

**FACULTE DE MEDECINE IBN EL JAZZAR DE SOUSSE**  
**LABORATOIRE D'ANATOMIE**

# **BIOMÉCANIQUE ET ANALYSE DE LA MARCHE**

**Dr MAAREF Khaled**

**2<sup>ème</sup> Année Médecine**

# INTRODUCTION:

**La marche :**

**Succession contrôlée de chutes.**

# INTRODUCTION:

## La marche:

- Elle est définie comme la **translation** de l'ensemble du corps humain, consécutive à des mouvements de **rotations segmentaires**.

# INTRODUCTION:

## La marche:

- C'est une activité **apprise**, intégrée de manière **automatique**.
- Elle résulte d'une activité **alternée** des deux membres pelviens, assurant à la fois **le maintien de l'équilibre** (stabilité) et la **propulsion** (instabilité).

# INTRODUCTION:

Les troubles de la marche peuvent avoir de nombreuses origines: neurologiques, musculaires, ostéo-articulaires... Il paraît donc nécessaire d'étudier la biomécanique de la marche normale pour comprendre les mécanismes de ces troubles.

# TERMINOLOGIE

**Appui unipodal** : durée pendant laquelle un seul pied est en contact avec le sol. Dans la marche, elle est égale à la durée d'oscillation du pied controlatéral.

**Double appui** : durée pendant laquelle les deux pieds sont simultanément en contact avec le sol.

**Centre de pression** : point d'application sur lequel s'applique la résultante des forces de réaction au sol.

# TERMINOLOGIE

**Contact initial** : instant dans le cycle de marche, où le pied effectue le premier contact avec le sol ; il représente le début de la phase d'appui.

**Contact terminal** : instant où le pied quitte le sol

# TERMINOLOGIE

**Pas (stride):** distance entre deux événements successifs (contact initial par ex) du même pied. **c'est la distance parcourue pendant un cycle de marche.**

**Demi-Pas (step):** compris entre un point de contact avec le sol d'un pied et le point de contact de l'autre pied (controlatéral).

# **BIOMECHANIQUE DE LA MARCHE**

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

- La marche se divise en plusieurs cycles. Chaque cycle est répété de manière périodique et automatique.
- Le membre pelvien droit, constitue le membre de référence.
- L'analyse de la marche permet de décrire la trajectoire des différents segments des membres pelviens.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

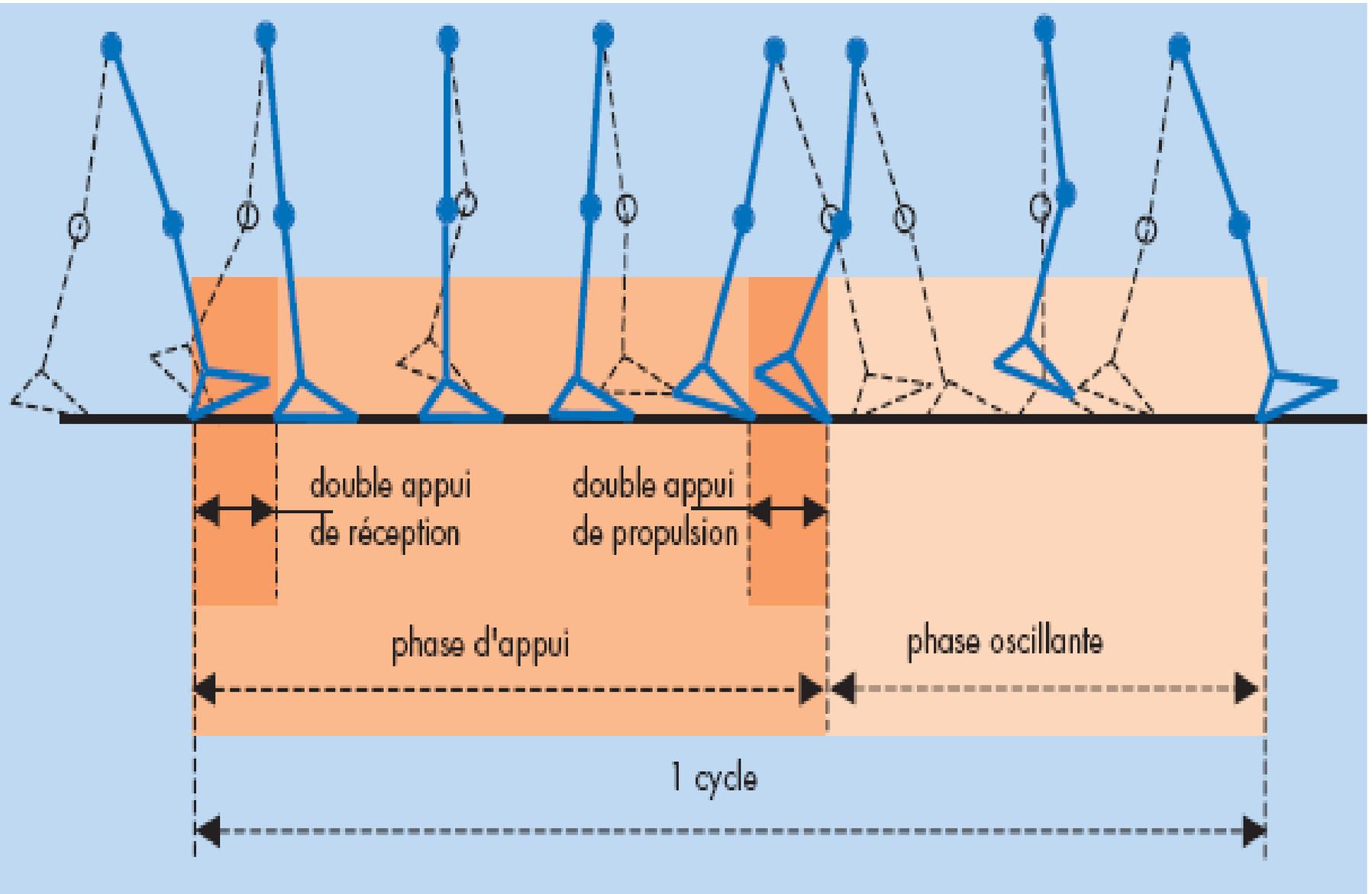
- Le cycle est défini comme la période de temps s'écoulant entre deux événements successifs d'un même pied, il est donc composé d'un pas.
- Afin de comparer la marche de plusieurs sujets, ce cycle a été normalisé en pourcentage de sa durée totale.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

Deux phases se dégagent lors de l'étude du cycle de la marche :

- la phase d'appui
- la phase oscillante ou pendulaire.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

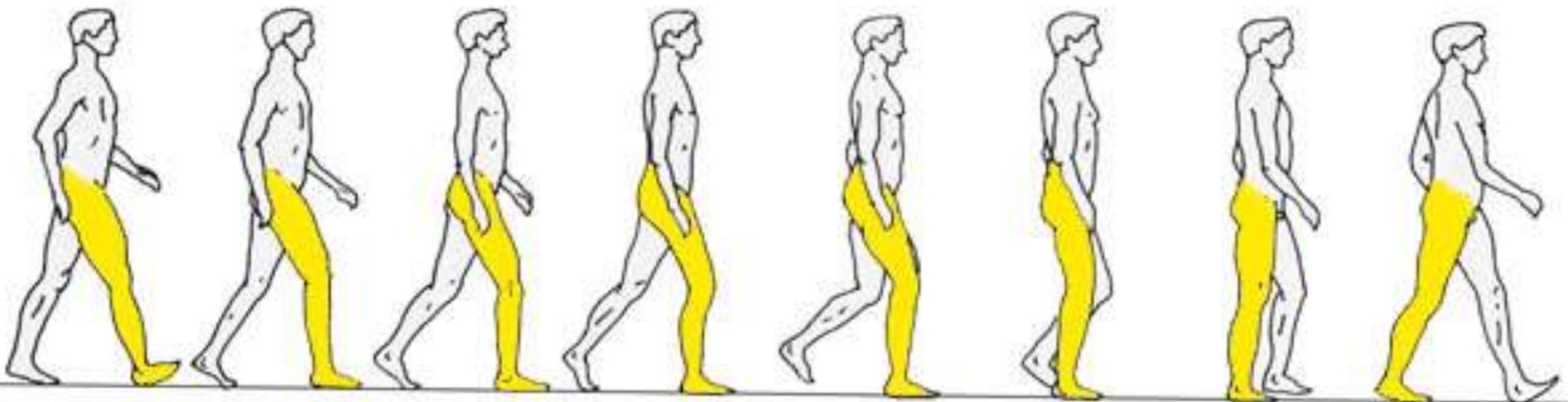
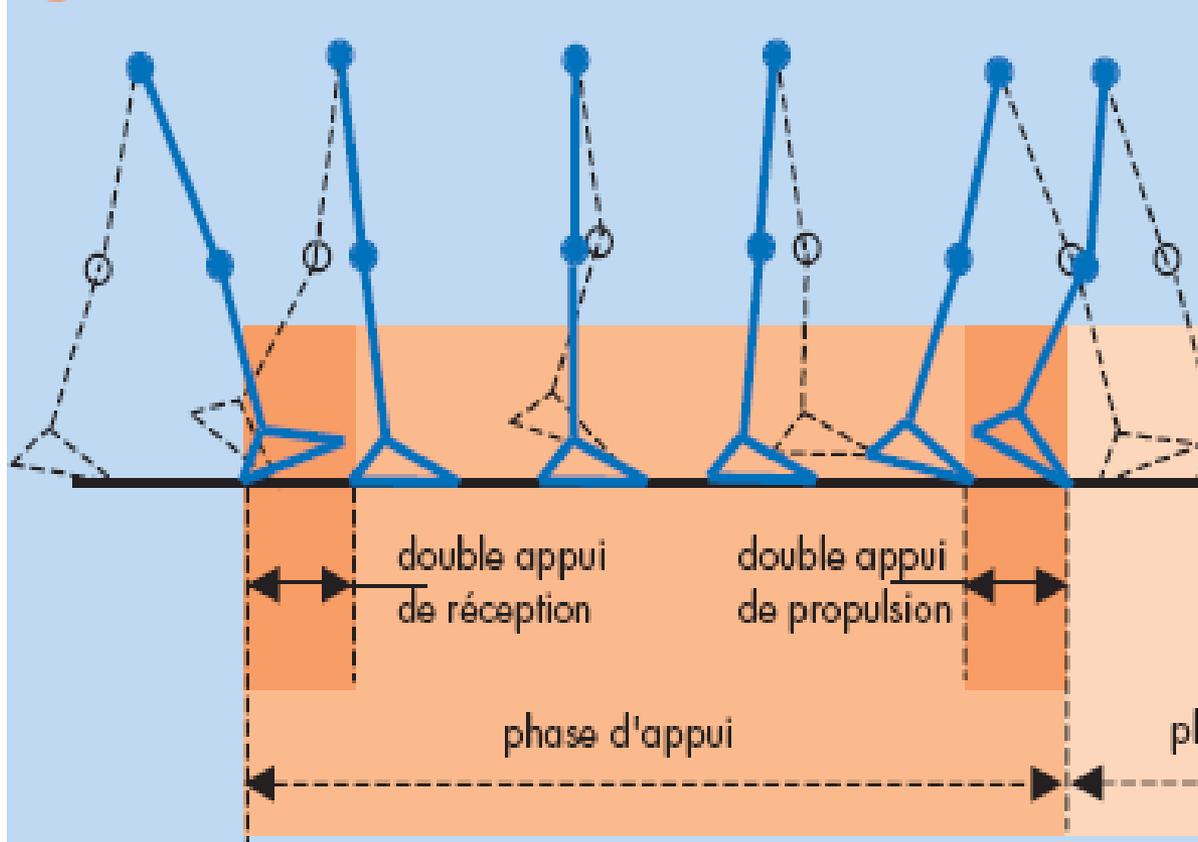
## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

- C'est la période pendant laquelle le pied est en contact avec le sol, elle débute par le contact initial (CI). Elle représente 60% du cycle de marche.

- La phase d'appui est divisée en trois sous-phases :

- 1- Double appui de réception
- 2- Appui unipodal
- 3- Double appui de propulsion



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 1- Double appui de réception ou réponse à la charge (RC)

- phase initiale de l'appui.
- compris entre le contact initial (CI) et 10 % du cycle de marche (CM).
- période de freinage. (Le membre droit qui passe d'arrière en avant va maintenant recevoir tout le poids du corps).

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

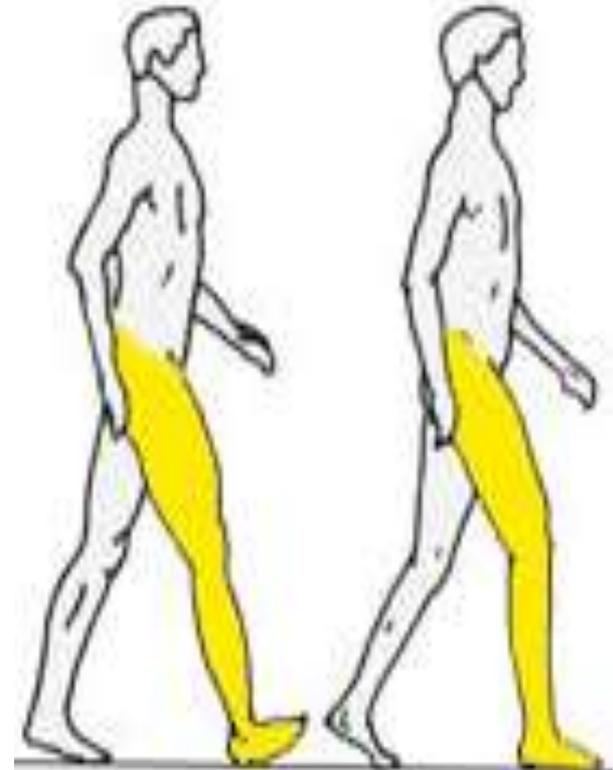
## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 1- Double appui de réception ou réponse à la charge (RC)

*Dans le plan sagittal :*

- Le choc est amorti par la flexion de la hanche et du genou droits.
- Le talon attaque le sol.
- Le pied est en flexion dorsale.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 1- Double appui de réception ou réponse à la charge (RC)

##### *Dans le plan frontal :*

- L'ensemble du tronc bascule du côté du membre recevant le poids du corps.
- Augmentation d'appui sous la tête de M5 par supination du pied

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 1- Double appui de réception ou réponse à la charge (RC)

##### *Dans le plan horizontal :*

- Le bassin tend à passer de la position oblique à la position transverse.
- La ceinture scapulaire subit un mouvement inverse.
- La hanche est au maximum de rotation externe

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 1- Double appui de réception ou réponse à la charge (RC)

*Dans le plan horizontal :*



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 2- Appui unipodal

- compris entre 10% et 50% du cycle de la marche.
- divisé en deux événements :
  - + milieu appui unipodal (appui médian)
  - + fin d'appui unipodal

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

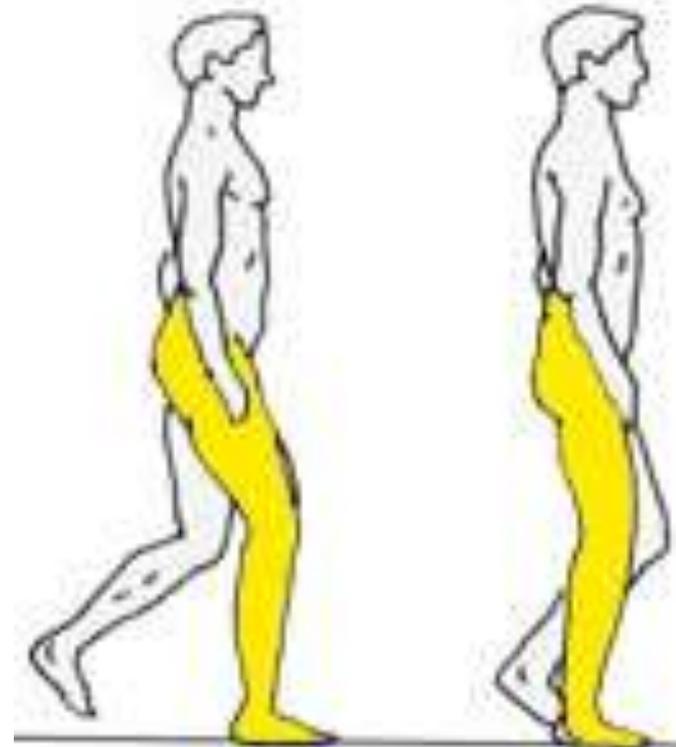
## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 2- Appui unipodal

#### *+ Milieu d'appui unipodal*

- compris entre 10 et 30% du CM.
- le pied controlatéral (en phase d'oscillation) reste derrière le pied en phase d'appui.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

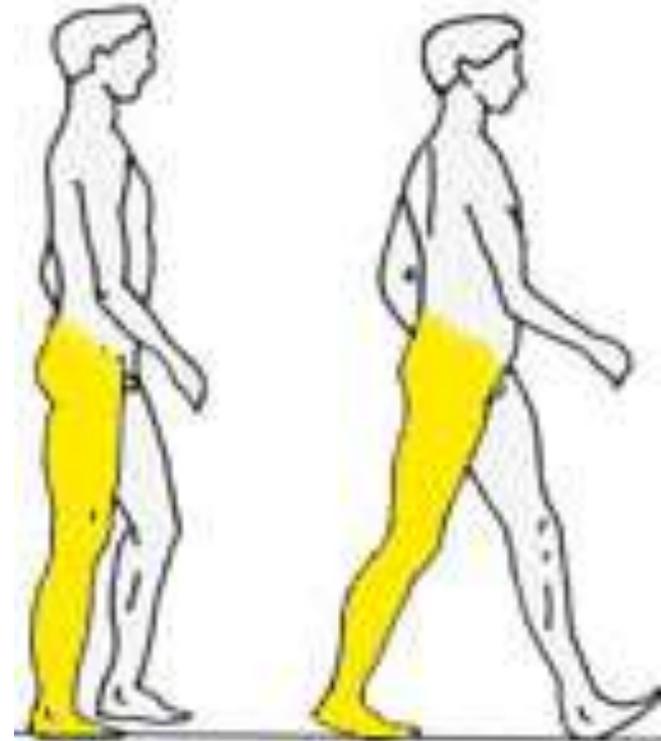
## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 2- Appui unipodal

#### *+ Fin d'appui unipodal*

- intervient de 30% à 50% du CM.
- le pied controlatéral (en phase d'oscillation) passe devant le pied en phase d'appui.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 2- Appui unipodal

##### *Dans le plan sagittal*

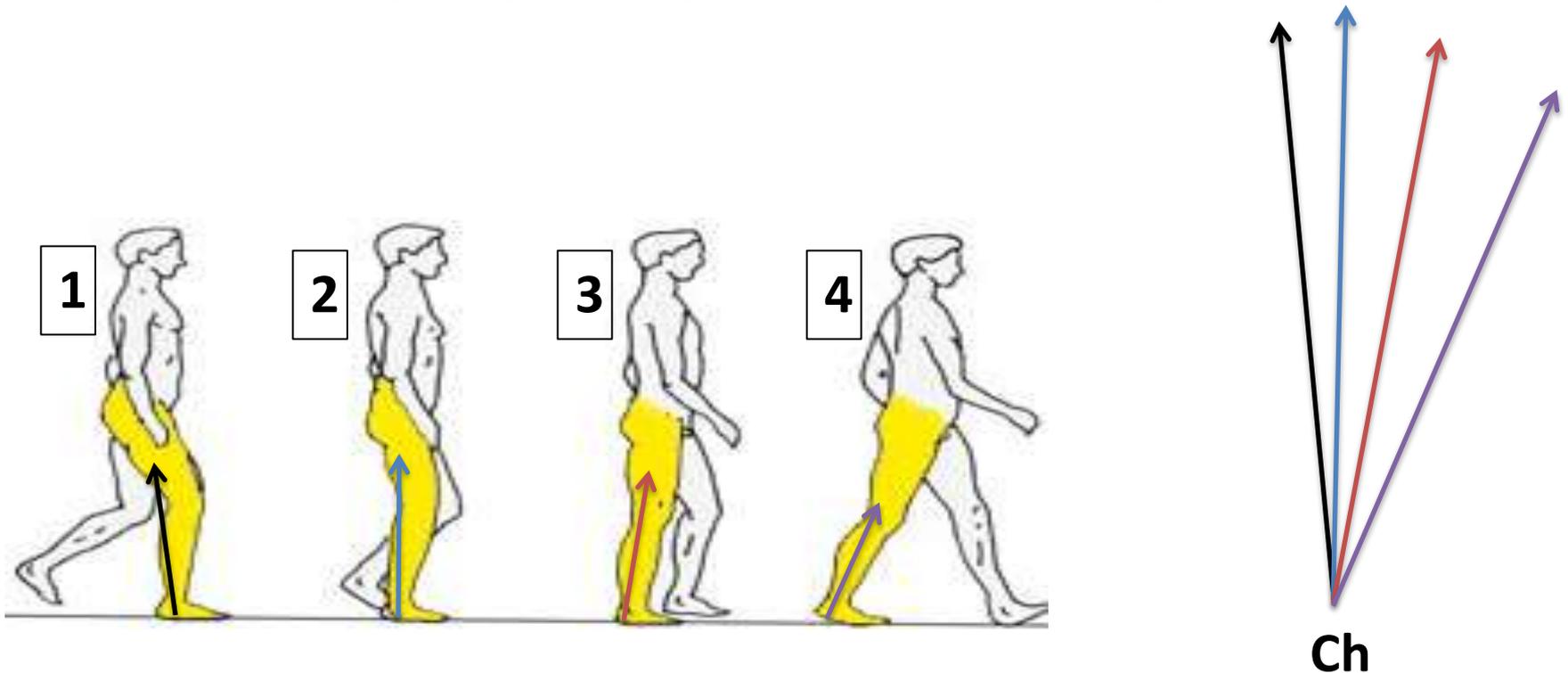
- Avancement du CG du corps **autour de la cheville** du pied portant.
- La hanche fléchie au début de cette période va se redresser et ensuite s'étendre.
- Le genou se fléchit et ensuite se redresse.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## 2- Appui unipodal

*Dans le plan sagittal*

Avancement du CG du corps **autour de la cheville (Ch)**  
du pied portant pendant l'**appui unipodal**.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 2- Appui unipodal

##### *Dans le plan frontal :*

- Le bassin s'incline du côté oscillant tandis que l'épaule s'incline du côté portant.
- Le maximum de divergence entre les deux ceintures est atteint lorsque toute la surface plantaire touche le sol.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 2- Appui unipodal

##### *Dans le plan horizontal :*

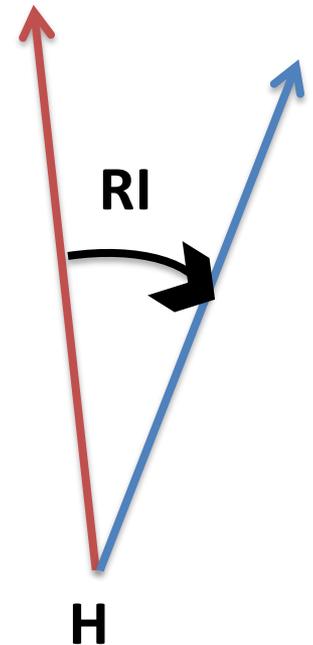
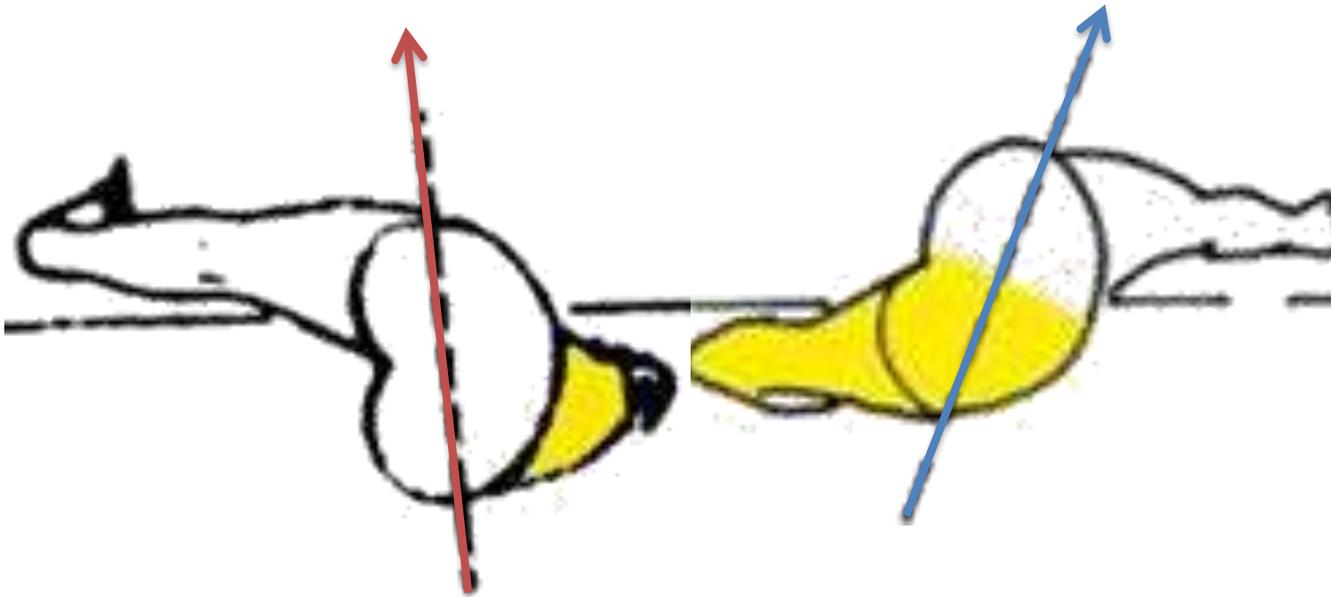
- La hanche produit une rotation interne (du cotyle sur la tête fémorale) ramenant Le bassin de la position transverse à la position oblique.
- La ceinture scapulaire subit un déplacement inverse à celui du bassin.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## 2- Appui unipodal

*Dans le plan horizontal*

Rotation interne de la hanche portante



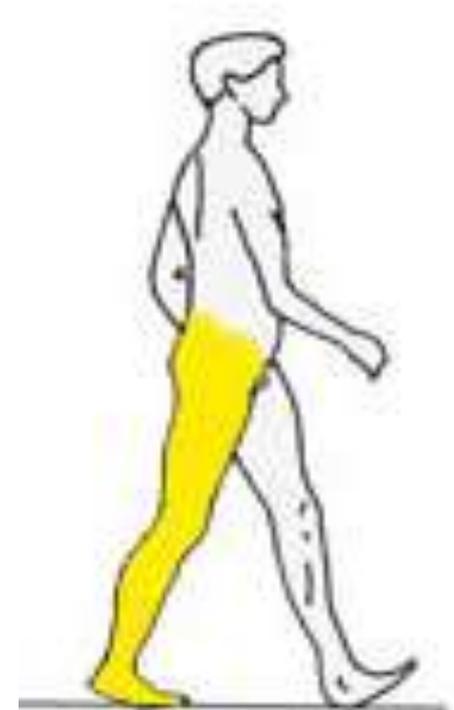
# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 3- Double appui de propulsion ou pré phase oscillante

- s'écoule de 50 à 60% du CM.
- Le membre arrière est **propulseur**, il va assurer la progression de l'individu vers l'avant.
- Progressivement, le talon quitte le sol, puis le gros orteil se décolle à son tour marquant la fin de la phase d'appui



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

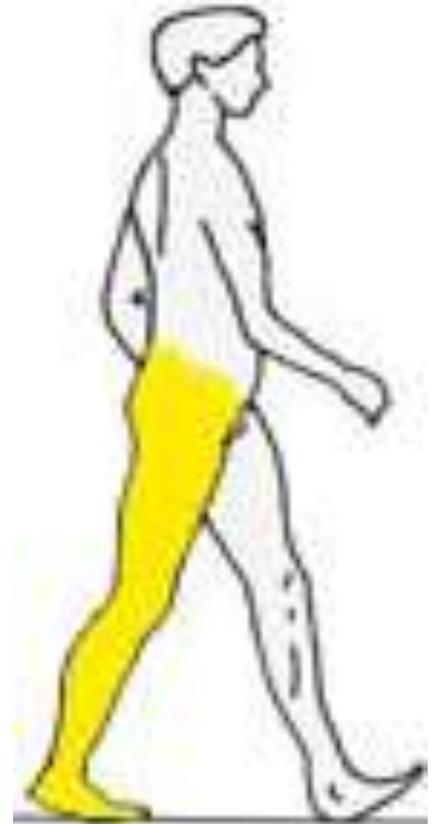
## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 3- Double appui de propulsion ou pré phase oscillante

*Dans le plan sagittal:*

- La hanche est en extension maximale
  - Le genou se fléchit
  - La tibio-tarsienne subit une flexion plantaire
- l'appui se fait sous la tête du premier métatarsien  
A la fin de cette phase la cheville est en flexion plantaire maximale.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 3- Double appui de propulsion ou pré phase oscillante

##### *Dans le plan frontal:*

- Le pied qui était primitivement en supination passe après le décollement du talon en pronation qui fait passer les charges globales de l'avant pied à la tête du premier métatarsien.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### A- LA PHASE D'APPUI :

#### 3- Double appui de propulsion ou pré phase oscillante

##### *Dans le plan Horizontal*

- Les mouvements du tronc et de la ceinture scapulaire accompagnent la progression.
- La hanche est au maximum de rotation interne.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

- C'est la période pendant laquelle le pied n'est pas en contact avec le sol
- Elle représente **40%** du cycle de marche.
- Le membre pelvien dégagé du sol passe sous le tronc, genou fléchi, afin de venir chercher le sol devant le marcheur.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

Cette phase est divisée également en **3 sous-phases** :

- Oscillation initiale
- Oscillation intermédiaire
- Oscillation finale

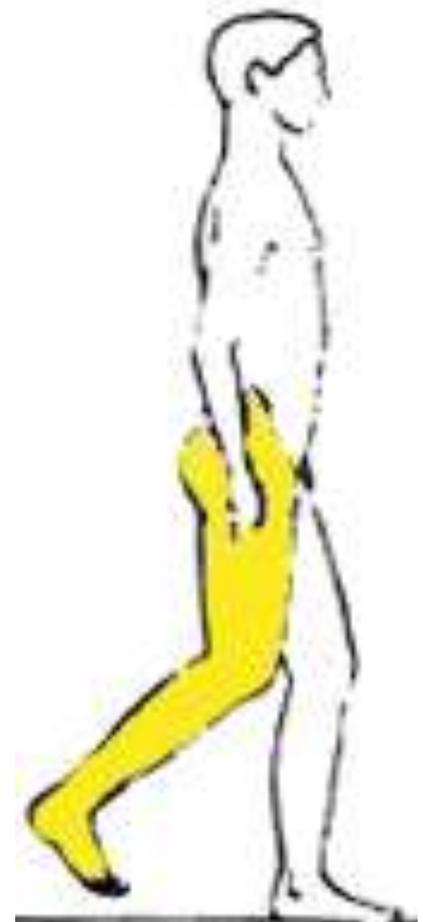
# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### 1- Oscillation initiale

- Commence dès que le pied a quitté le sol
- s'étale de 60% jusqu'à 75% du CM.



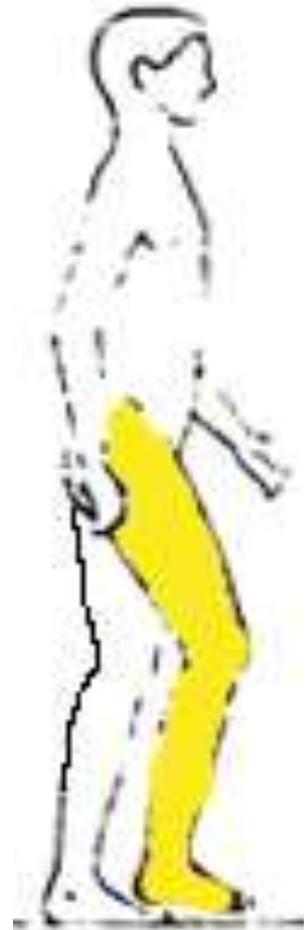
# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### 2- Oscillation intermédiaire

- le pied passe à la verticale du corps
- s'étale de 75 à 85% du CM.
- Cet instant coïncide avec l'appui médian du pied controlatéral.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### 3- Oscillation finale

- Le membre oscillant est ralenti
- Après la décélération, le pied se stabilise pour préparer le prochain cycle.



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

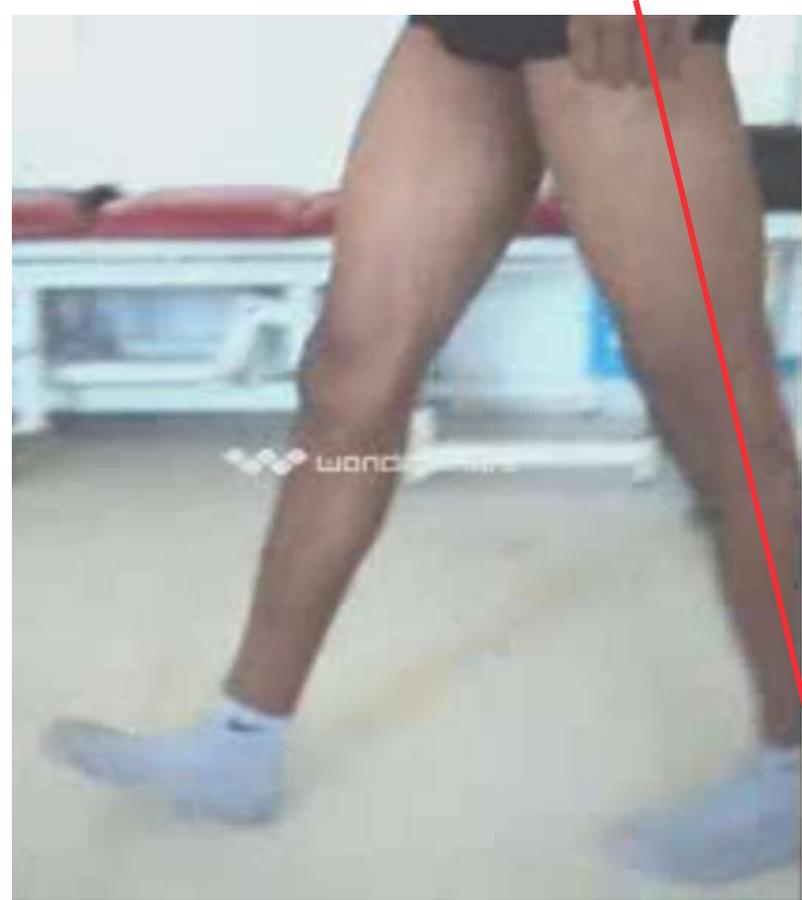
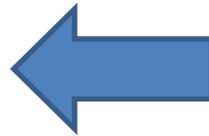
### B- LA PHASE D'OSCILLATION

*Dans le plan sagittal:*

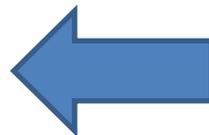
- le pied se relève grâce à la flexion dorsale de la cheville
- le genou se fléchi.



**Flexion du Genou et  
du pied**



**Extension du Genou**



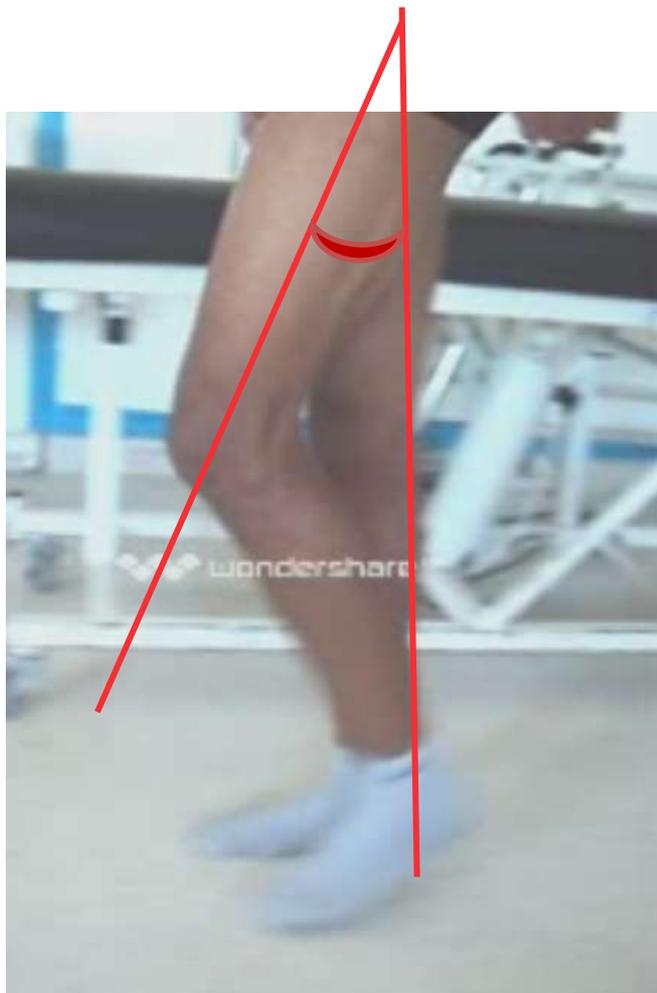
# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

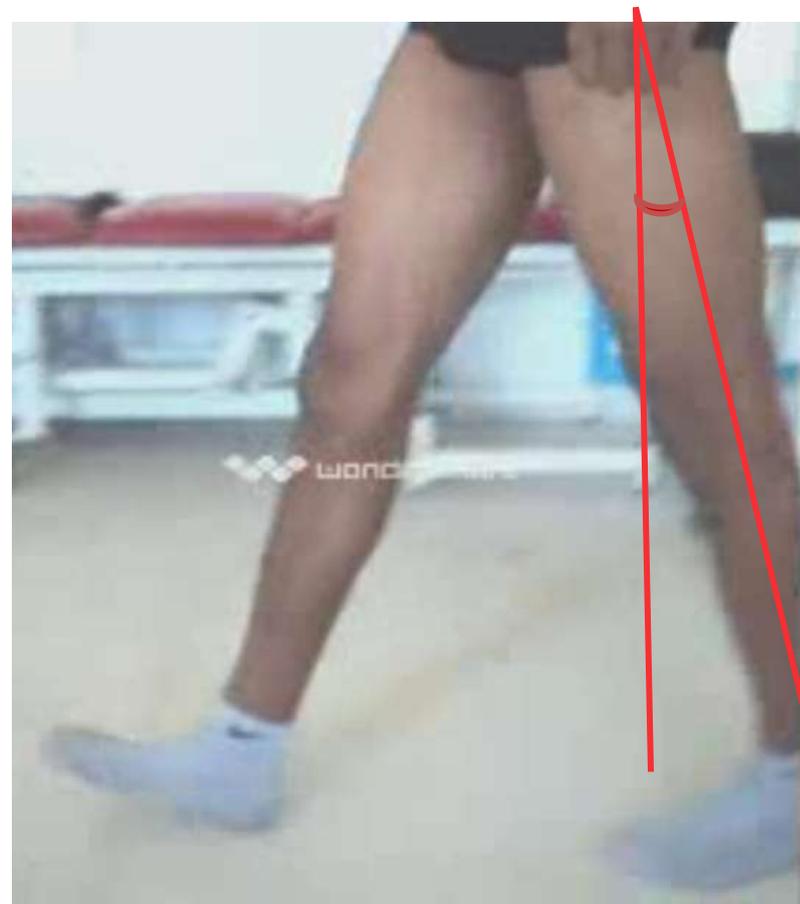
### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### *Dans le plan sagittal:*

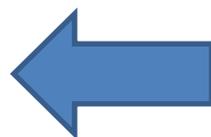
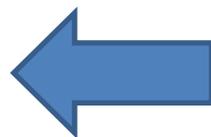
- le pied se relève grâce à la flexion dorsale de la cheville
- le genou se fléchi.
- La hanche qui était en extension, va subir une flexion qui va porter le membre oscillant à la verticale puis en avant en croisant le membre pelvien portant.



**Flexion de la Hanche**



**Extension de la Hanche**



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### *Dans le plan sagittal:*

- L'accrochage de la pointe du pied sur le sol est évité par le raccourcissement du membre oscillant.
- Une paralysie des muscles releveurs du pied, une hypertonie quadricipitale ou un déficit des fléchisseurs de la hanche vont empêcher ce raccourcissement et être à l'origine de compensations qui vont permettre le passage du pas au prix d'une modification du schéma de la marche

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

*Dans le plan sagittal:*

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### *Dans le plan frontal:*

- Il existe un léger abaissement de l'épine iliaque du membre oscillant qui entraîne une obliquité du bassin.
- Au niveau de la ceinture scapulaire s'exerce une obliquité inverse.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PHASES DU CYCLES DE MARCHÉ

### B- LA PHASE D'OSCILLATION

#### *Dans le plan horizontal:*

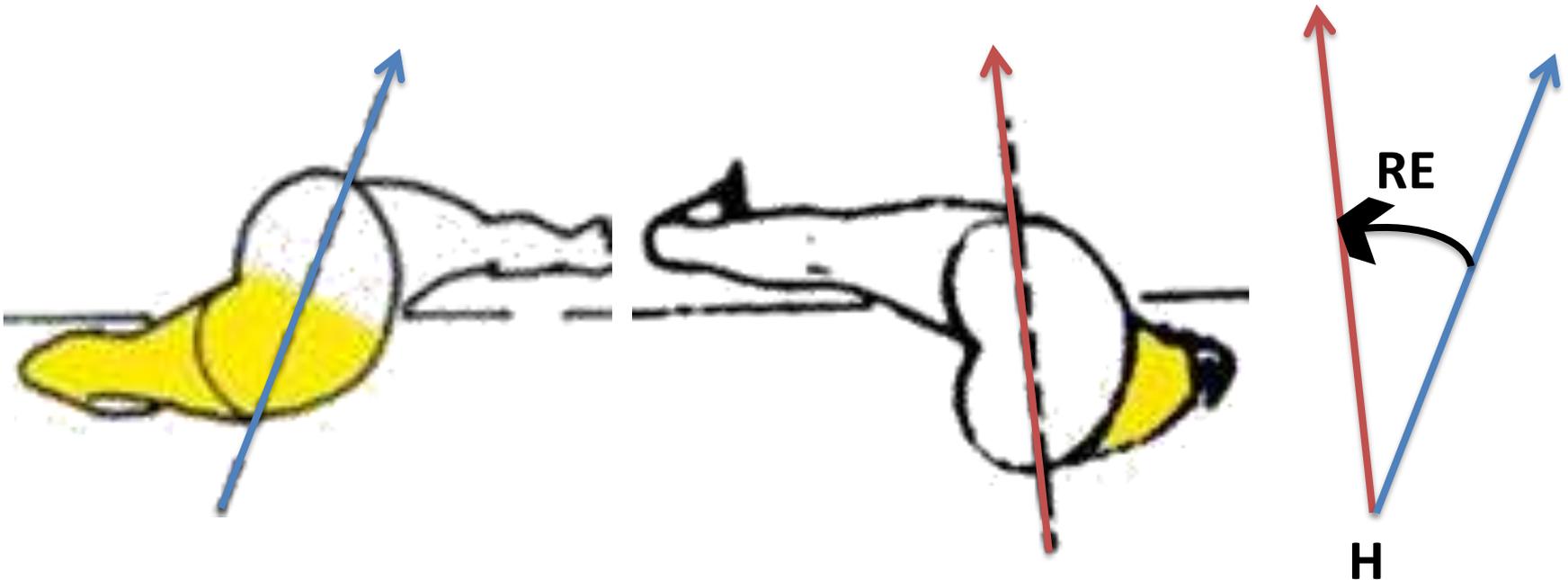
- Le bassin passe d'une obliquité à l'autre, en effectuant une rotation externe qui fait passer La hanche du membre oscillant en avant
- La ceinture scapulaire subit le mouvement inverse.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## 2- Phase d'oscillation

*Dans le plan horizontal*

Rotation externe de la hanche oscillante



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### A- PARAMÈTRES SPATIO-TEMPORELS :

La longueur moyenne du Pas (cycle marche)

- en moyenne : 1,5 m en vitesse de confort.
- fortement corrélée à
  - + la longueur des membres pelviens
  - + la vitesse de marche
  - + l'âge et le sexe du sujet.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### A- PARAMÈTRES SPATIO-TEMPORELS :

La largeur du pas :

- Ecartement des talons au cours de la marche.
- Comprise entre 8 et 12 cm pour les adultes.

L'angulation du pas ou du pied à l'attaque du talon :

- la plupart des marcheurs ont le pied en rotation externe entre  $0^\circ$  et  $20^\circ$

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### A- PARAMÈTRES SPATIO-TEMPORELS :

La cadence :

- Nombre de  $\frac{1}{2}$  pas par minute.
- Corrélée au sexe, à l'âge, à la taille et à la vitesse du sujet.
- Une marche lente donne une cadence de 45 à 65  $\frac{1}{2}$  pas/min, une vitesse modérée de 72 à 102  $\frac{1}{2}$  pas/min et une marche rapide de 114 à 132  $\frac{1}{2}$  pas/min.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### A- PARAMÈTRES SPATIO-TEMPORELS :

La vitesse de marche (en m/s) :

- En moyenne aux alentours de 4,5 km/h elle correspond alors à la vitesse de confort, c'est-à-dire à la vitesse qui a le meilleur rendement énergétique.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATIQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

C'est l'analyse de la **variation angulaire** comprise **entre les deux segments** définissant l'articulation étudiée au cours des différentes phases du cycle de la marche.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 1- Articulation Coxo-fémorale :

##### Mouvements de Flexion / Extension

- La hanche réalise un mouvement d'**extension** pendant la **phase d'appui** et un mouvement de **flexion** pendant la **phase oscillante**.
- Elle atteint son extension maximale peu avant la fin de la phase d'appui et son pic de flexion à la moitié de la phase oscillante.
- L'angle de flexion, lors de l'attaque du talon, est en moyenne de 40°.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 1- Articulation Coxo-fémorale :

##### Mouvement de Rotation

- Au moment de l'attaque du talon avec le sol, la hanche est à environ 5° de rotation externe.
- A partir de cette position, l'articulation coxo-fémorale effectue une rotation interne pendant la phase d'appui.
- Elle effectue une rotation externe pendant la phase oscillante.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATIQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 2- Articulation du genou:

##### Mouvements de Flexion / Extension

2 pics de flexion et 2 pics d'extension au cours du CM.

- 1- 1<sup>er</sup> pic d'extension à l'attaque du talon (début du CM).
- 2- 1<sup>er</sup> pic de flexion correspond à la réponse à la charge (début PA)
- 3- 2<sup>ème</sup> pic d'extension a lieu au moment du décollement du talon. (fin de la PA unipodale)
- 4- 2<sup>ème</sup> pic de flexion au début de la phase oscillante (65°).

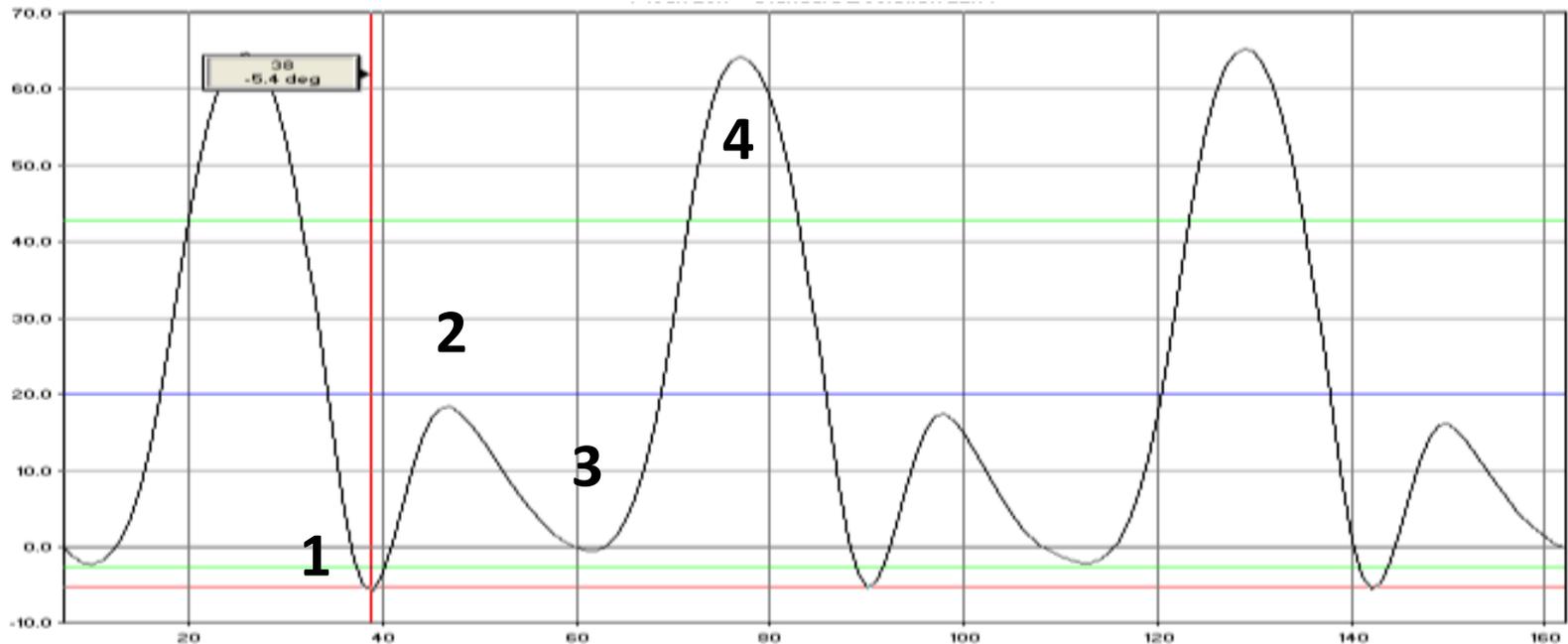
# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 2- Articulation du genou:

#### Mouvements de Flexion / Extension



# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATIKUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIKUE ARTICULAIRE :

#### 3- Articulation talocrurale:

##### Mouvements de Flexion / Extension

deux mouvements de flexion plantaire et de flexion dorsale durant un cycle.

- 1<sup>ère</sup> flexion plantaire (Juste après le contact initial) visant à ramener le pied à plat sur le sol.
- 1<sup>ère</sup> flexion dorsale permet le déplacement de la jambe vers l'avant .

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATIQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 3- Articulation talocrurale:

##### Mouvements de Flexion / Extension

- 2<sup>ème</sup> flexion plantaire qui augmente jusqu'à ce que le gros orteil se dégage du sol (fin PA)
- 2<sup>ème</sup> flexion dorsale, du début jusqu'à la fin de la phase oscillante.

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 4- Articulation sous talienne:

##### Mouvement de prono-supination :

- Après le contact initial la sous-talienne produit un varus responsable d'une supination du pied, Augmentant l'appui au niveau de l'arche externe du pied (sous le cinquième métacarpien).
- Au milieu de la phase d'appui se produit un valgus de la sous talienne responsable d'une pronation du pied transférant l'appui sous la tête de M1

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATIQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 5- Bassin

- Le mouvement de faible importance
- Se fait essentiellement dans le plan horizontal.
- Au moment du contact initial, le bassin est en rotation antérieure du côté du membre recevant le poids du corps

# BIOMECHANIQUE DE LA MARCHÉ

## LES PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MARCHÉ

### B- CINÉMATIQUE ARTICULAIRE :

#### 5- Bassin

- au cours de la phase d'appui, le bassin tend à passer de la position oblique à la position transverse qu'il atteint lorsque le membre oscillant croise le membre portant.
- Après le croisement des deux membres pelviens et vers la fin de la phase d'appui, le bassin réalise une rotation antérieure du côté du membre terminant son oscillation et devenant le membre recevant le poids du corps.

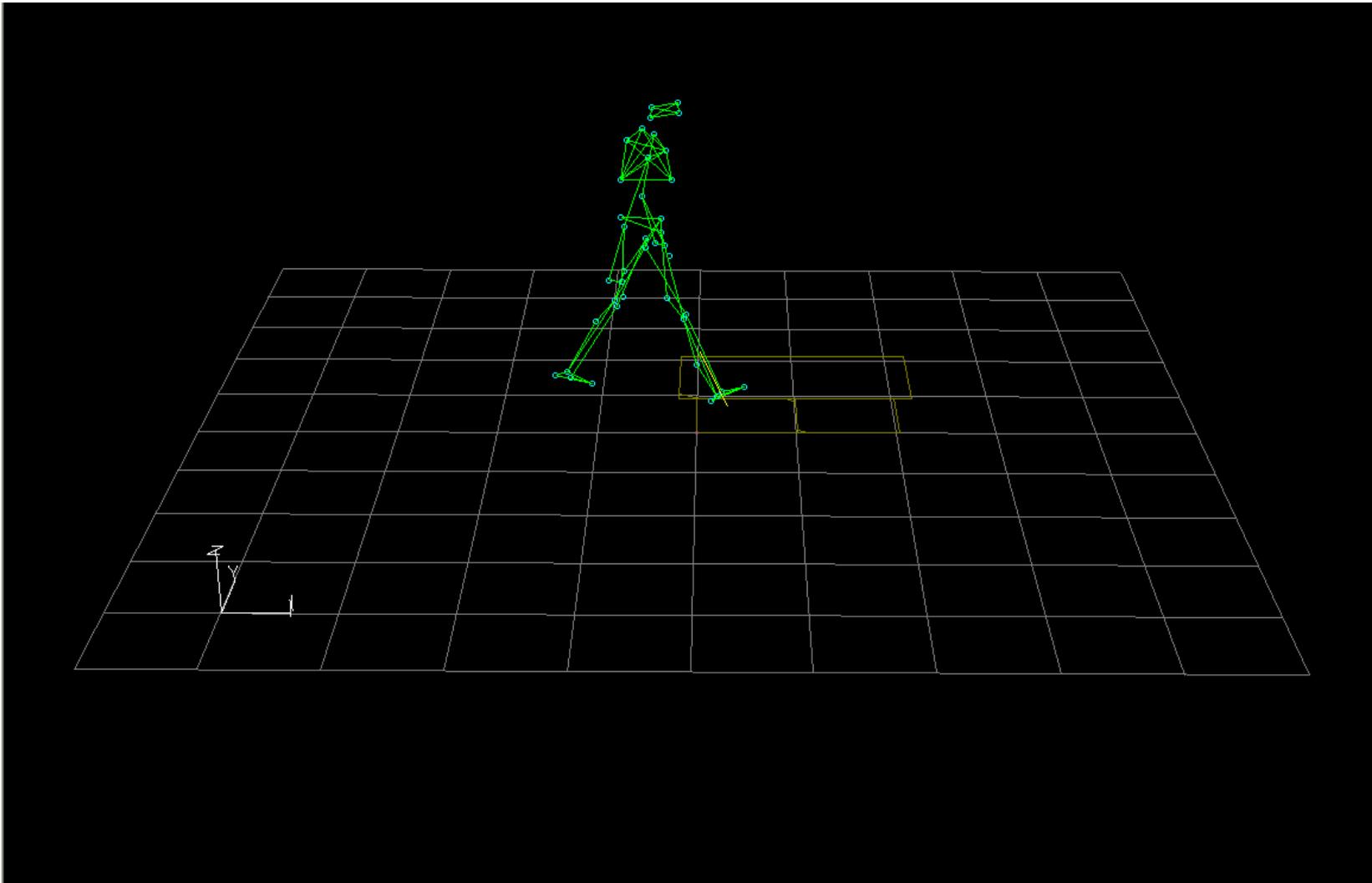
# **ANALYSE DE LA MARCHE**

# ANALYSE DE LA MARCHÉ

## Moyens :

- Analyse clinique (difficile, observateur expérimenté, détecte les troubles flagrants de la marche)
- Analyse vidéo de la marche
- Analyse tridimensionnelle de la marche:
  - + laboratoire de mvt
  - + marqueurs réfléchissants
  - + cameras infra-rouges
  - + plateformes de force
  - + logiciel d'analyse





00:00:02:017    1.0    118    L R G    I    ⬇    ⬆    ⬇

Left  
Right  
General

50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

Left Right General

50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

Left Right General

50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

Left Right General