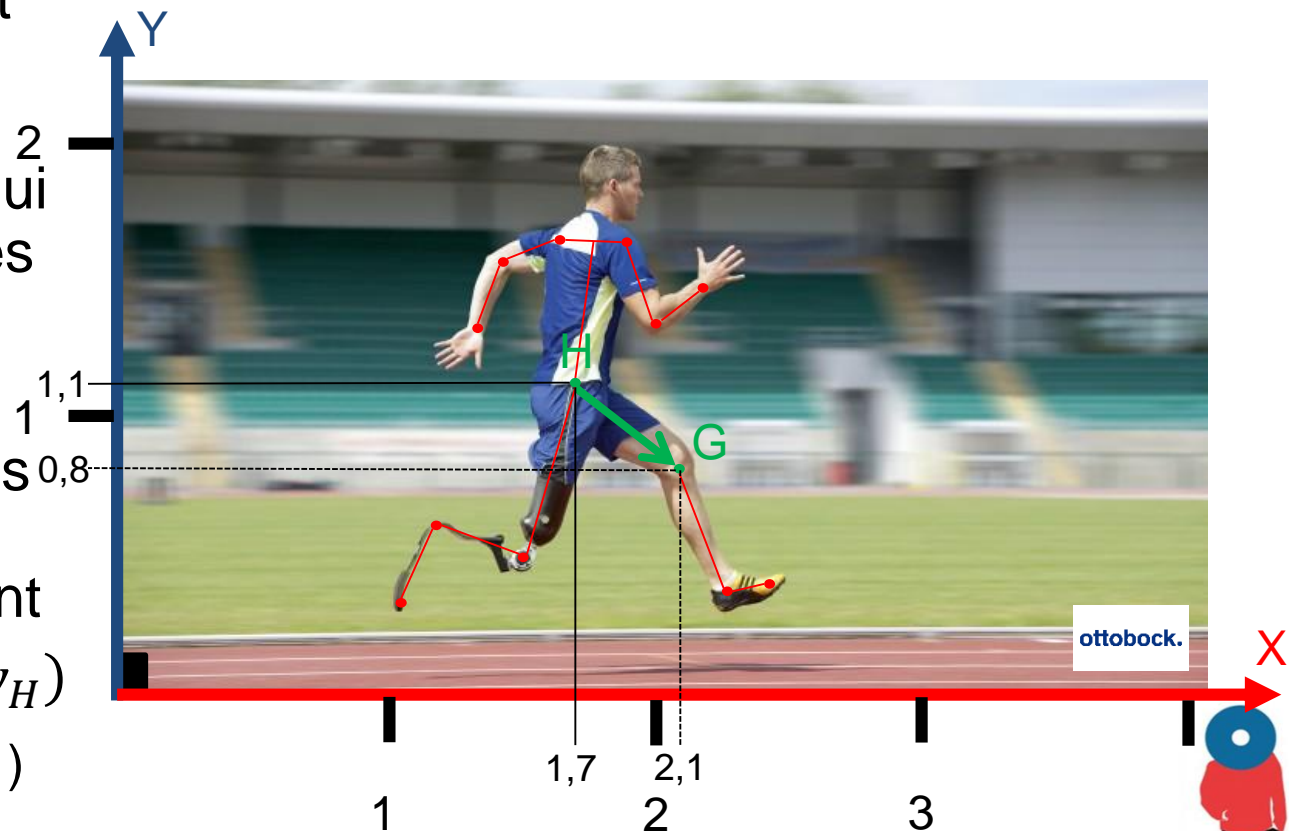
Les **segments** sont représentés mathématiquement 2 par des **vecteurs** qui possèdent aussi des coordonnées

Ex: les coordonnées du vecteur cuisse (hanche-genou) sont

$$\overrightarrow{HG}(x_G - x_H; y_G - y_H)$$

$$(2,1 - 1,7; 0,8 - 1,1)$$

$$(0,4; -0,3)$$



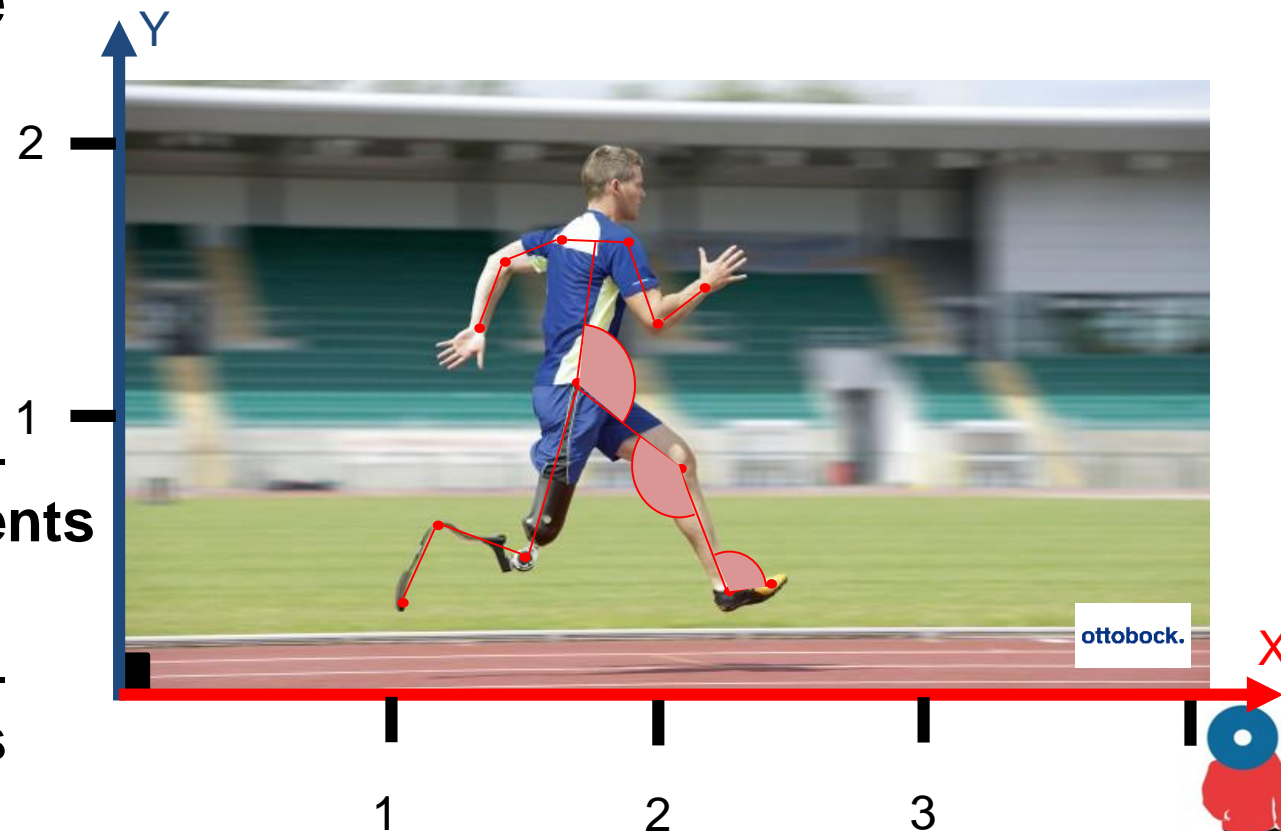
A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

- Des coordonnées dans un repère

qui correspondent à des **points anatomiques**,

qui définissent eux-mêmes des **segments**

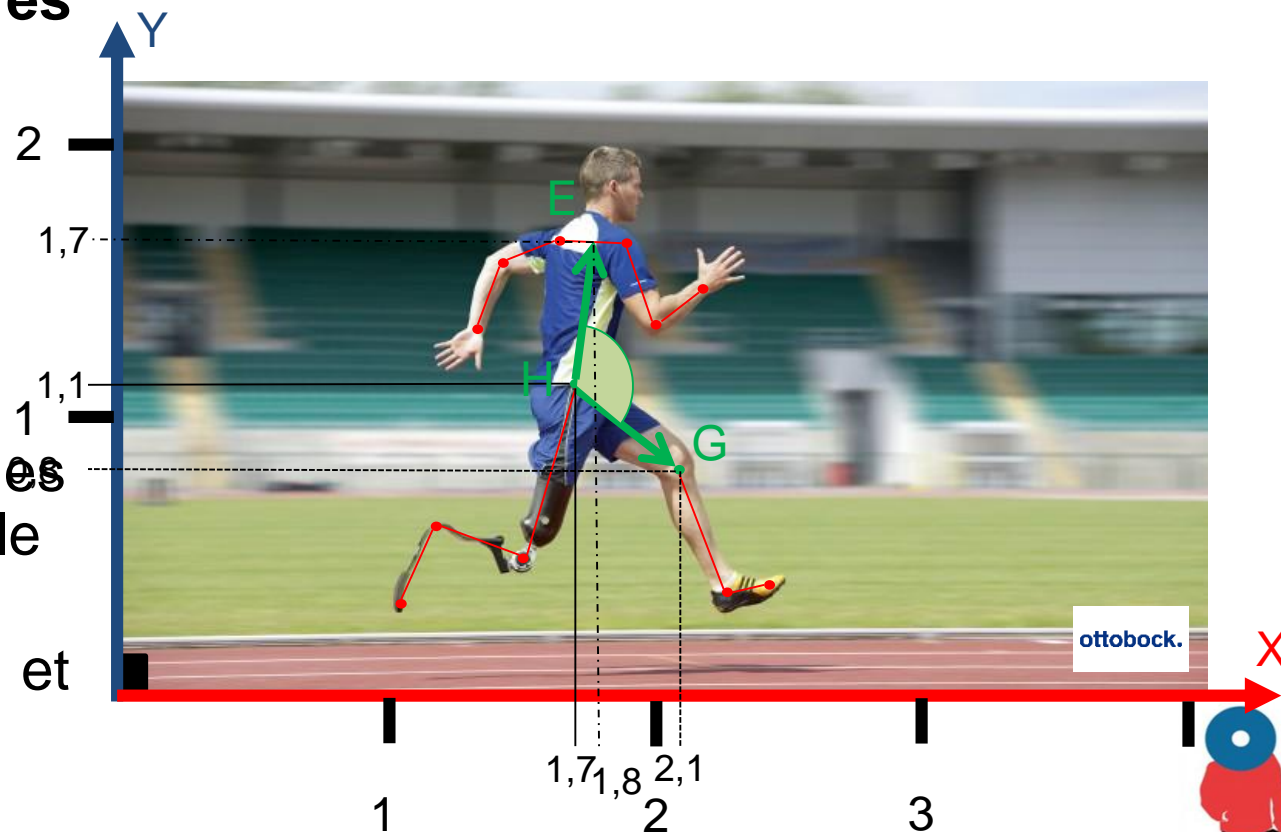
qui définissent eux-mêmes des **angles articulaires**



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

Les **angles articulaires** peuvent aussi être calculés à partir des coordonnées des segments grâce au **produit scalaire**

Ex: l'angle des hanches peut être calculé par le produit scalaire des vecteurs $\overrightarrow{HG}(0,4;-0,3)$ et $\overrightarrow{HE}(0,1;0,6)$



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

Le produit scalaire a 2 formules:

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{HG} \cdot \overrightarrow{HE} = x_{HG}x_{HE} + y_{HG}y_{HE} \\ \overrightarrow{HG} \cdot \overrightarrow{HE} = \|\overrightarrow{HG}\| \|\overrightarrow{HE}\| \cos(\theta) \end{array} \right.$$

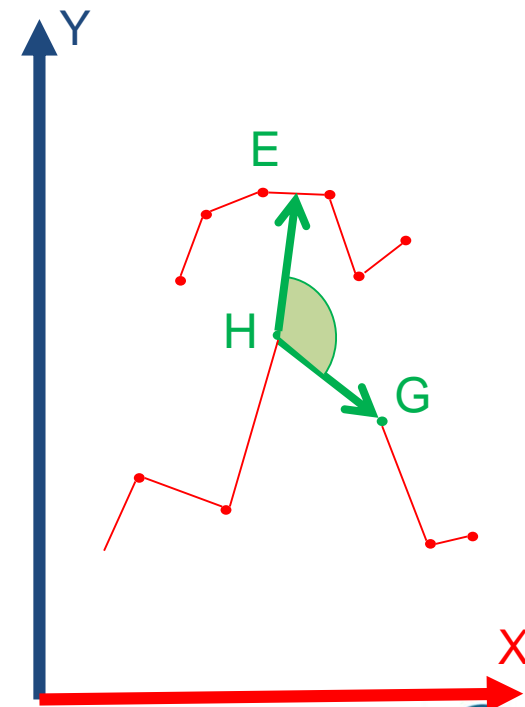
$$x_{HG}x_{HE} + y_{HG}y_{HE} = \|\overrightarrow{HG}\| \|\overrightarrow{HE}\| \cos(\theta)$$

$$\cos(\theta) = \frac{x_{HG}x_{HE} + y_{HG}y_{HE}}{\|\overrightarrow{HG}\| \|\overrightarrow{HE}\|}$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{x_{HG}x_{HE} + y_{HG}y_{HE}}{\|\overrightarrow{HG}\| \|\overrightarrow{HE}\|}\right)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{0,4*0,1 + (-0,3)*0,6}{\|\overrightarrow{HG}\| \|\overrightarrow{HE}\|}\right)$$

normes des vecteurs
(longueurs)



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

Pour calculer la **longueur** d'un segment on utilise le **théorème de Pythagore**:

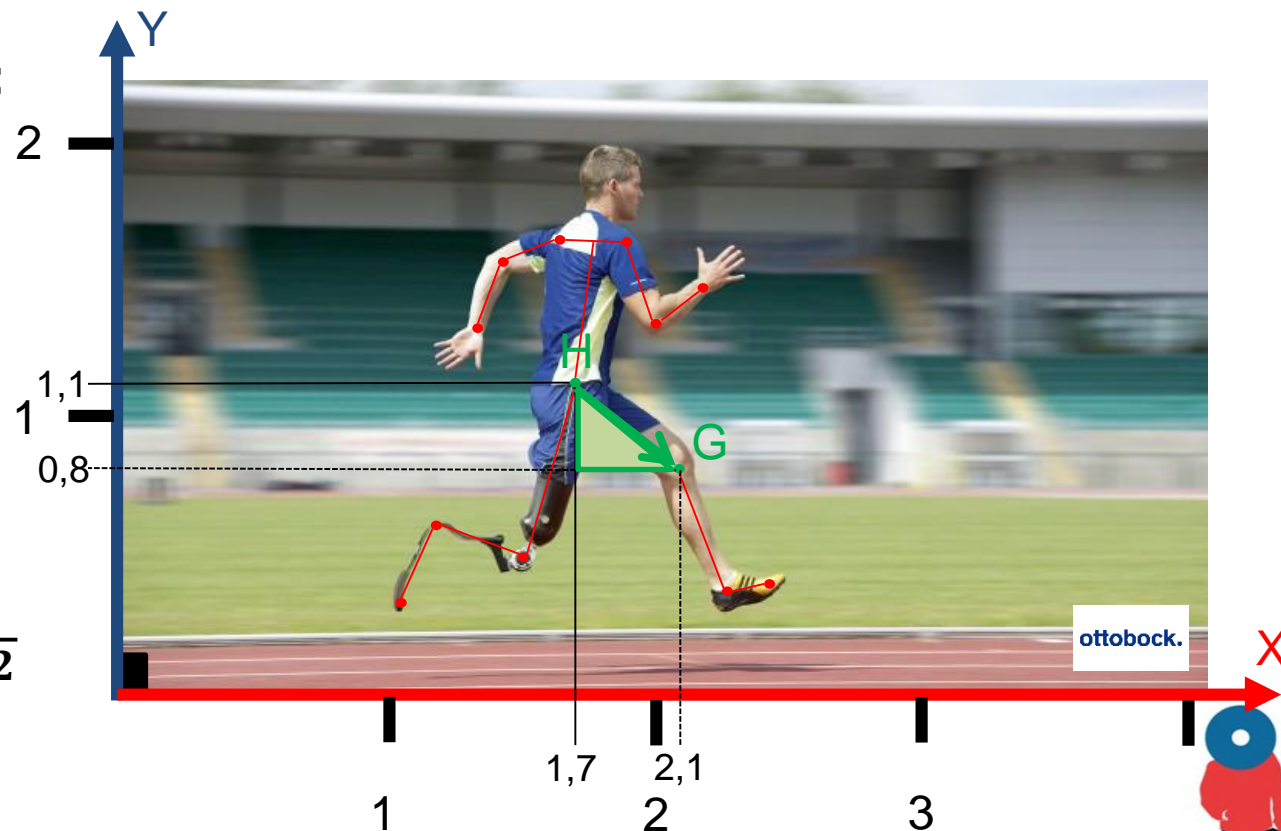
Ex: longueur de la cuisse

$$\|\overrightarrow{HG}\|^2 = x_{HG}^2 + y_{HG}^2$$

$$\|\overrightarrow{HG}\| = \sqrt{x_{HG}^2 + y_{HG}^2}$$

$$\|\overrightarrow{HG}\| = \sqrt{0,4^2 + -0,3^2}$$

$$\|\overrightarrow{HG}\| = \mathbf{0,5m}$$



A quoi correspondent les valeurs associées à la position?

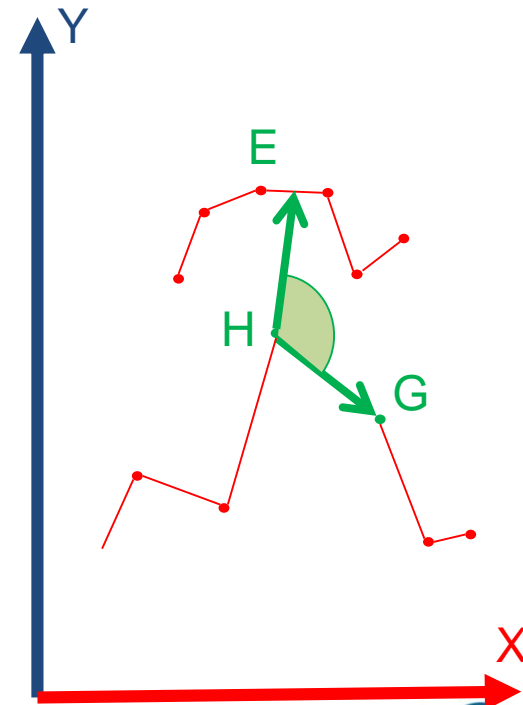
Valeur finale de l'angle de la cuisse

$$\theta = \text{acos}\left(\frac{0,4*0,1+(-0,3)*0,6}{0,5*0,6}\right)$$

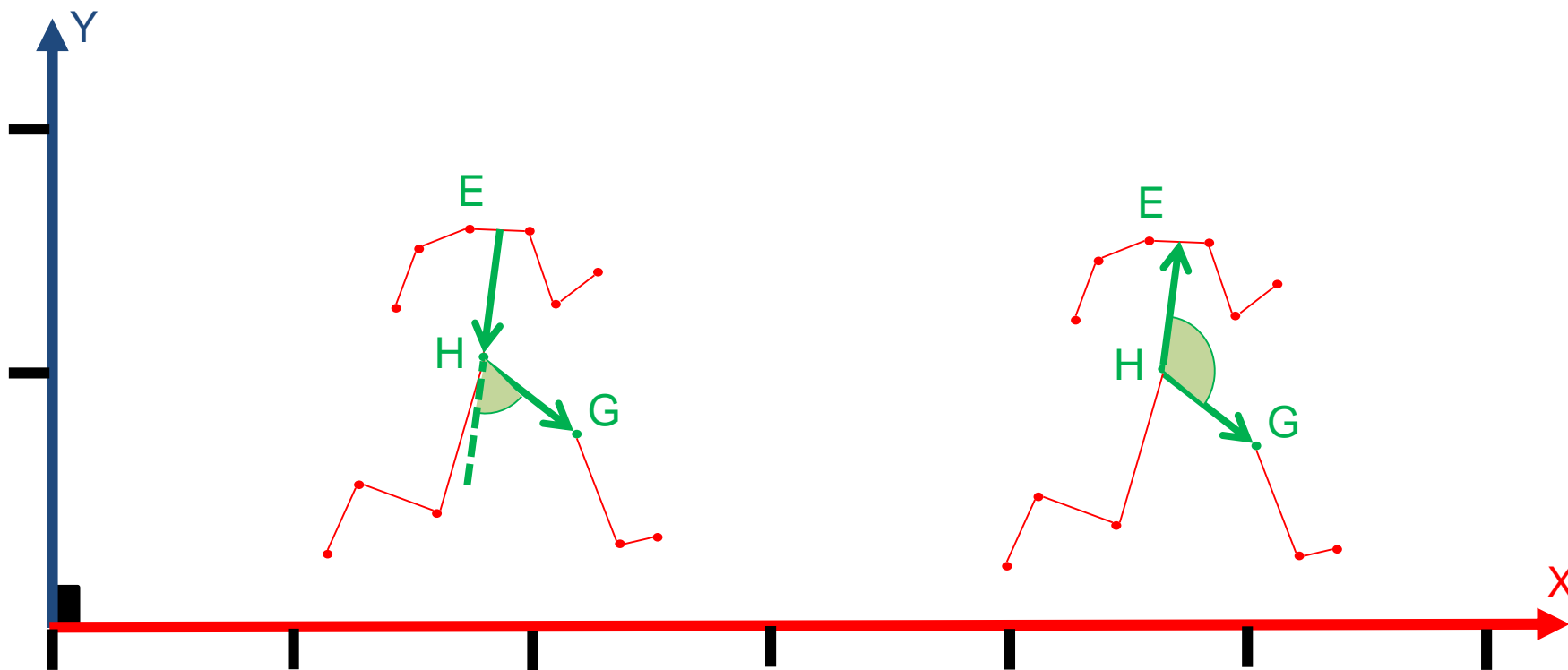
Le résultat est en radians

$$\theta = 1,7 \text{ rad}$$

$$\theta = 100^\circ \quad * \frac{180}{\pi} \text{ (je pense au demi-cercle trigonométrique)}$$



Attention à l'orientation des vecteurs



Comment obtient-on les vitesses et accélérations à partir des positions angulaires?

- Angle
 θ

- Vitesse angulaire

$$\omega = d\theta / dt = (\theta_{t2} - \theta_{t1}) / (t2 - t1)$$

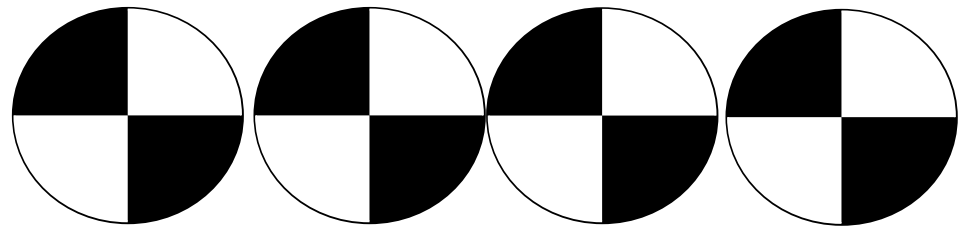
- Accélération angulaire

$$\alpha = d\omega / dt = (\omega_{t2} - \omega_{t1}) / (t2 - t1)$$



Exercice 3 Vidéo (à faire pour le 16.11 à plusieurs si besoin)

1. Choisissez un geste utilisé dans votre spécialité sportive qui pourrait selon vous faire appel à une coordination proximo-distale.
2. Prenez un moment à l'entraînement, ou en cours pour réaliser une vidéo de ce mouvement (en utilisant si possible ces marqueurs pour repérer les articulations sur la peau ou sur des vêtements unis)



3. Essayer au maximum de prendre en compte les critères vus dans le cours

