

# Innovations en analyse de la marche au laboratoire

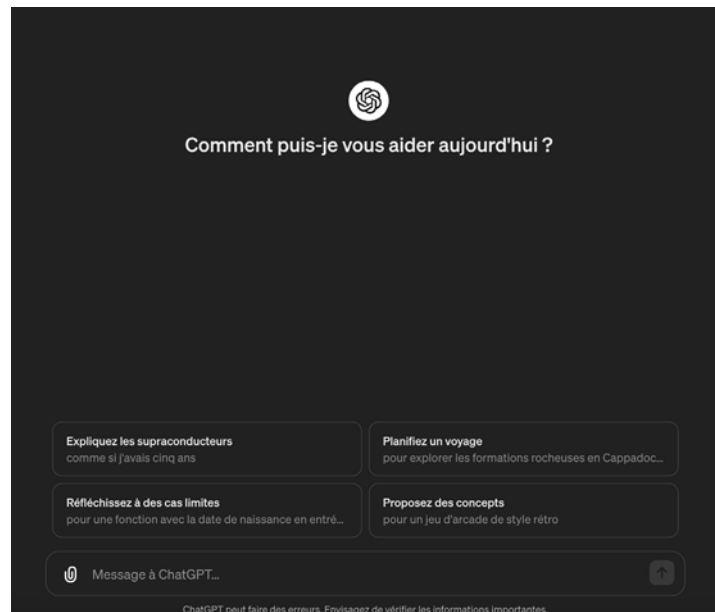
Dr MASSOT Caroline - MPR

MCU-PH GHICL Lille - CNRS





1. **Capteurs de mouvement avancés** : L'utilisation de capteurs de mouvement plus précis et moins intrusifs, tels que les accéléromètres, les gyroscopes et les magnétomètres, permet une collecte de données plus riche et plus précise sur le mouvement humain.
2. **Systèmes de capture de mouvement optique** : Les systèmes de capture de mouvement optique, qui utilisent des caméras pour suivre les marqueurs réfléchissants ou les LED attachés au corps, sont devenus plus accessibles et précis, permettant une analyse détaillée de la kinématique du mouvement.
3. **Réalité virtuelle (RV) et réalité augmentée (RA)** : L'intégration de la RV et de la RA dans l'analyse du mouvement humain offre des possibilités innovantes pour l'évaluation et la réhabilitation, en permettant aux individus de se déplacer dans des environnements virtuels contrôlés.
4. **Intelligence artificielle (IA) et apprentissage automatique** : L'application de l'IA et de l'apprentissage automatique dans l'analyse des données de mouvement permet d'identifier des modèles complexes et de prédire les résultats de réhabilitation, améliorant ainsi les stratégies de traitement personnalisé.
5. **Systèmes d'analyse de la marche portables** : Le développement de systèmes d'analyse de la marche portables, qui peuvent être utilisés en dehors du laboratoire, ouvre la voie à des évaluations plus fréquentes et à long terme, offrant une image plus complète du mouvement quotidien des individus.
6. **Technologie des textiles intelligents** : L'intégration de capteurs dans les vêtements (textiles intelligents) permet une surveillance continue et non intrusive du mouvement et de la posture, offrant une nouvelle dimension dans l'analyse du mouvement humain.
7. **Analyse biomécanique en 3D** : Les avancées dans les techniques d'imagerie et de modélisation en 3D permettent une compréhension plus complète des forces internes agissant sur le corps, telles que les tensions musculaires et les charges articulaires, pendant le mouvement.



Analyse du mouvement

Système de capteurs non portatifs (NWS)

Traitements de l'image

Capteurs au sol

Avec marqueurs

Sans marqueurs

Echo 3D

EMG HD



Système de capteurs portatifs (WS)

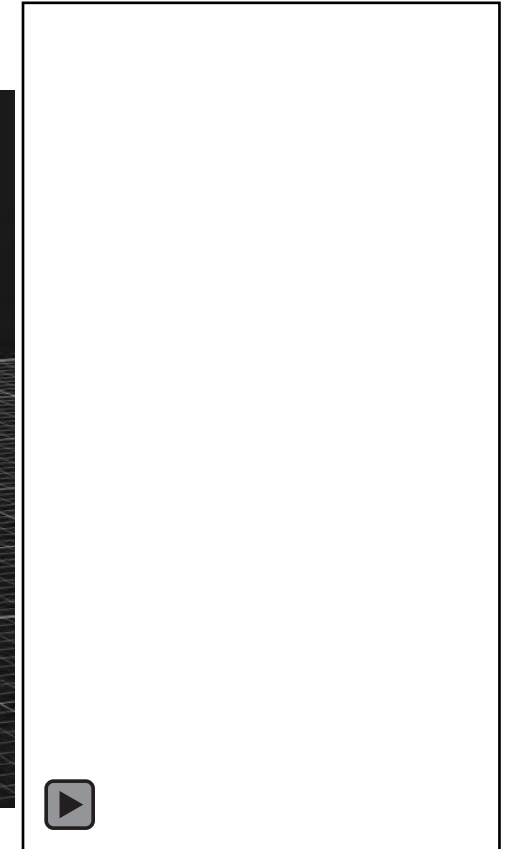
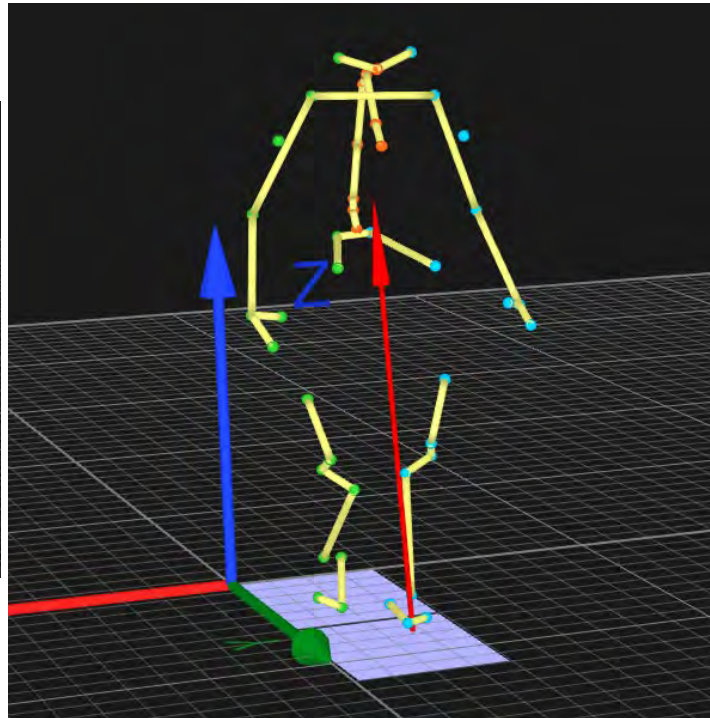
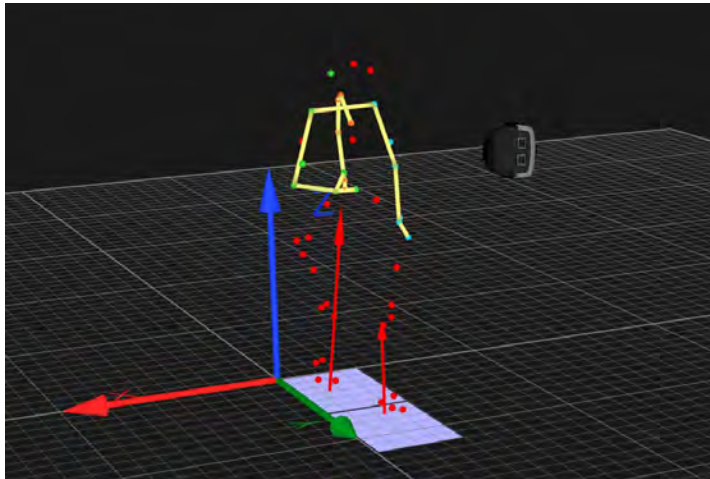
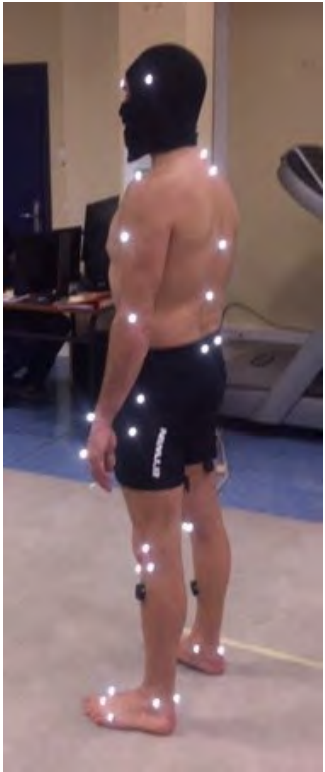
Accéléromètres

Gyroscope

...

# Systemes avec marqueurs

- Temps de la procedure
- Expertise





File Edit View Model Force Settings CMO Library Pipeline Help

ALL\_FILES Query

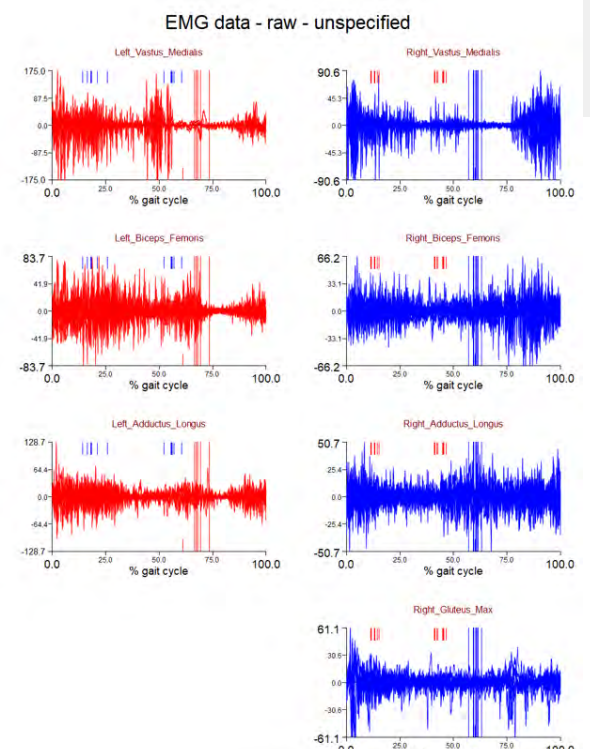
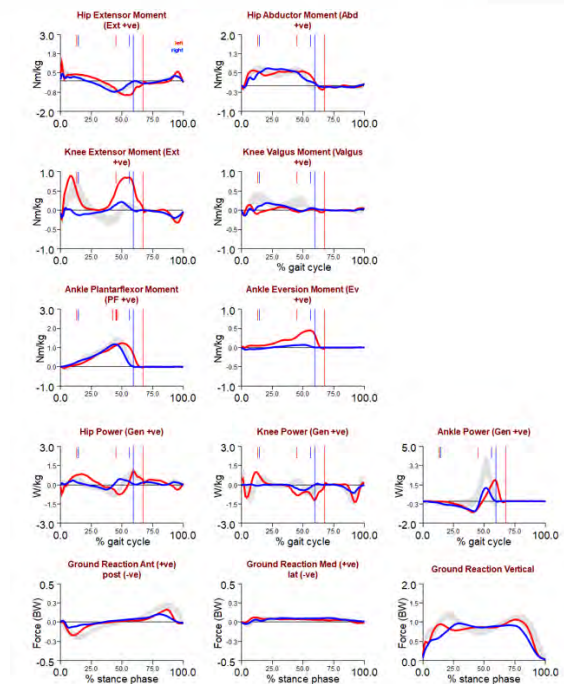
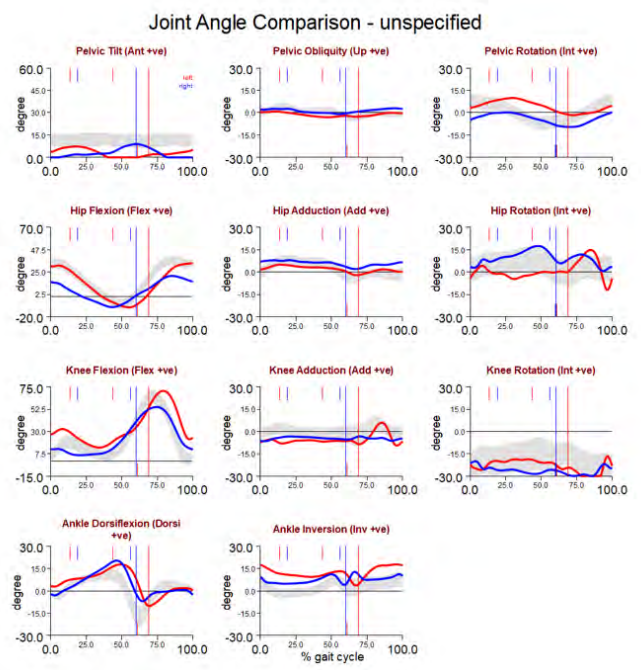
Workspace Signals and Events Models Reports Real-Time

Pipeline Processes / Wizards Report Pages 11

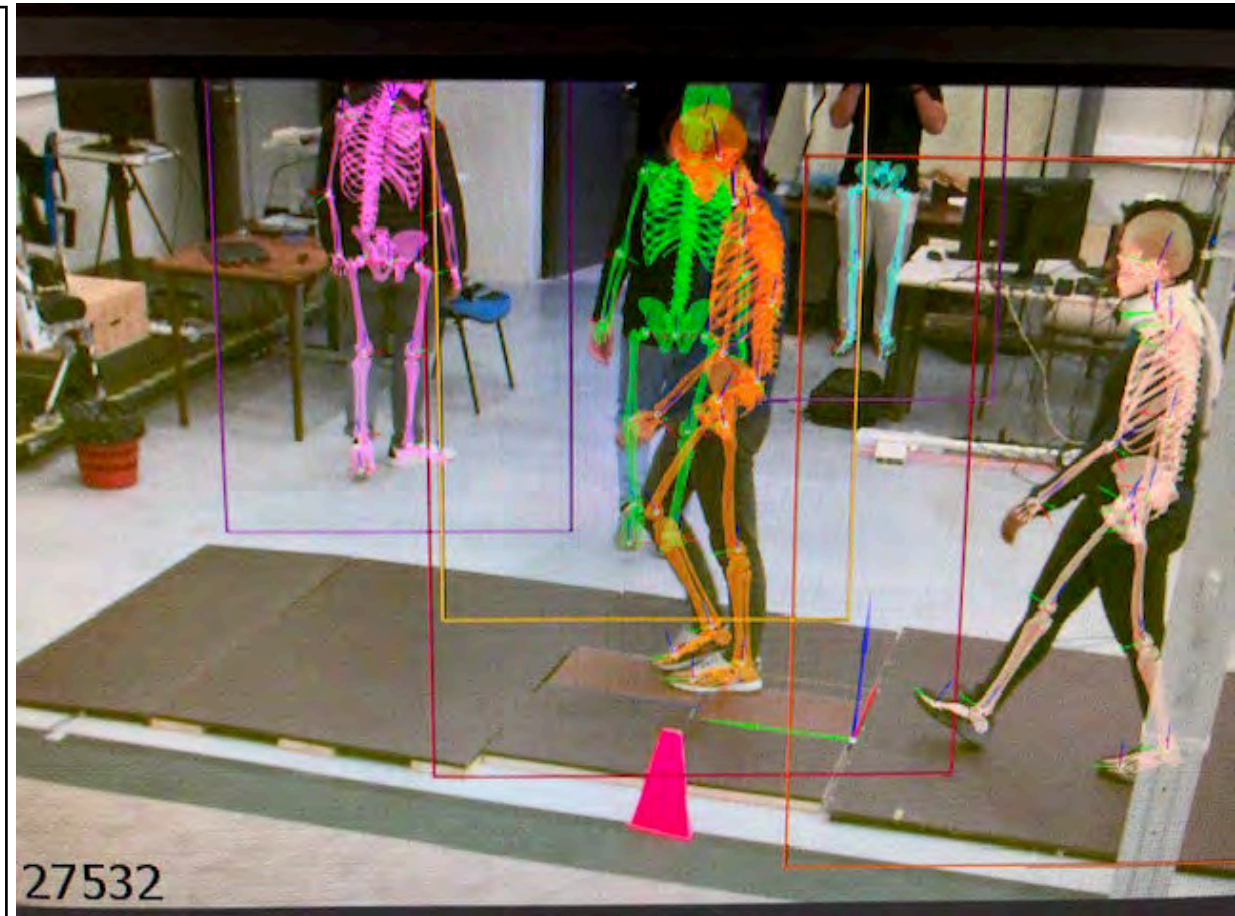
Execute

Add New File Tag Modify Data Columns

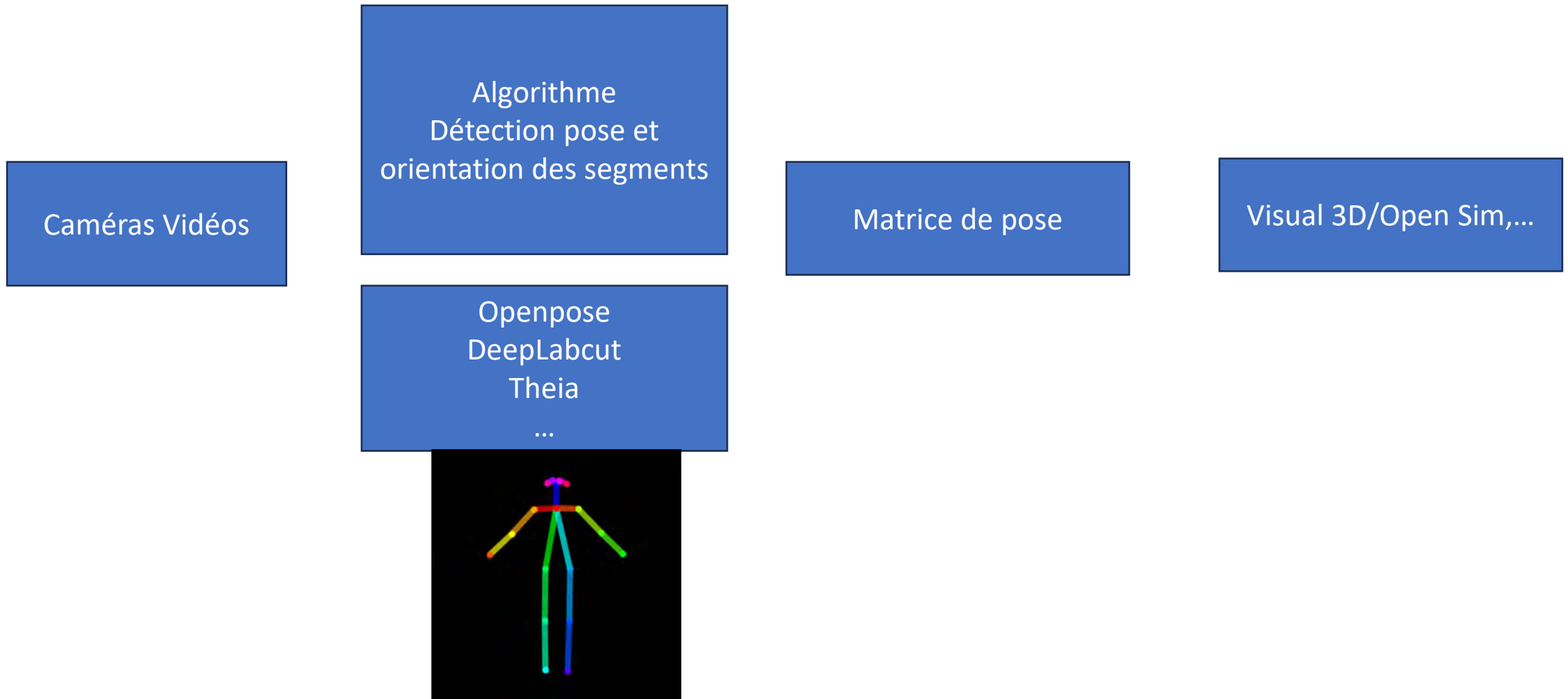
CMO Workspace	Models/Calibration Files	Motion Files	Active	0	1	2	3	4	Dynamic	Static
		GLOBAL								
	Static LB Anterior - IOR 3.c3d	Gait LB - IOR 10.c3d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Gait LB - IOR 3.c3d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Gait LB - IOR 5.c3d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Gait LB - IOR 8.c3d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Gait LB - IOR 9.c3d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Static.c3d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



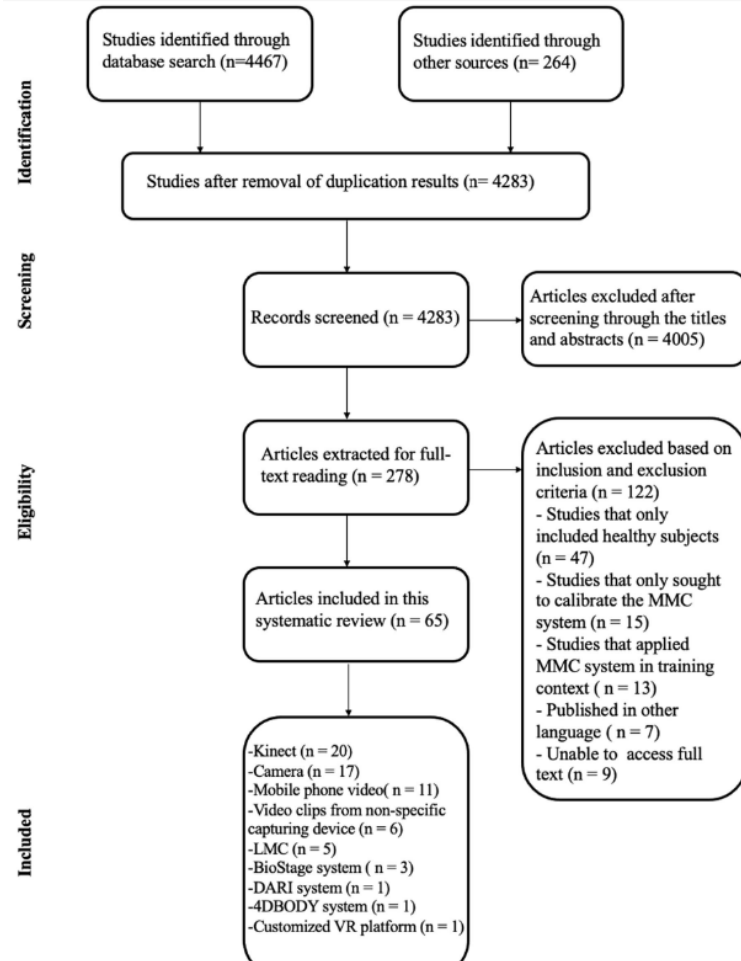
# Systemes markerless



# Comment ça marche?



# Dans quelles pathologies?

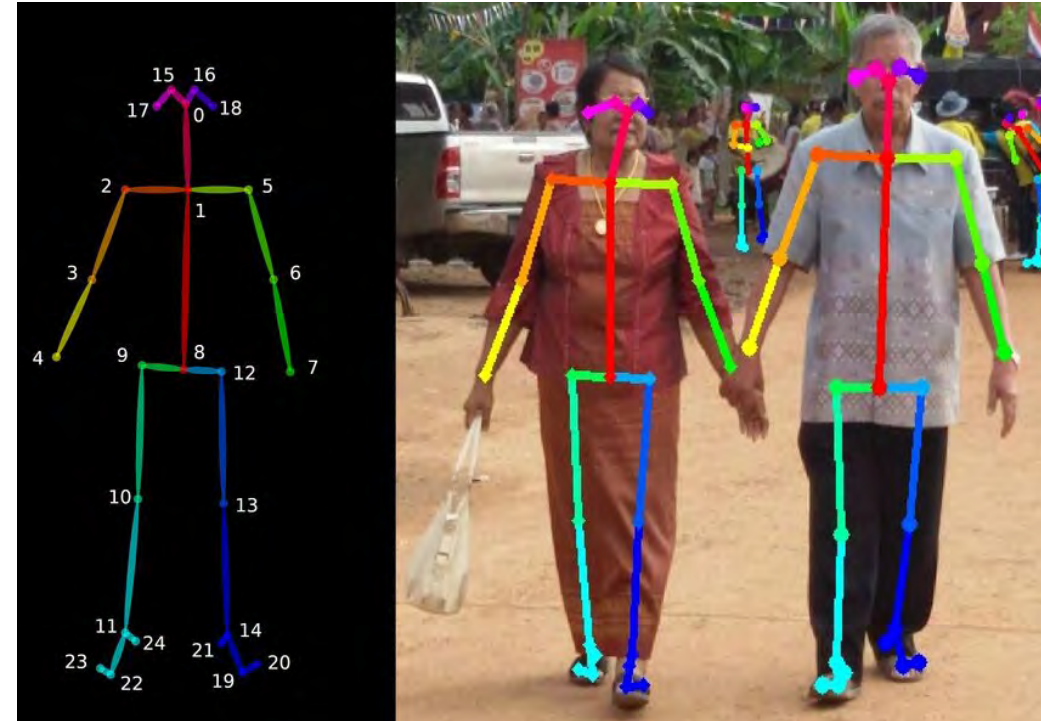


- +++ pathologies neurologiques: Maladie de Parkinson, AVC, PC, ...  
Evaluation de la sévérité de la maladie (MS, marche)
- Atteinte appareil locomoteur
- Psychiatrie



# Fiabilité?

1. **Qualité de l'image et conditions d'éclairage** : La précision des systèmes sans marqueur peut être affectée par la qualité de l'enregistrement vidéo et les conditions d'éclairage. Une lumière insuffisante ou inégale peut réduire la précision de la détection des mouvements.
2. **Algorithmes et logiciels** : La fiabilité dépend fortement des algorithmes de vision par ordinateur et de l'apprentissage automatique utilisés pour analyser les images vidéo. Les progrès dans ces domaines ont considérablement amélioré la précision et la robustesse des systèmes sans marqueur.
3. **Complexité du mouvement** : Les mouvements simples sont généralement capturés avec une grande précision, tandis que les mouvements plus complexes ou ceux impliquant une occlusion (où une partie du corps cache une autre) peuvent présenter des défis pour la capture précise.
4. **Contexte d'utilisation** : Dans les environnements de recherche ou cliniques où le setup et l'éclairage peuvent être soigneusement contrôlés, les systèmes sans marqueur peuvent offrir une grande fiabilité. En revanche, dans des environnements moins contrôlés, leur précision peut varier.
5. **Comparaison avec les systèmes avec marqueurs** : Traditionnellement, les systèmes d'analyse du mouvement avec marqueurs ont été considérés comme le standard d'or en raison de leur précision. Cependant, les systèmes sans marqueur offrent des avantages significatifs en termes de commodité et de facilité d'utilisation, et leur fiabilité continue de s'améliorer, les rendant de plus en plus comparables aux systèmes avec marqueurs dans de nombreuses applications.



# Fiabilité

- Paramètres spatio-temporels
  - Bonne fiabilité
- Paramètres cinématiques
  - Différences variables
  - Genou 1-3°



# Intérêts

- Analyse rapide
- Collecte de données au domicile
- Surveillance de l'évolution de la maladie/réadaptation/entraînement
- Outil de motivation/adhésion
  - exercices de rééducation
  - Interactions avec un environnement virtuel

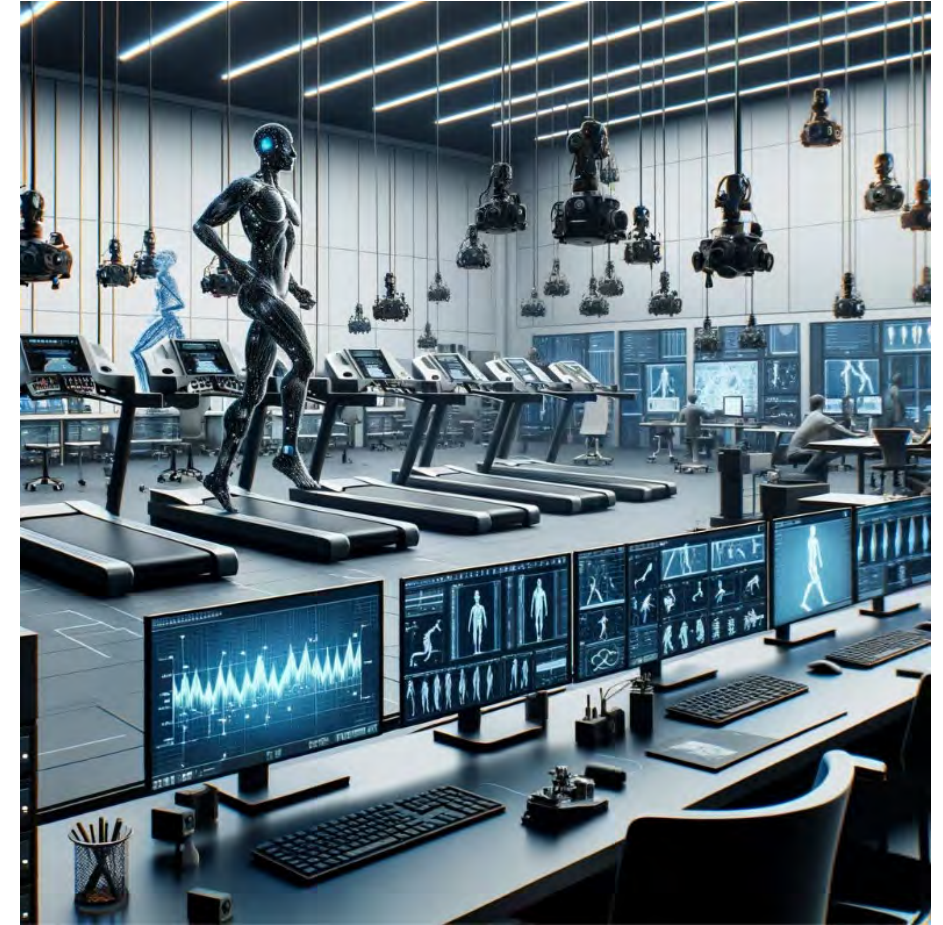


Image ChatGPT4

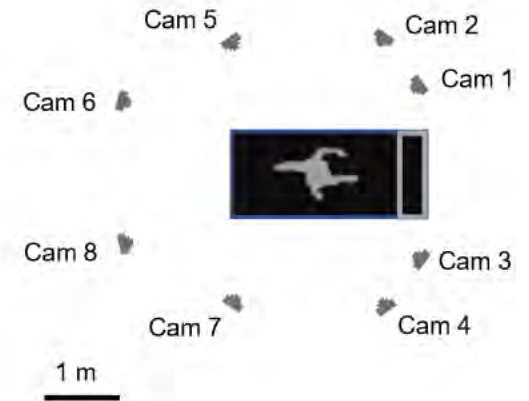
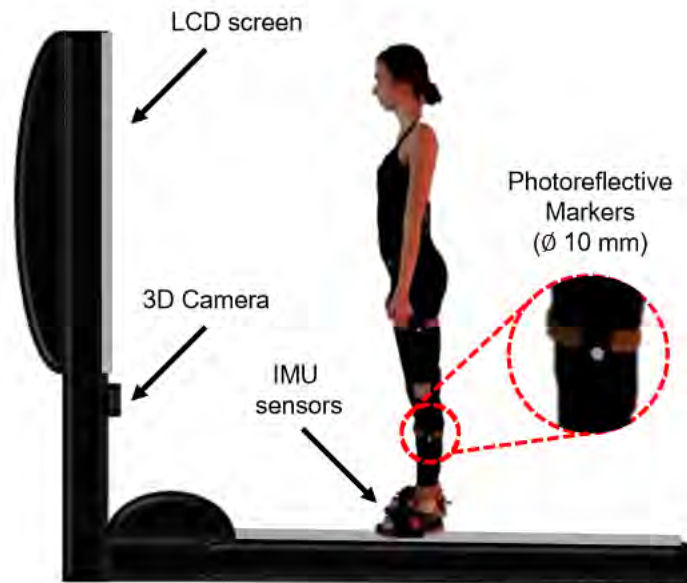




# Paramètres spatio-temporels et cinématiques



Système Walkerview



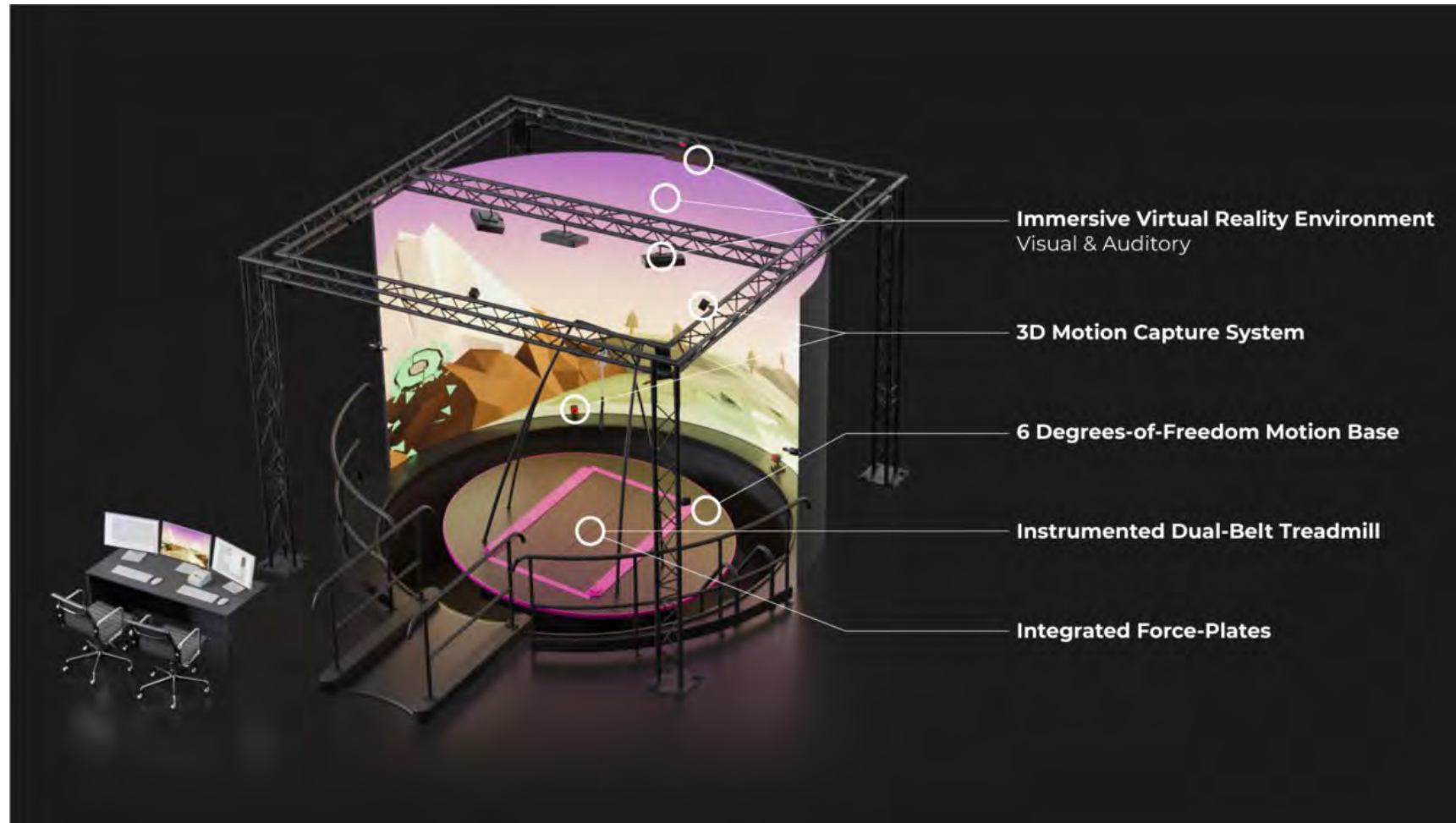
**Table 2. Spatiotemporal parameters.** Spatiotemporal parameters obtained from the WV and MoCap systems, at all the tested walking speeds. All the values are reported as mean  $\pm$  standard deviation, considering the values recorded from all the volunteers. Per each walking speed, the difference between the WV and MoCap (Difference), the Root Mean Square Error (RMSE), the ICC, with 95% CI and relative *p* value, are also reported.

Spatiotemporal Parameters	Walking Speed	WV	MoCap	Difference	RMSE <sup>1</sup>	ICC (95%CI)	ICC <i>p</i> -Value
Mean Steps Time (cycles/s)	3 km/h	0.77 $\pm$ 0.04	0.77 $\pm$ 0.04	0.00 $\pm$ 0.00	0.00	0.996 (0.988–0.998)	<0.001
	5 km/h	0.98 $\pm$ 0.03	0.98 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	0.00	0.990 (0.972–0.996)	<0.001
	6.6 km/h	1.12 $\pm$ 0.03	1.12 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	0.00	0.988 (0.965–0.996)	<0.001
Cadence (steps/min)	3 km/h	92.33 $\pm$ 4.40	92.33 $\pm$ 4.51	0.00 $\pm$ 0.42	0.41	0.996 (0.988–0.998)	<0.001
	5 km/h	117.67 $\pm$ 3.33	117.56 $\pm$ 3.33	0.11 $\pm$ 0.44	0.44	0.991 (0.976–0.997)	<0.001
	6.6 km/h	134 $\pm$ 3.92	134.08 $\pm$ 3.97	0.04 $\pm$ 0.45	0.44	0.994 (0.983–0.998)	<0.001
Left Stance Time (s)	3 km/h	0.86 $\pm$ 0.004	0.90 $\pm$ 0.05	-0.05 $\pm$ 0.02 *	0.05	0.594 (-0.080–0.885)	<0.001
	5 km/h	0.64 $\pm$ 0.02	0.68 $\pm$ 0.02	-0.04 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.289 (-0.033–0.703)	<0.001
	6.6 km/h	0.54 $\pm$ 0.02	0.58 $\pm$ 0.02	-0.04 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.369 (-0.028–0.774)	<0.001
Right Stance Time (s)	3 km/h	0.86 $\pm$ 0.004	0.88 $\pm$ 0.09	-0.02 $\pm$ 0.07 *	0.07	0.502 (0.057–0.784)	0.017
	5 km/h	0.64 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.02	-0.04 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.360 (-0.057–0.759)	<0.001
	6.6 km/h	0.54 $\pm$ 0.02	0.57 $\pm$ 0.03	-0.03 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.393 (-0.74–0.778)	<0.001
Left Swing Time (s)	3 km/h	0.44 $\pm$ 0.02	0.40 $\pm$ 0.03	0.05 $\pm$ 0.02 *	0.02	0.222 (-0.078–0.607)	0.003
	5 km/h	0.38 $\pm$ 0.01	0.34 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.123 (-0.040–0.450)	0.003
	6.6 km/h	0.35 $\pm$ 0.01	0.31 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.092 (-0.41–0.371)	0.013
Right Swing Time (s)	3 km/h	0.44 $\pm$ 0.03	0.41 $\pm$ 0.02	0.03 $\pm$ 0.02 *	0.04	0.300 (-0.108–0.681)	0.004
	5 km/h	0.38 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.108 (-0.053–0.410)	0.019
	6.6 km/h	0.35 $\pm$ 0.01	0.32 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01 *	0.04	0.145 (-0.30–0.499)	<0.001
Left Step Length (cm)	3 km/h	54.24 $\pm$ 3.29	54.26 $\pm$ 2.49	-0.03 $\pm$ 2.03	1.97	0.768 (0.462–0.910)	<0.001
	5 km/h	70.53 $\pm$ 2.45	70.94 $\pm$ 1.98	-0.41 $\pm$ 1.20	1.24	0.848 (0.634–0.942)	<0.001
	6.6 km/h	81.76 $\pm$ 2.59	82.21 $\pm$ 2.40	-0.44 $\pm$ 1.32	1.36	0.854 (0.648–0.944)	<0.001
Right Step Length (cm)	3 km/h	54.00 $\pm$ 3.06	56.38 $\pm$ 2.66	-2.38 $\pm$ 1.84 *	2.98	0.596 (-0.080–0.868)	<0.001
	5 km/h	70.41 $\pm$ 2.15	74.32 $\pm$ 2.47	-3.91 $\pm$ 1.34 *	4.12	0.346 (-0.050–0.749)	<0.001
	6.6 km/h	82.24 $\pm$ 2.84	85.79 $\pm$ 2.56	-3.56 $\pm$ 2.08 *	4.09	0.381 (-0.104–0.756)	0.001

<sup>1</sup> RMSE = Root Mean Square Error; \* Wilcoxon signed-rank test *p* < 0.05.

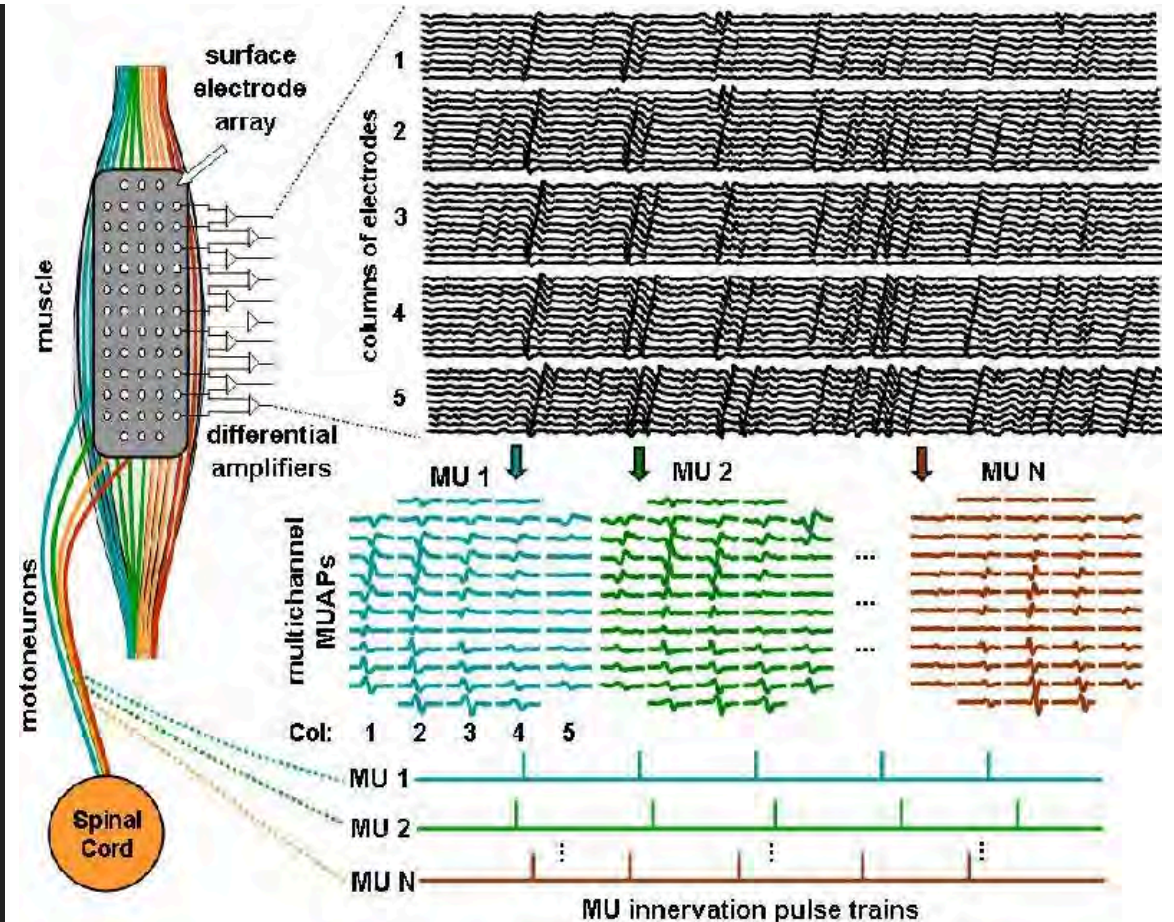


# Réalité virtuelle



# EMG de surface à haute densité

1. **Résolution spatiale améliorée** : Grâce à l'utilisation d'un plus grand nombre d'électrodes, l'EMG haute densité fournit une cartographie détaillée de l'activité musculaire sur une zone étendue. Cela permet d'identifier les variations spatiales dans l'activation musculaire qui ne peuvent pas être détectées avec des systèmes à faible densité.
2. **Analyse de la propagation des potentiels d'action** : L'EMG haute densité peut être utilisé pour étudier la propagation des potentiels d'action le long des fibres musculaires, offrant des insights sur la coordination intra-musculaire et les mécanismes de recrutement des fibres musculaires.
3. **Détection des points moteurs** : Cette technique aide à identifier les points moteurs spécifiques dans les muscles, qui sont les zones où l'activation musculaire est la plus efficace. Cela peut être particulièrement utile pour les applications cliniques telles que la thérapie par injection de toxine botulique dans les cas de spasticité.
4. **Évaluation de la fatigue musculaire** : L'EMG haute densité permet une évaluation plus précise de la fatigue musculaire en détectant les changements dans les patrons d'activation musculaire au fil du temps, ce qui peut être bénéfique pour la recherche sportive et la réhabilitation.
5. **Amélioration de la précision diagnostique** : Cette technique offre une analyse plus détaillée de l'activité musculaire, ce qui peut améliorer le diagnostic et l'évaluation des maladies neuromusculaires et des dysfonctionnements musculaires.
6. **Applications en neuroprothèses et en interfaces cerveau-ordinateur (BCI)** : L'EMG haute densité peut améliorer la précision des signaux utilisés pour contrôler les prothèses ou les interfaces cerveau-ordinateur, en fournissant une information plus riche et plus nuancée sur l'intention de mouvement.
7. **Recherche en biomécanique** : Dans le domaine de la recherche biomécanique, elle permet une analyse plus fine des relations entre l'activation musculaire, la force produite et le mouvement, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de la mécanique humaine.





# Algorithmes

The image displays the OpenHD-EMG software interface, which is used for processing and analyzing HD-EMG data. The main window shows a logo with a yellow circle and a blue ECG line, with the text "openhdemg" in a stylized font.

On the left side, there are several functional areas:

- Load decomposed HD-EMG files from different sources:** Includes buttons for "Load File", "Save File", "Save Results", "View MUs", "Sort MUs", "Remove MUs", "RefSig Editing", and "Resize File".
- Visualise, modify and save the modified file:** Includes buttons for "Analyse Force", "MU Properties", "Plot EMG", and "Reset Analysis".
- Discard unwanted MUs:** Includes a "Remove MUs" button.
- Basic analyses:** Includes buttons for "Analyse Force" and "MU Properties".
- Extensive plotting:** Includes a "Plot EMG" button.
- Advanced analyses:** Includes an "Advanced Tools" button.

On the right side, there is a sidebar with navigation options:

- Written Guides
- Video Tutorials
- Team
- Contacts
- Citation

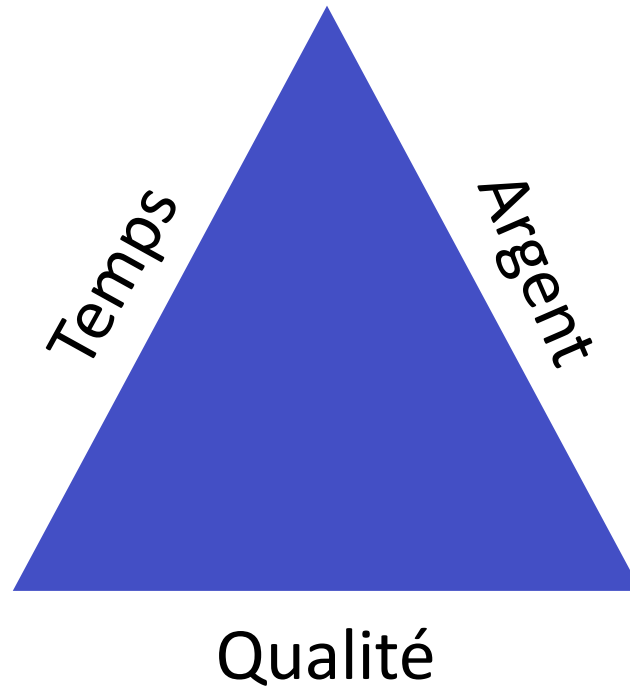
The central window displays "MUs or estimation" with a table of data and a plot of EMG signals. The table has columns for "MU number", "Column", "From row", "To row", and "Estimate". The plot shows multiple channels of EMG signals over time.

At the bottom, there are two additional windows:

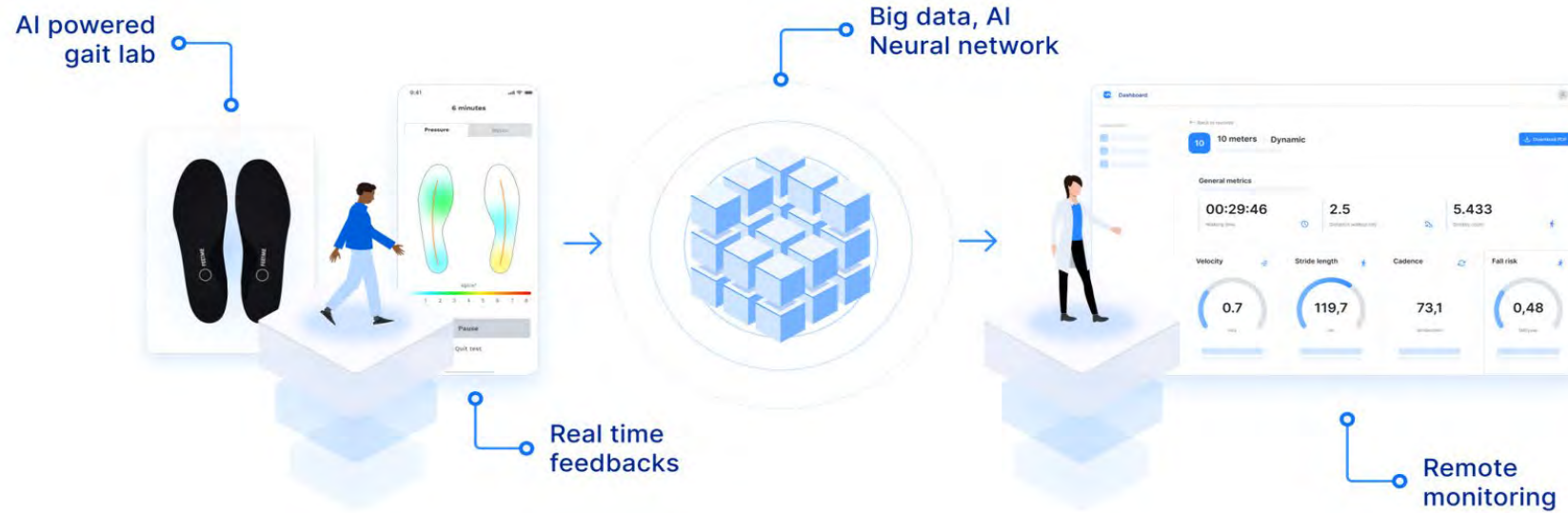
- Plot Window:** Contains settings for "Reference signal", "Time in seconds", "Figure size in cm (h,w)", "Channel Number", "Plot EMGsig", "Plot RefSig", "Plot MUpulses", "Plot Source", "Plot IDR", "Matrix Code\*", "Orientation\*", "Plot Derivation", "Configuration", "Matrix column", "Plot MUAPs", "Configuration", "MU Number", "Timewindow (ms)", "Participant", and "Researcher". It also shows two diagrams of a participant's head with electrodes at 0° and 180°.
- Motor Unit Properties Window:** Contains settings for "Enter MVC[n]", "Compute threshold", "Event", "Type", "Firings at Rec", "Firings Start/End Steady", "Compute discharge rate", "4", "10", "Event", "Firings at Rec", "Firings Start/End Steady", and "Basic MU properties", "4", "10".

# Problématiques

- Expertise
- Technicité
- Couts



# Paramètres spatio-temporels



Semelles connectées Feetme

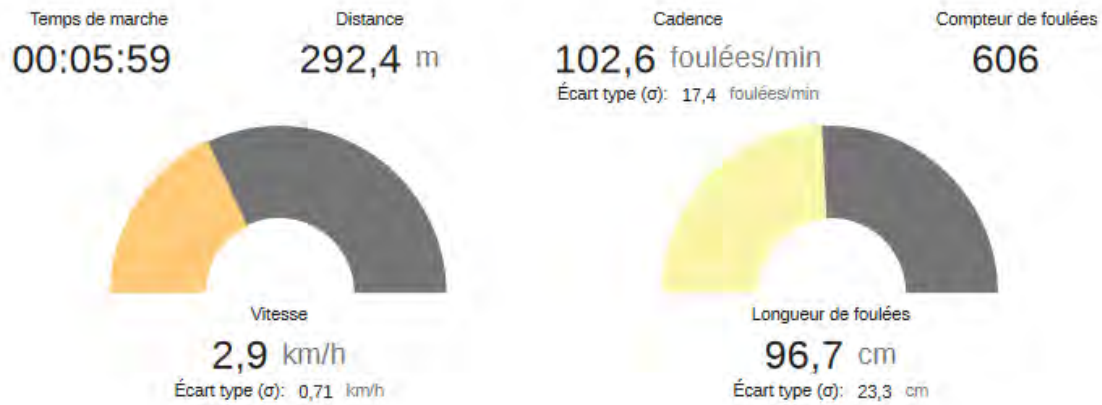


Système optogait

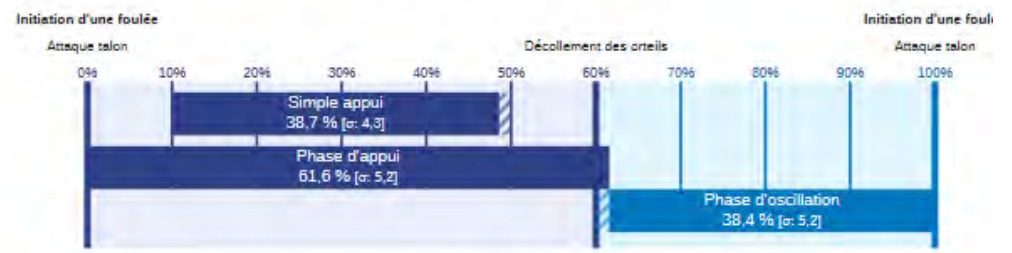


Plateforme Zebris

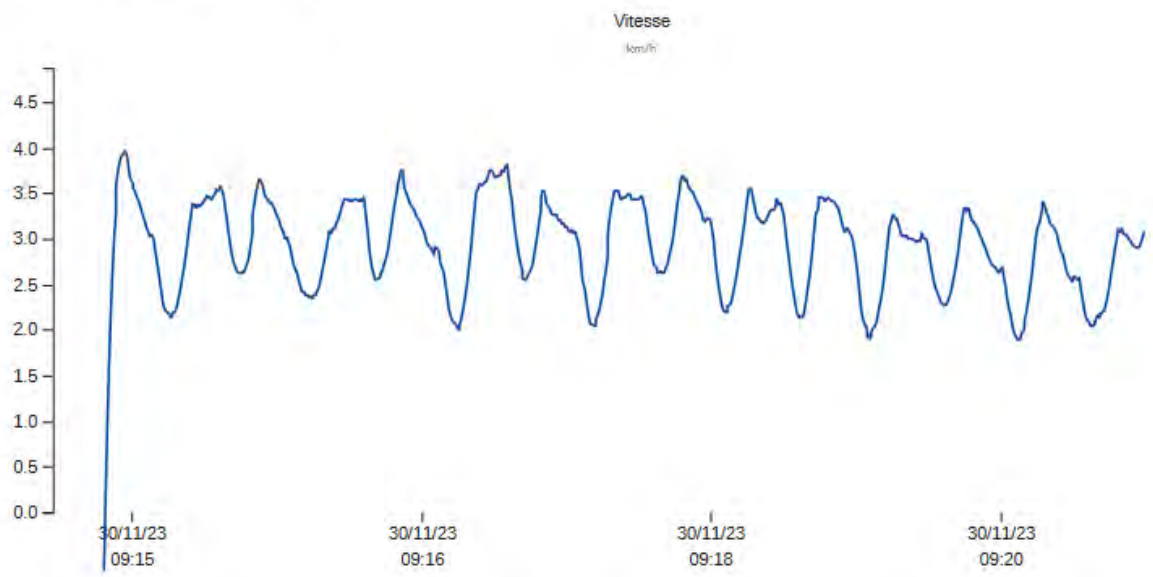




### Paramètres moyennés du cycle de la marche



### Variation de métrique

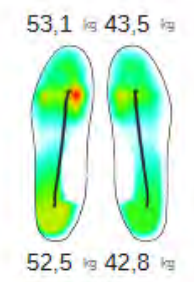


### Paramètres d'asymétrie



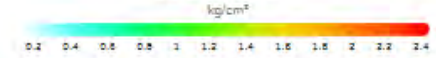
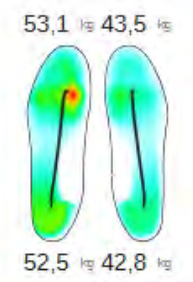
### Répartition des pressions

Maximum de pression avec la charge maximale (kg) au cours de l'attaque au sol et de la propulsion.



### Intégrale Pression-Temps

Avec la charge maximale (kg) au cours de la phase d'attaque au sol et de la phase de propulsion.



# Evaluation des troubles de la marche au stade précoce

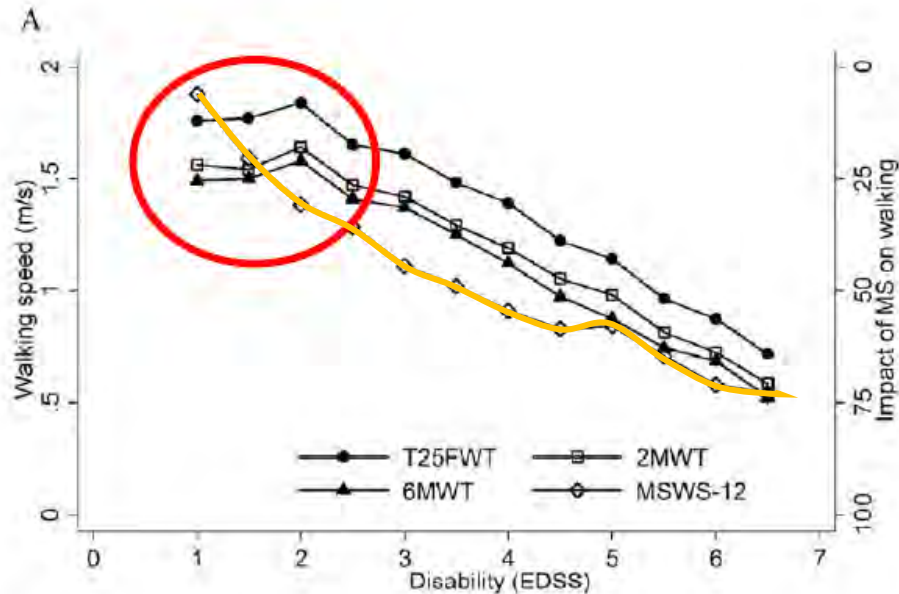


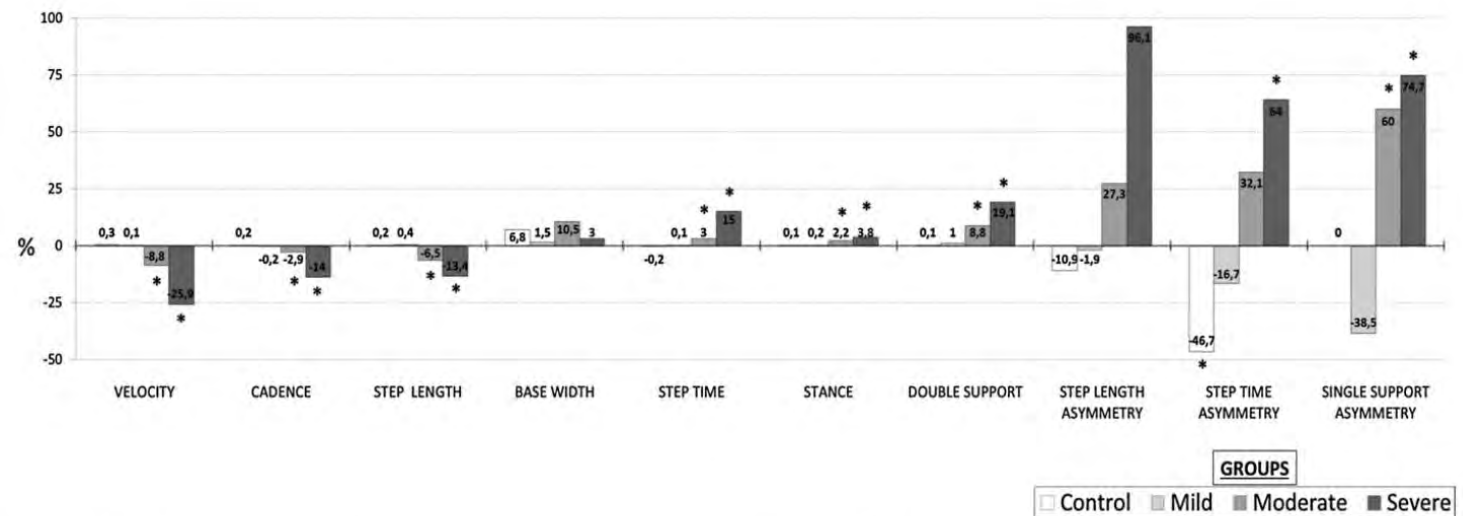
Illustration de la vitesse de marche lors des différents tests de marche des patients SEP et évaluation du retentissement de la maladie avec l'auto-questionnaire MSWS-12 en fonction de leur niveau de handicap évalué par l'échelle EDSS issue de *Langeskov-Christensen D et al. 2017*

- Discordance entre plaintes patients/ tests cliniques
- Problématiques de détection et de compréhension des troubles au stade précoce

Autres paramètres ?  
Complexifier?  
Compréhension?

# Autres paramètres?

- Variabilité de la cadence de marche/ longueur du pas
- Marqueurs : troubles cognitifs (fonctions exécutives, ttt de l'information)
- Prédicatif de chute



**FIGURE 3** Percentage of change of spatiotemporal gait parameters after 6MTWT. Mild (EDSS = 1.0–3.5), Moderate (4.0–5.5), Severe (6.0–6.5) groups as well as for healthy controls after conducting the 6MTWT. \*Intragroup  $p$ -value < 0.05, results of paired-samples  $t$ -test, or Wilcoxon's Rank Test in asymmetry parameters

# Complexifier: double tâche



- Intérêt de l'évaluation en double tâche au stade précoce
- Double tâche: calcul, verbal
- Marche en double tâche → diminution de la vitesse de marche, augmentation du temps de double appui
- **Problématique de standardisation de la tâche cognitive/motrice – bilan neuropsychologique**



# En résumé

---

- Laboratoire d'analyse du mouvement en 3D
  - Coûts
  - Technicité
  - Expertise
  - Diagnostic et aide à la décision thérapeutique
- Analyse des paramètres spatio-temporels
  - Nouveaux outils fiables, faciles d'utilisation
  - Problématiques des stades précoces
  - Autres paramètres ? Complexifier la tâche motrice



Merci pour votre attention