

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

## Approche biomécanique #2

**Jules Bernard-Espina**

Maître de conférences, kinésithérapeute

[jules.bernard-espina@universite-paris-saclay.fr](mailto:jules.bernard-espina@universite-paris-saclay.fr)

Bureau 121-2, bat. 335, Laboratoire CIAMS

# 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
- 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)



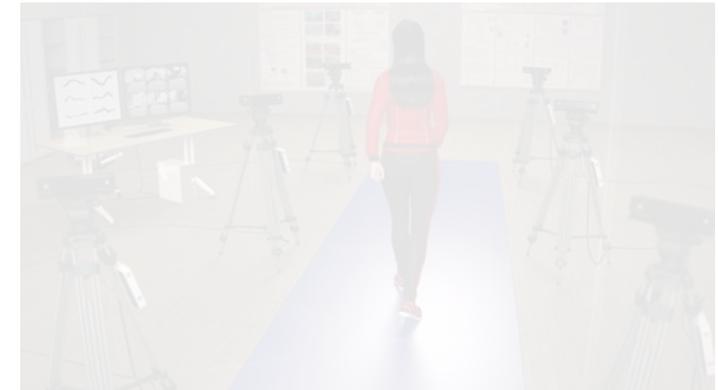
Analyse baropodométrique  
de la marche

(code NKQP002)



Analyse tridimensionnelle  
de la marche

(code NKQP003)



[Voir lien CCAM](#)

(classification commune des actes médicaux)



## **CM2, TP2**

# **Analyse biomécanique de la marche**

- 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 ?**



# 1. Qu'est-ce que la marche ?

**La marche humaine est définie comme :**

*Une locomotion qui met alternativement les deux jambes en jeu avec en permanence au moins un pied en contact avec le sol, afin d'assurer le soutien et la propulsion du corps.*

Whittle, 1991

*Coordination de mouvements de rotations des segments corporels pour maintenir l'équilibre du corps pendant son déplacement vers l'avant.*

Perry, 1992



# 1. Qu'est-ce que la marche ?

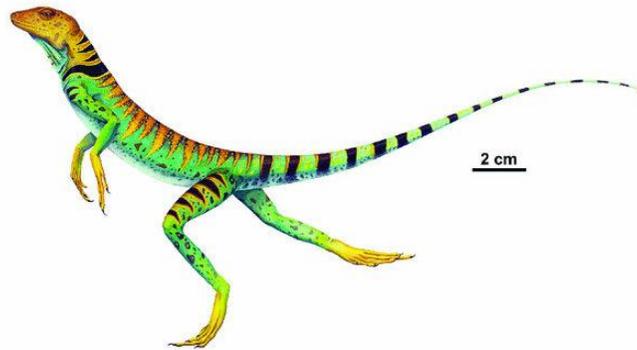
La marche bipède est le mode usuel de locomotion humaine, mais pas le seul !

→ Notion de répertoire locomoteur



→ Avec le pingouin, l'homme est le seul animal capable de marcher sur deux membres postérieurs (devenus inférieurs) avec le buste parfaitement redressé

→ L'humain n'a pas inventé la bipédie, et la bipédie n'est pas qu'une histoire d'humains



*Le plus vieux bipède Eudibamus Cursoris vivait il y a 290 millions d'années*



# 1. Qu'est-ce que la marche ?

La marche s'acquiert à travers un processus d'apprentissage et les schémas (patterns) caractéristiques de la marche normale mettent plusieurs années à se développer, et continue d'évoluer au cours de la vie.

## Long apprentissage

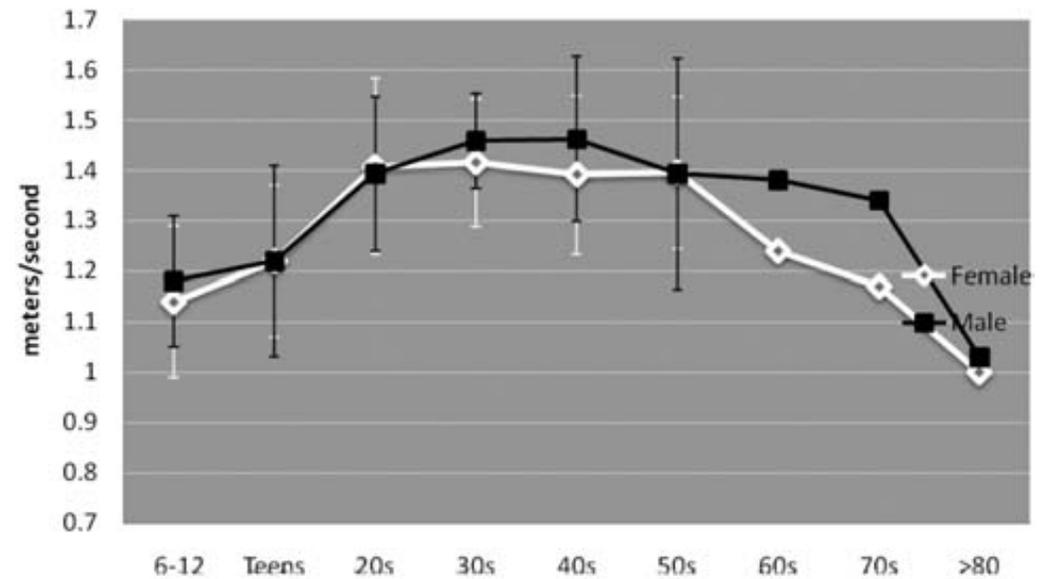
→ rampé, 4 pattes, et enfin debout  
(voir les cours sur le développement)

→ variabilité (style) individuelle

## Lien social important



Walking Speed by Gender and Age



[Fritz et Lusardi, 2009]



## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- Intégration multisensorielle

### Vision périphérique

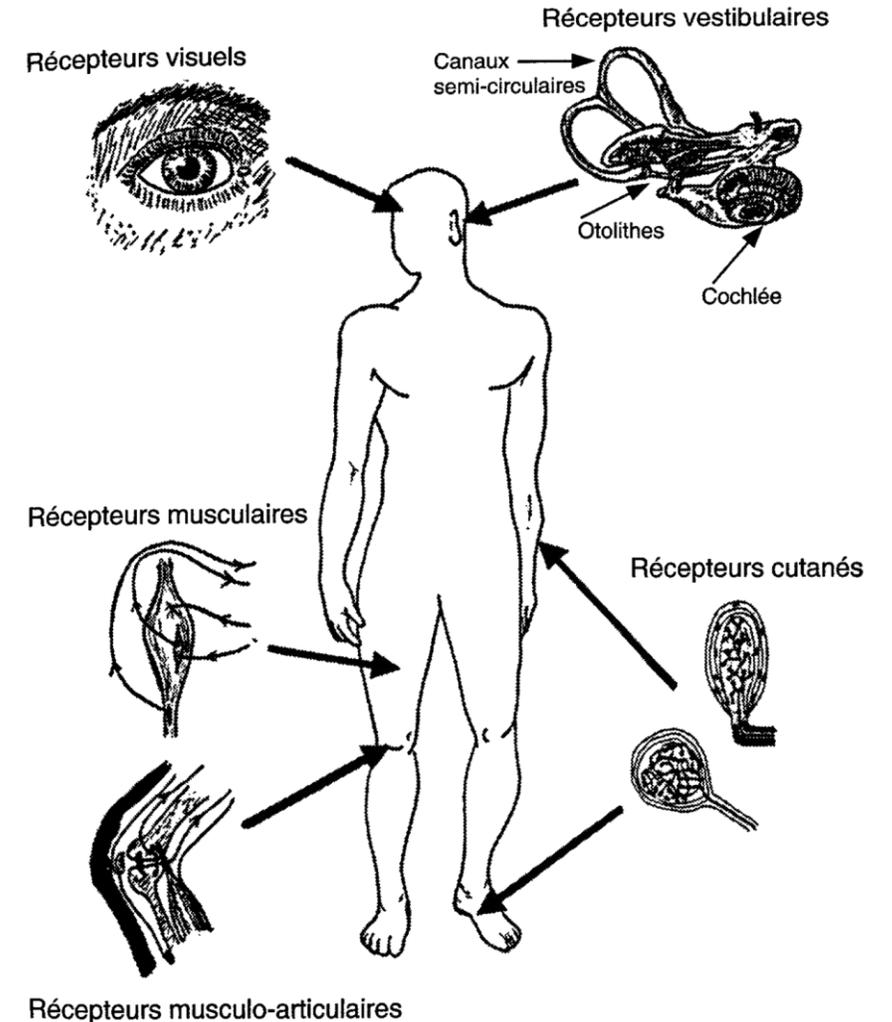
Rôle important dans l'équilibration (+ que vision centrale)  
Position de la tête par rapport à l'environnement

### Récepteurs proprioceptifs et cutanés

Muscles, tendons, capsules articulaires et peau  
Sensibilité à la position (statesthésie)  
Sensibilité au mouvement (kinesthésie)

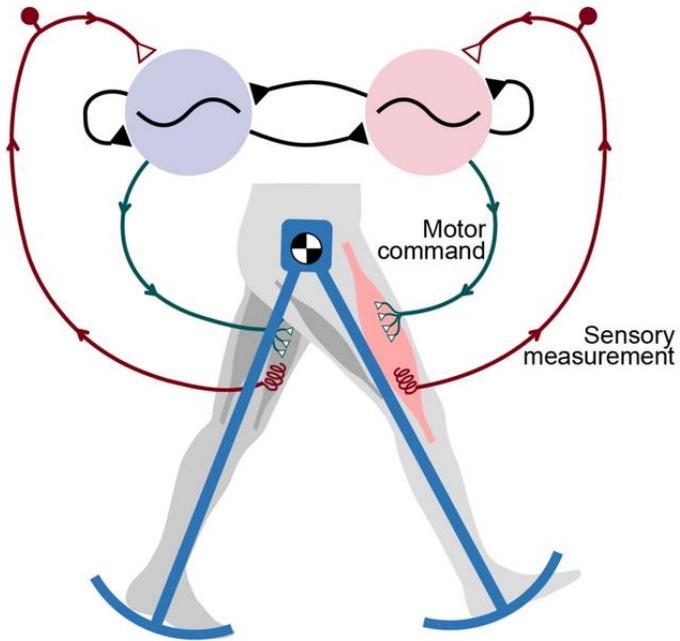
### Appareil vestibulaire

Sensibilité aux accélérations angulaires (canaux semi-circulaires), et linéaires (otolithes)



## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- « Central Pattern Generator » (CPG)  
*En français : Réseau locomoteur spinal*

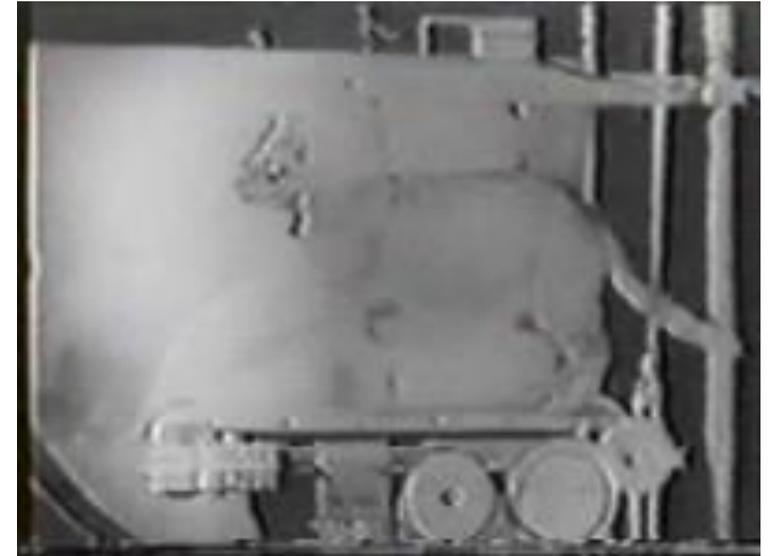


**Contractions musculaire  
rythmiques, déclenchées par  
une stimulation sensorielle**

→ Génère la locomotion

→ Mouvement quasi cyclique

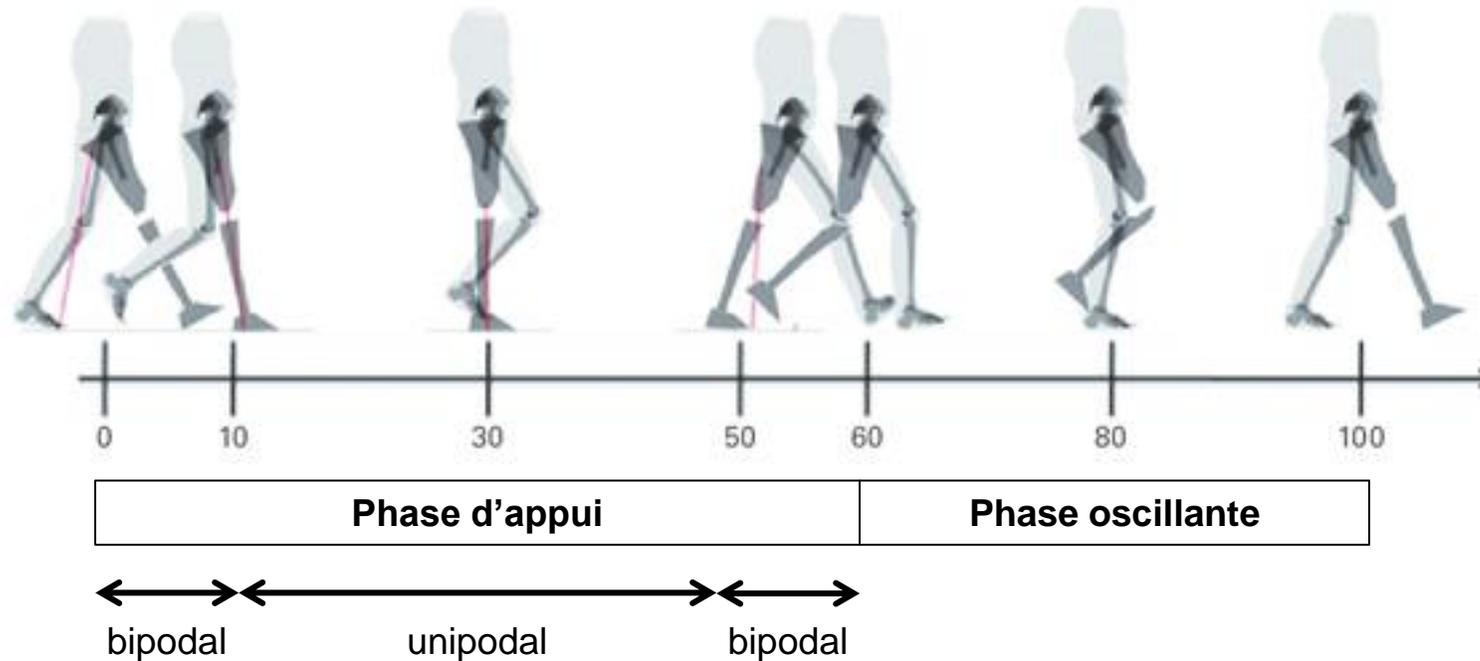
*Mis en évidence chez le chat  
par Serge Rossignol en 1986*



## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- Le cycle de marche

*Commence à l'attaque du talon au sol, se termine lorsque le même talon réattaque le sol à nouveau.*



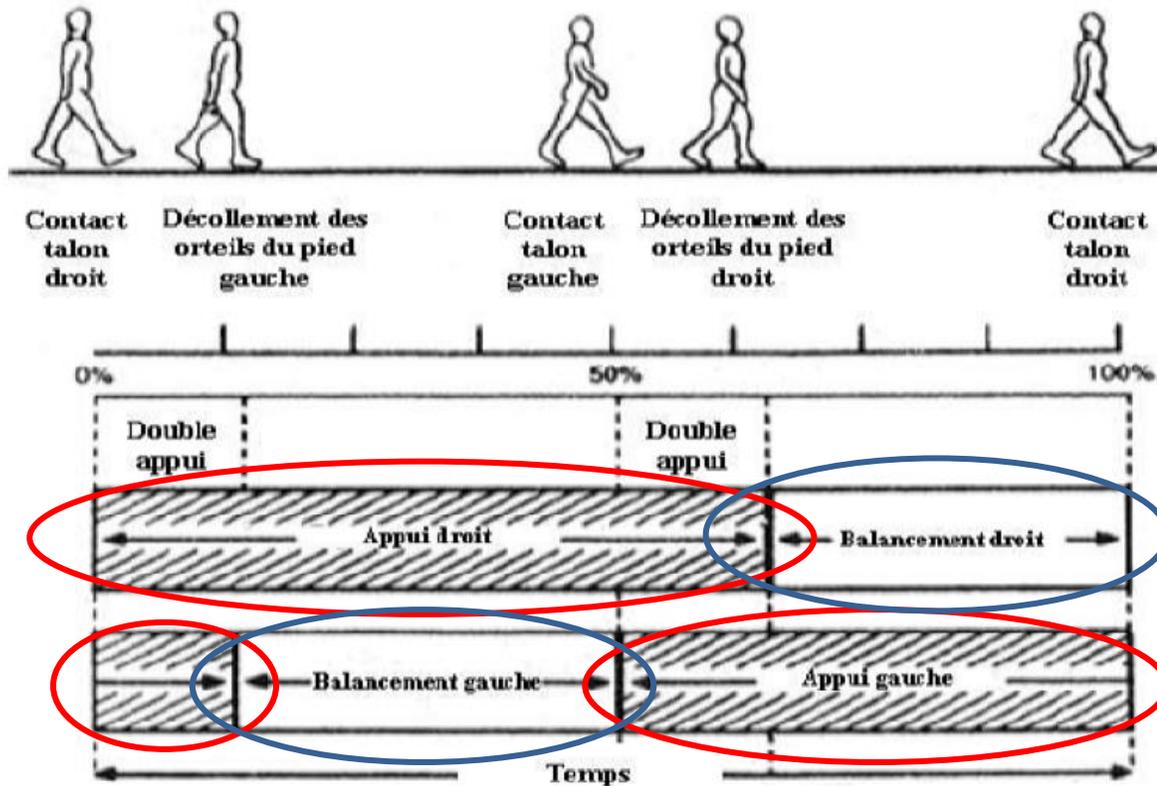
## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- Le cycle de marche

*La représentation spatiotemporelle décrit la succession des phases d'appui et de balancement (phase oscillante) lors d'un cycle de marche.*

→ Appui : 60%

→ Balancement : 40%



## 2. Contrôle et cinématique de la marche

### • Le cycle de marche

*Dans le plan sagittal, on peut analyser le mouvement de flexion/extension de la hanche, du genou et de la cheville.*

**De 0 à 15% :** Attaque du talon au sol. Hanche en légère flexion et rotation latérale, genou en légère flexion, cheville reste grossièrement à 90°.

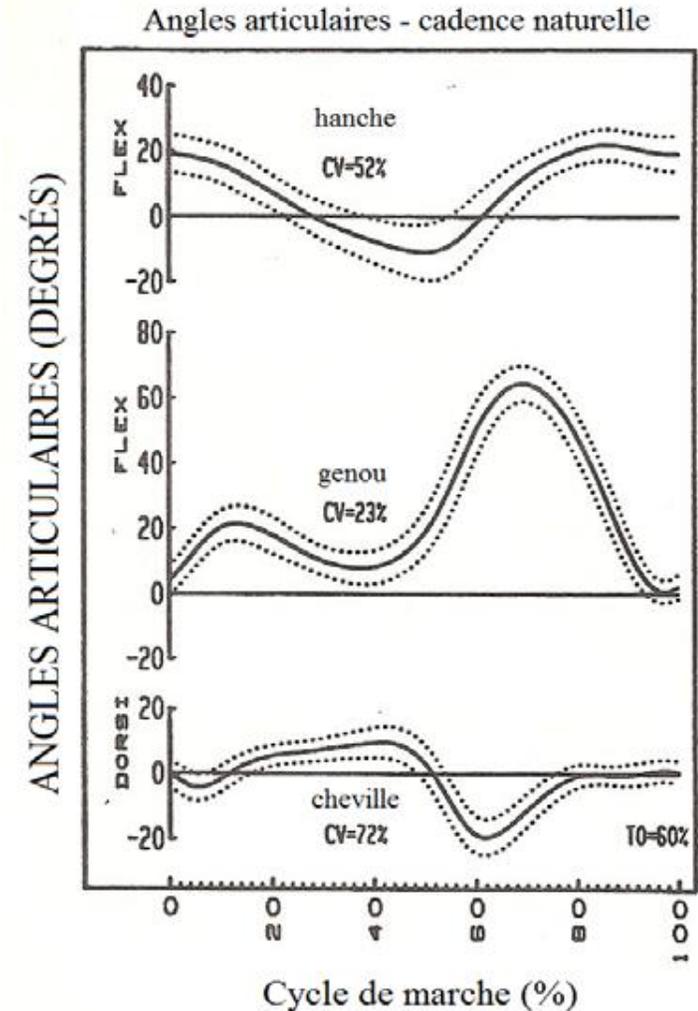
**De 15% à 40% :** Pied en plein contact au sol. La hanche se rapproche de la rectitude, le genou garde une légère flexion, la cheville reste neutre.

**De 40% à 50% :** Le talon décolle et le poids passe sur l'avant-pied. Hanche en légère extension et genou en légère flexion, la cheville reste neutre.

**De 50% à 60% :** Les orteils se décollent du 5 vers le 1. Hanche en rectitude, ou légère extension, genou en flexion, cheville en légère extension.

**De 60% à 75% :** Avancée du membre oscillant, nécessitant un raccourcissement maximal du membre afin de passer le pas.

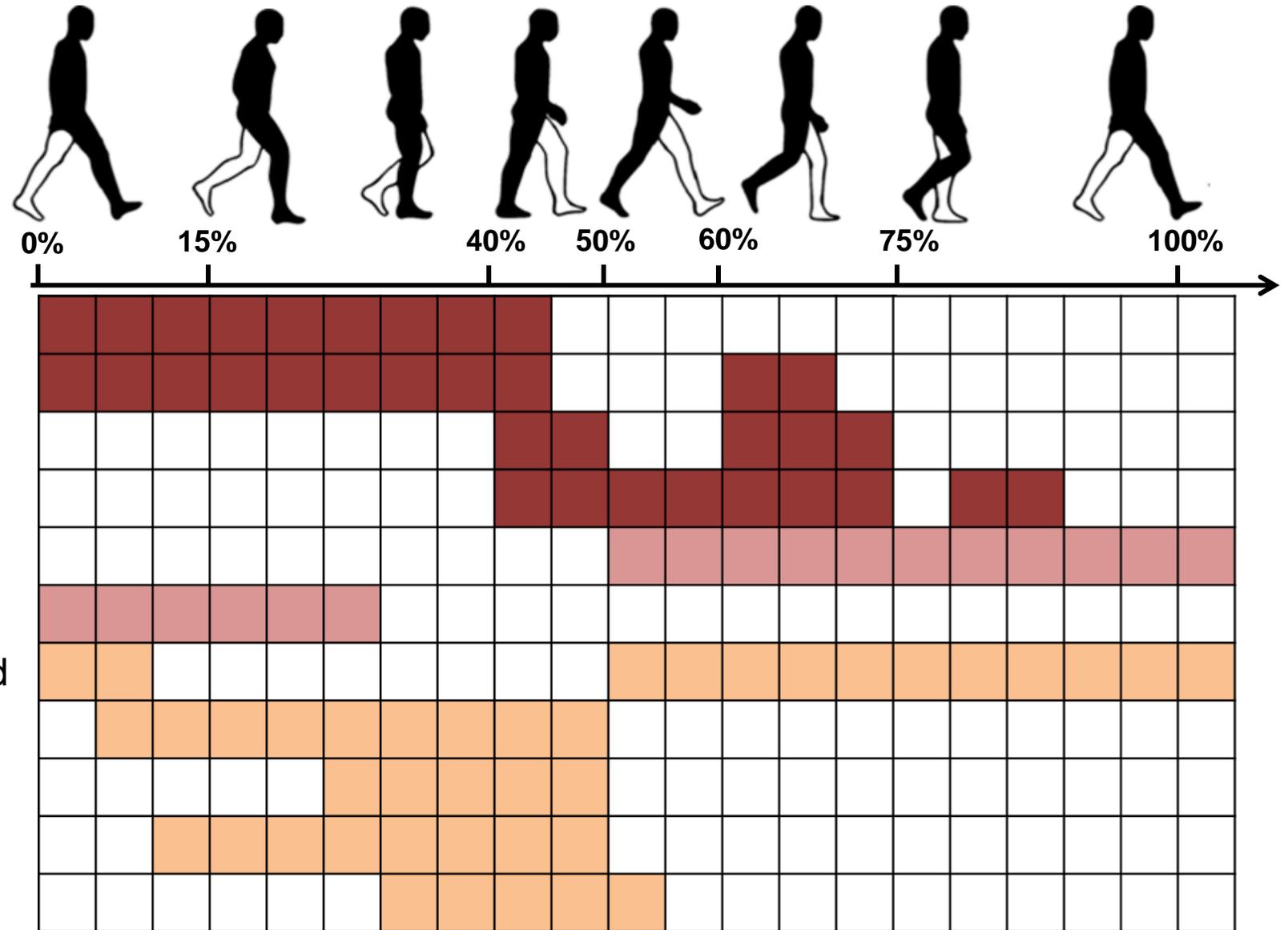
**De 75% à 100% :** Genou en extension afin d'allonger le pas. Hanche en flexion. La cheville reste en position neutre.



## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- Le cycle de marche

Activité musculaire

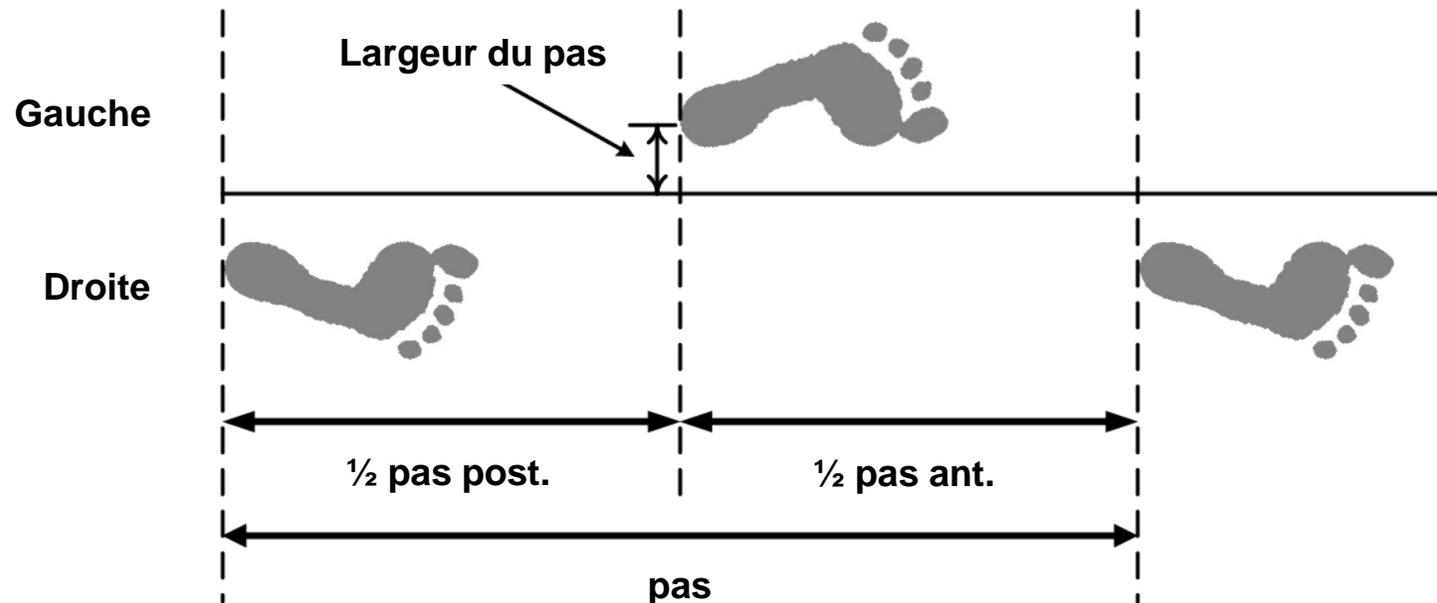


## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- Le cycle de marche

*Autre découpage pour l'analyse de la marche : les deux demi-pas*

*Utile pour la clinique, avec les paramètres spatio-temporels*



## 2. Contrôle et cinématique de la marche

- Et les bras ?

*Les ceintures pelviennes et scapulaires bougent en **opposition***

→ Balancier

→ Elan (course)

→ Propulsion (marche nordique)



# 3. Evaluation de la marche

- **Qualitative**

Interrogatoire : historique de chute, périmètre de marche, fatigue, confiance, retentissement dans la vie quotidienne ...

Observation : Symétrie des pas, équilibre, coordination, boiteries, opposition des ceintures (ballant des bras), aides techniques, double tâche ...

- **Evaluations cliniques**

TM6, TM10, TUG, ...

- **Et évaluations biomécaniques !**

Tapis baropodométrique, Analyse vidéo (avec éventuellement plateforme de force), Electromyographie de surface (EMG), Accéléromètres (podomètres, capteurs de foulée, smartphones...)

*... et même imagerie cérébrale ! (fNIRS)*



# 3. Evaluation de la marche

- Les paramètres spatio-temporels

Les PST peuvent être obtenus directement à partir de tapis baropodométriques (GaitRite, Zeno)

Le cycle de marche est associé à :

- La longueur de pas notée  $L_{pas}$
  - La fréquence de pas notée  $F_{pas}$
- $\Rightarrow V = L_{pas} \times F_{pas}$

Si la vitesse de marche augmente :

- $L_{pas}$  augmente linéairement avec la vitesse de marche.
- $F_{pas}$  augmente également.
- La durée de la phase d'appui diminue.

→ La disparition de la phase de double appui définit la transition entre la marche et la course.



### 3. Evaluation de la marche

- **Les paramètres spatio-temporels**  
sans tapis baropodométrique ?

Avec des centrales inertielles (accéléromètre + gyroscope)

→ contenues dans vos smartphones

→ podomètres

→ capteurs de cadence



*Zhong and Rau 2020*

→ Estimation des PST (encore en phase de test pour la clinique)

→ Quelques solutions développées pour les sportifs

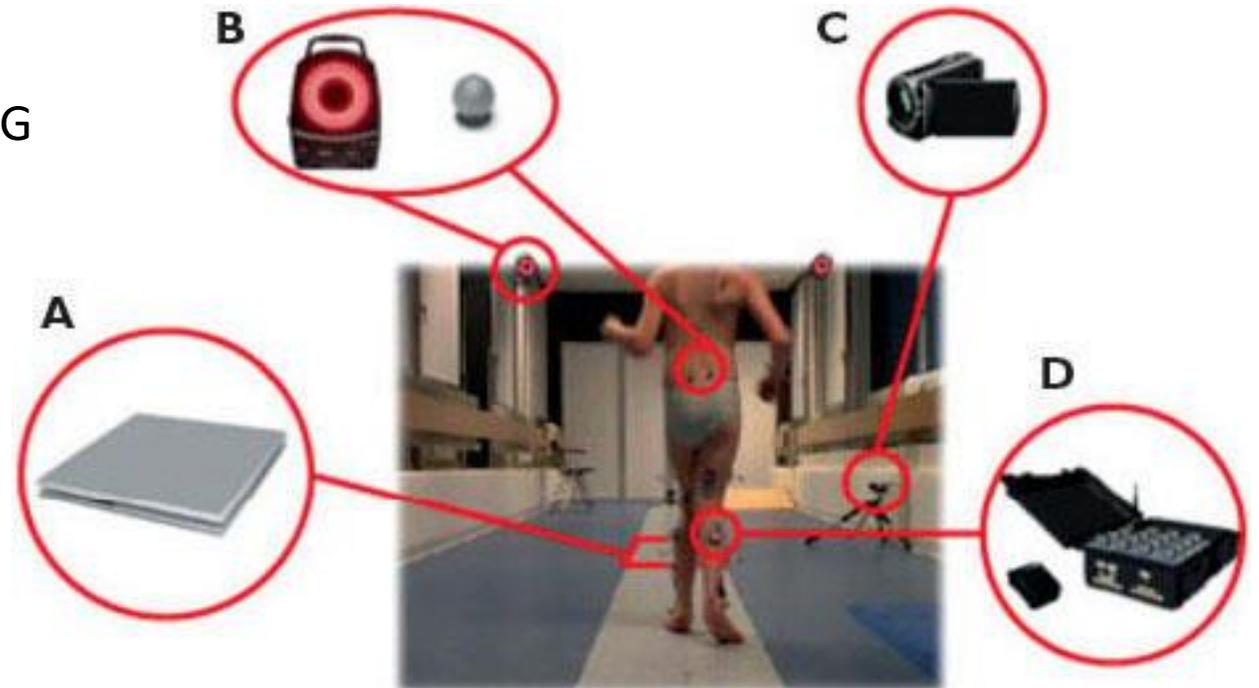


# 3. Evaluation de la marche

- Les paramètres spatio-temporels  
et bien plus !

Avec l'analyse vidéo 2D et 3D du mouvement,  
couplée à une plateforme de force et à de l'EMG

**RDV au CM3 !**



*Armand et al., 2015*



## 4. Interprétation, et lien avec la clinique

Une pathologie peut entraîner des perturbations dans la marche telles que :

- Une augmentation/diminution de la durée des phases d'appui
- Une diminution/perte du pas postérieur
- Une asymétrie des pas
- Une diminution de la vitesse de marche
  - par exemple :*
  - Vitesse de marche sujets sains : 1,1 à 1,4 m.s<sup>-1</sup>
  - Vitesse de marche de sujets hémiplegiques : 0,25 à 0,75 m.s<sup>-1</sup>
- Et une augmentation du coût énergétique + + +

Rôle du clinicien : **Restaurer** ou sauvegarder une marche efficiente et sans douleur



# 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- **Examen de la marche**

## Interrogatoire classique :

1. Préciser la date de début et le mode d'installation des troubles de la marche, ainsi que la plainte principale (douleur et sa relation avec l'effort, faiblesse, instabilité, **chute**, raideur, fatigue, appréhension...).
2. Relever le périmètre de marche, la possibilité de marcher sur différents types de terrains et de monter/descendre les escaliers. Préciser les aides techniques.
3. Evaluer le retentissement des troubles de la marche dans les activités de la vie quotidienne.

➔ **Quelles sont les demandes/attentes/objectifs du patient ?**

## Evaluation fonctionnelle :

- Echelles cliniques (TM6, TUG...)
- Force, Equilibre...



# 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 (voir CM/TP3)
- Dynamique (cf. Plateforme de force, tapis à capteurs de pression)
- Musculaire (cf. EMG)

- ➔ Identification des défauts de marche
- ➔ Dédution des causes probables de ces défauts (à partir des données cliniques)
- ➔ Orientation de l'intervention

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



## 4. Interprétation, et lien avec la clinique

- **Avec le tapis baropodométrique**

- évaluer la vitesse de marche  
(normale ou diminuée) ;
- évaluer la régularité de la cadence  
(exemple : cadence irrégulière avec embardées si syndrome cérébelleux) ;
- évaluer le déroulé et la longueur du pas  
(exemple : longueur du pas diminuée si syndrome parkinsonien) ;
- rechercher un élargissement du polygone de sustentation  
(le plus souvent syndrome cérébelleux) ;
- évaluer la symétrie des pas  
(exemple : défaut des stabilisateurs de hanche d'un côté)
- pied : attaque par la pointe en début de la phase d'appui  
(pouvant correspondre à un équin fixé de cheville, une spasticité du triceps sural ou un steppage)



## 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

