



## Cinématique pour l'analyse du mouvement: Principes & Méthodologies

Vincent POMERO (PhD)

Centre d'Analyse de Mouvement et Service Orthopédie Pédiatrique,  
Hôpital Timone-Enfants, Marseille



## Introduction

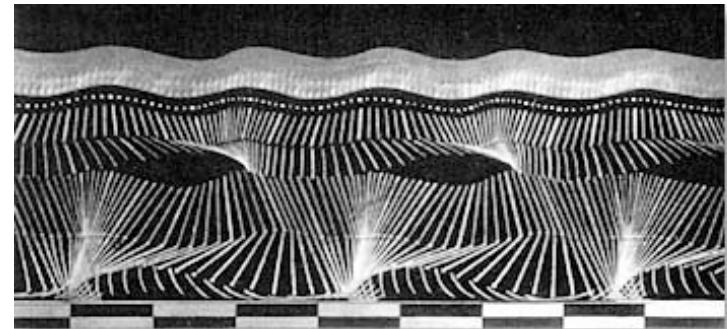
Définition de la cinématique:

La cinématique est la partie de la mécanique qui étudie le mouvement des corps, indépendamment des forces qui les produisent.

Le mot cinématique provient du grec *kinema*, qui signifie mouvement.

## Principe de l'analyse cinématique

- Description du mouvement d'un solide :



Positions successives au cours du temps

Vincent POMERO

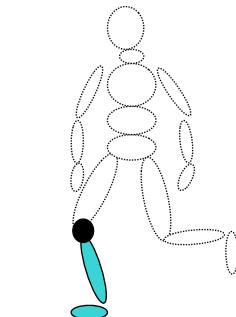
DIU Analyse du Mouvement - Marseille

Cinématique : analyse du mouvement

### Position, variation de position

- De points, de droites ou de solides indéformables
- Dans le plan ou dans l'espace

En Biomécanique:  
Solides indéformables, ou  
déformables à rigidifier



Modèle Biomécanique  
en 17 solides

## Grandeurs étudiées:

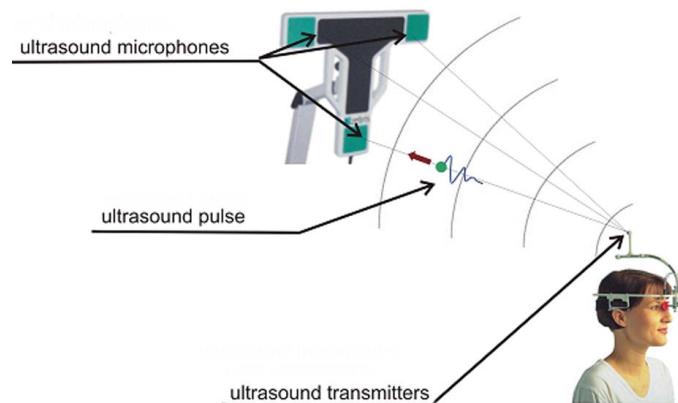
- Position,
- Déplacement,
- Trajectoire,
- Vitesse,
- Accélération.

**décrire des patterns spécifiques**

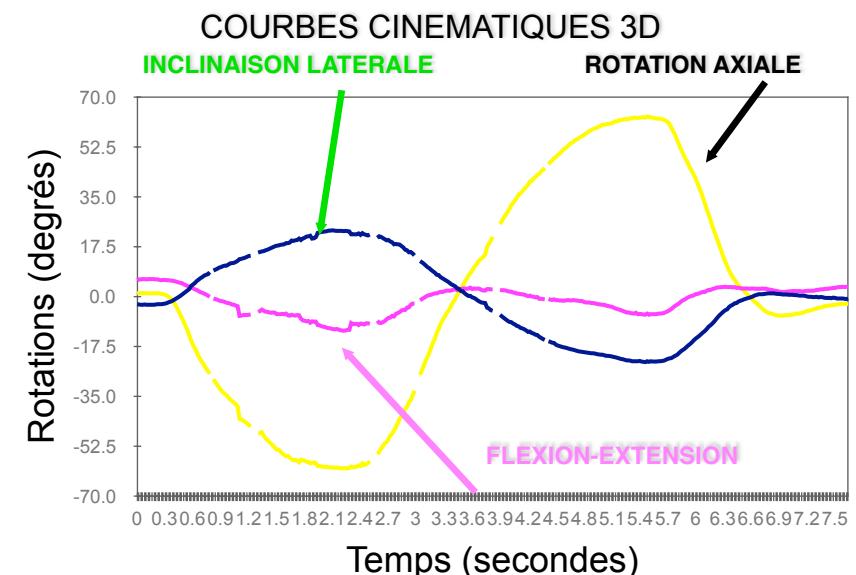
**comprendre**

**assistance au geste chirurgical,  
évaluation**

## ANALYSE CINÉMATIQUE: Décrire...

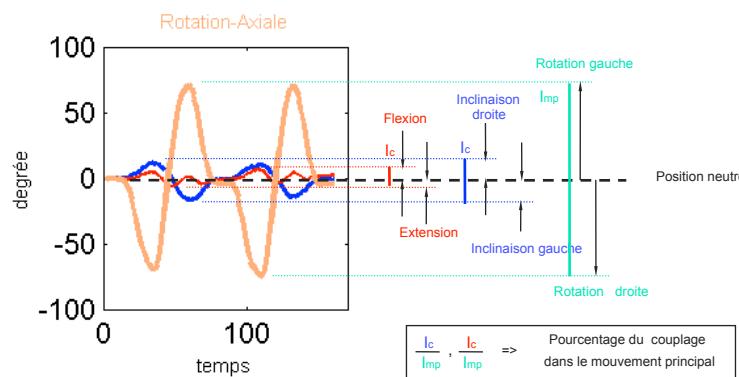


## ANALYSE CINÉMATIQUE: Décrire...



## ANALYSE CINÉMATIQUE: Décrire...

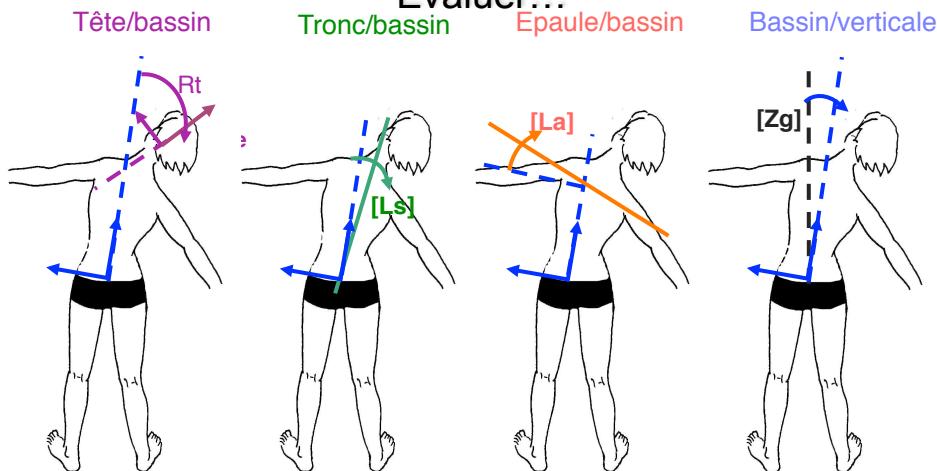
### Amplitudes maximales



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## ANALYSE CINÉMATIQUE: Comprendre & Evaluer...



### DESCRIPTEURS

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## ANALYSE CINÉMATIQUE: Comprendre & Evaluer...



### ANALYSE de sujets scoliotiques en pré- & post opératoire



- rotation axiale

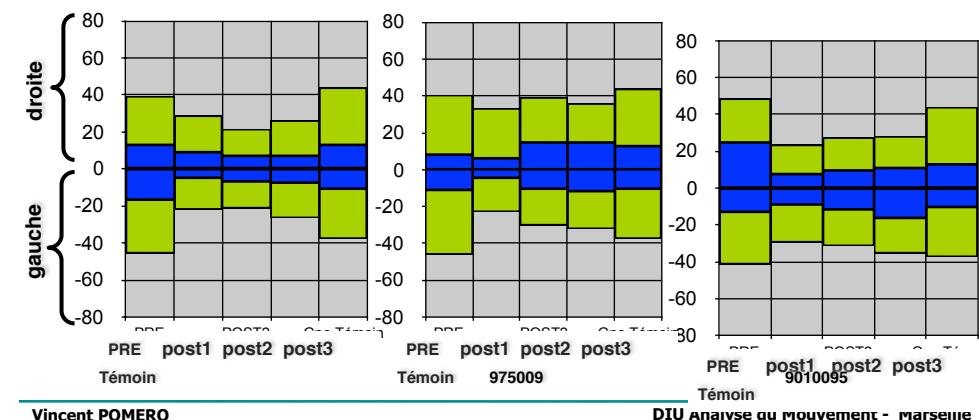
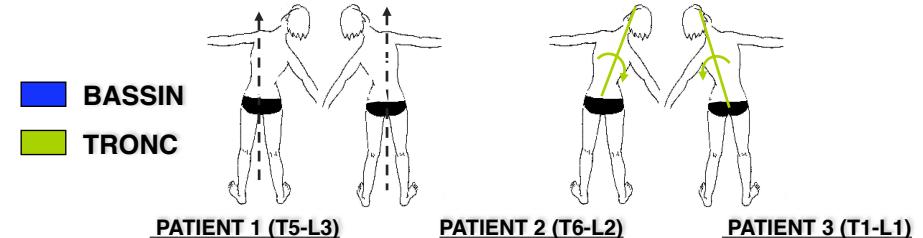


- Flexion ; Extension

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

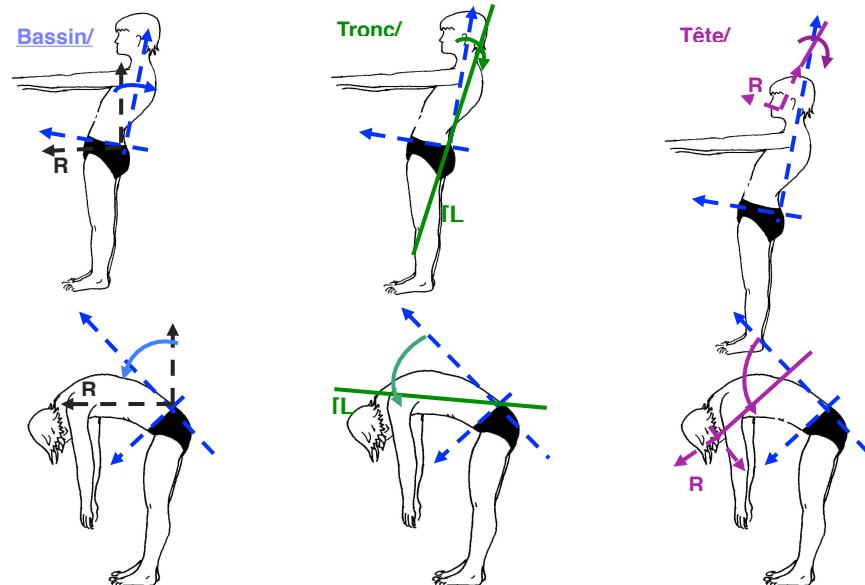
### Mobilités du bassin et du tronc en inclinaison latérale



Vincent POMERO

DIU Analyse du mouvement - Marseille

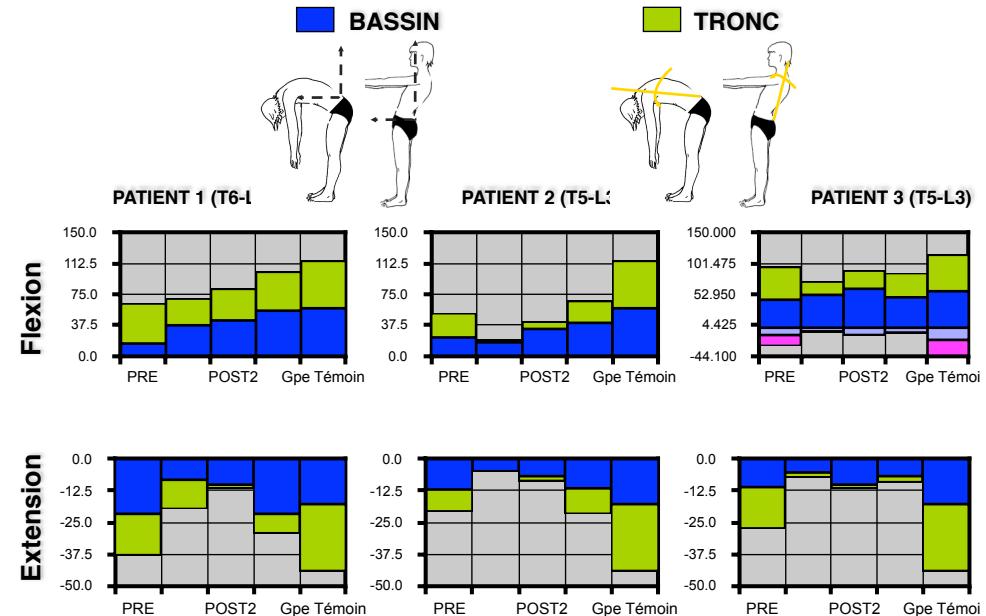
## Descripteurs en flexion-extension



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

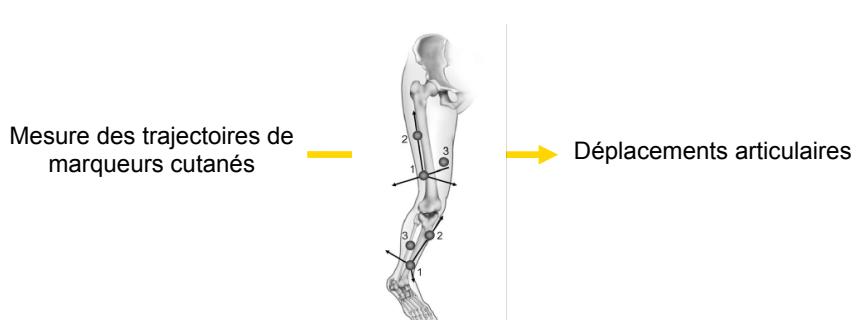
## Mobilités du bassin et du tronc en flexion extension



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Problématique



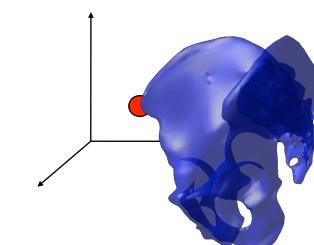
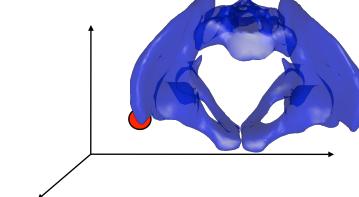
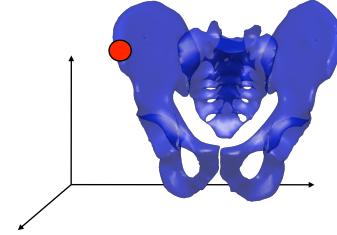
Comment caractériser au mieux les déplacements de ces articulations ?

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

Donc il faut des marqueurs... Mais combien?

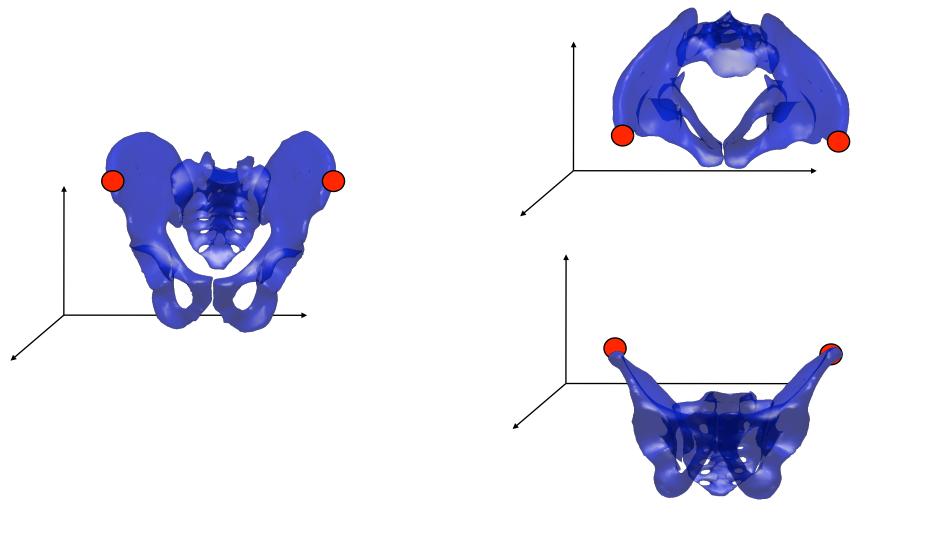
1 marqueur...



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## 2 marqueurs...



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche : Marqueurs

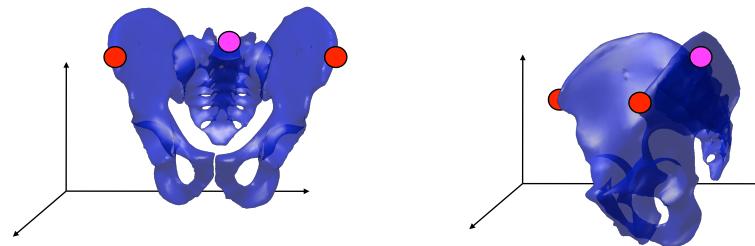
Il faut 3 marqueurs par 'solide' (ou segment) pour enregistrer le mouvement 3D

=> Le corps humain sera vu comme un ensemble de solides articulés

Les 3 points doivent être non-alignés:  
**Utilisation d'ancillaire**

Avec 2 marqueurs, il reste une incertitude sur la rotation autour de l'axe des 2 marqueurs

## 3 marqueurs !



Pour déterminer le mouvement complet d'un SOLIDE dans l'espace, il faut :

- 3 points (au minimum)
- NON-ALIGNÉS

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche : Marqueurs

### Analyse du Protocole Davis & al. (1991)

Human Movement Science 10 (1991) 575–587  
North-Holland

575

A gait analysis data collection  
and reduction technique \*

Roy B. Davis III, Sylvia Öunpuu, Dennis Tyburski  
and James R. Gage  
Newington Children's Hospital, Newington, USA

#### Abstract

Davis, R.B., III, S. Öunpuu, D. Tyburski and J.R. Gage, 1991. A gait analysis data collection and reduction technique. Human Movement Science 10, 575–587.

The clinical objective of the gait analysis laboratory, developed by United Technologies Corporation (Hartford, CT, USA) in 1980, at the Newington Children's Hospital is to provide quantified assessments of human locomotion which assist in the orthopaedic management of various paediatric gait pathologies. The motion measurement system utilizes a video camera and colour film strategy similar to commercially available systems for motion capture. Anisotropically aligned reflective markers are placed on the subject and the cameras are illuminated, detected, and stored in dedicated camera hardware while data are acquired from force platforms and EMG transducers. Three-dimensional marker position information is used to determine: (i) the orientation of segmentally-embedded coordinate systems, (ii) instantaneous joint center locations, and (iii) joint angles. Joint kinetics, i.e., moments and powers, may also be computed if valid force plate data are collected.

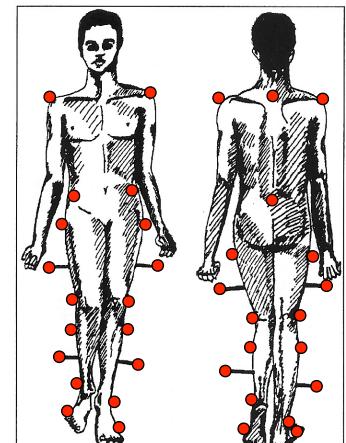


Figure 4.2. Marker positioning for walking trials.  
Note, in the posterior view of the subject, the absence of heel markers.

Vincent POMERO

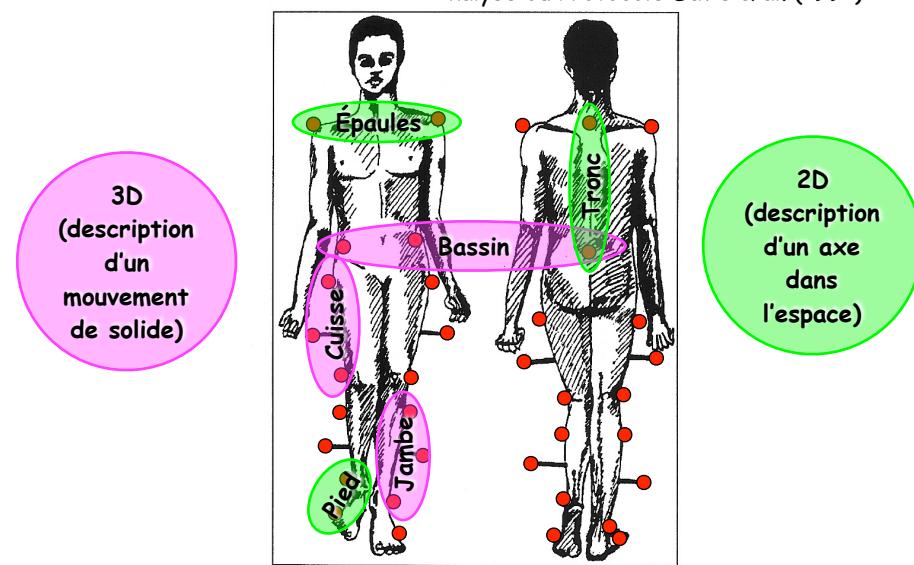
DIU Analyse du Mouvement - Marseille

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche : Marqueurs

Analyse du Protocole Davis & al. (1991)

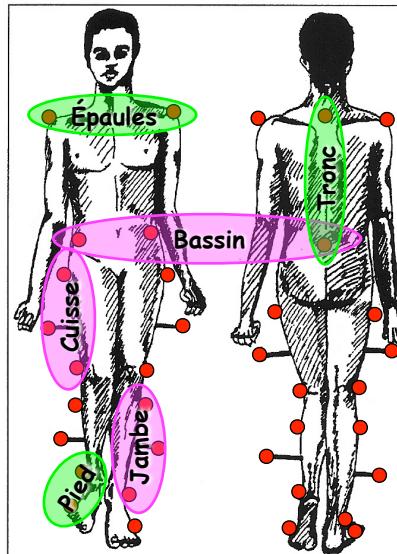


Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche : Marqueurs

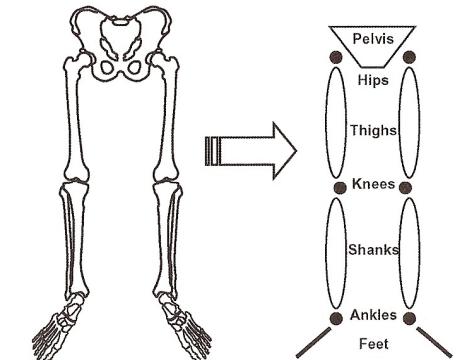
Analyse du Protocole Davis & al. (1991)



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

Modélisation des MI:

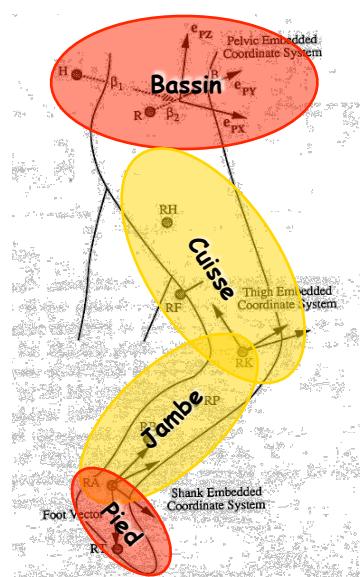


## Conséquences protocole d'analyse de la marche: Construction des référentiels

Human Movement Science 10 (1991) 373-387  
North-Holland

A gait analysis data collection  
and reduction technique \*

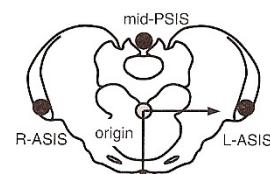
Roy B. Davis III, Sylvia Öunpuu, Dennis Tyburski  
and James R. Gage  
Newington Children's Hospital, Newington, USA



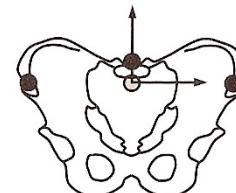
Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

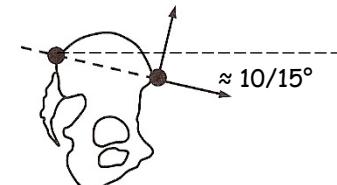
## Construction des référentiels: Bassin



Transverse Plane



Coronal Plane

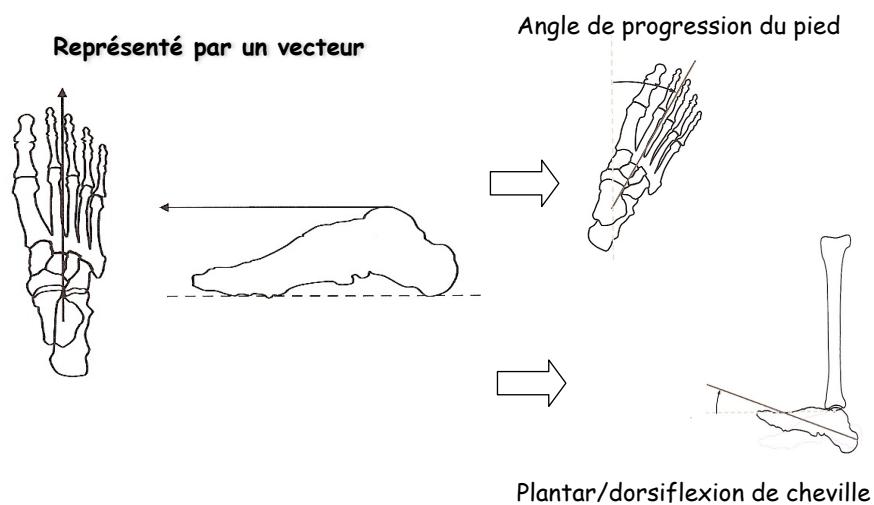


Sagittal Plane

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

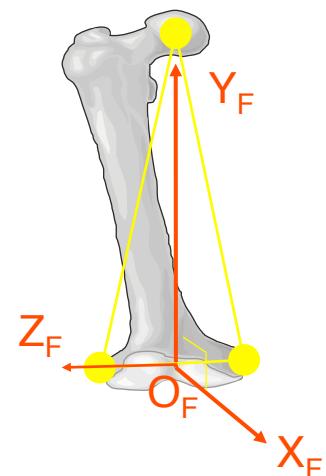
## Construction des référentiels: Pieds



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Construction des référentiels Fémur et tibia



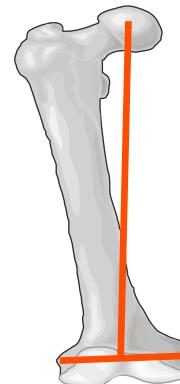
Mais... Il n'y a pas de marqueur placé au centre de la tête du fémur!!!

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Construction des référentiels Fémur et tibia

Exemple : repère anatomique fémur



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

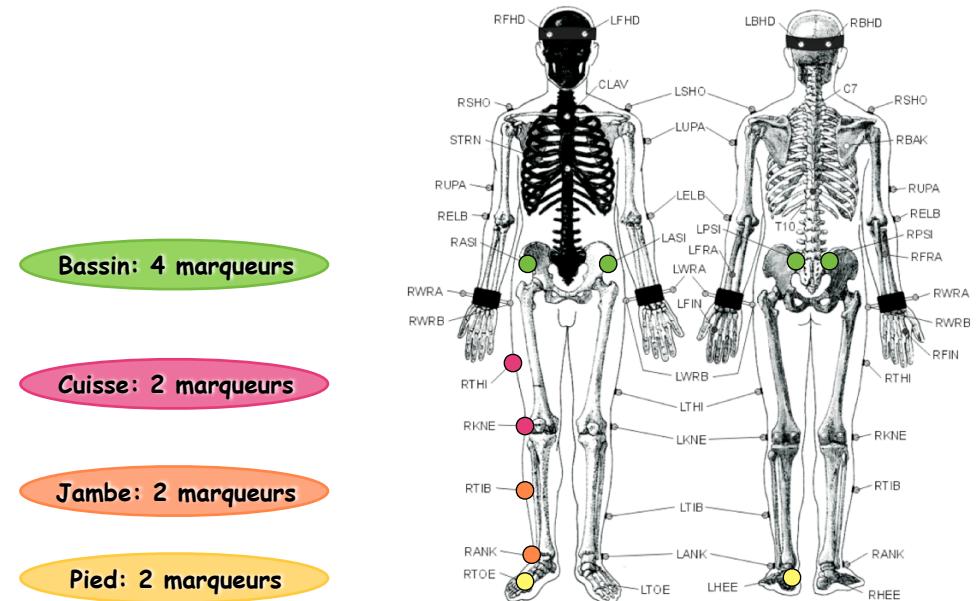
### Fonctions :

- supporter la charge : axe mécanique
- participer à la flexion du genou : axe transcondyléen

### Points :

- épicondyles (palpation)
- centre de la tête fémorale (calculation)

## Protocole H. Hayes



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

# Modèle interne...

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche: Construction des référentiels

### Mesures anthropométriques

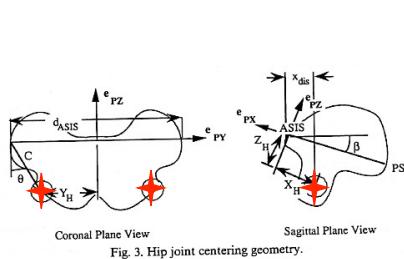


Fig. 3. Hip joint centering geometry.

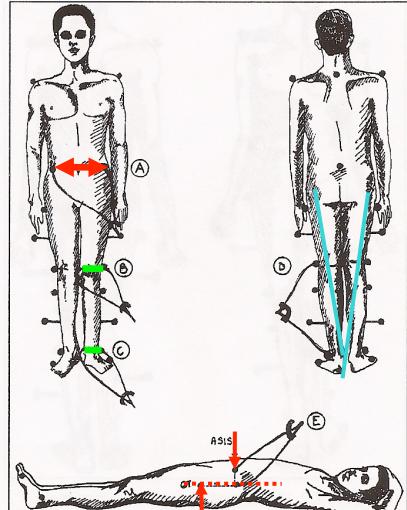


Figure 4.3. Anthropometric measurements.

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche: Construction des référentiels

3 types de marqueurs:

Anatomiques



Virtuels

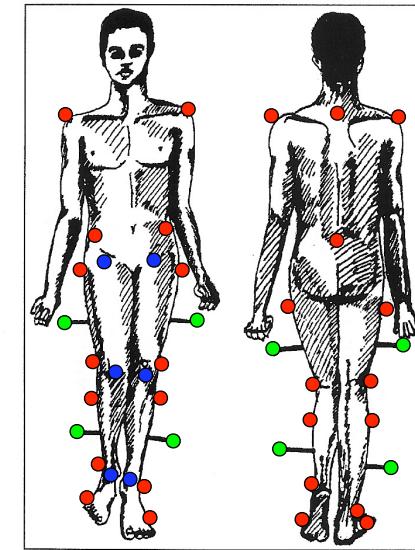
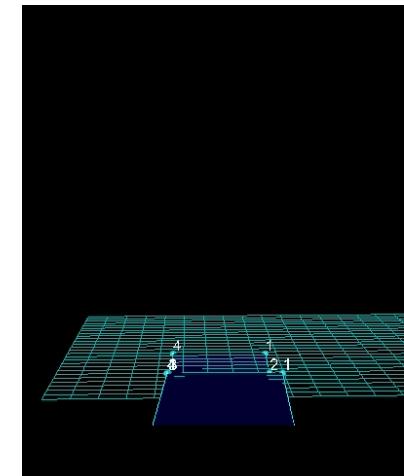
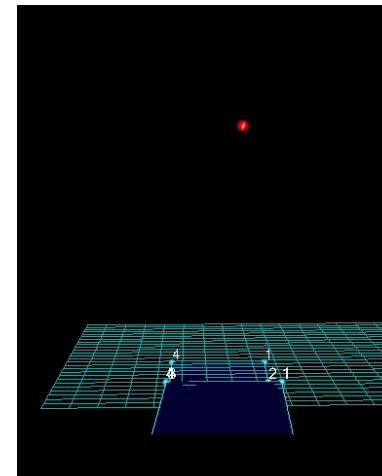


Figure 4.2. Marker positioning for walking trials.  
Note, in the posterior view of the subject, the absence of heel markers.

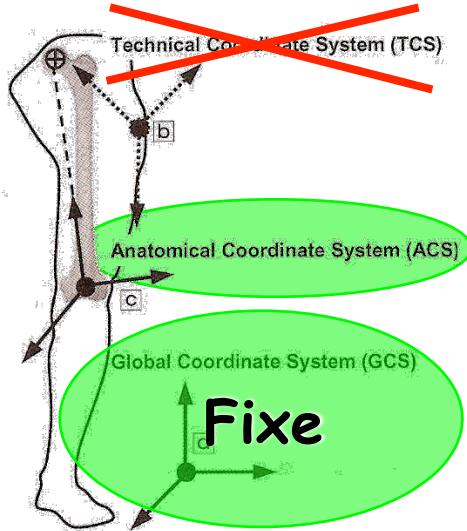
## Passage au modèle interne



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Conséquences protocole d'analyse de la marche: Construction des référentiels



Première analyse:  
Le STANDING

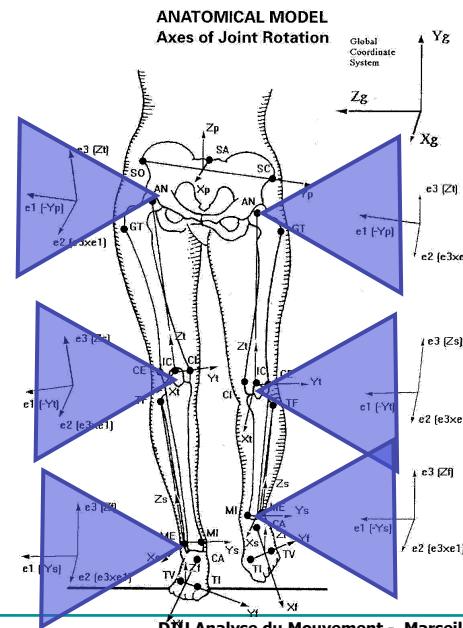
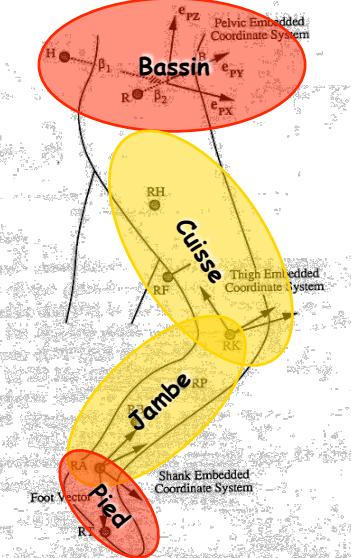
**Mathématiquement:**  
Relie les référentiels 'techniques'  
aux référentiels anatomiques.

**Cliniquement:**  
Détermine les valeurs posturales  
du sujet (équin, genoux en  
dedans, flessum de hanche...)

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

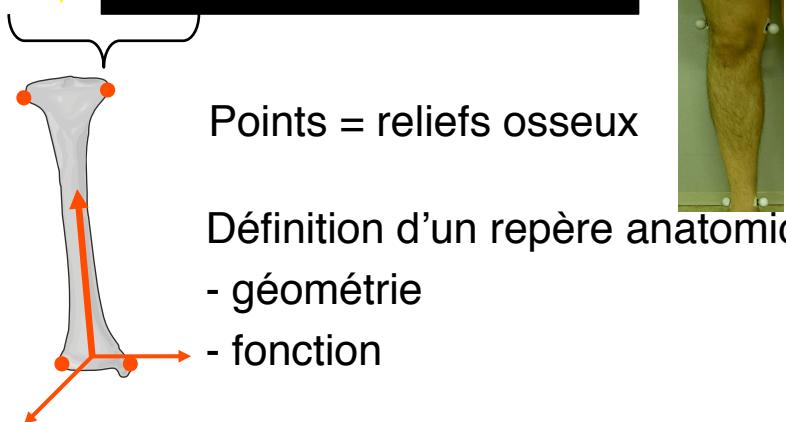
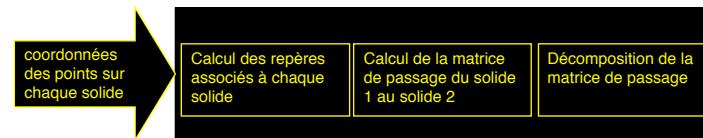
## Construction des référentiels



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Méthode de calcul de la position et de l'orientation d'un solide



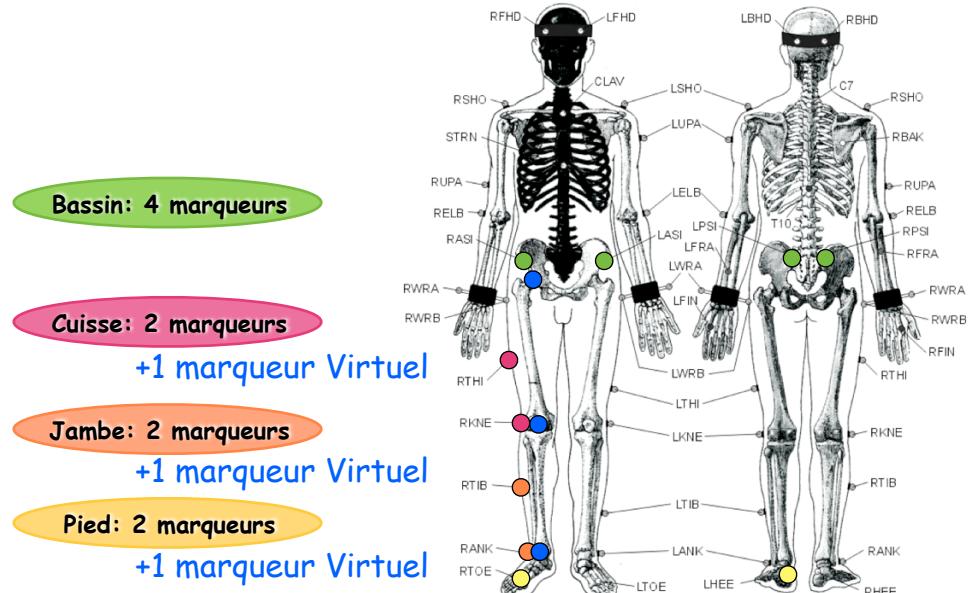
Points = reliefs osseux

Définition d'un repère anatomique  
- géométrie  
- fonction

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Protocole H. Hayes



Vincent POMERO

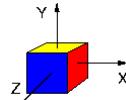
DIU Analyse du Mouvement - Marseille

# Méthodes de calcul de la cinématique 3D

Séquences de rotations (axes mobiles ou fixes)

➤ Principe :

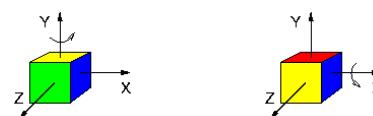
- Non commutatif :



Ex : Rotation de 90° autour de X, puis de 90° autour de Y (axes fixes)



Ex : Rotation de 90° autour de Y, puis de 90° autour de X (axes fixes)

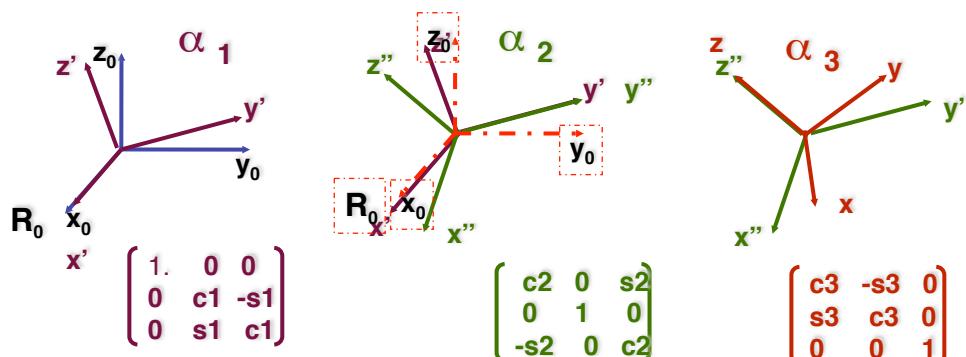


Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

Rotations successives autour de  $x_0, y_0, z_0$

$$\cos \alpha_i = c_i \quad \sin \alpha_i = s_i$$



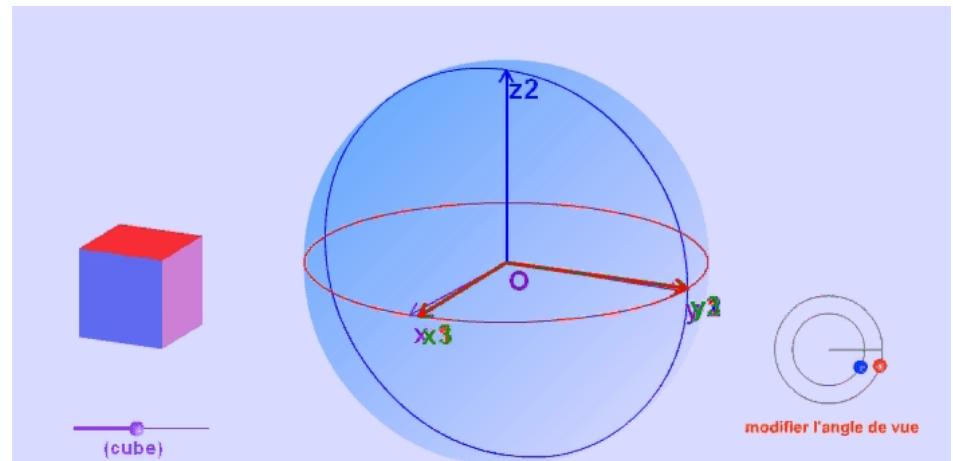
$$\{V\}_{R'} = [P_{RoR'}]^T \cdot \{V\}_{Ro}$$

$$\{V\}_{R''} = [P_{R'R''}]^T \cdot \{V\}_{R'} = [P_{R'R''}]^T \cdot [P_{RoR'}]^T \cdot \{V\}_{Ro}$$

$$\{V\}_R = [P_{R''R}]^T \cdot \{V\}_{R''} = [P_{R''R}]^T \cdot [P_{R'R''}]^T \cdot [P_{RoR'}]^T \cdot \{V\}_{Ro}$$

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

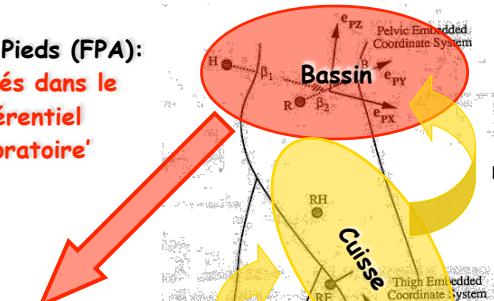


Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

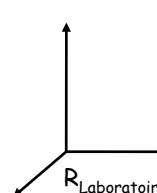
**ATTENTION: Convention analyse de la marche**

Bassin & Pieds (FPA):  
Exprimés dans le  
référentiel  
'Laboratoire'



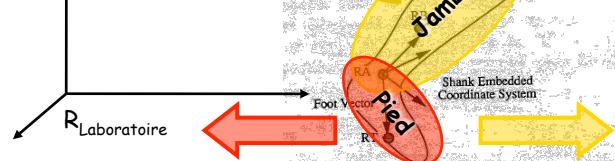
Cuisse:  
Exprimés dans le  
référentiel Bassin

mouvement du fémur / bassin



Jambe:  
Exprimés dans le  
référentiel Cuisse

mouvement du tibia / fémur



Pied (plantar/dorsi  
Flex):

Exprimés dans le  
référentiel Jambe

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

## Construction des référentiels

(im)précision

Pb: Les études ne pouvaient pas être comparées entre elles...  
Nécessité de standardiser les repères et la façon de calculer les angles!



ELSEVIER

Journal of Biomechanics 35 (2002) 543–548

Letter to the editor

JOURNAL  
OF  
BIOMECHANICS

www.elsevier.com/locate/jbiomech  
www.JBiomech.com

ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine

### Normalisation des repères: International Society of Biomechanics

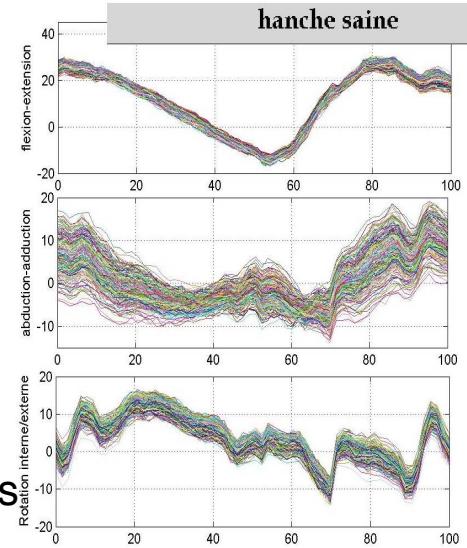
Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

### Imprécision: Placement marqueur & Mouvement peau

Ordre de grandeur :

- placement : environ 1 cm
- mouvement peau/os : quelques centimètres
- précision du système de mesure : de l'ordre du mm



Simulation numérique du bruit

Corridor d'incertitudes

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

### 3 sources d'erreurs principales:

- Placement des marqueurs anatomiques
- Mouvement peau/os
- Tables anthropométriques

Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

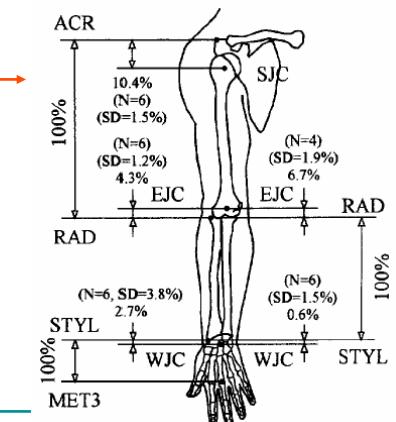
### Imprécision: Centres articulaires

Mauvaise localisation des points anatomiques :

Della Croce, 2005

➤ Points anatomiques internes (centres articulaires) :

- Estimation en utilisant des régressions
  - de Leva, 1996
  - Bell et al., 1990
  - Davis et al., 1991



⇒ Nécessité d'études pour adapter les paramètres de ces régressions à :

- l'âge
- le sexe
- la morphologie
- la pathologie

Vincent POMERO

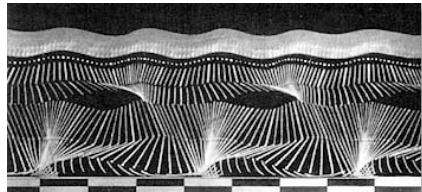
# Messages à ramener chez soi...

**Hypothèse fortes** (cuisse ou pied = solide...)

De nombreux aspects de **modélisations** sont sous jacents aux résultats d'AQM,  
souvent **peu adaptées à l'enfant et aux pathologies**

Dans la mesure du possible, **se ramener aux standard de l'ISB pour communiquer**  
(avec des confrères, communications scientifiques). Sinon, être précis sur la  
méthodologie retenue.

TOUS les marqueurs ont une incidence sur les résultats: **Connaissance du protocole indispensable** pour savoir comment les positionner (marqueurs 'techniques')



Vincent POMERO

DIU Analyse du Mouvement - Marseille

Merci de votre attention  
😊

