







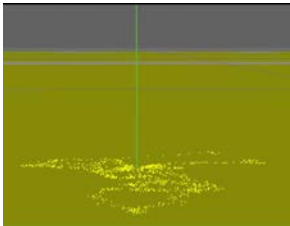
Intérêts et limites de l'évaluation stabilométrique de la stabilité posturale

DES de Médecine Physique et de Réadaptation

Module 3 - Motricité

04/12/2024 – 1h30

Pr David GASQ ^{a,b,c}



^a Université Toulouse 3, Faculté de Santé, Département Médecine, Maïeutique & Paramédicaux

^b CHU de Toulouse, Physiologie Explorations Fonctionnelles, Clinique Universitaire du Mouvement

^c ToNIC, Toulouse Neuroimaging Center, Université de Toulouse, Inserm, UPS



Objectifs d'apprentissage

2 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

1. Comprendre le concept de stabilité posturale sur le plan biomécanique.
2. Connaitre le principe de la stabilométrie.
3. Connaitre les différents facteurs de l'évaluation stabilométrique à standardiser.
4. Connaitre les différentes conditions d'évaluation stabilométriques et leur impact sur le déroulement de l'examen et son interprétation.
5. Comprendre l'intérêt potentiel des manipulations sensorielles lors d'une évaluation stabilométrique.
6. Savoir réaliser une interprétation standardisée d'une évaluation stabilométrique de la stabilité posturale.
7. Connaitre l'intérêt et les principales indications de l'évaluation stabilométrique.
8. Connaitre les principales limites métrologiques de l'évaluation stabilométrique.

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024



3 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Déroulé de l'exposé

1. La stabilométrie ?
2. Conditions d'évaluation
3. Interprétation d'une évaluation stabilométrique
4. Éléments de métriologie



4 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

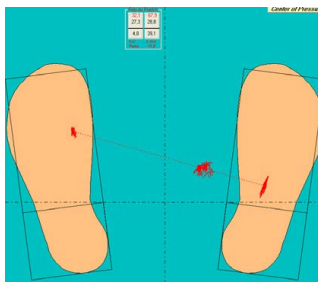
Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Place de l'évaluation stabilométrique

- Effet plafond (+/- plancher) des échelles cliniques d'évaluation de la stabilité posturale
 - Score PASS, Berg Balance Scale
 - Visser et al. 2008; Nardone & Schieppati 2010; Sawacha et al. 2013
- Effet plancher de l'évaluation stabilométrique
 - Position orthostatique sans aide technique > 30s



Évaluation clinique

Évaluation stabilométrique

Amélioration de la stabilité posturale



5 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

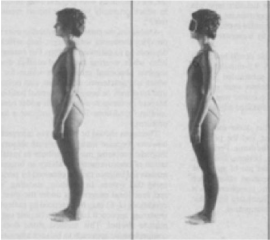
Métrie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Stabilité ou équilibre ?



$F = m \times G$



Situation statique : immobilité du sujet ?



?

=





6 / 70

Stabilométrie?

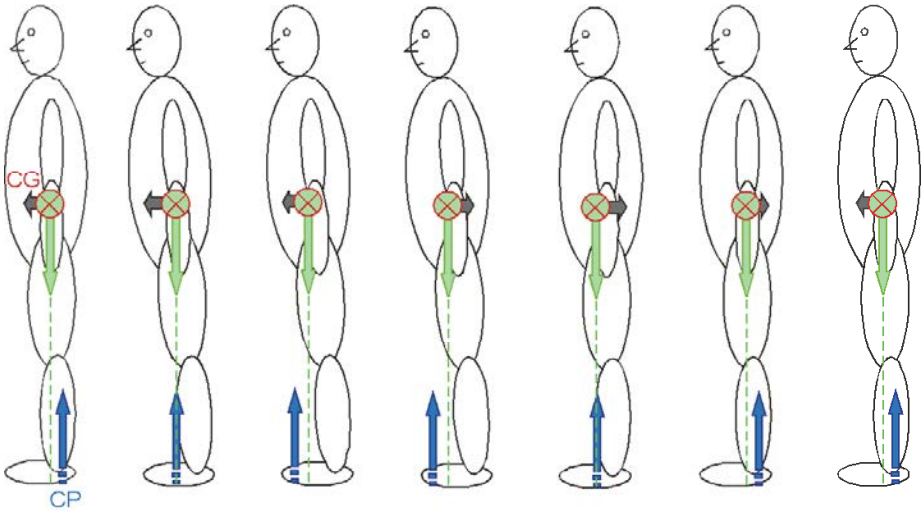
Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Les raisons de l'absence d'équilibre ?



D' après Rougier et al. 2001

D. Gasq CHU Toulouse

3



7 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Évaluation stabilométrique

Évaluer de la stabilité posturale / l'équilibre

=

Évaluer le mouvement ⇔ oscillations posturales



8 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

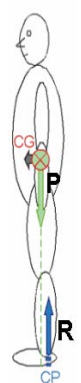
Interprétation

Métrieologie

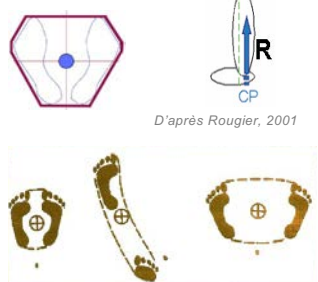
DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Concept de stabilité

- **Être stable** = ne pas chuter
- **Stabilité en situation « quasi-statique »**
 - ✓ Maintenir la projection du centre de masse à l'intérieur du polygone de sustentation
- **Stabilité en situation dynamique** (marche par ex)
 - ✓ Déplacer le polygone de sustentation (déplacements des pieds) afin d'éviter la chute
 - ✓ En situation quasi-statique = déplacement minimal du CM / CP pour maintenir une posture



D'après Rougier, 2001





9 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Comment quantifier les oscillations posturales ?

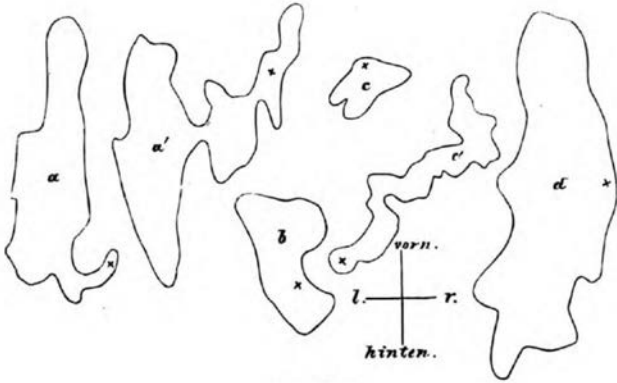


FIGURE 1 – Premières observations quantifiées des oscillations posturales (enveloppe du tracé) par Vierordt (1860) : sujet debout les yeux ouverts (a) et fermés (a') ; position hanchée en appui sur le membre inférieur droit (b) ; position assise yeux ouverts (c) et fermés (c') ; appui monopodal sur le pied droit (d).

Vierordt Karl von (1860) *Grundriss der Physiologie des Menschen*. H. Laupp, Tuebingen.



10 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Des mouvements de la tête → forces sous les pieds

Mesure des mouvements de la tête

THE FACTORS INFLUENCING STATIC EQUILIBRIUM
AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTS OF PRACTICE
UPON AMOUNT AND DIRECTION OF SWAY
FRANKLIN SMITH FEARING 1922
From the Psychological Laboratory, Stanford University¹

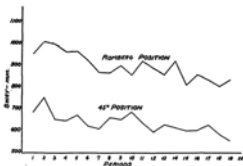


Fig. 1. Means and 19 Percentiles for the Sway of the Feet (Stance II)

THE STATIC EQUILIBRIUM OF AIRPLANE PILOTS
GEORGE BRAMMER 1925
From the Psychological Laboratory of Stanford University¹

Eyes Open

	LOWEST	HIGHEST	MEAN	S.D.	COEFFICIENT OF VARIATION
Pilots.....	100	400	256.6	69.0	0.27
Control.....	120	400	267.2	54.4	0.20

A. In Estep 1957.

A



Ataxiometre de Miles

FIGURE I. Ataxiometer with Subject in Position.



11 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Des mouvements de la tête → forces sous les pieds

- Mesure des déplacements au niveau du bassin
- Mesure des forces sous les pieds
 - Modèle biomécanique = oscillation autour des chevilles

THE FORCES OPERATING AT THE HUMAN ANKLE JOINT DURING STANDING

By J. W. SMITH

1957

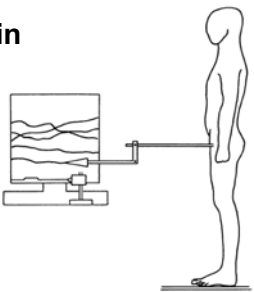
Department of Anatomy, Bute Medical Buildings, St Salvator's College, St Andrews

POSTURAL MOVEMENTS DURING NORMAL STANDING IN MAN

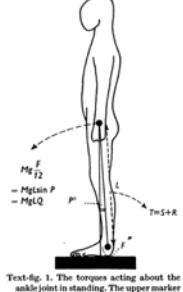
By D. P. THOMAS* AND R. J. WHITNEY

1959

Medical Research Council Unit for Research on Climate and Working Efficiency, Department of Human Anatomy, Oxford



Text-fig. 4. Method for constructing kymograph of body sway.



Text-fig. 1. The torques acting about the ankle joint in standing. The upper marker represents the centre of gravity of the body and the lower marker the axis of rotation of the ankle joint.



Posterior view of kymograph mounted on belt at umbilical height, for recording the antero-posterior coordinates of the trunk and variations in trunk inclination.



12 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3

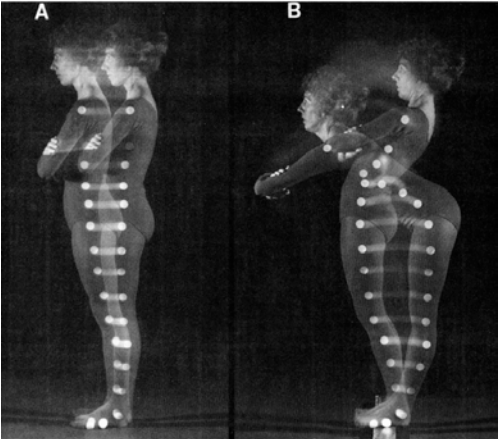
D. GASQ

04/12/2024

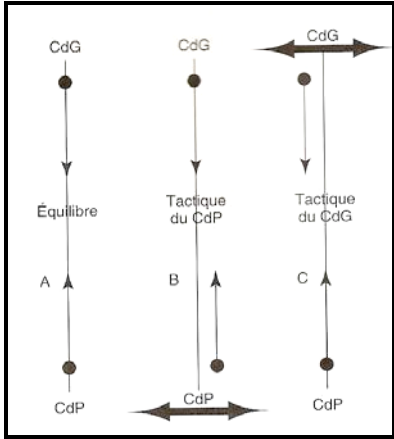
Bases biomécaniques

Dans le plan sagittal: **stratégies de cheville et de hanche**

A



B



A. D'après Horak et al. 1987. B. D'après Gagey 2003.

D. Gasq CHU Toulouse

6



13 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

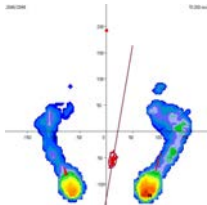
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Référence actuelle = stabilométrie

Plateforme de force pour quantifier l'instabilité



Thomas et Whitney 1959; Kapteyn et al. 1983



14 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

La stabilométrie de demain: IMU au niveau du bassin ?

Station inertielle mesurant les oscillations du centre de masse

Systematic Review

Inertial Sensor Reliability and Validity for Static and Dynamic Balance in Healthy Adults: A Systematic Review

Nicky Baker [✉], Claire Gough and Susan J. Gordon [✉] *Sensors* 2021, 21, 5167. <https://doi.org/10.3390/s21155167>

Technologies for Advanced Gait and Balance Assessments in People with Multiple Sclerosis

Camille J. Shanahan¹, Frederique M. C. Boonstra¹, L. Eduardo Cofré Lizama^{2,3}, Myrte Strik^{1,4}, Bradford A. Moffat¹, Fary Khan^{2,5}, Trevor J. Kilpatrick^{1,5}, Anneke van der Walt¹, Mary P. Galea^{2,5} and Scott C. Kolbe^{1,5}

frontiers in Neurology

published: 02 February 2018
doi: 10.3389/fneur.2017.00708

International Journal of Medical Informatics 130 (2019) 103946

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Medical Informatics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijmedinf

ELSEVIER

Review article

Fall detection and fall risk assessment in older person using wearable sensors: A systematic review

Patricia Bet^{a,*}, Paula C. Castro^b, Moacir A. Ponti^b

A



Fig. 3 A subject standing on the plate and wearing the sensor



HAS
HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ

2007

ANALYSE DE LA POSTURE STATIQUE ET/OU DYNAMIQUE
SUR PLATE-FORME DE FORCE (POSTUROGRAPHIE)
STATOKINÉSIGRAPHIE INFORMATISÉE

15 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Indications :

Le groupe d'experts souligne bien que la posturographie est destinée à quantifier les troubles de l'équilibre. Elle n'est pas une méthode présentant un intérêt pour le diagnostic des pathologies, mais contribue à distinguer les pathologies organiques en cause dans les troubles de l'équilibre. Elle est un outil d'évaluation qui est une aide à la décision thérapeutique, et qui permet le suivi des patients. Ainsi, elle s'inscrit dans une perspective thérapeutique.

Place dans la stratégie thérapeutique :

L'acte statokinésigraphie informatisée vient en complément d'un interrogatoire et d'un examen clinique rigoureux, et en complément des autres tests conventionnels avec scores cliniques quantitatifs. Le groupe insiste bien sur le fait que la posturographie ne sera alors réalisée que si nécessaire face à un trouble avéré, et reste donc réservé à peu de patients.

Sécurité :

Le risque de chute n'est pas nul ; l'examen doit donc être réalisé dans de bonnes conditions et pour les troubles sérieux tel que l'ataxie, un harnais, une sangle de sécurité, voire la présence d'une tierce personne sont conseillés.

Formation nécessaire :

Soit 3^{ème} cycle de formation initiale médecine physique et réadaptation et ORL ;
soit formation complémentaire acquise avec un DIU spécifique (posturologie clinique).

Classement CCAM : 03.01.01.06 – code : CEQP005



Centre des pressions

16 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

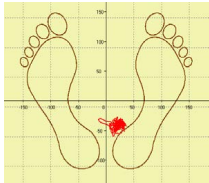
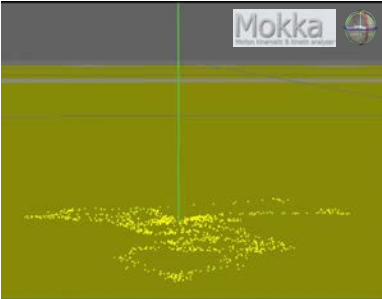
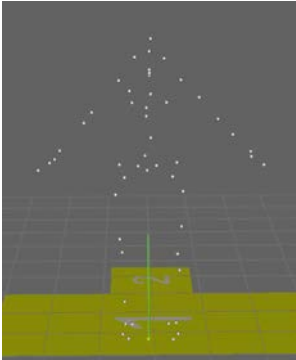
Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Une plateforme de force mesure la force de réaction résultante au cours du temps

- Déplacements du point d'application = **centre des pressions résultant (CPR)**
- Intensité proportionnelle au poids



Thomas et Whitney 1959; Kapteyn et al. 1983



17 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3

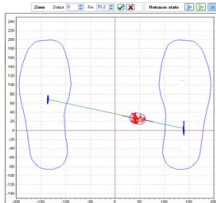
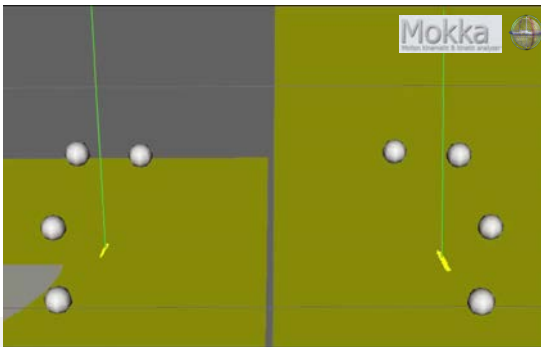
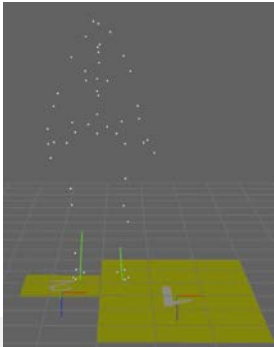
D. GASQ

04/12/2024

Obtention du CPR avec 2 plateformes

Deux plateformes de force (une sous chaque pied)

- Déplacements du point d'application de la force sous chaque pied = **centre des pressions plantaires D et G**
- Intensité proportionnelle au poids
- Calcul du CPR = barycentre des CPP





18 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Terminologie standardisée

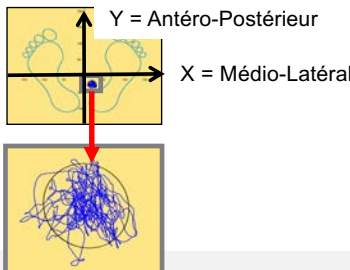
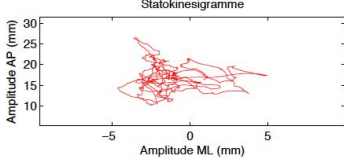
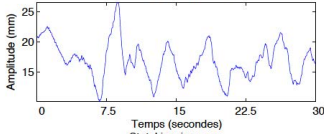
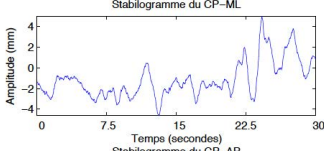
Standardization in Platform Stabilometry being a Part of Posturography

Stabilogrammes ML & AP

- ➔ Graphes des déplacements du CP selon les axes médio-latéral (ML) et antéro-postérieur (AP)

Statokinésigramme (STK)

➔ Représentation des déplacements du CP dans le plan horizontal XY



D. Gasq CHU Toulouse

9



19 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

DES MPR – Mod. 3

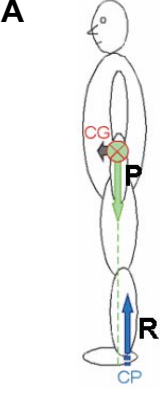
D. GASQ

04/12/2024

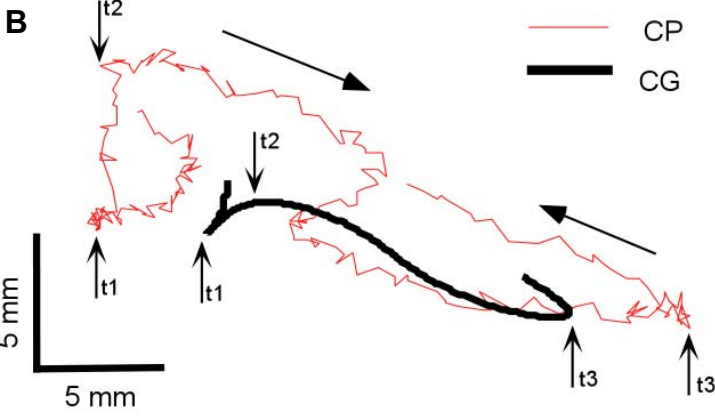
Relation spatio-temporelle entre CPR et CG

Qu'évalue t-on à travers l'étude des déplacements du CP ?

A



B



A. D'après Rougier et al. 2001. B. D'après Rougier et Caron 2000.



20 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

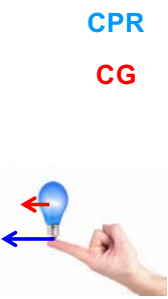
04/12/2024

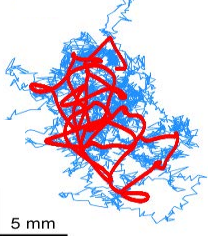
Qu'évalue t-on à travers l'étude des déplacements du CP ?

- Centre des pressions (CPR) et centre de gravité/masse (CG/CM)
 - Centre de masse du sujet = oscillations posturales (« *body sway* »)
 - Activité musculaire permettant le maintien de la projection du CG dans le polygone de sustentation = CPR-CG

CPR

CG





CPR - CG

Isole la composante distale qui contrôle les déplacements du CM

D'après Rougier 2008



21 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

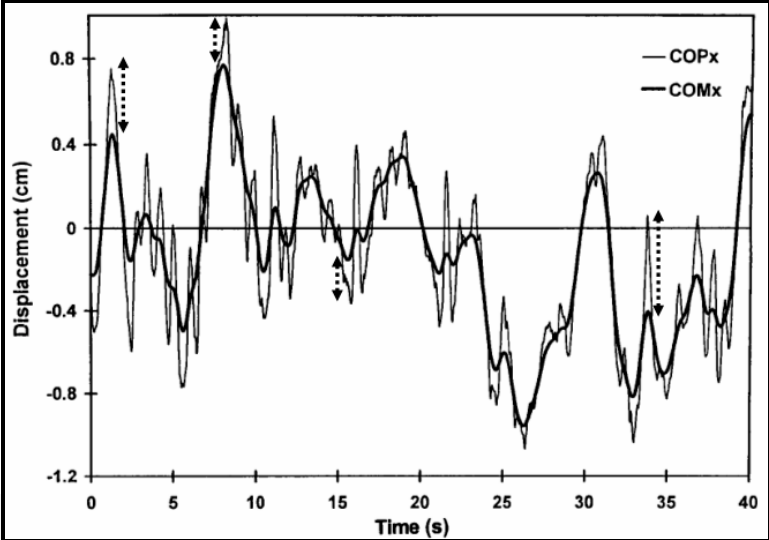
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Qu'évalue t-on à travers l'étude des déplacements du CP ?

Stabilogramme → CPR versus CG/CM



D'après Winter 1998.

The graph displays two time-series plots of displacement in centimeters over a 40-second period. The y-axis ranges from -1.2 to 0.8 cm, and the x-axis ranges from 0 to 40 seconds. The legend indicates two data series: COPx (represented by a thin line) and COMx (represented by a thicker line). Both series show high-frequency oscillations. Vertical dashed arrows highlight specific peaks in the displacement, particularly around 5, 15, and 35 seconds.



22 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

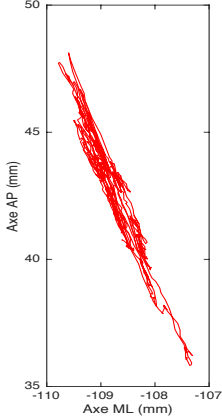
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Une ouverture vers la physiologie du maintien postural

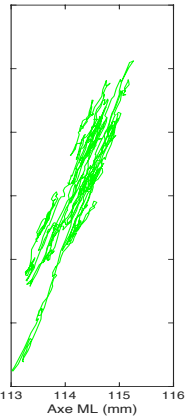
CP
plantaire G



Axe AP (mm)

Axe ML (mm)

CP
plantaire D



Axe ML (mm)

The figure consists of two side-by-side plots showing the relationship between the Anterior-Posterior (AP) and Medio-Lateral (ML) axes of the center of pressure (CP). The left plot, titled 'CP plantaire G', shows a dense cluster of red data points forming a diagonal line from the top-left to the bottom-right. The y-axis is labeled 'Axe AP (mm)' with values from 35 to 50, and the x-axis is labeled 'Axe ML (mm)' with values from -110 to -107. The right plot, titled 'CP plantaire D', shows a dense cluster of green data points forming a similar diagonal line. The x-axis is labeled 'Axe ML (mm)' with values from 113 to 116.



23 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

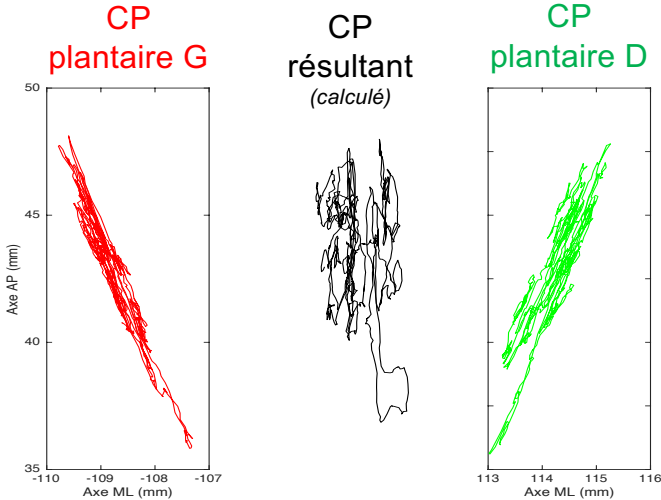
04/12/2024

Une ouverture vers la physiologie du maintien postural

CP
plantaire G

CP
résultant
(calculé)

CP
plantaire D





24 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

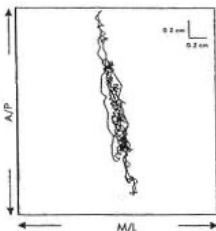
Métrie

DES MPR – Mod. 3

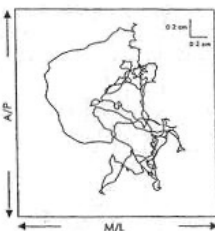
D. GASQ

04/12/2024

Une ouverture vers la physiologie du maintien postural



Pied gauche



Pied droit

$$COP_{net}(t) = COP_g(t) \times \frac{Fvert_g(t)}{Fvert_g(t) + Fvert_d(t)} + COP_d(t) \times \frac{Fvert_d(t)}{Fvert_g(t) + Fvert_d(t)}$$

Modifié, d'après Prince 2009.

D. Gasq CHU Toulouse

12



25 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3

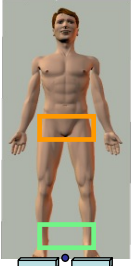
D. GASQ

04/12/2024

Une ouverture vers la physiologie du maintien postural

$$CP_{net}(t) = CP_d(t) \times \frac{F_{zd}(t)}{F_{zd}(t) + F_{zg}(t)} + CP_g(t) \times \frac{F_{zg}(t)}{F_{zg}(t) + F_{zd}(t)}$$
$$CP_v(t)$$
$$CP_c(t)$$

CPv
Charge / décharge (Fz)
= mécanisme de hanche



CPc
Point d'application de Fz
= muscles de cheville

Modifié, d'après Winter 1993.



26 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

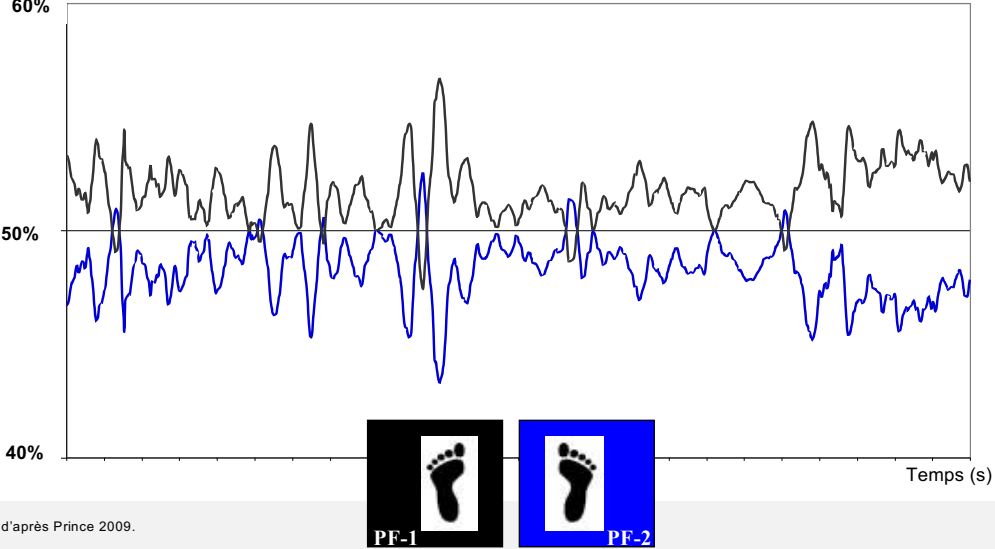
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Une ouverture vers la physiologie du maintien postural

% du poids du corps total



Temps (s)

Modifié, d'après Prince 2009.

D. Gasq CHU Toulouse

13



27 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

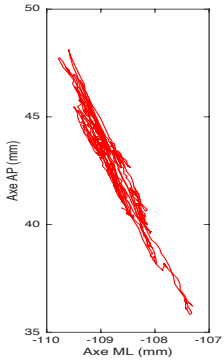
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Une ouverture vers la physiologie du maintien postural

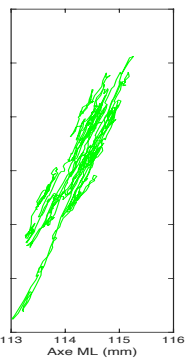
CP
plantaire G



CP
résultant
(calculé)



CP
plantaire D



Selon l'axe AP = mécanisme de cheville (mouvements des CPP)

Selon l'axe ML = mécanisme de hanche (transferts de poids D / G)



28 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

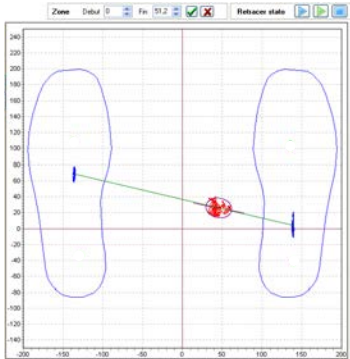
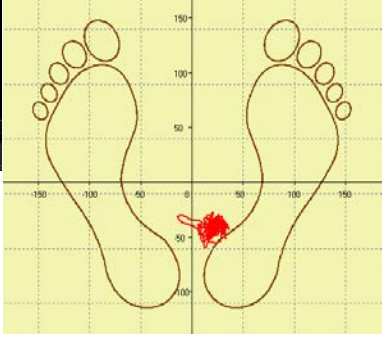
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Obtention du CPR avec une ou deux plateformes ?

Quelles différences dans les informations obtenues lors de l'utilisation de 2 PF (1 sous chaque pied) vs. 1 seule PF ?





29 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

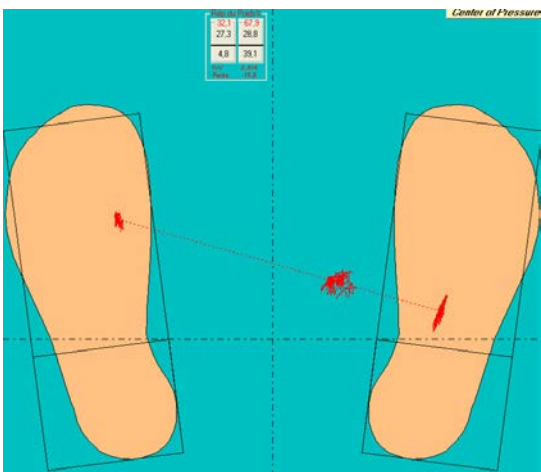
Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

CPR et CPP : quelles informations ?

Quelles informations vous donnent le CPR et les CPP ?



Center of Pressure	
32.1	67.9
27.3	28.8
4.8	39.1
100%	100%
100%	100%



30 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Déroulé de l'exposé

1. La stabilométrie ?
- 2. Conditions d'évaluation**
3. Interprétation d'une évaluation stabilométrique
4. Éléments de métrieologie



31 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

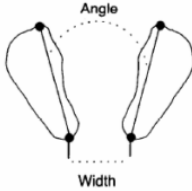
Métriologie

DES MPR – Mod. 3

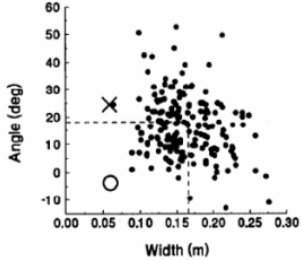
D. GASQ

04/12/2024

Positionnement des pieds



A Elderly subjects



B Young subjects

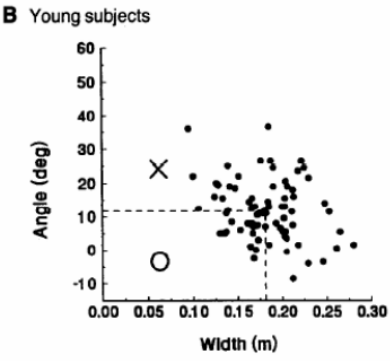
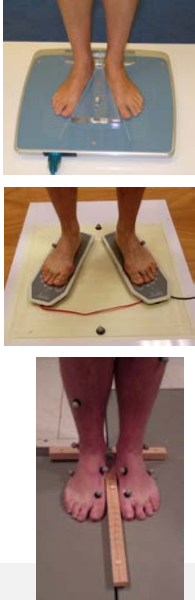


Figure 1. Stance angle and stance width measured from individual foot traces. Raw data is individually displayed for (A) elderly and (B) young subjects. The dashed lines represent average values for stance angle and width. The 'X' denotes an existing recommendation for a standardized foot position (heels together and 30° between the medial margins of the feet; see Kapteyn et al.¹²). The 'O' denotes the 'standard Romberg position' often used in clinical measurements of postural sway (feet together side by side; see Black et al.¹³)



McIlroy et Maki Clin Biomech (Bristol, Avon) 1997;12(1):66-70



32 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Environnement standardisé

- Environnement sonore et visuel : éviter les distracteurs
 - Éclairage constant
- Influence du rythme circadien (Kohen-Raz et al. 1996)
- Fixation d'un repère visuel (Paulus et al. 1984)
 - Normalisation de l'effet stabilisateur de la vision
 - Distance de 1 à 3 m
 - Position du rachis cervical en situation YF
- Consigne standardisée (Zok et al. 2008)
 - Éviter le surcontrôle postural !!
 - Normes 85 : « Vous mettez les bras le long du corps » puis « Vous allez rester tranquille, détendu, sans bouger, en regardant le fil à plomb (ou en fermant les yeux) et en comptant dans votre tête jusqu'à ce qu'on vous dise que c'est bien fini. C'est bien compris ? » (contrôle de la réponse), puis « Vous n'avez pas besoin d'éternuer, de vous gratter ? On peut y aller ? » (contrôle de la réponse), et enfin « regardez le fil (ou fermez les yeux) ! Commencez à compter ! C'est parti ! ». L'enregistrement commençait une seconde après.





33 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Tâche cognitive et stabilisation posturale

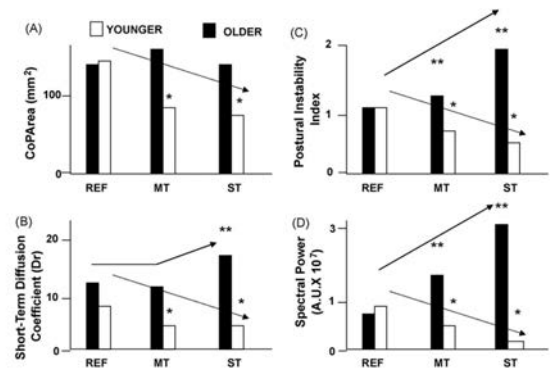


Figure 3 A–D. Advantages of the stabilogram-diffusion and wavelet-transform analyses over the traditional-posturographic method. Mean results recorded in two populations of young- and older-healthy subjects standing quietly on a force platform without concurrent cognitive task (REF) and in dual tasking with a mental-arithmetic task (MT) or a spatial-memory task (ST). A. Group mean for the younger (open histograms) and the older (filled histograms) adults for the CoP area parameter (confident ellipse containing 90% of the sampling points: in square millimetres). B. Group means for the short-term diffusion coefficient provided by the stabilogram-diffusion analysis. (C–D). Group means for two parameters elaborated from the wavelet transform – the postural-instability index (C) and the spectral power calculated in the 0.5–1.5 Hz-frequency range (D: expressed in arbitrary units $\times 10^7$). Note the absence of effects of dual tasking on posture control in the older group with the traditional-posturographic analysis, not sensitive enough to detect attentional load-induced effects, whereas the stabilogram-diffusion and the wavelet-transform methods show significant differences. * and ** indicate significant differences ($p < 0.01$) between the postural performance under dual-task situation and the reference for the younger adults and the older adults, respectively. The solid and dashed arrows illustrate the changes in the postural performance examined in the REF, MT and ST conditions in the younger and older groups, respectively. Modified from [6].



34 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Comparer deux évaluations

- Conditions nécessaires pour comparer deux évaluations stabilométriques (intra/inter-patient) :
 - Même durée *sf surface* (> 20 sec), vitesse du CP, X et Y moyens ?
 - Même fréquence d'acquisition *sf surface*, X et Y moyens
 - Même position des pieds
 - Mêmes consignes +++
 - Même environnement visuel, sonore, etc...
 - Même condition de vigilance
 - Même matériel idéalement
 - Inter-sujet : effet physiologique de l'âge

Tout doit être identique !



35 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

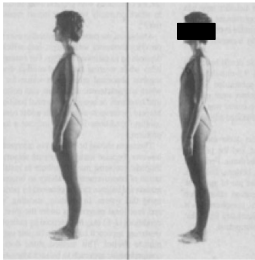
Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Comparer le patient à lui-même

- Intérêt pour juger de l'évolution de l'instabilité posturale :
 - Entre 2 conditions sensorielles (YO/YF, ...)
 - Entre 2 dispositifs de correction (orthèses plantaires, prismes, ...)
 - Dans le temps :
 - Évolution d'une pathologie
 - Effet d'une thérapie (rééducation, ...)
- Mêmes exigences ++++

→ Le seul facteur censé varier est celui que l'on teste !!!






36 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Évaluation statique ou dynamique ?

'Le mieux est l'ennemi du bien'

'The perfect is the enemy of the good'

Voltaire (1694 – 1778)



37 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

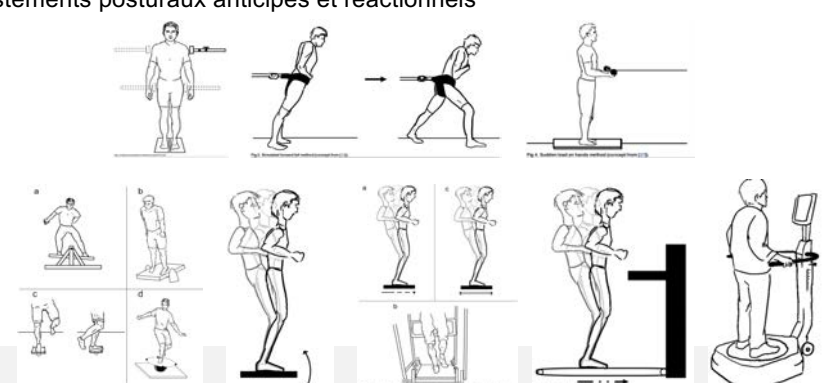
Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Évaluation statique ou dynamique ?

- Évaluation statique (quasi-statique ...) = support stable et fixe
- Évaluation dynamique
 - Quantification des effets sur le contrôle postural avec le CP, temps de réaction, activations EMG, cinématique 3D, chute, ...
 - Notion d'ajustements posturaux anticipés et réactionnels



Petro et al. 2017



38 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Intérêt théorique de l'évaluation dynamique

- Plus écologique et proche des situations de vie quotidienne
- Éventuellement, perturbation posturale quantifiée
- Évaluation multimodale
 - EMG et cinématique : ajustements posturaux
 - Stabilité : analyse des déplacements du CP ou CG, chute
- Étude des contributions sensorielles
 - Pertinence en pathologie vestibulaire et neurologique
 - Risque de chute lors du vieillissement ??

- Évaluation statique = relativement standardisée
- Évaluation dynamique = très hétérogène
 - Sauf l'Equitest = référence standardisée





39 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

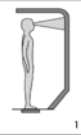
Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Limites de l'évaluation dynamique

Pourquoi l'évaluation dynamique n'a pas remplacé l'évaluation statique ?

The 6 conditions of the NeuroCom Sensory Organization Test (SOT)

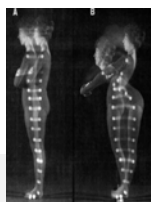
	Normal vision	Eyes closed	Sway referenced vision
Fixed surface			
Sway referenced surface			

Sosnoff et al. 2011

'Le mieux est l'ennemi du bien'

'The perfect is the enemy of the good'

Voltaire (1694 – 1778)



Horak 1987

• Hétérogénéité des protocoles et paramètres

• Défaut de standardisation excepté l'Equitest

– Mais système peu accessible

• Effet plancher > à la condition statique

• Peur de chuter en conditions dynamiques

– Modification de la stratégie

– Stratégie de cheville → stratégie de hanche

– Activations musculaires disto-proximale / proximo-distale

Visser et al. 2008; Prieto et al. 2017



40 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Déroulé de l'exposé

1. La stabilométrie ?
2. Conditions d'évaluation
3. **Interprétation d'une évaluation stabilométrique**
4. Éléments de métrologie



41 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

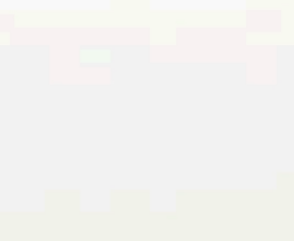
Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Quels paramètres analyser ?

Très / trop nombreux paramètres proposés par les logiciels



- Certains ne sont pas validés** → on ne sait pas s'ils mesurent réellement ce qu'on suppose qu'ils mesurent ...

Surface (mm²)	1103.8
Longueur XY (mm)	2306.26
Longueur X (mm)	858.7
Longueur Y (mm)	1988.8
X moyen (mm)	13.89
E. type X (mm)	8.23
Y moyen (mm)	-11.52
E. type Y (mm)	9.72
Corrélation	-0.3
LFS	1.97
Vitesse moy (mm/s)	45.34
Var. vit. (mm/s)	33.41
VFY	25
AND2X %	27.11
AND2Y %	8.16
AND3X %	3.12
AND3Y %	12.63
Inclin. moy. (°)	3.65
Inclin. std. (°)	3.01
Déport (°)	0.83
Pente (°)	120.44
X max (mm)	34.71
Y max (mm)	14.83
X min (mm)	-6.88
Y min (mm)	-36.56



42 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

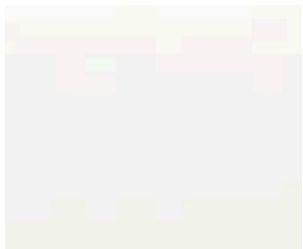
Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Quels paramètres analyser ?

Deux catégories de paramètres

- Stabilité posturale**
 - Quantification indirecte des oscillations posturales
- Symétrie de répartition des appuis**
 - Droite / Gauche
 - Avant / Arrière





43 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

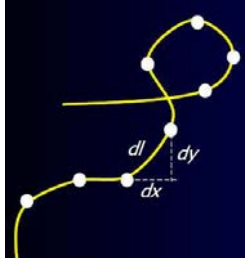
Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Évaluation de la stabilité posturale

- Analyse linéaire du signal
- Paramètres décrivant la tendance centrale



D'après Ouaknine, 2005

- Longueur en X, Y, XY (mm)
 - Sensible au ratio signal / bruit
 - Dépendante de la durée
- Vitesse de déplacement du CP selon XY (mm.s^{-1})**
 - Moyenne (Longueur / Temps) ou instantanée
 - Indépendante de la durée mais dépendante de la fréquence d'échantillonnage
 - Paramètre consensuel dans la littérature

Visser et al. 2008, Ruhe et al. 2010; Scoppa et al. 2013



44 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

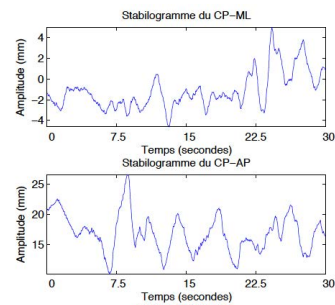
Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Évaluation de la stabilité posturale

- Analyse linéaire du signal
- Paramètres décrivant la dispersion

- Ecart type des positions du CP selon X, Y ou XY (mm)**
 - Souvent exprimé par le **RMS** (*Root Mean Square*)
- Écart-type ou variance de la vitesse du CP (mm.s^{-1})**
- Empan selon X ou Y (mm)**





45 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

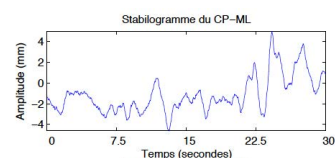
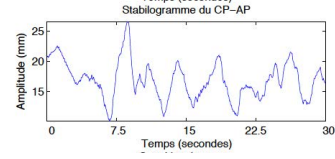
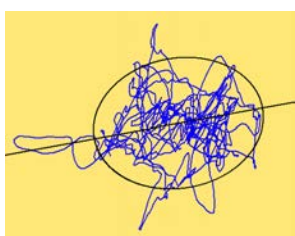
Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Évaluation de la stabilité posturale

- Analyse linéaire du signal
- Paramètres décrivant la dispersion
- Ecart type des positions du CP** selon X, Y ou XY (mm)
 - Souvent exprimé par le **RMS** (Root Mean Square)
- Écart-type ou variance de la vitesse du CP** (mm.s⁻¹)
- Empan** selon X ou Y (mm)
- Surface de l'ellipse de confiance du STK (mm²)*
 - Contenant 90 ou 95% des points du STK
 - Mauvais paramètre**
 - Peu valide
 - Peu reproductible
 - Intérêt en cas de surcontrôle volontaire



46 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

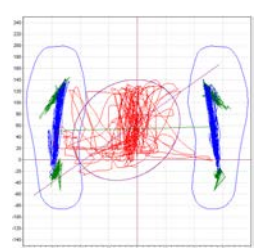
Les pièges et finesses de la surface du STK

« Decrease in CoP area can result from a better integration of the multisensory inputs controlling posture and underpin the improvement of posture control. But similar CoP changes can result from an increased-body stiffness associated with fear of falling. »

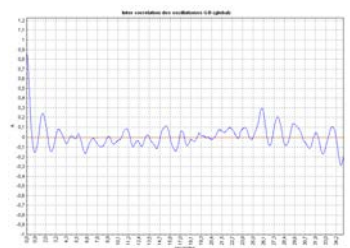
Lacour et al. 2008

Une faible surface du STK peut-être liée à :

- Un bon contrôle postural
- Un sujet ayant peur de chuter et se raidissant



Notion de « méga-surface »





47 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

DES MPR – Mod. 3

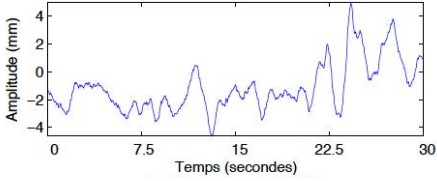
D. GASQ

04/12/2024

Analyse fréquentielle

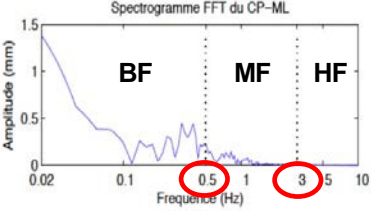
Benda et al. 1994 ; Gage et al. 2004

Stabilogramme du CP-ML

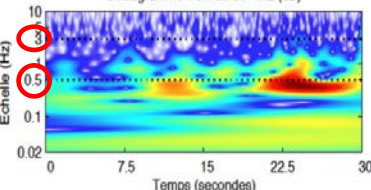


Signal non-stationnaire

Spectrogramme FFT du CP-ML



Scalogramme TSA du CP-ML (dB)



Carroll et Freedman 1993 ; Schumann et al. 1995 ; Loughlin et al. 1996 ; Ferdjallah et al. 1999



48 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrie

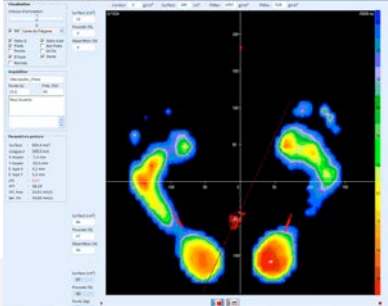
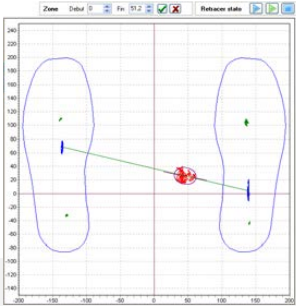
DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Évaluation directe de l'asymétrie D/G

- Mesure directe du poids sous chacun des deux pieds
 - 2 plateformes de force
 - Baropodométrie / semelles embarquées
- Indépendant de la position // centre de la plateforme
 - Pourcentage du poids D et G





49 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

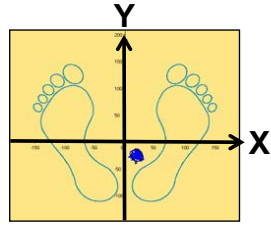
DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

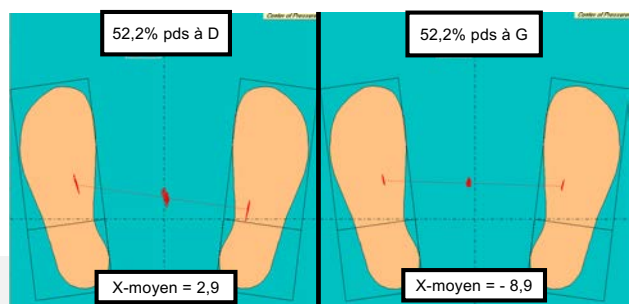
Évaluation indirecte asymétrie D/G: X-moyen

X-moyen (mm) : droite-gauche

- Position moyenne du CP sur l'axe ML
- Dépend de 2 facteurs :
 - Position des appuis // centre de la plateforme
 - Intensité des appuis D et G

→ Estimation indirecte de la répartition du poids D/G







50 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

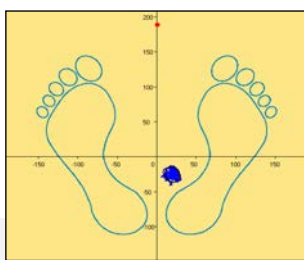
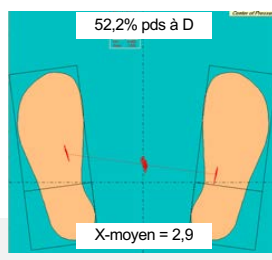
Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Lien entre X-moyen et asymétrie de poids

- Asymétrie de répartition du poids « normale » < 10%
- Lien X-moyen et asymétrie de répartition du poids selon la position des pieds
 - Position 9 cm d'écart inter-talonnier et angle de 30° (*Genthon et al. 2008*)
 - 5% asymétrie = 10 mm, soit 1 mm pour 0,5% du poids corporel environ
 - Position 17cm entre le milieu des talons et angle de 14° (*travaux personnels*)
 - 3,3% asymétrie = 10 mm, soit 1 mm pour 0,33% du poids corporel environ
 - Position 3 cm d'écart inter-talonnier avec angle de 30° (*Normes 85*)
 - On peut estimer que 8,5% asymétrie ~ 10 mm, soit 1 mm pour ~0,85% du poids corporel



51 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

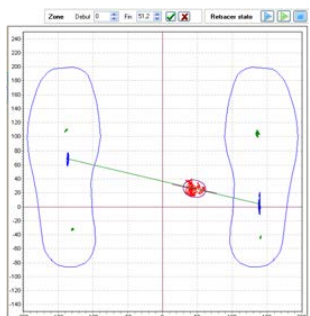
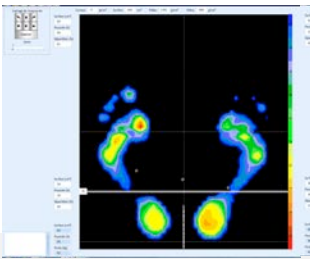
Interprétation

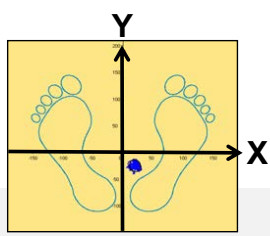
Métriologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Évaluation asymétrie Avant/Arrière pied

- Mesure directe du poids sous avant et arrière-pied
 - 2 x 2 plateformes de force
 - Baropodométrie / semelles embarquées
 - Pourcentage du poids sous avant et arrière-pied
- Mesure indirecte: Y-moyen (mm)
 - Position moyenne du CP sur l'axe AP
 - Pb de référentiel (où est le zéro?)





52 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Étapes de l'interprétation

- Données cliniques concernant le patient
- Conditions de l'évaluation connues et standardisées
- Déroulement de l'évaluation connu
- Regarder les graphes (stabilogrammes et statokinésigramme)
- Choisir les paramètres stabilométriques d'intérêt
- Selon la situation :
 - Étude d'un comportement = moyenner les valeurs (ex: 3 essais de 30 secondes)
 - Étude d'une performance = prendre la meilleure valeur (ex: appui monopodal)
- Comparer les conditions entre-elles ou l'évolution au cours du temps



53 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Exemple d'interprétation

- Patient de 50 ans
- Ataxie cérébelleuse d'origine génétique, d'aggravation progressive
- Bilan initial avant rééducation axée sur la stabilité posturale et la marche
- Demande : évaluation quantifiée du contrôle postural et de l'asymétrie d'appui
 - Visiodépendance posturale ?
- Conditions de l'évaluation
 - Condition « quasi-statique » ➔ pieds-nus, position des pieds 17-14°
 - 3 acquisitions de 30s les YO et les YF (YO-YF-YO-YF-YO-YF) : cible visuelle à 1,5 m
 - Pas de tâche cognitive
 - Consignes standardisées
- Déroulement de l'évaluation
 - Première acquisition YO refaite car le patient a bougé le membre supérieur
 - Repos 2 min entre acquisitions 4 et 5



54 / 70

Stabilométrie?

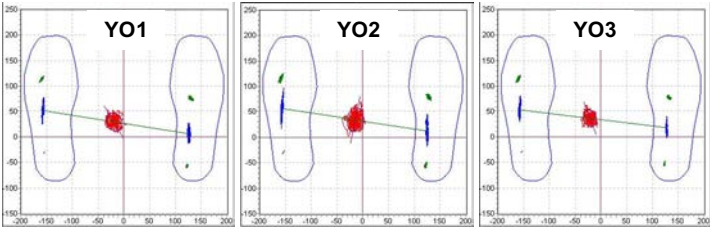
Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Exemple d'interprétation



	Yeux ouverts			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
% poids côté G	51,2	49,6	52,3	51 %
% poids côté D	48,8	50,4	47,7	49 %
% poids avt-pied G	29,3	29,1	30,6	29,7 %
% poids arr-pied G	21,9	20,5	21,7	21,4 %
% poids avt-pied D	23,3	25,7	26	25 %
% poids arr-pied D	25,5	24,7	21,7	24 %
Vitesse du CP	56,19	70,03	46,61	57,6 mm.s-1



55 / 70

Stabilométrie?

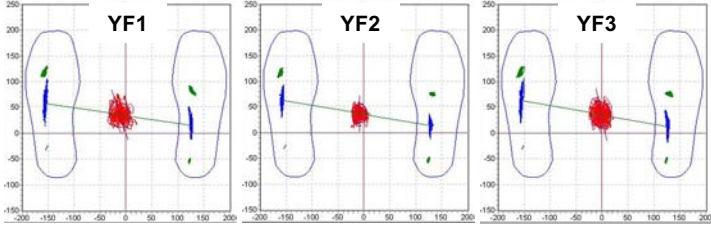
Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Exemple d'interprétation



	Yeux ouverts				Yeux fermés			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
% poids côté G	51,2	49,6	52,3	51 %	49,6	45,4	46,7	47,2 %
% poids côté D	48,8	50,4	47,7	49 %	50,4	54,5	53,3	52,7 %
% poids avt-pied G	29,3	29,1	30,6	29,7 %	29,1	28,1	26,6	27,9 %
% poids arr-pied G	21,9	20,5	21,7	21,4 %	20,5	17,3	20,1	19,3 %
% poids avt-pied D	23,3	25,7	26	25 %	25,7	28,2	28,7	27,5 %
% poids arr-pied D	25,5	24,7	21,7	24 %	24,7	26,3	24,6	25,2 %
Vitesse du CP	56,19	70,03	46,61	57,6 mm.s-1	70,03	113,94	88,76	90,9 mm.s-1



56 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métriologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Existe-t-il des normes ?

- Des normes ont été proposées
 - Normes 85
 - Société Japonaise d'étude de l'équilibre 1997

Normes 85

	Condition	Moyenne	Ecart-standard Ou ± 1 ES	Limite de confiance à 95%	Remarques
X-moyen (mm)	YO	1,1	5,4	-9,6 / 11,7	Y-moyen Femmes > Hommes
	YF	0,3	5,5	-10,5 / 11,1	
Y-moyen (mm)	YO	-29,2	14,1	-57,0 / -1,5	
	YF	-27,5	12,2	-51,4 / -3,6	
Ecart-standard de la Vitesse (mm/s)	YO	10,6	3,7	3,4 / 17,7	
	YF	11,5	3,4	4,8 / 18,2	
VFY	YO	0,31	2,88	-2,61 / 3,59	
	YF	0,06	2,45	-4,73 / 4,86	
Surface de l'ellipse de Confiance à 90% (mm²)	YO	91	59 – 139	39 / 210	
	YF	225	383 – 132	79 / 638	
Longueur (mm)	YO	429	361 – 508	307 / 599	
	YF	613	136	346 / 880	
LFS	YO	1	0,97 – 1,03	0,72 / 1,39	
	YF	1	0,84 – 1,20	0,70 / 1,44	
Quotient de Romberg	YO/YF	288	152	112 / 677	



57 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Existe-t-il des normes ?

- Des normes ont été proposées
 - Normes 85
 - Société Japonaise d'étude de l'équilibre 1997
- Peut-on / doit-on les utiliser ?
- Valeur prédictive ?

Normes 85

Condition	Moyenne	Ecart-standard Ou ± 1 ES	Limite de confiance à 95%	Remarques
X-moyen (mm)	YO 1,1	5,4	-9,6 / 11,7	
	YF 0,3	5,5	-10,5 / 11,1	
Y-moyen (mm)	YO -29,2	14,1	-57,0 / -1,5	Y-moyen
	YF -27,5	12,2	-51,4 / -3,6	Femmes > Hommes
Ecart-standard de la Vitesse	YO 10,6	3,7	3,4 / 17,7	
	YF 11,5	3,4	4,7 / 18,3	
YF +	YO 0,06	2,45	-4,73 / 4,86	
	YF 0,06	2,45	-4,73 / 4,86	
Surface de l'ellipse de Confiance à 90% (mm²)	YO 91	59 – 139	39 / 210	
	YF 225	383 – 132	79 / 638	
Longueur (mm)	YO 429	341 – 508	307 / 599	
	YF 613	136 – 1090	346 / 980	
LFS	YO 1	0,84 – 1,20	0,70 / 1,44	
	YF 1	0,84 – 1,20	0,70 / 1,44	
Quotient de Romberg	YO/YF 288	152	112 / 677	



58 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Comparaison de 2 conditions

- Comparaison directe des scores avec / sans manipulation sensorielle
 - Marge d'erreur à dépasser
- Ratio entre les deux scores
 - Coefficient de Romberg = (YF / YO) x 100 (Paulus et al. 1984)
 - Borné de 0 à l'infini
 - Asymétrique et non proportionnel
 - Méthode normalisée** (Olfield 1971 pour coefficient latéralité; Lacour et al. 1997)
 - Borné entre -100 et + 100
 - Symétrique
- Choix du / des paramètre(s) selon la situation

$$\frac{\text{Eyes Closed (EC) torque} - \text{Eyes open (EO) torque}}{\text{EC torque} + \text{EO torque}} \times 100$$



59 / 70

Stabilométrie?

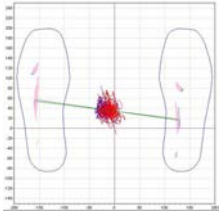
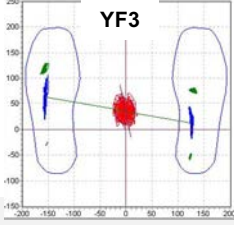
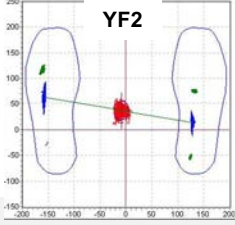
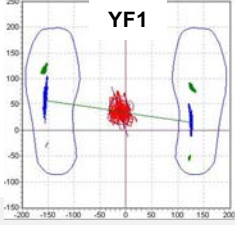
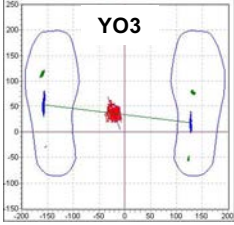
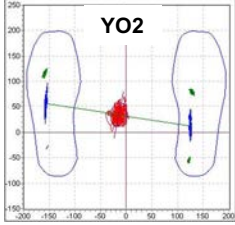
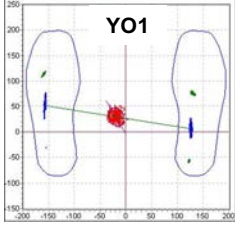
Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Exemple d'interprétation



	Visiodépendance posturale	
	Romberg	Ratio normalisé
Vitesse du CP XY	158%	22



60 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Déroulé de l'exposé

1. La stabilométrie ?
2. Conditions d'évaluation
3. Interprétation d'une évaluation stabilométrique
4. Éléments de métrologie



61 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

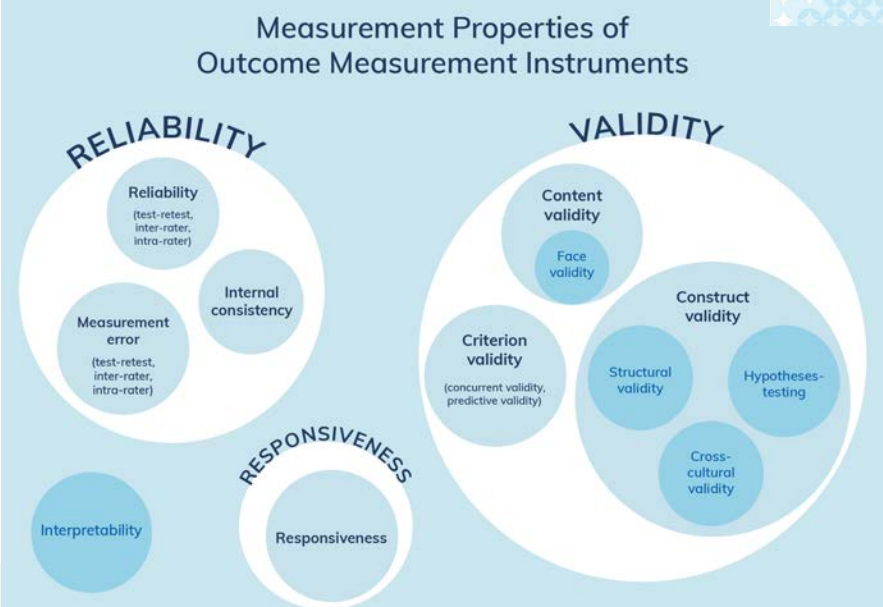
Métrieologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Un peu de métrieologie ...



The diagram illustrates the Measurement Properties of Outcome Measurement Instruments, categorized into four main areas: RELIABILITY, VALIDITY, RESPONSIVENESS, and INTERPRETABILITY. RELIABILITY includes Reliability (test-retest, inter-rater, intra-rater), Internal consistency, and Measurement error (test-retest, inter-rater, intra-rater). VALIDITY includes Content validity (Face validity), Criterion validity (concurrent validity, predictive validity), Construct validity (Structural validity, Hypotheses-testing, Cross-cultural validity), and Interpretability. RESPONSIVENESS includes Responsiveness.



Tools to help you select the most suitable outcome measurement instruments



62 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3

D. GASQ

04/12/2024

Validité de l'évaluation stabilométrique

- La stabilométrie est un **dispositif d'évaluation**
 - Intérêt de la quantification chiffrée mais effet plancher
 - Suivi d'un patient, comparé à lui-même
 - Sensibilisation du test de Romberg clinique
 - Utiliser 2 plateformes si étude des asymétries
- Très rare intérêt diagnostique
 - Pic fréquentiel spécifique
 - Tremblement orthostatique essentiel 14-18 Hz
 - Surcontrôle des oscillations posturales
- Validité prédictive et contre-critère ?



Clinical Neurophysiology 119 (2008) 2424–2435

Contents lists available at ScienceDirect

Clinical Neurophysiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/clinph

Invited review

The clinical utility of posturography

Jasper E. Visser^a, Mark G. Carpenter^b, Herman van der Kooij^c, Bastiaan R. Bloem^{a,*}

^aDepartment of Neurology, Parkinson Center Nijmegen (PnC), Donders Center for Neuroscience, Radboud University Nijmegen Medical Centre, P.O. Box 9101, 6500 HB Nijmegen, The Netherlands

^bSchool of Human Kinetics, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

^cDepartment of Biomechanical Engineering, University of Twente, The Netherlands



Validité de l'évaluation stabilométrique

63 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

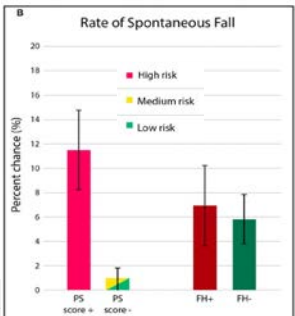
Interprétation

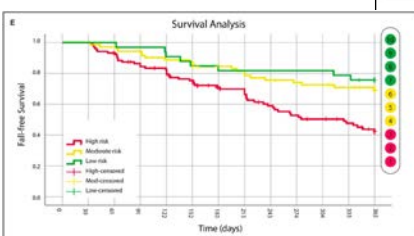
Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

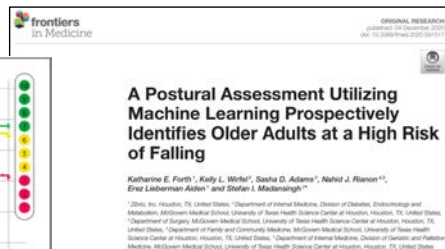
Prédire la chute ?

- Meilleur prédicteur = avoir déjà chuté !
- Modèles de prédiction ?











Validité de l'évaluation stabilométrique

64 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Prédire l'instabilité articulaire (cheville & genou) ?

- Romberg ou appui monopodal ++
- Utile pour le suivi
- Pas de prédiction de la récurrence

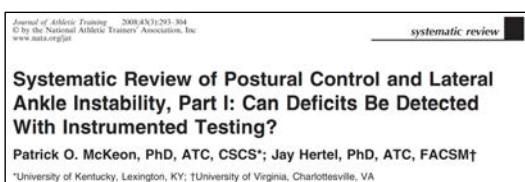


Figure 1. Single postural stability test protocol. The single postural stability test (SPS).

Reliability and usefulness of the single leg heel raise balance test in patients with chronic ankle instability

Jin Hyuck Lee¹, Hae Woon Jung², Taek Sung Jung³, Woo Young Jang^{4, 5}

Sci Rep. 2021 Oct 13;11(1):20369. doi: 10.1038/s41598-021-99466-8.







65 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

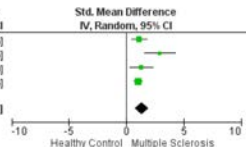
Métrologie

Validité de l'évaluation stabilométrique

Validité discriminante ou contre-critère

- Récupération des capacités de maintien postural après AVC (*De Haart et al., 2004*) ;
- Efficacité (en terme de stabilité posturale) d'un programme rééducatif après AVC (*Bonan et al., 2004b*), ou d'une stimulation subthalamique chez des patients parkinsoniens (*Guehl et al., 2006*) ;
- Evaluer la visiodépendance posturale de sujets hémiplegiques vasculaires (*Bonan et al., 2004b*) ou vestibulaires (*Lacour et al., 1997*) ;
- Caractériser les liens entre altérations de la marche et de la stabilité posturale après AVC (*Nardone et al., 2009; Mansfield et al., 2013; Sawacha et al., 2013*) ;
- Objectiver des troubles de la stabilité posturale chez des sujets présentant une instabilité subjective après traumatisme crânien (*Dehail et al., 2007*).
- Evaluer la maturation du système postural (*Golomer et al., 1999b*) ou l'effet du vieillissement sur l'altération du contrôle postural (*Colledge et al. 1994*) ;
- Objectiver une visiodépendance différente entre danseurs professionnels et sujets témoins (*Golomer et al., 1999a*) ;

A . Standardised mean difference in COP velocity in the mediolateral plane

Study or Subgroup	Multiple Sclerosis			Healthy Control			Weight	Std. Mean Difference IV, Random, 95% CI	Std. Mean Difference IV, Random, 95% CI
	Mean	SD	Total	Mean	SD	Total			
Cattaneo 2012	18.9	12.4	47	6.43	1.43	13	28.8%	1.11 [0.46, 1.76]	
Kanekar 2014	11.79	2.08	10	6.69	1.14	10	13.2%	2.91 [1.58, 4.25]	
Kersten 2013	6.9	3.2	8	3.9	1.3	13	19.5%	1.31 [0.32, 2.29]	
Prosperini 2013	12.45	7.58	100	6.1	1.9	50	38.4%	1.00 [0.65, 1.36]	
Total (95% CI)			165			86	100.0%	1.35 [0.77, 1.92]	
Heterogeneity: Tau ² = 0.19; Chi ² = 7.44, df = 3 (P = 0.06); I ² = 69% Test for overall effect: Z = 4.57 (P = 0.00001)									

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

A. Comber et al. 2018.



66 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

Reproductibilité et stabilométrie

La reproductibilité dépend des paramètres étudiés

for the 120-Second Trial Duration				
COP Variables	Direction	Mean ± SD	Trial*	MMDC
Sway area (mm ²)	—	135.8±46.3	1	±68.4
			13	±27.2
COP range (mm)	AP	26.3±5.6	1	±7.4
			8	±3.5
	ML	14.1±4.3	1	±5.1
			6	±2.7
RMS (mm)	AP	3.7±1.0	1	±1.2
			7	±0.9
	ML	2.3±0.9	1	±1.2
			8	±0.6
COP velocity (mm/s)	AP	7.9±1.7	2	±1.0
	ML	5.2±1.0	2	±0.6

*Number of trial averaged for ICC ≥.90.

DES MPR – Mod. 3
- D. GASQ
- 04/12/2024

Lafond et al. 2004.



67 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Reproductibilité de l'évaluation stabilométrique

- La reproductibilité est dépendante des conditions de l'examen
 - Consignes, environnement et position des pieds toujours les mêmes !
- Globalement → en appui bipodal et en condition « statique »
 - Bien que les conditions d'examen varient selon les travaux !!!
- Moyenner 3 essais d'une durée de 30 sec
 - Ou une seule acquisition de 90 sec
- Stabilité posturale jugée avec la vitesse du CP (mm/s)
 - Marge d'erreur ≥ 2 mm/s chez sujets « sains »; ≥ 5 mm/s en orthopédie
 - Plus important en neurologie ≥ 7 à 10 mm/s en post-AVC
- Asymétrie d'appui :
 - Mesurée directement (% poids): marge d'erreur ~3-5%
 - Sinon X-moyen: marge d'erreur ≥ 10 mm

Cf. articles de références adaptés à la population étudiée et aux conditions de l'évaluation

Goldie et al. 1989; Lafond et al. 2004; Doyle et al. 2007; Lin et al. 2008; Santos et al. 2008; Visser et al. 2008; Pinsault et al. 2009; Ruhe et al. 2010; Scoppa et al. 2013; Gasq et al. 2014; Laroche et al. 2015; Aryan et al. 2023



68 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

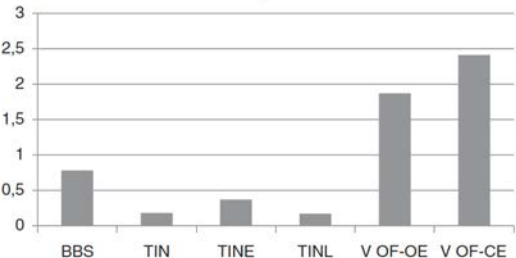
Métrieologie

DES MPR – Mod. 3
D. GASQ
04/12/2024

Sensibilité au changement de la stabilométrie

- 23 patients blessés médullaires
- Appui bipodal statique YO / YF
- Suivi à multiples reprises durant 1 an: stabilométrie et échelles cliniques
- Évaluation de la sensibilité au changement (taille d'effet)

ES - Responsiveness



Condition	ES - Responsiveness
BBS	0.8
TIN	0.2
TINE	0.4
TINL	0.2
V OF-OE	1.8
V OF-CE	2.4

Tamburella et al. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2014, 11:86
<http://www.jneuroengrehab.com/content/11/1/86>

RESEARCH Open Access

Reliability, validity, and effectiveness of center of pressure parameters in assessing stabilometric platform in subjects with incomplete spinal cord injury: a serial cross-sectional study

Federica Tamburella^{1*}, Giorgio Schiavetto¹, Marco Iosa² and Marco Molinari¹



Sensibilité au changement de la stabilométrie



ORIGINAL RESEARCH
published: 29 February 2020
doi: 10.3389/fnol.2020.00048

69 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

- 99 patients SEP, EDSS 0 à 5
 - Médiane = 2
 - Groupes 0-1,5 / 2-2,5 / 3-5
- Appui bipodal statique (pieds écartés 10cm)
- YF durant 30s – CP médio-latéral
- Comparaison test de Romberg et atteinte cérébelleuse

Balance Testing in Multiple Sclerosis—Improving Neurological Assessment With Static Posturography?

Herman Ingjón, Dirk Schreiber, Antonia Kölsch, Katrin Trenzsch and Tjalf Ziemssen*

MS Center, Center of Clinical Neuroscience, Department of Neurology, Carl Gustaf Carus University Hospital, University of Dresden, Dresden, Germany

TABLE 4 | Patients with cerebellar function system score 0 (N = 42) or Romberg test score 0 (N = 71) with impaired balance parameters according to different cut-points for deviation from the healthy group.

		2 SD	2.5 SD	3 SD
Cerebellar function system score = 0 (N = 42)	Delineated area	13 (30.95%)	10 (23.81%)	9 (21.43%)
	Average sway	6 (14.29%)	2 (4.76%)	1 (2.38%)
	Average speed	10 (23.81%)	8 (19.05%)	8 (19.05%)
Romberg test score = 0 (N = 71)	Delineated area	39 (54.93%)	30 (42.25%)	28 (39.44%)
	Average sway	13 (18.31%)	5 (7.04%)	2 (2.82%)
	Average speed	26 (36.62%)	19 (26.76%)	19 (26.76%)

DES MPR – Mod. 3

- D. GASQ

- 04/12/2024



Sensibilité au changement de la stabilométrie

70 / 70

Stabilométrie?

Conditions d'évaluation

Interprétation

Métrologie

- Sensibilité au changement intéressante par rapport aux échelles cliniques
 - Évaluation quantifiée objective
 - Peu de travaux sur le sujet → *établir la validité au préalable !*
 - Intérêt potentiel quand effet plafond des échelles cliniques
- Outil de suivi longitudinal
 - Pré / Post
 - Récupération ou évolution d'une pathologie
- ⚠ L'évaluation stabilométrique ne se suffit pas à elle-même
→ **Interprétation en fonction du contexte clinique**

DES MPR – Mod. 3

- D. GASQ

- 04/12/2024



Intérêts et limites de l'évaluation stabilométrique de la stabilité posturale

DES de Médecine Physique et de Réadaptation

Module 3 - Motricité

04/12/2024 – 1h30

Pr David GASQ ^{a,b,c}

DIPLÔME INTER-UNIVERSITAIRE
de POSTURE, EQUILIBRE ET LOCOMOTION

^a Université Toulouse 3, Faculté de Santé, Département Médecine, Maïeutique & Paramédicaux
^b CHU de Toulouse, Physiologie Explorations Fonctionnelles, Clinique Universitaire du Mouvement
^c ToNIC, Toulouse Neuroimaging Center, Université de Toulouse, Inserm, UPS