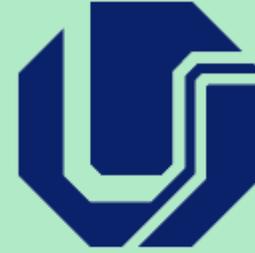




UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



UFU  
Universidade  
Federal de  
Uberlândia

LCOMS

Laboratoire de Conception  
Optimisation et Modélisation  
des Systèmes



Núcleo de Tecnologias Assistivas



# Rehabilitation

un jeu sérieux pour l'évaluation objective de  
signes moteurs de la maladie de Parkinson

Yann MORÈRE Maître de conférences HDR LCOMS-SciFA-Université de Lorraine

# Projets Capes-Cofecub

- Programme d'échange France-Brésil
- Objectifs:
  - initier ou développer la coopération scientifique et les relations entre les laboratoires de recherche et les universités des deux pays ;
- Moyens:
  - Soutien financier aux projets conjoints > mobilité des chercheurs en priorité à la formation au niveau doctoral et postdoctoral
- Premier projet en 2009-2012:
  - Analyse des signaux électromyographiques de surface en tant qu'interface homme-machine pour les systèmes d'aide à la communication pour les personnes handicapées motrices

# MA 957/20 2019-2023 Project

- Titre : Développement d'une interface homme-machine pour l'évaluation objective des signes moteurs de la maladie de Parkinson
- Objectif:
  - Caractérisation des signaux moteurs des personnes atteintes de la MP à l'aide de capteurs inertiels, d'EMG et d'informations provenant du contrôle par joystick, en développant des outils de traitement du signal ad hoc.
- Résultats attendus:
  - Développement d'outils et de méthodes pour une meilleure compréhension et un meilleur suivi des personnes atteintes de troubles neuromoteurs.
  - Introduction d'une nouvelle modalité d'évaluation objective de la DP grâce à l'utilisation d'une nouvelle interface homme-machine basée sur la VR.

# MA 957/20 2019-2023 Project

- Principaux participants:
  - Brésil : Adriano ALVES, Adriano ANDRADE, Edgard LAMOUNIER, Eduardo NAVES, Fabio HENRIQUE, Isabela MARQUES, Luanne MENDE, Camille ALVES ;
  - France : Guy BOURHIS, Yann MORERE, Pierre PINO.
- Site web du projet  
<https://rehabelitation-lcoms.univ-lorraine.fr>
- Équipe complète  
<https://rehabelitation-lcoms.univ-lorraine.fr/teams/>



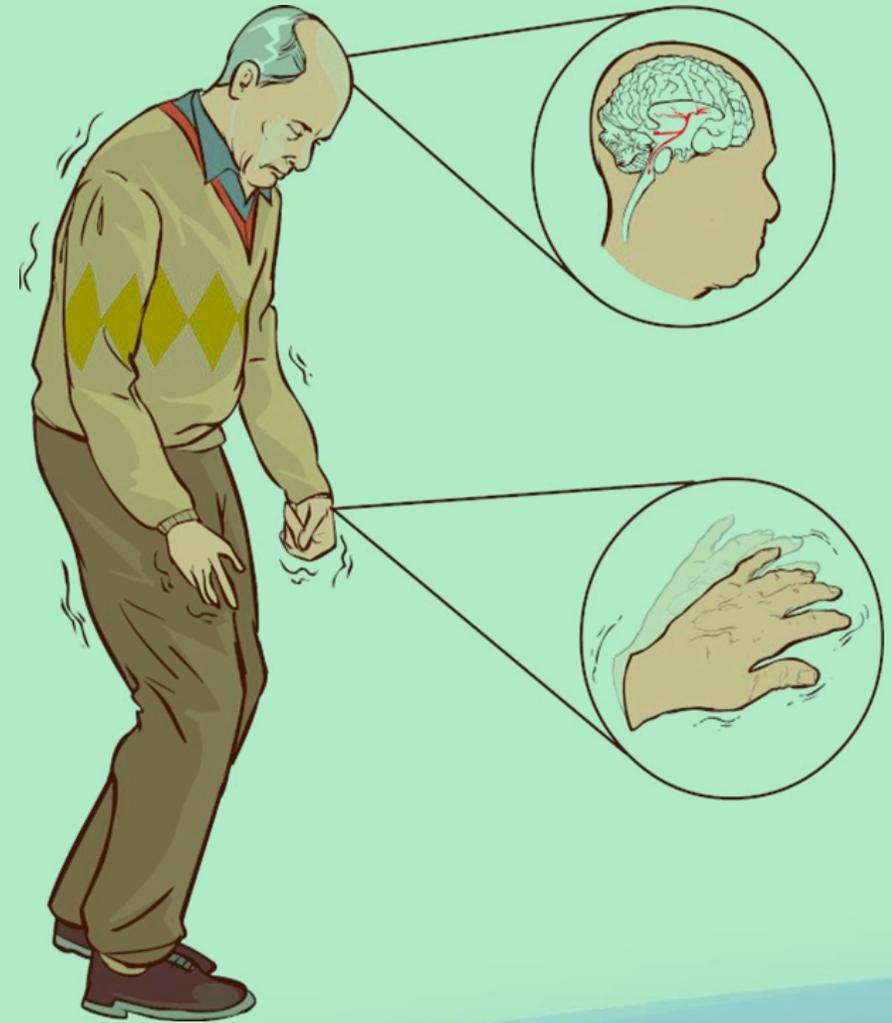
# Quelle est la cause de la maladie de Parkinson?

- Il s'agit d'une maladie neurodégénérative chronique qui affecte le système nerveux central.
- Elle est causée par la perte de neurones qui produisent la DOPAMINE.



Responsable du bon contrôle des mouvements.

- Elle affecte les fonctions motrices et cognitives de l'individu.



# Symptômes

## Principaux symptômes moteurs :

- Bradykinésie (ralentissement mouvement volontaire)
- tremblement
- rigidité musculaire
- instabilité posturale

## Principaux symptômes non moteurs:

- troubles du sommeil
- Douleur
- dépression
- Faible sensibilité olfactive



# Évaluation clinique



## Évaluation des symptômes : MDS-UPDRS

Movement Disorder Society's revision of the Unified Parkinson Disease Rating Scale

4 grandes parties : expériences non motrices de la vie quotidienne, expériences motrices de la vie quotidienne, examen moteur et complications motrices



L'examineur attribue une note comprise entre 0 (normal) et 4 (sévère)



Limites : subjectivité, dépendance à l'égard d'évaluateurs expérimentés et coopération des patients

# Traitement des symptômes



Il n'y a pas de remède pour la MP



Le traitement des symptômes est très important pour améliorer la qualité de vie du patient



Les exercices de physiothérapie traditionnels peuvent être considérés comme fatigants et répétitifs

# Problèmes

**Limitations MDS-UPDRS**

**Thérapie démotivante**

## Solutions

**Serious games avec un dispositif de contrôle intégrant des capteurs inertiels**

**Serious games et réalité virtuelle pour offrir une expérience plus agréable**

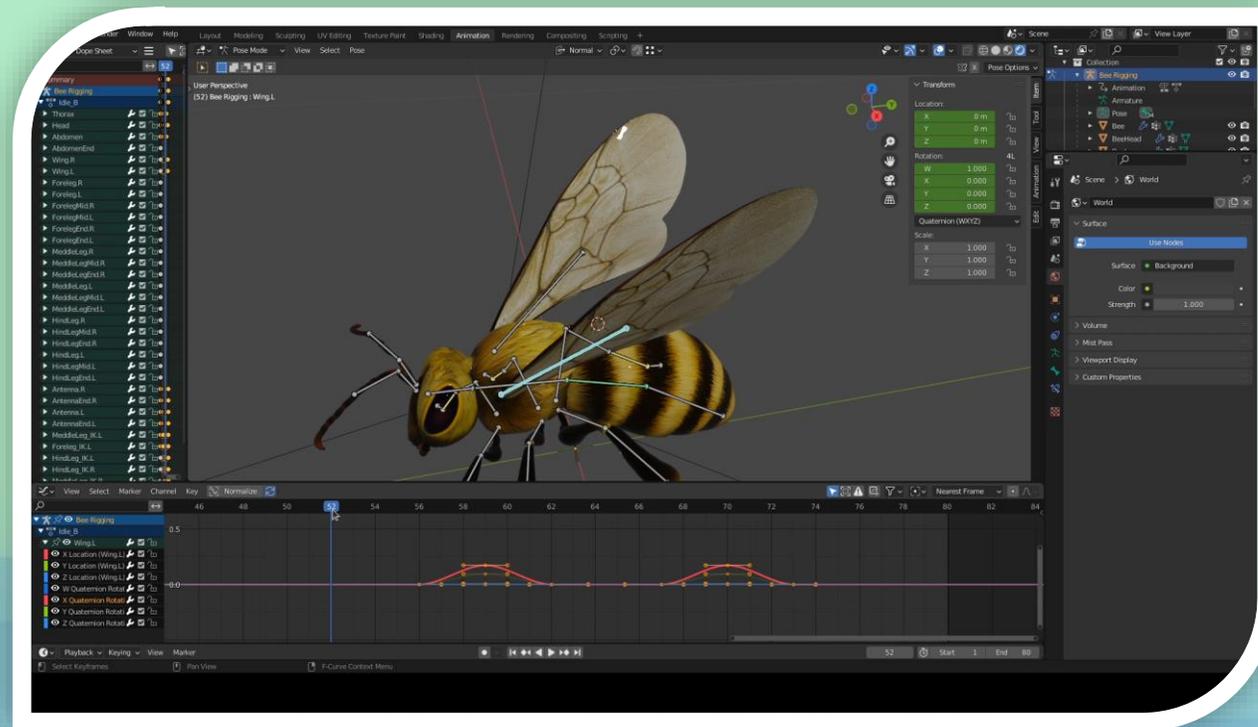
# Jeu sérieux RehaBEElitation

- Jeu sérieux basé sur les abeilles pour la réadaptation des membres supérieurs des personnes atteintes de la maladie de Parkinson (MP)
- Les abeilles représentent le travail, l'effort et le dévouement, des caractéristiques requises des patients atteints de la maladie de Parkinson pendant le processus de réadaptation
- Nom du jeu : RehaBEElitation



# Outils de developpement

- Unity 3D : Création de scénarios de jeu, d'interactions avec des objets et d'animations
- Blender 3D : modélisation des objets du jeu
- Visual Studio 2019 : construction du panneau de contrôle du jeu en langage C#



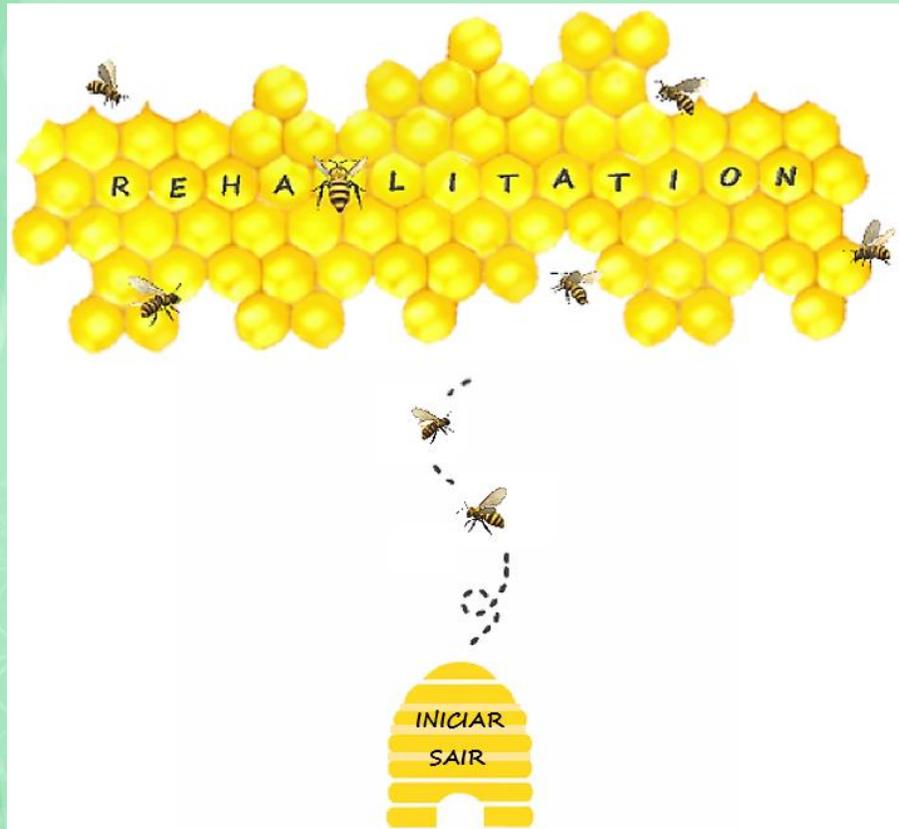
# Le jeu

- Les tâches du jeu ont été conçues pour reproduire les mouvements présents dans l'évaluation motrice du MDS-UPDRS (Partie III):
  - Ouverture et fermeture de la main
  - Extension et flexion de la main
  - Adduction et abduction de la main
  - Pincement de doigts
  - Supination et pronation de l'avant-bras.
- Le jeu se compose de quatre phases, et chacune représente une tâche d'une abeille ouvrière dans la ruche:
  - Pollinisation des fleurs
  - Nourrir les larves
  - Récolter du nectar
  - Sécher le nectar.

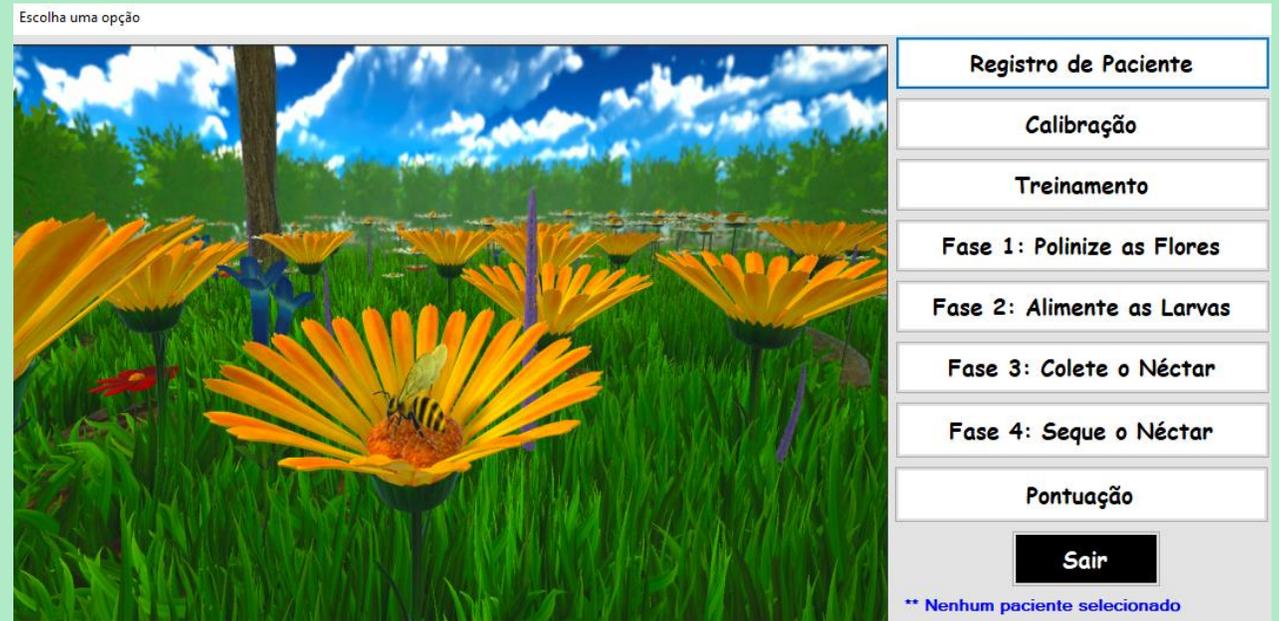


# Interface

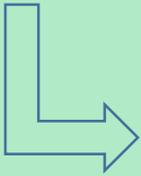
Ecran de présentation du serious game



Menu du jeu



# Phases du Jeu

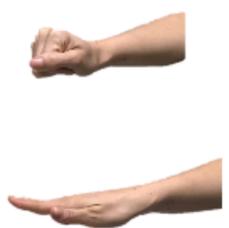
- Afin que le joueur comprenne l'objectif de chaque phase du jeu, 4 courtes vidéos ont été développées pour expliquer aux joueurs les quatre fonctions qu'une abeille remplit
-  une vidéo pour l'une des 4 fonctions couvertes dans le jeu

Stage 1 Video: <https://youtu.be/yIKhfEc4FMo>

Stage 2 Video: <https://youtu.be/mgs1dIGDmh4>

Stage 3 Video: <https://youtu.be/PWHwGZUv2Zc>

Stage 4 Video: <https://youtu.be/oPrgAIEBTYY>

Phases	Main Movement	Movement Representation	Action performed
Phase 1 : Pollinating flowers	Hand closing Hand opening		Collect pollen from flowers Deposit pollen in flowers
Phase 2 : Feeding the larvae	Hand extension Hand flexion Hand adduction Hand abduction		Move the bee up Move the bee down Move the bee to the left (if playing with right hand) Move the bee to the right (if playing with right hand)
Phase 3 : Collecting the nectar	Finger tapping		Collect nectar from flowers
Phase 4 : Drying the nectar 28/03/2024	Forearm supination Forearm pronation		Flap the bee's wings

Les mouvements mis en évidence dans chaque étape, ainsi que les mouvements effectués par le joueur qui correspondent à ceux effectués par l'abeille dans le jeu sont affichés sur le plateau :

Vidéo du jeu:

<https://youtu.be/5E6p5bkkyQ8>

# Interface humain-machine (IHM)

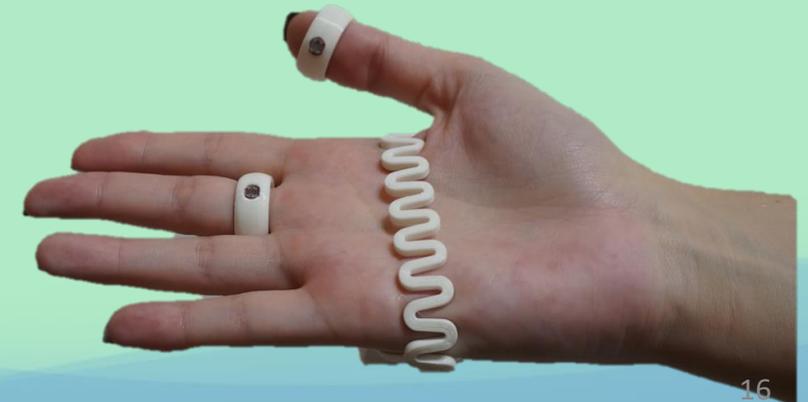
- Pour interagir avec le jeu : dispositif IHM portable développé.
  - unité de mesure de mouvement : capteurs inertiels avec un accéléromètre XYZ à trois axes, un gyroscope XYZ à trois axes et un magnétomètre XYZ à trois axes, capables d'estimer l'orientation de la main.



IHM portable version 1

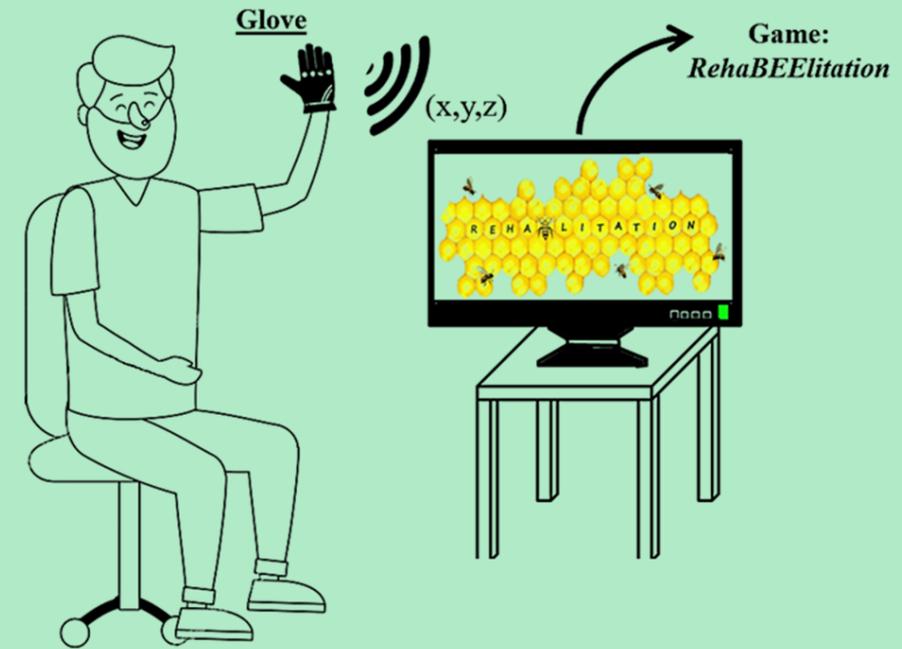


IHM portable version 2



# Interface homme-machine (IHM)

- L'IHM mesure les mouvements de la main de l'utilisateur
  - Orientation de la main dans l'espace 3D définie par les angles de rotation dans les axes X, Y et Z.
  - Un microcontrôleur (ESP32) traite les informations des capteurs et les envoie au jeu via WiFi.
  - Valeurs mesurées dans le capteur inertiel, estimation par des équations mathématiques appropriées, trois angles de rotation:
    - roll (extension et flexion de la main),
    - pitch (supination et pronation de l'avant-bras)
    - yaw (adduction et abduction de la main).



# En jeu

- [https://ultv.univ-lorraine.fr/video/12241-patient\\_phase1mov](https://ultv.univ-lorraine.fr/video/12241-patient_phase1mov)



# Évaluation de l'utilisabilité du jeu

- Au stade de la conception : assurer une bonne interaction de l'utilisateur avec le système
- Évalué par quatre évaluateurs

## **Scores de gravité:**

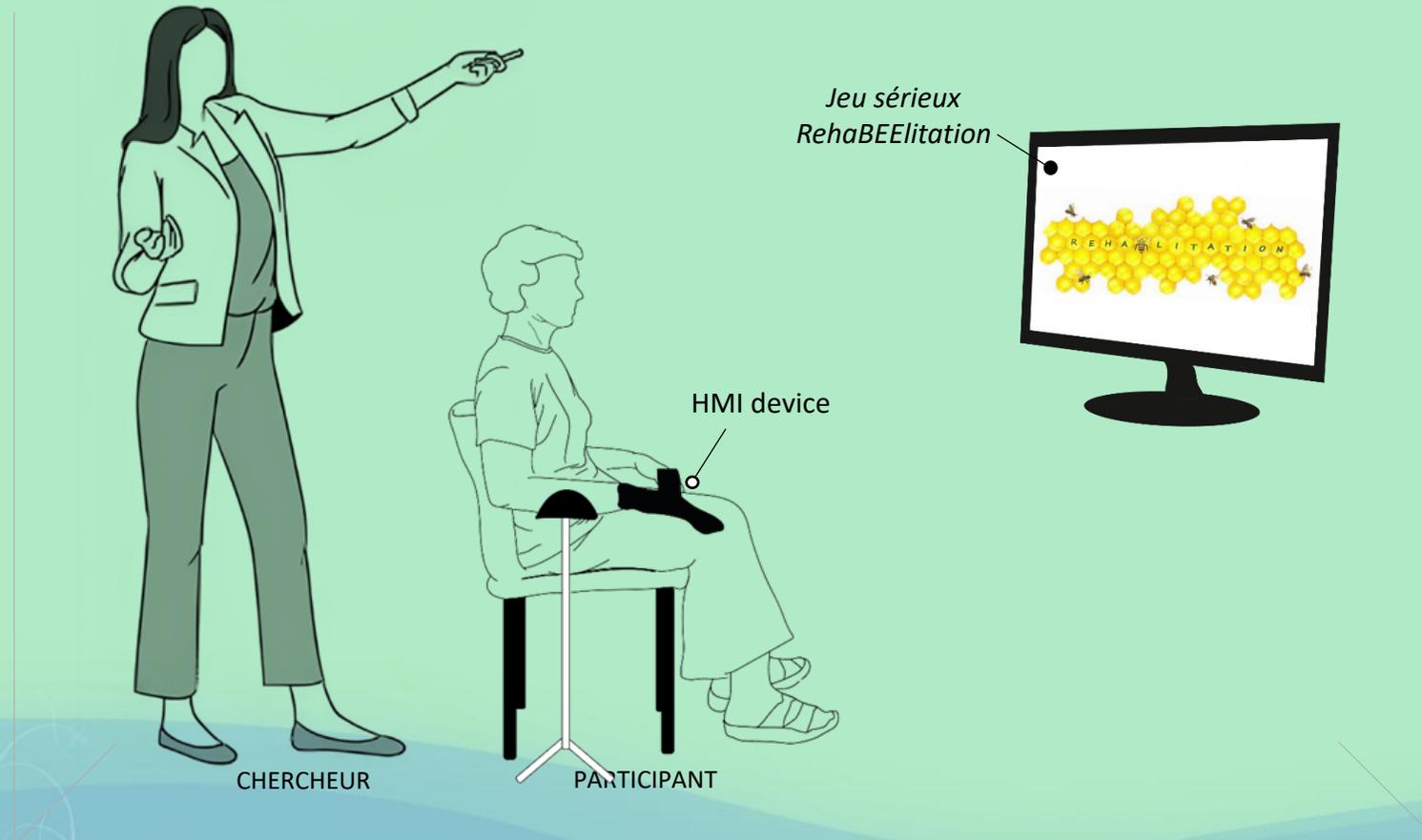
- 0 – Aucun problème d'utilisabilité
- 1 – Problème superficiel
- 2 – Problème mineur d'utilisabilité
- 3 – Problème majeur d'utilisabilité
- 4 – Catastrophe de l'utilisabilité

# Évaluation de l'utilisabilité – Interaction avec l'utilisateur

- 5 patients atteints de la maladie de Parkinson (1 femme, 4 hommes,  $68 \pm 5,83$  ans)
- Le nombre d'utilisateurs est suffisant pour détecter plus de 80 % des problèmes d'utilisabilité.
- Critères d'admissibilité:
  - un diagnostic confirmé de MP
  - être âgé de 40 à 100 ans
  - ont un stade léger à modéré de MP
  - avoir un score au Mini Mental State Examination (MMSE)  $> 22$
  - ne pas avoir de déficience visuelle et auditive grave
  - ne pas avoir d'antécédents d'autres maladies neurologiques

# Évaluation de l'utilisabilité – Interaction avec l'utilisateur

Scénario expérimental



20 minutes  
par phase

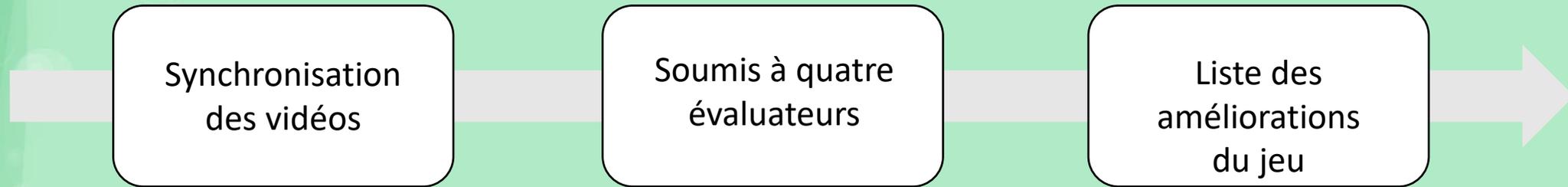
Parlez à voix  
haute

- Vidéos enregistrées
- Main de l'utilisateur et réaction
  - Écran de jeu

# Méthodes d'évaluation de l'utilisabilité

- Méthodologie centrée sur l'utilisateur:
- Questionnaire
  - System Usability Scale (SUS) : évalue l'utilisabilité d'un système
  - Questionnaire sur l'expérience de jeu (GEQ) : évalue l'expérience de jeu à travers la perception du joueur
    - Composantes : immersion, flux/engagement, compétence, effet positif, effet négatif, tension, défi, expérience positive, expérience négative, fatigue et rappel à la réalité
  - Short Flow State Scale (SFSS) : évalue l'expérience de flux/engagement du joueur
  - Analyse observationnelle
    - Les vidéos ont été synchronisées et envoyées à 4 évaluateurs
  - Serious Game Usability Evaluation (SeGUE):
    - Outil avec 2 catégories - événements liés au système et à l'utilisateur
    - Les évaluateurs ont évalué les événements négatifs et positifs et ont été étiquetés selon les 2 dimensions de SeGUE

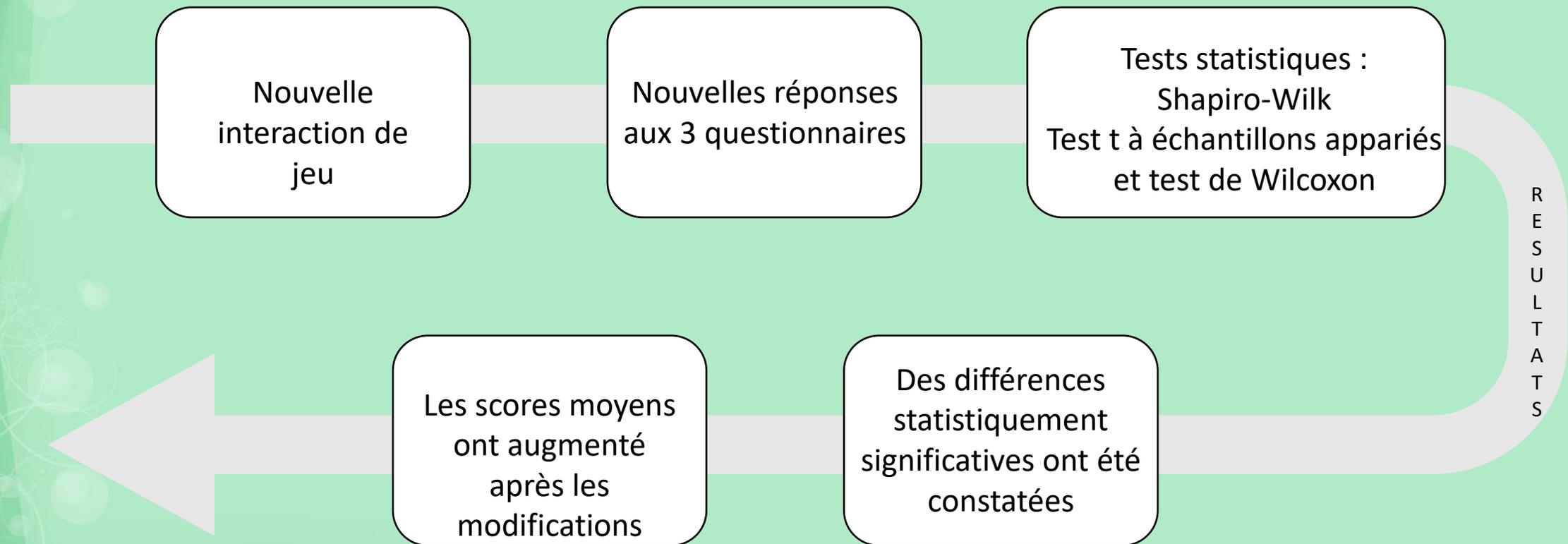
# Évaluation de l'utilisabilité – Interaction avec l'utilisateur



Résultats de l'évaluation de l'interaction utilisateur

	<b>Identified issues</b>	<b>Improvement actions</b>
1 <sup>st</sup>	Glove with few conductive threads sewn in	Sew more conductive threads (larger area)
2 <sup>nd</sup>	Small target area in Phase 1	Increase the target area
3 <sup>rd</sup>	3D hand that appears on the screen (Phase 1) always open	Leave the 3D hand in the same condition as the player's hand
4 <sup>th</sup>	Poorly positioned targets (Phases 2 and 4) near the edges of the screen	Remove these targets

# Évaluation de l'utilisabilité – Interaction avec l'utilisateur



- Narration et interface simples et intuitives

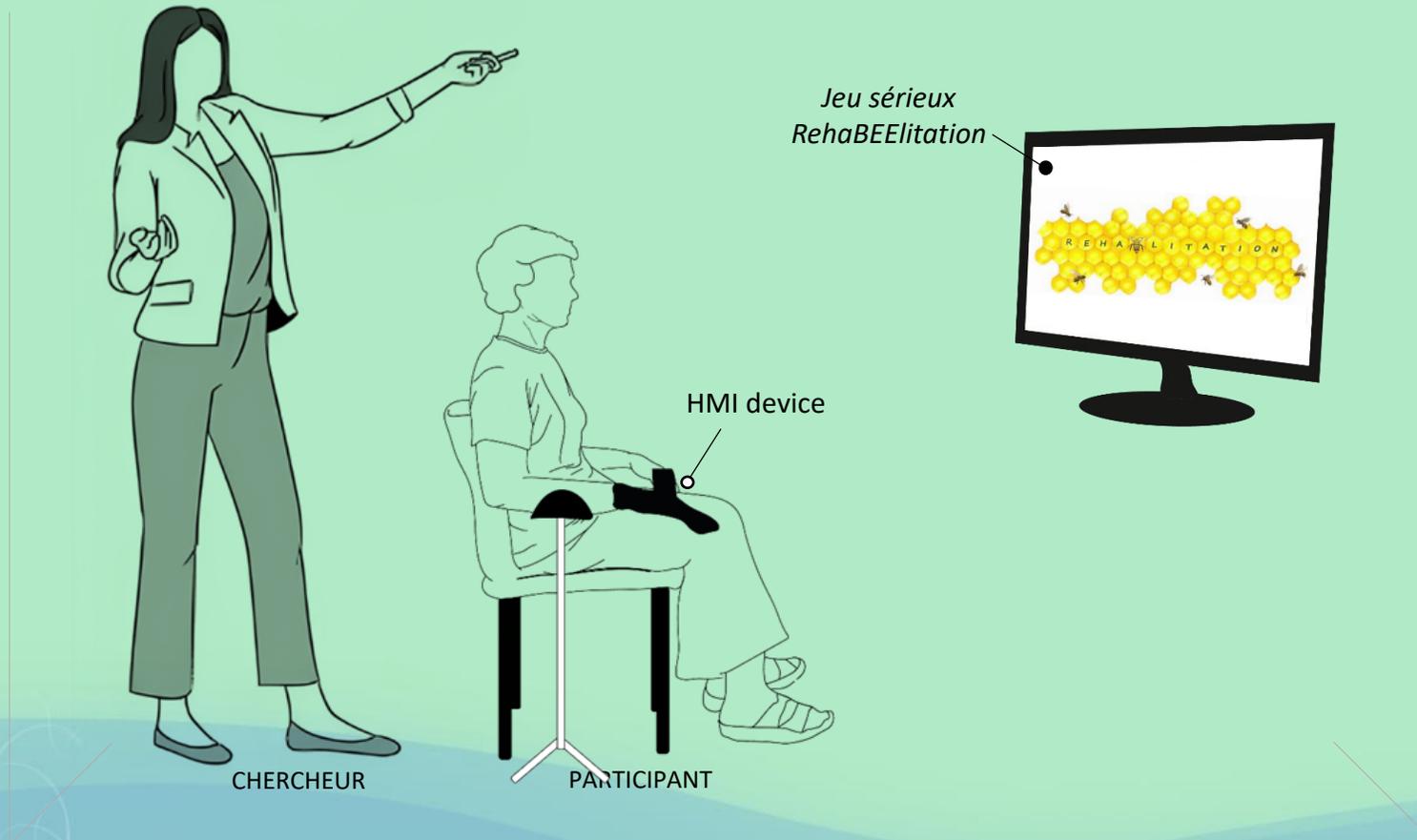
# Évaluation de l'accessibilité du jeu

- 30 participants étaient impliqués
  - 15 sujets sains (groupe témoin – CG)
  - 15 personnes atteintes de la maladie de Parkinson (groupe expérimental – EG)
- Âges et sexes appariés
- Critères d'admissibilité



# Évaluation de l'accessibilité du jeu

## Scénario expérimental



5 minutes par phase

EG : États ON et OFF du médicament  
Levodopa

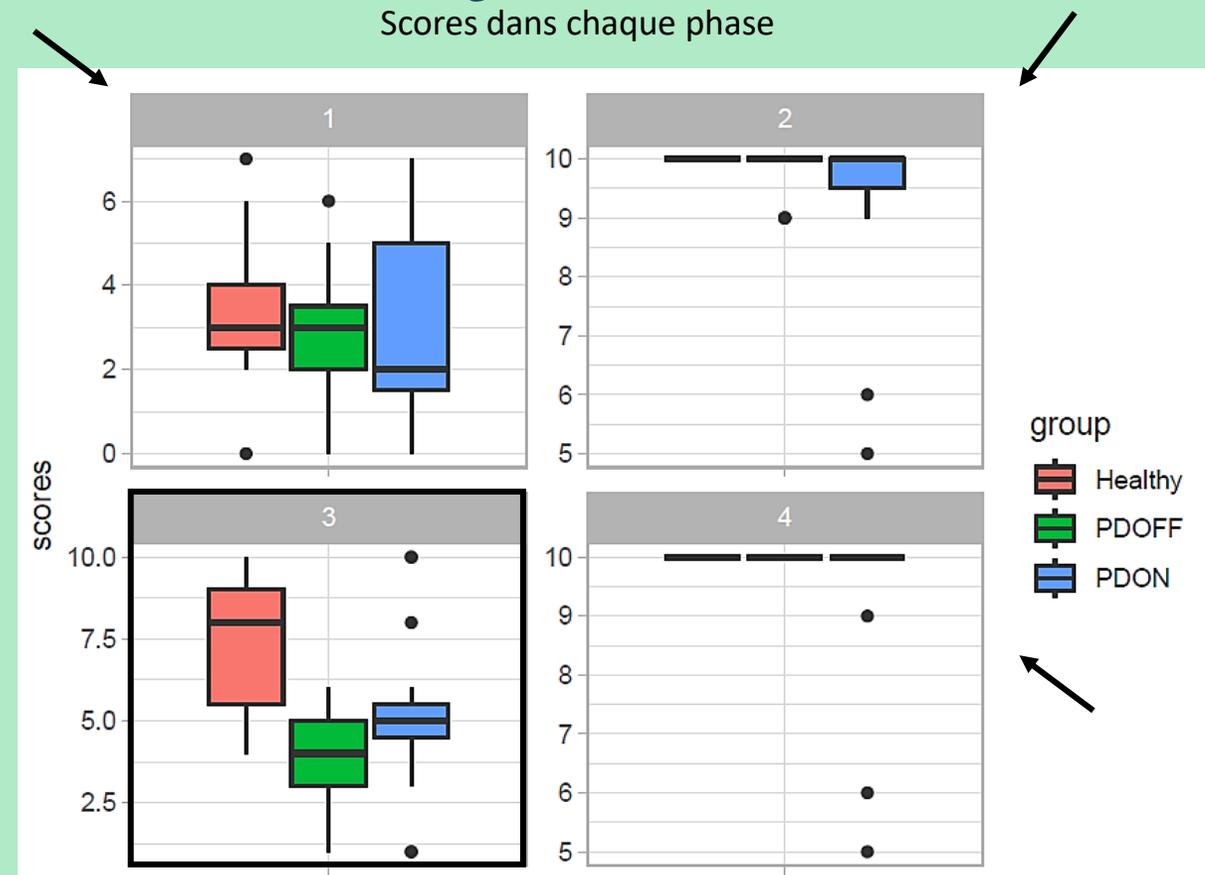
CG : séance unique

# Évaluation de l'accessibilité du jeu

- Comparer les scores des joueurs à chaque phase
- Tests statistiques :
  - Shapiro-Wilk
  - Analyse de variance à un facteur (ANOVA) et t-test avec correction de Bonferroni pour les comparaisons par paires (paramétrique)
  - Kruskal-Wallis (non paramétrique)

# Évaluation de l'accessibilité du jeu - Résultats

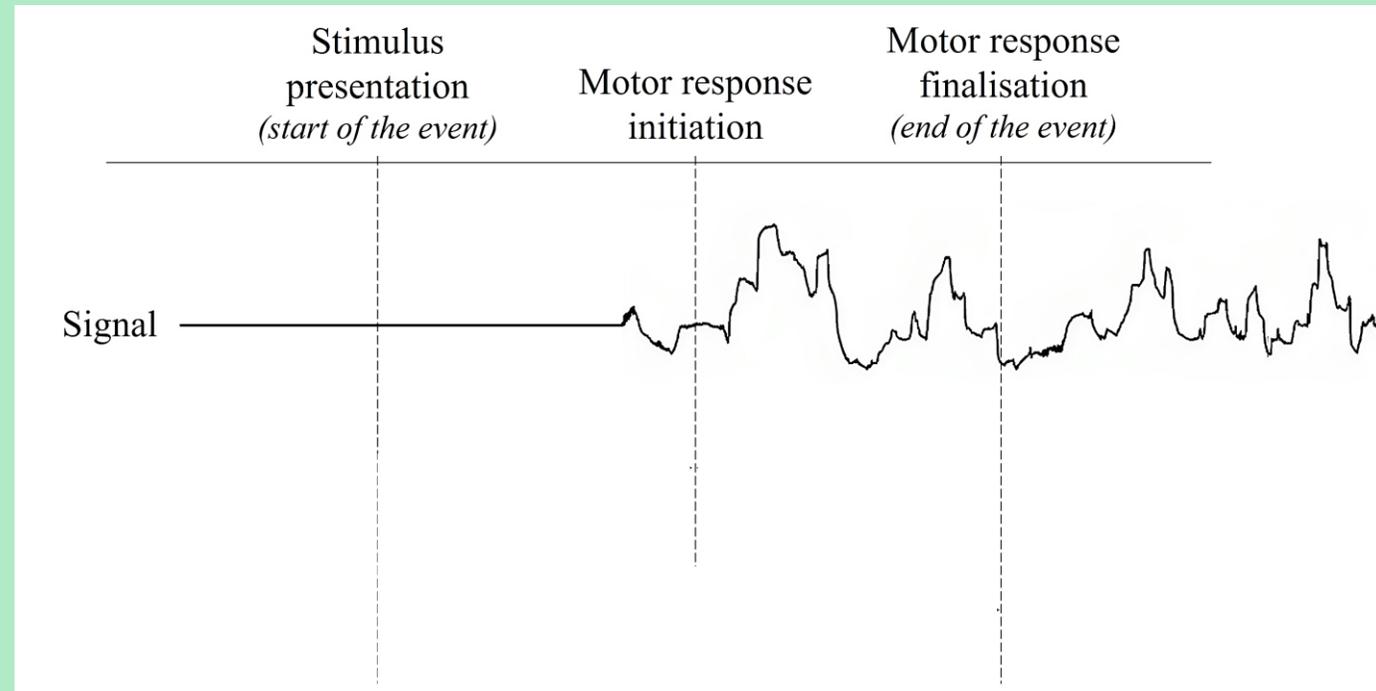
- Phases 1, 2, et 4:
  - Aucune différence statistiquement significative n'a été constatée
- Phase 3:
  - Des différences statistiquement significatives ont été trouvées entre CG et EG-OFF et entre CG et EG-ON
- Le jeu peut être joué à un niveau compétent par les deux groupes



# Évaluation de la bradykinésie

- Se manifeste par:
  - lenteur des mouvements
  - Allongement du temps de réaction
  - Prolongation du temps de mouvement
  - prolongation du temps de réponse (RT)

RT definition



# Évaluation de la bradykinésie

## Évaluation clinique

### Éléments MDS-UPDRS

3.4a et 3.4b

3.5a et 3.5b

3.6a et 3.6b

## Évaluation objective

### Temps de réponse (RT)

*Temps de réaction et temps de mouvement*

### Vitesse angulaire (AV)

vitesse d'exécution du mouvement

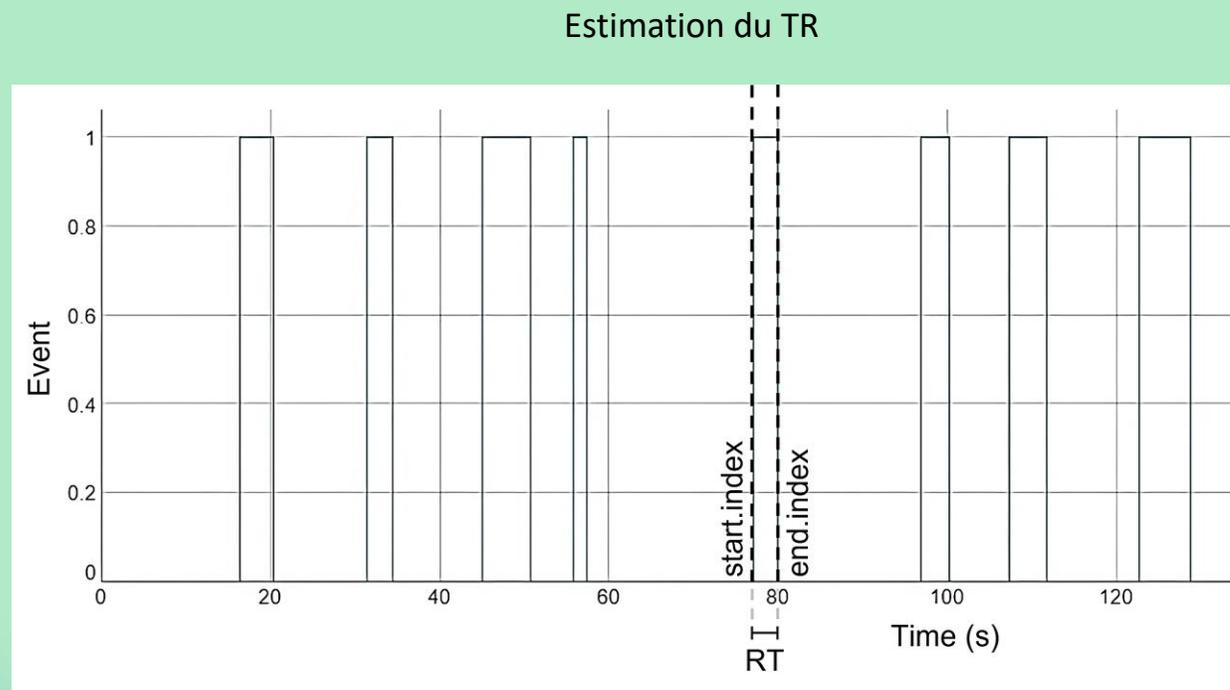
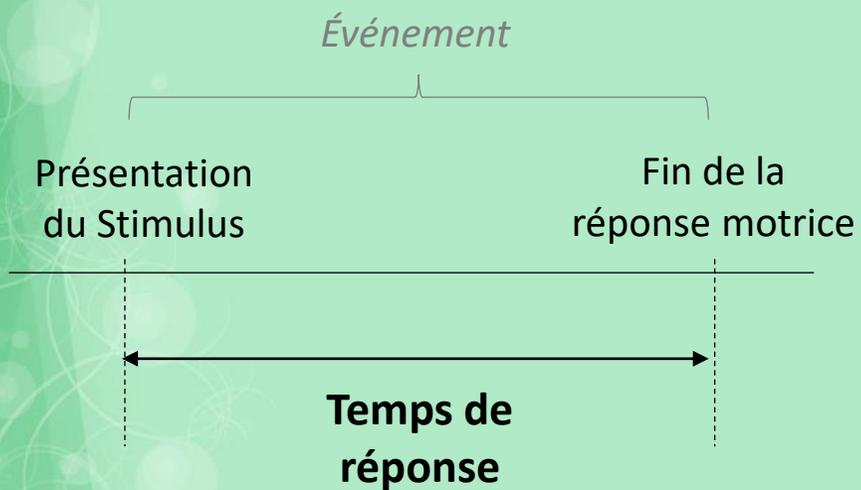
*temps de mouvement*

# Évaluation de la bradykinésie

- Estimation de la moyenne RT et AV
  - 1 000 échantillons
- Tests statistiques:
  - Shapiro-Wilk
  - Test de Kruskal-Wallis et Wilcoxon avec correction de Bonferroni pour les comparaisons par paires (non paramétrique)

# Temps de réponse

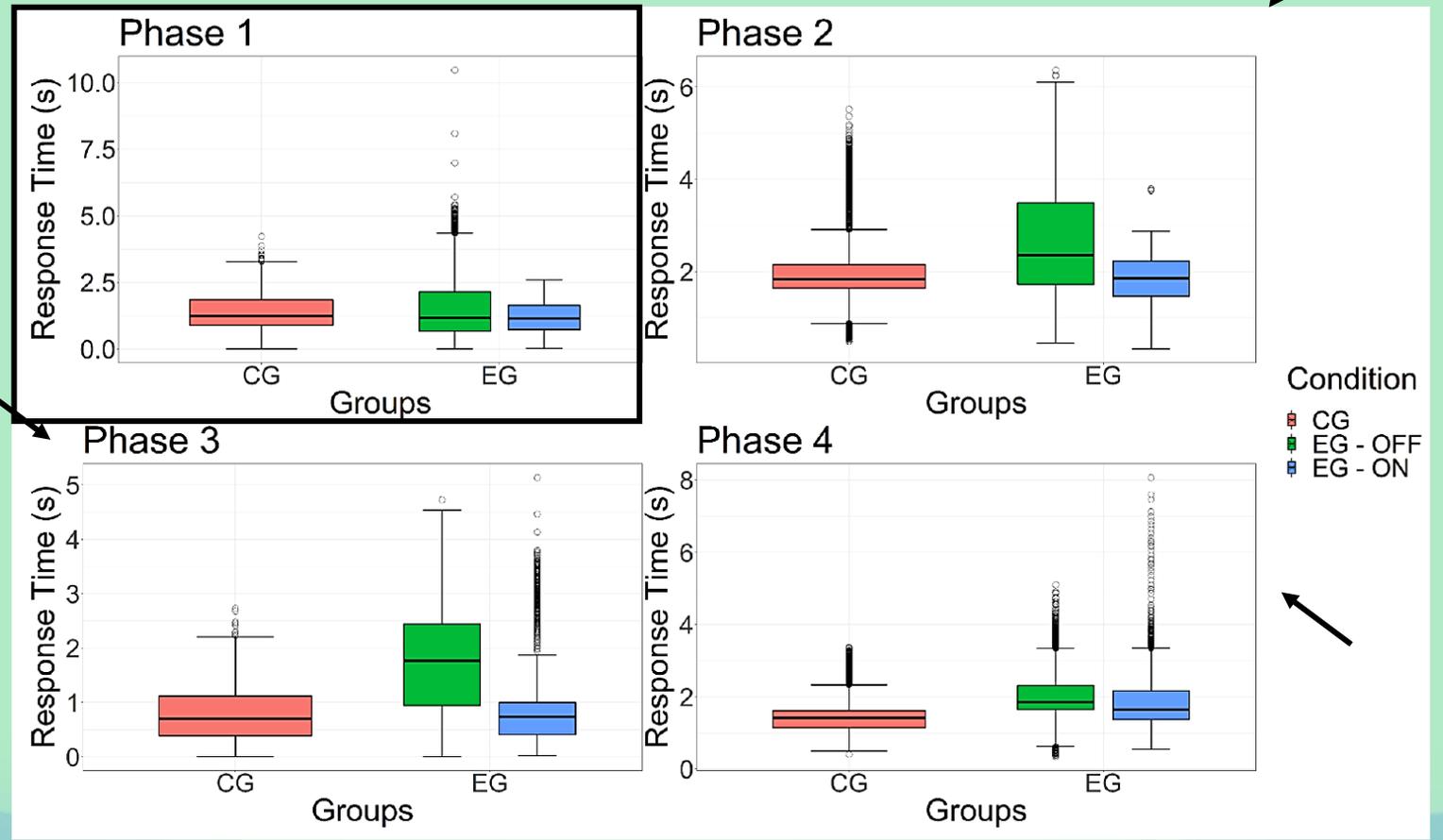
- Durée d'un événement : différence entre l'indice de fin et l'indice de début



# Temps de réponse - Résultats

- Phases 2, 3 et 4:
  - CG avait le RT le plus bas, suivi de l'EG-ON, puis de l'EG-OFF
- Phase 1:
  - EG-ON a montré les meilleurs résultats, suivi du CG, puis de l'EG-OFF
- $p < 0.05$

Résultats du RT pour chaque phase



# Vitesse angulaire

- Phase 4 (supination et pronation de l'avant-bras)

Signal d'origine = Mouvement volontaire + Mouvement involontaire

Évaluation de la  
bradykinésie

Évaluation des  
tremblements

- Méthode de décomposition du signal : Analyse du spectre singulier (SSA) → **composante de tendance**

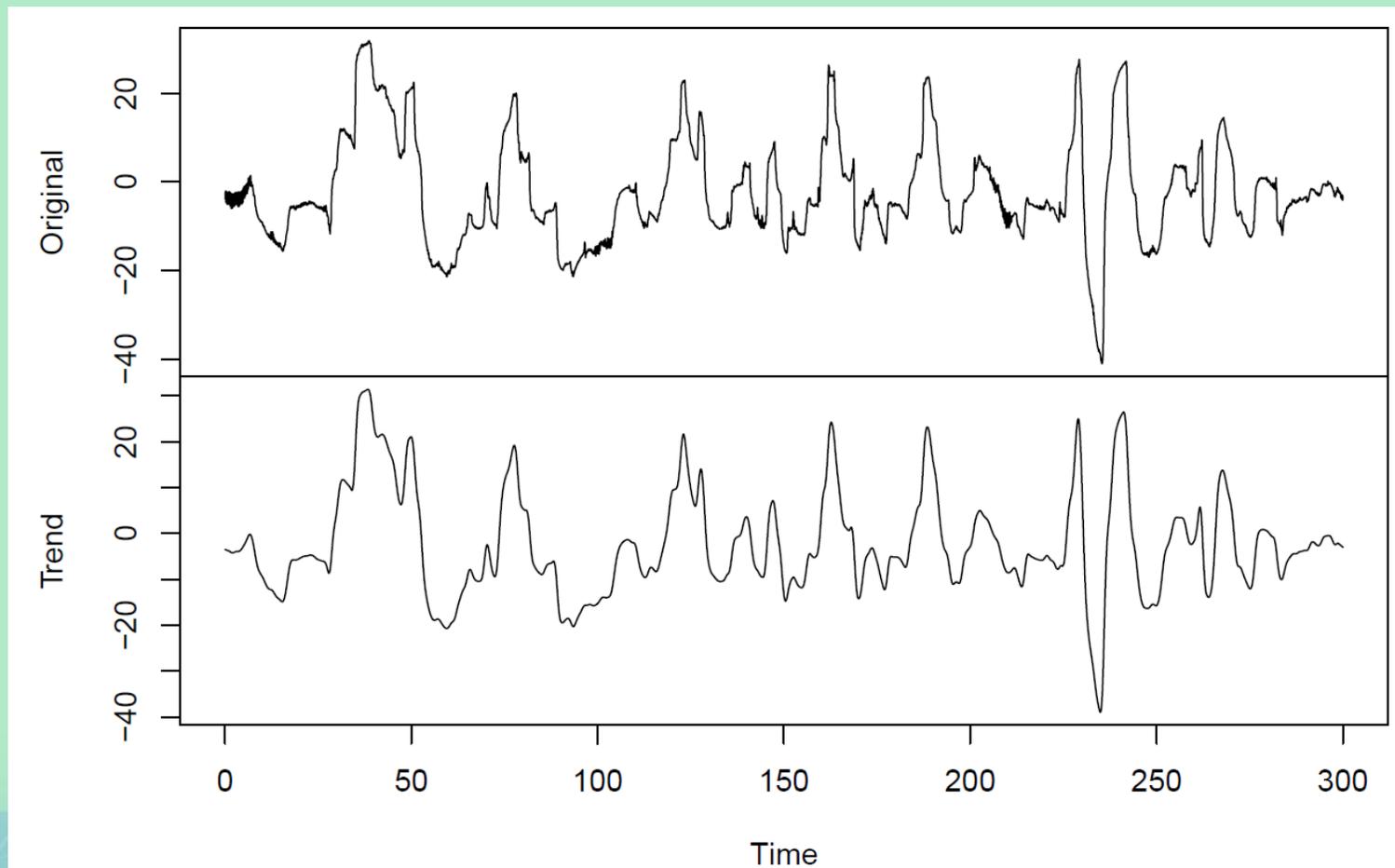
méthode de décomposition d'une série temporelle en un ensemble de composantes qui sont regroupées et interprétées, et la série temporelle originale est reconstruite en additionnant toutes ses composantes

utilisée pour supprimer les composantes périodiques et/ou tendanciennes d'une série temporelle, en ne laissant qu'une composante particulière, qui peut avoir une signification réelle et interprétable

- Identification et discrimination des pics → VA maximum dans chaque mouvement

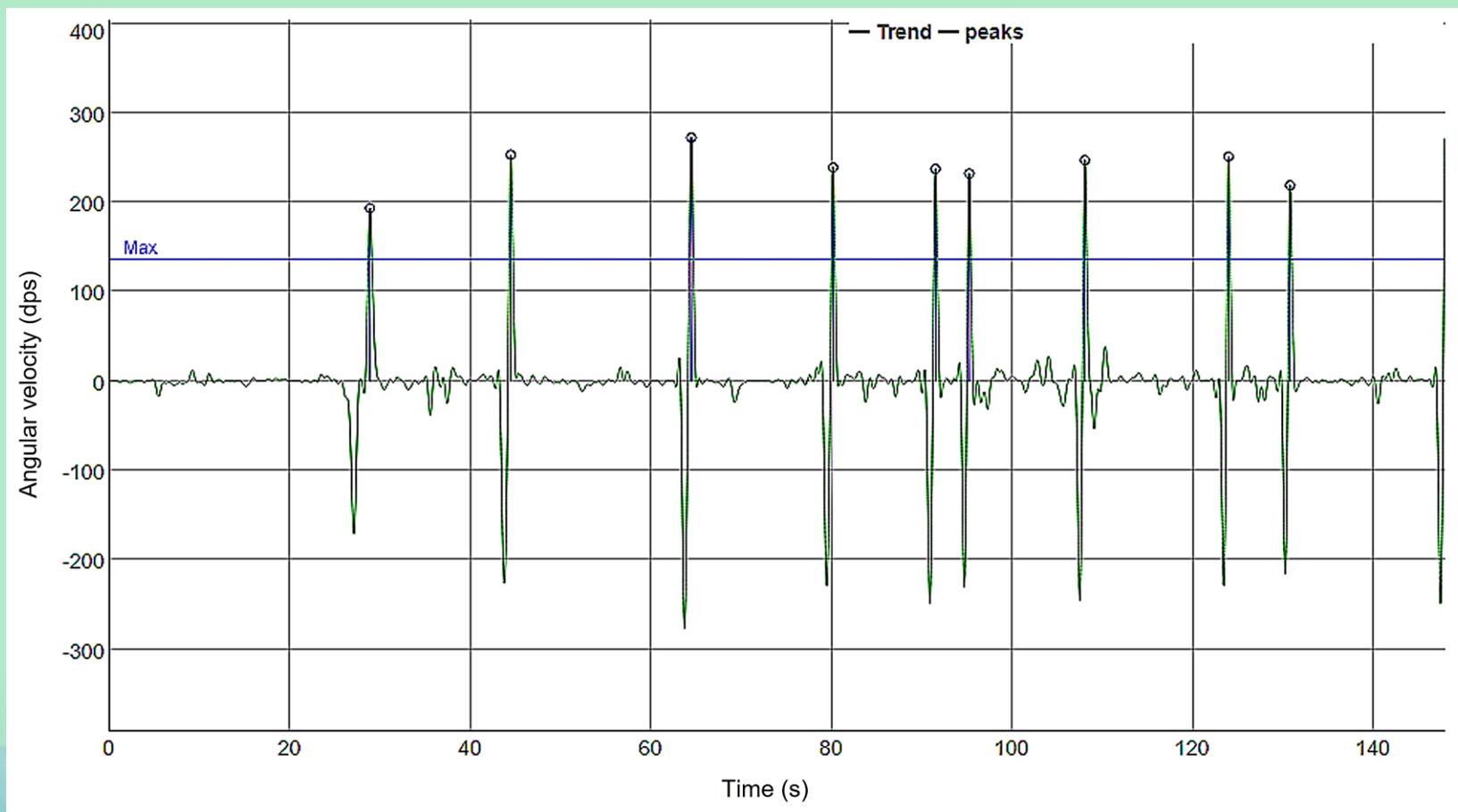
# Vitesse angulaire

Décomposition du signal du gyroscope



# Vitesse angulaire

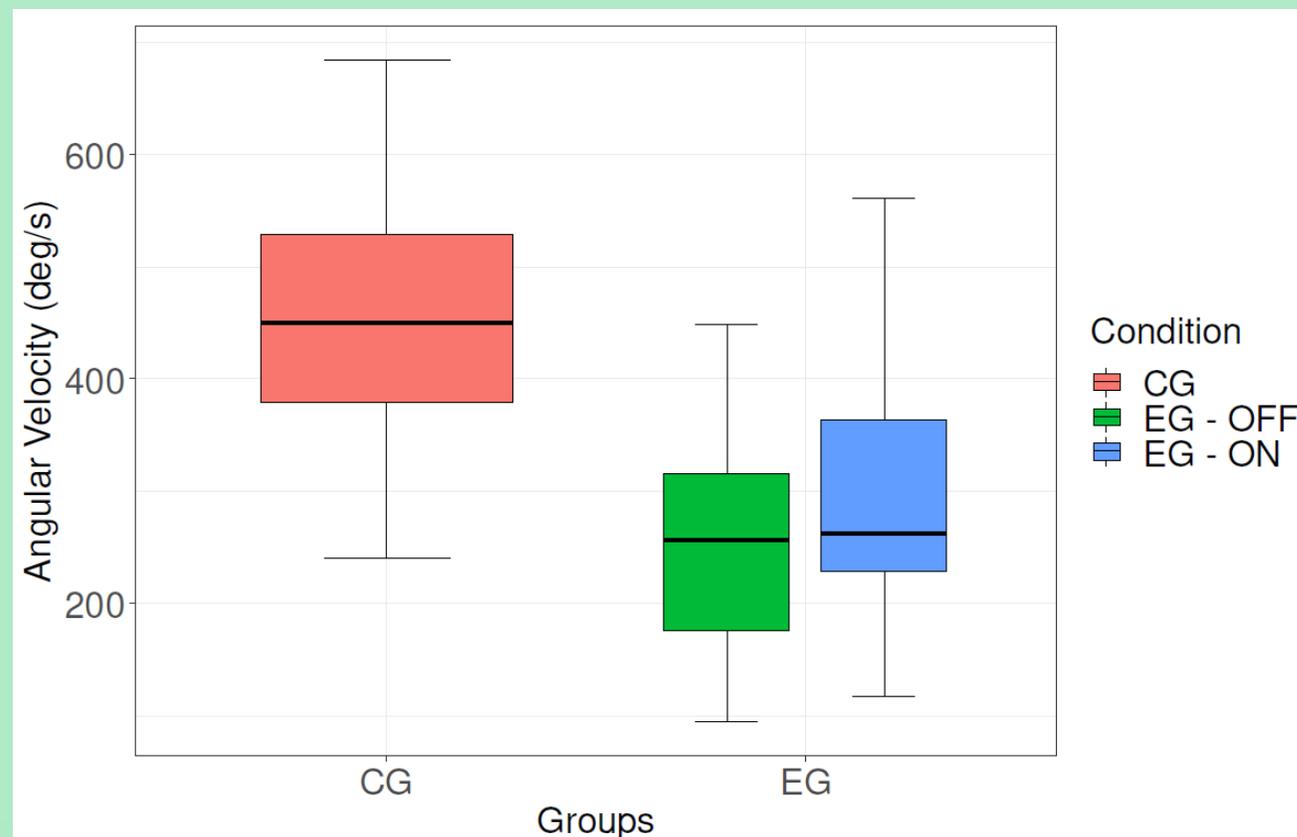
Détection des pics (VA Maximale)



# Vitesse angulaire - Résultats

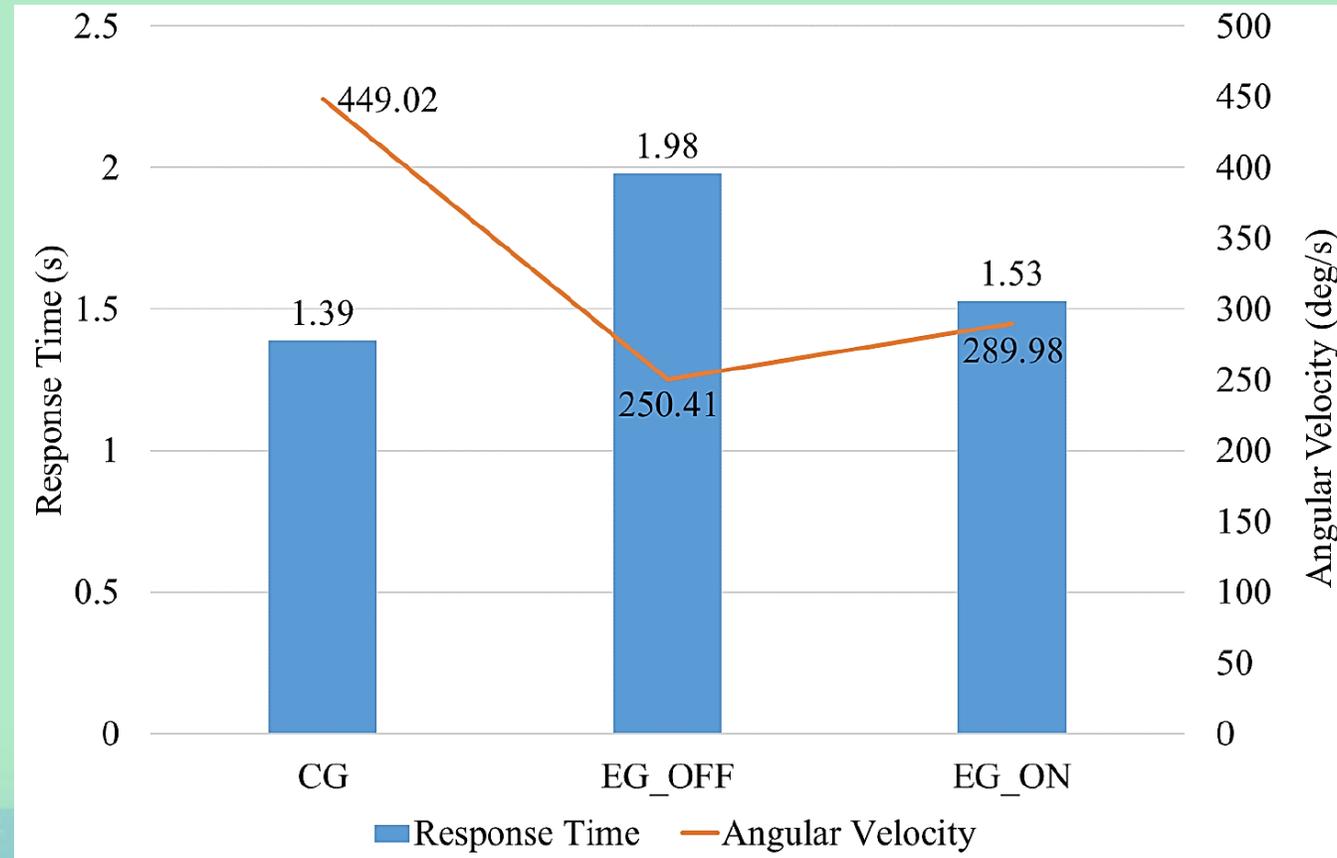
- CG a présenté la plus grande VA, suivi de l'EG-ON, puis de l'EG-OFF
- $p < 0.05$

Résultats AV (Phase 4)



# Évaluation de la bradykinésie

Valeurs moyennes du TR et de la VA



# Évaluation des tremblements

- Oscillation rythmique et involontaire d'une partie du corps
- Tremblement au repos (4 – 7 Hz)

## Évaluation

### clinique

Éléments MDS-  
UPDRS

3.15a et 3.15b

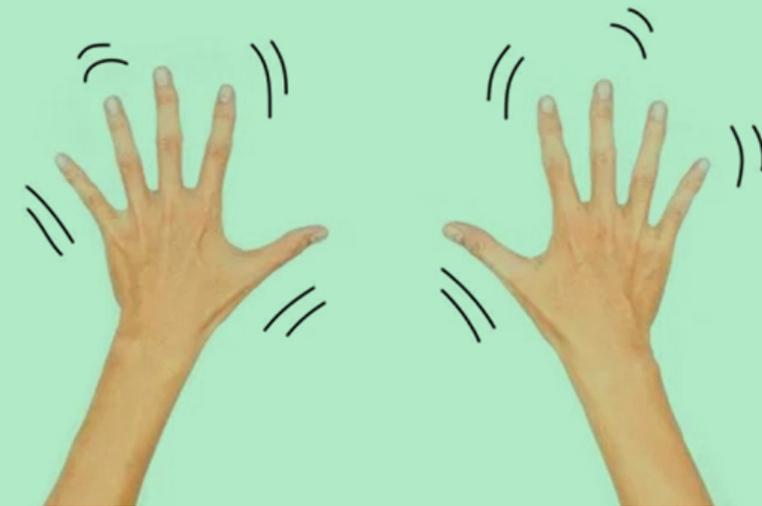
3.16a et 3.16b

3.17a et 3.17b

## Évaluation objective

Détection des  
tremblements

Signaux gyroscopiques  
(Phase 4)



# Évaluation des tremblements

- Détection des tendances:
  - Estimation moyenne pour les fenêtres de 200 ms (chevauchement de 50 %)
  - Interpolation (splines)

$$\text{Tremblement} = \text{Signal d'origine} - \text{Tendance}$$

- Extraction des caractéristiques

## Domaine temporel

Caractéristiques sensibles à l'amplitude :

- valeur absolue moyenne (MAV)
- racine carrée moyenne (RMS)

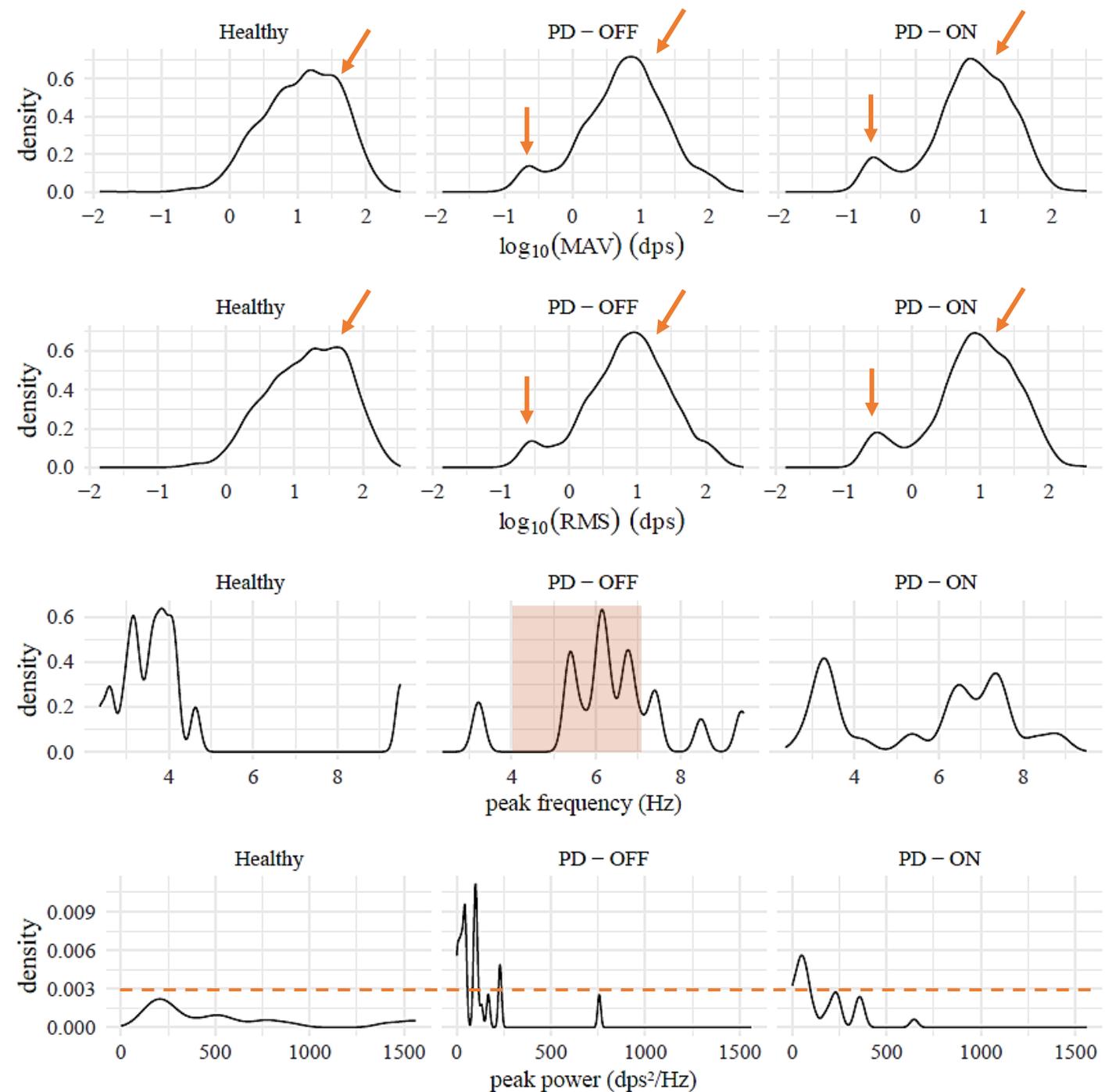
## Domaine fréquentiel

Fonction sensible à la fréquence :

- densité spectrale de puissance (PSD)
- (fréquence de crête et puissance de crête)

# Évaluation du tremblement – Résultats

- MAV et RMS : les distributions PD-OFF et PD-ON avaient le plus de chances d'avoir un aspect bimodal
- PD-OFF avait la plus grande probabilité que les fréquences de crête se situent entre 4 et 7 Hz
- PD-OFF avait la plus forte probabilité d'avoir la puissance de crête la plus élevée



**Classification des coefficients:**

très faible(0.00–0.19)

faible (0.20–0.39)

modéré (0.40–0.59)

fort (0.60–0.79)

très fort (0.80–1.00)

# Évaluation du tremblement- Résultats

- Corrélation entre la MAV et la RMS et les scores cliniques
- La plupart des coefficients ont révélé une corrélation modérée à très forte
- Élément MDS-UPDRS avec la meilleure corrélation : amplitude du tremblement au repos

	MDS-UPDRS											
	<i>3.15a</i>		<i>3.15b</i>		<i>3.16a</i>		<i>3.16b</i>		<i>3.17a</i>		<i>3.17b</i>	
	<i>OFF</i>	<i>ON</i>										
<b>MAV</b>	0.494	0.640	0.447	0.866	0.809	0.342	0.447	0.577	0.562	0.213	0.866	0.866
<b>RMS</b>	0.494	0.569	0.447	0.866	0.809	0.266	0.447	0.577	0.562	0.142	0.866	0.866

- Les participants EG dans l'état OFF ont montré une bradykinésie et des tremblements accrus par rapport à l'état ON

# Conclusion

- Le système développé constitue une alternative capable d'évaluer les principaux symptômes moteurs de la maladie de Parkinson de manière objective et ludique.



# Remerciements

