

# Enjeux de l'évaluation pour la réadaptation et de la réhabilitation par les APA-S

## Approche biomécanique #3

# Approche biomécanique : Programme

- CM1 et TP1 : Analyse biomécanique de la posture
  - CM, Bât. 425, Salle 121
  - TP, Bât. 335, Salle 38 et Salle Bouisset
- CM2 et TP2 : Analyse des paramètres spatiotemporels de la marche
  - CM, Bât. 425, Salle 121
  - TP, Bât. 335, Salle 38
- **CM3 et TP3 : Analyse de la cinématique angulaire**
  - CM, Bât. 425, Salle 121
  - TP, Bât. 335, Salle Bernstein (Salle 38 vendredi Groupe LDD)
- **TP4 : Puissance, énergie et activité physique**
  - TP, Bât. 335, Salle 38



# Introduction à la biomécanique dans les APA-S

Mais pourquoi la biomécanique en APA-S ???!!!

→ Les paramètres biomécaniques renseignent sur l'état fonctionnel de l'humain

Posturographie  
clinique

Examen clinique  
(code CEQP002)



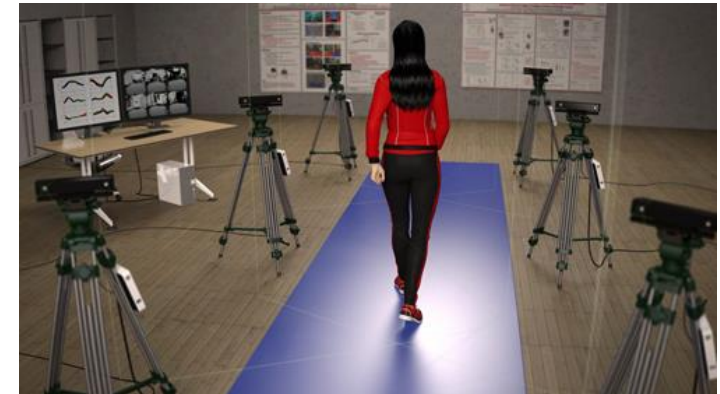
Analyse baropodométrique  
de la marche

(code NKQP002)



Analyse tridimensionnelle  
de la marche

(code NKQP003)



[Voir lien CCAM](#)

(classification commune des actes médicaux)



# CM3, TP3

## Analyse biomécanique de la marche (suite)

1. Qu'est-ce que la marche ?
2. Comment la marche est-elle contrôlée ?
- 3. Comment évaluer la marche ?**
- 4. Comment interpréter l'évaluation de la marche ?**



### 3. Evaluation de la marche

- Cinématique : décrire le mouvement visible

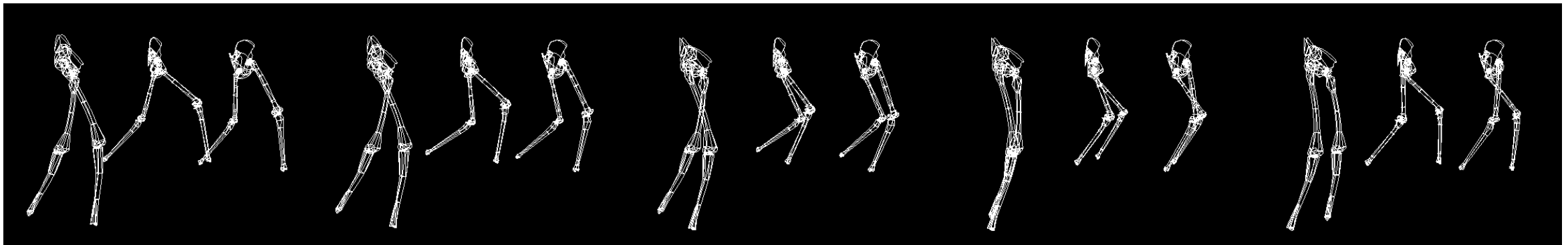
→ ~~Tapis baropodomérique~~

→ Systèmes vidéos

– Principe :

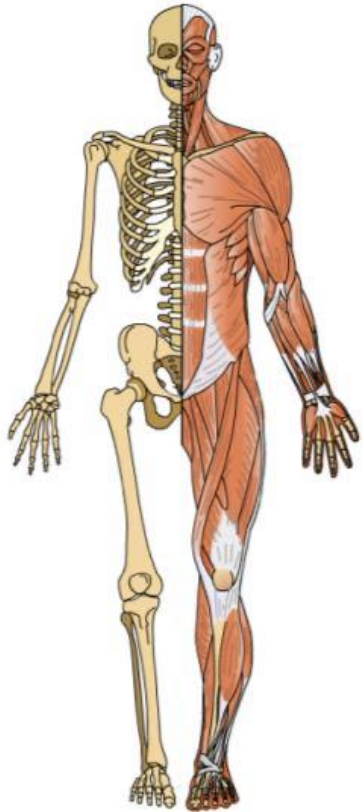
Utiliser une camera ou plus pour enregistrer le mouvement

Modélisation du squelette, calcul des angles articulaires



# 3. Evaluation de la marche

- Définition des angles articulaires



## Position anatomique de référence

- Debout
- Tête droite – regard devant
- Pieds rassemblés, parallèles et posés à plat
- Bras le long du corps
- Paume des mains orientée vers l'avant (supination)

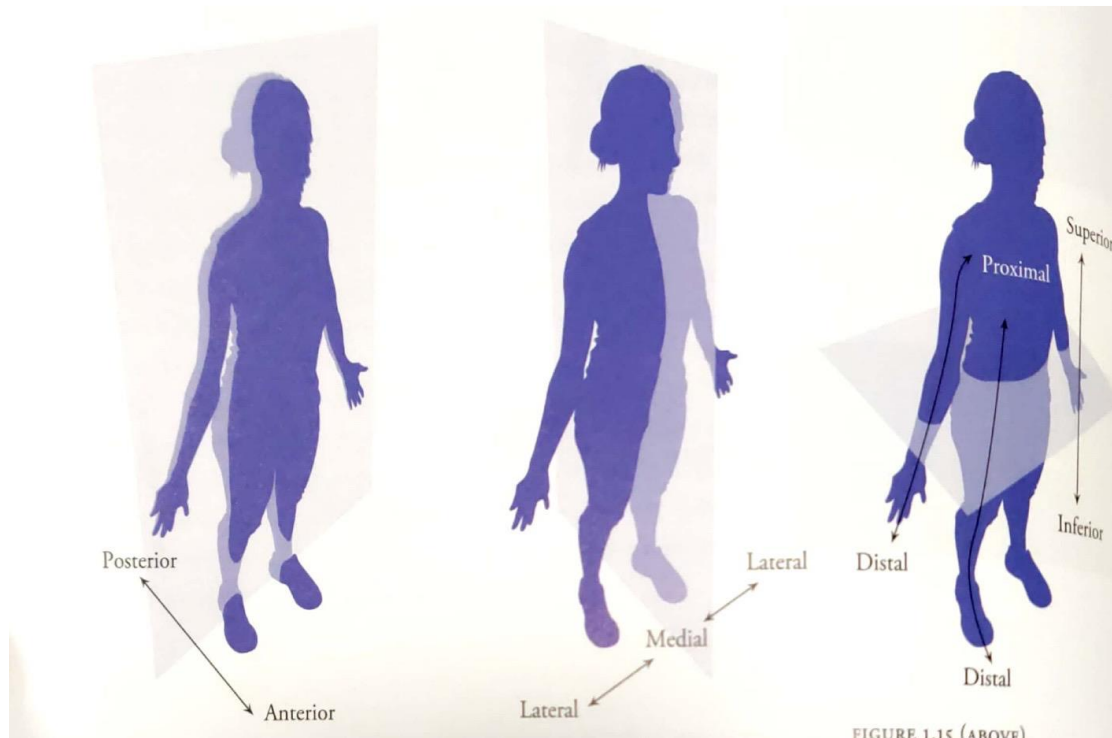
**La position de référence est importante en anatomie car c'est par rapport à elle que la nomenclature est définie : positions/orientations sont toujours données par rapport à cette position.**

Ex: adduction/abduction, flexion/extension, pronation/supination, etc.

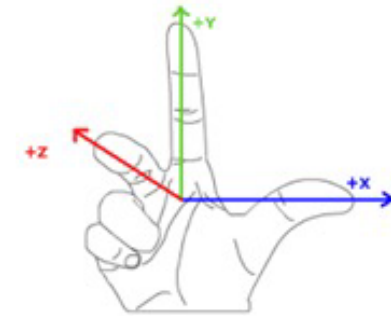


# 3. Evaluation de la marche

- Définition des angles articulaires



Mouvement décrit par rapport à un **repère**



- Origine (centre de rotation, etc.)
- Axes (flexion/extension, etc.)

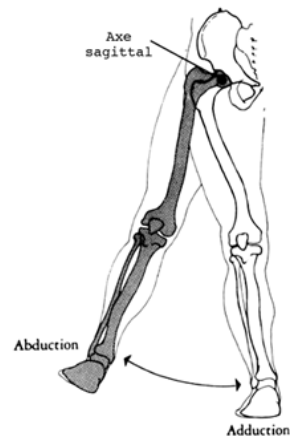
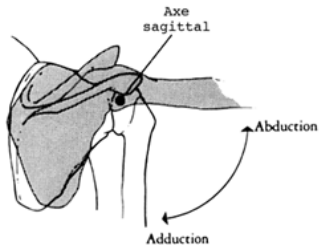
**Repères anatomiques**



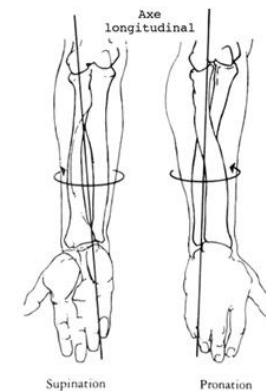
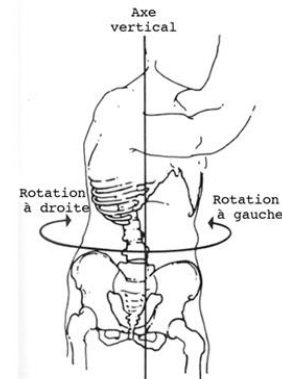
# 3. Evaluation de la marche

- Définition des angles articulaires

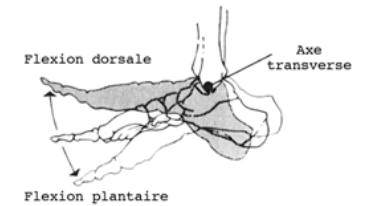
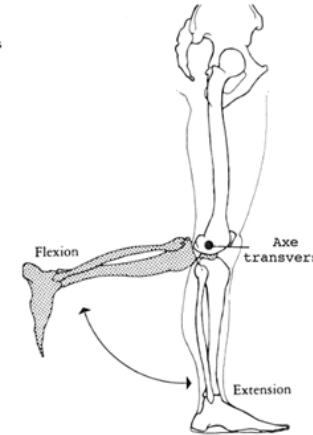
## Axe sagittal (antéro-postérieur)



## Axe longitudinal (cranio-caudal)



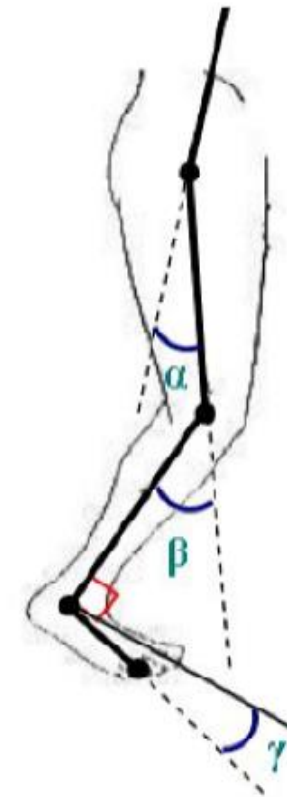
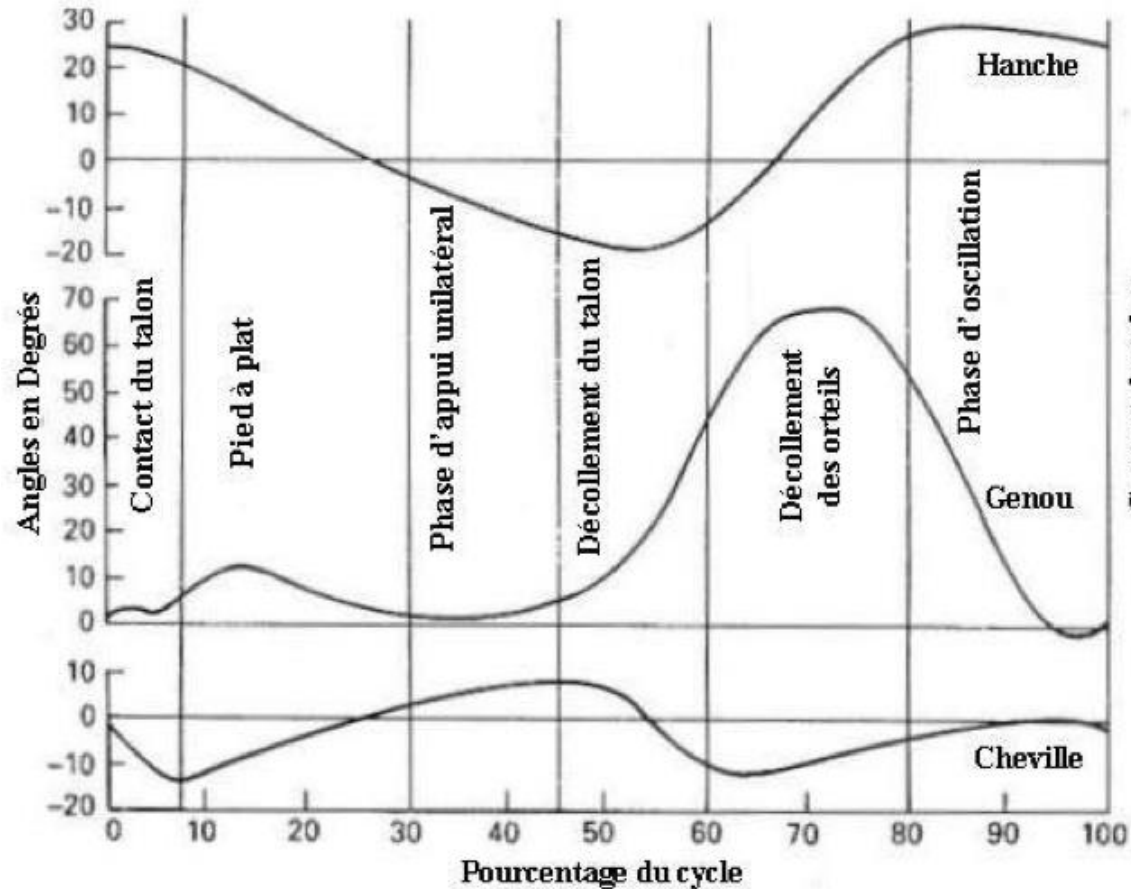
## Axe transverse (médio-latéral)





# 3. Evaluation de la marche

- Définition des angles articulaires

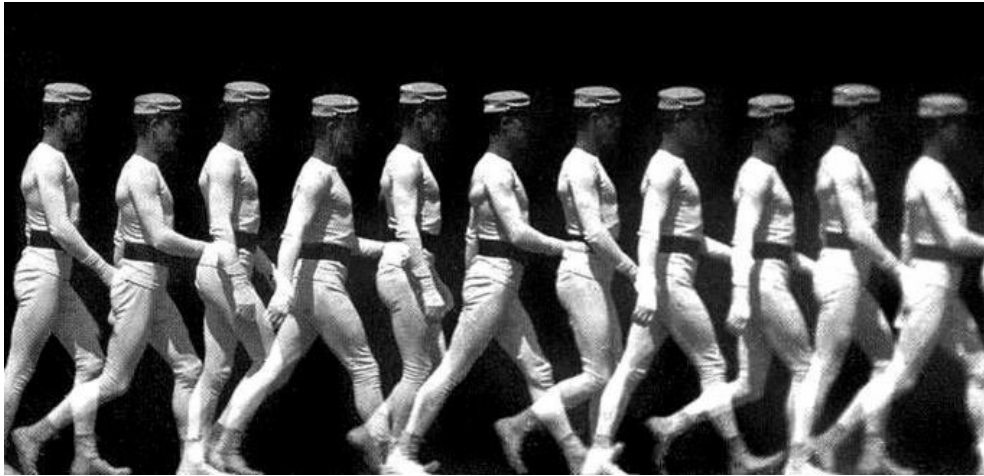


$\alpha$  : angle à la hanche  
 $\beta$  : angle au genou  
 $\gamma$  : angle à la cheville



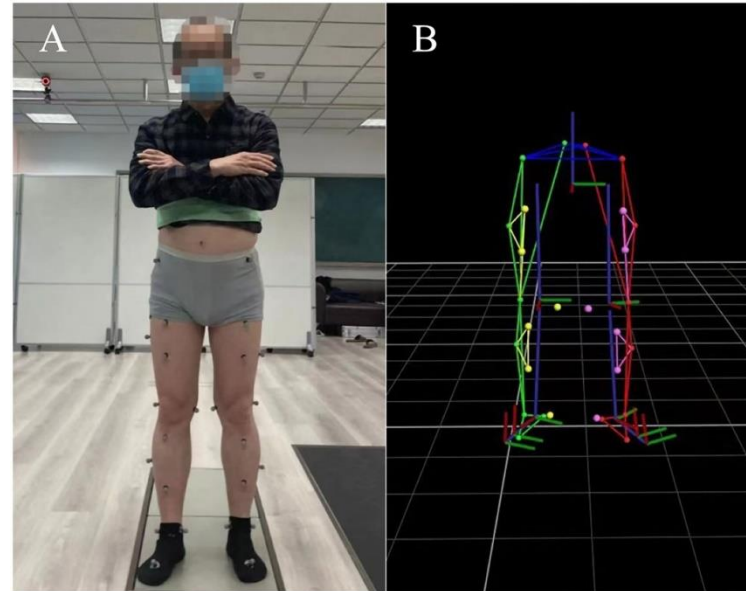
### 3. Evaluation de la marche

- De la chronophotographie à l'analyse vidéo 3D



Chronophotographie (*Marey et Demeny, 1885*)

*Technique photographique permettant de prendre une série de photos avec une fréquence prédéfinie afin d'étudier le déplacement de l'objet*



Analyse vidéo 3D

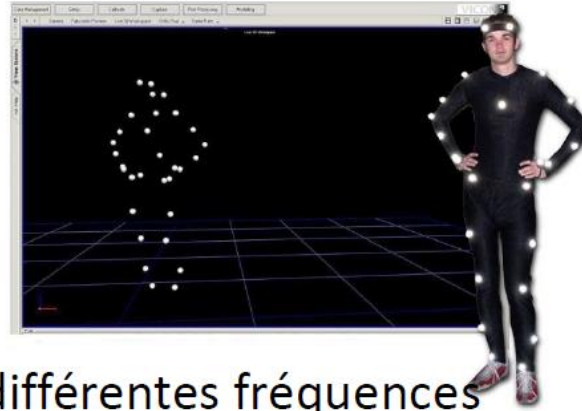
- Mesure de la position 3D des markers
- Reconstruction de la cinématique articulaire



# 3. Evaluation de la marche

- Systèmes optoélectroniques

Analyse du mouvement en 3D



## 1. Active markers system

- Light-Emitting Diode (LED) à différentes fréquences
- LED places sur les segments sont automatiquement reconnues/labellisées
- Alimentation filaire



## 2. Passive markers system

- Caméras infrarouge
- Marqueurs réfléchissants
- Calibration dynamique (relative, entre caméras)
- Calibration statique (absolue, orientation globale salle)





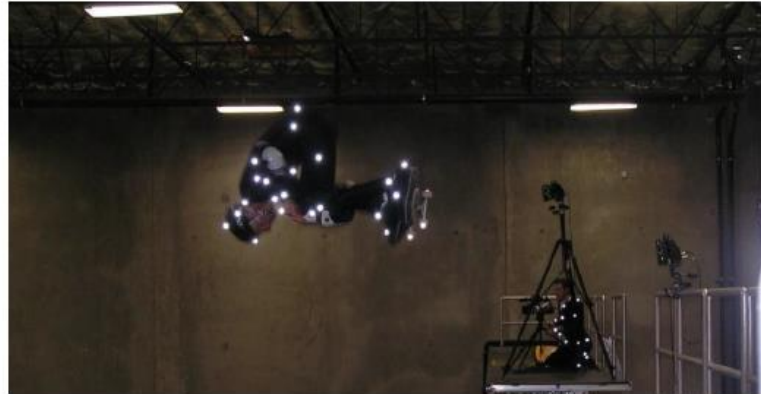
# 3. Evaluation de la marche

## Avantages

- Précision → gold-standard en *motion capture*
- Fréquence élevée
- Liberté de mouvement

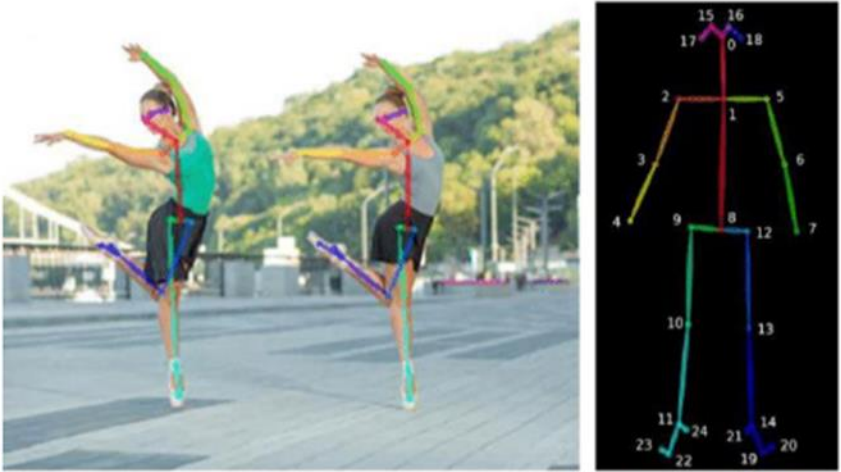
## Inconvénients

- Occlusions marqueurs
  - placement caméras
  - placement marqueurs (vêtements, segments, gestes)
- Soft-tissue artefact
- Artefacts (lumières, marqueurs fantômes)
- Traitement et post-processing long (labellisation, filtrage, etc.)



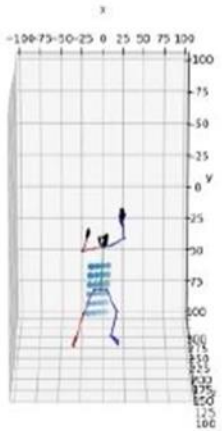
# 3. Evaluation de la marche

## Capture vidéo + *Human Pose Estimation*



OpenPose, MediaPipe

- Même set-up expérimental que pour une analyse vidéo « classique »
- Partie manuelle d'identification des points d'intérêt remplacée par un algorithme de vision par ordinateur (human pose estimation)
- Deep learning entraîné sur des bases de données labellisées
- Reconnaissance d'un skeleton à partir de points d'intérêt (*keypoints*)
- Nombreux algorithmes et implémentations possibles : OpenPose, AlphaPose, etc.



The Freemocap Project



### 3. Evaluation de la marche

- Autres outils de mesure cinématique :

- **Inertial Measurement Unit (IMUs)**  
centrales inertielles

- Mesure de l'orientation dans l'espace :
  - accéléromètre (accélération linéaire)
  - gyroscope (vitesse angulaire)
  - magnétomètre (correction erreur gyro)



Vicon IMU



Xsens IMU

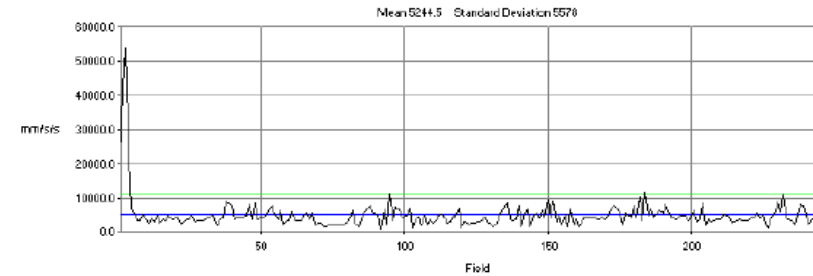




# 3. Evaluation de la marche

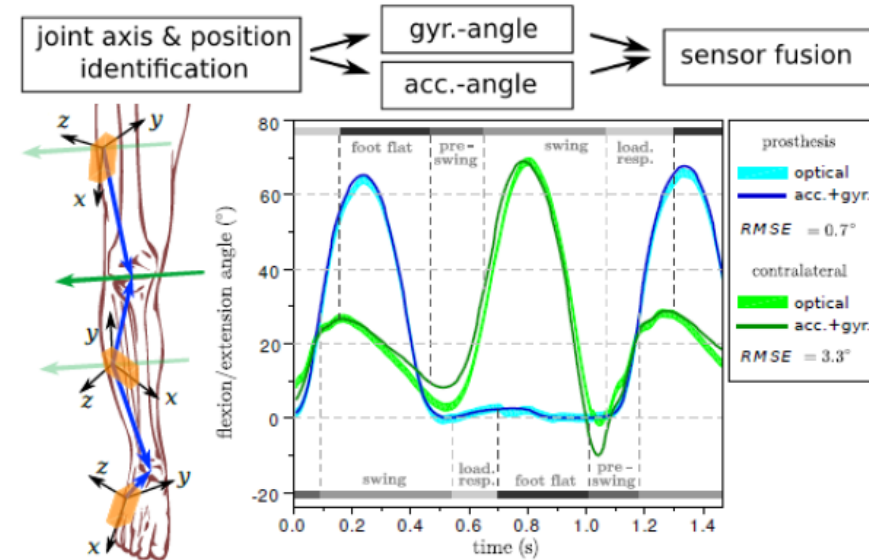
## • Inconvénients

- Sensibilité liée au placement (vêtements), perturbations métalliques (EM)
- Bruit important
- Précision / Dérive



## • Avantages

- Utile pour la détection d'événements
- Facile à installer + situation « écologique »
- Couplé à modèle bioméca : angles articulaires

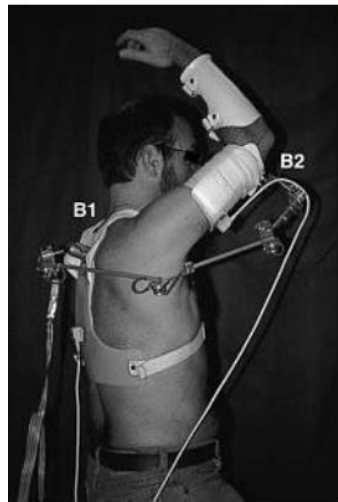


# 3. Evaluation de la marche

- Autres outils de mesure cinématique :

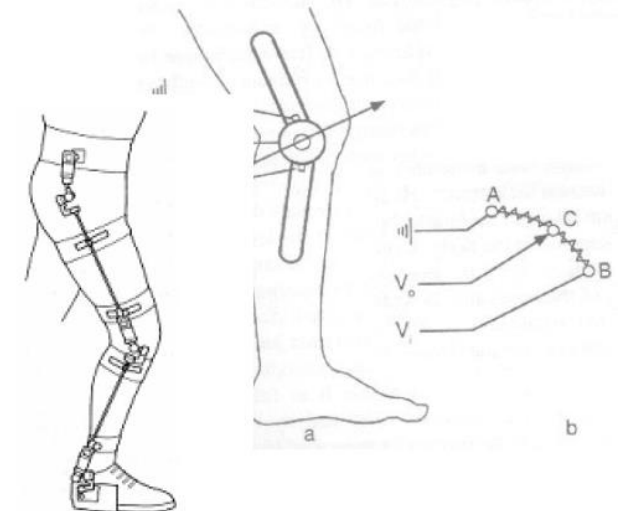
- **Goniomètres électroniques**

- Mesure directe des angles/rotations
    - Principe: 2 branches reliées à un potentiomètre, différence de potentiel proportionnelle à l'angle



**Attention :**

- Localisation centre de rotation
- mouvement  $\neq$  simple rotation
- Difficulté de mouvement
- Difficulté pour les zones avec tissu mou





# 3. Evaluation de la marche

- Mesure des angles articulaires avec **Tracker**  
→ **analyse vidéo 2D**

Trajectoires de points (marqueurs articulaires)

- Mesure d'un angle articulaire dans le temps
- Mesure de vitesses et d'accélérations
- Mesure des positions des segments d'un sujet ou du Centre de Gravité (CG)

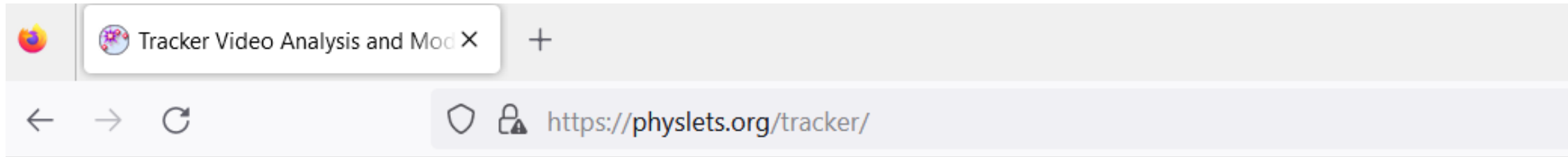
Points d'attention :

- Stabiliser la caméra avec un pied
- Définir le plan du mouvement (2D)
- Placer les repères anatomiques
- Objet de calibration (distances)



### 3. Evaluation de la marche

- Mesure des angles articulaires avec **Tracker**  
→ **installation du logiciel (gratuit) :**



[Tracker Home](#) | [Help](#) | [Share](#) | [OSP Home](#) | [Discussion Group](#) | [Email Doug](#)



**[Try Tracker Online](#)**

**Over 2 million users in 31 languages. Completely free and open source.**

**Latest Tracker 6 installers: [Windows](#) | [Recent MacOS](#) | [Older MacOS](#) | [Linux](#)**

Upgrade installers (requires earlier Tracker 6): [Windows](#) | [Recent MacOS](#) | [Linux](#)

**Windows 11 users, having Microsoft Defender issues? See [Installer Help](#) | [Change Log](#) | [Discussion Forum](#)**

**Tip: save your work as a [Tracker Project](#). Easy to build and share. Easy to browse in the [Library Browser](#).**

MacOS Windows et Linux →





le magazine de  
la santé

CARNETS DE SANTÉ LA MARCHÉ À LA LOUPE

# 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- Examen de la marche

## Analyse biomécanique de la marche :

→ Examen médical indispensable pour la prise en charge de patients présentant des troubles complexes de la marche

### Objectif :

- Cinématique 3D
- Dynamique (cf. Plateforme de force, tapis à capteurs de pression)
- Interne (cf. EMG)

- ➔ Identification des défauts de marche
- ➔ Dédution des causes probables de ces défauts (à partir des données cliniques)
- ➔ Orientation du choix thérapeutique

**NB : suivre évolution d'un patient**



# 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- Boiteries à la marche

## Déficit des releveurs du pied

### 1. Steppage



### 2. Fauchage





## 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- **Boiteries à la marche**

**Déficit de stabilisateurs latéraux de hanche**

1. Trendelenbourg



2. Duchenne de Boulogne



## 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- Boiteries à la marche

Ataxie (déficit de la coordination, dû à une atteinte proprioceptive ou cérébelleuse)



## 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- Boiteries à la marche

Syndrome parkinsonien



Personne âgée





# TP4

## Puissance, énergie, et activité physique

1. Qu'est-ce que l'énergie ? Qu'est-ce que la puissance ?
2. Qu'est-ce qu'un rendement ?
3. Production (et consommation) d'énergie



# 1. Les notions d'énergie et de puissance

## Qu'est-ce que l'énergie ?

- **Définition** : grandeur caractérisant la **capacité à effectuer des transformations**

Entre autres : produire un mouvement, modifier la température, changer d'état la matière, etc.

- **Unité** : Joule (J)

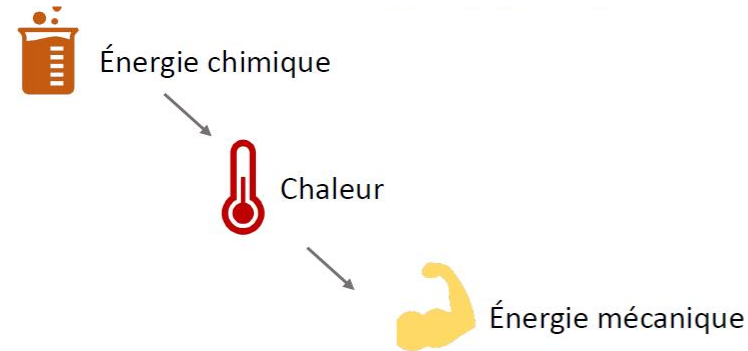
Dérivés : de la petite calorie...  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$  et  $1 \text{ Calorie} = 1000 \text{ cal}$

... au gros Kilowatt-heure :  $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

- Présente sous différentes formes



moteur de voiture



**Conversion entre les différentes formes d'énergie**



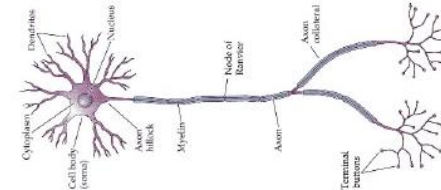
# 1. Les notions d'énergie et de puissance

## Qu'est-ce que l'énergie ?

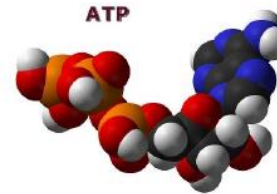
- Dans le mouvement corps humain, l'énergie existe aussi sous différentes formes



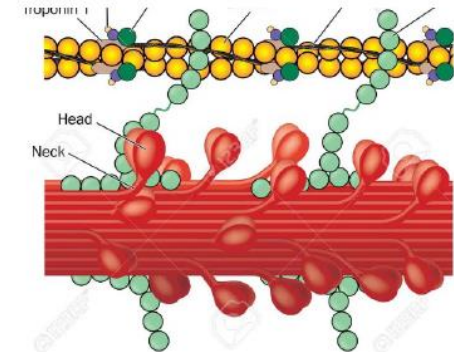
**Énergie électrique** : émission & propagation d'un potentiel d'action



**Énergie chimique** : transfert d'ions, métabolisme énergétique



**Énergie mécanique** : glissement filaments actine/myosine, mouvement squelettique

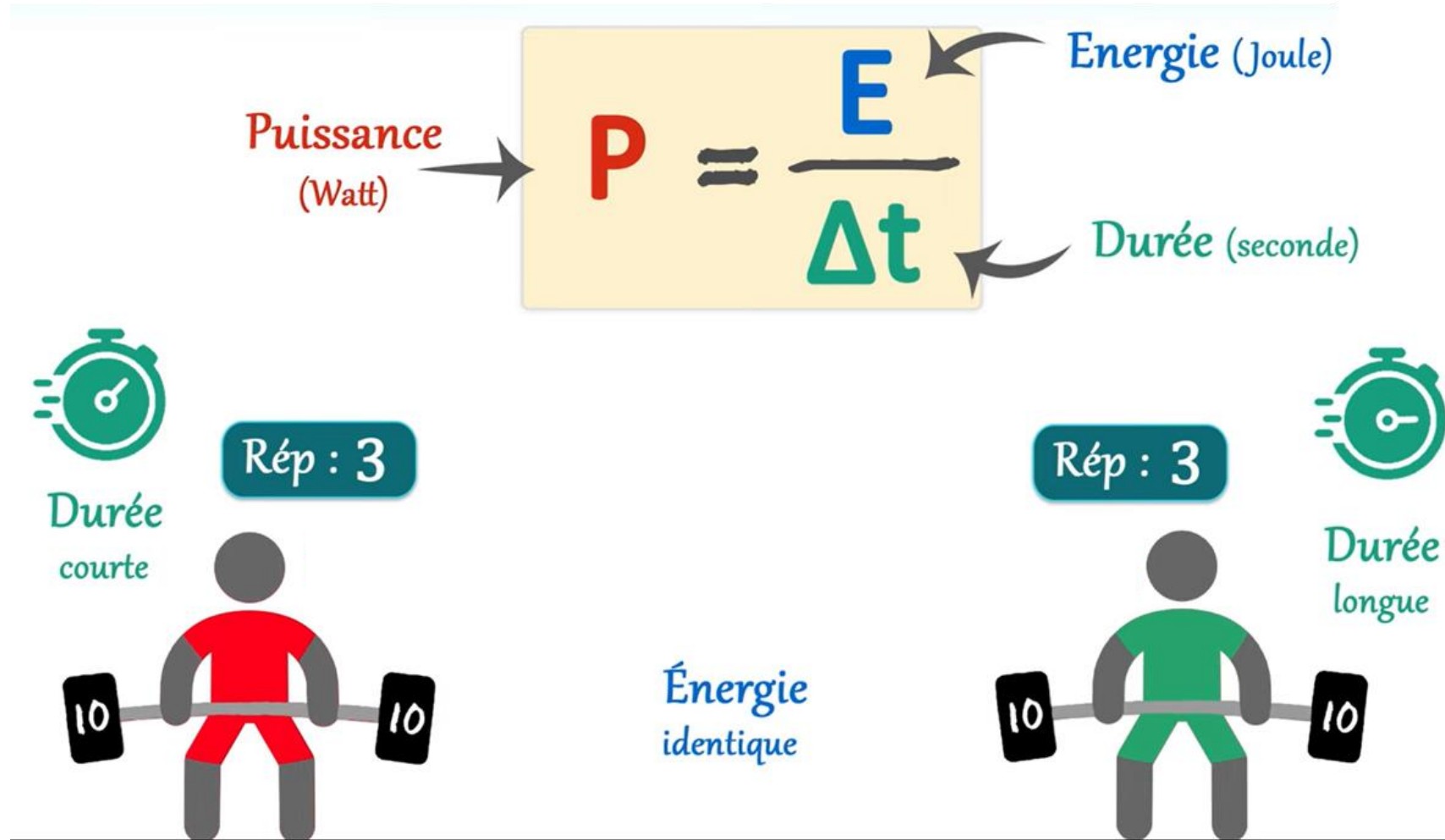


**Énergie thermique** : régulation de la température corporelle



# 1. Les notions d'énergie et de puissance

Qu'est-ce que la puissance ?



## 2. La notion de rendement énergétique

Dans le processus de transformation de l'énergie, il y a des pertes :

- De l'énergie chimique à l'énergie musculaire
- De l'énergie musculaire à l'énergie mécanique
- De l'énergie mécanique à l'énergie électrique

On note  $\eta$  le rendement :

$$\eta = \frac{E_u}{E_{cons}}$$
$$= \frac{E_u}{E_u + E_{pertes}}$$

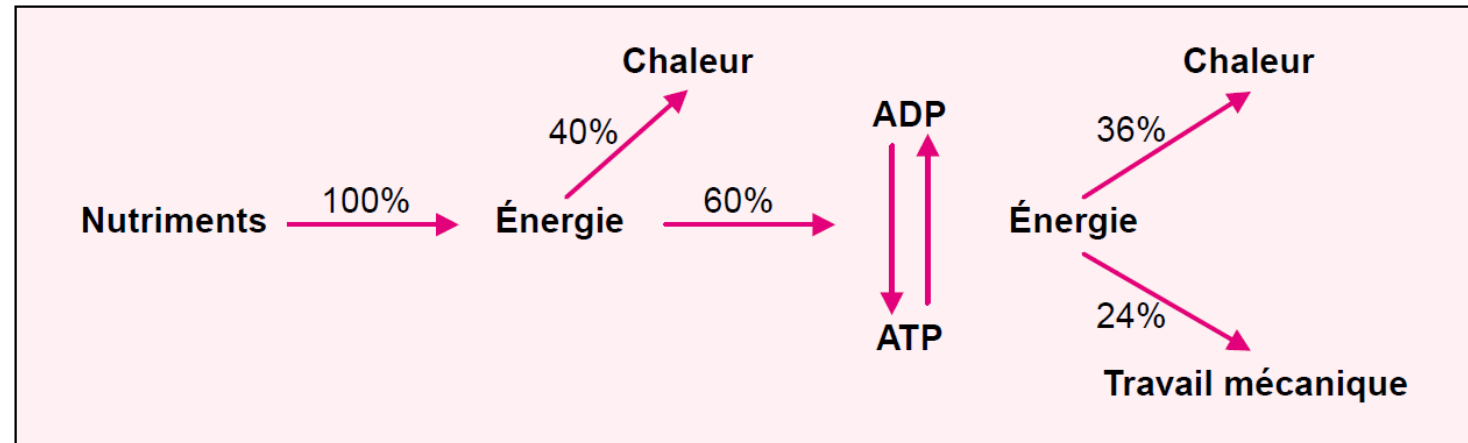


Figure 1. **Rendement énergétique de la contraction musculaire.** 40 % de l'énergie contenue dans les aliments sont perdus sous forme de chaleur lors de la synthèse d'ATP. Lors de la contraction musculaire, 60 % de l'énergie contenue dans l'ATP sont perdus sous forme de chaleur. Le rendement énergétique global de la contraction musculaire est donc d'environ 24 %.

*médecine/sciences 2000 ; 16 : 1063-8*



### 3. Production (et consommation) d'énergie

Quelle énergie peut-on produire ?





# 3. Production (et consommation) d'énergie



0,021 kWh en  
2min d'effort extrême..

vs...



1 L d'essence ~ 10 kWh



1 kg d'uranium ~ 100 000 kWh

*Combien d'équivalents-Robert dans votre journée ?*

...



- Ordres de grandeur



Recharge d'un smartphone  
pendant 1h

36 kJ  
0,01 kWh



Besoins énergétiques  
pour 1 personne sédentaire

2500 Cal / jour  
2,9 kWh / jour



Consommation énergétique globale  
d'un français

40 000 kWh / an [en 2021]



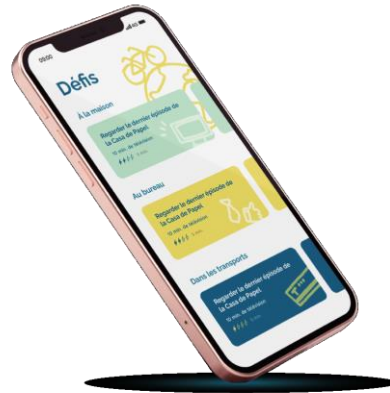
# 3. Production (et consommation) d'énergie

- WattsGood



*Home-Trainer qui réinjecte l'énergie électrique produite par le pédalage dans le réseau*

Appli à télécharger nécessite de créer un compte (gratuit)



<https://apps.apple.com/lu/app/wattsgood/id1623384680>



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wattsgood.app>

