

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

Approche biomécanique #1

Jules Bernard-Espina

Maître de conférences, kinésithérapeute

jules.bernard-espina@universite-paris-saclay.fr

Bureau 121-2, bat. 335, Laboratoire CIAMS

Déroulement du module

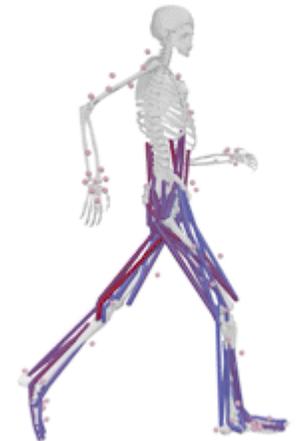
Modalités d'évaluation :

Etude de cas (intervention et évaluation en lien avec une situation de handicap)

Objectif du module :

Réaliser et planifier des programmes d'entraînement adaptés aux patients en s'appuyant sur les évaluations réalisées...

... et pour ce chapitre en particulier,
connaître et comprendre les principes fondamentaux en biomécanique,
apprendre à utiliser des outils pour conduire une analyse
biomécanique appliquée



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

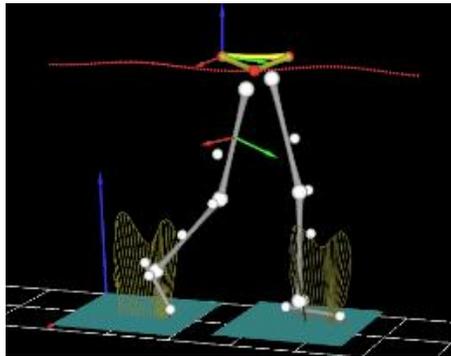


Introduction à la biomécanique dans les APA-S

Mais c'est quoi la biomécanique ??

Etymologie plutôt explicite : Biomécanique = « bios » (la vie) + mécanique

« *Biomechanics is the study of the **structure** and **function** of **biological systems** by means of the **methods of mechanics*** »



Analyse de la marche



Dispositifs d'aide à la mobilité



Herbert Hatze, Journal of Biomechanics (1974)

Cinéma,
Animation



Performance sportive



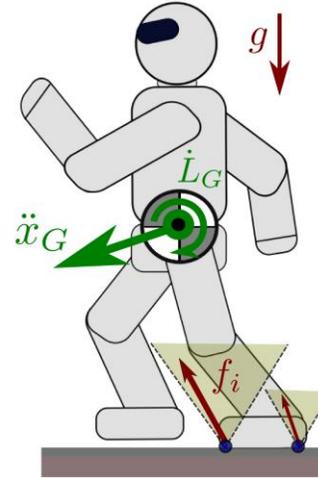
Introduction à la biomécanique dans les APA-S

Mécanique :

→ Equations de Newton-Euler

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

$$\Sigma \vec{M} = I \ddot{\theta}$$



Application :

Étude de l'homme en mouvement, **contraint** ou **acteur**

Étude des forces, créées ou subies par un organisme, et leurs effets sur le mouvement ou la déformation/transformation

Biomécanique : Etude du **mouvement** humain, ses **causes** et **conséquences**



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)



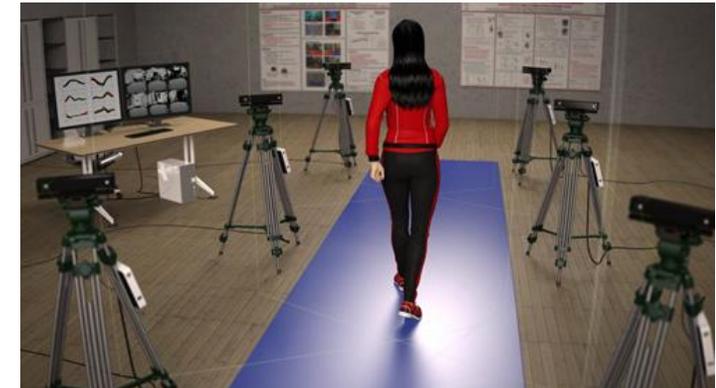
Analyse baropodométrique de la marche

(code NKQP002)



Analyse tridimensionnelle de la marche

(code NKQP003)



[Voir lien CCAM](#)

(classification commune des actes médicaux)



CM1, TP1

Analyse biomécanique de la posture

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



1. Qu'est-ce que la posture ?

Définition du dictionnaire

Posture : Attitude particulière du corps

Attitude : Manière de tenir son corps



Définition commune

Agencement particulier des différents segments du corps les uns par rapport aux autres



1. Qu'est-ce que la posture ?

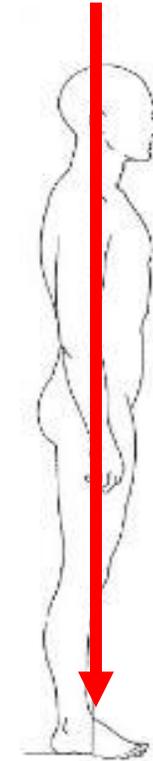
1990
Winter

Orientation des segments par rapport :

- ✓ Autres segments
- ✓ Verticale gravitaire

1992
Massion

- ✓ **Arrangement spatial** des différents **segments corporels**
- ✓ Caractérisée par les **mécanismes adaptatifs de maintien** de cette configuration segmentaire **au cours du temps**



Position orthostatique
en fonction de la verticale gravitaire
(Bouisset et Maton, 1995)



2. Contrôle postural

- Système multisensoriel

Vision périphérique

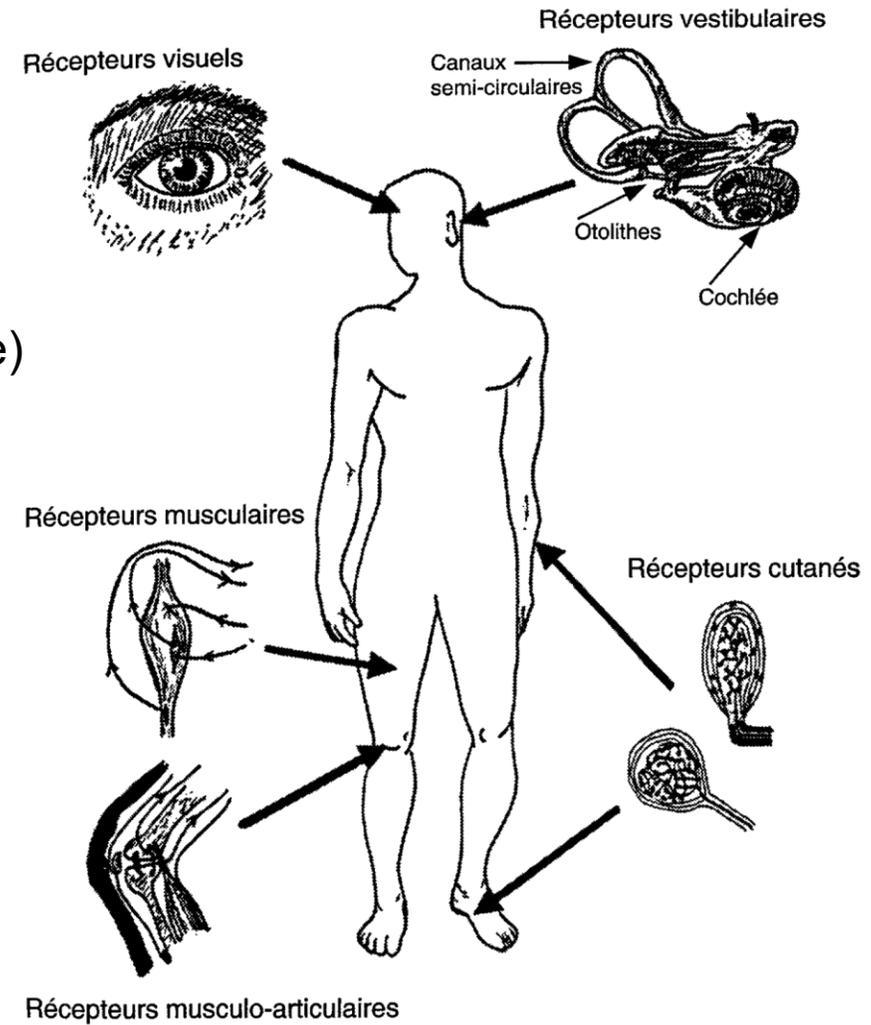
Rôle important dans l'équilibration (+ que vision centrale)
Position de la tête par rapport à l'environnement

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 postural

- Système multisensoriel

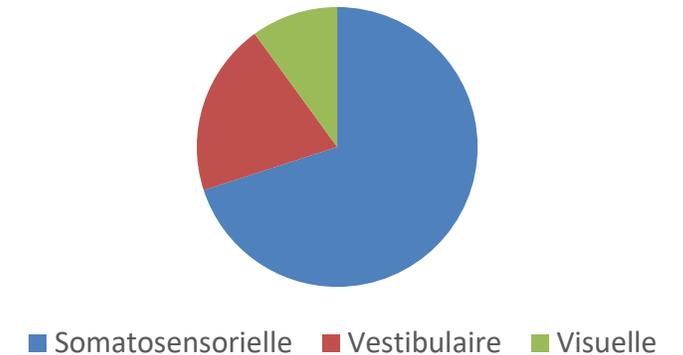
Environnement « normal » pour personnes asymptomatiques :

- informations somatosensorielles : 70%
- informations vestibulaires : 20%
- informations visuelles : 10%

≠ sur surface mobile

- Utilisation des informations vestibulaires et visuelles
- dépendance des informations somatosensorielles ↘

Podération sensorielle



Capacité de pondérer les informations sensorielles selon le contexte sensoriel (Peterka, 2002)



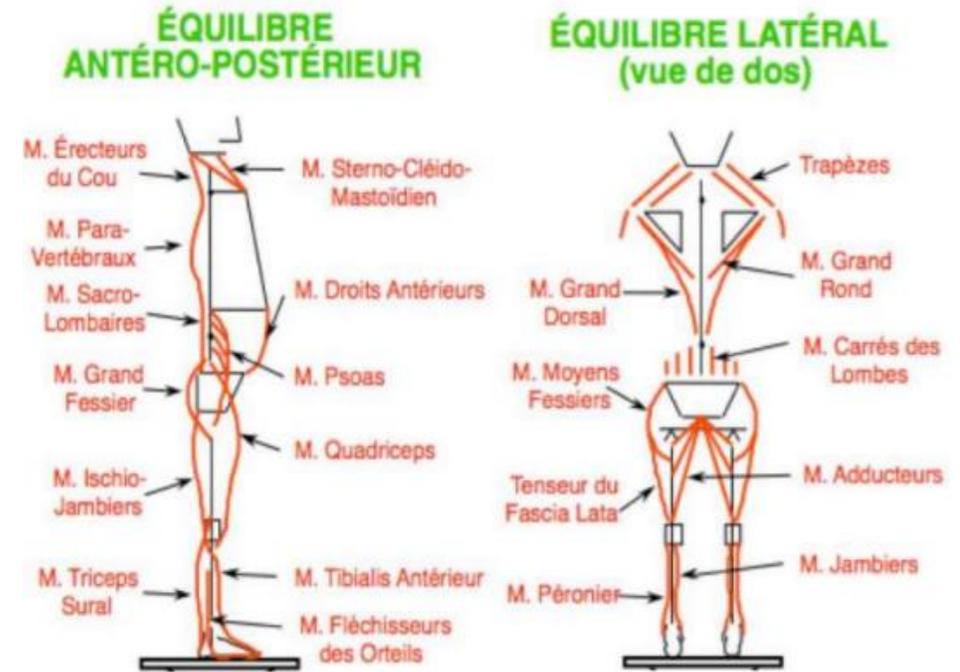
2. Contrôle postural

- Système musculosquelettique

Muscles principaux postérieurs (Carlsöö, 1961) :

- Extenseurs de la cheville (soléaire ++)
- Ischio-jambiers
- Extenseurs de la colonne vertébrale

≈ 5 à 10 % de Force Maximale Volontaire des muscles sollicités nécessaire pour maintien posture quotidienne

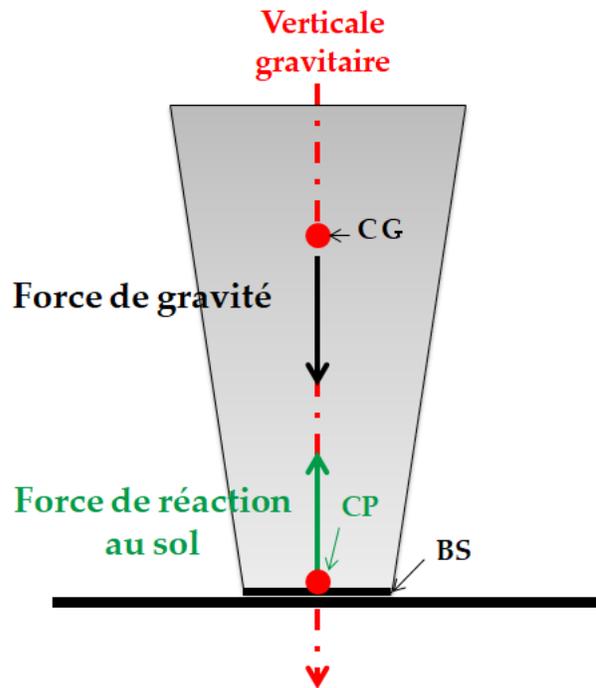


2. Contrôle postural

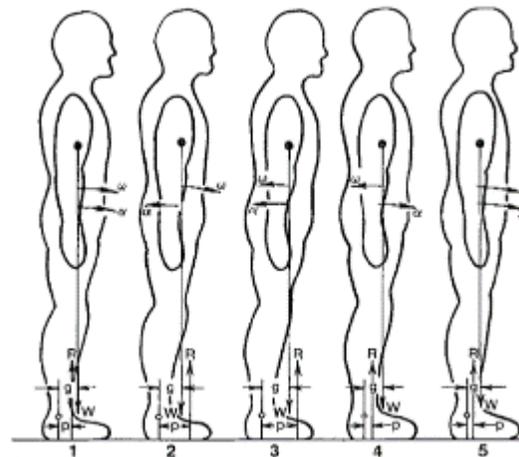
- Equilibre

2 conditions nécessaires pour maintenir l'équilibre statique

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma F_{\text{ext}} = 0 \\ \Sigma \text{Moment} = 0 \end{array} \right.$$



Equilibre mécanique rapporté à la posture humaine :
impossible

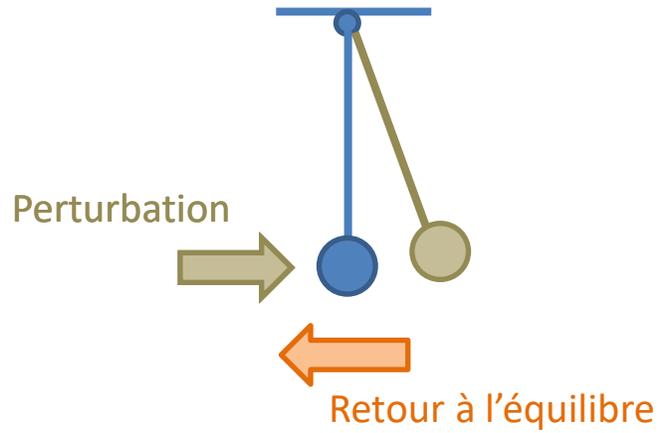


Oscillations posturales
Winter (1990)

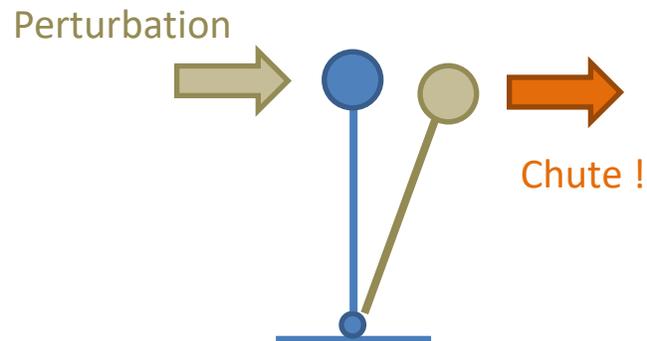


2. Contrôle postural

Pendule...



... et pendule inversé



L'équilibre postural debout est instable !
→ Oscillations posturales

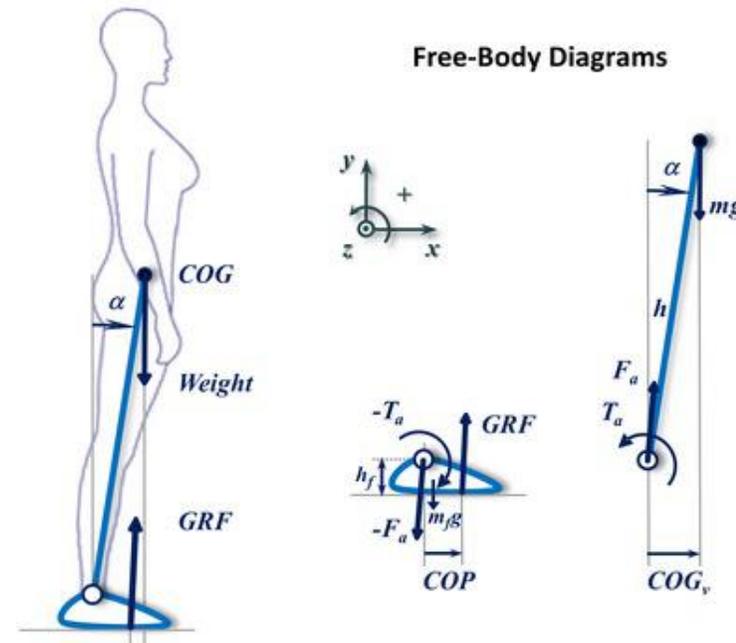


Image : « The inverted pendulum model of the human standing », Marcos Duarte, BMClab GitHub repository



2. Contrôle postural

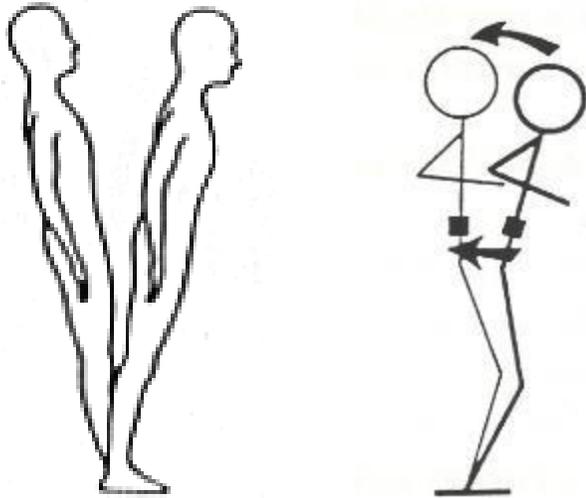
Causes intrinsèques des oscillations

- Causes neuromusculaires
 - Incapacité à maintenir un niveau de tension musculaire constant
 - Variation de force et modification de la position des segments
 - Modifications des forces de réaction du sol
 - Imprécisions des capteurs somesthésiques, vestibulaires et visuels
- Causes neurophysiologiques
 - Respiration, circulation sanguine et âge
- Causes mécaniques
 - Dépendance au polygone de sustentation (ou base de support)



2. Contrôle postural

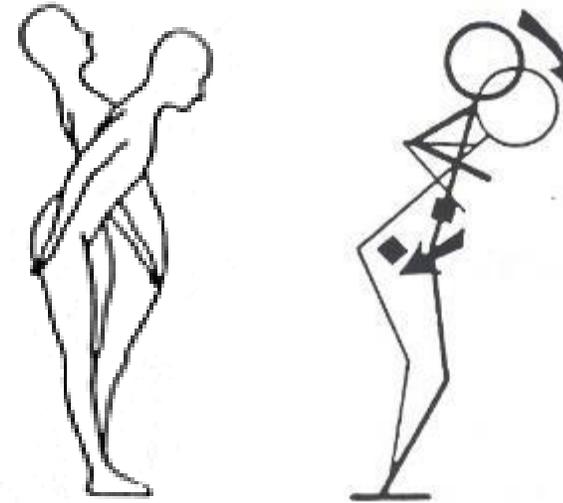
- Stratégies posturales



Stratégie de cheville

Plan sagittal : Principale régulation des oscillations posturales (Winter et al., 1990 et 1995)

Stabilité antéro-postérieure : gestion par localisation des pressions sous les 2 pieds



Stratégie de hanche

Plan sagittal : Articulation pas totalement verrouillée (Aramaki et al., 2001)

Plan frontal : Régulation principale



2. Contrôle postural

- Polygone de sustentation
 - Courbe fermée, convexe, contenant l'ensemble des points d'appui



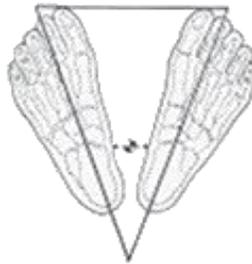
Base de sustentation en position de double appui



Base de sustentation, en station sur deux pieds modérément écartés



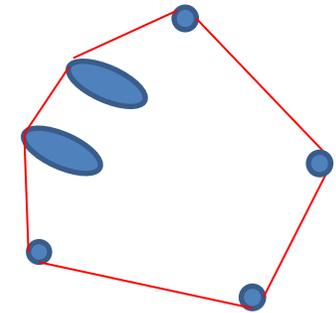
Base de sustentation en position de double appui avec une canne



Base et triangle de sustentation, projection de la ligne de gravité du corps.

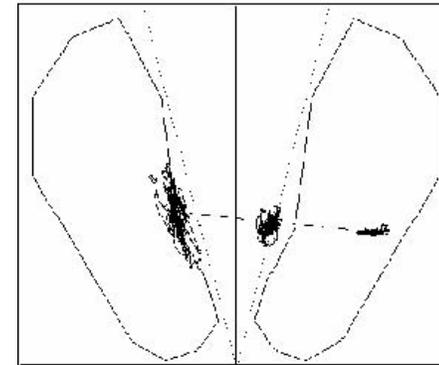


Aide technique :
élargissement de la
base de support



3. Evaluation posturale

- Différents outils pour différentes analyses
 - Segmentaire → vidéo 2D et/ou 3D
 - Musculaire → électromyographie
 - **Des appuis → plateformes (pression, stabilométrie, force)**



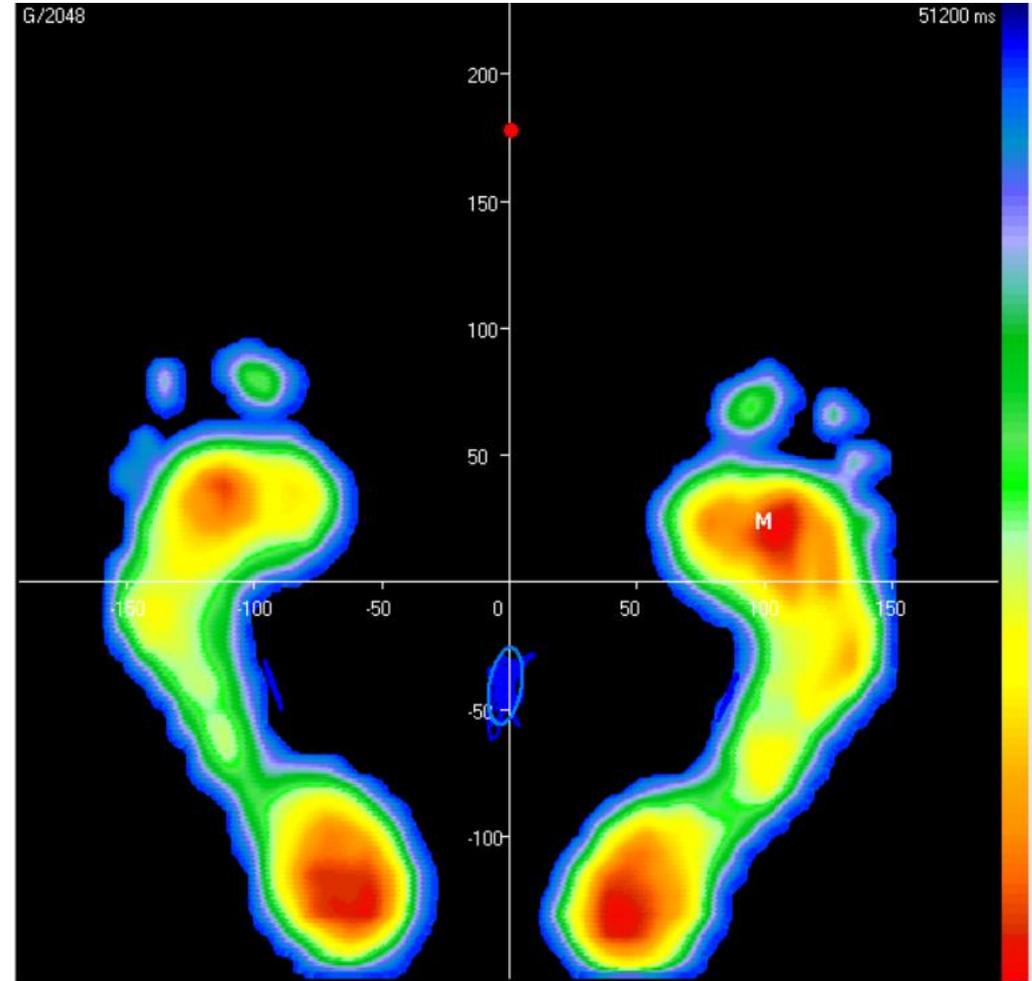
3. Evaluation posturale

- Outils pour l'évaluation des appuis



3. Evaluation posturale

- Outils pour l'évaluation des appuis
 - **Baropodométrie**
étude des pressions plantaires
(capteurs de pression)
 - répartition gauche-droite
 - répartition avant-arrière
 - répartition des pressions
 - pressions moyennes et pics de pression



3. Evaluation posturale

- Outils pour l'évaluation des appuis

– Stabilométrie

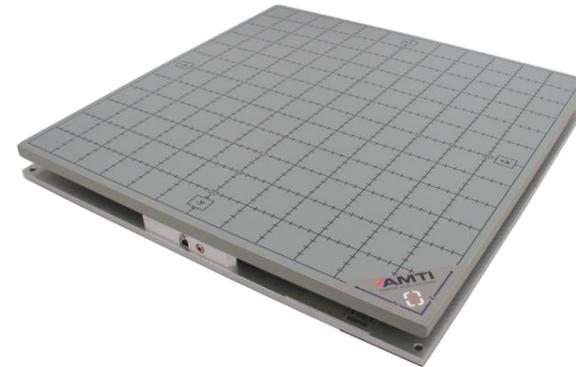
étude des mouvements du **centre de pression**

→ capteurs de pression
(*plateforme fusyo*)

Uniquement Fz



→ capteurs de forces (F) et moments (M)
(*plateforme de force*)



- F_x
- F_y
- F_z

- M_x
- M_y
- M_z

Le « gold standard »



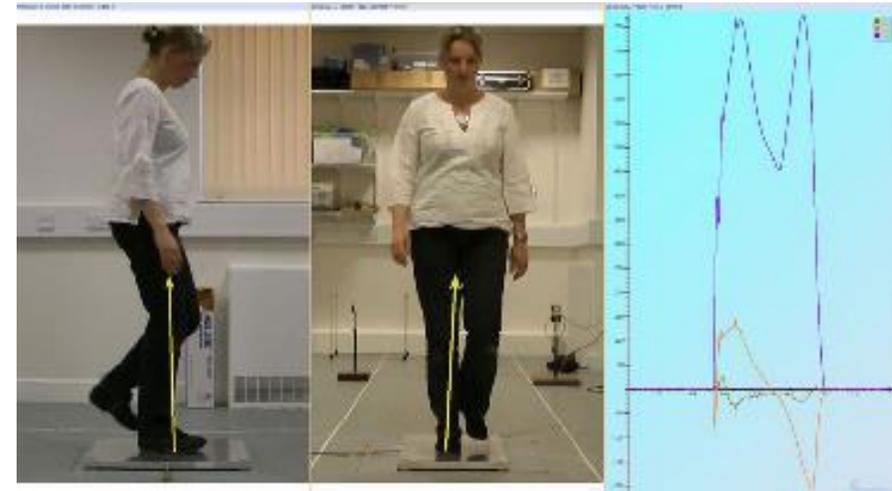
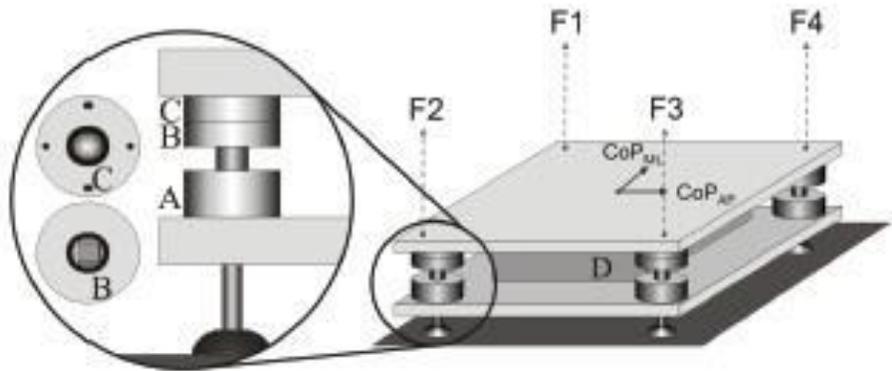
3. Evaluation posturale

- Plateforme de force, comment ça marche ?

Capteurs avec 3 sorties (3 composantes) placés entre une partie rigide et la partie supérieure

Capteur = jauge de contrainte

Courant électrique en sortie, proportionnel à la force appliquée



3. Evaluation posturale

- Déduction du centre de pression
selon les deux axes orthogonaux de la PFF : antéropostérieur (A-P) et médiolatéral (M-L)

→ Calcul des paramètres posturaux

Surface : Ellipse à 90% ou 95 %

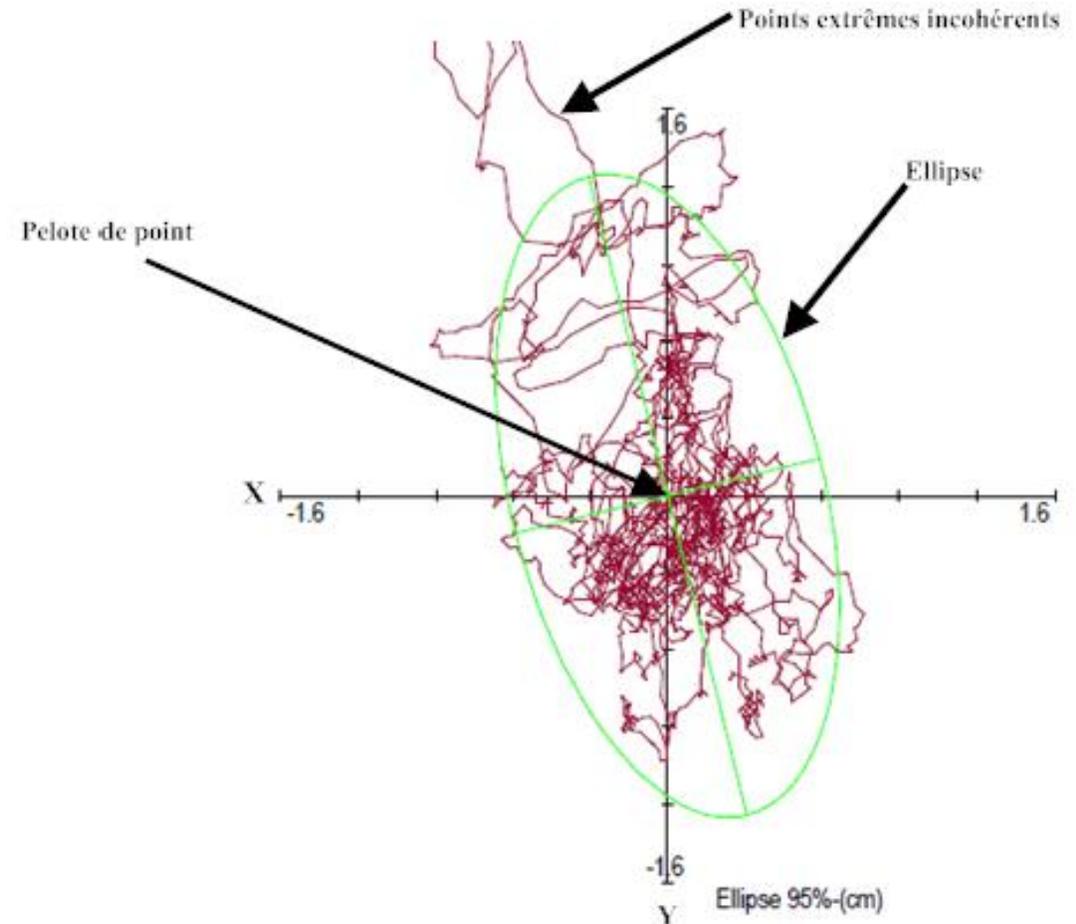
Longueur statokinésigramme

Position moyenne : X (M-L) et Y (A-P)

Amplitude: Xmax (M-L) et Ymax (A-P)

LFS : longueur en fonction de la surface

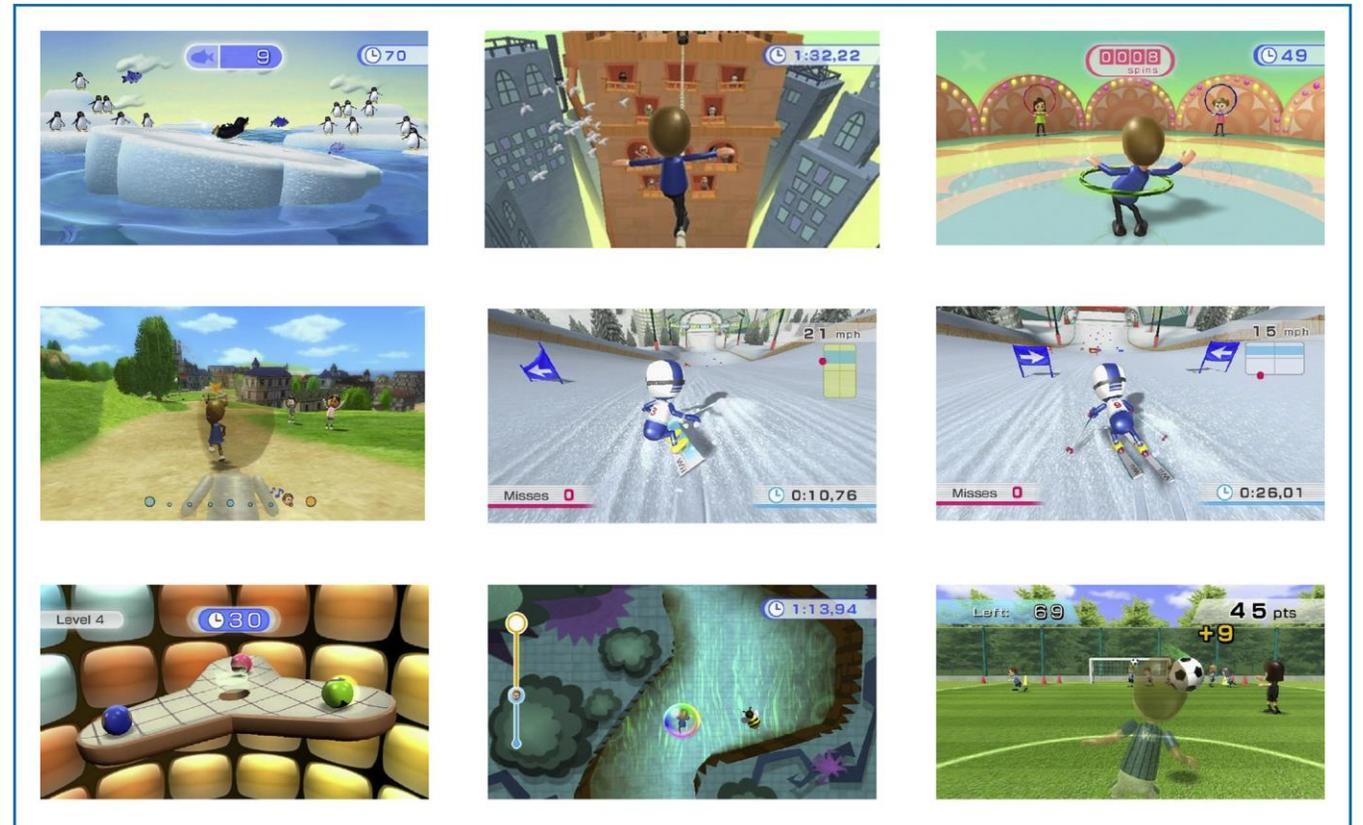
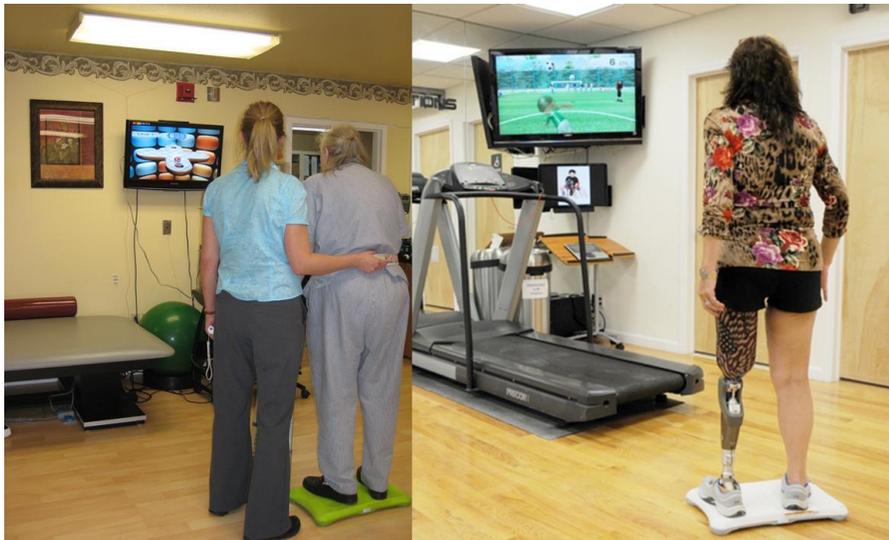
Vit. Moy : Vitesse moyenne de déplacement



3. Evaluation posturale

- Utiliser le centre de pression (CoP) pour jouer...
... et rééduquer ! (évaluer aussi)

Le CoP peut servir de biofeedback pour améliorer l'équilibre postural
→ **Wii Balance Board**



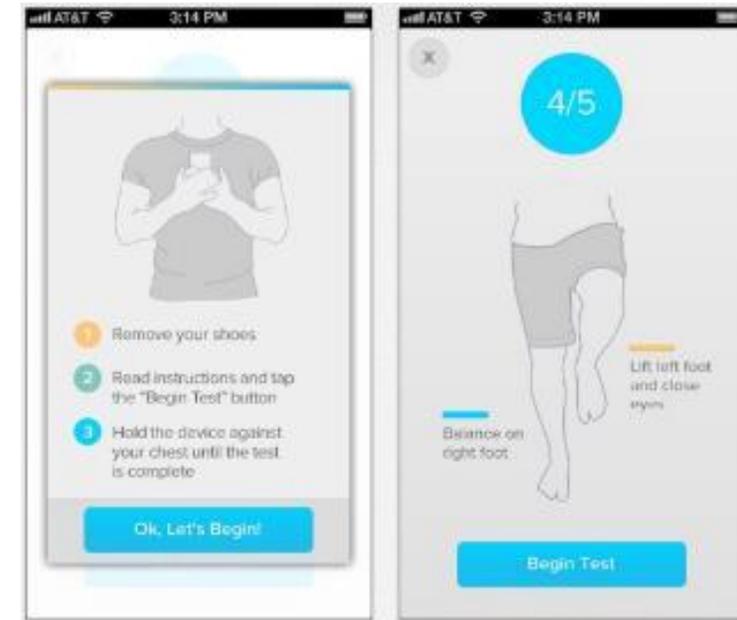
3. Evaluation posturale

- Autres outils pour évaluer la posture

→ avec un smartphone (accéléromètre)

analyse du mouvement du centre de gravité (corrélé au CoP)

Encore en phase d'essai clinique



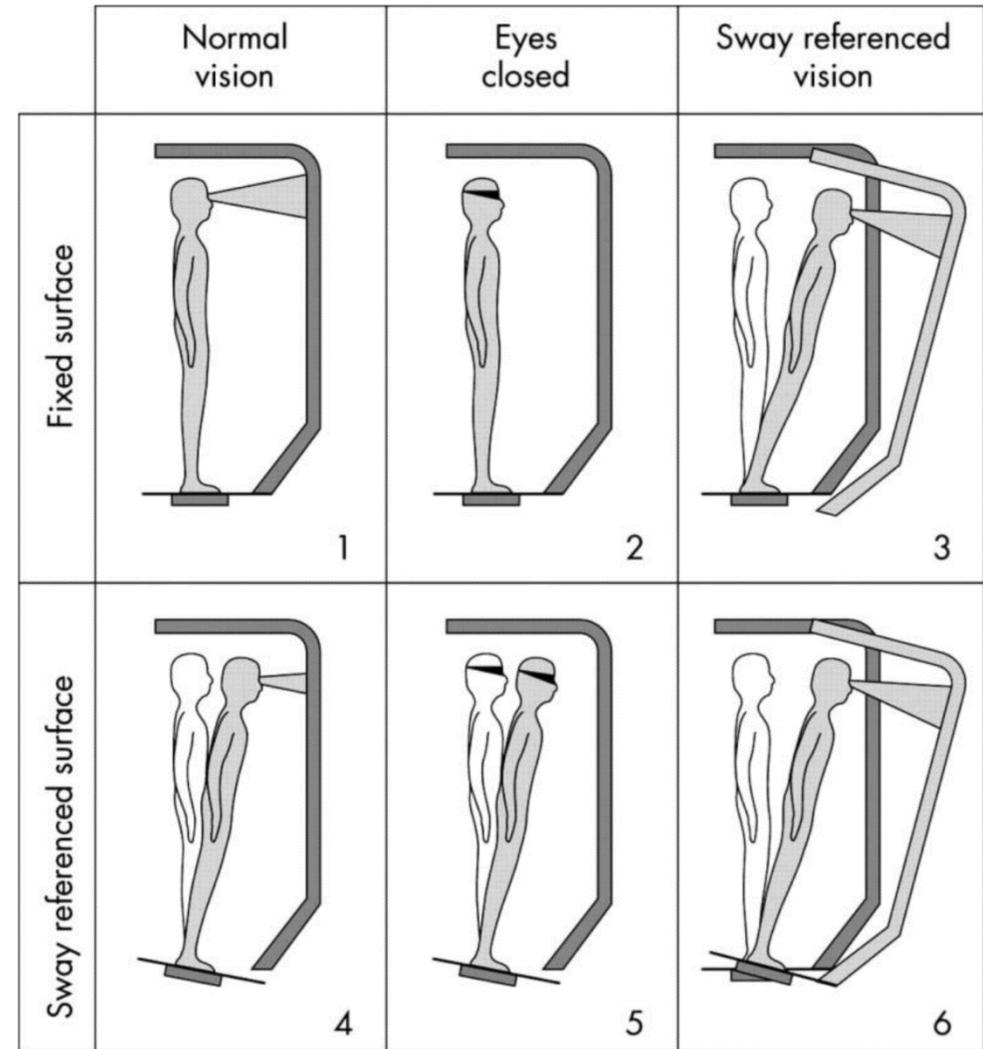
3. Evaluation posturale

- Organisation sensorielle et posture



EquiTest

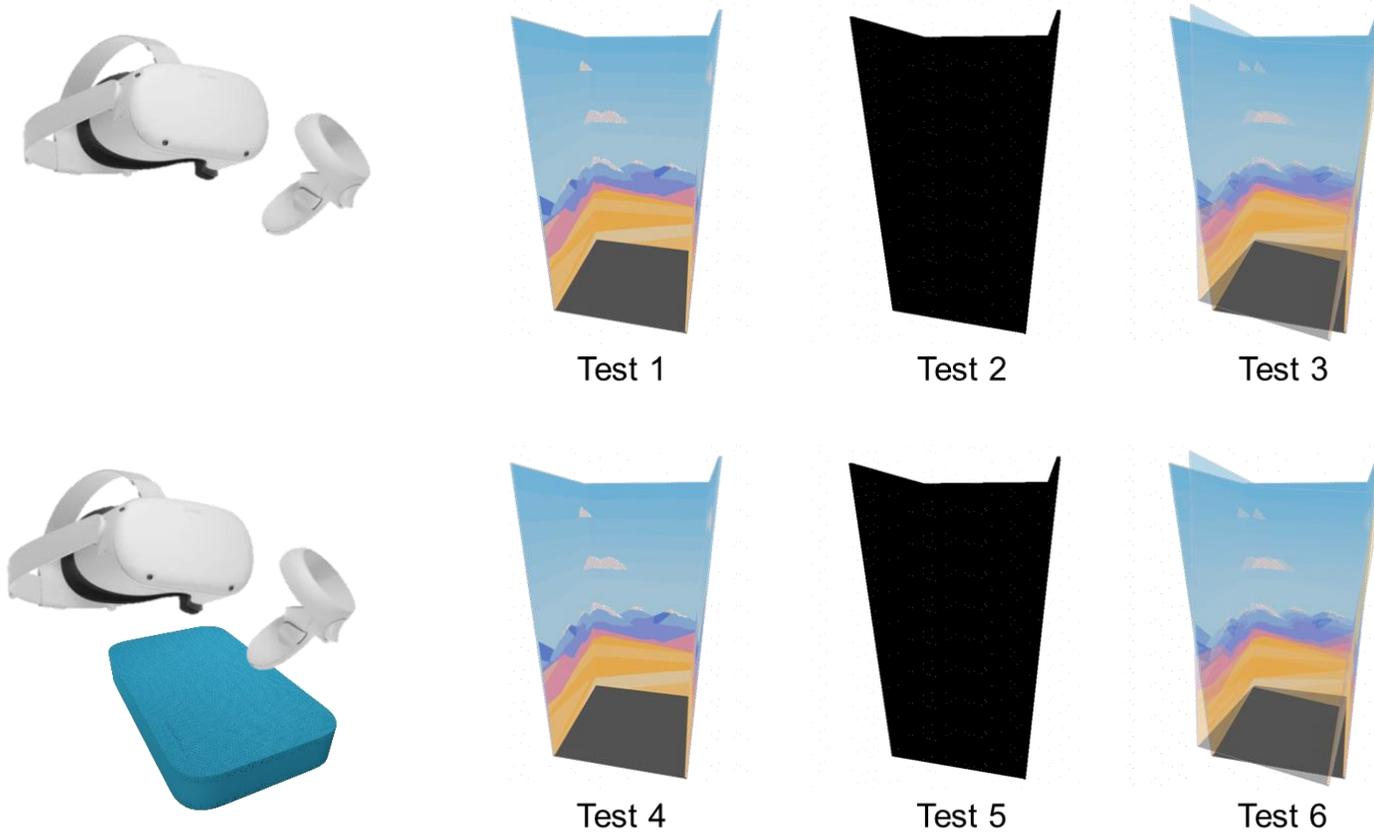
Plateforme et cabine mobiles, qui permettent de faire passer les « Sensory Organization Tests »



3. Evaluation posturale

- Protocole de réalité virtuelle à l'essai au CIAMS

→ Objectif : simplifier les outils d'analyse !



Test	Vision	Vestib.	Proprio.
1	+	+	+
2	0	+	+
3	-	+	+
4	+	+	-
5	0	+	-
6	-	+	-

+ : info sensorielle utile
0 : info sensorielle absente
- : info sensorielle trompée



4. Interprétation, et lien avec la clinique

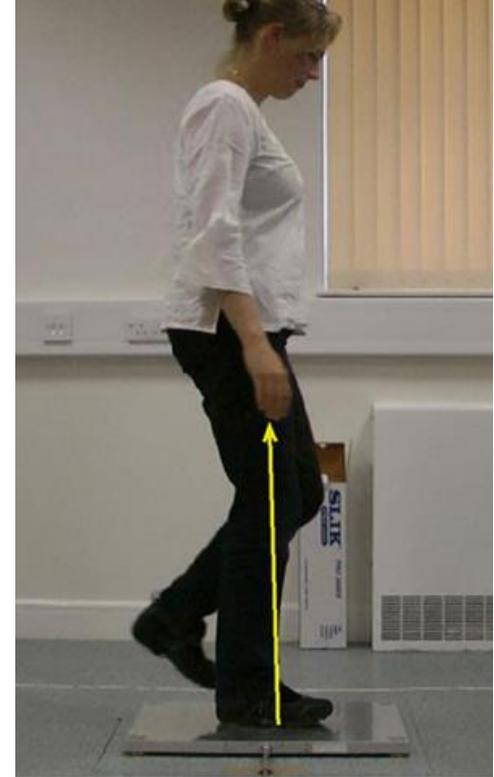
- C'est bien de quantifier, mais à quoi ca sert ?

Important :

Corrélation avec les échelles fonctionnelles
(Tinetti, Berg Balance Scale, risque de chute...)

Complément intéressant :

- Reproductible
- Quantification fine (pas d'effet seuil ni plafond)
- Meilleure détection d'un déficit, ou d'une amélioration
(!!!! attention à toujours le lier aux évaluations fonctionnelles)

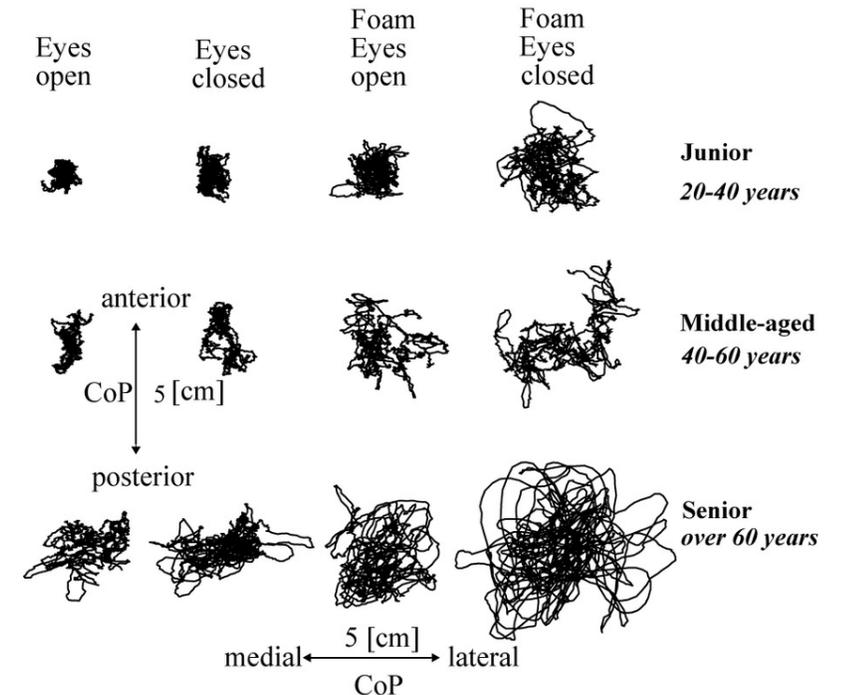


4. Interprétation, et lien avec la clinique

- Quels types de déficits peut-on observer ?

Pathologie orthopédique, neurologique, vestibulaire...
ou simplement le vieillissement !

- Défaut de force
- Fatigabilité musculaire
- Défaut de contrôle (neurologique central)
- Déficit sensoriel



→ La stabilométrie est utile mais ne permet pas à elle seule d'établir un diagnostic

« L'interprétation de l'augmentation des mouvements du centre de pression peut-être indicative, soit d'un déficit du contrôle postural statique, soit d'une tentative d'accroître le retour sensoriel ou encore les deux »
(Troubles de l'équilibre : aspects sensoriel. Yelnik; A)

