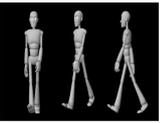


Hôpitaux de Toulouse ToNIC Inserm UNIVERSITÉ TOULOUSE III NeuroBiomeK

## Évaluation clinique et instrumentale de la marche

**DES de Médecine Physique et de Réadaptation**  
**Module 3 - Motricité**  
 07/12/2023 – 2h  
 Dr David GASQ<sup>a,b</sup>



<sup>a</sup> Université Toulouse 3, CHU de Toulouse – Physiologie Explorations Fonctionnelles  
<sup>b</sup> ToNIC, Toulouse Neuroimaging Center, Université de Toulouse, Inserm, UPS

## Analyse de la marche ?

2 / 89



**Descripteurs de la marche ?**  
**Modalités d'évaluation ?**

DES MPR – Mod. 3  
D. GASQ  
07/12/2023

## Marche – objectifs d'apprentissage

3 / 89

**Descripteurs de la marche**

- LOC-1. Connaître la définition du cycle de marche et ses caractéristiques physiologiques.
- LOC-2. Connaître les paramètres spatio-temporels de la marche et leurs valeurs physiologiques.
- LOC-3. Connaître les caractéristiques cinématiques physiologiques de la marche.
- LOC-4. Connaître les caractéristiques cinétiques physiologiques de la marche.
- LOC-5. Connaître les activations musculaires physiologiques lors de la marche.
- LOC-6. Connaître les facteurs d'une marche peu coûteuse sur le plan énergétique.

**Analyse observationnelle de la marche**

- LOC-7. Savoir réaliser une analyse observationnelle de la marche systématique et ordonnée.
- LOC-8. Savoir utiliser une échelle descriptive des anomalies de la marche cotée à partir d'une vidéo.

**Évaluation instrumentale de la marche**

- LOC-9. Connaître les outils permettant une analyse spatio-temporelle instrumentale de la marche.
- LOC-10. Connaître les outils permettant une analyse cinématique instrumentale de la marche.
- LOC-11. Connaître les outils permettant une analyse cinétique de la marche.
- LOC-12. Connaître les outils permettant une analyse des activations musculaires au cours de la marche.
- LOC-13. Connaître les bases de l'analyse quantifiée de la marche.
- LOC-14. Connaître les différents niveaux d'évaluation de la marche et leurs indications respectives.

**Physiopathologie des anomalies de la marche**

- LOC-15. Être capable de distinguer les anomalies primaires des anomalies secondaires et compensatrices en cas de boiterie.
- LOC-16. Être capable de reconnaître et caractériser les principales anomalies de la marche en phase d'appui.
- LOC-17. Être capable de reconnaître et caractériser les principales anomalies de la marche en phase oscillante.

DES MPR – Mod. 3  
D. GASQ  
07/12/2023

## Descripteurs et outils d'évaluation de la marche

4 / 89

**Descripteurs de la marche**

	Description de la marche	Pressions plantaires	Paramètres spatio-temporels	Cinétique	Cinématique 3D	EMG dynamique
<b>Outils</b>						
Échelles cliniques et/ou vidéo sans quantification instrumentale	X					
Vidéo 4K - info-méga avec quantification			X		X	
Capturs de pressions (contacteurs plantaires, tapis de marche, semelles embouties)		X	X			
Séquences inertielles			X		X	
Plateformes de force			X	X		
Systèmes vestibulaires 3D (marqueurs passifs ou actifs)			X		X	
EMG de surface ou implantée						X

Niveaux d'analyse de la marche (sauf indication pour chaque niveau d'analyse de marche) : cf. première partie de la séance

Revue systématique de littérature sur les propriétés de mesure des données instrumentales d'évaluation de la locomotion humaine, dans l'objectif de proposer des recommandations méthodologiques → en cours

DES MPR – Mod. 3  
D. GASQ  
07/12/2023

## Plan de l'enseignement

5 / 89

**Descripteurs de la marche**

1. Cycle de marche
2. Données spatio-temporelles
3. Données cinématiques
4. Données cinétiques
5. Activations musculaires
6. Coût énergétique de la marche

**Analyse observationnelle de la marche**

1. Vidéo de la marche
2. Utilisation d'une échelle standardisée (EVGS)

**Analyse instrumentale de la marche**

1. Analyse spatio-temporelle
2. Analyse cinématique
3. Analyse cinétique
4. Analyse en électromyographie dynamique
5. Bases de l'analyse quantifiée de la marche
6. Indications des analyses instrumentales de la marche

- Anomalies primaires, secondaires et compensatrices de la marche
- Description d'une boiterie en phase d'appui et en phase oscillante
- Analyse de vidéos

DES MPR – Mod. 3  
D. GASQ  
07/12/2023

## Marche

LOC-1

6 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Mode de locomotion naturel de l'adulte
- Combine maintien de la stabilité et propulsion
- Action combinée et cyclique des deux membres inférieurs




DES MPR – Mod. 3  
D. GASQ  
07/12/2023



**Aspects généraux** LOC-2

13 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Données indispensables à relever
  - Allure : lente, spontanée, rapide, maximale ?
  - Utilisation d'une aide de marche : canne, déambulateur, orthèse, chaussage ?
  - Stabilité du sujet : polygone de sustentation, embardeées, ...
- Est-ce qu'il y a une boiterie ?
  - Marche d'allure anormale, le plus souvent irrégulière, à l'observation et éventuellement à l'audition

D'après Murray et al. 1999

**Paramètres spatio-temporels** LOC-2

14 / 89

**Descripteurs de la marche**

**Paramètres spatiaux**

- Longueur du pas (step) → 0.6 à 0.8m
- Longueur d'enjambée (stride) → pas D + G
- Largeur du pas → 6 à 8 cm
- Angle du pas → 10 à 15°
- Hauteur / clairance du pas → 1 à 2 cm
- Asymétrie spatiale de longueur du pas

**Paramètres temporels**

- Cadence → 100 à 130 pas/min
- Vitesse de marche (m/s) : spontanée, maximale?
  - Durée d'un cycle de marche = 1 seconde
  - Cadence x (Long. Enjambée (D) / 60 → 1.2 à 1.4 m/s
- Temps d'appui unipodal et bipodal (% du cycle)
  - [(G - D) / (D + G)] x 100

DAR G	AU G	DAP G / PPO G	PO G
DAP D / PPO D	PO D	DAR D	AU D

D. GASQ  
Vaughan et al. Dynamics of human gait 2<sup>nd</sup> ed. 1999

**Paramètres spatio-temporels** LOC-2

15 / 89

**Descripteurs de la marche**

	Unité	CV (%)	% Norme	Normes
Vitesse de marche (m/s)	0.85	0.03	0.5	35 / D 1.31 +/- 0.10
Cadence (pas/min)	107.4	2.47	2.5	110 / D 131 +/- 10
Longueur d'enjambée (m)	0.95	0.02	2.5	30 / D 1.4 +/- 0.1
Longueur du pas (m)	0.61	0.01	3.4	10 / D 0.65 +/- 0.07
Phase d'appui (% du cycle)	66.1	1.2	1.9	12 / A 59.2 +/- 1.4
Appui monopodal (% du cycle)	34.4	1.8	5.9	17 / D 41.8 +/- 1.4
Doubles appuis (% du cycle)	28.9	1.4	4.8	66 / A 17.4 +/- 1.4
Double appui propulsion (% du cycle)	19.9	1.8	7.4	59 / A 8.7 +/- 1.4
Double appui réception (% du cycle)	16.7	0.8	5.5	69 / A 8.7 +/- 1.4
Index d'asymétrie spatiale	20.5			A 0 +/- 3.1
Index d'asymétrie temporelle	-3.4			N 0 +/- 2.1
Largeur d'enjambée moyenne (cm)	7.1	1.8	25.6	-12 / N 8 +/- 3.5
Déclivage du pied opposé (% du cycle)	13.9	1.9	7.4	39 / N 10 +/- 2
Constant du pied opposé (% du cycle)	46.5	1.2	2.8	78 / A 50 +/- 2
	0.85	1.5	2.9	4 / N

D. GASQ

**Intérêt de l'analyse spatio-temporelle** LOC-2

16 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Normes variables selon
  - Âge et taille (genre ...)
  - Déterminants de la vitesse : cadence et longueur d'enjambée
- La connaissance des PST permet une analyse pertinente des anomalies de la marche
  - Tous les paramètres cinématiques, cinétiques et EMG sont vitesse-dépendants
- Intérêt évaluatif : caractériser la marche au cours de la récupération, avant/après intervention thérapeutique
  - Vitesse spontanée et maximale
  - Asymétries temporelle et spatiale ++
  - Étude de la variabilité et de sa complexité (théories de la dynamique)

D. GASQ

**Indications**

Cet examen est indiqué afin de quantifier des troubles complexes de la marche, chez l'adulte et l'enfant ; il permet de rechercher la cause du trouble, les effets secondaires sur la marche et la compensation conséquente. Chez l'enfant, l'analyse a un intérêt diagnostique reconnu.

**Place dans la stratégie thérapeutique ou diagnostique**

L'analyse métrologique de la locomotion, de la posture et/ou des gestuelles vient en complément de l'examen clinique et des autres méthodes manuelles ou instrumentales d'évaluation motrice et/ou morphostatistique (radiographie, électromyographie).

Cette analyse établit un « diagnostic fonctionnel » en permettant de qualifier et quantifier le déficit. Elle permet ainsi d'orienter le choix des alternatives thérapeutiques (appareillage, médicament, chirurgie) et des procédures de rééducation, et d'assurer le suivi de leur efficacité.

**Conditions d'exécution**

Formation nécessaire : soit 3<sup>ème</sup> cycle formation initiale médecine physique et réadaptation, soit formation complémentaire acquise avec un DU spécifique (analyse du mouvement).

Au-delà de la réalisation de l'acte, c'est son interprétation qui exige aussi des compétences. Ainsi, un rapport précis, avec l'interprétation des données et l'élaboration de propositions thérapeutiques, doit être rédigé.

ANALYSE MÉTROLOGIQUE DE LA POSTURE, DE LA LOCOMOTION ÉPILOU DES GESTUELLES CHEZ UN PATIENT POLYDÉFICIENT. Recherche instrumentale, posturo-motrice, posturo-instrumentale de la marche. À l'initiative de la Haute Autorité de Santé (HAS) et de l'AFSSAPS. Coordonné par OCAR - 15/11/01 - code - PRO200

HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ 2006

D. GASQ

**La cinématique c'est systématique !** LOC-3

18 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Caractériser les positions des segments et les angles articulaires au cours du temps
- Analyse « 3D »
  - Plan sagittal +++
  - Plans frontal et horizontal
- 4 temps clés
- Démarche SYSTEMATIQUE

D. GASQ

### Données cinématiques

LOC-3  
Hôpitaux de Toulouse

19 / 89

**Angles articulaires**

Ankle Dorsi/Plantar

EXT FLEX

0% 100%

CYCLE DE MARCHÉ

### Données cinématiques

LOC-3  
Hôpitaux de Toulouse

20 / 89

**Tous les paramètres sont dépendants de la vitesse de marche !**

Intégrer cette notion pour définir la « normalité »

TRONC  
BASSIN  
HANCHE  
GENOU  
CHEVILLE

SAGITTAL FRONTAL HORIZONTAL

### Données cinématiques : pivots de la marche

21 / 89

Heel Rocker Ankle Rocker Forefoot Rocker

A. Mayhew et al. 2014. B. Perry et al. 1992. C. Wang et al. 2023.

### Données cinématiques physiologiques

22 / 89

	Contact initial et double appui	Phase d'appui végétal	Double appui propulsion et phase pré-collision	Phase oscillante	Caractéristiques
HANCHE	Flexion de 30°	Passage vers une extension de 10°	Retour en position neutre	Flexion de 30°	
GENOU	Extension 0° puis flexion de 20° (amortissement)	Retour en extension complète	Flexion de 0 à 30°	Flexion de 30 à 60° puis retour vers l'extension	
CHEVILLE	Position neutre à 0°	Dorsiflexion de 0 à 15°	Extension de 0 à 20°	Retour à 0°	
PIED	Contact talégaire 1 <sup>er</sup> pivot autour du talon	Appui plantégaire (plante du pied) 2 <sup>ème</sup> pivot autour du talon	Appui digitaire (avant-pied et orteils) 3 <sup>ème</sup> pivot au niveau de l'avant-pied		 3 pivots de la marche
Function	Mise en charge et amortissement	Supporter la charge à l'avance de talon	Propulsion. Prelever le membre à l'avance.	Revenir à la position pour passer la pa-	

### Étude cinématique du pied ?

23 / 89

Conventional Gait Model, Baker et al. 2017

Oxford Foot Model, Cannon et al. 2001

4-segment model, Leardini et al. 2007

En pratique clinique, des vidéos de qualité permettent une analyse qualitative suffisante

40 ips 120 ips

### Coordination inter-articulaire

24 / 89

Cyclogrammes inter-articulaires 2D/3D

Relations de phase

A. Lee et al. 2021. B. Hahn et al. 2010.

### Quels biomarqueurs pour quels usages ?

**25 / 89**

**Descripteurs de la marche**

- Cinématique
- EMG
- EMG
- EMG

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Balances

Analyse vidéo

- Pratique clinique = analyser une boiterie pour la traiter
- Prédiction de la chute ?
- Performance ?
- Reconnaissance biométrique
- ...

Figure 6. Different correlation from what the gait-environment system.

**sensors**

**Person Recognition Based on Deep Gait: A Survey**

Review  
M.A. Khalilzaman<sup>1,2</sup>, Abdul Qadir<sup>1</sup>, Kamshik Das<sup>1,3</sup> and Md Junayed Haque<sup>1,4</sup>

### Données cinétiques

**26 / 89**

**Descripteurs de la marche**

- Cinétique
- EMG
- EMG
- EMG

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Balances

Analyse vidéo

- Cinétique = étude des forces et moments de force s'exerçant sur un objet
- Mesure de la force de réaction du sol avec une plateforme de force

Fig. 2.20 Lateral, front-back and vertical components of the ground reaction force, in newtons, for right foot (solid line) and left (dotted).

**White Gait Analysis 2006**

### Données cinétiques

**27 / 89**

**Descripteurs de la marche**

- Cinétique
- EMG
- EMG
- EMG

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Balances

Analyse vidéo

- Cinétique = étude des forces et moments de force s'exerçant sur un objet
- Mesure de la force de réaction du sol avec une plateforme de force
  - Permet de calculer des moments de force
  - Intérêt = connaître effet du moment externe sur articulations
- Nécessité de pouvoir poser un seul pied sur la plateforme
  - Pb de la canne ou des pas très courts

**GRF**

**White Gait Analysis 2006**

### Données cinétiques

**28 / 89**

**Descripteurs de la marche**

- Cinétique
- EMG
- EMG
- EMG

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Balances

Analyse vidéo

**Calcul des moments de force et des puissances développés au niveau des articulations (dynamique inverse)**

→ Vitesse-dépendance !

**White Gait Analysis 2006**

### Étude des pressions plantaires

**29 / 89**

**Descripteurs de la marche**

- Cinétique
- EMG
- EMG
- EMG

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Balances

Analyse vidéo

- Mesure relative ou  $N \cdot cm^{-2}$  ?

Coefficient of variation of pressure-time integral in healthy / foot ulcers / foot ulcers + neuropathy

Fernando et al. 2016.  $\pm 0.1 N/cm^2 = 1 kPa$

### Étude des pressions plantaires

**30 / 89**

**Descripteurs de la marche**

- Cinétique
- EMG
- EMG
- EMG

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Balances

Analyse vidéo

- Gaitline = trajectoire du centre des pressions

**White Gait Analysis 2006**

### Étude des pressions plantaires

LOC-4

31 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Création
- EMG dyn
- EMG stat
- Observationnelle
- Instrumentale
- Anomalies I, II et compensatoires
- Sélectives
- Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

Wong et al. 2004

affected unaffected

Gaitline

affected unaffected

Cyclogram

affected unaffected

Ground reaction force

Fig 5. Prediction probabilities from the cyclogram pattern to the gaitline and GRF patterns. The GRF and gaitline patterns were presented by using the form of affected side and unaffected side.

### Activations musculaires physiologiques

LOC-5

32 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Création
- EMG dyn
- EMG stat
- Observationnelle
- Instrumentale
- Anomalies I, II et compensatoires
- Sélectives
- Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

Séquence temporelle des activations musculaires

D'après Inman V.T. 1981

### Activations musculaires physiologiques

LOC-5

33 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Création
- EMG dyn
- EMG stat
- Observationnelle
- Instrumentale
- Anomalies I, II et compensatoires
- Sélectives
- Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

D'après Gage JR. 2009

- Action en CCO / CCF
- Action concentrique ou excentrique
  - Exc. puis conc. ++
- Rôles :
  - Supporter la charge
  - Passage du pas (raccourcissement)
  - Assurer la progression
- Interpréter par rapport aux phases du cycle de marche et à la vitesse

### Activations musculaires pathologiques

LOC-5

34 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Création
- EMG dyn
- EMG stat
- Observationnelle
- Instrumentale
- Anomalies I, II et compensatoires
- Sélectives
- Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

Pattern d'activation musculaire pathologique

- Limite = pas d'estimation de la force développée

Ex. Tibial antérieur → défaut d'activation (B)

Ex. Triceps sural → hyperactivité (B)

### Coût énergétique de la marche

LOC-6

35 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Création
- EMG dyn
- EMG stat
- Observationnelle
- Instrumentale
- Anomalies I, II et compensatoires
- Sélectives
- Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Prérequis d'une marche physiologique** (Dawson et al. 1923; Gage 1939)

- Pré-positionnement adéquat au contact initial
- Stabilité en phase d'appui : appui plantigrade et genou stable
- Liberté de passage du pas
- Longueur de pas adéquate nécessitant :
  - Une extension de hanche controlatérale
  - Une extension de genou contro- et ipsilatérale correctes
  - Un appui stable du côté controlatéral
- Conservation de l'énergie pour une marche efficiente
  - 7 déterminants d'une marche « économique »
  - limiter les déplacements verticaux du centre de masse (CM)

### Plan de l'enseignement

LOC-6

36 / 89

**Descripteurs de la marche**

- Création
- EMG dyn
- EMG stat
- Observationnelle
- Instrumentale
- Anomalies I, II et compensatoires
- Sélectives
- Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

- Descripteurs de la marche**
  - Cycle de marche
  - Données spatio-temporelles
  - Données cinématiques
  - Données cinétiques
  - Activations musculaires
  - Coût énergétique de la marche
- Analyse observationnelle de la marche**
  - Vidéo de la marche
  - Utilisation d'une échelle standardisée (EVGS)
- Analyse instrumentale de la marche**
  - Analyse spatio-temporelle
  - Analyse cinématique
  - Analyse cinétique
  - Analyse en électromyographie dynamique
  - Bases de l'analyse quantitative de la marche
  - Indicateurs des analyses instrumentales de la marche
- Anomalies primaires, secondaires et compensatoires de la marche
- Description d'une boiterie en phase d'appui et en phase oscillante
- Analyse de vidéos

### Descripteurs et outils d'évaluation de la marche

37 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Vidéo
- EVGS

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Échelles

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

Descripteur de la marche	Proximal	Passive	Clastique	Chiensteige	EMG
Ortho					
Échelles cliniques et/ou vidéo sans quantification instrumentale	X				
Vidéo 4K self-usage avec quantification		X	X		X
Capturs de pression (contacteurs planaires, tapis de marche, sensels emboutés)		X			
Stations inertielles		X		X	
Plateformes de force		X	X		
Systèmes électromyographiques 3D (matrices passifs ou actifs)		X		X	
EMG de surface ou implanté					X

**Niveaux d'analyse de la marche validés actuellement pour chaque niveau d'analyse de marche (cf. première partie de séquence)**

Tableau de compatibilité des outils d'analyse de marche :

- Échelle observationnelle (visuelle) de la marche (ADM) : X
- Analyse cinématique de la marche (ASTM) : X
- Analyse dynamique de la marche (ADM) : X
- Analyse cinématique de la marche (ACM) : X
- Analyse EMG des activités musculaires de la marche (ADM) : X
- Échelle quantitative de la marche (ADM) : X

\* L'analyse instrumentale de la marche (AIM) regroupe l'ADM, l'ADM, l'ACM et l'ADM. L'ADM correspond à une entité spécifiquement définie de l'ADM en termes de données recueillies et de qualité métrologique des données. \*\* Sous réserve de propriétés métrologiques compatibles. † Actes correspondant dans la nomenclature des actes française proposée par la HAS.

Revue systématique de littérature sur les propriétés de mesure des données instrumentales d'évaluation de la locomotion humaine, dans l'objectif de proposer des recommandations métrologiques → en cours

### Vidéo de la marche en pratique

38 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Vidéo
- EVGS

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Échelles

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

- Caméras fixes
  - Pièce de 8 à 10 m de long, au moins 2 m de large (selon la largeur de champ des caméras)
  - Fond uni plutôt clair, bon éclairage (selon optique)
- Combien de caméras ?
  - Au minimum 2 (face & profil)
  - 3 ou 4 pour le confort
    - Face + dos & 2 profils
    - Plan global et plan rapproché des pieds
- Performance des caméras
  - Idéalement ≥ 120 ips
  - Résolution HD minimum (720p)



### Protocole vidéo de la marche

39 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Vidéo
- EVGS

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Échelles

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

- Standardiser les conditions d'évaluation
  - permet de comparer plus facilement
- Protocole type
  - Vitesse spontanée & maximale
  - Marche sur les pointes de pieds et les talons
  - Flexion volontaire de hanche, talons-fesses, marche genoux fléchis
  - Avec et sans chaussage / orthèses / prothèses
  - Parfois : marche arrière, pas chassés, course ...



### La cinématique systématique

40 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Vidéo
- EVGS

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Échelles

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

Analyse observationnelle de la marche à partir d'une vidéo selon les 4 temps clés

Données générales et PST :

	D	G	D	G	D	G	D	G
	+	+	-	-	+	+	-	-
Pied								
Cheville								
Genou								
Hanche								
Bassin								
HAT								

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

Donner une phrase de synthèse pour caractériser les anomalies de la marche

### Échelles observationnelles de la marche

41 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Échelle
- EVGS

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Échelles

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

- De nombreuses échelles existent, la plupart développées chez le patient paralysé cérébral ou hémiplegique adulte
- Basées sur l'observation visuelle directe ou sur une vidéo de la marche
- Objectif = quantifier le niveau d'anormalité de la marche
- Grande variabilité des articulations étudiées, des anomalies de la marche envisagées et des systèmes de cotation
  - Une échelle générique à retenir : EVGS
  - Échelles spécifiques : ex. de la GAIT (hémiplegique)

### Échelles observationnelles de la marche

42 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Échelle
- EVGS

Analyse instrumentale

Anomalies I, II et compensatoires

Échelles

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

10 échelles principales (Gor-Garcia-Fogeda et al. 2016; Rathinam et al. 2014; Toro et al. 2003)

Nom de l'échelle	Acronyme	Année
Physician Rating Scale	PRS	Koman et al., 1994
Rivermead Visual Gait Assessment	RVGA	Lord et al., 1998
Observational Gait Scale	OGS	Boyd and Graham, 1999; Mackay et al., 2003
Visual Gait Assessment Scale	VGAS	Dickens and Smith, 2007
Rancho los Amigos System	Rancho	Perry et al., 1992
Visual Assessment of Hemiplegic Gait	VAHG	Hughes and Bell, 1994
Wisconsin Gait Score	WGS	Rodriguez et al., 1996
Edinburgh Visual Gait Scale	EVGS	Read et al., 2003
Salford Gait Tool	Salford	Toro et al., 2007
Gait Assessment and Intervention Tool	GAIT	Daly et al., 2009

### Eléments métrologiques

LOC-8

Echelle	Avec ou sans vidéo	Validité		Fiabilité		Sensibilité et changement	Pays de validation
		Autre	Critère critère AQM	Intra-observateur	Inter-observateur		
PRS		X	X	-	X	-	PC
BVGA		X		-	-	X	SEP et IIP
OGS		X	X	X	X		PC (IIP)
VGAS		X	X	X	X		PC (IIP)
Rancho L.A. system							Non publié
VAHG				-	-	-	IIP
WCI		X		X	X	X	IIP
EVGS		X	X	X	X	X	PC
Salford Gait Test		X	X	X	X		PC et autres
G.A.L.T.		X		X	X	X	HP

### Edinburgh Visual Gait Score (Nuss et al. 2003)

Cotation à partir d'une vidéo (de face et de profil)

LOC-8

Echelle	Avec ou sans vidéo	Validité		Fiabilité		Sensibilité et changement	Pays de validation
		Autre	Critère critère AQM	Intra-observateur	Inter-observateur		
PRS		X	X	-	X	-	PC
BVGA		X		-	-	X	SEP et IIP
OGS		X	X	X	X		PC (IIP)
VGAS		X	X	X	X		PC (IIP)
Rancho L.A. system							Non publié
VAHG				-	-	-	IIP
WCI		X		X	X	X	IIP
EVGS		X	X	X	X	X	PC
Salford Gait Test		X	X	X	X		PC et autres
G.A.L.T.		X		X	X	X	HP

### Plan de l'enseignement

LOC-9

- Descripteurs de la marche
  - Cycle de marche
  - Données spatio-temporelles
  - Données cinématiques
  - Données cinématiques
  - Activations musculaires
  - Côti énergétique de la marche
- Analyse observationnelle de la marche
  - Vidéo de la marche
  - Utilisation d'une échelle standardisée (EVGS)
- Analyse instrumentale de la marche
  - Analyse spatio-temporelle
  - Analyse cinématique
  - Analyse cinétique
  - Analyse en électromyographie dynamique
  - Bases de l'analyse quantifiée de la marche
  - Indications des analyses instrumentales de la marche
- Anomalies primaires, secondaires et compensatrices de la marche
- Description d'une boîtier en phase d'appui et en phase oscillante
- Analyse de vidéos

### Évaluation spatio-temporelle

LOC-9

- Le plus simple = observation visuelle et chronomètre

20 mètres

Couloir de marche

10 mètres

### Évaluation spatio-temporelle

LOC-9

- Capteurs de pression
  - Tous PST (écartement des pieds)
  - Caractérisation de l'appui au sol
- Dispositifs embarqués
  - Accéléro / Gyro / Magnétomètres
- Systèmes basés sur la vidéo +/- IR
  - L'ancêtre = Locomètre (tous PST sagittaux)

### Évaluation cinématique instrumentale

LOC-10

- Cinématique tridimensionnelle
  - Modélisation du sujet en 3D
- Outils multiples
  - Systèmes optoélectroniques = système de référence
  - Vidéo + infra-rouge
  - Stations inertielles (accéléromètres + gyroscopes)

**Évaluation cinématique instrumentale** LOC-10

49 / 89

Système optoélectronique → modélisation du sujet à partir de marqueurs externes passifs réfléchissants les infra-rouges

→ Outil de référence

Conventional Gait Model - PIG

Marqueurs anatomiques, techniques et virtuels

ASS-MM / knee width / Ankle width

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Évaluation cinématique : les outils** LOC-3

50 / 89

Pas d'interprétation de courbes sans avoir examiné et vu marcher le sujet !

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Évaluation cinématique : compte-rendu TGV** LOC-10

51 / 89

ToulGaitViz: a tool for the systematic description of lower limb clearance during the swing phase of hemiparetic gait after stroke

A cohort study

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Évaluation cinématique : compte-rendu TGV** LOC-10

52 / 89

ToulGaitViz

Montané et al. 2023

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Évaluation cinématique instrumentale** LOC-10

53 / 89

Outils embarqués, écologiques, à bas coût, simple d'utilisation ?

→ Vont-ils remplacer l'outil de référence ?

frontiers in Human Neuroscience

Review—Emerging Portable Technologies for Gait Analysis in Neurological Disorders

Christine Sakchow-Hörmann\*, Maly Skoerber†, Magdalena C. E. Jochner†, Thomas Scherer†, Andrea A. Klotz††† and Nikolaus Weinger†

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Évaluation cinématique instrumentale** LOC-10

54 / 89

Outils basés sur la vidéo +/- IR

Angle réel = 161°

Gaigay & Mord 2016

Sakchow-Hörmann et al. 2022

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Évaluation cinématique instrumentale** LOC-10

55 / 89

55 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Cinématique

Qualité évaluée

Anomalies I, II et compensatoires

Bibliographie

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

**Outils basés sur la vidéo +/- IR**

Three-dimensional capture and validation pose tracking for physical fitness assessment: A review of accuracy, validity, camera configurations and fitness parameters

Comparison of depth cameras for three-dimensional reconstruction in medicine

Comparison of Azure Kinect recognized gait spatiotemporal parameters to marker based optical motion capture

**Évaluation cinématique instrumentale** LOC-10

56 / 89

56 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Cinématique

Qualité évaluée

Anomalies I, II et compensatoires

Bibliographie

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

**Outils basés sur les stations inertielles**

Validity and reliability of wearable inertial sensors in healthy adult walking: a systematic review and meta-analysis

Validity and Reliability of Wearable Inertial Measurement Units on Lower Extremity Kinematics During Running: A Systematic Review and Meta-Analysis

**Analyse cinétique** LOC-11

57 / 89

57 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Cinématique

Qualité évaluée

Anomalies I, II et compensatoires

Bibliographie

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

**Analyse cinétique**

- Plateforme(s) de force
  - n = 1, 2, 3 ...
- Un outil très spécifique
  - Un plateau rigide
  - Capteurs de force
    - Uni-axiaux → effort vertical en Z
      - Plateformes peu onéreuses, utilisées en posturologie clinique ++
    - Tri-axiaux → moments de force et forces selon 3 axes XYZ
      - Plateformes plus onéreuses, plus résistantes et plus précises
      - Utilisées si nécessité de supporter des charges imp.

**Analyse cinétique** LOC-11

58 / 89

58 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Cinématique

Qualité évaluée

Anomalies I, II et compensatoires

Bibliographie

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

**Analyse cinétique**

- Plateforme(s) de force
  - n = 1, 2, 3 ...
- Pb de la canne ou des pas très courts

Joint Angles, Powers & Moments in sagittal plane

**Analyse cinétique: mesure des pressions** LOC-11

59 / 89

59 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Cinématique

Qualité évaluée

Anomalies I, II et compensatoires

Bibliographie

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

**Analyse cinétique: mesure des pressions**

- Capteurs capacitifs ou résistifs
- « Tapis de marche » / baropodométrie
  - Mesure des pressions plantaires ( $P = F / S$ )
- Systèmes embarqués

**Électromyographie dynamique** LOC-12

60 / 89

60 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Cinématique

Qualité évaluée

Anomalies I, II et compensatoires

Bibliographie

Analyse vidéo

DES MPR - Mod 3

D. GASQ

07/12/2023

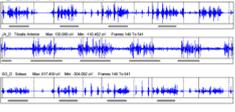
**Électromyographie dynamique**

- EMG de surface ou intramusculaire
  - <http://www.seniam.org/>

**Électromyographie dynamique** LOC-12

61 / 89

- EMG de surface ou intramusculaire
  - <http://www.seniam.org/>
- Séquence temporelle des activations musculaires
  - Pas d'évaluation de la force !
- Limites
  - Diaphonie ou cross-talk
  - Qualité du signal

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Analyse quantifiée de la marche (AQM)** LOC-13

62 / 89

Recueil synchronisé de 3 types de données

- Cinématiques** : angles articulaires
  - Système optoelectronique 3D
- Cinétiques** : forces de réaction du sol pour calcul des moments et puissances articulaires
  - Plateforme(s) de force
- EMG dynamique** : séquences d'activations musculaires
  - EMG de surface ou intramusculaire

+ vidéo de l'examen et paramètres spatio-temporels





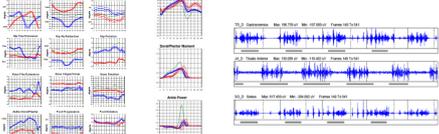
DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Données issues de l'AQM** LOC-13

63 / 89

Approche multimodale de l'analyse de la marche

- PST et vidéo** = approche globale
- Cinématique** = angles articulaires
- Cinétiques** = moments et puissances
- EMG dynamique** = activations musculaires

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Déroulement de l'AQM** LOC-13

64 / 89

- Dans un « laboratoire de la marche »
- Coût matériel et humain élevé
- Rôle de l'ingénieur +++
- Durée de l'examen = 1h30 à 2h30
  - Préparation de la salle et du patient
  - Acquisition des données (au moins 12 passages)
- Mise en forme et interprétation de l'examen = 2h
  - Mise en forme des données (post-traitement)
  - Description des données et interprétation
  - Orientation de la stratégie thérapeutique



DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Limites de l'AQM** LOC-13

65 / 89

- Données manquantes (cinétique, EMG) / non interprétables
  - Limites de la modélisation, pb de recueil
- Évaluation en laboratoire = peu écologique
- Accessibilité limitée à peu de patients
  - Disponibilité d'un plateau technique ?
  - Complémentarité avec les blocs moteurs anesthésiques (Comier et al. 2022)
- Compétences pour l'interprétation de l'examen
  - Standardisation de l'interprétation ?

→ Examen de recours  
→ Plateau technique spécialisé niveau 2



DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

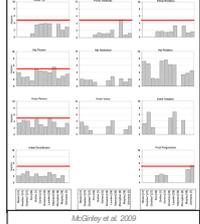
**Apports de l'AQM** LOC-13

66 / 89

Une évaluation de référence standardisée

- Données cinématiques
  - 3D
  - Résolution spatiale ~1 mm
  - Marge d'erreur faible < 5°

NON !!

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

### Descripteurs et outils d'évaluation de la marche

67 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

- Vidéo
- Capteurs EVGS

Analyse instrumentale

- Cinématique
- Cinétique
- EMG
- Force
- Stabilité
- Quête éval. ?

Anomalies I, II et compensatrices

Balnéaires

Analyse vidéo

DES MPR - Mod. 3

D. GASQ

07/12/2023

Descripteur de la marche	Processus marche	Paramètres spatio-temporels	Cinétique	Cinématique 3D	EMG dynamique
<b>Ortho</b>					
Échelles cliniques et/ou vidéo sans quantification instrumentale	X				
Vidéo +/- self-usage avec quantification		X	X	X	
Capteurs de pression (contacteurs planaires, tapis de marche, sensels embayés)		X	X		
Stations inertielles			X	X	
Plateformes de force			X	X	
Systèmes électromyographiques 3D (marqueurs passifs ou actifs)			X		X
EMG de surface ou implanté					X
<b>Niveaux d'analyse de la marche validés scientifiquement pour chaque niveau d'analyse de marche (cf. première partie de séquence)</b>					
Qualité observationnelle (niveau de mesure) (AQM)	X				
Qualité spatio-temporelle de la marche (ASTM) <sup>1</sup> (niveau 1)		X	X		
Qualité cinématique de la marche (ADM) <sup>2</sup> (niveau 1)			X	X	
Qualité cinétique de la marche (ADM) <sup>3</sup> (niveau 1)				X	X
Qualité EMG des activités musculaires de la marche (ADM) <sup>4</sup> (niveau 1)					X
Qualité énergétique de la marche (ADM) <sup>5</sup> (niveau 1)					X

<sup>1</sup> L'analyse instrumentale de la marche (ADM) regroupe l'ASTM, l'ADM, l'ADM et l'ADM. L'AQM correspond à une entité spécifiquement définie de l'ADM en termes de données recueillies et de qualité métrologique des données. <sup>2</sup> Sous réserve de propriétés métrologiques compatibles. <sup>3</sup> Actes correspondant dans la nomenclature des actes française proposée par l'HAS.

Revue systématique de littérature sur les propriétés de mesure des données instrumentales d'évaluation de la locomotion humaine, dans l'objectif de proposer des recommandations métrologiques → en cours

### Approche globale puis focale

68 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

- Cinématique
- Cinétique
- EMG
- Force
- Stabilité
- Quête éval. ?

Anomalies I, II et compensatrices

Balnéaires

Analyse vidéo

DES MPR - Mod. 3

D. GASQ

07/12/2023

**Approche globale : compréhension des situations complexes**

**Approche focale : pré-thérapeutique ++**

### Quelle analyse instrumentale ?

69 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

- Cinématique
- Cinétique
- EMG
- Force
- Stabilité
- Quête éval. ?

Anomalies I, II et compensatrices

Balnéaires

Analyse vidéo

DES MPR - Mod. 3

D. GASQ

07/12/2023

- Vidéo = le minimum pour tous**
  - Archivage, partage
  - Possibilité de quantification (EVGS)
- Analyse spatio-temporelle**
  - Quantification pré/post thérapeutique, évolution
  - Rapide et simple → systématique
- Analyse quantifiée de la marche**
  - Cinématique 3D + EMG dynamique + cinétique
  - Complexe → situations particulières
    - Aide à la décision thérapeutique (situations complexes)
      - Avant chirurgie neuro-orthopédique
      - En cas d'échec thérapeutique

### Apports de l'AQM : que dit la littérature ?

70 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

- Cinématique
- Cinétique
- EMG
- Force
- Stabilité
- Quête éval. ?

Anomalies I, II et compensatrices

Balnéaires

Analyse vidéo

DES MPR - Mod. 3

D. GASQ

07/12/2023

Fuller et al. 2002; Viteri et al. 2011; Ferraris et al. 2015

**Sans AQM**

MARCELLE... LE PÈRE ALVINARD... C'ÉTAIT BIEN LE PIED GAUCHE?

Non! DES HÉMOGLOBINES... PARAGUAI?

**Avec AQM**

Apport de l'AQM ?

T'inquiète pas, cela va s'arranger !

### Plan de l'enseignement

71 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

- Cinématique
- Cinétique
- EMG
- Force
- Stabilité
- Quête éval. ?

Anomalies I, II et compensatrices

Balnéaires

Analyse vidéo

DES MPR - Mod. 3

D. GASQ

07/12/2023

- Descripteurs de la marche**
  - Cycle de marche
  - Données spatio-temporelles
  - Données cinématiques
  - Données cinétiques
  - Activations musculaires
  - Coût énergétique de la marche
- Analyse observationnelle de la marche**
  - Vidéo de la marche
  - Utilisation d'une échelle standardisée (EVGS)
- Analyse instrumentale de la marche**
  - Analyse spatio-temporelle
  - Analyse cinématique
  - Analyse cinétique
  - Analyse en électromyographie dynamique
  - Bases de l'analyse quantifiée de la marche
  - Indications des analyses instrumentales de la marche
- Anomalies primaires, secondaires et compensatrices de la marche**
- Description d'une botte en phase d'appui et en phase oscillante
- Analyse de vidéos

### Anomalies primaires

72 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse observationnelle

Analyse instrumentale

- Cinématique
- Cinétique
- EMG
- Force
- Stabilité
- Quête éval. ?

Anomalies I, II et compensatrices

Balnéaires

Analyse vidéo

DES MPR - Mod. 3

D. GASQ

07/12/2023

**Déficiences responsables de modifications de la marche**

- Déformations osseuses
- Raideur articulaire et rétractions musculo-tendineuses
- Parésie musculaire
- Hyperactivité musculaire
- Hypoesthésie
- ...

Anomalies I = anomalies directement liées à ces déficiences

- Cible thérapeutique dans la mesure du possible

**Anomalies adaptatives: secondaires et compensatrices** LOC-15

73 / 89

La marche du sujet correspond à une adaptation plus ou moins contrainte aux déficiences:  
**Marche pathologique = anomalies primaires + anomalies adaptatives**

- Anomalies secondaires**
  - Anomalie directement induite par une anomalie primaire = nécessité biomécanique
  - Ex. si flexum de genou → hanche fléchie au contact initial
- Anomalies compensatrices**
  - Anomalie compensant les conséquences d'une anomalie primaire
  - Ex. des compensations d'un défaut de raccourcissement
- Anomalies adaptatives à respecter**
  - Possibilité de correction si les anomalies I sont corrigées
  - Notion de **déformation utile**
  - L'enjeu est de les repérer lors de l'évaluation d'une marche pathologique

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Anomalies primaires et adaptatives** LOC-15

74 / 89

Examen clinique nécessaire à la distinction des anomalies primaires et adaptatives



→ On ne peut pas interpréter correctement une anomalie de la marche sans avoir examiné le patient !!!

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Décryptage des anomalies de la marche** LOC-15

75 / 89

Grandes catégories de boîtieries

- Boîtieries de phase d'appui** = esquisse d'appui, instabilité articulaire / posturale
  - Concerne DAR (mise en charge) et AU
- Boîtieries de phase oscillante** = défaut de raccourcissement ou de progression
  - Concerne DAP (pre-swing) et PO
- Marche hypokinétique** du syndrome parkinsonien
- Vieillessement physiologique de la marche**
- Troubles de la marche psychogènes** = incohérents

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Plan de l'enseignement**

76 / 89

- Descripteurs de la marche**
  - Cycle de marche
  - Données spatio-temporelles
  - Données cinématiques
  - Données cinétiques
  - Activations musculaires
  - Coût énergétique de la marche
- Analyse observationnelle de la marche**
  - Vidéo de la marche
  - Utilisation d'une échelle standardisée (EVGS)
- Analyse instrumentale de la marche**
  - Analyse spatio-temporelle
  - Analyse cinématique
  - Analyse cinétique
  - Analyse en électromyographie dynamique
  - Basés de l'analyse quantifiée de la marche
  - Indications des analyses instrumentales de la marche
- Anomalies primaires, secondaires et compensatrices de la marche**
- Description d'une boîtierie en phase d'appui et en phase oscillante**
- Analyse de vidéos**

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Boîtieries en phase d'appui** LOC-16

77 / 89

- Marches instables = ataxiques**
  - Ataxies cérébelleuse et proprioceptive
- Boîtierie d'esquisse**
  - Éviter une douleur du membre inférieur
- Boîtierie de Trendelenburg**
  - Défaut de verrouillage des abducteurs de hanche / coxopathie
- Marche « avec salutation »**
  - Défaut d'extension de hanche
  - Parésie du quadriceps

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Marche ataxique** LOC-16

78 / 89

- Instabilité en position debout → marche instable
- Élargissement du polygone de sustentation**
- Ataxie cérébelleuse** = marche pseudo-ébrieuse ou titubante
  - Festonnante** = embardees irrégulières
- Ataxie proprioceptive** = aggravée les yeux fermés
  - Talonnante**
- Formes associées possibles (Friedreich, sclérose en plaques, ...)



DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Boiterie d'esquive** LOC-16

79 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Anomalies L, II et compensatoires

**Boiteries**  
Phase appui

Analyse vidéo

- **Évitement de l'appui car douleur**
  - Diminution du temps d'appui unipodal
- **Causes variées :**
  - coxarthrose, gonarthrose, lésion osseuse, caillou dans la chaussure....
- **Rotation latérale du membre si douleur d'une structure propulsive sagittale (ex. hallux rigidus)**
- **Intérêt d'une canne**



DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Boiterie de Trendelenburg** LOC-16

80 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

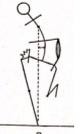
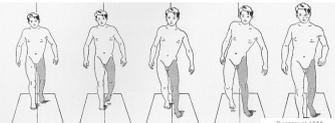
Analyse instrumentale

Anomalies L, II et compensatoires

**Boiteries**  
Phase appui

Analyse vidéo

- **Abaissement du bassin coté oscillant + inclinaison compensatrice du tronc coté portant**
  - Si bilatéral (myopathie) = **démarche dandinante**
- **Étiologies**
  - Parésie « abducteurs » de hanche : moyen fessier, myopathies
  - Douleur de hanche
- **Corrigée par utilisation d'une canne coté sain**

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Boiterie avec « salutation »** LOC-16

81 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

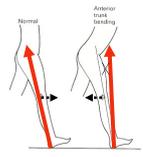
Analyse instrumentale

Anomalies L, II et compensatoires

**Boiteries**  
Phase appui

Analyse vidéo

- **Antéflexion du tronc en phase d'appui**
  - Perte d'extension de hanche (coxarthrose)
  - Parésie du quadriceps (polio ++) → *déformation en équin utile*




DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

Modifié d'après White M.W. 2006

**Marche du parkinsonien** LOC-16

82 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Anomalies L, II et compensatoires

**Boiteries**  
Phase appui

Analyse vidéo

- **Perturbations stéréotypées associées à une instabilité**
- **Difficultés à l'initiation de la marche : freezing ou enrayage cinétique**
  - Interruption brutale de la marche avec piétinement, de survenue spontanée ou provoquée par un stimulus visuel
- **Raccourcissement des pas = marche à petits pas**
- **Cadence irrégulière avec accélérations brutales = festination**
- **Perte du balancement d'un ou des membres supérieurs et demi-tour décomposé**




DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Boiterie de phase oscillante** LOC-17

83 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Anomalies L, II et compensatoires

**Boiteries**  
Phase oscillante

Analyse vidéo

- **Défaut de raccourcissement +/- de progression**
  - Défaut de relevé du pied
  - Défaut de flexion de genou (stiff-knee)
  - Défaut de flexion de hanche

→ anomalies primaires
- **Compensations : pas pelvien, fauchage, steppage, volte**
  - Caractérise la boiterie le plus souvent → source de confusion ...
- **Défaut de raccourcissement**
  - Unilatéral → ex. hémiplegie
  - Bilatéral → ex. parapésie spastique
- **∩ de manière aspécifique :**
  - Si instabilité d'un coté = phase oscillante controlatérale raccourcie

DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

**Pas pelvien** LOC-17

84 / 89

Descripteurs de la marche

Analyse cinématique

Analyse instrumentale

Anomalies L, II et compensatoires

**Boiteries**  
Phase oscillante

Analyse vidéo

- **Élévation du bassin +/- participation du tronc**
  - +/- associé à une RVB pour faciliter l'avancée du fémur




DES MPR - Mod 3  
D. GASQ  
07/12/2023

White Gait Analysis 2006

LOC-17

## Fauchage

85 / 89

- Le pied décrit un demi-cercle au sol = **circumduction**
  - Rôle des muscles abducteurs de hanche
- Souvent associé à un pas pelvien
- Causes = défaut de flexion de genou et/ou cheville



**Compensation ou anomalie ?**

*Hip circumduction is not a compensation for reduced knee flexion angle during gait.*

Journal of Biomechanics

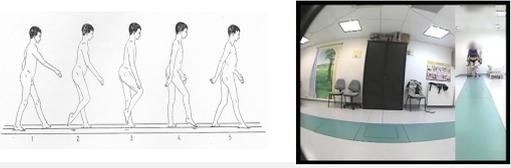
White Gait Analysis 2006

LOC-17

## Steppage

86 / 89

- Majoration de flexion de hanche (et genou) compensatoire d'un défaut de dorsiflexion de cheville
- Cause la plus fréquente = **déficit des muscles releveurs du pied**
  - Atteinte radiculaire L4-L5 ou du nerf fibulaire commun, Charcot-Marie-Tooth
  - Atteinte neurologique centrale avec déficit distal flasque



Ducroquet 1965

LOC-17

## Volte controlatérale

87 / 89

- Flexion plantaire de cheville (ou diminution de dorsiflexion) en appui unipodal compensant le défaut de raccourcissement controlatéral
- Nécessite une bonne motricité distale et une vitesse suffisante



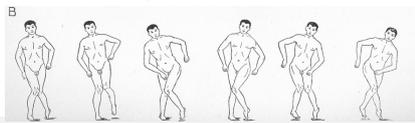
White Gait Analysis 2006

LOC-17

## Paraparésie spastique

88 / 89

- Défaut de raccourcissement des deux membres inférieurs fixés en extension
- Avancement du membre inférieur = inclinaison du tronc CL + rotation horizontale HL du bassin = **démarche de « gallinacé »**
- Si adduction des cuisses trop importante avec croisement des cuisses = **démarche « en ciseaux »**.
- Utilisation de 2 cannes pour se déplacer en projetant le bassin et les membres inférieurs de manière concomitante = **marche pendulaire**



Ducroquet 1965

LOC-16 & 17

## Vieillesse « physiologique » de la marche

89 / 89

- Diminution de la** vitesse de marche, la longueur du pas (moins de mouvements de bassin et hanche) et la hauteur du pas (pas rasants voire trainants)
- Augmentation de la** largeur du pas et des temps d'appuis bipodaux
- Perte de capacité de gestion d'une tâche cognitive alors que le sujet est en train de marcher (**« stop walking when talking »**) → **augmentation du risque de chute**
- Astasie-abasie**
  - Astasie** = instabilité de la station debout avec rétroimpulsion spontanée générant des chutes
  - Abasie** = impossibilité de marcher en dehors de la présence de tout syndrome parkinsonien ou pyramidal
  - Anomalies observées essentiellement chez le sujet âgé suite à une chute ou un allègement prolongé
- Dans sa forme la plus sévère s'y associe une phobie de la marche confinant le sujet au fauteuil = **staso-basophobie**



D. Sparks Murray et al. 1983