

DONNÉES THÉORIQUES

L'ANALYSE QUANTIFIÉE DE LA MARCHE





DONNEES ENREGISTREES

PARAMETRES SPATIO-TEMPORELS

ANALYSE DES FORCES D'APPUI SUR LE SOL

ANALYSE CINEMATIQUE

ANALYSE DYNAMIQUE

ENREGISTREMENT ELECTROMYOGRAPHIQUE

AUTRES



Polygon Viewer - [Report 1]

File View Panes Help

[Podoscope + répartition des pressions](#)

[Vidéo vue de dessus](#)

ANALYSE QUANTIFIÉE DE LA MARCHÉ

[Analyse cinématique](#)
Données normales
Membre inférieur Gauche
Membre inférieur Droit

[Données cinétiques](#)
Données normales
Membre inférieur Gauche
Membre inférieur Droit

[Kinégramme sans plate-forme de force](#)
Sans plate-forme de force

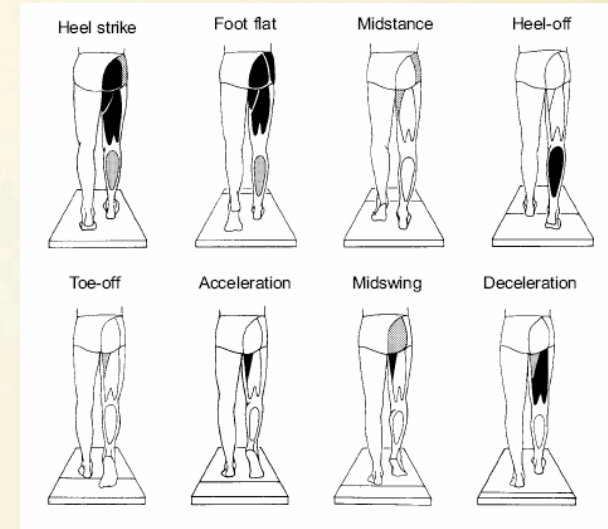
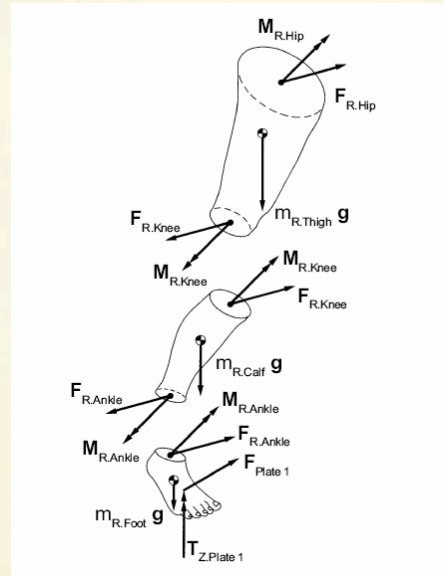
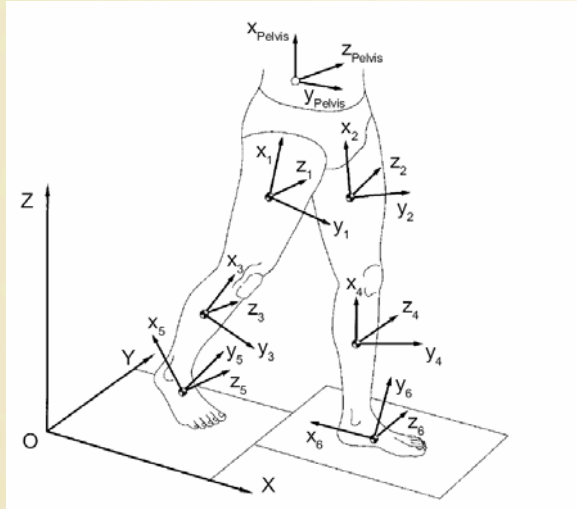
[Forces d'appui](#)
Données normales
Membre inférieur Gauche
Membre inférieur Droit

[Kinégramme avec plate-formes de forces](#)

Ready

NUM

MODÉLISATION BIOMÉCANIQUE



Cinématique



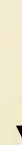
21 paramètres

Dynamique



39 paramètres

EMG



X paramètres

60 Paramètres

CINÉMATIQUE

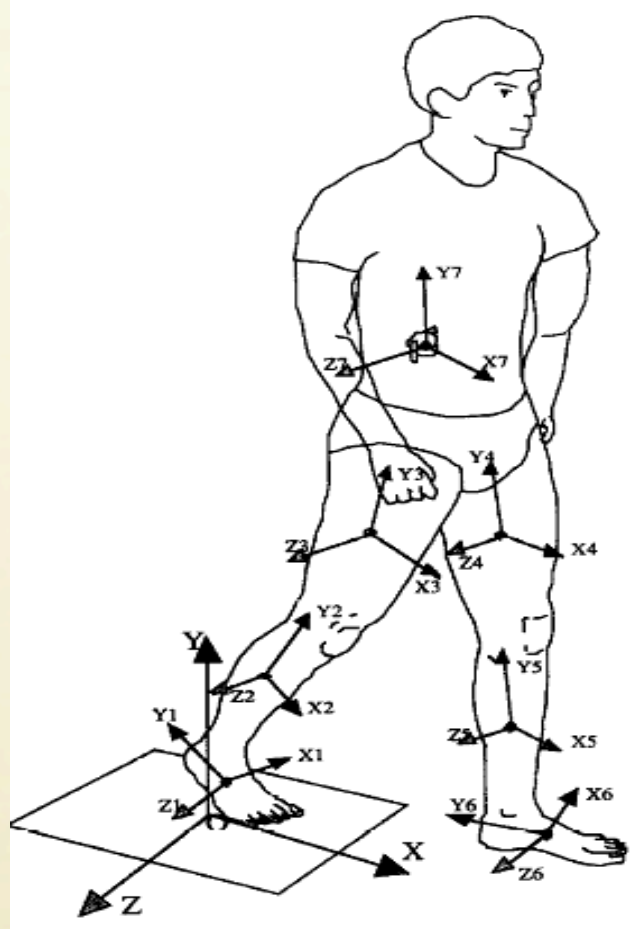
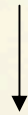


Figure 1- 25. ISB recommendation of local reference frame and joint Coordinates System
(© Wu et al. 1995)

Marqueurs passifs



Segments

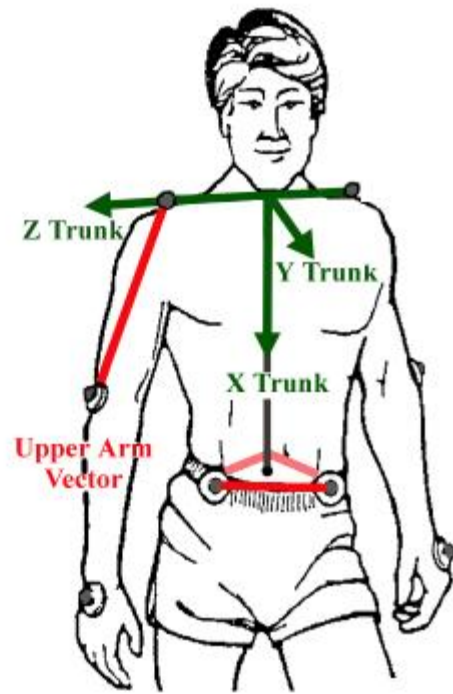


Repères Locaux

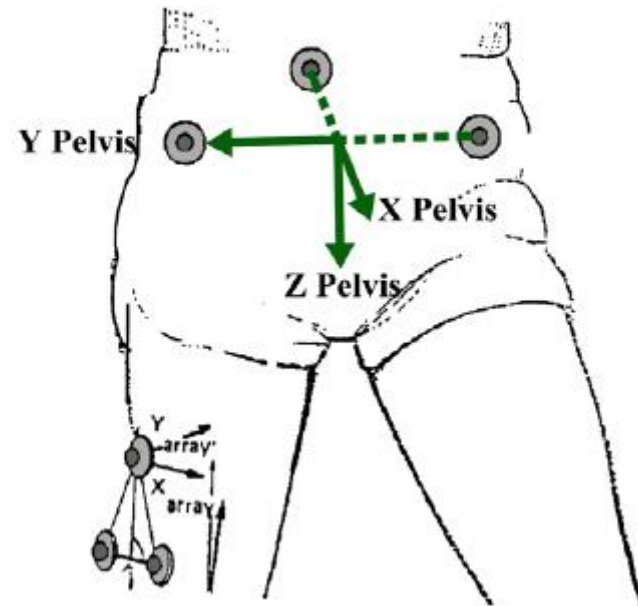


3-D Gait Analysis Marker Setup

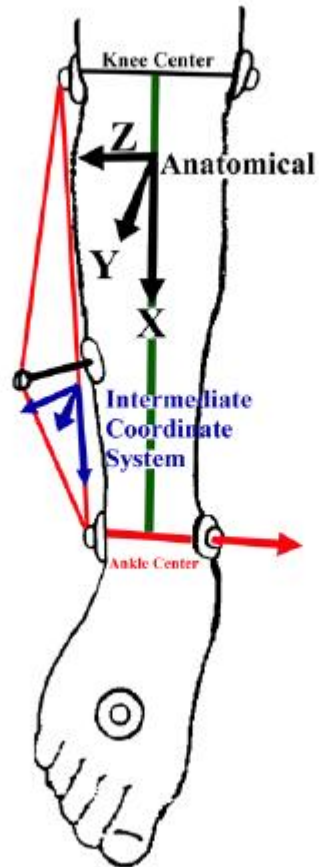
The Upper Arm Coordinate System



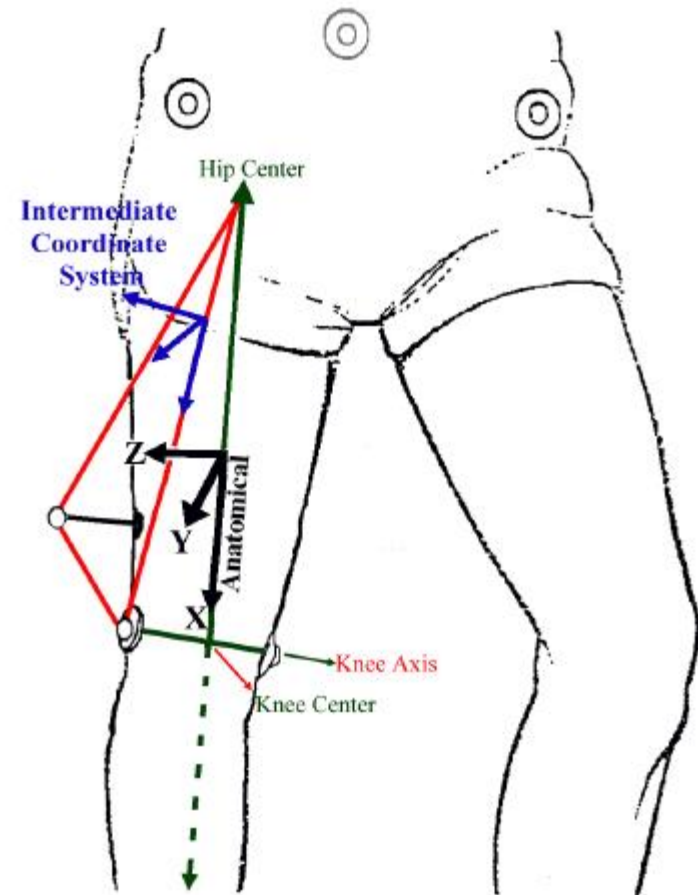
The Pelvic Coordinate System



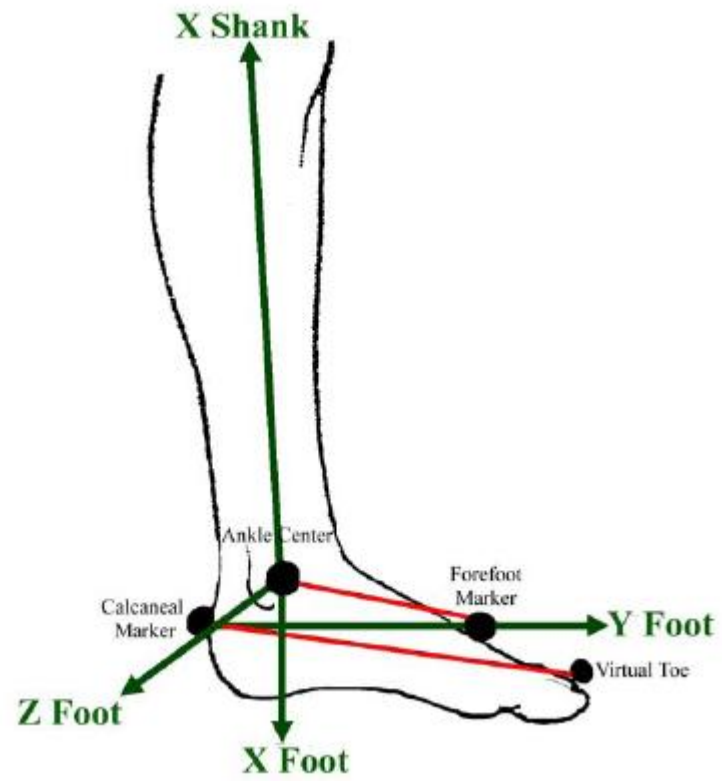
The Helen Hayes Shank Coordinate System



The Helen Hayes Thigh Coordinate System



The Foot Coordinate System



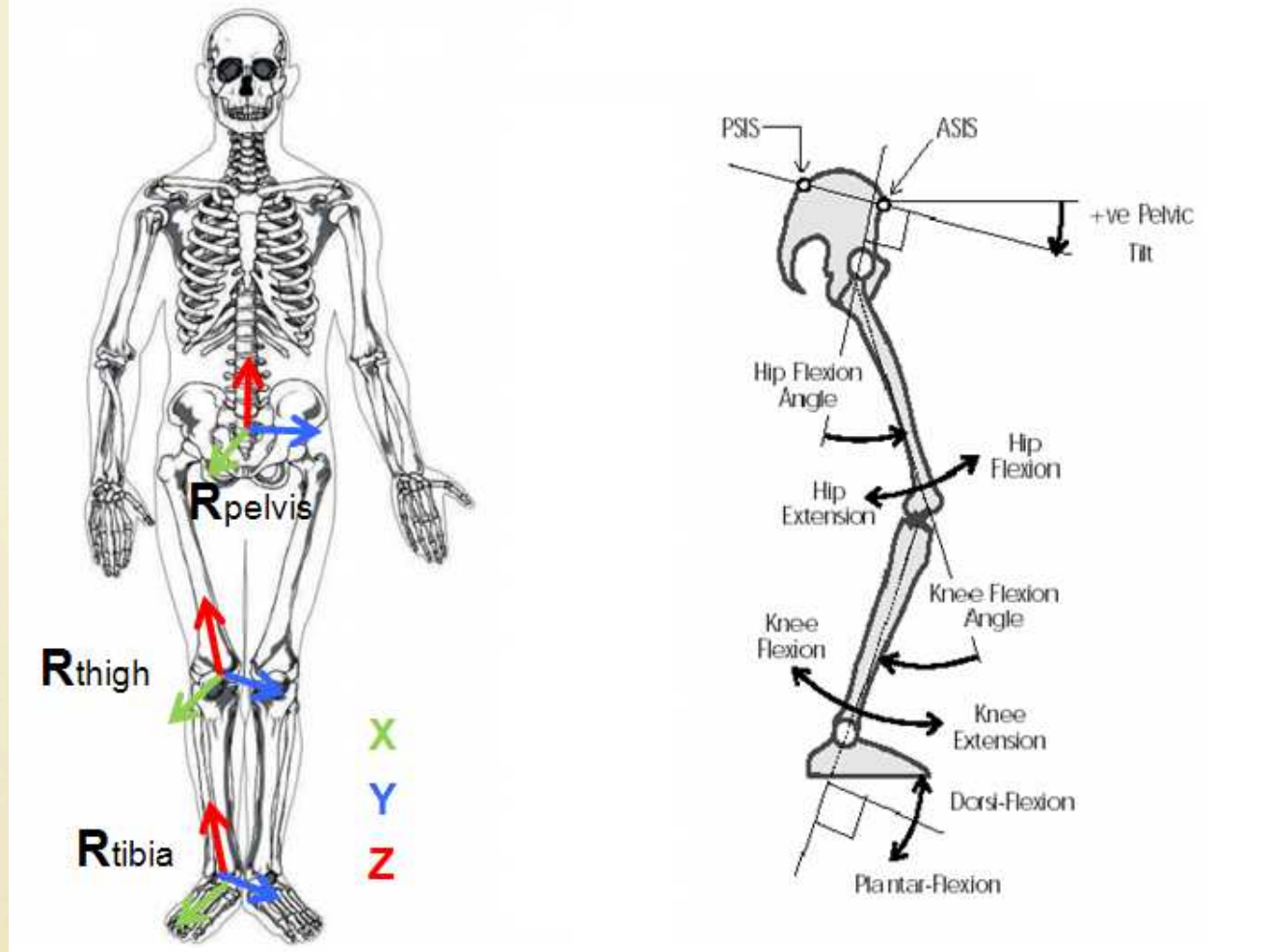
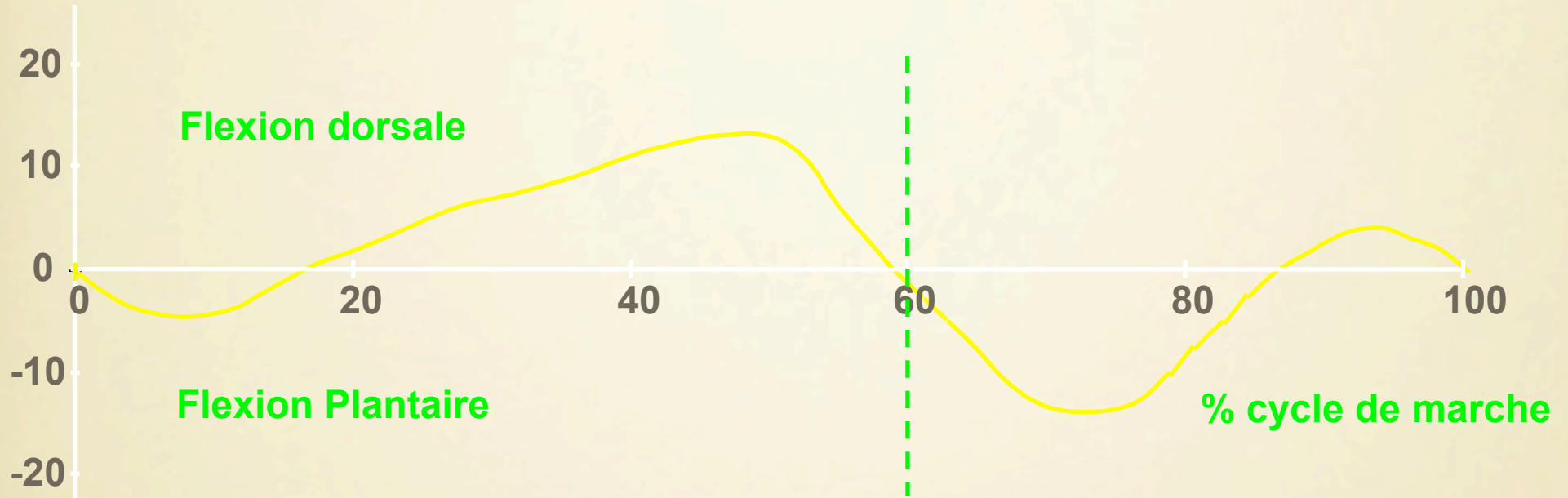


Figure 1- 29. Conventional Joint Angles Definition

ANALYSE CINEMATIQUE



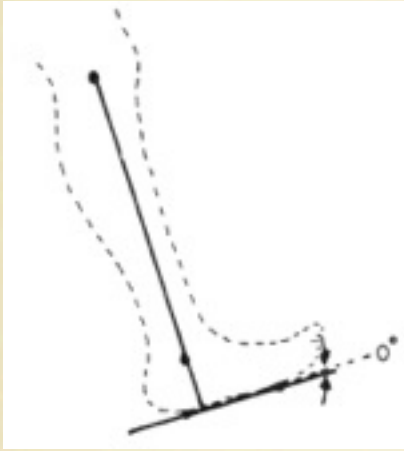
Axe des abscisses :

- Graduation 0 à 100 % du cycle de marche
- Démarre et se termine par l'attaque du pas

La ligne verticale en pointillés sépare la phase d'appui de la phase oscillante

Axe des ordonnées :

- Mesure du mouvement en degrés
- Comprend souvent la ligne correspondant au zéro
- Détermination précise du contact initial et du décollage des orteils



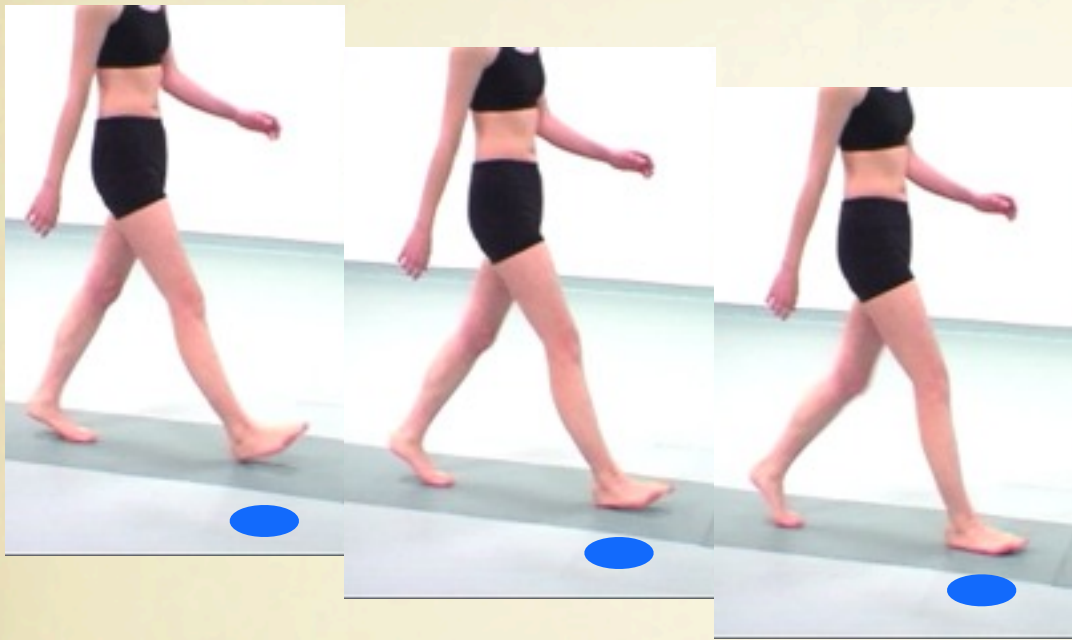
FLEXION DORSALE/PLANTAIRE

Angle du pied / tibia

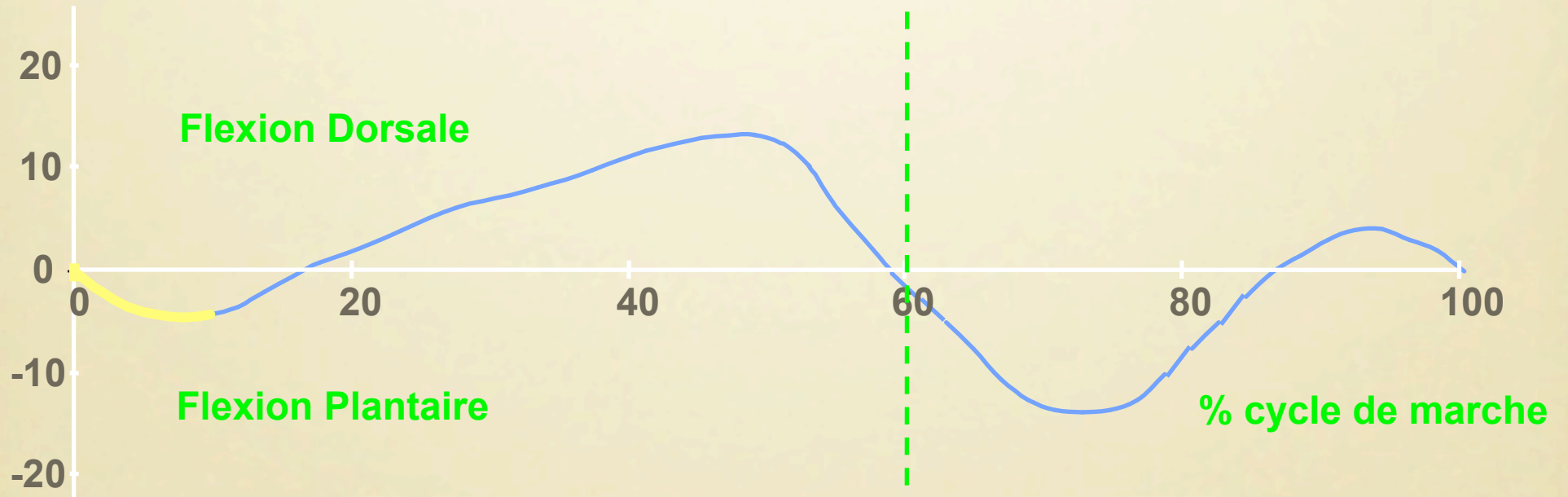
Dorsi - flexion de cheville

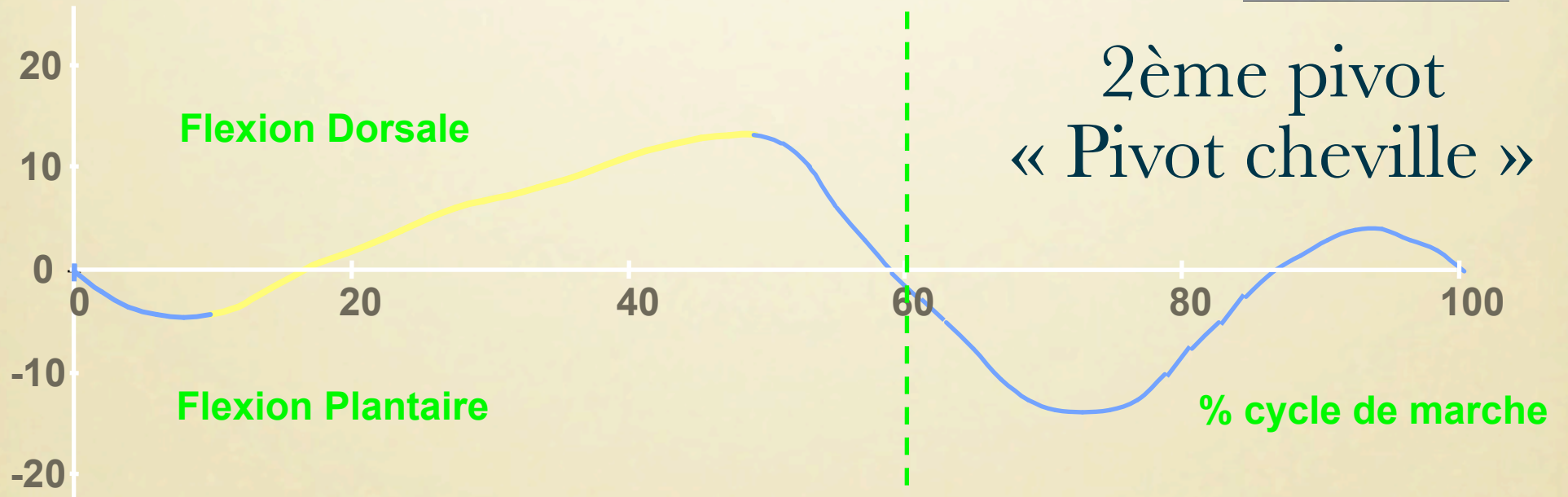
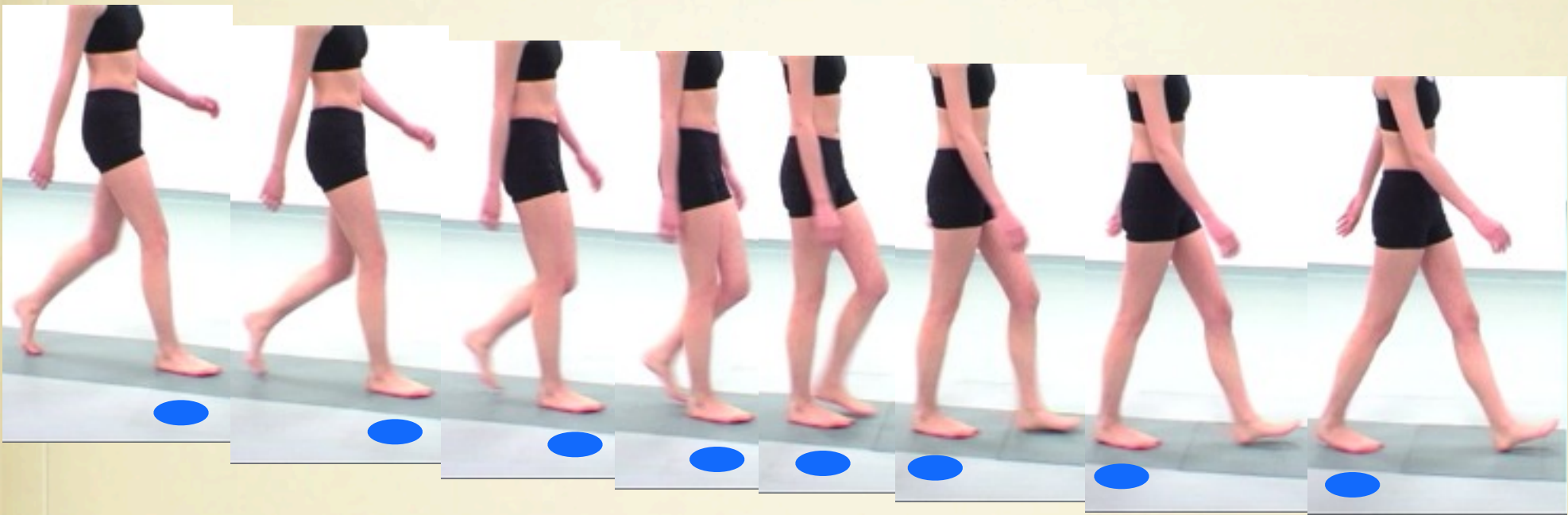
2 marqueurs : **Très insuffisant !**

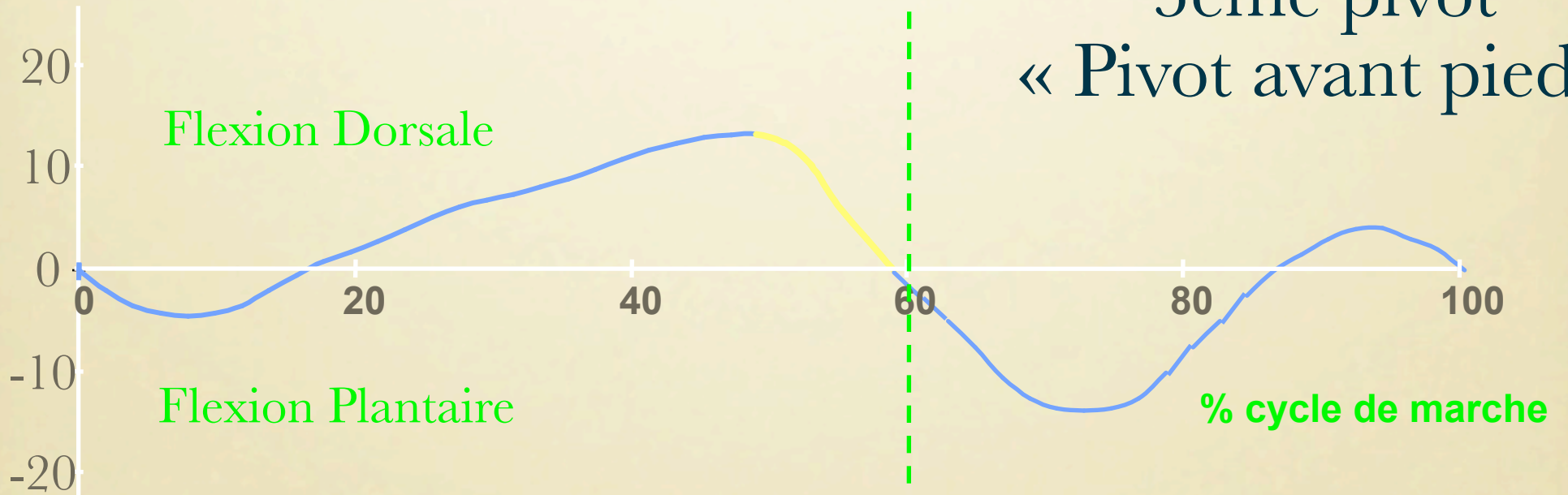
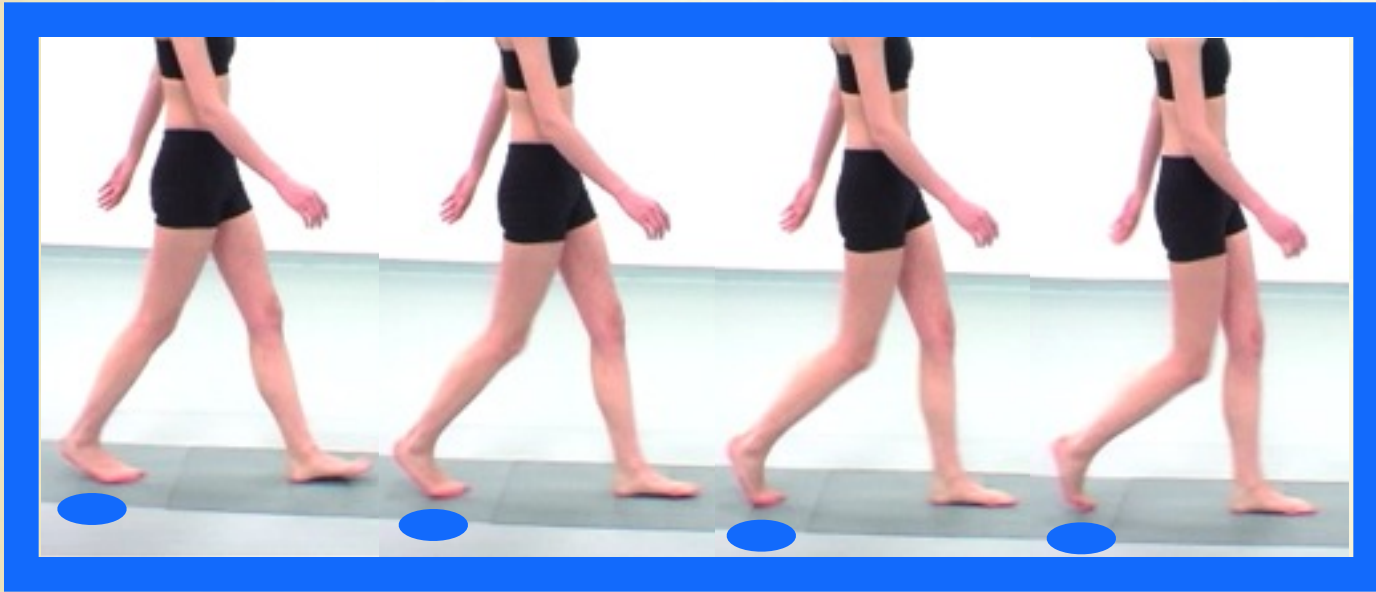
Cassure dans la médiotarsienne

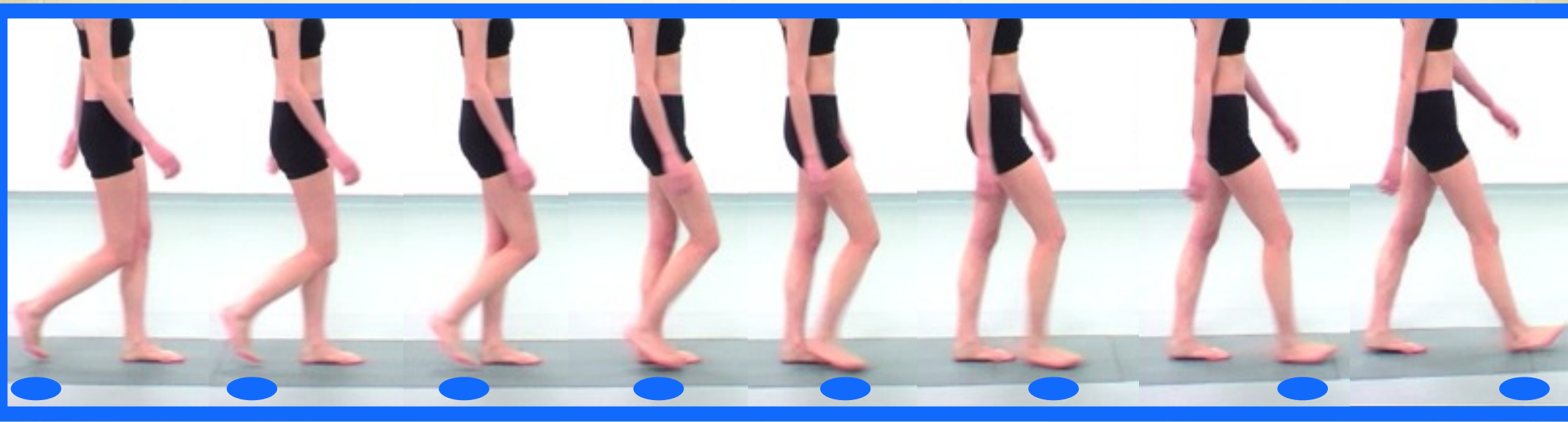


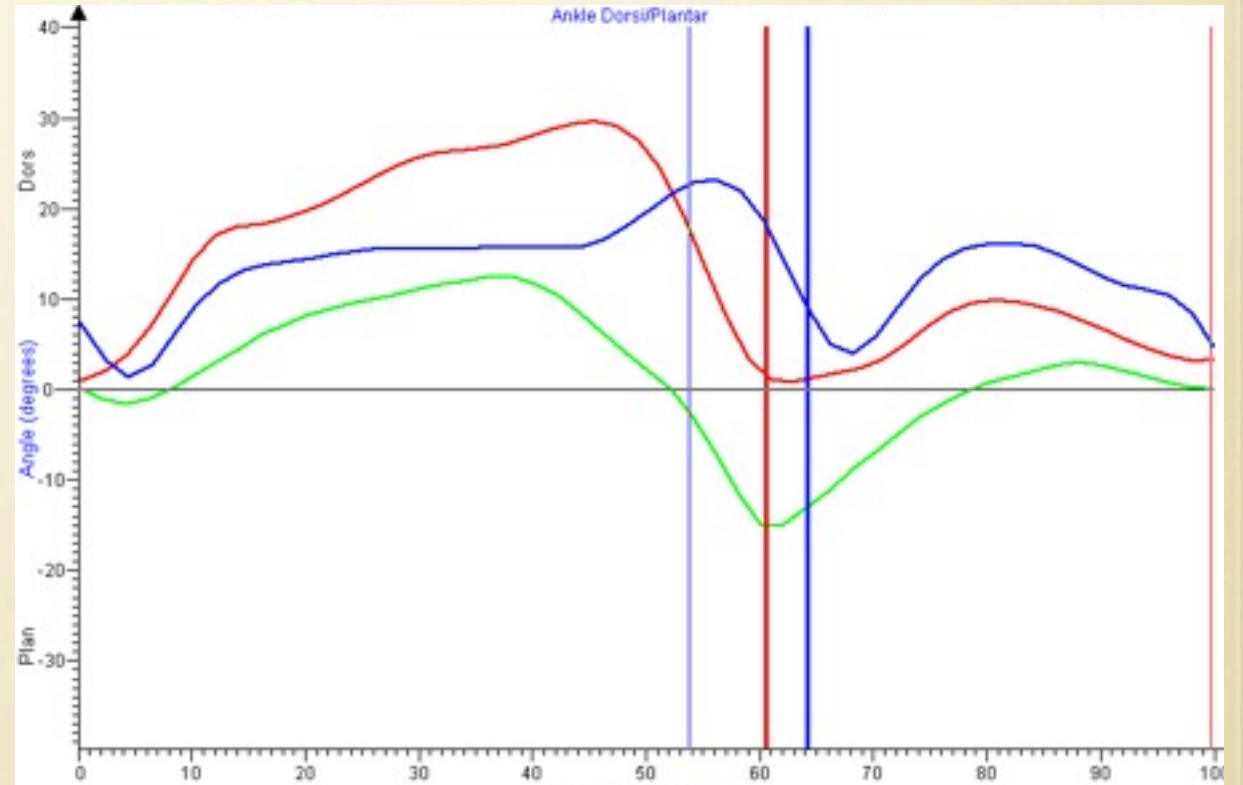
1er pivot
« Pivot talon »











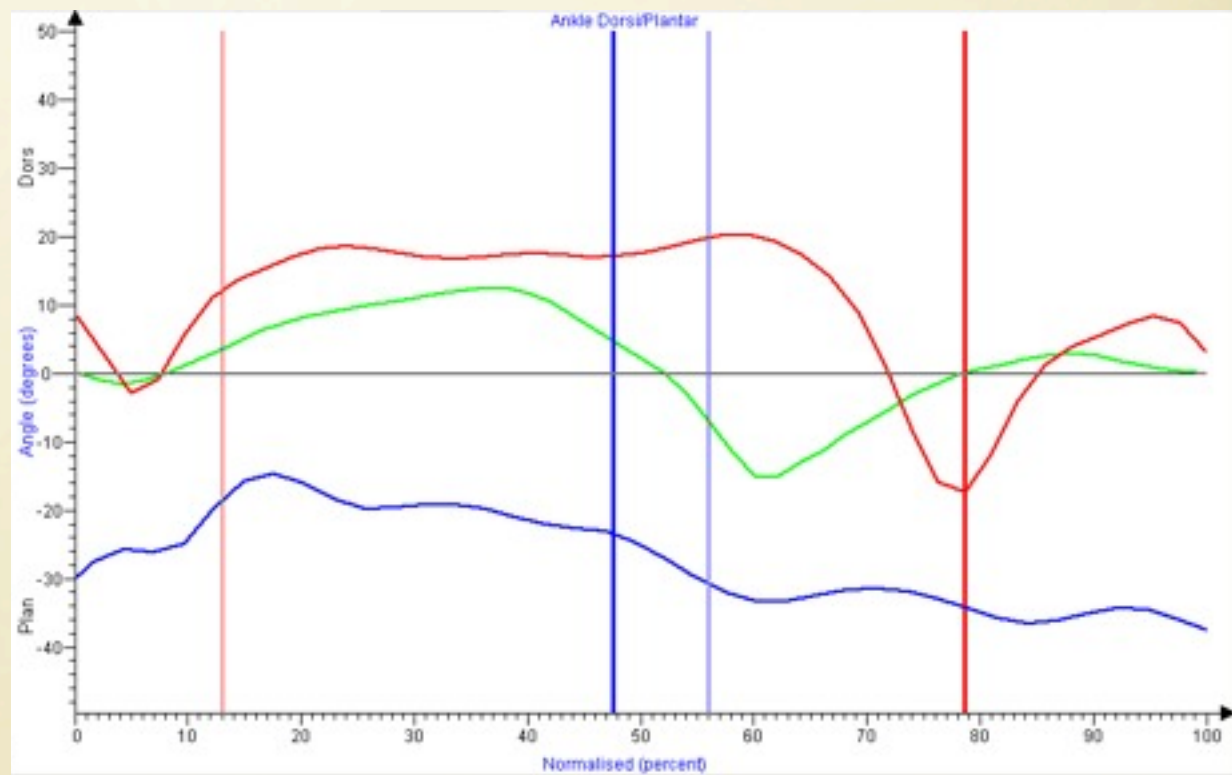
Normal

Droit

Gauche



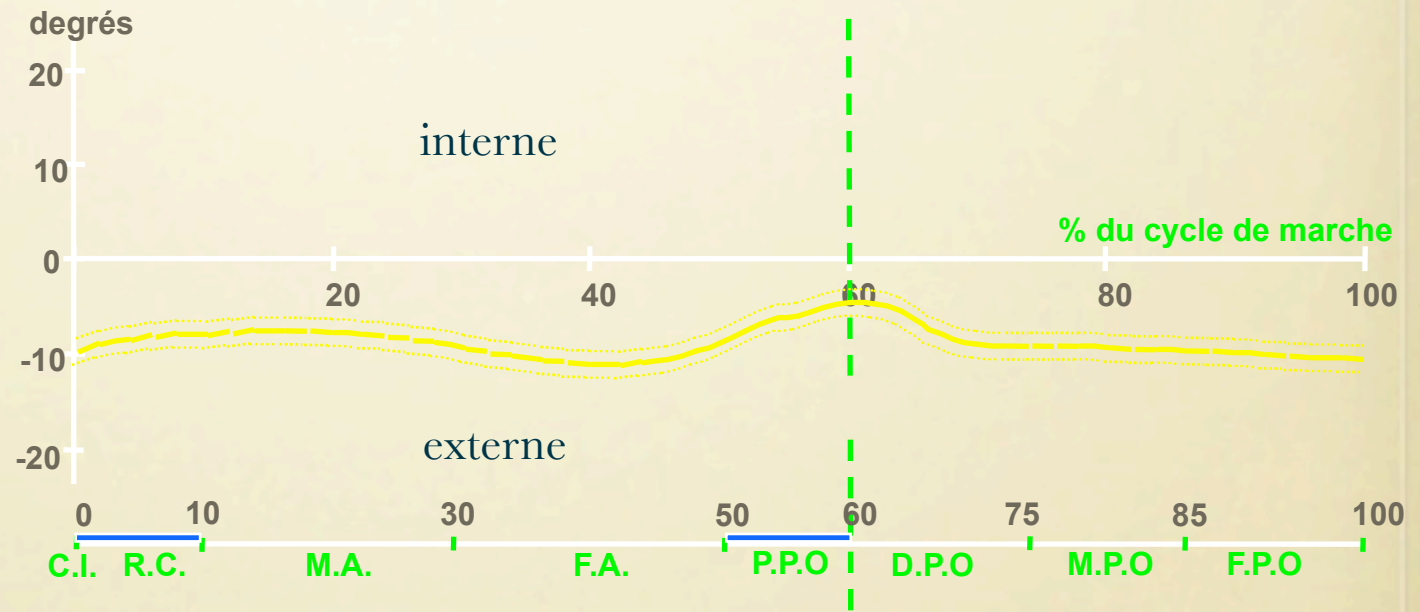
Normal
Droit
Gauche



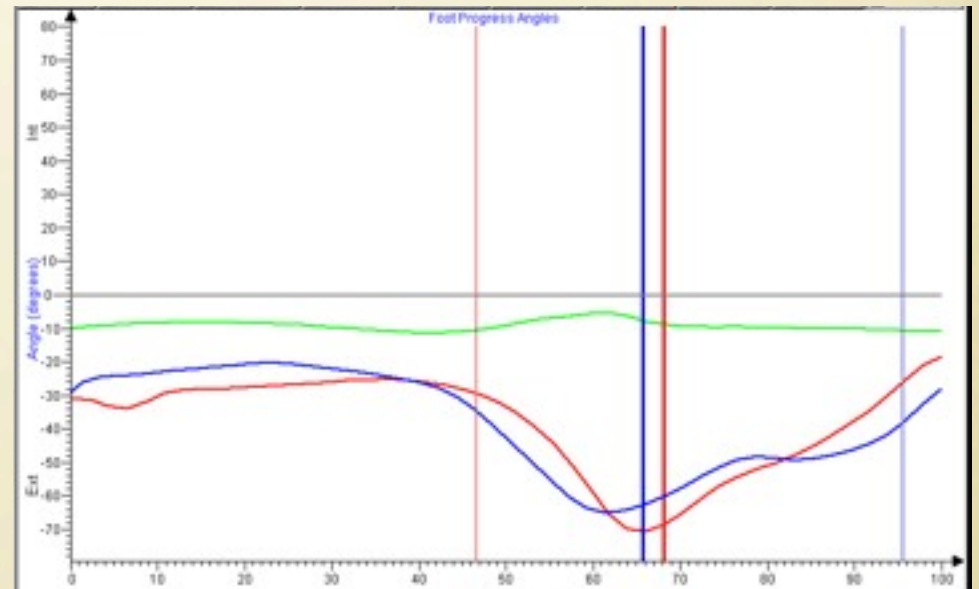
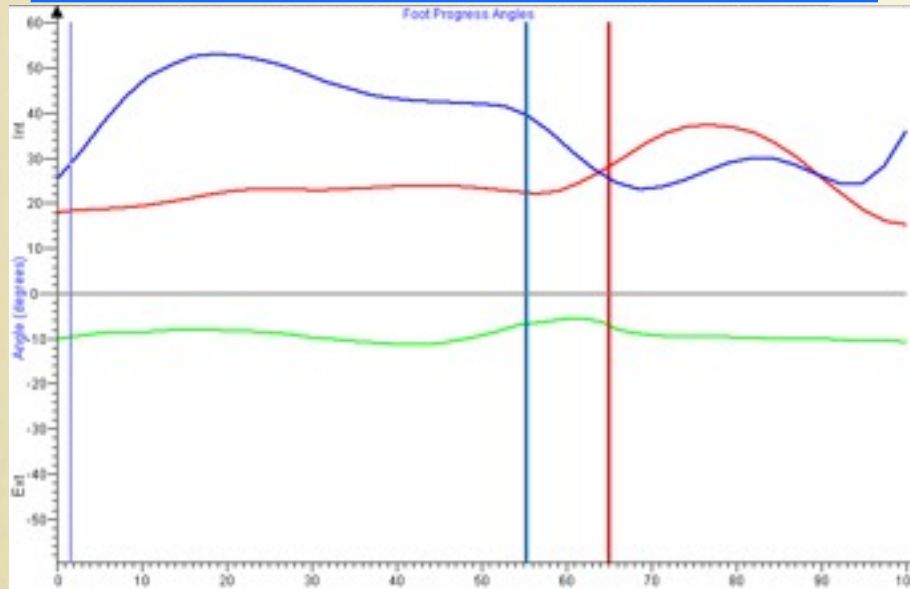
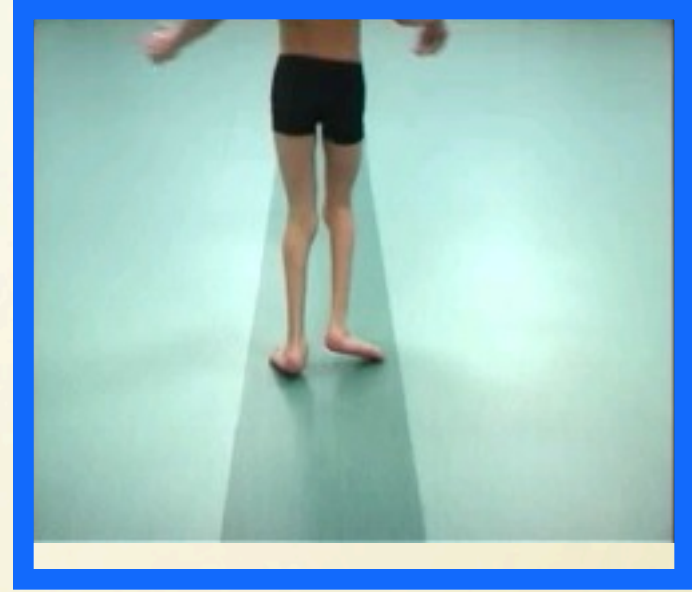
PROGRESSION DU PIED



Pied dans le repère du laboratoire



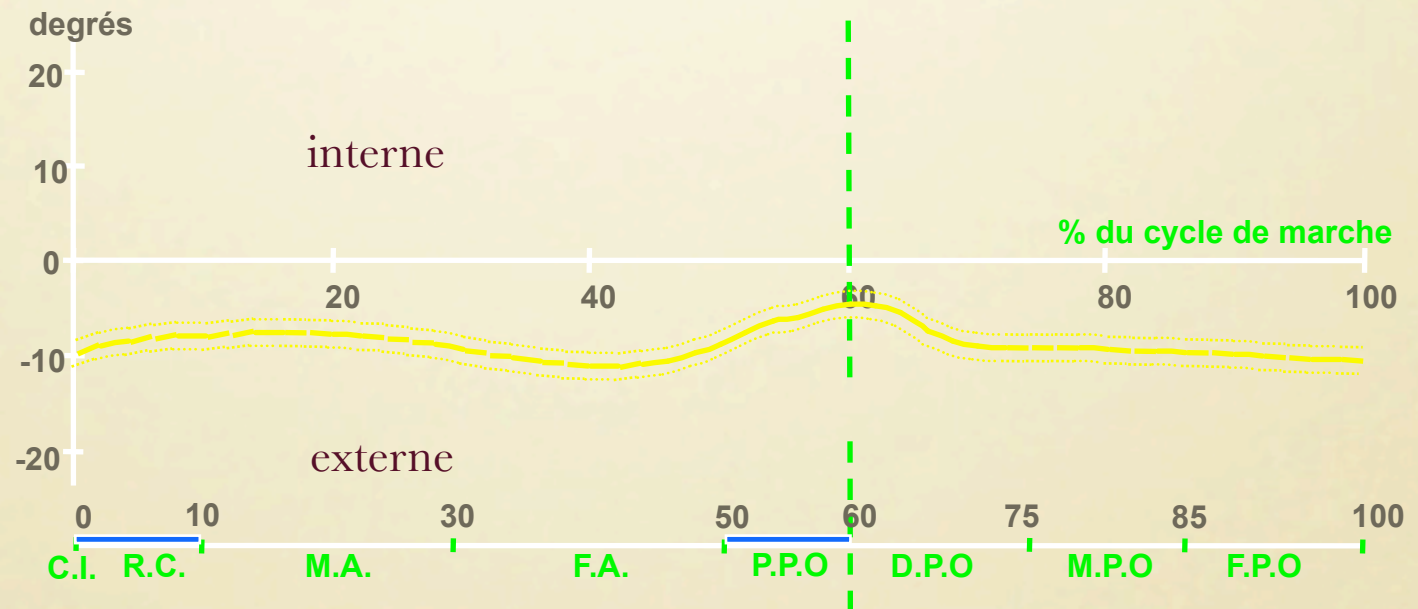
PROGRESSION DU PIED



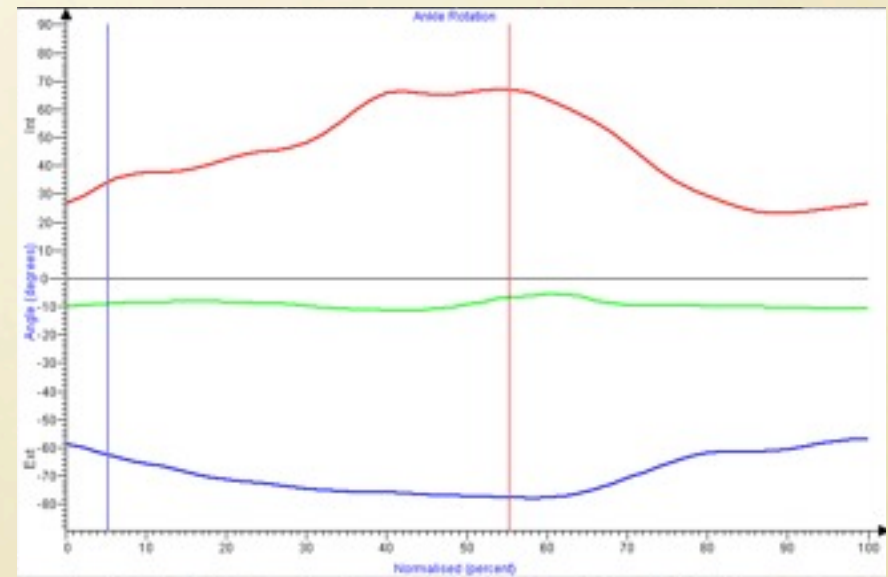
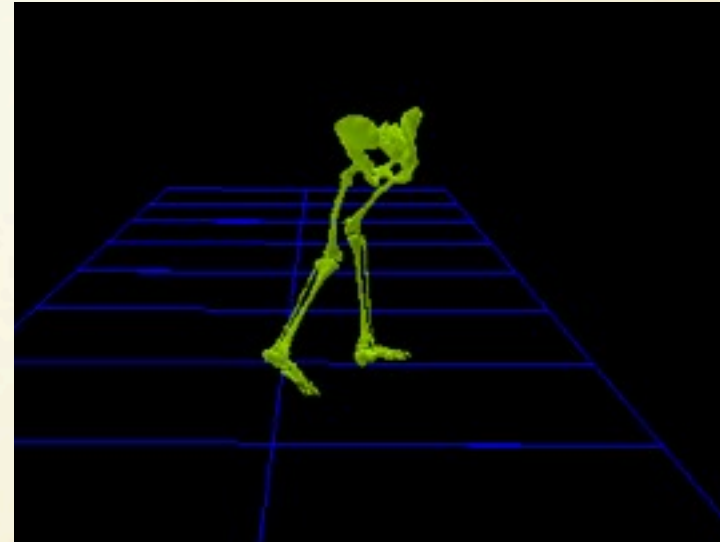
ROTATION DU PIED



Pied / tibia



ROTATION DU PIED



Normal
Droit
Gauche

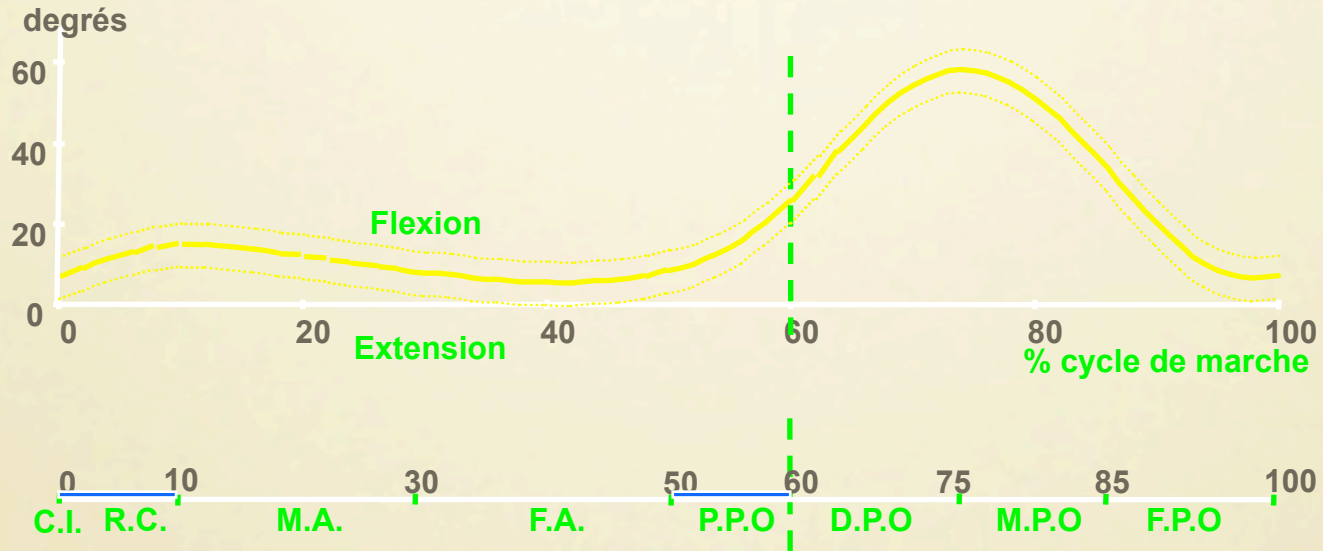
FLEXION - EXTENSION DU GENOU : Angle du tibia / fémur

PHASE D'APPUI

Mvt de flexion de 8° à 19° (RC)

Mvt d'extension de 19° à 5° (MA/FA)

Mvt de flexion de 5° à 35° (PPO)



PHASE OSCILLANTE

Mvt de flexion de 35° à 60° (DPO)

Mvt d'extension de 60° à 35° (MPO)

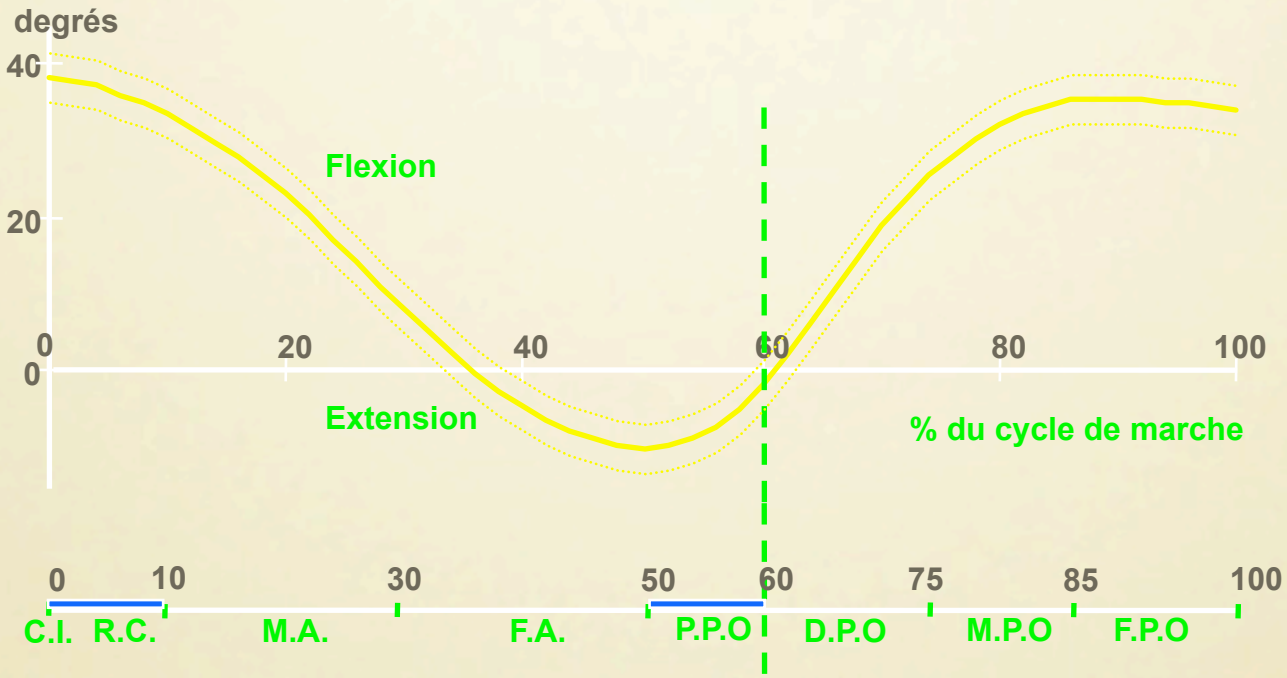
Mvt d'extension de 35° à 8° (FPO)

FLEXION - EXTENSION DE HANCHE : Angle du fémur / bassin

Mvt d'extension de 37° flx à 10° ext (RC/MA/FA)

PHASE D'APPUI

Mvt de flexion de 10° à 0° (PPO)



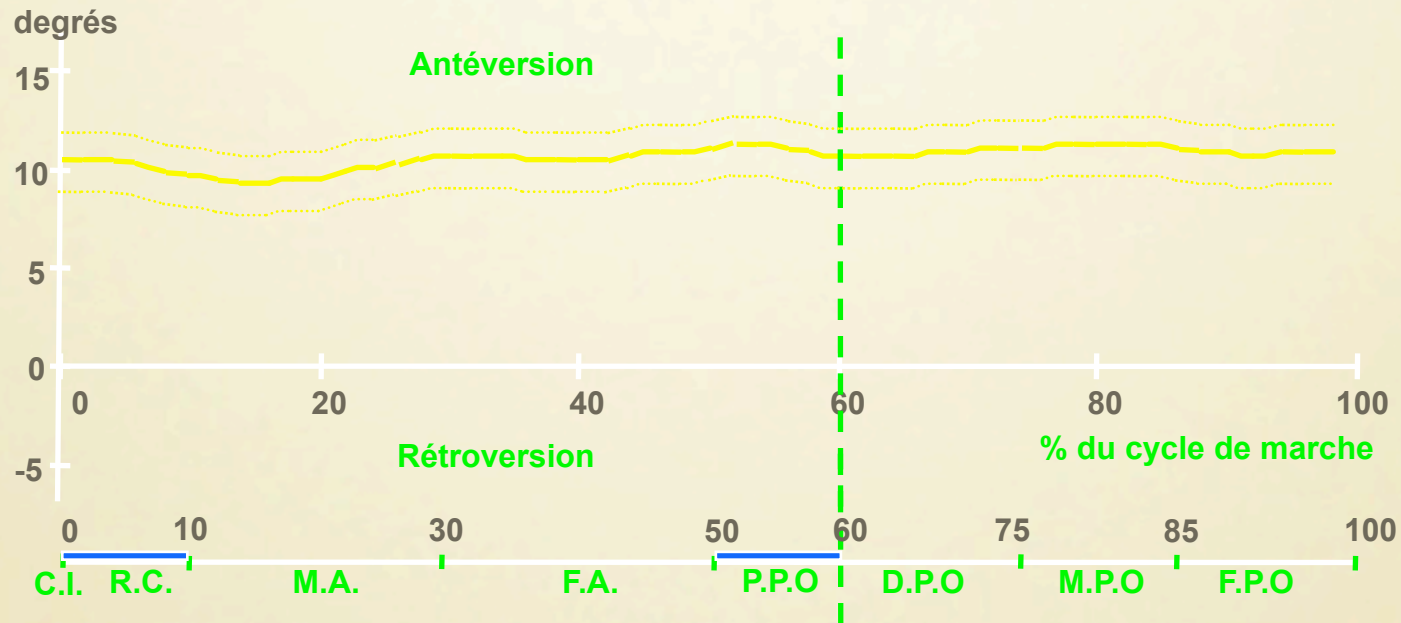
Mvt de flexion de 0° à 35° (DPO/MPO)

PHASE OSCILLANTE

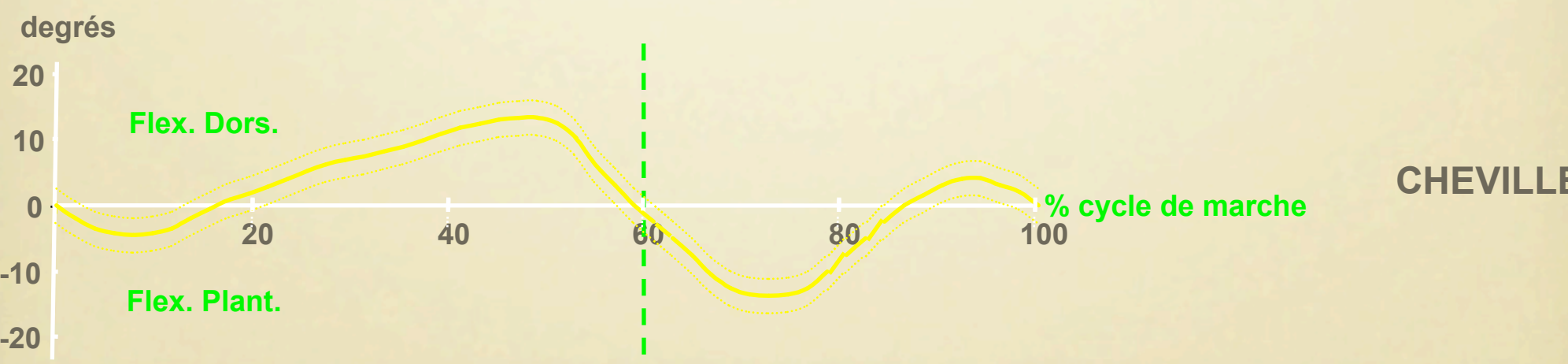
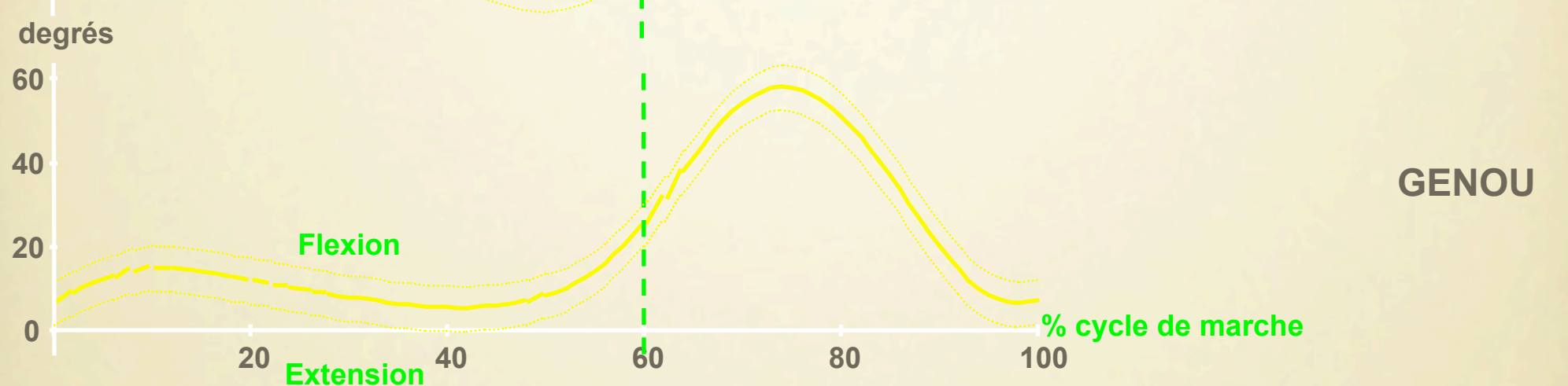
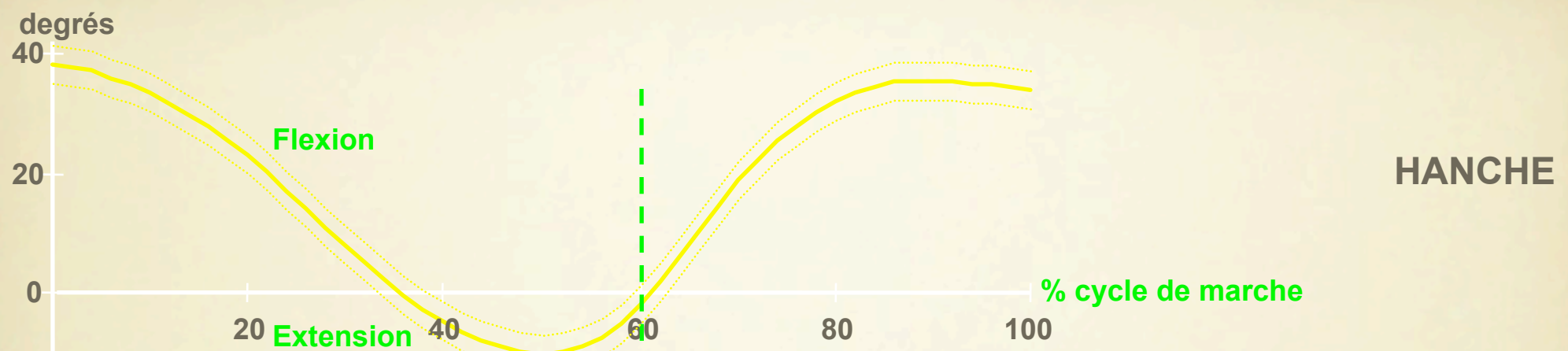
Mouvement mini. (FPO)

INCLINAISON DU BASSIN

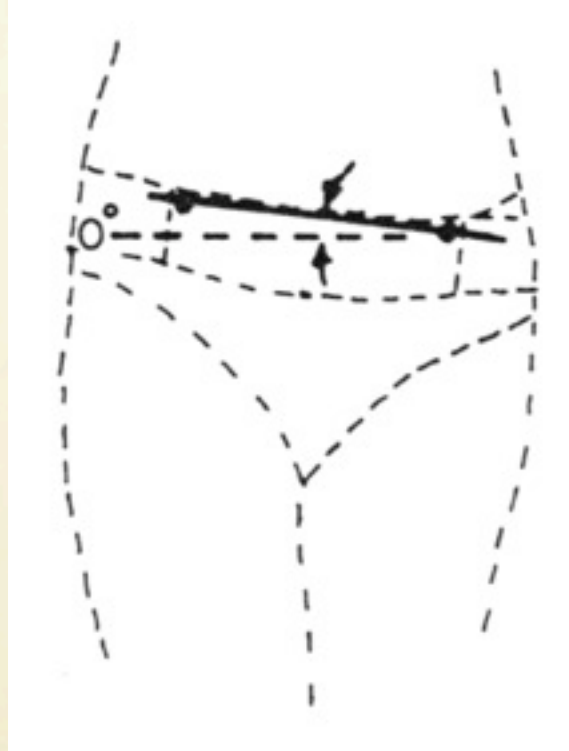
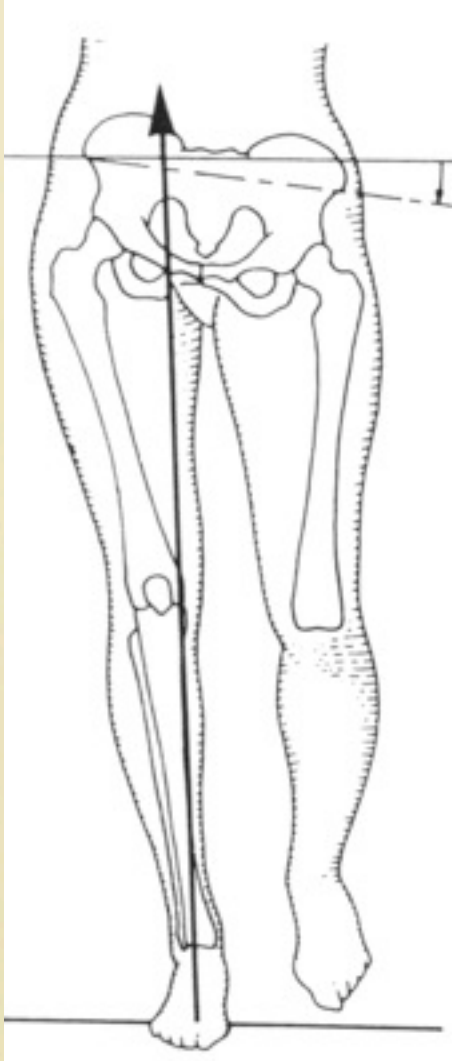
Angle représenté dans le repère absolu du laboratoire



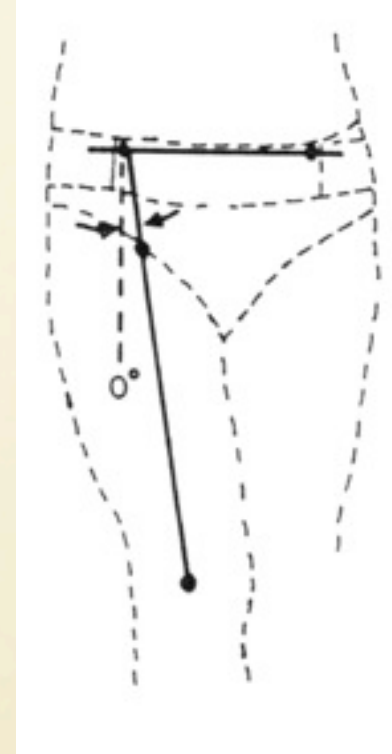
Amplitude du mouvement : 2 - 4 °



PLAN FRONTAL



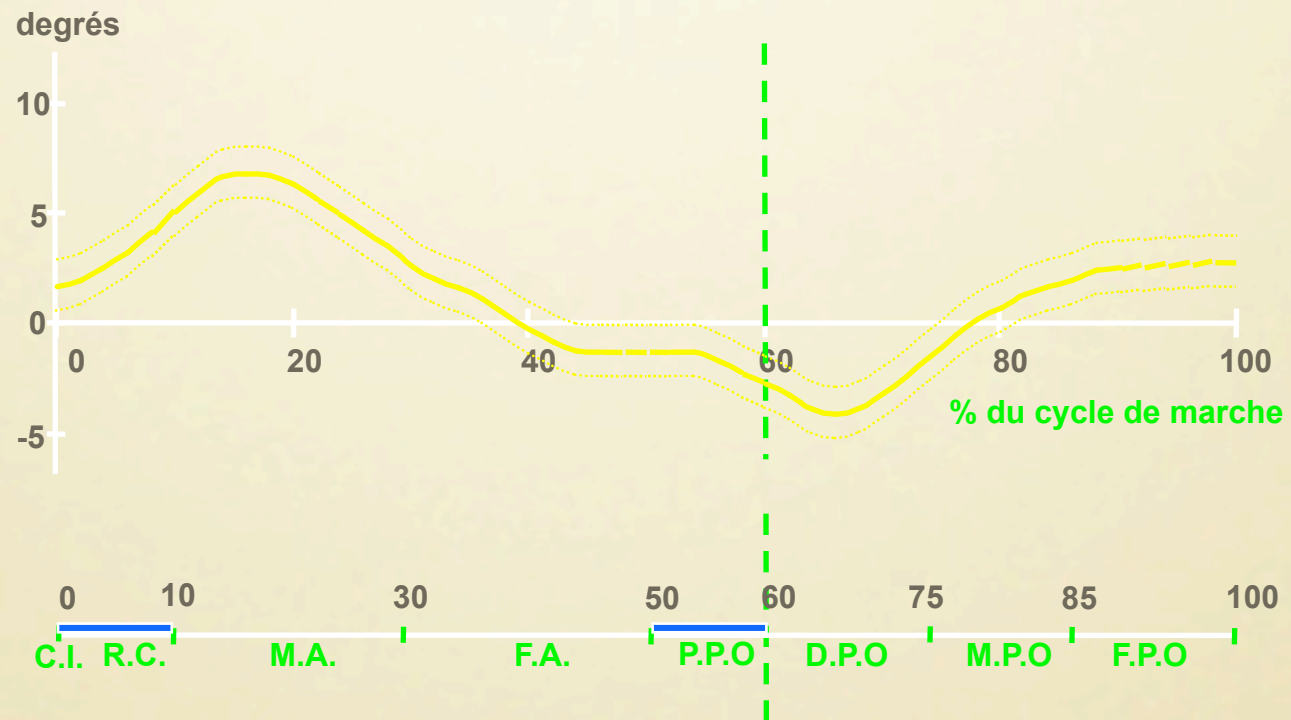
Obliquité du bassin



Abduction-Adduction de
hanche

OBLIQUITE DU BASSIN

Angle représenté dans le repère absolu du laboratoire

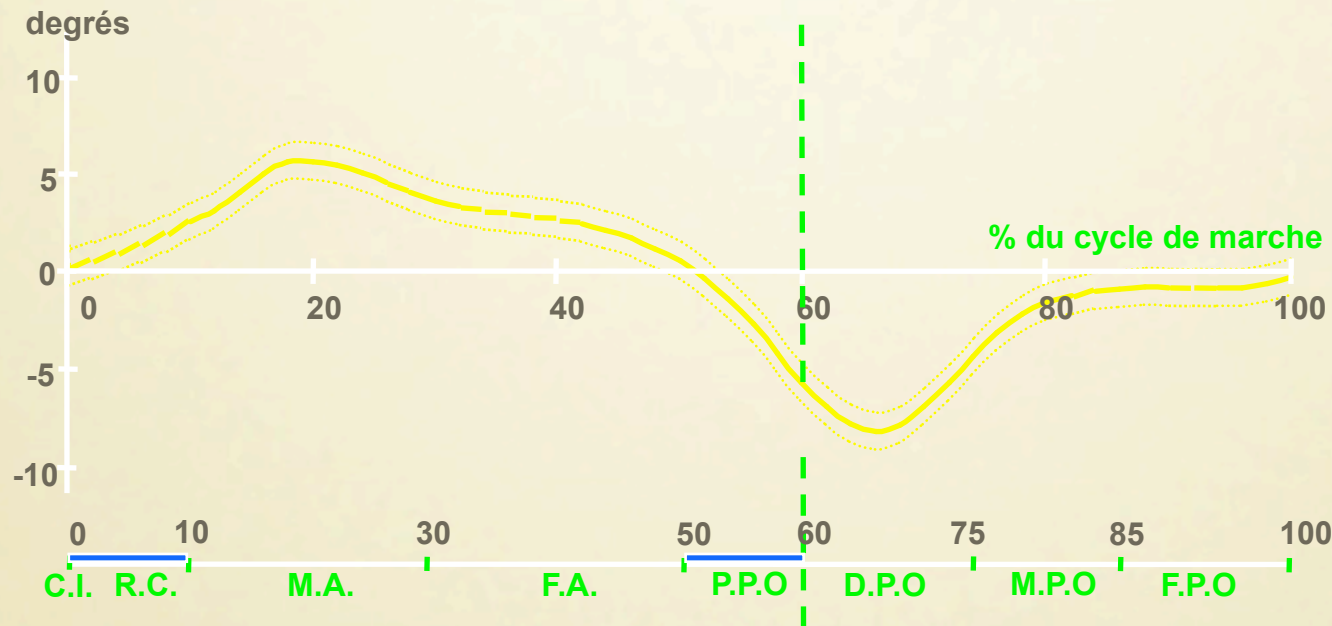


ABDUCTION - ADDUCTION DE HANCHE : Angle du fémur / bassin

PHASE D'APPUI

Mvt d'adduction de 0° à 6° add (RC)

Mvt d'abduction de 6° add à 6° abd (MA/FA/PPO)



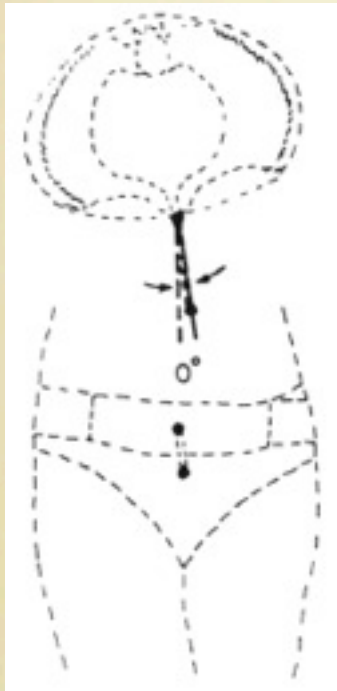
PHASE OSCILLANTE

Mvt d'abduction de 6° abd à 7° abd (DPO)

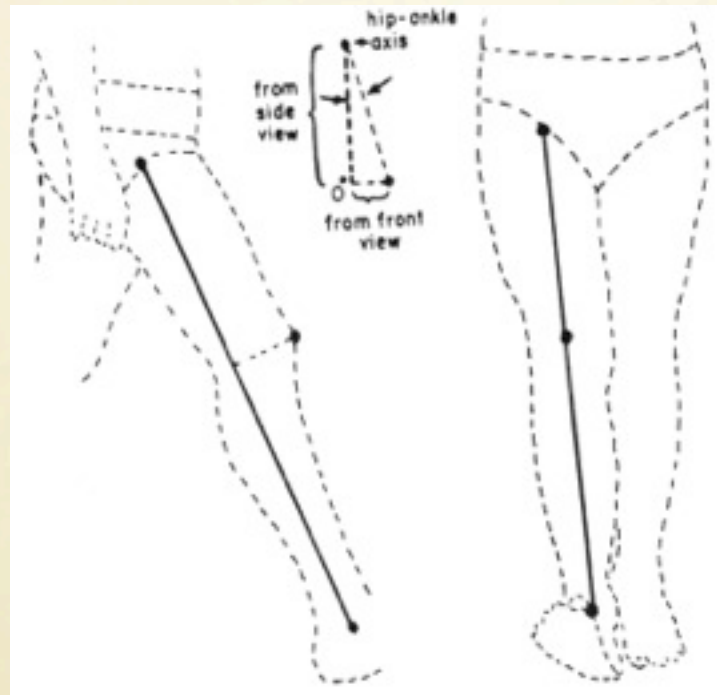
Mvt d'adduction de 7° abd à 0° (MPO/FPO)

ANALYSE DES ANGLES DANS LE PLAN TRANSVERSAL

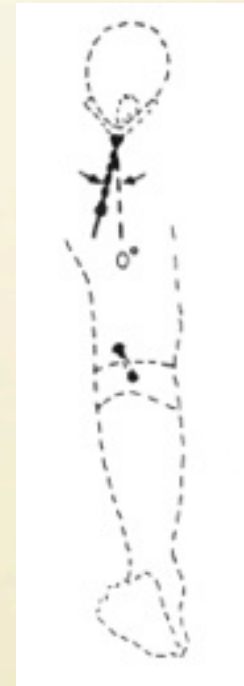
Angles de rotation



bassin



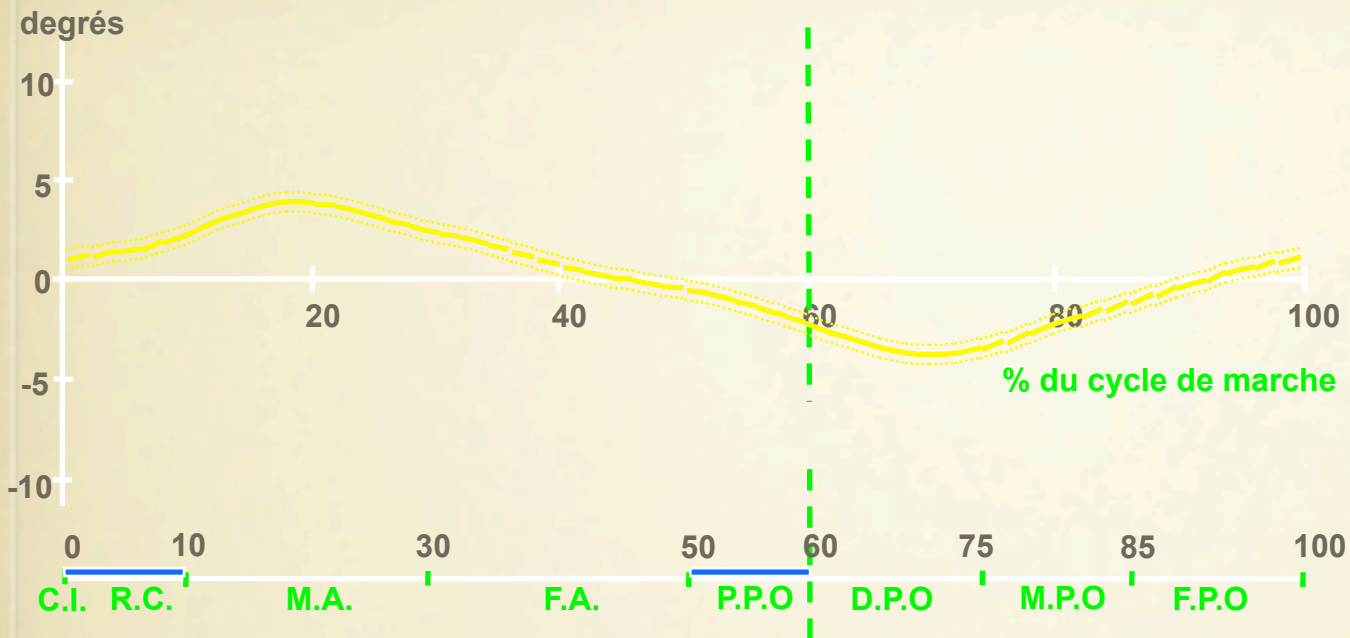
hanche



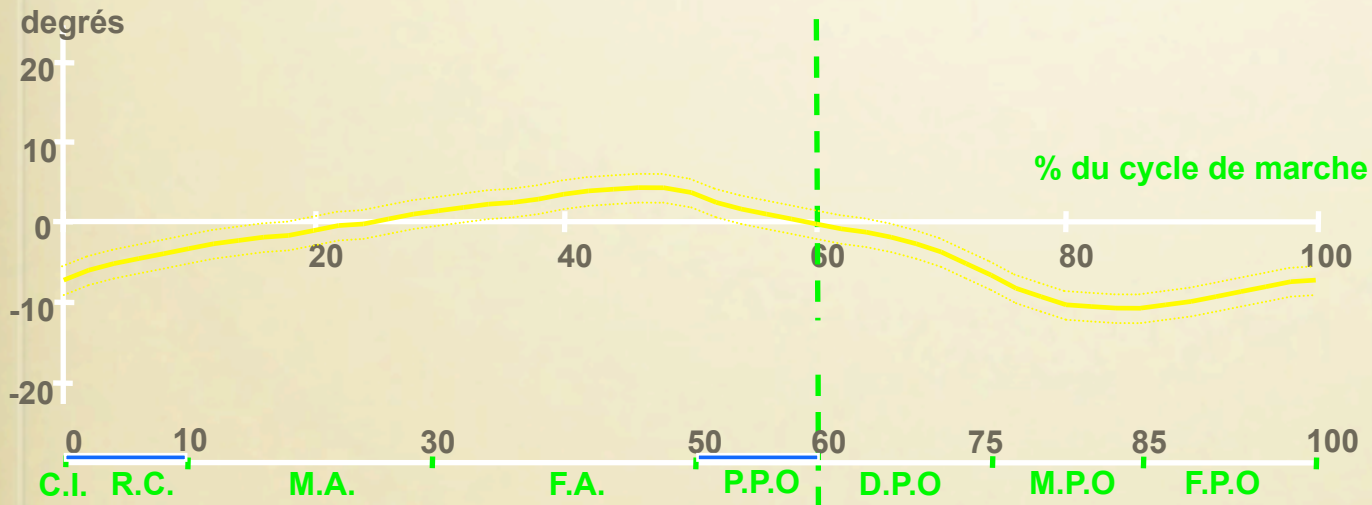
tibia



pied



Rotation du bassin
Angle du bassin /
laboratoire



Rotation de hanche
Angle de la hanche /
bassin

LES ANGLES DE ROTATION

DU BASSIN

DE HANCHE

DU PIED

SONT A ANALYSER SIMULTANEMENT

Faire l'analyse des 3 courbes aux mêmes instants du cycle

A mettre en relation avec

l'antétorsion fémorale

la torsion tibiale

LES ANGLES DE ROTATION

DU BASSIN : mesurée dans le référentiel du laboratoire

DE HANCHE : mesurée par rapport au bassin

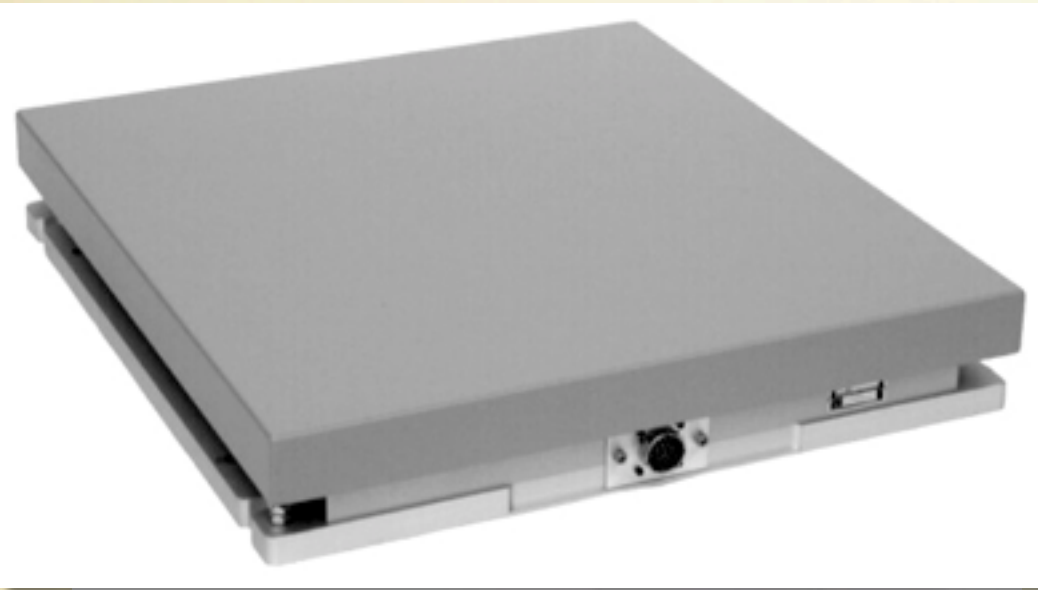
DU PIED : mesurée par rapport au tibia

Si la rotation de hanche est augmentée de 10° vers la rotation interne sans changement au niveau de la rotation du bassin

- * Si la rotation du pied est mesurée à 0 : C'est une simple conséquence de l'excès de rotation interne de hanche
- * Si la rotation du pied est à 10° (valeur normale) : torsion tibiale exagérée

LES FORCES D'APPUI

- Analyse Cinétique



Plateforme de Forces *AMTI*

F_x F_y F_z

M_x M_y M_z

MESURER LA FORCE

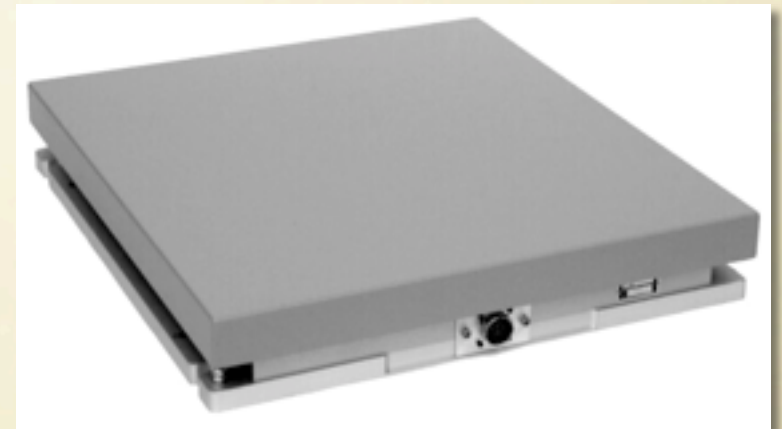
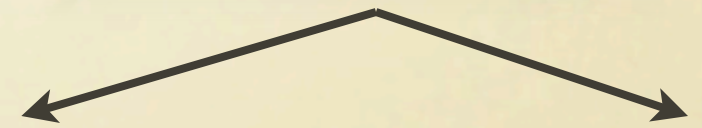


Plate-formes de force



Jauges de contrainte

Piezoélectrique

MESURER LA FORCE

Contraignant :
il faut un appui valide par plate-forme

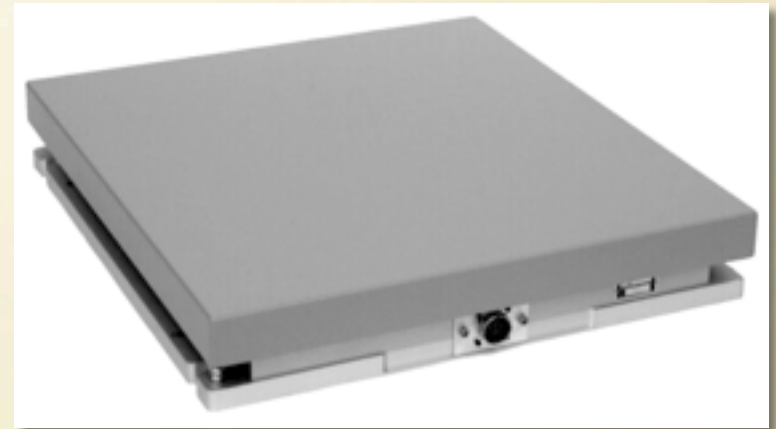
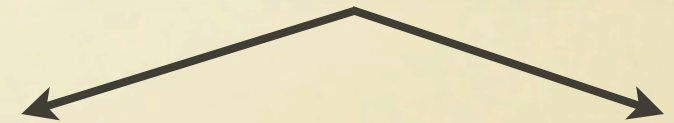


Plate-formes de force



Jauges de contrainte

Piezoélectrique

MESURER LA FORCE

Contraignant :
il faut un appui valide par plate-forme

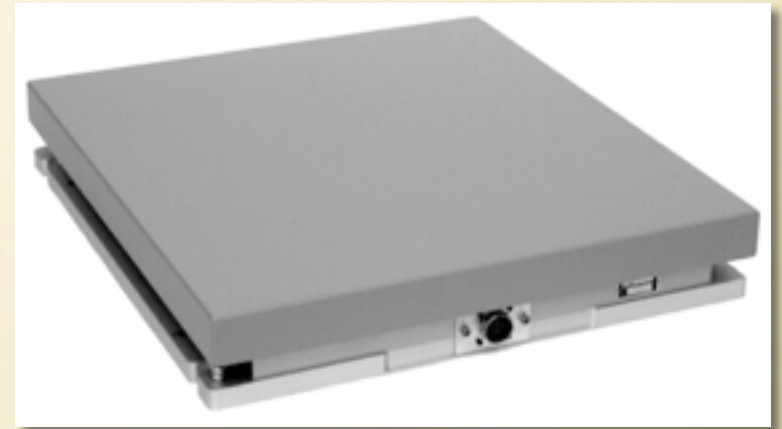
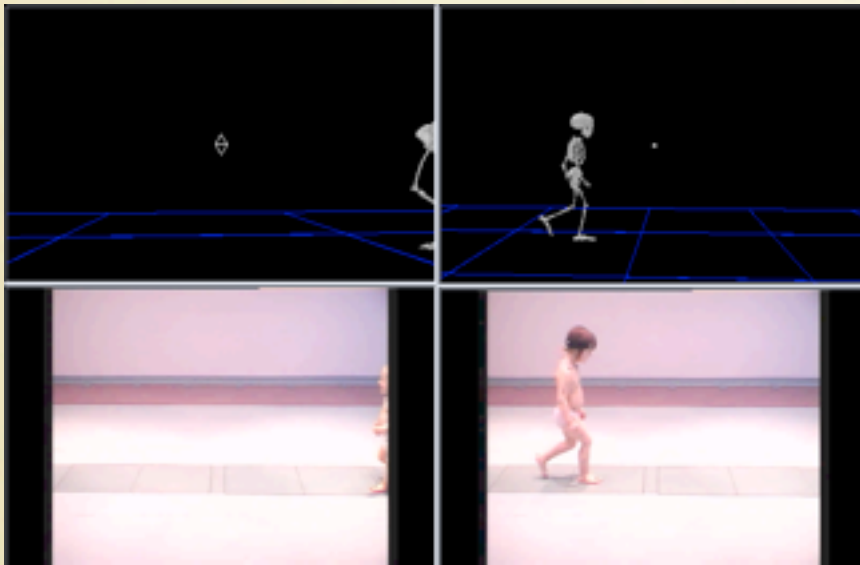
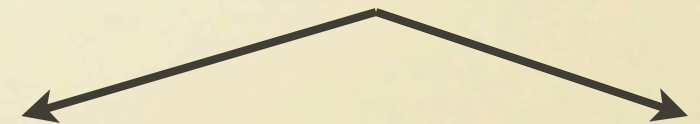


Plate-formes de force



Jauges de contrainte

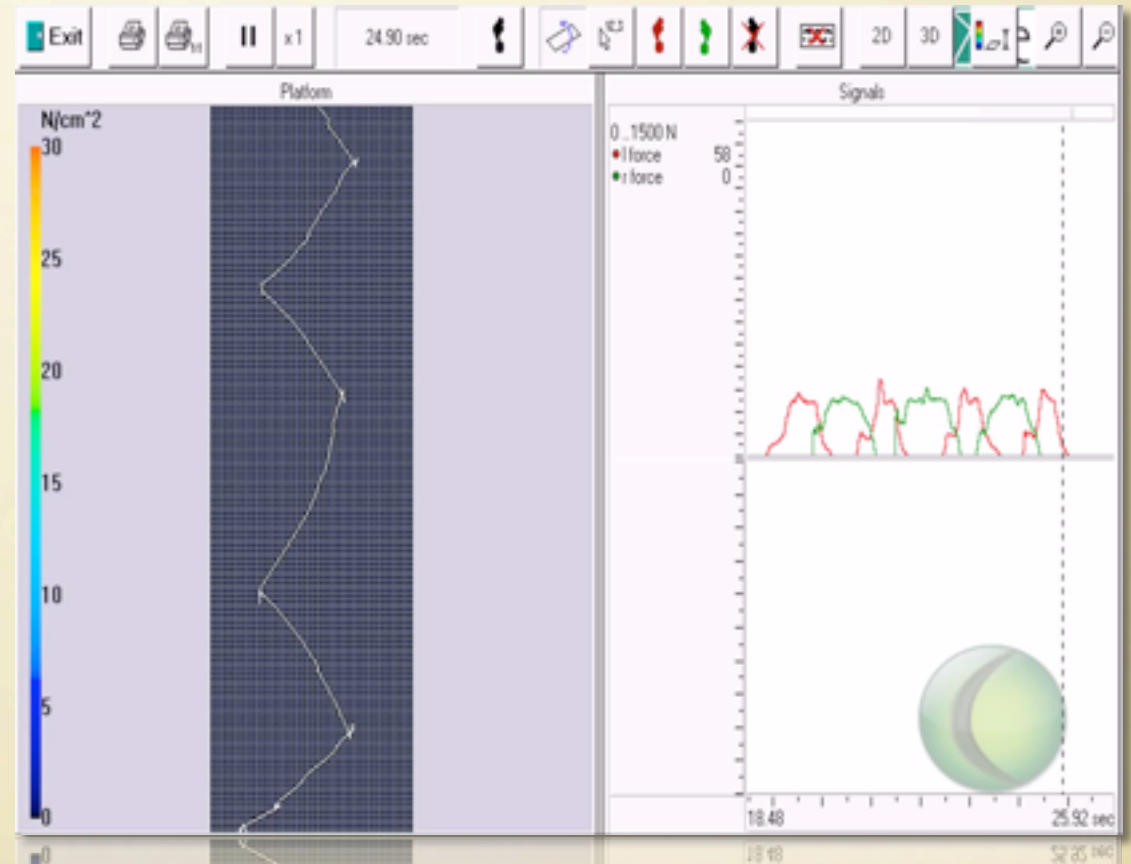
Piezoélectrique

MESURER LA FORCE



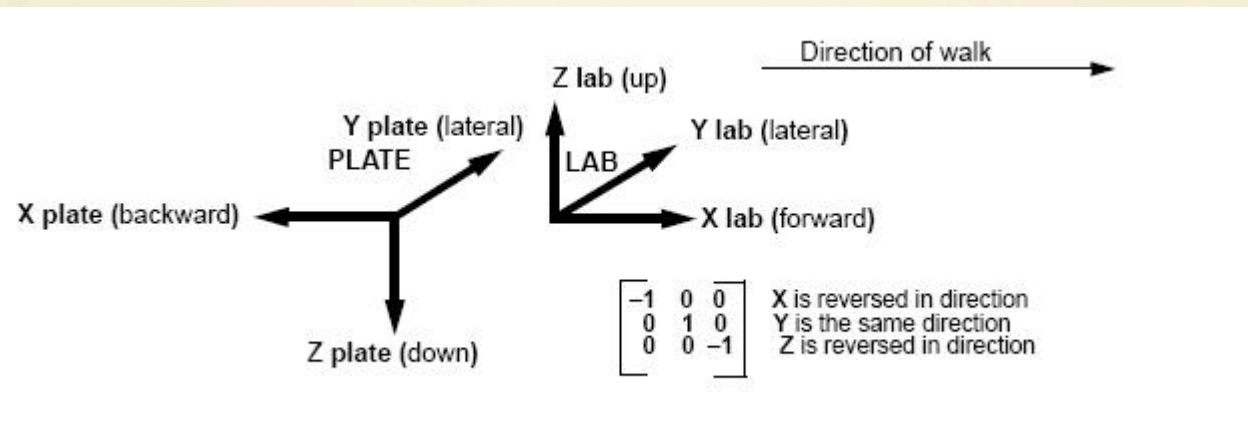
Zebris FDM : Capteurs capacitifs calibrés

Inconvénient : une seule
composante

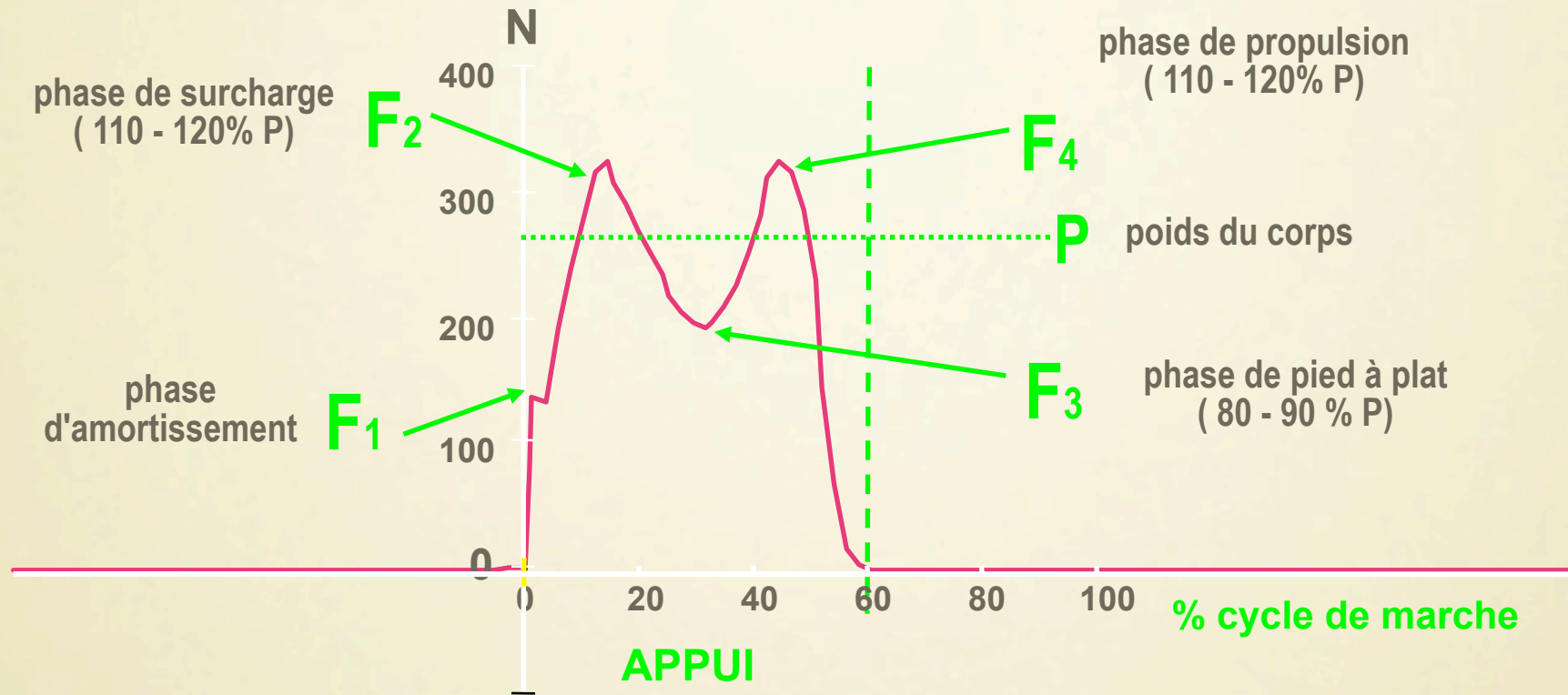


Plateformes de Forces

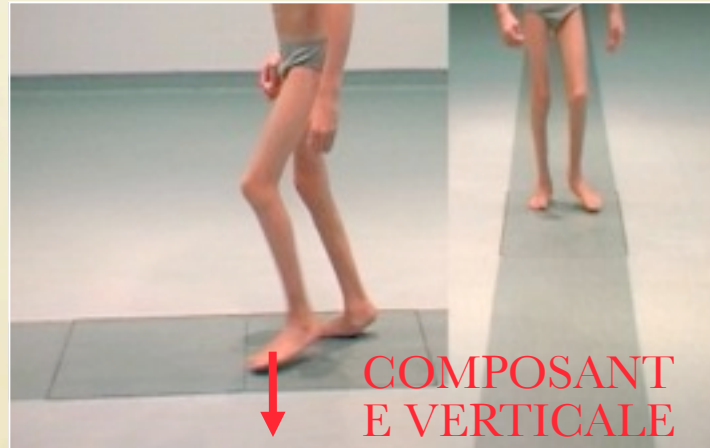
Localisation



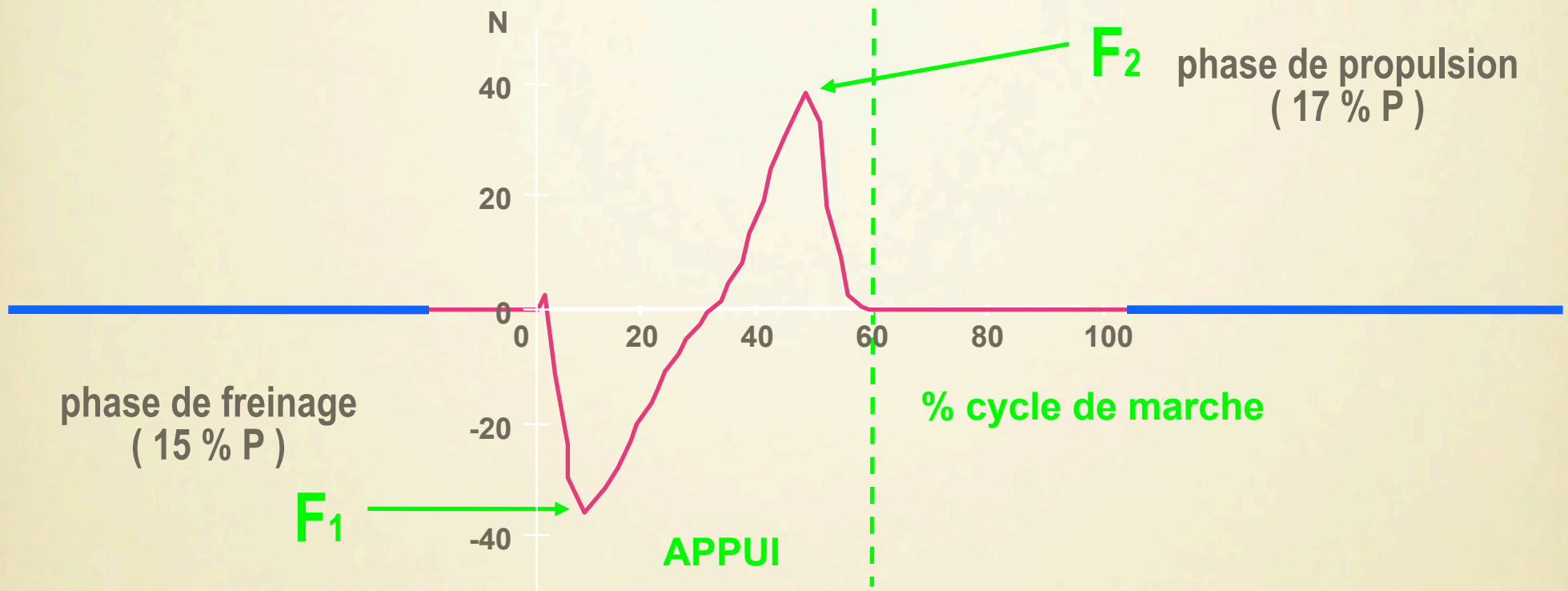
DONNEES ENREGISTREES : FORCES D'APPUI SUR LE SOL



COMPOSANTE
VERTICALE



DONNEES ENREGISTREES : FORCES D'APPUI SUR LE SOL



phase de freinage
(15 % P)

F_2 phase de propulsion
(17 % P)

% cycle de marche

F_1

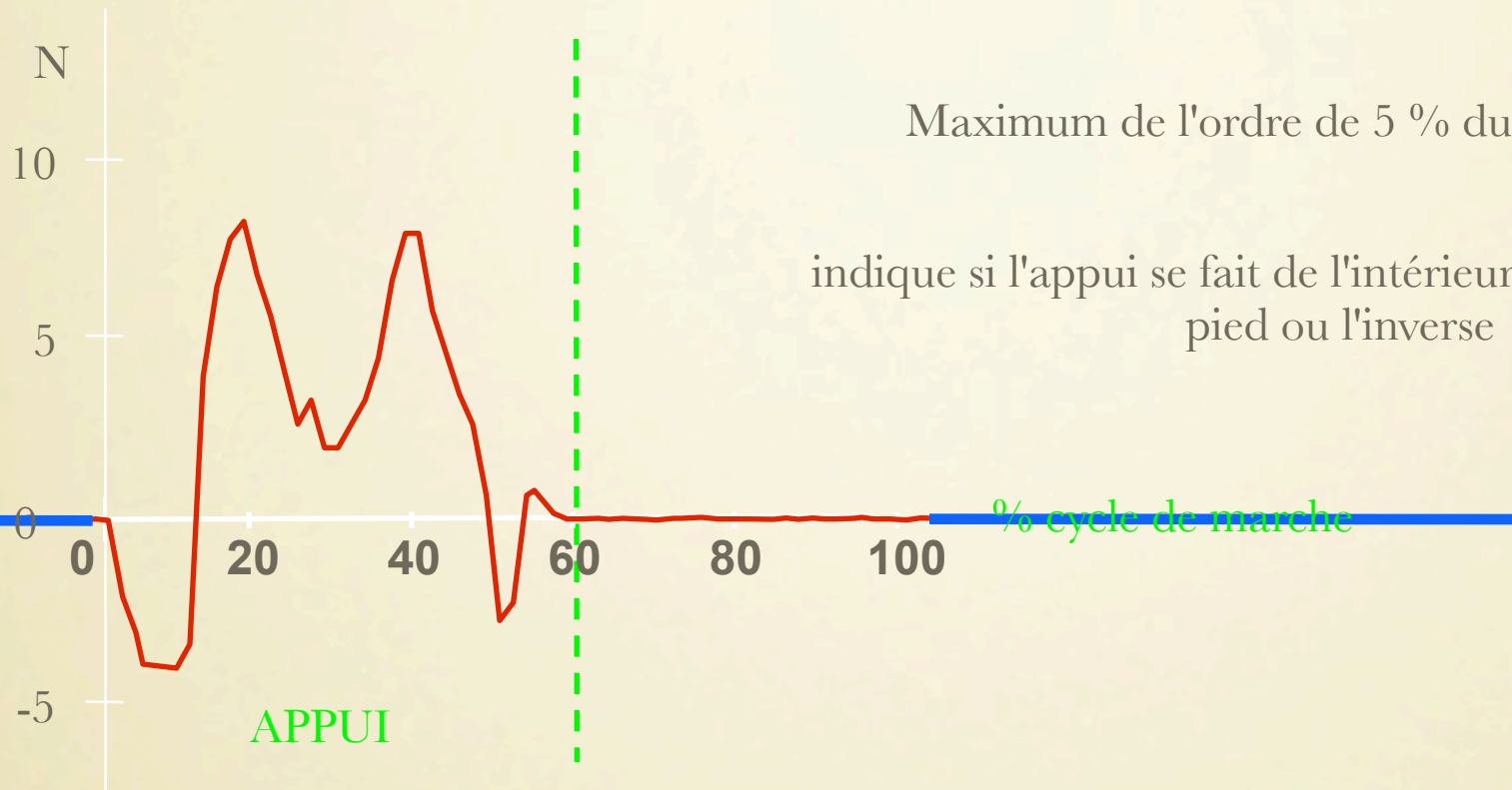
APPUI

COMPOSANTE
ANTERO-POSTERIEURE



COMPOSANTE ANTERO-POSTERIEURE

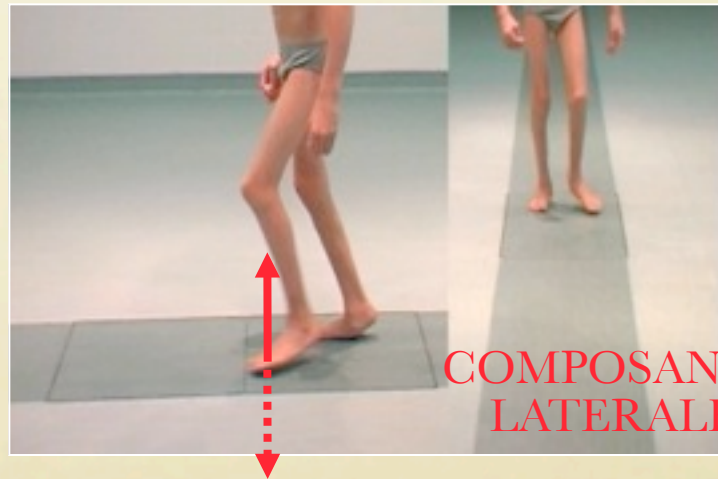
DONNEES ENREGISTREES : FORCES D'APPUI SUR LE SOL



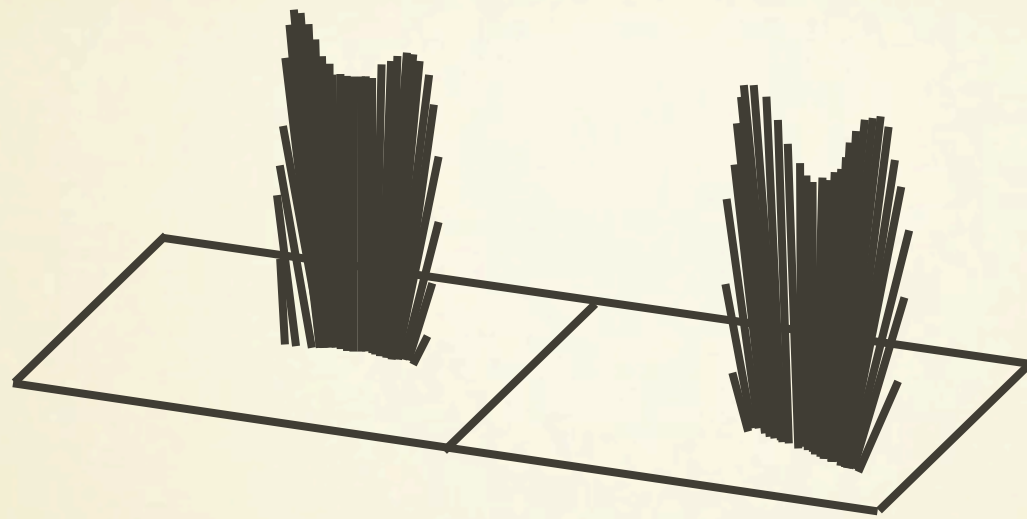
Maximum de l'ordre de 5 % du poids du corps

indique si l'appui se fait de l'intérieur vers l'extérieur du pied ou l'inverse

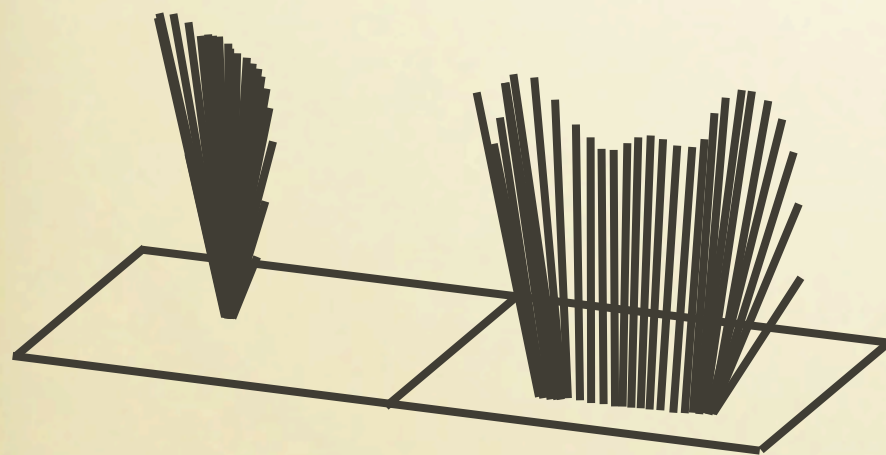
COMPOSANTE LATERALE



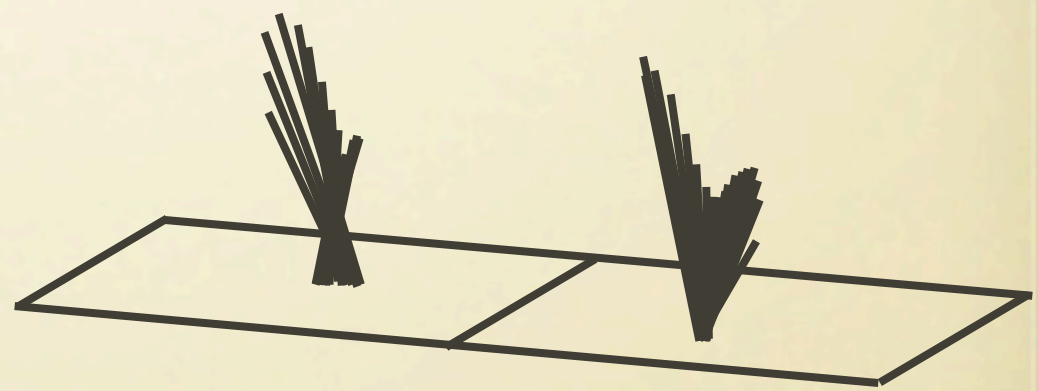
COMPOSANTE
LATERALE



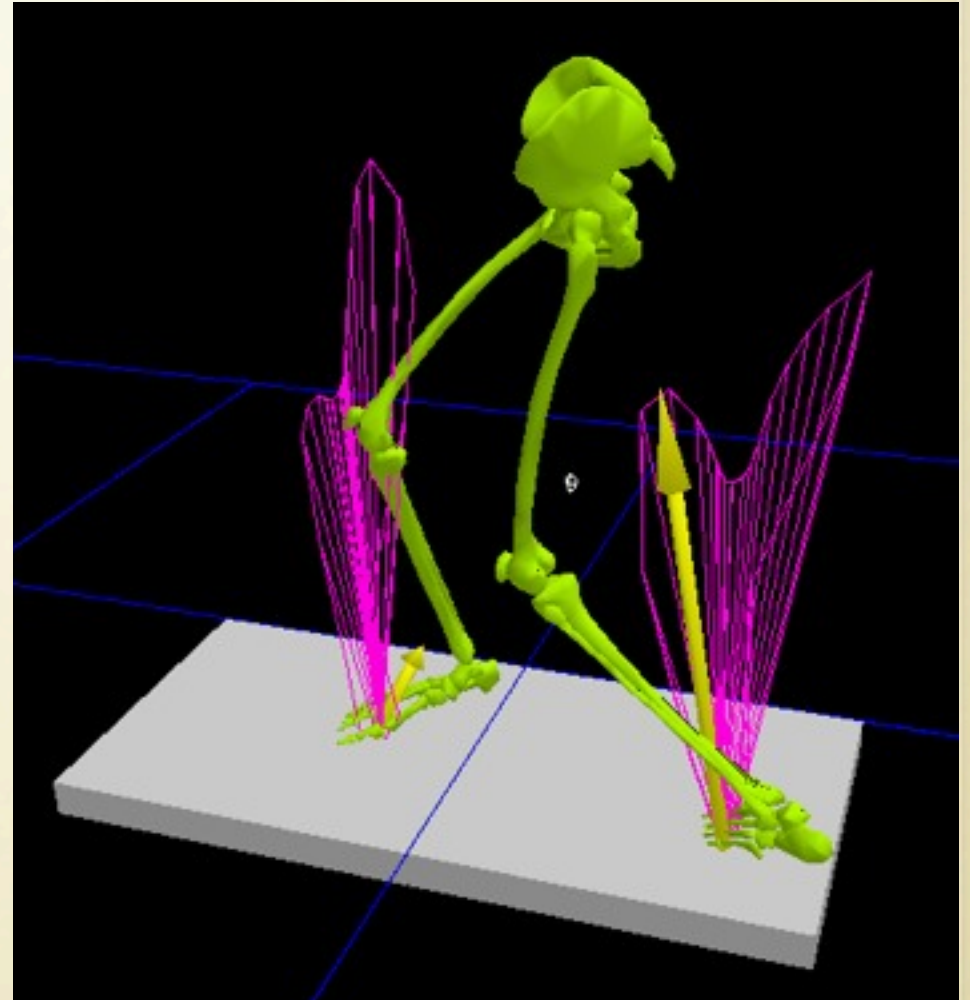
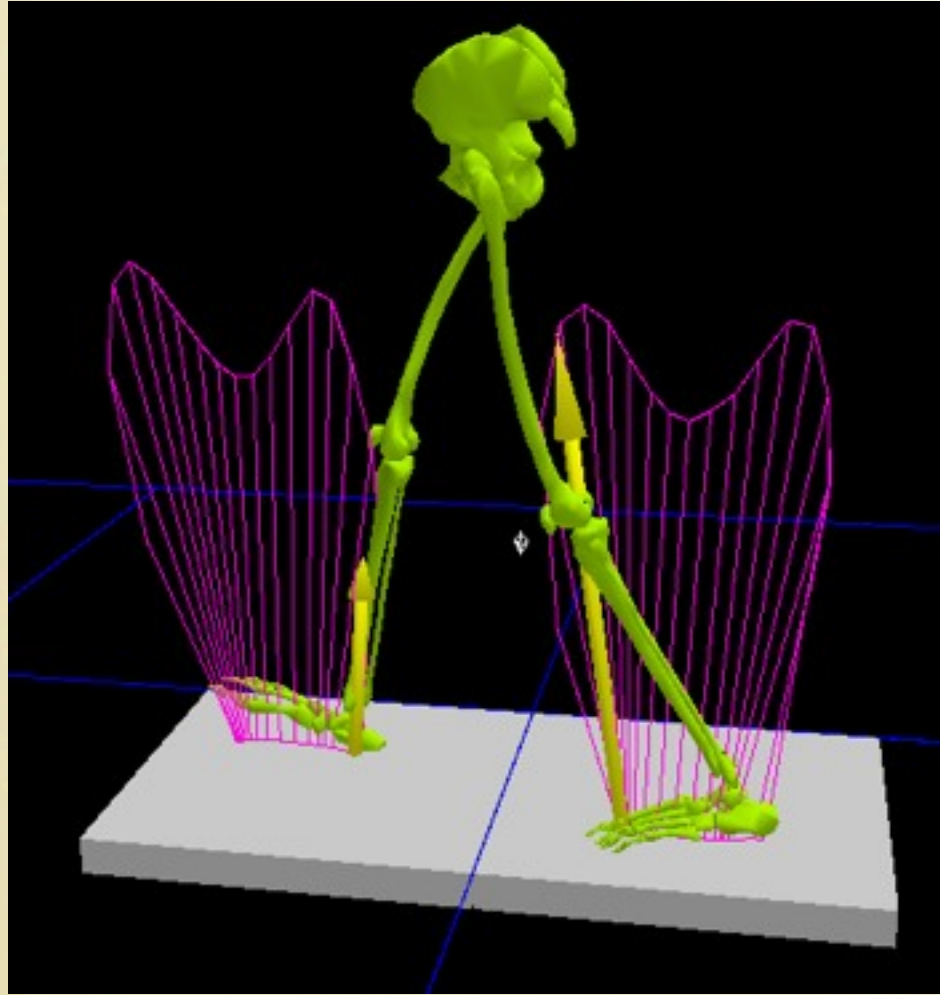
Marche normale



Hémiplégie



Diplégie



LA DYNAMIQUE

«CINÉTIQUE»

Modélisation par dynamique inverse

- Forces externes
- Moments externes

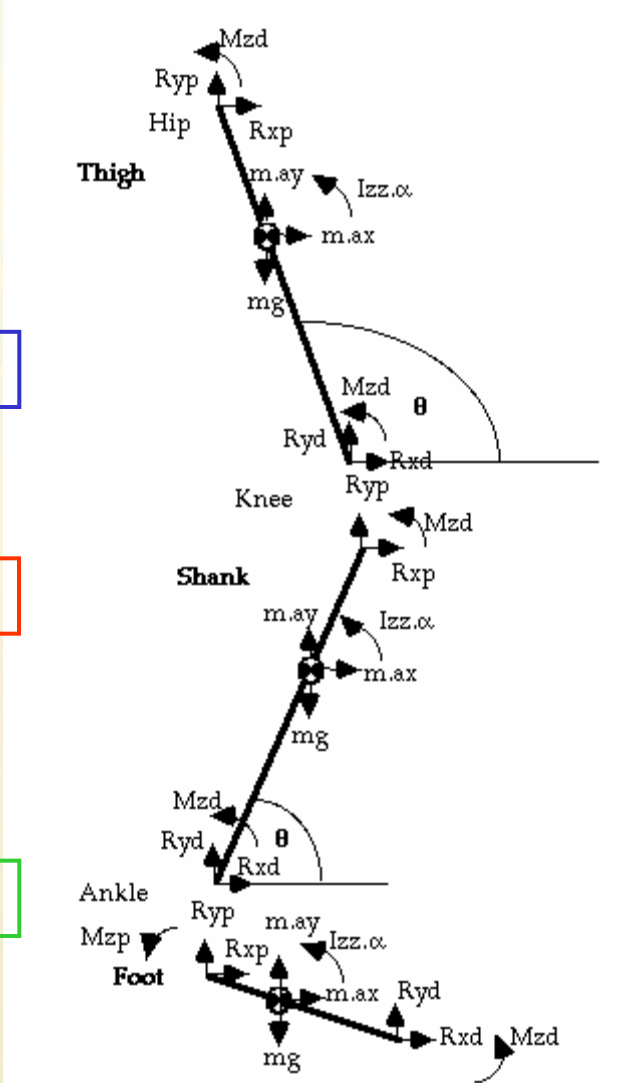
Plateforme de forces

- Masse
- Moment d'inertie
- Centre de masse

Données Biblio

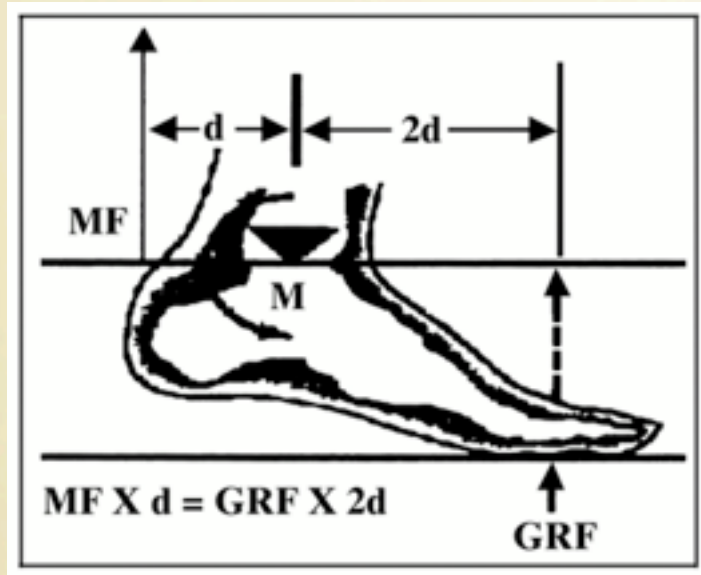
- Déplacement
- Angle
- Vitesse
- Accélération

Système 3D



ANALYSE DYNAMIQUE

Moment = couple de force $M \text{ (Nm/kg)} = F \times d$



$F = \text{Force (N/kg)}$

$d = \text{distance au centre de rotation (m) (longueur du bras de levier)}$

Fourni : Moment interne (lié à l'activité musculaire autour d'une articulation)

Calculé : Moment externe (lié au vecteur force de réaction du sol)

- $F_x = ma_x$

$$F_x(\text{cheville}) = ma_x(\text{pieds}) - F_x(\text{Sol})$$

- $F_y = ma_y$

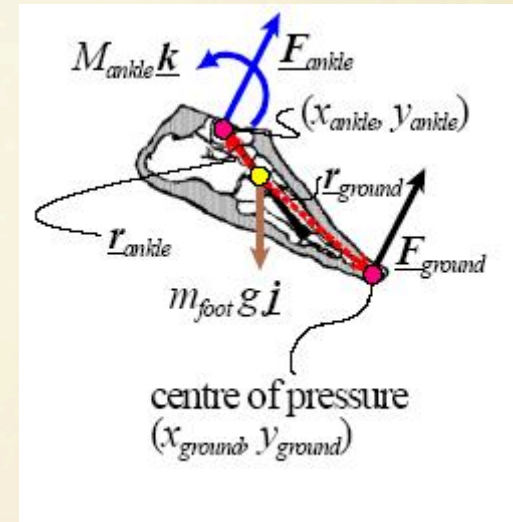
$$F_y(\text{cheville}) = ma_y(\text{pieds}) - F_y(\text{Sol}) + mg$$

- $M_z = I\alpha$

$$M_z(\text{cheville}) = I\alpha(\text{pieds}) - [r_{\text{cheville}} * F_{\text{cheville}}]_z - [r_{\text{sol}} * F_{\text{sol}}]_z$$

$$[r_{\text{cheville}} * F_{\text{cheville}}]_z = r_{x \text{ cheville}} * F_{y \text{ cheville}} - r_{y \text{ cheville}} * F_{x \text{ cheville}}$$

$$r_{\text{cheville}} = (x_{\text{cheville}} - x_{\text{pieds}}, y_{\text{cheville}} - y_{\text{pieds}})$$



EXEMPLE

Au niveau de la cheville

Le pied attaque par la pointe

Il **subit** un moment de **flexion dorsale**.

Pour équilibrer,

il **produit** un moment de **flexion plantaire ou d'extension**

(activité du triceps x bras de levier)

Le vecteur est en avant de la cheville.

PUISSANCE

$$P \text{ (w/kg)} = M \times \omega$$

M : moment

ω : vitesse angulaire

représente l'énergie générée ou
absorbée lors d'une activité musculaire

Excentrique (négative) : décélération

Isométrique (nulle) : stabilisation

Concentrique (positive) : accélération

EXEMPLE

Au niveau du genou

Moment d'extension signifie que les muscles ont tendance à étendre l'articulation alors que l'articulation subit un moment de flexion (le VRF passe en arrière du genou)

Si le genou s'étend : activité concentrique
(puissance fournie)

Si le genou fléchit : activité excentrique
(puissance absorbée)

A RETENIR

Si le moment et le mouvement dans le même sens



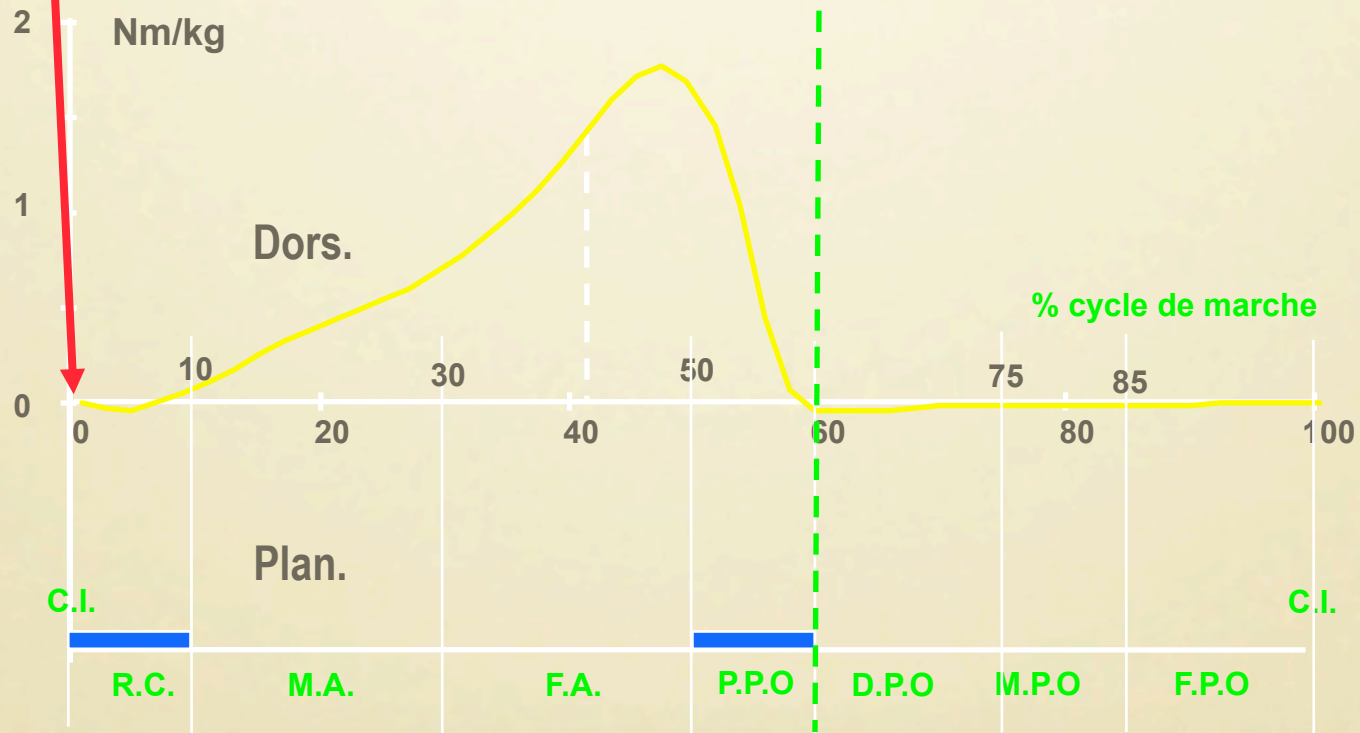
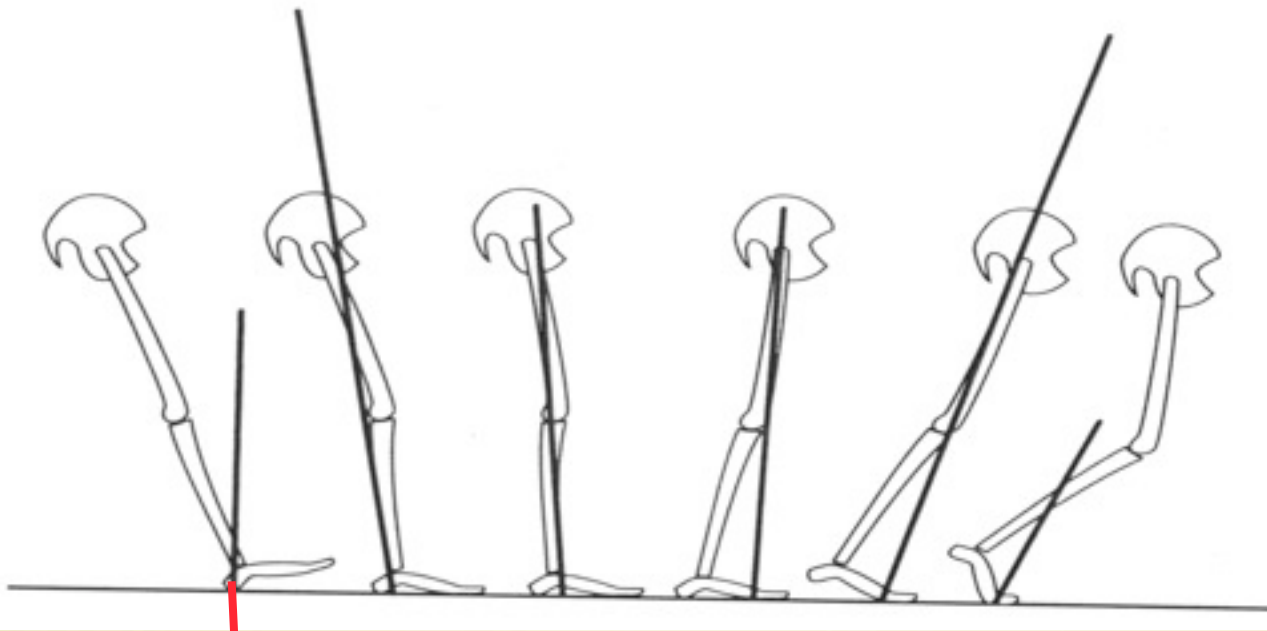
Génération d'énergie

La cheville va vers la flexion plantaire
produit un moment de flexion plantaire

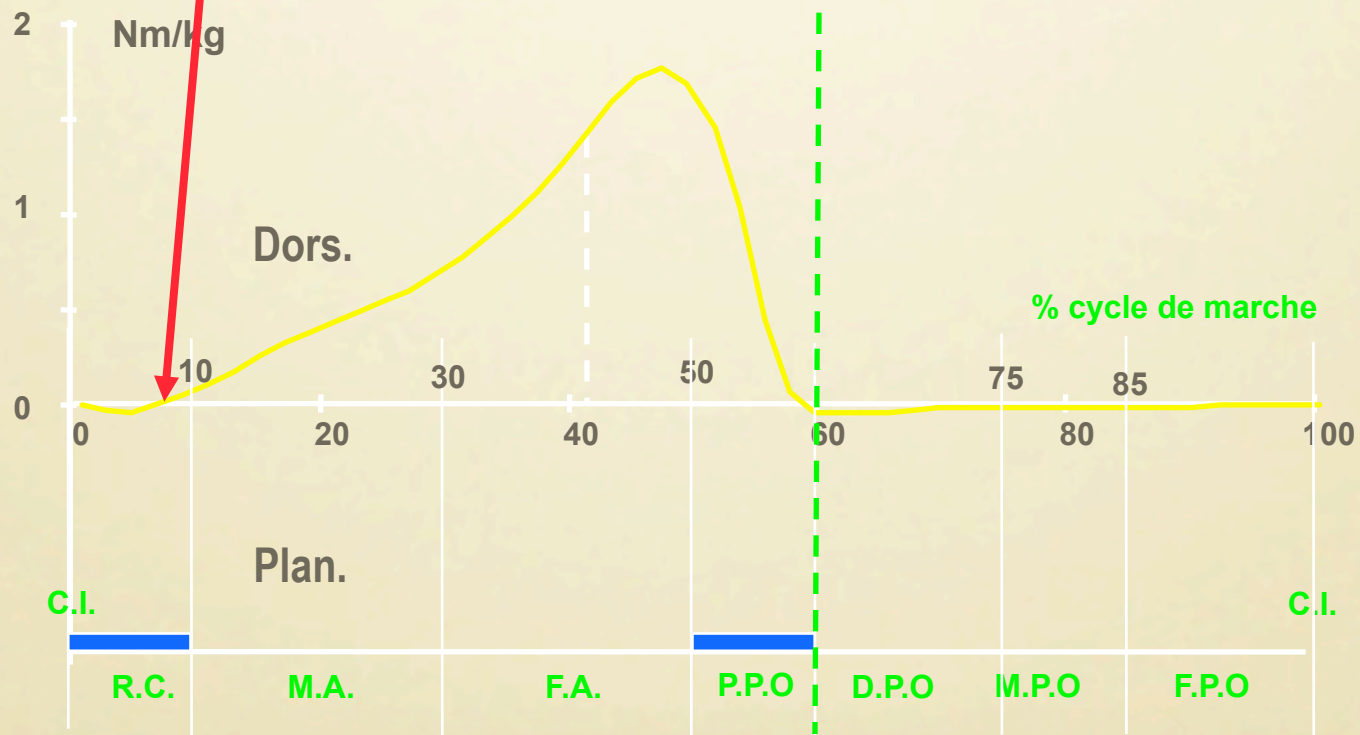
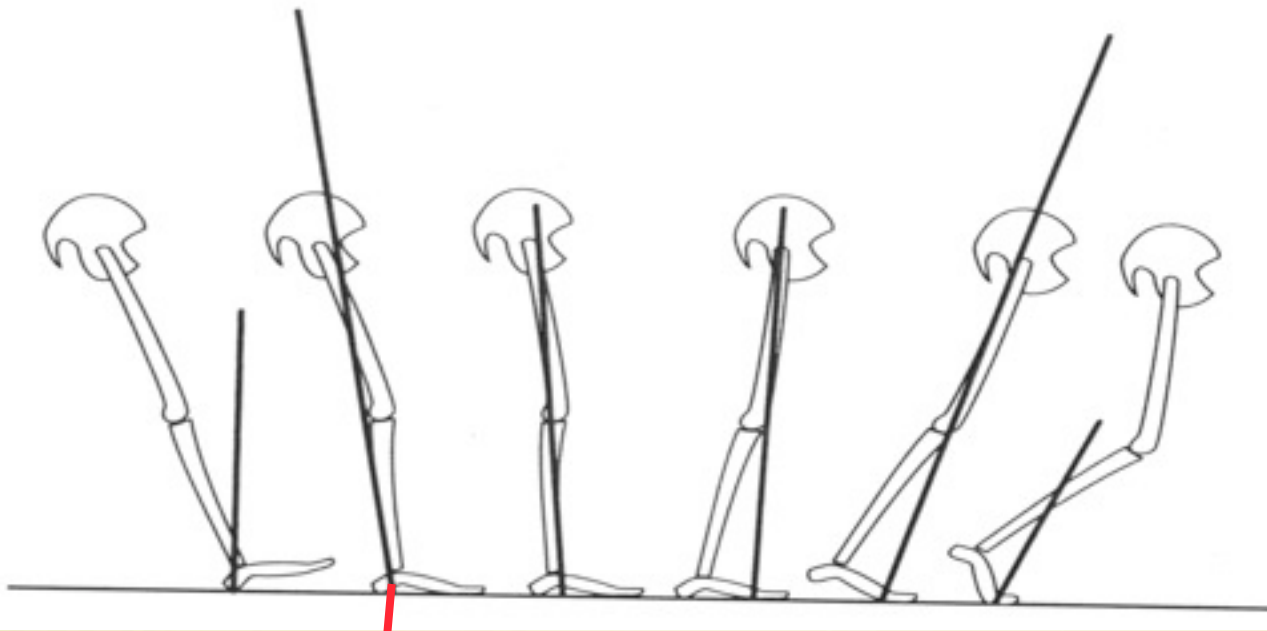


Génération d'énergie

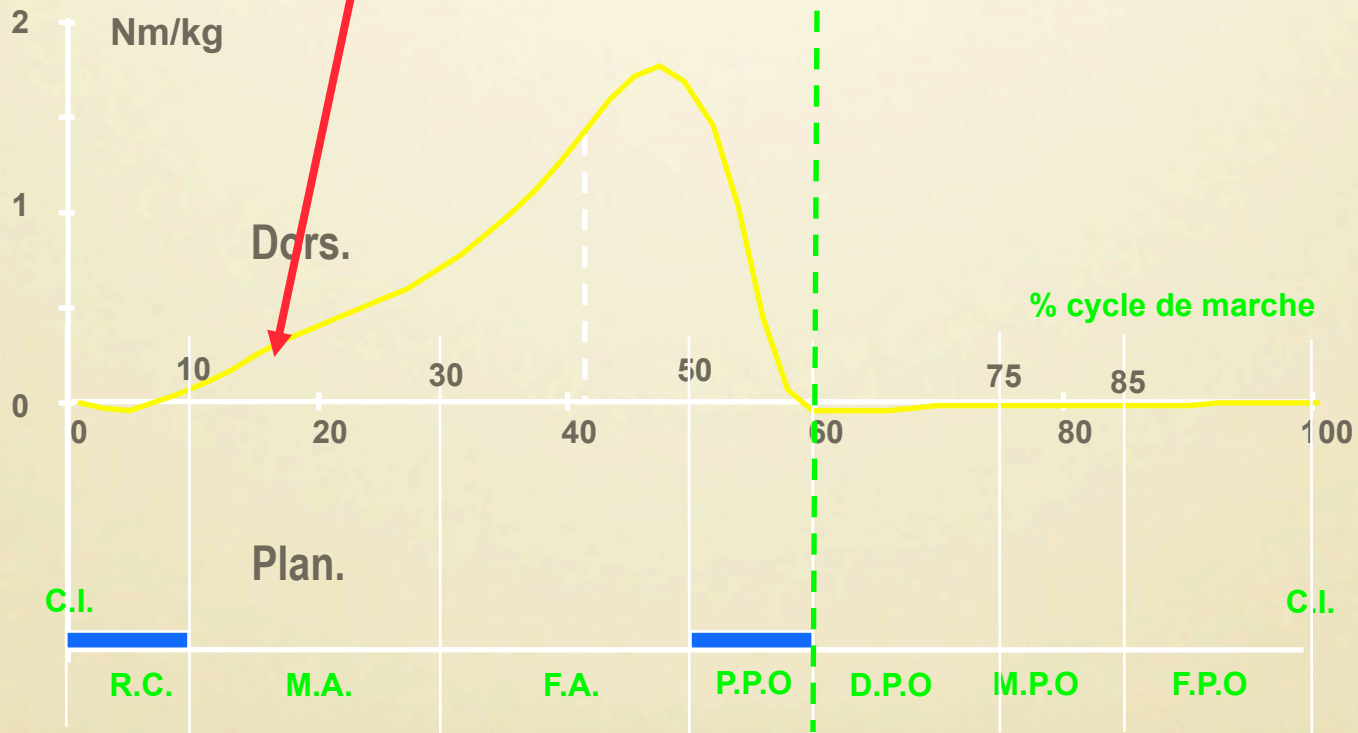
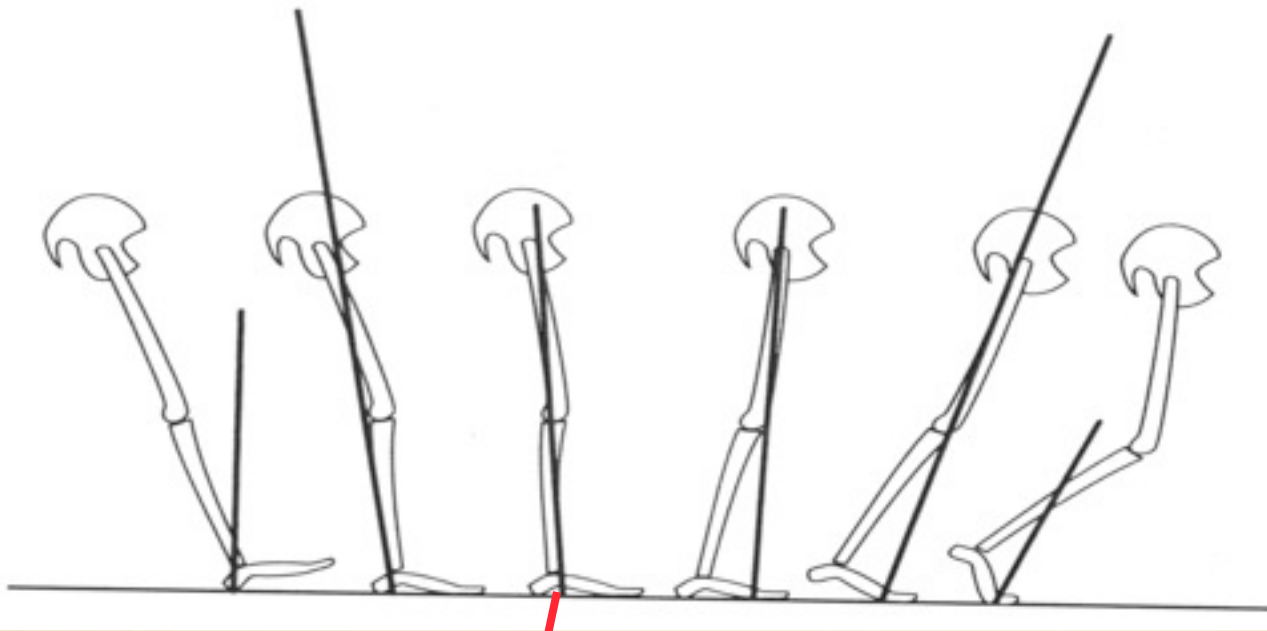
CHEVILLE Moment



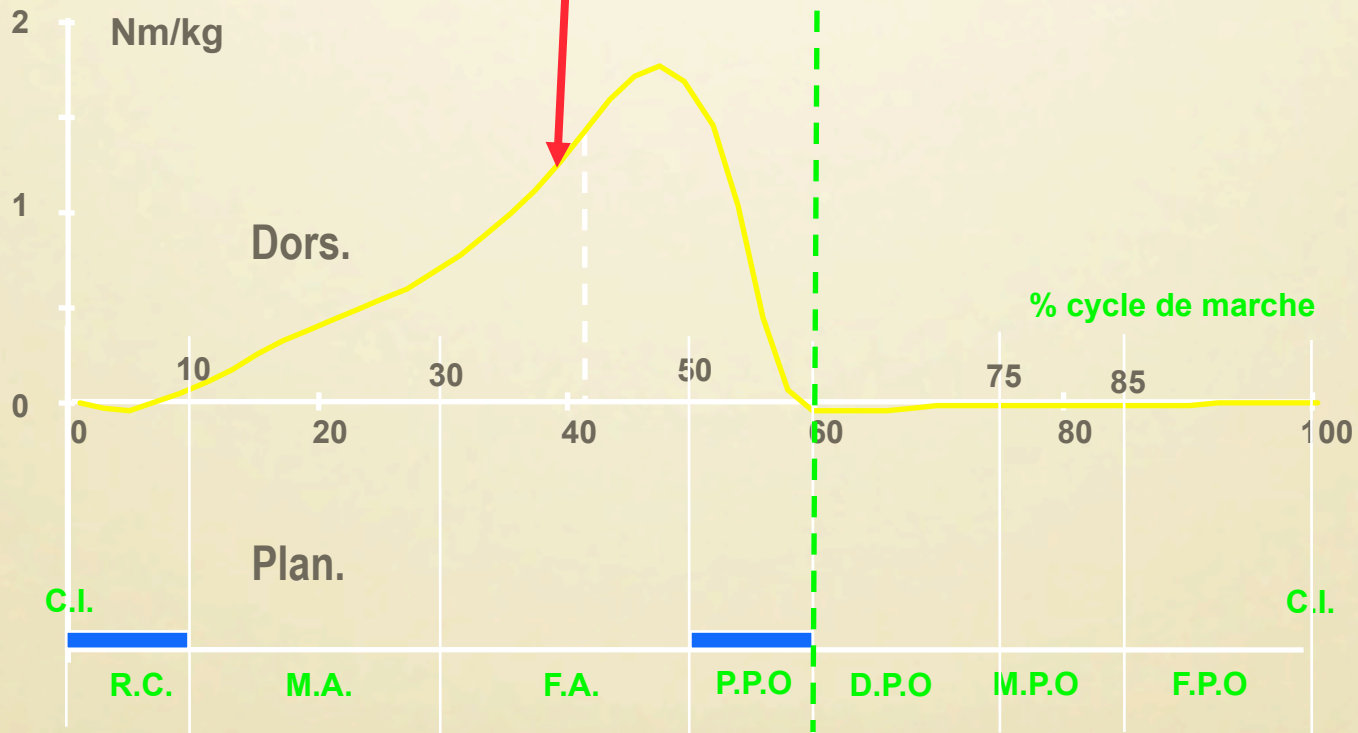
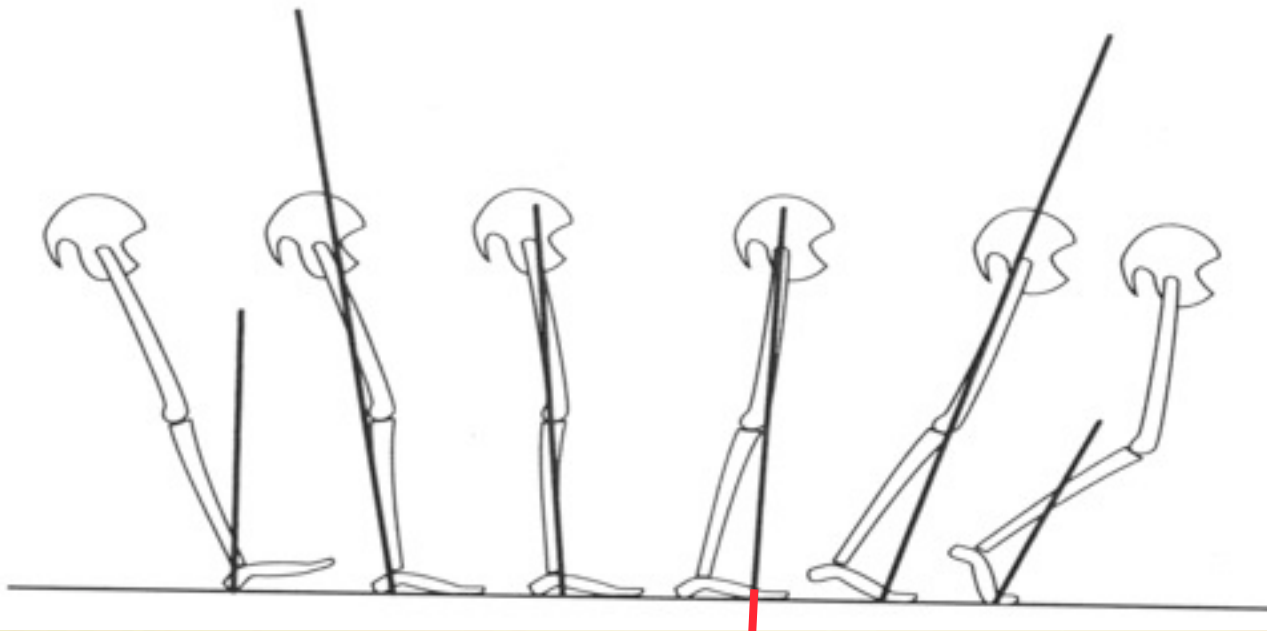
CHEVILLE Moment



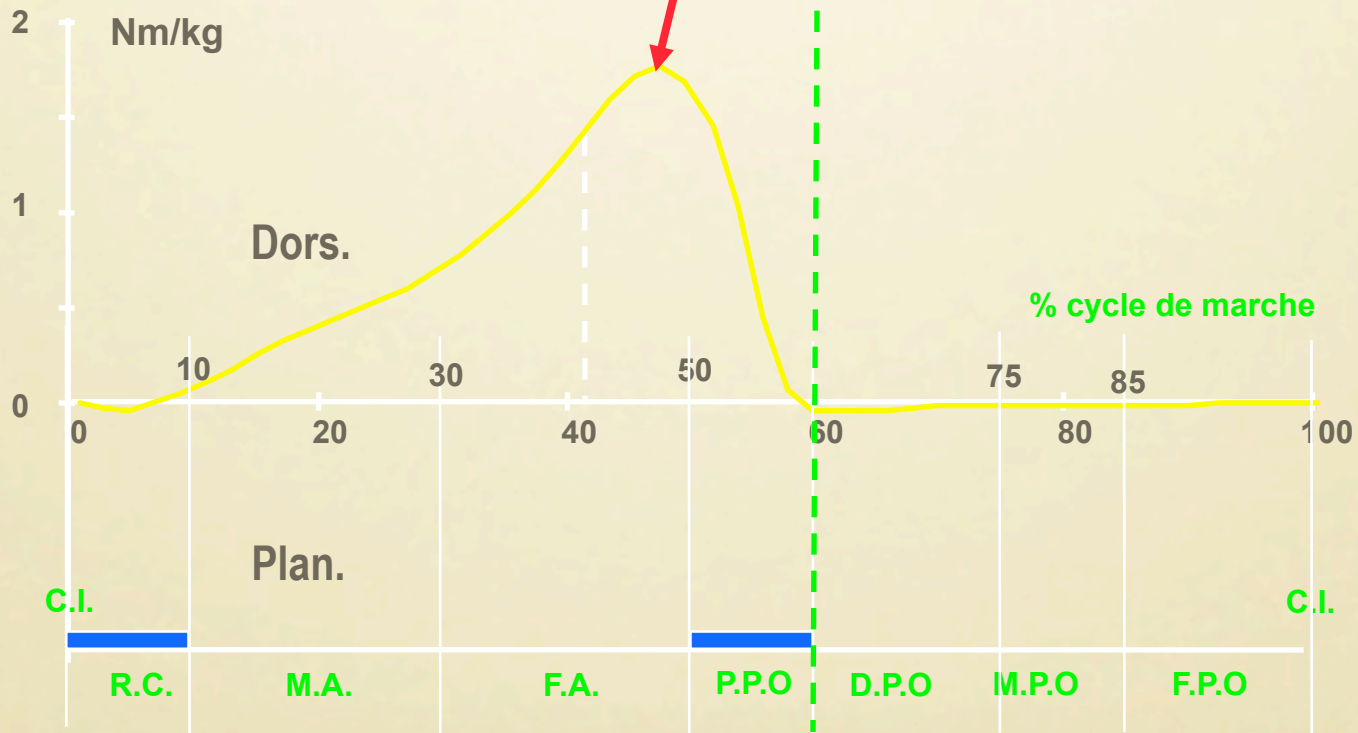
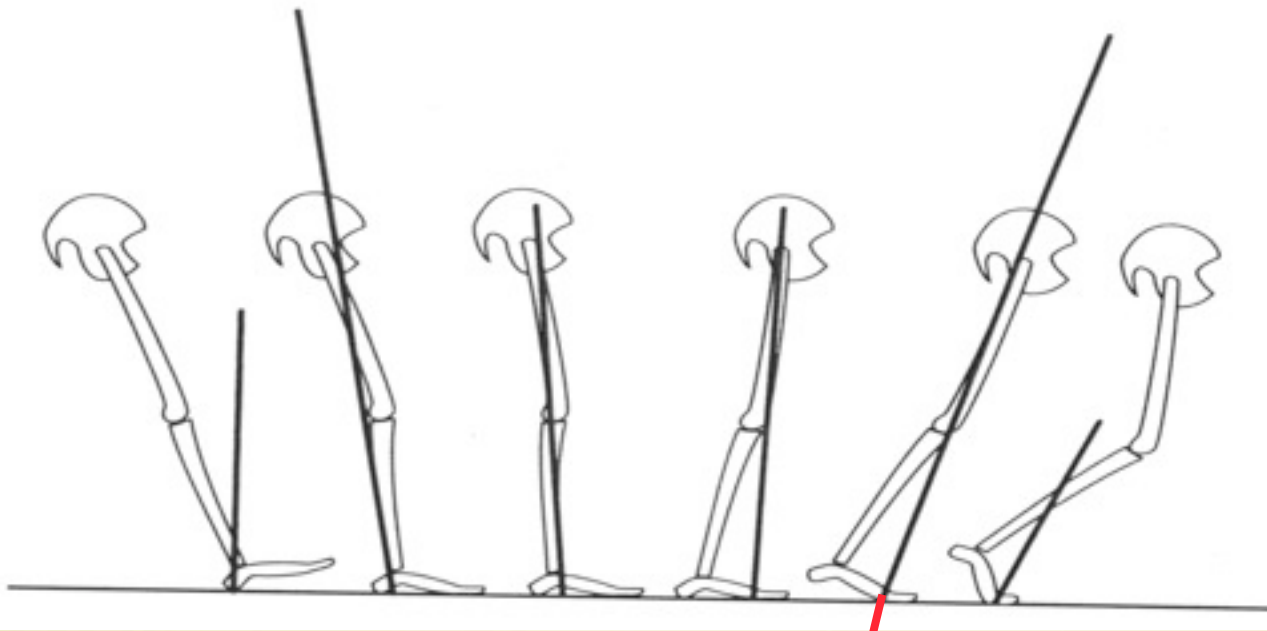
CHEVILLE Moment



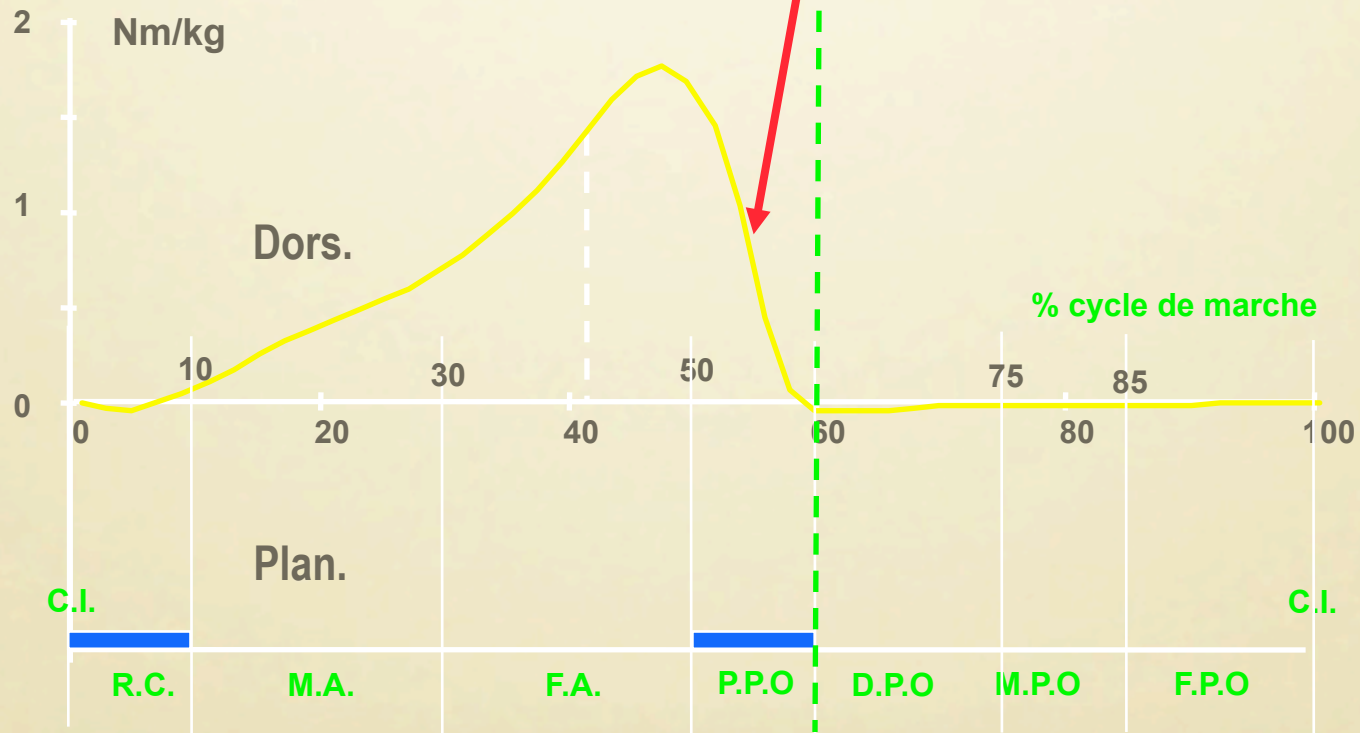
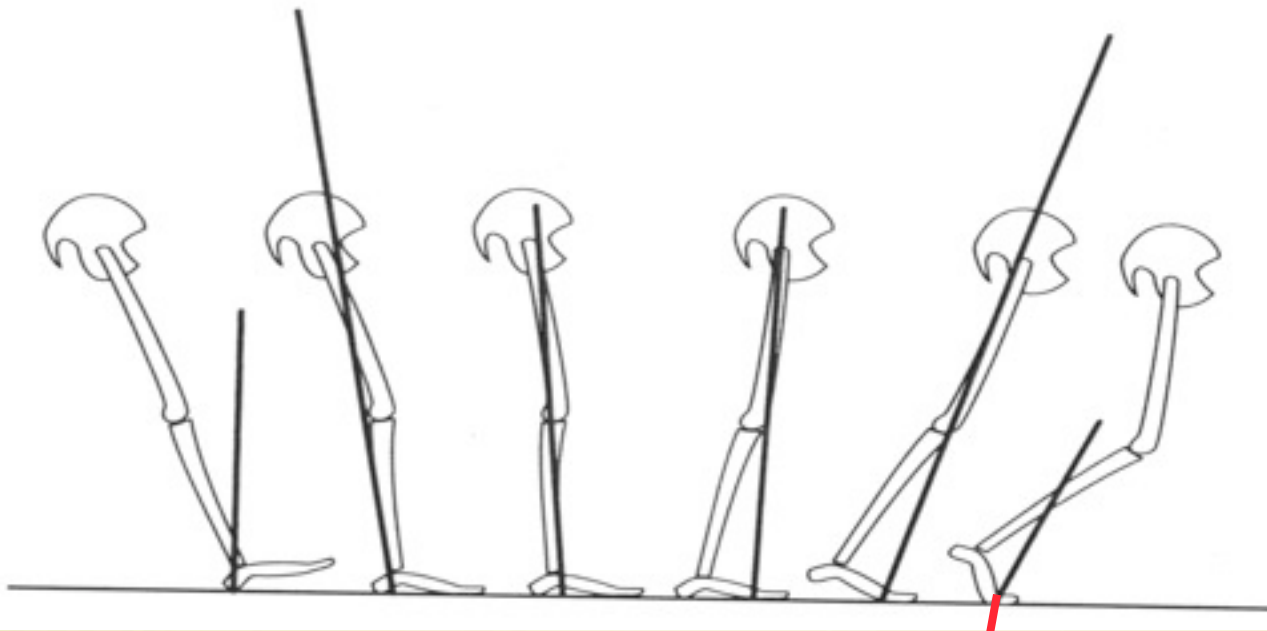
CHEVILLE Moment



CHEVILLE Moment



CHEVILLE Moment



CHEVILLE Puissance



J.A

T.

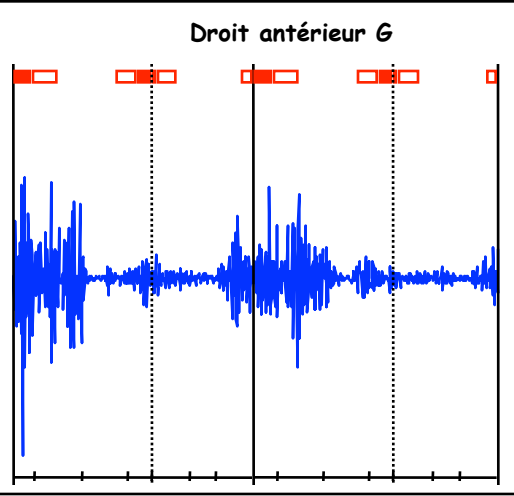


L'ÉLECTROMYOGRAPHIE

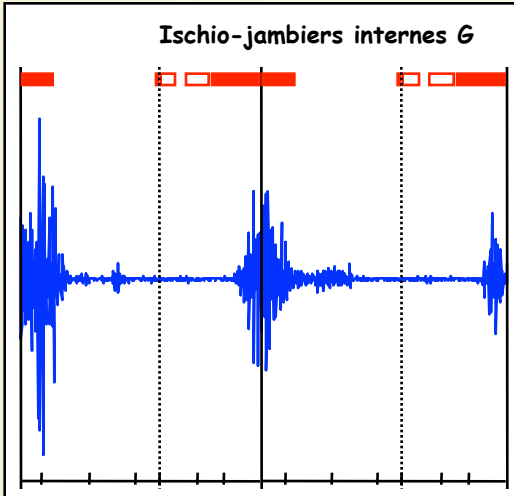
DE SURFACE

ENREGISTREMENT ELECTROMYOGRAPHIQUE

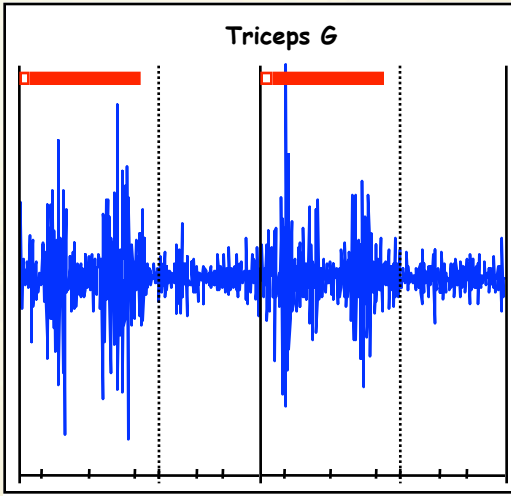
Droit antérieur G



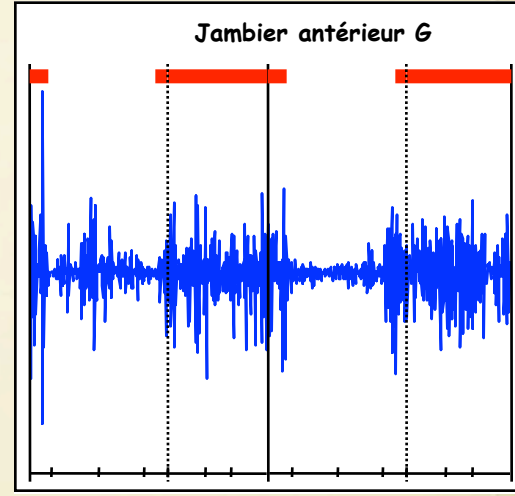
Ischio-jambiers internes G



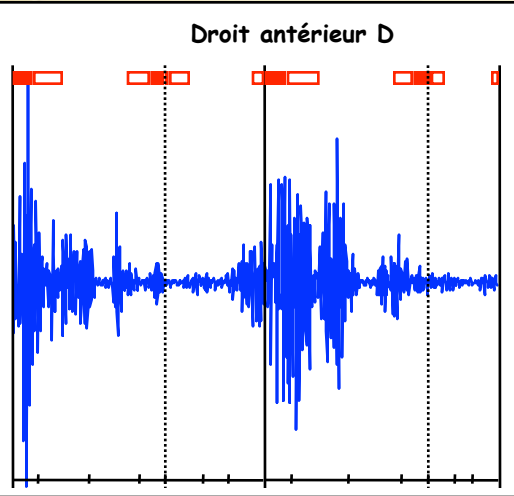
Triceps G



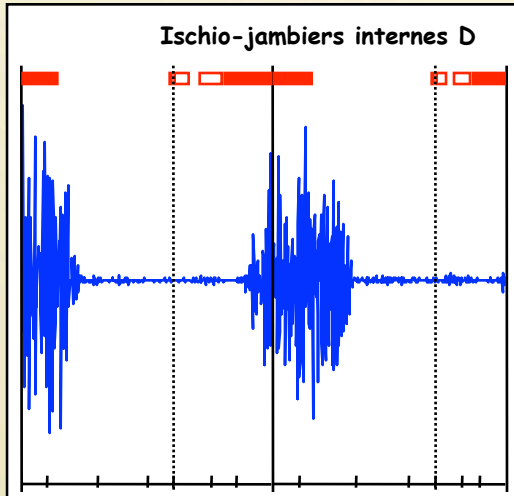
Jambier antérieur G



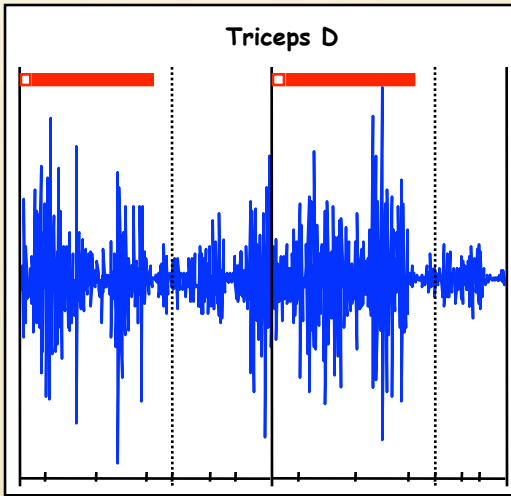
Droit antérieur D



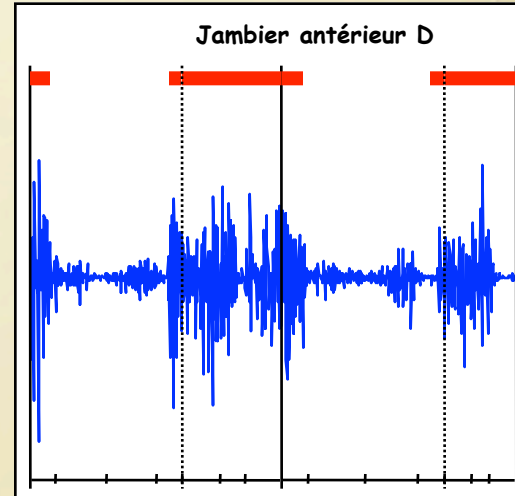
Ischio-jambiers internes D



Triceps D



Jambier antérieur D



ACTIVITE MUSCULAIRE

Aide à la compréhension des situations cinématiques pathologiques

- Début de l'activité
- Durée de l'activité
- Type d'activité
- A contre temps

Difficulté d'interprétation des muscles biarticulaires

ACTIVITE MUSCULAIRE

Trois possibilités :

EMG normal

- EMG anormal mais expliqué par une situation articulaire anormale
(flexion du genou en phase d'appui → activité anormale du
quadriciceps,
mais nécessaire pour éviter l'effondrement)

- EMG anormal expliquant la situation anormale

LES LIMITES

Principes

Analyse de la marche normale

Modèle mathématique de calcul
des centres articulaires
des paramètres dynamiques

Limites dans le cas de la marche pathologique

Enfant ne marchant pas !

Enfant ne marchant pas droit

Enfant trop jeune

Enfant non coopérant







Examen clinique

```
graph TD; A[Examen clinique] --> B[Enfant qui marche, coopère, a une pathologie de la marche]; A --> C[Orienter la demande de l'AQM]; C --> D[Anomalies architecturales]; C --> E[Troubles rotationnels]; C --> F[Problèmes musculaires];
```

Enfant qui
marche, coopère,
a une pathologie
de la marche

Orienter la demande
de l'AQM

Anomalies architecturales

Troubles rotationnels

Problèmes musculaires



ENREGISTREMENT

Problèmes

- d'allergie (latex)
- de repérage des points anatomiques (obèses)
- de repérage des muscles
 - précision des mesures anthropométriques (flexum, avec ou sans attelles,....)

Problèmes

- utilisation d'aides de marche (marqueurs cachés ou déplacés)
- petits pas : pas de dynamique



- de repérage des instants pertinents du cycle de marche

- Reproductibilité des mesures

- Résultats sur un cycle, sur plusieurs cycles

- Ce qui est mesuré, ce qui est calculé
- Comment sont calculés les angles par rapport au référentiel « laboratoire » un segment par rapport à un autre
- Modèle mathématique utilisé hypothèses

PRECISION DES DONNEES

En théorie : mesures au mm, calculs au degré

En pratique : a-t-on besoin d'une telle précision?

CINEMATIQUE

Analyse **globale** des angles de cheville, du genou, de la hanche et du bassin **dans les 3 plans.**

Compte tenu des hypothèses, les valeurs calculées sont imprécises

Ce qui importe c'est le sens : > 0 ou < 0

MOMENTS

Position et direction du vecteur force par rapport à une articulation

PUISSANCE

Absorption ou génération d'énergie -- Contraction excentrique ou concentrique

* Définition des mouvements du pied

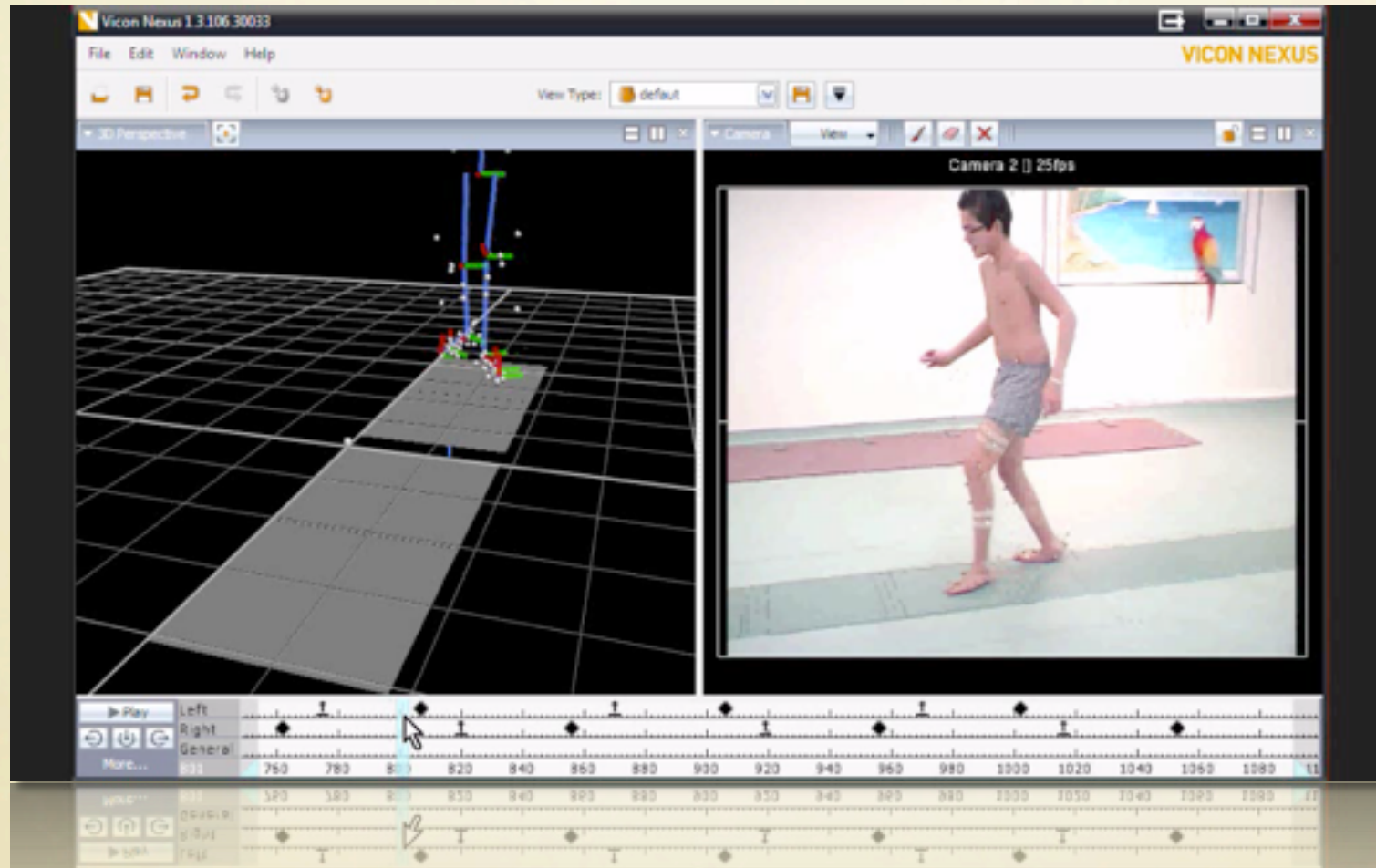
2 marqueurs : **Très insuffisant !**

Cassure dans la médiotarsienne

* Bassin : point de départ des calculs !



L'OXFORD FOOT MODEL

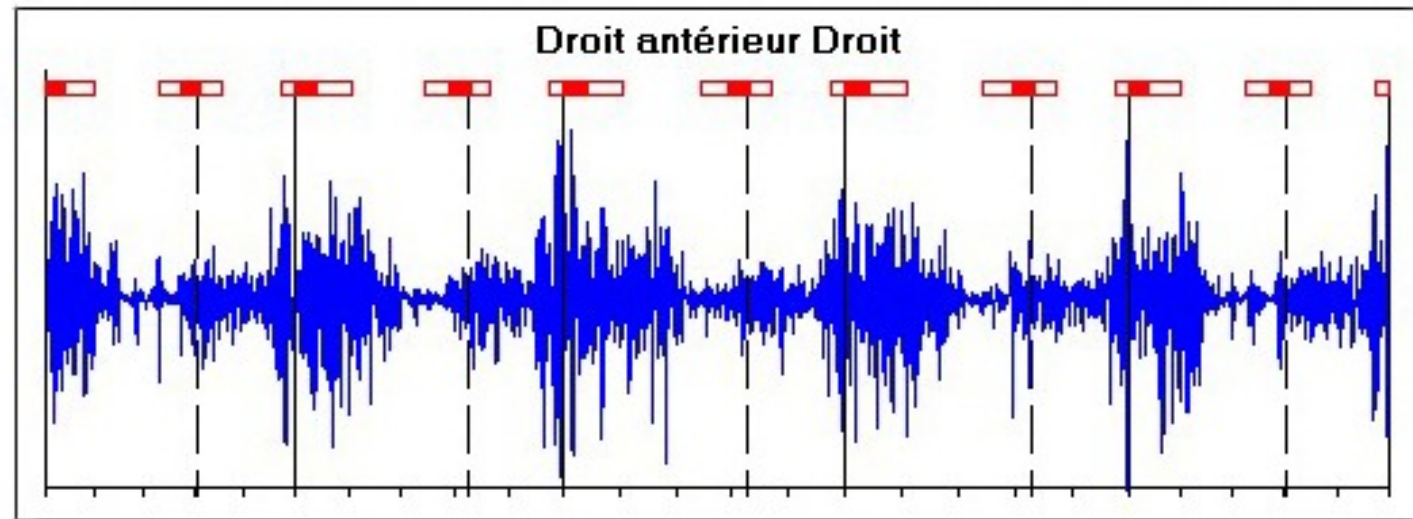
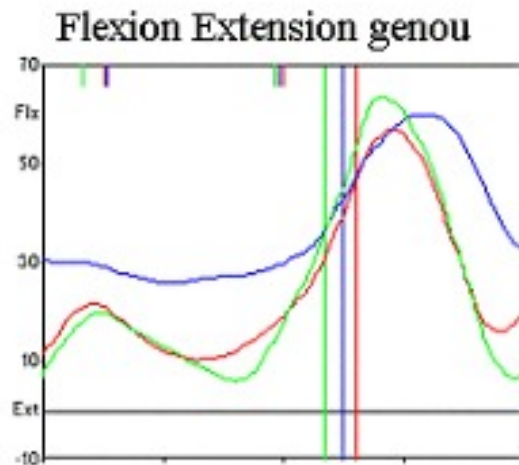


Électrodes de surface – muscles superficiels

Timing de contraction musculaire - Ne pas chercher à quantifier

Pas de relation avec force musculaire

Corrélations avec cinématique et cinétique



Origine ou conséquence ?

INTERET DE L'AQM

REEDUCATION

APPAREILLAGE

CHIRURGIE

TRAITEMENT MEDICAMENTEUX

Compréhension des mécanismes
(complexes)

responsables du trouble de la marche

POUR INFO

- <http://www.analysedelamarche.fr>