

# OUTILS ET MISE EN CONTEXTE DE L'ÉVALUATION FONCTIONNELLE DU MOUVEMENT

QUELS OUTILS DE MESURES UTILISER SUR LE TERRAIN ?

---

Master 2 APAS - APPCM – Évaluation fonctionnelle



# But de l'évaluation fonctionnelle

1. Comprendre et quantifier l'impact fonctionnel d'une maladie, d'une incapacité, du vieillissement... pour identifier des besoins
2. Proposer des remédiations possibles, qu'elles soient intrinsèques (action sur le patient) ou extrinsèques (action sur l'environnement)



# À QUOI s'intéresse-t-on lorsque l'on parle d'évaluation fonctionnelle du mouvement?

- Les gestes de la vie courante
  - Déplacement: marche, propulsion FRM, transferts...
  - Alimentation: port de charges, manipulation...
  - Toilette: savonnage, peignage, habillage...
  - Maison: ménage, travaux, jardinage



- Les gestes au travail
  - Environnement de travail : posture, répétitions, fréquence
  - Charge de travail: port de charge, application de forces



- Les gestes sportifs
  - Préparation physique
  - Technique



# À QUOI s'intéresse-t-on lorsque l'on parle d'évaluation fonctionnelle du mouvement?

- Les gestes de la vie courante
- Les gestes au travail
- Les gestes sportifs

- **Capacités articulaires et musculaires** (force, vitesse, souplesse, endurance)

- **Capacités neuromusculaires** (coordinations, agilité, précision, contrôle postural)

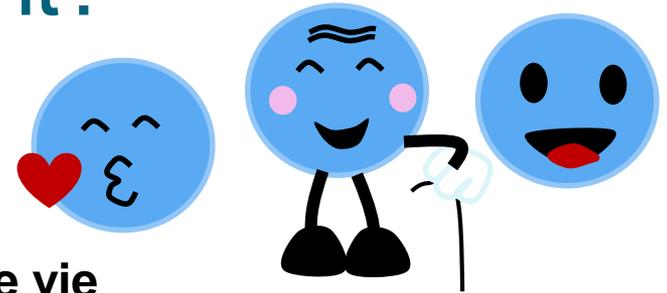


# POURQUOI s'intéresse-t-on à l'évaluation fonctionnelle du mouvement?

- Les gestes de la vie courante

- Déplacement
- Alimentation
- Toilette
- Maison

**Autonomie, qualité de vie**



- Les gestes au travail

- Environnement de travail
- Charge de travail

**Efficacité, sécurité**



- Les gestes sportifs

- Physique
- Technique

**Performance, santé**



# Avec QUELS MOYENS pratique-t-on l'évaluations fonctionnelle du mouvement?

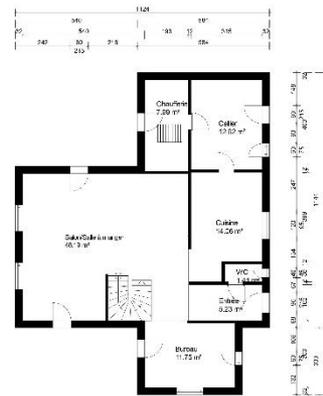
- Matériel



- Temps



- Lieu



- Humain (Personnel qualifié pour l'utilisation du matériel et traitement des données)



# COMMENT pratique-t-on l'évaluation fonctionnelle du mouvement?

- Observation
- Questionnaires
- Tests physiques



# LES QUESTIONNAIRES

---



# Pourquoi utiliser des questionnaires?

- Objectif: Proposer un classement ordinal reproductible des difficultés rencontrées (création d'une échelle de mesure)



# Quels sont les thèmes des questionnaires

- Les déficiences individuelles:  
Musculaire, Douleur, Articulaire, Neurologiques...
- Les incapacités contextuelles:  
Marche, Equilibre, Préhension
- Les pathologies spécifiques:  
Coiffe des Rotateurs, Hanche-Genou, Lombalgies, Lésions cérébrales, Sclérose, Moëlle épinière, Dystrophie musculaires

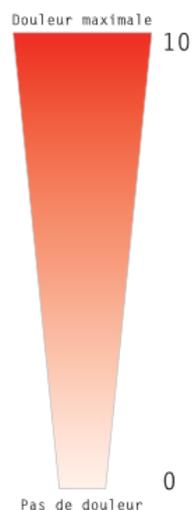
<https://www.cofemer.fr/cofemer/gestionPagesWebStandard.do?dispatchMethod=affiche&pageId=59>



# Echelle visuelle douleur

## 1.3.2 *Échelle visuelle analogique indicée* (EVA indicée)

L'échelle verticale des visages (version verticale de la Faces Pain Scale) donnerait de meilleurs résultats en terme de validité et de reproductibilité après AVC gauche, alors que l'EVA colorée et indicée serait mieux adaptée en cas d'AVC droit. Toutefois, compte tenu de la variabilité des troubles cognitifs et de perception chez ces patients, il est recommandé de disposer des 2 échelles au cas où l'une d'entre elles soit mal comprise ou mal utilisée par le patient.



### Mode d'emploi

Utiliser cette fiche en guise de règle EVA, et demander au patient d'y situer son niveau de douleur (d) sur le trait vertical, puis mesurer la distance ainsi définie (od) pour quantifier la douleur.



# Cotation critériée force musculaire

## 1.1 Déficience : force musculaire

### 1.1.1 *Cotation de Held et Pierrot-Desseilligny*

Évaluation de la commande de l'hémiplégique  
Held et Pierrot-Desseilligny

La force est appréciée selon une cotation de 0 à 5.

**0:** absence de contraction

**1:** contraction perceptible sans déplacement du segment

**2:** contraction entraînant un déplacement quel que soit l'angle parcouru

**3:** le déplacement peut s'effectuer contre une légère résistance

**4:** le déplacement s'effectue contre une résistance plus importante

**5:** le mouvement est d'une force identique au côté sain

Préciser la position du patient et le cas échéant, la position de facilitation.

Préciser si le mouvement est sélectif ou s'il y a apparition de syncinésies.



# Cotation critériée de l'équilibre postural

## 2.4.6.2 Scores posturaux de Bourgès (EPA et EPD)

De passation simple et rapide, les scores d'équilibre postural assis (EPA) et debout (EPD) sont validés chez les patients vasculaires et adapté à un usage médical courant lors des consultations et les visites de service.

Une position est considérée comme acquise si tenue plus d'une minute, sauf quand elle doit être maintenu *versus* une poussée déséquilibrante. L'appui mono-podal doit être maintenu 15 secondes. En cas d'hésitation entre N et N + 1, cotez N.

### ■ A - Indice d'Équilibre Postural Assis (EPA)

**Classe 0** : aucun équilibre en position assise (effondrement du tronc).

Nécessité d'un appui postérieur et d'un soutien latéral.

**Classe 1** : position assise possible avec appui postérieur.

**Classe 2** : équilibre postural assis maintenu sans appui postérieur, mais déséquilibre lors d'une poussée quelle qu'en soit la direction.

**Classe 3** : équilibre postural assis maintenu sans appui postérieur et lors d'une poussée déséquilibrante quelle qu'en soit la direction.

**Classe 4** : équilibre postural assis maintenu sans appui postérieur, lors d'une poussée déséquilibrante et lors des mouvements de la tête, du tronc et des membres supérieurs.

Le malade remplit les conditions pour le passage de la position assise à la position debout seul.

### ■ B - Indice d'Équilibre Postural Debout (EPD)

**Classe 0** : aucune possibilité de maintien postural debout.

**Classe 1** : position debout possible avec transferts d'appui sur le membre hémiplegique très insuffisant. Nécessité d'un soutien.

**Classe 2** : position debout possible avec transferts d'appui sur le membre hémiplegique encore incomplets. Pas de soutien.

**Classe 3** : transferts d'appui corrects en position debout.

**Classe 4** : équilibre postural debout maintenu lors des mouvements de la tête, du tronc et des membres supérieurs.

**Classe 5** : appui uni-podal possible.

*Référence :*

*Brun V. et al., 1991.*



# Pourquoi utiliser des questionnaires?

- Objectif: Proposer un classement ordinal reproductible des difficultés rencontrées (création d'une échelle de mesure)
- Avantages: court et simple à utiliser, peut être administré à distance (version téléphonique), ne nécessite aucun moyen
- Inconvénients: Mesure plus qualitative que quantitative, réponses subjectives, hors du contexte



# LES OUTILS DE MESURE CINEMATIQUE

---

Mesurer les angles articulaires, les vitesses, les accélérations ...



# La capture du mouvement: les caméras



- Caméra 2D + kinovéa

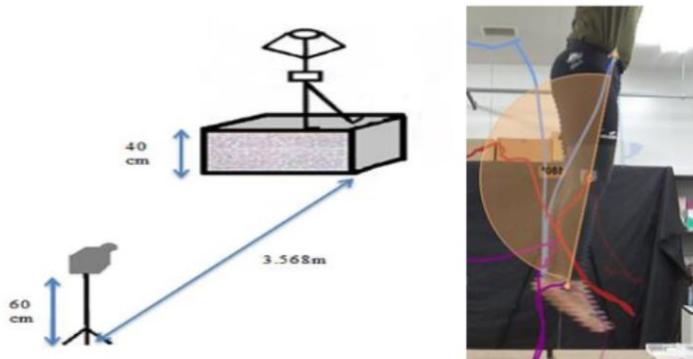
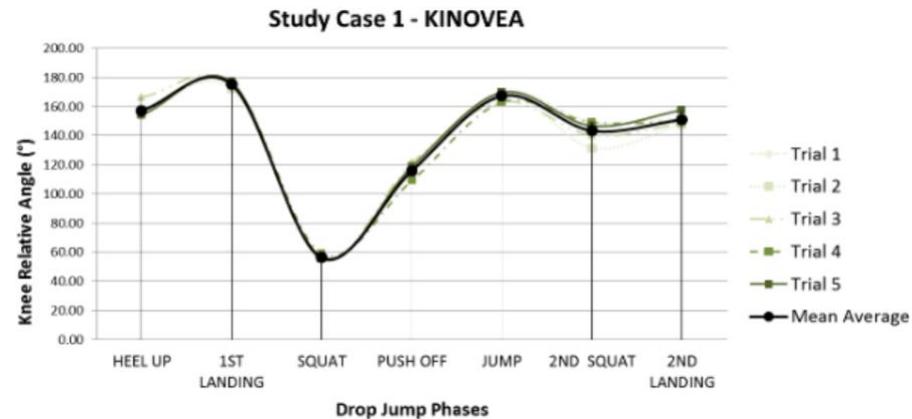


Figure 1. Illustration of the calibrated plane, camera position and field of view.



Source: Nor Adnan 2018, Biomechanical analysis using Kinovea for sports applica



# La capture du mouvement: les caméras

- Caméra 2D  
+ caméra de profondeur  
+ application de visualisation du squelette

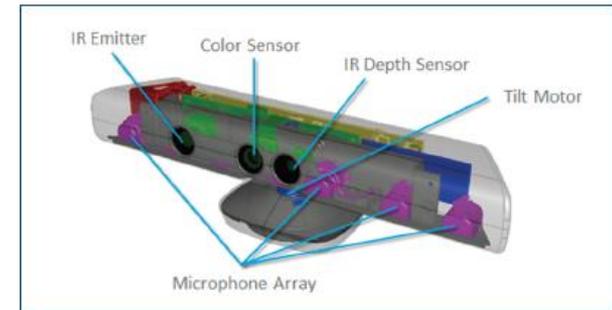


Figure 1. Microsoft Kinect [Catuhe 2012]

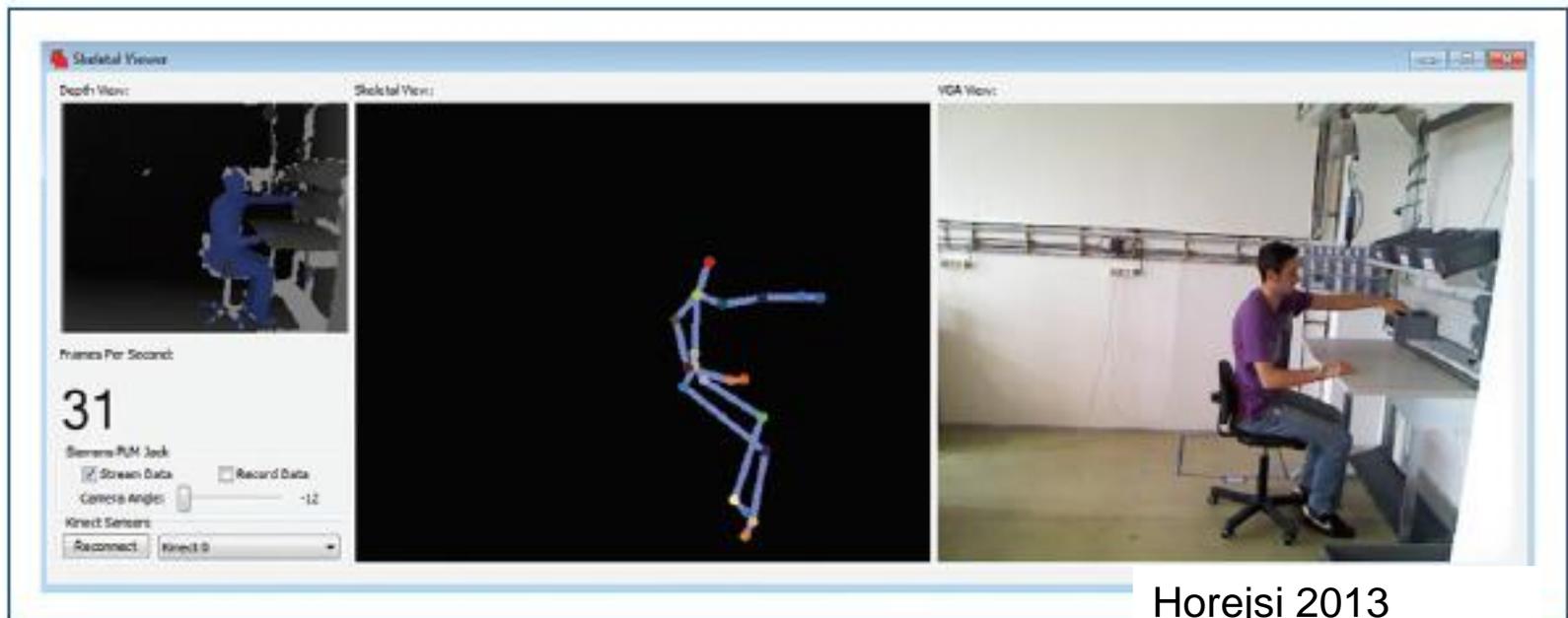


Figure 3: Skeletal Viewer Application

Horejsi 2013  
using Kinect technology  
equipment for ergonomics

# La capture du mouvement: les caméras

- Système optoélectronique
  - Caméras optoélectroniques
  - Marqueurs réfléchissants
  - Logiciel d'exploitation VICON Nexus



Peruzzini 2017

The benefits of human-centred design in industrial practices: redesign of workstations in pipe industry



# La capture du mouvement: les caméras

	Caméra 2D  	Caméra 3D 	Système optoélectroniques
	caméra RGB caméscope, caméra haute fréquence, gopro, téléphone portable... + logiciel de traitement d'image Kinovea, coach's eye...	caméra de profondeur et/ou caméra RGB Kinect...	4-20 caméras optoélectroniques VICON, optitrak, Qualysis... 
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture de séquences d'images</li> <li>- Angles et positions articulaires en 3D</li> <li>- Résolution et fréquence variables selon le modèle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture d'une carte de couleurs et d'une carte des profondeurs</li> <li>- Angles articulaires en quaternions</li> <li>- 640*480 pixels</li> <li>- 30 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture 3D de la position de marqueurs anatomiques</li> <li>- 16*10<sup>6</sup> pixels</li> <li>- 2000 Hz</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût limité</li> <li>- Portabilité de l'outil et des résultats</li> <li>- Visualisation temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût raisonnable</li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision importante</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résultats très dépendants de l'angle de vue</li> <li>- Besoin d'espace</li> <li>- Sensible à l'occlusion</li> <li>- Faible précision</li> <li>- Traitement manuel (temps)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin d'espace</li> <li>- Sensible à l'occlusion</li> <li>- Faible précision, notamment des mains et des pieds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Équipement dispendieux</li> <li>- Besoin de beaucoup d'espace sans encombrement</li> <li>- Sensible à l'occlusion</li> <li>- Traitement important et technique</li> </ul>

# La capture du mouvement: autres capteurs

## ▷▷ Goniomètre

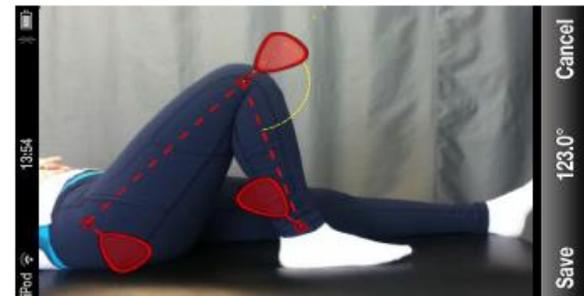
▷▷ Mesure l'angle entre deux segments



## ▷▷ Goniométrie photographique

▷▷ Mesure l'angle sur des images

▷▷ Similaire à la radiogoniométrie photographique



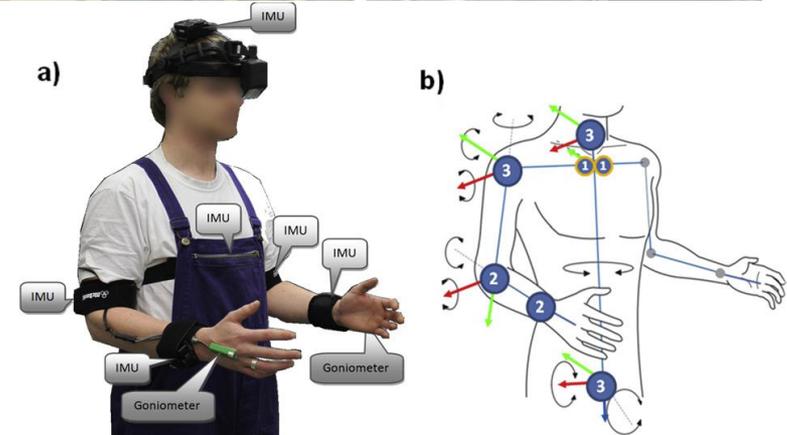
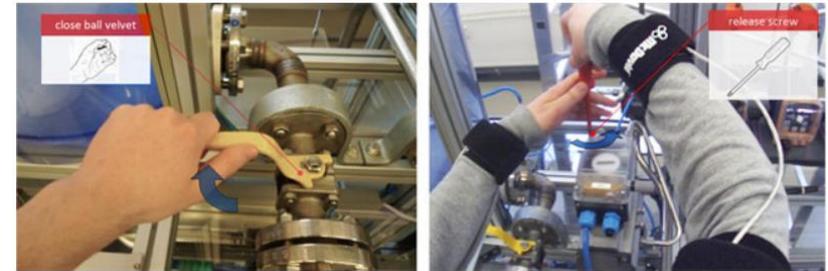
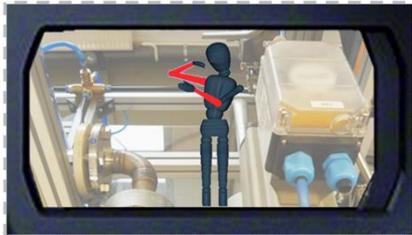
## ▷▷ Inclinomètre

▷▷ Mesure l'angle par rapport à la ligne d'horizon (détermine l'angle d'inclinaison)



# La capture du mouvement: autres capteurs

- Centrales inertielles



Source: Vignais 2012, Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing.



# La capture du mouvement: autres capteurs

- Capteurs et applications téléphoniques

GPS : obtenir les coordonnées GPS du téléphone

physics toolbox sensor suite  polaris  les coordonnées gps  gps d'altitude  ...

Accéléromètre: obtenir l'accélération linéaire du téléphone

physics toolbox sensor suite  sensor kinetics  vibratilt  ...

Gyroscope : obtenir l'orientation du téléphone

physics toolbox sensor suite  sensor kinetics  vibratilt  ...

Magnétomètre

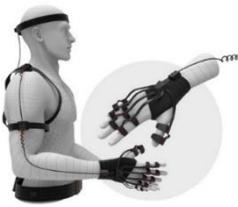
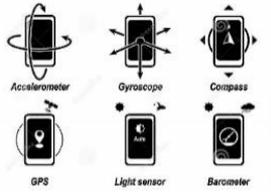
physics toolbox sensor suite  sensor kinetics  ...

Mais quelle validité de ces applications?

Source: Gan 2015, Editorial: scientific apps: design, considerations, and functions.



# La capture du mouvement: autres capteurs

	Goniomètre (manuel ou électronique)	Capteurs inertiels (Accéléromètre + gyroscope)	Capteurs de téléphone (GPS, Accéléromètre, Gyroscope, Magnétomètre)
			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angle articulaire</li> <li>- Gradué en degrés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Position et orientation d'un segment corporel</li> <li>- Quaternions</li> <li>- 100 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Différentes informations sur la position et l'orientation dans l'espace</li> <li>- 20 à 200Hz</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût faible</li> <li>- Portabilité</li> <li>- Visualisation temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût faible</li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût limité</li> <li>- Portabilité de l'outils et des résultats</li> <li>- Visualisation en temps réel</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résultats dépendants de l'utilisateur</li> <li>- Précision moyenne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dérive du signal influencé par le champ magnétique</li> <li>- Limité en hautes fréquences</li> <li>- Temps de traitement ++</li> <li>- Précision anatomique moyenne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résultats variables selon l'expérimentateur et l'application</li> <li>- Précision moyenne</li> </ul>



# LES OUTILS DE MESURE DES EFFORTS

---

Mesurer l'équilibre, des efforts extérieurs et musculaires, de l'endurance

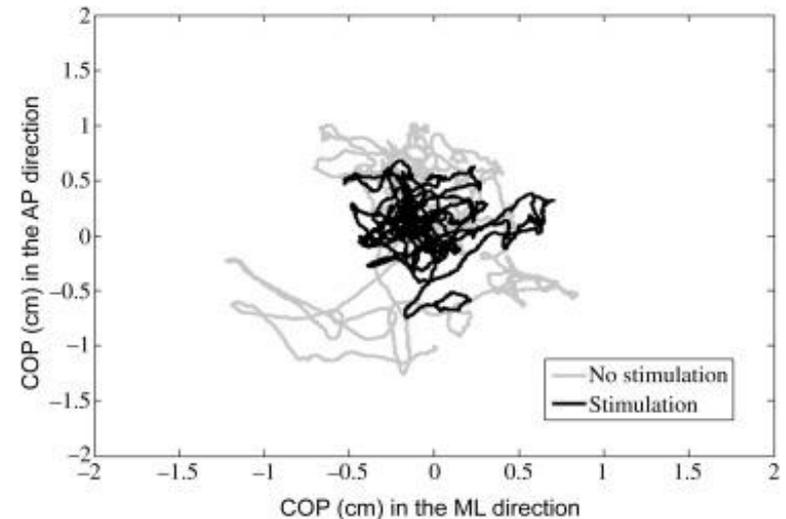


# La mesure des forces : les forces extérieures

- Platteforme de force



Durall 2011,  
Associations Between Single-Leg Postural  
Control and Drop-Landing Mechanics in  
Healthy Women



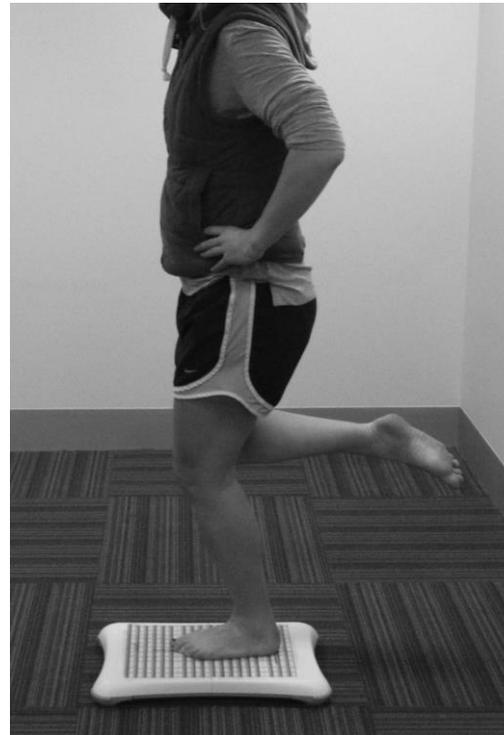
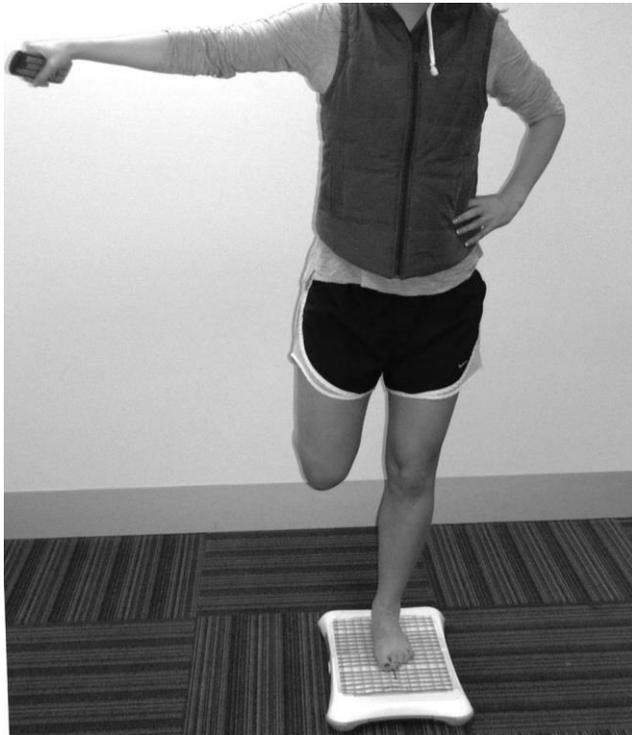
Wang 2016,  
Effect of plantar cutaneous inputs on  
center of pressure during quiet stance in  
older adults



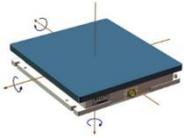
# La mesure des forces : les forces extérieures

- Wii balance board

Howells 2013,  
The assessment of postural control and the influence of a secondary task in people with anterior cruciate ligament reconstructed knees using a Nintendo Wii Balance Board



# La mesure des forces : les forces extérieures

	Wii balance board	Platteforme de force	Nappe de pression	Capteur 6-axes
				
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Force verticale moyenne exercée sur la surface</li> <li>- 40 à 100 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces et moments moyens exercés sur la surface en 3D</li> <li>- 2000 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Répartition de la force sur la surface</li> <li>- 400 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces et moments de force sur l'objet dans lequel est intégré le capteur</li> <li>- 2000 Hz</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût faible</li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision élevée</li> <li>- Hautes sollicitations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût moyen</li> <li>- Seul outil pour connaître la répartition de la charge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision élevée</li> <li>- Sollicitations moyennes (selon modèle)</li> <li>- Portabilité</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision faible</li> <li>- Force verticale seule</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Non déplaçable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision moyenne</li> <li>- Traitement important</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé (selon modèle)</li> </ul>

# La mesure des forces : les capacités musculaires

	Dynamomètre manuel	Dynamomètre isocinétique	Ergocycles instrumentés
			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure manuelle de la force musculaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure contrôlée du couple articulaire</li> <li>- Tests concentriques, excentriques et isométrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculs des suivis de la vitesse, de la puissance, du travail, de la dépense énergétique...</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible coût</li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résultats reproductible</li> <li>- Contrôle du mouvement mesuré</li> <li>- Conservation et suivi des résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesures fiables</li> <li>- Conservation et suivis des résultats</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabilité selon l'expérimentateur</li> <li>- Précision faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Non déplaçable</li> <li>- Puissance électrique requise élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Pas de mesures articulaires</li> <li>- Pas de mesure directe des forces musculaires</li> </ul>



# La mesure des forces : les sollicitations musculaires

	EMG de surface	EMG intramusculaire	Elastographie
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité électrique à la surface du muscle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité électrique à l'intérieur d'une fibre musculaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variation de la raideur musculaire</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût moyen</li> <li>- Transportable</li> <li>- Non invasif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût moyen</li> <li>- Transportable</li> <li>- Muscles profonds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muscles profonds</li> <li>- Non invasif</li> <li>- Sollicitation active et passive du muscle</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uniquement des muscles de surface</li> <li>- Pas d'information sur les sollicitations passives du muscle</li> <li>- Sensible aux perturbations électromagnétiques</li> <li>- Variable d'un individu à l'autre</li> <li>- Variable selon l'expérimentateur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Invasif</li> <li>- Pas d'information sur les sollicitations passives du muscle</li> <li>- Sensible aux perturbations électromagnétiques</li> <li>- Variable d'un individu à l'autre</li> <li>- Variable selon l'expérimentateur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Encombrant</li> <li>- Variable selon l'expertise</li> </ul>



# La mesure des forces : les forces articulaires et musculaires

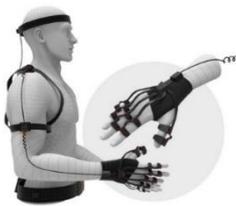
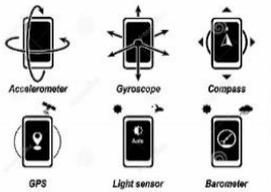
	(Analyse de mouvement +) <b>Modélisation musculosquelettique</b>
Caractéristiques	- Prédiction des forces articulaires et/ou musculaires
Avantages	- Prédiction, car pas de mesure directe possible - Simulation possible : > pas de mesures = coût faible, temps faible > situations non mesurables (ex: situation d'accident – cf TP Opensim)
Inconvénients	- Beaucoup de mesures nécessaires: mouvement + forces (le coût dépend des outils utilisés) - Traitement long et technique - Modèles non spécifiques - Hypothèse simplificatrices nombreuses dans la représentation du corps



# La capture du mouvement: les caméras

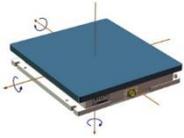
	Caméra 2D  	Caméra 3D 	Système optoélectroniques
	caméra RGB caméscope, caméra haute fréquence, gopro, téléphone portable... + logiciel de traitement d'image Kinovea, coach's eye...	caméra de profondeur et/ou caméra RGB Kinect...	4-20 caméras optoélectroniques VICON, optitrak, Qualysis... 
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture de séquences d'images</li> <li>- Angles et positions articulaires en 3D</li> <li>- Résolution et fréquence variables selon le modèle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture d'une carte de couleurs et d'une carte des profondeurs</li> <li>- Angles articulaires en quaternions</li> <li>- 640*480 pixels</li> <li>- 30 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture 3D de la position de marqueurs anatomiques</li> <li>- 16*10<sup>6</sup> pixels</li> <li>- 2000 Hz</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût limité</b></li> <li>- Portabilité de l'outil et des résultats</li> <li>- Visualisation temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût raisonnable</b></li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision importante</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Résultats très dépendants de l'angle de vue</b></li> <li>- Besoin d'espace</li> <li>- Sensible à l'occlusion</li> <li>- Faible précision</li> <li>- Traitement manuel (temps)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin d'espace</li> <li>- Sensible à l'occlusion</li> <li>- <b>Faible précision</b>, notamment des mains et des pieds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Équipement dispendieux</li> <li>- Besoin de beaucoup d'espace sans encombrement</li> <li>- Sensible à l'occlusion</li> <li>- Traitement important et technique</li> </ul>

# La capture du mouvement: autres capteurs

	Gogniomètre (manuel ou électronique)	Capteurs inertiels (Accéléromètre + gyroscope)	Capteurs de téléphone (GPS, Accéléromètre, Gyroscope, Magnétomètre)
			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angle articulaire</li> <li>- Gradué en degrés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Position et orientation d'un segment corporel</li> <li>- Quaternions</li> <li>- 100 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Différentes informations sur la position et l'orientation dans l'espace</li> <li>- 20 à 200Hz</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût faible</b></li> <li>- Portabilité</li> <li>- Visualisation temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût faible</b></li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût limité</li> <li>- Portabilité de l'outils et des résultats</li> <li>- Visualisation en temps réel</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Résultats dépendants de l'utilisateur</b></li> <li>- <b>Précision moyenne</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dérive du signal influencé par le champ magnétique</li> <li>- Limité en hautes fréquences</li> <li>- Temps de traitement ++</li> <li>- <b>Précision anatomique moyenne</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Résultats variables selon l'expérimentateur et l'application</b></li> <li>- <b>Précision moyenne</b></li> </ul>



# La mesure des forces : les forces extérieures

	Wii balance board	Platteforme de force	Nappe de pression	Capteur 6-axes
				
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Force verticale moyenne exercée sur la surface</li> <li>- 40 à 100 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces et moments moyens exercés sur la surface en 3D</li> <li>- 2000 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Répartition de la force sur la surface</li> <li>- 400 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces et moments de force sur l'objet dans lequel est intégré le capteur</li> <li>- 2000 Hz</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût faible</b></li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision élevée</li> <li>- Hautes sollicitations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût moyen</b></li> <li>- Seul outil pour connaître la répartition de la charge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Précision élevée</li> <li>- Sollicitations moyennes (selon modèle)</li> <li>- Portabilité</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Précision faible</b></li> <li>- Force verticale seule</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Non déplaçable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Précision moyenne</b></li> <li>- Traitement important</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé (selon modèle)</li> </ul>

# La mesure des forces : les capacités musculaires

	Dynamomètre manuel	Dynamomètre isocinétique	Ergocycles instrumentés
			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure manuelle de la force musculaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure contrôlée du couple articulaire</li> <li>- Tests concentriques, excentriques et isométrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculs des suivis de la vitesse, de la puissance, du travail, de la dépense énergétique...</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Faible coût</b></li> <li>- Portabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Résultats reproductible</li> <li>- Contrôle du mouvement mesuré</li> <li>- Conservation et suivi des résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Mesures fiables</li> <li>- Conservation et suivis des résultats</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Variabilité selon l'expérimentateur</b></li> <li>- Précision faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Non déplaçable</li> <li>- Puissance électrique requise élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Pas de mesures articulaires</li> <li>- Pas de mesure directe des forces musculaires</li> </ul>



# La mesure des forces : les sollicitations musculaires

	EMG de surface	EMG intramusculaire	Elastographie
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité électrique à la surface du muscle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité électrique à l'intérieur d'une fibre musculaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variation de la raideur musculaire</li> </ul>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût moyen</b></li> <li>- Transportable</li> <li>- Non invasif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût moyen</b></li> <li>- Transportable</li> <li>- Muscles profonds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muscles profonds</li> <li>- Non invasif</li> <li>- Sollicitation active et passive du muscle</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uniquement des muscles de surface</li> <li>- Pas d'information sur les sollicitations passives du muscle</li> <li>- Sensible aux perturbations électromagnétiques</li> <li>- <b>Variable d'un individu à l'autre</b></li> <li>- <b>Variable selon l'expérimentateur</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Invasif</li> <li>- Pas d'information sur les sollicitations passives du muscle</li> <li>- Sensible aux perturbations électromagnétiques</li> <li>- <b>Variable d'un individu à l'autre</b></li> <li>- <b>Variable selon l'expérimentateur</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Encombrant</li> <li>- Bonne reproductibilité avec de l'expertise</li> </ul>



# LA VALIDITE DES MESURES

---

Fiabilité/fidélité, Validité, Précision, Sensibilité  
Reproductibilité ...qu'est ce que c'est?



# Mobilité articulaire et goniométrie photographique



## But

- ⇒ Évaluer la **fiabilité** d'une application mobile développée pour la goniométrie photographique



## Participant(s)

- ⇒ 1 personne en santé (partie 1)
- ⇒ 10 personnes en santé (partie 2)



## Protocole

- ⇒ 5 angles de flexion au genou (20° à 80°) mesurés par 4 évaluateurs
  - ⇒ 2 experts vs 2 débutants
  - ⇒ Goniomètre universel (GU) et DrGoniometer
- ⇒ 35 photos d'angles de flexion au genou (20° à 125°) par 10 évaluateurs experts



**Conclusion :** DrGoniometer semble être une mesure fiable pour la mesure de l'angle au genou et un outil pratique qui nécessite toutefois une expertise.

Ferriero et al. 2013



## Mesures

- ⇒ Comparaison des valeurs du goniomètre universel et de l'application photographique



## Résultats principaux

- ⇒ Coefficients de corrélation inter- et intra évaluateurs >0.958
- ⇒ Concordance avec GU dans un intervalle de 18.2° (-7.5° à 10.7°)
  - ⇒ 14.1° si évaluateurs débutants sont exclus des calculs
- ⇒ Manque de concordance pour les angles <35°
  - ⇒ Application surestime les mesures

# Kinect et mobilité articulaire



## But

- Évaluer la précision de la Kinect pour l'utilisation dans les exercices de réadaptation physique



## Participant(s)

- 1 personne en santé



## Protocole

- Différents mouvements utilisés en réadaptation captés par Vicon et Kinect impliquant :
  - le genou
  - la hanche
  - l'épaule



## Analyses

- Comparaison des valeurs de rotations des articulations entre Kinect et Vicon pour le genou, la hanche et l'épaule



## Résultats principaux

- Genou: erreurs inférieures à 10°
- Hanche: erreurs sont de 5° dans le plan sagittal et 6-10° dans le plan coronal
- Épaule: 7-13° dans tous les plans



**Conclusion :** La précision obtenue pour les principales articulations du corps permet de confirmer que le capteur Kinect peut être utilisé dans les traitements de réadaptation.

Fernandez-Baena et al. 2012



# Kinect et contrôle postural



## But

- ⇒ Évaluer la **précision** de la Kinect comparativement à un système d'analyse du mouvement



## Participants

- ⇒ 20 personnes en santé
- ⇒ Moy = 27 ans



## Protocole

- ⇒ tâche d'atteinte frontale
- ⇒ tâche d'atteinte latérale
- ⇒ équilibre sur une jambe



## Mesures

- ⇒ Distances atteintes et angle de flexion du tronc dans les plans sagittal et coronal
- ⇒ En équilibre: déplacement de repères anatomiques du sternum, bassin, genou et cheville ainsi que la flexion du tronc



## Résultats principaux

- ⇒ Bonne fiabilité inter-essais et bonne validité (valeurs de  $r$  de Pearson  $> 0,9$ ) pour la majorité des mesures
- ⇒ biais proportionnel pour certaines mesures associées au pelvis et au sternum



**Conclusion** Les résultats obtenus avec le capteur Kinect sont comparables à ceux d'un système d'analyse du mouvement 3D pour l'évaluation de repères anatomiques et du déplacement angulaire lors de test cliniques de contrôle postural.

Clark et al. 2012



# Mobilité articulaire, accéléromètre et gyroscope



## But

- ⇒ Comparer la précision d'une application iOS pour la mesure du mouvement du bras combinant l'accéléromètre et le gyroscope du téléphone à un système optoélectronique



## Participants

- ⇒ 9 personnes en santé



## Protocole

- ⇒ 3 types de mouvements enregistrés avec le système BTS (8 cam) et mesurés avec l'application mobile
  - ⇒ Postures statiques
  - ⇒ Balancement (2 vitesses; > 30 s)
  - ⇒ 2 tâches de travail simulées (2 min)



**Conclusion** La précision de l'application iOS est comparable à celle d'outils de recherche et est utile pour la mesure du mouvement au membre supérieur.

Yiang et al. 2017



## Mesures

- ⇒ Angles de flexion et abduction de l'épaule
- ⇒ Calcul de la vitesse angulaire



## Résultats principaux

- ⇒ Différence moyenne < 1° entre iOS et système optoélectronique
- ⇒ Différences RMS < 6° et coefficient de corrélation > 0,98 pour tous les balancements de bras
- ⇒ Différence moyenne absolue < 13,1°/s pour la vitesse angulaire entre iOS et système
- ⇒ Différence moyenne absolue < 43,5°/s pour la vitesse angulaire entre accéléromètre uniquement et système

Johnson 2015

Validity and reliability of smartphone magnetometer-based goniometer evaluation of shoulder abduction - A pilot study

But:

Mesures:

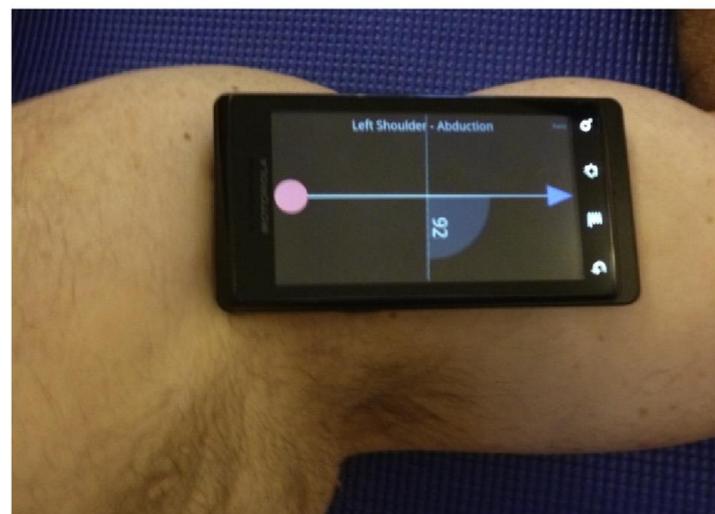
Analyse:

Résultats:

(a)



(b)



UFR STAPS



# Goniomètre électronique

Jonson 2002

Comparison of measurement accuracy between two types of wrist goniometer systems

But:

Mesures:

Analyse:

Résultats:

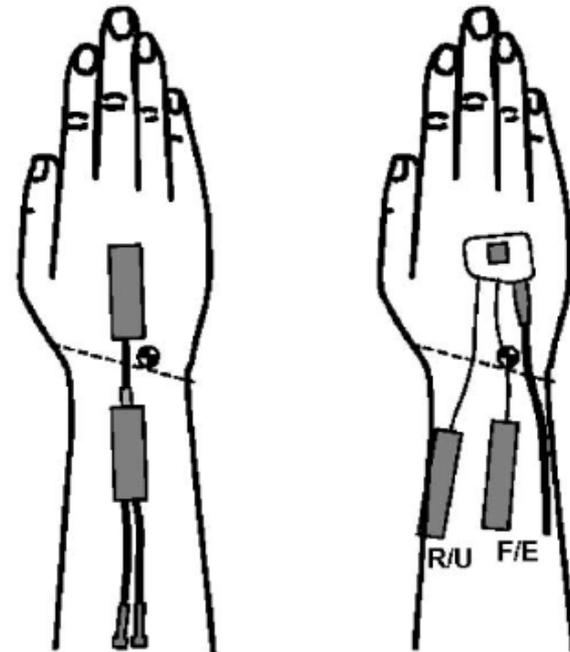


Fig. 2. Wrist goniometers shown mounted on a wrist: System A (left) and System B (right). To facilitate comparisons between how the systems reside on the wrist, System B is shown without the fingerless glove. The dashed line and the circle represent the anatomical *F/E* axis and *R/U* centre of movement respectively (Youm et al., 1978; Moore et al., 1993; Van Vorhis, 1996).



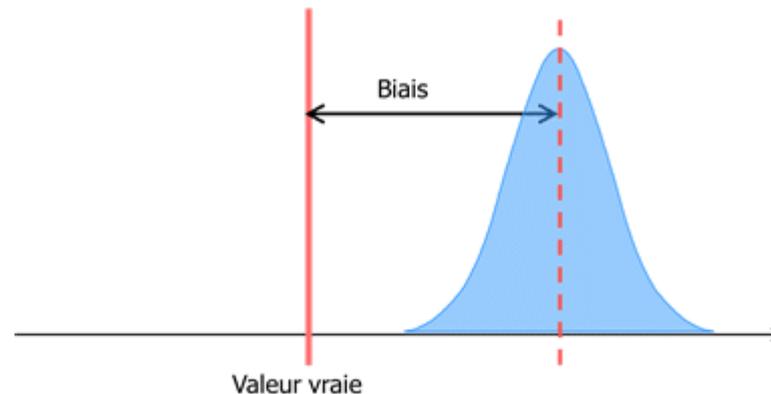
# Fidélité (fiabilité), répétabilité et reproductibilité

- La **fidélité** est l'aptitude d'un appareil de mesure à donner des mesures exemptes d'erreurs accidentelles.
- La mesure de la fidélité utilise le mécanisme test-retest selon l'idée que les mesures sont fiables, à condition qu'elles se répètent lorsque la même activité est menée à nouveau.
- La fidélité définit la dispersion des résultats d'un test de répétabilité (même procédure de mesure) ou de reproductibilité (différents lieux, opérateurs, systèmes...)



# Justesse ou exactitude (~précision)

- La justesse de la mesure considère que la moyenne des mesures n'est pas différente de la valeur vraie d'une mesure de référence. On appelle cette différence le biais de mesure.



- Pour calculer le biais de mesure, on réalise 30 mesures successives d'une pièce dont on connaît la valeur vraie (par exemple un étalon).



# Validité et précision

- La validité fait référence à la précision avec laquelle une chose est mesurée: elle combine la justesse et la fidélité des mesures.



haute fidélité  
basse justesse



haute justesse  
basse fidélité



haute exactitude



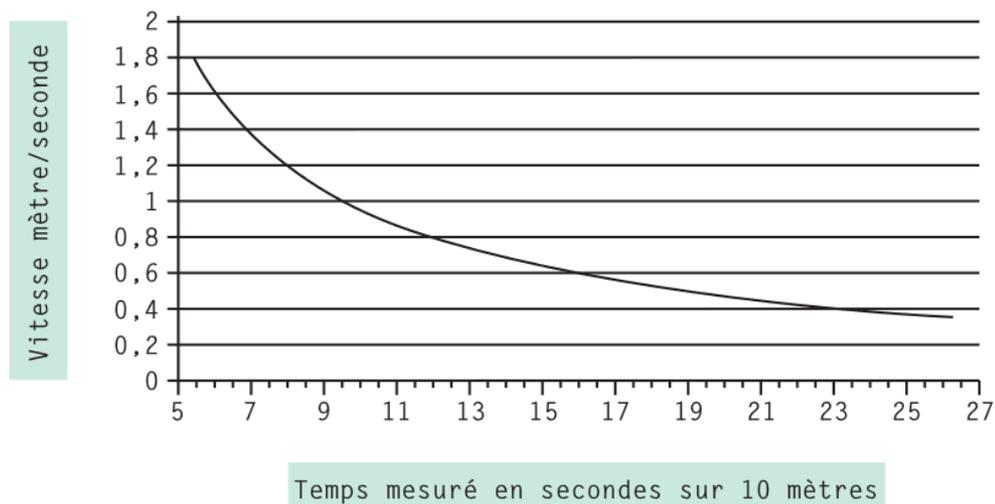
# Sensibilité et résolution

- La **sensibilité** exprime la variation du signal de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée.
- Un appareil est d'autant plus sensible qu'une petite variation de la grandeur à mesurer provoquera un changement plus grand de la mesure.
- La **résolution** est le plus petit écart entre deux valeurs, tel que l'appareil en donne une mesure différente



# Mise en situation 1

- TEST DE WADE: Vitesse de marche



- Comparer la **reproductibilité** inter-opérateurs des mesures d'un test de Wade à l'aide d'un chronomètre par rapport à la vidéo.

[https://www.cofemer.fr/cofemer/ckeditorImage/Files/ECH ELLES%20ADULTES%20TOME%202\\_page53\(1\).pdf](https://www.cofemer.fr/cofemer/ckeditorImage/Files/ECH%20ELLES%20ADULTES%20TOME%202_page53(1).pdf)



# Mise en situation 2

- EPREUVE DE TENETTI : Evaluation de l'équilibre  
Pour chacun des 13 tests, l'équilibre est noté (1), partiellement compensé (2), franchement anormal (3).



1 Équilibre, assis droit sur une chaise



2 Le patient se lève (si possible, sans aide des bras).



3 Équilibre debout juste après s'être levé



4 Équilibre debout, les yeux ouverts, les pieds joints



5 Équilibre debout, les yeux fermés, les pieds joints



6 le patient effectue un tour complet sur lui-même



7 Capacité à résister à 3 poussées successives en arrière, les coudes joints sur le sternum



8 Équilibre après avoir tourné la tête à droite et à gauche



9 Debout en équilibre sur une seule jambe, pendant plus de 5 secondes



10 Équilibre en hyper-extension de la tête en arrière



11 Le patient essaie d'attraper un objet qui serait au plafond



12 Le patient ramasse un objet devant lui



13 Évaluation de l'équilibre lorsque le patient se rassied

[https://www.cofemer.fr/cofemer/ckeditorImage/Files/EHELLES%20ADULTES%20TOME%202\\_page59.pdf](https://www.cofemer.fr/cofemer/ckeditorImage/Files/EHELLES%20ADULTES%20TOME%202_page59.pdf)

- Comparer la **sensibilité** de l'échelle du test par rapport à une mesure de l'accélération moyenne au cours du temps à l'aide d'une application sur votre téléphone



# Mise en situation 3

- AMPLITUDE ARTICULAIRE DE L'ÉPAULE

Evaluer la **répétabilité** de la mesure des amplitudes articulaires en flexion-extension (FE), abduction (Abd), rotation interne-externe bras le long du corps (ER1), rotation interne-externe bras en abduction à 90° (ER2) et rotation interne-externe avec le bras en flexion à 90° (ER3), à l'aide d'une application goniométrique sur votre téléphone.

ER1	EIR2	EIR3	Abd	FE
External rotation from neutral	Ext./ internal rotation in mid-abduct.	Ext./ internal rotation in mid-flexion	Abduction from neutral	Flexion/ extension amplitude
	