



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



FACULTÉ  
DE PHARMACIE



SCIENCES  
INGÉNIERIE  
SANTÉ



**Master IS**

**M1 Parcours ITD**

**« Innovations en Thérapeutique et Diagnostic »**

## **Evaluation posturographique instrumentale (HUNOVA) dans une filière neurologique : étude préliminaire**

*présenté par*

**DORKEL Emma**

***Stage effectué à : Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation de Nancy -  
UGECAM Nord-Est***



***Sous la direction de : REQUENA Christelle, coordonnatrice de projets et PIERRET  
Jonathan, responsable de service de la Cellule de Recherche Clinique et d'Innovation***

**Année 2025-2026**

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Présentation de l'établissement d'accueil.....                             | 1  |
| I. Introduction .....                                                      | 2  |
| 1. Contrôle postural et équilibre.....                                     | 2  |
| 2. Du contrôle postural à la fonction et au risque de chute.....           | 2  |
| 3. Les atteintes neurologiques centrales et leurs déficits posturaux ..... | 3  |
| 4. La rééducation de l'équilibre dans le parcours de soin SMR .....        | 4  |
| 5. Des échelles cliniques aux outils instrumentés.....                     | 4  |
| 6. La plateforme Hunova® .....                                             | 5  |
| 7. Etat de la littérature sur Hunova® et ses limites.....                  | 6  |
| II. Objectifs du travail .....                                             | 6  |
| III. Matériel et Méthodes .....                                            | 7  |
| 1. Schéma d'étude et cadre .....                                           | 7  |
| 2. Cadre réglementaire et éthique .....                                    | 8  |
| 2.1. Conformité MR-004.....                                                | 8  |
| 2.2. Protocole .....                                                       | 8  |
| 2.3. Note d'information.....                                               | 9  |
| 2.4. Pseudonymisation .....                                                | 9  |
| 3. Participants et population d'analyse .....                              | 9  |
| 4. Sources des données.....                                                | 10 |
| 5. Variables et mesures .....                                              | 10 |
| 6. Construction et gestion de la base de données.....                      | 11 |
| 7. Contrôle qualité et nettoyage .....                                     | 11 |
| 8. Analyses statistiques .....                                             | 12 |
| 9. STROBE .....                                                            | 12 |
| IV. Résultats.....                                                         | 12 |
| 1. Résultats du nettoyage de la base de données.....                       | 12 |
| 2. Description de la population .....                                      | 13 |
| 3. Analyse de corrélations entre les paramètres Hunova® et cliniques.....  | 16 |
| 4. Evolution des paramètres entre la pré et la post-évaluation .....       | 16 |
| V. Discussion .....                                                        | 17 |
| VI. Conclusion et perspectives .....                                       | 21 |
| VII. Références bibliographiques .....                                     | 23 |
| Résumé.....                                                                | 25 |
| Abstract .....                                                             | 25 |
| Annexes.....                                                               | 26 |

## Liste des abréviations

|                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|
| AP : Antéro-Postérieur                                             |
| AVC : Accident Vasculaire cérébral                                 |
| CNIL : Commission National de l'Informatique et des Libertés       |
| CJP : Critère de Jugement Principal                                |
| CoP : Centre de Pression                                           |
| DPI : Dossier patient informatisé                                  |
| HDH : Health Data Hub                                              |
| IRR : Institut Régional de Réadaptation                            |
| ML : Médio-Latéral                                                 |
| MPR : Médecine Physique et de Réadaptation                         |
| MR-004 : Méthodologie de Référence 004                             |
| RIPH : Recherche Impliquant la Personne Humaine                    |
| RNIPH : Recherche N'Impliquant pas la Personne Humaine             |
| SEP : Sclérose En Plaques                                          |
| SMR : Soins Médicaux et de Réadaptation                            |
| SNC : Système Nerveux Central                                      |
| STROBE : STrengthening the Reporting of OBservational Epidemiology |
| TC : Traumatisme Crânien                                           |
| YO : Yeux ouverts                                                  |
| YF : Yeux fermés                                                   |

## Liste des figures

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Plateforme Hunova®.....                                        | 6  |
| Figure 2 : Flow Chart de sélection des patients inclus dans l'étude ..... | 14 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I : Les 3 types de populations d'analyse .....                                                       | 9  |
| Tableau II : Les Tests cliniques .....                                                                       | 10 |
| Tableau III : Caractéristiques démographiques et cliniques de la cohorte (n=71) .....                        | 14 |
| Tableau IV : Description des paramètres Hunova® sur toute la population et par sous-groupe pathologique..... | 15 |
| Tableau V : Coefficient de corrélation de Spearman entre les variables (n=32) .....                          | 16 |
| Tableau VI : Résultats du test de Wilcoxon sur la comparaison des variables (n=14).....                      | 17 |

## Présentation de l'établissement d'accueil

Le Groupe UGECAM Nord-Est signifie “Union pour la Gestion des Établissements des Caisses de l'Assurance Maladie” et est composé d'activités de soins, de rééducation et de réinsertion dans les régions de Champagne-Ardenne et de Lorraine adaptées aux besoins de la population (1). L'UGECAM Nord-Est gère 32 établissements sanitaires et médico-sociaux comme l'Institut Régional de Réadaptation (IRR) - Filière Locomoteur au Centre Louis Pierquin à Nancy, l'IRR - Filière neurologique à Lay-Saint-Christophe ou encore l'IRR - Filière Pédiatrie à Flavigny-sur-Moselle (1).

L'IRR constitue l'établissement hospitalo-universitaire de Médecine Physique et de Réadaptation (MPR) de la Lorraine en lien avec des établissements spécialisés : le centre Louis-Pierquin pour les affections de l'appareil locomoteur chez les adultes, le centre de Lay-Saint-Christophe pour les affections neurologiques chez les adultes et le centre de Flavigny-sur-Moselle pour les affections locomotrices, neurologiques, les grands brûlés et les troubles de l'apprentissage chez les enfants (2).

Le centre MPR de Lay-Saint-Christophe prend en charge plusieurs types de profils de patients : accident vasculaire cérébral (AVC), traumatisme crânien (TC), blessé médullaire, sclérose en plaques (SEP), maladie de Parkinson, (2) ... Leur but est de les aider et de les accompagner dans leur projet de vie afin de permettre une réinsertion adaptée à leur besoin.

La Cellule Recherche Clinique et Innovations au sein de l'IRR et de l'UGECAM Nord-Est a pour missions de coordonner, structurer et piloter diverses activités et projets de recherche clinique afin d'améliorer la prise en charge des patients de chaque établissement (3). Elle apporte un soutien méthodologique, réglementaire, scientifique et organisationnel aux professionnels de santé, mais également un accompagnement aux investigateurs dans la conception des protocoles, la gestion administrative et réglementaire, le suivi des études ainsi que la valorisation des résultats (3). La structure coordonne actuellement près de 30 projets de recherche avec 40 publications scientifiques à son actif, répartis sur 7 établissements différents, dont ceux présentés précédemment (3).

La cellule porte également une volonté de valoriser le parc biomédical de l'UGECAM Nord-Est, dont les équipements génèrent en routine des données cliniques et instrumentales aujourd'hui peu exploitées, comme c'est le cas de la plateforme Hunova® utilisée au sein de l'IRR de Lay-Saint-Christophe depuis plusieurs années, alors qu'il y a un réel intérêt scientifique et clinique.

# I. Introduction

## 1. Contrôle postural et équilibre

Le contrôle postural est une capacité sensorimotrice complexe, fondamentale pour le maintien de l'équilibre dans les activités de la vie quotidienne (4). Cela repose sur l'assimilation des informations des systèmes somatosensoriel, vestibulaires et visuels (5). Le système nerveux central (SNC) réalise donc une repondération sensorielle en modifiant le poids accordé à chaque entrée sensorielle en fonction du contexte environnemental et de la tâche (6). Ces informations sont en association avec le système neuromusculaire ayant pour but de garder une posture verticale sur un support plat (équilibre statique) ou une stabilité lors de la marche (équilibre dynamique) (5).

L'orientation posturale désigne l'alignement actif du tronc et de la tête par rapport à la gravité, au support et à l'environnement visuel et nécessite un contrôle actif de l'alignement corporel et du tonus musculaire (6). L'équilibre postural, quant à lui, consiste à la coordination de stratégies de mouvement visant à stabiliser le centre de pression (CoP) du corps face aux perturbations (6). Ce contrôle de l'équilibre repose sur le SNC qui intègre ces informations en signaux moteurs (4).

L'équilibre est divisé en trois parties : l'équilibre statique/dynamique lors du maintien d'une position stable en étant assis, debout ou en marche, l'équilibre proactif lors d'anticipation d'une perturbation et l'équilibre réactif lors d'une compensation d'une perturbation. L'équilibre proactif repose également sur les ajustements posturaux anticipés qui sont des stratégies activées par le SNC avant l'exécution d'un mouvement volontaire d'un membre (6). Il est donc crucial, afin d'améliorer l'équilibre, que ces composants soient au centre de la rééducation (7). Les troubles de l'équilibre statique et/ou dynamique représentent une séquelle majeure du SNC et peuvent être observés lors de la vieillesse qui affectent les structures centrales ou quelle que soit la pathologie neurologique observée.

## 2. Du contrôle postural à la fonction et au risque de chute

Le contrôle postural n'est pas une simple capacité à maintenir une position statique, mais un socle indispensable pour la mobilité fonctionnelle et l'autonomie. Il existe un lien étroit et hautement prédictif entre la qualité de l'équilibre et la capacité de marche (8). En cas de déficit, les conséquences cliniques sont directes : limitations fonctionnelles dans les activités du quotidien, perte d'autonomie et d'indépendance (9). Les conséquences les plus graves sont le risque de chute qui constitue un problème de santé publique (10) pouvant entraîner des fractures du col de fémur ou entraîner un impact psychologique (11).

Les facteurs de risque de chute sont multifactoriels. Ils regroupent les altérations spatio-temporelles (vitesse de marche), les asymétries de marche, l'instabilité dynamique et les composantes sensorielles (proprioception, intégration visuo-vestibulaire), les composantes motrices (force, tonus) et les composantes cognitives (attention, fonctions exécutives). Par exemple l'asymétrie et la stabilité dynamique sont retrouvées chez les survivants d'AVC, et la variabilité des foulées et l'adaptabilité réduite pour la SEP (12). Ces facteurs multifactoriels justifient une évaluation instrumentée capable de les objectiver.

### 3. Les atteintes neurologiques centrales et leurs déficits posturaux

Les pathologies neurologiques constituent une cause majeure pouvant handicaper plus ou moins gravement la qualité de vie des patients en impactant le contrôle postural et l'équilibre. Elles sont souvent caractérisées par un dysfonctionnement moteur et un déséquilibre entraînant un risque accru de chute, ce qui peut impacter les activités de la vie quotidienne. Elles regroupent principalement les AVC, les atteintes médullaires périphériques et segmentaires, les atteintes démyélinisantes comme la SEP et les TC, mais peuvent également regrouper les atteintes cérébelleuses, les syndromes extrapyramidaux avec la maladie de Parkinson ou faire suite à une infection, une tumeur ou à une absence d'oxygène. Dans ces populations touchées, les chutes sont l'une des complications les plus courantes.

L'AVC est la principale cause d'invalidité de longue durée chez les adultes (13), correspondant à la deuxième cause de décès dans le monde (9). D'après l'OMS, l'AVC est caractérisé par l'apparition soudaine de signes et/ou de symptômes liés à des déficits focaux et/ou globaux de la fonction cérébrale d'une durée supérieure à 24 heures (9). La prévalence augmente mondialement au fil des années, avec une augmentation de 10% pour les AVC ischémiques et de 3% pour les AVC hémorragiques (9). Les atteintes du contrôle postural sont retrouvées chez 50 % des patients victimes d'AVC (7).

Chez les patients avec des atteintes médullaires et périphériques suite à un dommage traumatique à la moelle épinière, environ la moitié souffre de lésions incomplètes à ce niveau et aux nerfs périphériques (8). La récupération de la marche est donc l'objectif principal.

La SEP est une maladie inflammatoire chronique et dégénérative du SNC incurable (14), avec un risque de chute élevé. En effet, les troubles de l'équilibre concernent plus de la moitié des personnes atteintes de cette pathologie (15). Des études montrent que les troubles de l'équilibre sont plus marqués dans les directions médio-latérales (ML) que dans les directions antéro-postérieures (AP), il est donc important d'évaluer l'instabilité dans toutes les directions (15).

Les TC sont un problème de santé publique touchant 69 millions de personnes dans le monde chaque année (16). Une déficience de l'équilibre est présente même plusieurs années après l'événement. Les troubles de l'équilibre post-TC résultent d'une interaction multifactorielle pouvant toucher le système visuel, vestibulaire et/ou proprioceptif (16). En revanche, la preuve de Hunova® pour cette pathologie reste encore limitée.

Toutes ces pathologies neurologiques citées ci-dessus peuvent entraîner chez les patients un handicap à long terme affectant l'autonomie, le risque de chute, l'équilibre postural, la mobilité, la qualité de vie ou encore la récupération de la marche. Par conséquent, ces données soulignent l'importance de la mise en place d'une rééducation de l'équilibre, ciblée sur les besoins spécifiques de chaque patient, afin de réduire le risque de chute et d'améliorer leur qualité de vie.

#### 4. La rééducation de l'équilibre dans le parcours de soin SMR

Dans le cadre d'une prise en charge neurologique en Soins Médicaux et de Réadaptation (SMR), la rééducation de l'équilibre est importante car elle est reconnue comme un facteur clé de la récupération de la marche chez les patients neurologiques (8), chez qui retrouver une autonomie est primordiale.

La rééducation, pour être efficace, doit suivre plusieurs principes : l'intensité et la répétition des entraînements (7) et la spécificité de la tâche pour être liée à la vie réelle avec la stabilité statique, proactive et réactive. L'intégration d'un biofeedback visuel en temps réel permet également au patient de visualiser son CoP et d'ajuster sa posture. Cela permet une récupération motrice tout en réduisant les stratégies de compensation (8).

Le parcours du soin en SMR commence par une évaluation à l'entrée avec un bilan clinique et instrumental pour établir le profil du patient et ainsi personnaliser son suivi. Lors de son suivi, plusieurs entraînements sont réalisés avec des réévaluations possibles. Un bilan d'évaluation final est mené pour mesurer l'efficacité du séjour sur l'équilibre et l'autonomie.

#### 5. Des échelles cliniques aux outils instrumentés

L'identification précise des déficits posturaux représente un enjeu majeur pour les professionnels de santé afin d'orienter une prise en charge rééducative efficace (17). En effet, il existe des échelles et des tests cliniques habituels pouvant évaluer l'équilibre postural ou dépister le risque de chute des patients sur l'ensemble des tâches motrices présentées sous forme de score : le Mini-BESTest, le Berg Balance Scale (BBS), le Timed Up and Go (TUG), ou encore le Six-Minute Walk Test (6MWT).

Ces échelles cliniques présentent l'avantage d'être rapides et simples d'administration, mais présentent une sensibilité et une spécificité limitée et ne permettent pas d'identifier le système physiologique spécifiquement atteint (14). C'est pour cela qu'une caractérisation complète de ces déficits est un facteur clé à prendre en compte (17).

Le développement de technologies numériques innovantes offre ainsi la possibilité d'enrichir l'évaluation clinique par des mesures plus sensibles, spécifiques, objectives et reproductibles.

Au cours des dernières années, des dispositifs robotisés et des plateformes instrumentées avec des systèmes audiovisuels ont permis de faire évoluer les pratiques de rééducation. C'est le cas de la plateforme Hunova® qui correspond à un outil prometteur pour fournir un entraînement plus spécifique et centré sur les besoins des patients.

## 6. La plateforme Hunova®

Hunova® (Movendo Technology, Gênes, Italie), présenté en *figure 1*, est un dispositif robotique, marqué CE, pour la réadaptation, la rééducation et l'évaluation sensorielle des membres inférieurs et du tronc (18). Il est conçu pour améliorer l'équilibre, la posture et la coordination des membres inférieurs et du tronc. Ce sont les kinésithérapeutes qui l'utilisent majoritairement comme soutien dans leur travail dans des conditions orthopédiques, neurologiques ou gériatriques (18). Son principe repose sur l'utilisation d'une plateforme mobile à 2 degrés de liberté (dans le plan ML et AP), avec des actionneurs et des étages à transmission pouvant induire un mouvement sous les pieds ou sous le siège du patient (18) pouvant mesurer les forces et les déplacements du tronc grâce à des capteurs intégrés. Ses objectifs sont de proposer une quantité importante d'activités et de protocoles différents pour la pratique clinique et physiothérapie. En effet, il est possible de réaliser des tests en condition passive (la plateforme guide entièrement le mouvement du patient), active (le patient réalise lui-même les mouvements), statique (la plateforme reste fixe) ou assistée (avec le biofeedback pour atteindre des cibles) (19) avec des degrés de difficulté pouvant être augmentés au cours des sessions d'entraînements (basique, intermédiaire et avancé). Cela permet une prise en charge progressive et personnalisée selon les besoins du patient. Grâce à ces capacités, il est possible d'obtenir des données sur différents aspects de l'équilibre. Il est composé d'indicateurs de la plateforme (la vitesse moyenne du CoP en condition yeux fermés et ouverts YF/YO en cm/s, la RMS du CoP en cm (indicateur de dispersion de la position du CoP), ...), des limites de stabilité (le déplacement maximal du CoP dans les quatre directions en cm, l'aire de stabilité en cm<sup>2</sup>, ...) et le Silver Index.



(18)

**Figure 1 : Plateforme Hunova®**

## 7. Etat de la littérature sur Hunova® et ses limites

D'après la littérature, plusieurs études ont permis de mettre en évidence une évolution de la prise en charge avec l'apport du dispositif Hunova® dans la rééducation neurologique. De Luca et al. (2020) ont démontré une amélioration significative de l'équilibre dynamique et du contrôle du tronc après entraînement sur plateforme Hunova® chez les patients AVC (7). Podda et al. (2023, 2024) ont mis en évidence que la plateforme Hunova® est une alternative valide à l'EquiTest pour l'évaluation posturale, statique et dynamique (5,15). Cella et al. (2020) montrent un intérêt prédictif du risque de chute en combinant les paramètres robotiques et cliniques chez les personnes âgées (10).

Selon ces études, les effectifs sont souvent faibles, entre 12 à 40 patients ciblant un seul type de pathologie à la fois (5,7). Les critères d'inclusions sont restrictifs concernant les patients sélectionnés et leur bon niveau fonctionnel. Ce n'est donc pas représentatif du quotidien d'un centre à l'échelle populationnelle. De plus, les travaux sont surtout interventionnels ou de validation du dispositif. On retrouve des essais pilotes d'entraînement ou des comparaisons Hunova® contre EquiTest (15), mais ne montrent pas de description du dispositif en routine. Le niveau de preuve reste donc modéré à faible. Les revues systématiques pointent une surreprésentation des études de cas et un manque d'essais contrôlés de grande taille (20). Par conséquent, il manque des données en situation réelle, sur une cohorte mixte en SMR, telle que celle retrouvée à l'IRR de Lay-Saint-Christophe.

## II. Objectifs du travail

Si la plateforme Hunova® a été évaluée dans des populations neurologiques ciblées, le plus souvent dans des essais interventionnels à effectifs limités et sur une pathologie unique,

son apport en pratique courante, sur une population neurologique mixte de SMR, reste peu documenté.

L'objectif de ce travail est d'exploiter rétrospectivement les données Hunova® recueillies en soin courant dans la filière neurologique de l'IRR de Lay-Saint-Christophe afin de : 1) caractériser la cohorte de patients bénéficiant du dispositif Hunova® et la situer par rapport à la littérature ; 2) explorer l'association entre les paramètres posturographiques et les tests cliniques fonctionnels ; et 3) décrire l'évolution des paramètres entre deux bilans, sans préjuger d'un lien causal avec la rééducation.

Dès lors, nous pouvons nous demander : dans une population neurologique adulte mixte prise en charge en SMR, quelle est la place de l'évaluation posturographique instrumentée par la plateforme Hunova®, en complément des tests cliniques usuels, pour caractériser le contrôle postural et en suivre l'évolution au cours du parcours de soin ?

Au cours du stage, le début de la mise en place de cette étude est établi. La gestion de cette étude est structurée en plusieurs phases. Seules les premières phases sont établies. La phase 0 est la phase de préparation avec la formalisation du protocole, les démarches réglementaires MR-004, l'extraction des données issues des patients et de la plateforme Hunova®, ainsi que la constitution de la base de données. La base de données est nettoyée, appariée et pseudonymisée et est composée d'un dictionnaire et d'un codebook. Par la suite, la phase 1 est le début des phases d'analyse. La cohorte est caractérisée par des statistiques descriptives, des corrélations sont réalisées entre les paramètres de la plateforme et les échelles cliniques, et l'évolution des paramètres posturographiques entre le premier et le dernier bilan Hunova® est analysée pour les patients disposant d'au moins deux sessions d'évaluation. Les analyses ultérieures (régression multiple, modélisation pronostique) seront réalisées lors des phases suivantes du projet, en dehors du périmètre de ce stage.

### III. Matériel et Méthodes

#### 1. Schéma d'étude et cadre

C'est une étude clinique rétrospective, observationnelle, monocentrique sur les données de la plateforme Hunova® des patients pris en charge dans la filière neurologique à l'IRR de Lay-Saint-Christophe dans le cadre du soin courant sans aucune intervention, acte de soin supplémentaire, prélèvement ou modification de leur prise en charge habituelle. La période d'inclusion rétrospective débute en 2023.

Le critère de jugement principal (CJP) est la vitesse moyenne du CoP en condition YF/YO, mesurée lors du bilan d'équilibre statique debout. Les critères secondaires

comprennent la RMS du CoP (cm), l'aire de stabilité (cm<sup>2</sup>), les déplacements maximaux du CoP dans les quatre directions (cm) et le Silver Index (%).

Cette étude revêt un caractère préliminaire et exploratoire, étant donné les effectifs disponibles et la récupération de données de la plateforme depuis 2023. Elle vise principalement à poser les bases méthodologiques pour l'évaluation des patients de la filière.

## 2. Cadre réglementaire et éthique

### 2.1. Conformité MR-004

Les démarches réglementaires à effectuer étaient d'être conforme à la méthodologie de référence MR-004 sans autorisation de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) et enregistrer l'étude auprès du Health Data Hub (HDH).

MR-004 encadre les recherches n'impliquant pas la personne humaine (RNIPH), les études et les évaluations dans le domaine de la santé. Cela concerne les traitements de données à caractère personnel à des fins de recherche ou d'évaluation (21).

Pour cela, une liste de vérification de la conformité MR-004 a été établie en analysant plusieurs aspects de l'étude : le cadre de l'étude (l'étude est une RNIPH, les données existent déjà), les responsabilités (le responsable de traitement est identifié, la liste des personnes ayant accès aux données est établie), les données traitées (les variables sont justifiées, aucune donnée sensible n'est collectée sans motif), le droit d'opposition (la note d'information est rédigée, les patients ayant exprimé une opposition sont exclus), la pseudonymisation (un identifiant est généré pour chaque patient, une table de correspondance est stockée et sécurisée), la durée de conservation (la durée et la destruction de la table sont programmées), l'inscription au registre HDH (l'étude est inscrite au HDH, les informations correspondent au protocole), et la traçabilité (le protocole est archivé, le classeur investigateur est constitué).

Par la suite, l'étude a pu être déposée sur la plateforme HDH afin d'enregistrer l'étude pour son commencement et débiter les analyses.

### 2.2. Protocole

Plusieurs documents ont été rédigés selon les exigences de la recherche clinique. La première étape était de faire une recherche bibliographique à propos d'Hunova® et d'utiliser la méthode PICO. Cela correspond à décrire la Population, les types d'Interventions, la Comparaison et les Outcomes (critères de jugement). Un fichier récapitulatif de la revue bibliographique a été réalisé avec les informations essentielles de chaque étude.

Le protocole est un document décrivant de façon rigoureuse les différents aspects de la recherche : contexte, objectifs, type d'étude, critères d'éligibilité, période, types de données

recueillis, CJP, cadre réglementaire, plan d'analyse statistique, valorisation et diffusion des résultats. Le but était d'enrichir la version V0 du protocole en une version V1. Les sections à rédiger étaient : l'état de l'art sur l'équilibre et les pathologies neurologiques, la formulation des objectifs et des critères d'éligibilité, la sélection des données du dossier patient et d'Hunova® à récupérer et à traiter tout en intégrant les références associées avec Zotero.

### 2.3. Note d'information

Par ailleurs, la note d'information a été rédigée à destination des patients afin de les informer de l'utilisation de leurs données recueillies lors de leurs évaluations sur Hunova® pour des fins de recherche et de leur expliquer les objectifs de l'étude. Il est renseigné que cela n'entraîne aucun examen supplémentaire et aucune modification de leur prise en charge, que les données resteront confidentielles et pseudonymisées et conformes au Règlement Général de la Protection des Données (RGPD). Leurs droits leur sont communiqués : le droit d'accès, de rectification, de limitation de traitement, et d'opposition à la réutilisation des données. Le contact du Délégué à la Protection des Données (DPO) est renseigné en cas de volonté de s'y opposer.

### 2.4. Pseudonymisation

Chaque donnée des patients est pseudonymisée et confidentielle. En effet, seules les personnes autorisées à traiter les données y ont accès. Chaque patient est composé d'un identifiant propre à l'étude. Une table de correspondance, conservée séparément, a été créée avec l'identifiant, le nom et prénom du patient associé. Les données pseudonymisées sont conservées pendant 2 ans après les analyses. La destruction de la table de correspondance est programmée à la fin de cette période.

## 3. Participants et population d'analyse

Pour être inclus dans l'étude, les patients adultes, présentant une pathologie neurologique, devaient au moins avoir réalisé une évaluation Hunova® au sein de l'IRR de Lay-Saint-Christophe. Les critères de non-inclusion comprenaient : l'opposition du patient, les données Hunova® incomplètes ou inexploitable ou l'absence du CJP.

Cette étude est composée de 3 types de populations d'analyse : la cohorte globale, la corrélation du bilan initial (V0) et le pré-post figurant dans le *Tableau I* avec les effectifs.

***Tableau I : Les 3 types de populations d'analyse***

| Population d'analyse                     | Définition                                             | n       |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|
| <b>Cohorte globale</b>                   | Tous les patients inclus, pour la description          | 71      |
| <b>Corrélation au bilan initial (V0)</b> | Au moins un paramètre HUNOVA et un test clinique au V0 | 32      |
| <b>Pré-post</b>                          | Au moins deux bilans HUNOVA (exploitables)             | 16 (14) |

#### 4. Sources des données

Plusieurs sources sont utilisées. La démographie des patients a été récupérée dans les dossiers patients informatisés (DPI). Les comptes-rendus médicaux ont permis la récupération des informations sur la pathologie et l'événement neurologique. Les échelles cliniques fonctionnelles sont retrouvées dans les dossiers de masso-kinésithérapeutes. Toutes les données instrumentales de la plateforme, de posturographiques, ainsi que le Silver Index, ont été recueillis dans les rapports Hunova® avec des fichiers Excel et les fichiers d'évaluations.

#### 5. Variables et mesures

Les données démographiques et cliniques récupérées étaient : le sexe, l'âge, la taille, le poids, l'IMC, la latéralité, le côté atteint et les comorbidités à risque postural (neuropathie périphérique, troubles visuels non corrigés, troubles vestibulaires, amputation ou prothèse...).

Concernant la classification des pathologies dans la base de données, le codage initial se portait en 7 modalités avec une modalité "autre" regroupant 27 patients. Un reclassement a été nécessaire pour former 9 familles étiologiques et topographiques.

Plusieurs échelles cliniques ont été récupérées et sont présentées dans le *Tableau II*.

***Tableau II : Les Tests cliniques***

| Test                                                         | Dimension évaluée                                                    | Cotation                                                                             |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mini-BEST Test</b>                                        | Equilibre dynamique                                                  | / 28 points                                                                          |
| <b>BBS : Berg Balance Scale</b>                              | Equilibre statique et dynamique                                      | / 56 points                                                                          |
| <b>ICARS : International Cooperative Ataxia Rating Scale</b> | Gravité des symptômes d'ataxie cérébelleuse                          | / 100 points                                                                         |
| <b>HiMAT : High-Level Mobility Assessment Tool</b>           | Mobilité de haut niveau chez les patients neurologiques              | / 54 points                                                                          |
| <b>TUG : Timed Up and Go</b>                                 | Mobilité fonctionnelle, équilibre dynamique et risque de chute       | Temps mesuré en seconds pour se lever, marcher 3 mètres, se retourner et se rasseoir |
| <b>6WMT : 6 Minute Walk Test</b>                             | Capacité d'endurance aérobie et tolérance à l'effort                 | Distance en mètres parcouru en 6 minutes                                             |
| <b>10MWT : 10 Meter Walk Test</b>                            | Vitesse de marche sur une courte distance                            | Temps mesuré en seconds pour parcourir 10 mètres *                                   |
| <b>MIF : Mesure d'indépendance Fonctionnelle</b>             | Autonomie dans les activités de la vie quotidienne                   | / 126 points                                                                         |
| <b>FES-I : Falls Efficacy Scale International</b>            | Peur de chuter lors des activités quotidiennes                       | / 64 points                                                                          |
| <b>Indice de Barthel</b>                                     | Autonomie physique et niveau de dépendance pour les soins personnels | / 100 points                                                                         |

*\* Les résultats du test du 10MWT retrouvés dans les dossiers des kinésithérapeutes sont sous forme « nombre de pas en secondes » et ont été transformés en vitesse en m/s.*

Une grande quantité de paramètres posturographiques sur la plateforme Hunova® a été recueillie, en raison de la présence de différents exercices réalisés, mais seulement une partie

a été analysée : vitesse moyenne du CoP en YO et YF, RMS du CoP, limites de stabilité (déplacement maximal du CoP dans les quatre directions et l'aire de stabilité) et le Silver Index. Concernant la vitesse et le RMS, une diminution traduit une amélioration et pour les limites de stabilité, une augmentation traduit une amélioration.

La quantité de rééducation a été calculée avec les fiches d'entraînements. La somme des durées d'exercices réalisés a été comparée à la durée prévue en minutes.

## 6. Construction et gestion de la base de données

La base de données a été construite conformément aux bonnes pratiques de gestion des données en recherche clinique. Elle a été réalisée sur Excel composée d'une feuille "Données", "Dictionnaire" et "Codebook". La section "Données" correspond à la base avec toutes les données récupérées. Le dictionnaire permet de définir les variables avec leur libellé, leur type de variable, leur unité, leur source, leur obligation et leurs conditions. Enfin, le codebook permet d'identifier la correspondance entre les variables qualitatives nominales et leur codification numérique associée.

La base de données principale, nommée base de données de capture, est sous format long, c'est-à-dire une ligne par session d'évaluation. Un patient peut donc avoir plusieurs lignes correspondant à plusieurs sessions. En revanche, les 3 populations d'analyse sont dérivées au niveau patient. Cela signifie que, pour les analyses, la base de données est filtrée pour sélectionner les variables qui nous intéressent, en ayant une ligne par patient seulement (avec par exemple une variable "premier bilan" et une "dernier bilan" pour le pré-post).

## 7. Contrôle qualité et nettoyage

Cette base de données a été vérifiée en détail et nettoyée afin d'obtenir une base de données scientifiquement exploitable et fonctionnelle. Les critères vérifiés étaient : les doublons, la cohérence des formats (dates, décimales, cases), les valeurs aberrantes, les données manquantes et l'application des critères de non inclusion.

La détection des valeurs aberrantes a été réalisée par le calcul du score  $Z$  ( $Z_i = (x_i - \bar{x})/s$ , où  $\bar{x}$  est la moyenne et  $s$  l'écart-type de la distribution). Toute observation présentant  $|Z_i| > 3$  était considérée comme aberrante. Elles ont été vérifiées dans les dossiers sources avant décision. Les variables concernées ont également été visualisées en boîte à moustache sur le logiciel JASP.

De plus, le taux de données manquantes par variable a été calculé avec le rapport entre le nombre de valeurs manquantes et l'effectif total de la variable exprimé en pourcentage.

## 8. Analyses statistiques

La description de la population (n=71) se concentre sur la démographie, la pathologie, la prise en charge, le Silver Index et le CJP. Le choix de la présentation des résultats sous forme moyenne/écart-type ou médiane/écart interquartile, pour les variables quantitatives, dépend de la normalité de la distribution. Le test de Shapiro-Wilk est effectué pour chaque variable. Si la distribution ne suit pas la loi normale, la médiane [écart interquartile] est représentée. Pour les variables qualitatives, ce sont les effectifs et les pourcentages. Les paramètres Hunova® sont décrits sur toute la population mais également par sous-groupe pathologique afin de voir si telle variable est plus marquée que d'autres en fonction de la population. Une comparaison à la plage de normalité constructeur est également effectuée avec le Z-score.

Le coefficient de corrélation de Spearman est utilisé pour l'association entre les paramètres Hunova® au bilan initial et les tests cliniques disponibles (n=32).

Pour la sous-population pré-post, le test des rangs de Wilcoxon a été réalisé pour ceux présentant deux bilans d'évaluation exploitables (n=14).

Le logiciel JASP (JASP Team, University of Amsterdam, Pays-Bas)(22) a été utilisé pour les analyses statistiques. Le seuil de signification est fixé à un  $p$  inférieur à 0,05. Les analyses sont réalisées sur les données disponibles, sans imputation.

## 9. STROBE

L'étude et le rapport suivent les recommandations STROBE (STrengthening the Reporting of OBservational Epidemiology) pour les études observationnelles (23).

# IV. Résultats

## 1. Résultats du nettoyage de la base de données

Lors du nettoyage de la base de données initiale, 82 valeurs aberrantes ont été observées, puis vérifiées dans leur dossier source pour confirmation. Les variables présentant ces valeurs ont été visualisées sur JASP avec des boîtes à moustaches, ce qui a bien confirmé qu'elles étaient très éloignées. Après vérification, ces valeurs aberrantes ont été conservées dans la base de données, les données étant confirmées comme biologiquement plausibles dans le contexte clinique. Elles sont signalées dans les analyses à titre de sensibilité.

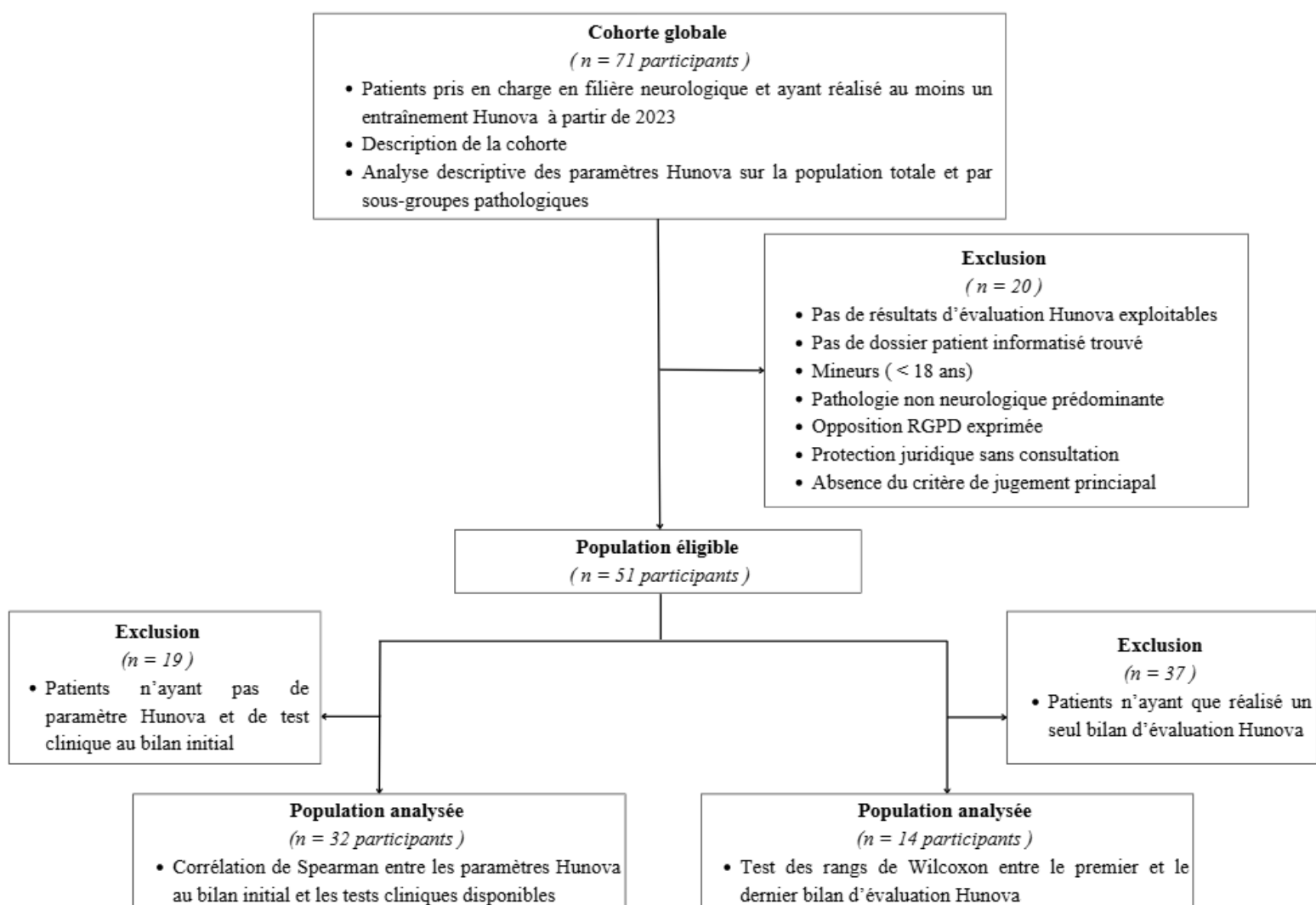
Le repérage des données manquantes a permis de mettre en évidence les variables les plus remplies et les plus vides. Les variables présentant le plus de données manquantes sont tous les tests d'équilibre sur l'assise (89% de données manquantes), mais également les tests cliniques qui, pour certains, n'ont aucune valeur (index de Barthel, FES-I) ou presque pas

(TUG, HIMAT, BBS, ICARS) au minimum 93% de données manquantes. Par conséquent, pour les analyses statistiques, les tests cliniques utilisés sont le Mini-BESTest, 6MWT, 10MWT et MIF. En revanche, les variables les plus complètes sont les tests d'équilibre sur plateau en modalité statique YO/YF (29 % de données manquantes), les tests d'équilibre sur plateau en modalité élastique mais seulement en YO (30%) mais également les données cliniques retrouvées sur le DPI allant de 2 à 26% de données manquantes.

## 2. Description de la population

Le diagramme de flux illustré en *figure 2* présente le cheminement de la population depuis la cohorte globale jusqu'à la population analysée, en détaillant les effectifs à chaque étape d'inclusion et d'exclusion. Soixante-et-onze participants ayant réalisé un entraînement sur la plateforme Hunova® correspondaient à la cohorte globale pour les analyses descriptives. Par la suite, 51 patients étaient éligibles en raison de 20 exclusions lorsqu'il n'y avait aucune donnée d'évaluation Hunova®, aucun DPI ou la présence d'un critère de non-inclusion. Trente-deux patients ont été analysés pour une corrélation de Spearman entre les paramètres de la plateforme et les tests cliniques au bilan initial. Dix-neuf personnes ont été exclues, ne disposant soit pas de données Hunova, soit pas de tests cliniques disponibles. Pour le test de Wilcoxon, 14 patients ont été analysés entre le premier et le dernier bilan d'évaluation Hunova effectué. Les patients n'ayant réalisé qu'un seul bilan ont été exclus.

Les caractéristiques démographiques et cliniques de la population analysée sont présentées dans le *Tableau III*. Soixante-et-onze patients font partie de la cohorte, dont 38 hommes (53.5%) et 31 femmes (43.7%), avec un âge médian de 52 ans et un IMC médian de 24.44 kg/m<sup>2</sup>. La majorité des participants étaient droitiers (70.4%, n=50). La cohorte présente majoritairement 18 AVC (25.4%), 16 atteintes périphériques (22.5%), 13 SEP (18.3%) et 10 TC (14.1%). Les autres catégories de pathologie sont présentes dans le *Tableau III*. Parmi les données récupérées, le côté le plus atteint des patients était le côté Gauche (18.3%, n=13) comparé au côté Droit (14.1%, n=10). Cinquante-cinq patients (77.5%) ne disposaient que d'un seul bilan Hunova® et dix patients (14.1%) disposaient de 2 sessions.



**Figure 2 : Flow Chart de sélection des patients inclus dans l'étude**

**Tableau III : Caractéristiques démographiques et cliniques de la cohorte (n=71)**

| Caractéristiques                            | Valeur                | Population analysée, n (données manquantes) |
|---------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|
| <b>Démographie</b>                          |                       |                                             |
| Age (année), médiane [Q1 ; Q3]              | 52 [40 ; 61]          | 57 (14)                                     |
| Sexe, n (%)                                 |                       | 69 (2)                                      |
| Hommes                                      | 38 (53.5)             |                                             |
| Femmes                                      | 31 (43.7)             |                                             |
| IMC (kg/m <sup>2</sup> ), médiane [Q1 ; Q3] | 24.44 [20.77 ; 27.44] | 62 (9)                                      |
| Latéralité, n (%)                           |                       | 55 (16)                                     |
| Droitier                                    | 50 (70.4)             |                                             |
| Gaucher                                     | 3 (4.2)               |                                             |
| Ambidextre                                  | 2 (2.8)               |                                             |
| <b>Pathologie</b>                           |                       |                                             |
| Diagnostic principal, n (%)                 |                       | 71 (0)                                      |
| Vasculaire encéphalique (AVC)               | 18 (25.4)             |                                             |

|                                                        |           |         |
|--------------------------------------------------------|-----------|---------|
| Atteinte périphérique et segmentaire (dont médullaire) | 16 (22.5) |         |
| Démyélinisante / inflammatoire centrale (SEP)          | 13 (18.3) |         |
| Traumatique encéphalique (TC)                          | 10 (14.1) |         |
| Indéterminée                                           | 5 (7.0)   |         |
| Infectieuse / anoxique / tumorale encéphalique         | 5 (7.0)   |         |
| Cérébelleuse / ataxie                                  | 2 (2.8)   |         |
| Paralysie cérébrale (développementale)                 | 1 (1.4)   |         |
| Syndrome extrapyramidal (Parkinson)                    | 1 (1.4)   |         |
| Côté atteint, n (%)                                    |           | 24 (47) |
| Droite                                                 | 10 (14.1) |         |
| Gauche                                                 | 13 (18.3) |         |
| Droite et Gauche                                       | 1 (1.4)   |         |
| <b>Prise en charge</b>                                 |           |         |
| Nombre de sessions, n (%)                              |           | 71 (0)  |
| 1                                                      | 55 (77.5) |         |
| 2                                                      | 10 (14.1) |         |
| 3                                                      | 4 (5.6)   |         |
| 4                                                      | 2 (2.8)   |         |

Le Silver Index a une médiane de 61.41 % [28.20 ; 91.79], comme le montre le *Tableau IV*. Seulement 33 données étaient disponibles dans la cohorte globale. La catégorie de la SEP présente la valeur du Silver Index la plus élevée, avec une médiane de 94.05 % pour 9 patients. Pour le cas de la maladie de Parkinson, la valeur est de 99.0 mais seulement pour 1 patient, ce n'est donc pas significatif. Concernant le CJP, 49 données de patients étaient disponibles. La vitesse du CoP en YO a une médiane de 1.670 cm/s [1.400 ; 2.710] et en YF, de 3.440 cm/s [2.100 ; 4.900]. En condition YO, la vitesse est plus élevée pour la sous-population SEP (3.670 cm/s). En YF, c'est la catégorie cérébelleuse/ataxie avec seulement 2 patients atteints, sinon c'est également la SEP avec 10 patients. Une différence entre YO et YF est également observée, avec un résultat supérieur dans tous les groupes en YF. Dans la cohorte, la vitesse passe de 1.670 à 3.440 cm/s en YF.

***Tableau IV : Description des paramètres Hunova® sur toute la population et par sous-groupe pathologique***

| Type de sous-population                                       | Silver Index (%)      | n  | Vitesse CoP YO (cm/s) | n  | Vitesse CoP YF (cm/s)  | n  |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|----|-----------------------|----|------------------------|----|
| <b>Cohorte globale</b>                                        | 61.41 [28.20 ; 91.79] | 33 | 1.670 [1.400 ; 2.710] | 49 | 3.440 [2.100 ; 4.900]  | 49 |
| <b>Vasculaire encéphalique (AVC)</b>                          | 60.14 [35.02 ; 76.76] | 10 | 1.460 [1.058 ; 2.215] | 14 | 2.215 [1.943 ; 4.583]  | 14 |
| <b>Atteinte périphérique et segmentaire (dont médullaire)</b> | 43.32 [26.81 ; 77.49] | 6  | 2.305 [1.590 ; 3.032] | 10 | 4.040 [2.420 ; 10.330] | 10 |

|                                                |                       |   |                       |    |                       |    |
|------------------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|----|-----------------------|----|
| Démyélinisante / inflammatoire centrale (SEP)  | 94.05 [47.44 ; 96.28] | 9 | 3.670 [1.480 ; 4.530] | 10 | 4.240 [2.923 ; 9.028] | 10 |
| Traumatique encéphalique (TC)                  | 62.81 [60.88 ; 65.35] | 5 | 1.500 [1.430 ; 1.805] | 8  | 2.735 [1.890 ; 3.535] | 8  |
| Indéterminée                                   | /                     | 0 | /                     | 0  | /                     | 0  |
| Infectieuse / anoxique / tumorale encéphalique | 26.74 [26.66 ; 26.81] | 2 | 1.530 [1.265 ; 1.737] | 4  | 3.375 [2.748 ; 3.555] | 4  |
| Cérébelleuse / ataxie                          | /                     | 0 | 2.585 [2.247 ; 2.923] | 2  | 4.635 [3.848 ; 5.422] | 2  |
| Paralysie cérébrale (développementale)         | /                     | 0 | /                     | 0  | /                     | 0  |
| Syndrome extrapyramidal (Parkinson)            | 99.0 [99.0 ; 99.0]    | 1 | 2.360 [2.360 ; 2.360] | 1  | 3.440 [3.440 ; 3.440] | 1  |

3. Analyse de corrélations entre les paramètres Hunova® et cliniques  
D'après le Tableau V, une seule corrélation est statistiquement significative entre le Silver Index et le nombre de chutes par an ( $\rho=0.5191$  \*\* ;  $p = 0.002$ ). Pour toutes les autres corrélations, il n'existe pas de lien statistiquement significatif ( $p > 0.05$ ). Il existe néanmoins une forte corrélation entre le Silver Index et MIF ( $\rho = -0.8286$ ). Les coefficients positifs signifient que les variables évoluent dans le même sens, contrairement aux coefficients négatifs, où lorsqu'une augmente, l'autre diminue. Les valeurs proches de  $|1|$  sous-entendent une forte corrélation et les valeurs proches de 0, une faible corrélation. Les figures associées aux corrélations sont en *Annexe 1*.

**Tableau V : Coefficient de corrélation de Spearman entre les variables (n=32)**

| Paramètres Hunova® au bilan initial | Nombre de chutes par an                     | Mini-BESTest                              | 6MWT                                      | 10MWT                                     | MIF                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Silver Index</b>                 | $\rho = 0.5191$ **<br>$p = 0.002$<br>n = 32 | $\rho = -0.4481$<br>$p = 0.167$<br>n = 11 | $\rho = 0.2143$<br>$p = 0.619$<br>n = 8   | $\rho = -0.3818$<br>$p = 0.248$<br>n = 11 | $\rho = -0.8286$<br>$p = 0.058$<br>n = 6  |
| <b>Vitesse CoP YO</b>               | $\rho = 0.2560$<br>$p = 0.157$<br>n = 32    | $\rho = 0.1524$<br>$p = 0.619$<br>n = 13  | $\rho = -0.3909$<br>$p = 0.237$<br>n = 11 | $\rho = -0.2044$<br>$p = 0.483$<br>n = 14 | $\rho = 0.1520$<br>$p = 0.675$<br>n = 10  |
| <b>Vitesse CoP YF</b>               | $\rho = 0.2861$<br>$p = 0.112$<br>n = 32    | $\rho = -0.5097$<br>$p = 0.075$<br>n = 13 | $\rho = -0.5182$<br>$p = 0.107$<br>n = 11 | $\rho = -0.5199$<br>$p = 0.069$<br>n = 13 | $\rho = -0.2432$<br>$p = 0.498$<br>n = 10 |

\*\* :  $p < 0.01$  ;  $\rho$  : coefficient de Spearman = taille d'effet ;  $p$  : p-value

#### 4. Evolution des paramètres entre la pré et la post-évaluation

Les résultats des tests de rang de Wilcoxon, présentés en *Tableau VI*, montrent un changement statistiquement significatif pour les paramètres de la vitesse du CoP en YO et le RMS en YO et YF ( $p < 0.05$ ). Les médianes associées diminuent légèrement entre la pré et la post-évaluation, suggérant une légère diminution significative des paramètres. Cela se confirme également avec la taille d'effet qui montre un effet de grande taille ( $r > 0.6$ ). Concernant les autres paramètres, aucune évolution statistiquement significative n'est

observée. Cependant, on observe une augmentation ou une diminution marquée des médianes entre la pré et la post-évaluation, mais avec majoritairement un effet de petite ou de moyenne taille ( $r < 0.3$ ). Les figures associées aux évolutions pré et post-évaluation se trouvent en *Annexe 2*.

**Tableau VI : Résultats du test de Wilcoxon sur la comparaison des variables (n=14)**

| Paramètres évalués pré-post évaluation | Médiane [Q1 ; Q3] pré évaluation | Médiane [Q1 ; Q3] post évaluation | Wilcoxon (W) | Valeur de $p$ | Taille de l'effet (Rank-Biserial Correlation) |
|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------------------------|
| <b>Silver Index</b>                    | 56.44 [28.20 ; 84.51]            | 51.97 [35.64 ; 72.92]             | 20.0         | 0.834         | 0.1111                                        |
| <b>Vitesse CoP YO</b>                  | 1.480 [1.420 ; 2.060]            | 1.440 [1.120 ; 1.690]             | 68.0         | <b>0.025</b>  | 0.7436                                        |
| <b>Vitesse CoP YF</b>                  | 3.670 [2.300 ; 5.230]            | 3.080 [1.870 ; 4.170]             | 66.0         | 0.168         | 0.4505                                        |
| <b>RMS YO</b>                          | 0.610 [0.520 ; 1.210]            | 0.600 [0.440 ; 0.710]             | 74.0         | <b>0.050</b>  | 0.6264                                        |
| <b>RMS YF</b>                          | 1.170 [1.030 ; 2.560]            | 1.070 [0.880 ; 1.130]             | 81.5         | <b>0.013</b>  | 0.7912                                        |
| <b>Aire de stabilité</b>               | 107.7 [77.75 ; 121.5]            | 108.2 [94.28 ; 120.3]             | 32.0         | 0.622         | -0.1795                                       |
| <b>CoP max avant</b>                   | 7.285 [6.135 ; 8.465]            | 7.910 [7.105 ; 8.228]             | 35.0         | 0.791         | -0.1026                                       |
| <b>CoP max arrière</b>                 | 6.225 [5.388 ; 6.357]            | 6.320 [6.040 ; 6.850]             | 27.0         | 0.367         | -0.3077                                       |
| <b>Cop max droite</b>                  | 7.595 [7.297 ; 8.095]            | 7.770 [7.440 ; 7.948]             | 25.0         | 0.301         | -0.3590                                       |
| <b>Cop max gauche</b>                  | 7.885 [7.458 ; 8.453]            | 7.420 [7.088 ; 8.048]             | 47.0         | 0.569         | 0.2051                                        |

## V. Discussion

Cette étude préliminaire et exploratoire visait à décrire l'usage de la plateforme Hunova® en pratique courante dans une filière neurologique de SMR, à explorer l'association entre les paramètres posturographiques et les tests cliniques, et à décrire leur évolution au cours du parcours de soin. Sur une cohorte de 71 patients neurologiques d'étiologies variées, l'évaluation instrumentée a pu être caractérisée en situation réelle. Les principaux résultats sont une amélioration significative de la vitesse du CoP en YO (CJP) et de la RMS en condition statique entre le premier et le dernier bilan, une corrélation entre le Silver Index et le nombre de chutes rapportées, et l'absence de lien significatif entre les autres paramètres Hunova® et les tests cliniques disponibles. Ces résultats sont discutés ci-dessous selon les trois axes du travail : représentativité de la cohorte, association aux tests cliniques et évolution de la prise en charge avant d'en exposer les forces et les limites.

Les résultats de corrélation de Spearman entre les paramètres Hunova® et les tests cliniques disponibles ont indiqué qu'une seule corrélation entre le Silver Index et le nombre de chutes au cours de l'année. Le Silver Index est l'indicateur de risque de chute, c'est donc cohérent cliniquement. Lorsque le Silver Index augmente, le nombre de chutes par an est également augmenté, en raison du coefficient de Spearman positif. Il y a aussi une forte corrélation entre le Silver Index et le test MIF ( $\rho = -0.8286$ ), sans différence significative, c'est pour cela qu'il faut interpréter avec prudence, en raison d'un effectif de 6 patients. En revanche,

lorsque le Silver Index augmente, indiquant un risque de chute élevé, le résultat MIF diminue, indiquant une diminution de l'autonomie du patient, ce qui est cohérent également. Comme dit précédemment, la présence des tests cliniques présentait plusieurs données manquantes, c'est pour cela que les tests de corrélations se font uniquement avec 4 tests cliniques, ce qui réduit la puissance statistique. Ces résultats sont à interpréter avec précaution en raison d'effectifs faibles (de 6 à 32). L'étude de Tamburella et al. a également fait des corrélations de Spearman entre la vitesse du CoP et des tests cliniques dont 10MWT et 6MWT. Des liens statistiquement significatifs sont représentés entre la vitesse et le 10MWT ( $p < 0.005$ ) mais aucune avec le 6MWT (8) ce qui est en adéquation pour le test 6MWT avec nos résultats. La divergence observée pour la corrélation avec le 10MWT se traduit par un manque de puissance statistique et de l'hétérogénéité de notre population. Pour les autres tests cliniques de cette étude (MIF, Mini-BESTest), il n'y a pas de corrélation retrouvée dans la littérature à ce jour. Il n'y a également pas de corrélation avec le Silver Index pour comparer.

En ce qui concerne la comparaison pré/post-évaluation, avec le test de rang de Wilcoxon, les améliorations significatives observées sur la vitesse du CoP en YO (CJP) et le RMS en condition statique suggèrent une évolution favorable, concomitante à la prise en charge du contrôle postural. Les médianes ont diminué, traduisant une amélioration de la vitesse et du RMS chez les patients avec l'utilisation de la plateforme Hunova®. Les paramètres significatifs vont dans le sens d'une amélioration avec des tailles d'effet importantes. L'étude portant sur les patients post-AVC de Castelli et al. a également démontré une amélioration significative pour le RMS en YO ( $p = 0.041$ ) en condition statique, ce qui confirme nos résultats. Pour le CJP, ils montrent une différence significative, mais seulement en condition dynamique et non statique (9). Par ailleurs, ces comparaisons avec la littérature sont à prendre avec précaution, en raison qu'elle se positionne sur qu'une seule pathologie et non plusieurs comme notre cohorte. De plus, l'absence de significativité sur les autres paramètres ne signifie pas qu'il n'y a pas d'évolution, mais ces valeurs sont à interpréter avec prudence en raison d'un faible effectif et de l'absence d'un groupe contrôle. Cette observation est également observée dans la littérature, il n'y a pas de différence significative pour les autres paramètres en condition statique.

La cohorte est hétérogène et représentative de la population. En effet, elle est composée de 9 pathologies différentes et il n'existe pas de critères de non-inclusion stricte. La répartition hommes/femmes est assez homogène (54/44 %) et l'âge médian est de 52 ans. La majorité des

études sur Hunova® se penche sur une seule pathologie à la fois : par exemple l'AVC pour l'étude de Castelli et al. (9) avec 24 participants de plus de 55 ans, des lésions médullaires pour l'étude de Tamburella et al. (8) avec 18 patients ou encore la SEP lors de l'étude de Podda et al. (5) avec 46 participants âgés de 18 à 77 ans. Etant donné que toutes les données de la plateforme de Lay-Saint-Christophe n'ont pas été complètement récupérées, notre cohorte est composée de 71 individus de tout âge et de tout type de pathologie. Le nombre d'individus est donc supérieur à la littérature qui représente la vie réelle des centres. En comparant individuellement chaque pathologie, les effectifs restent encore trop faibles pour faire des analyses statistiques significatives ( $1 < n < 18$ ), ce sont des données indicatives.

Les tests de normalité de Shapiro-Wilk ont indiqué une distribution qui ne suit pas la loi normale, c'est pour cela que les médianes sont représentées. La médiane est plus robuste et n'est pas influencée par les extrêmes présents dans la cohorte. Dans la littérature, pour la description démographique, la moyenne est souvent représentée (9), ce qui rend la comparaison limitée. C'est pour cela que des tests statistiques non-paramétriques ont été réalisés en raison de la distribution anormale et des effectifs faibles (32 pour la corrélation et 14 pour le pré/post).

Concernant la présence du CJP et du Silver Index dans la cohorte, seulement 49 patients avaient le CJP et 33 avaient réalisé le Silver Index. Ceux qui n'avaient pas le CJP, ont donc été exclus par la suite. Le Silver Index n'est pas à chaque fois réalisé au cours du bilan, seulement 33 sur 71 l'ont exécuté. Les kinésithérapeutes sont souvent réticents à proposer le Silver Index à leurs patients, parce que le résultat s'affiche directement sur l'écran, devant les patients. Ainsi, si le score est élevé, indiquant un risque de chute élevé, la valeur est en rouge, ce qui peut entraîner un stress chez le patient. En comparant les sous-pathologies, les valeurs du Silver Index ou du CJP sont différentes mais restent, dans la plupart des cas, davantage supérieures pour la SEP. Les effectifs des sous-pathologies ne sont pas les mêmes, l'interprétation et la comparaison entre pathologies n'est donc pas optimale. Dans certaines pathologies, les effectifs peuvent être très faibles ( $n=1$ ,  $n=2$  ou  $n=5$ ). Concernant la SEP, c'est une maladie démyélinisante qui peut perturber plusieurs systèmes en même temps (la force, la sensibilité, l'équilibre,...) bien supérieure aux autres pathologies, ce qui peut expliquer les résultats supérieurs.

Les résultats montrent une augmentation des valeurs, notamment pour la vitesse du CoP en YF comparé en YO. Lors de la réalisation d'un test en YF, la vision est supprimée, ce qui peut perturber le patient à garder son équilibre et sa stabilité et doit faire beaucoup plus d'efforts. Ce phénomène est également visible dans les études antérieures. Castelli et al. montrent au bilan initial, une vitesse passant de 1.61 à 2.61 cm/s lors du passage en YF (9) ce

qui suit les résultats de cette pré-étude. Les autres paramètres de la plateforme en YF montrent également cette évolution.

Par ailleurs, les résultats du nettoyage de la base de données ont indiqué 82 valeurs aberrantes avec le test du score Z. Ces valeurs ont été gardées dans la base de données. En effet, ces valeurs représentent la réalité et la variabilité que peut représenter la cohorte. Certes, plusieurs valeurs sortent du cadre et deviennent aberrantes en comparant avec la moyenne ou la médiane, mais les supprimer aurait introduit un biais de sélection et aurait diminué la représentativité de la population. En effet, chaque patient était différent, atteint de pathologies différentes, à des grades différents, avec des antécédents différents. En les supprimant, cela aurait également rendu les analyses moins précises et les corrélations encore plus faibles.

Les données et les variables manquantes ont également été conservées sans imputation. Ce choix permet de garantir l'intégrité et la véracité des valeurs collectées sans introduire des données modifiées. Effectivement, chaque patient ne réalise pas les mêmes types d'entraînements et d'évaluations en termes de durées, de répétitions, de spécificité et de nombre de tests. Certains réalisent des tests qu'en situation debout, d'autres qu'assis et d'autres qu'en YO, c'est pour cela que certaines variables peuvent être plus ou moins vides. Cela introduit une hétérogénéité des pratiques de bilan clinique au sein de la cohorte. Tout dépend de l'état du patient, de son suivi et de ses besoins cliniques individuels. Cela constitue également une limite importante de l'étude et reflète la réalité de la pratique du soin courant.

Il a également été visible que les variables des tests cliniques étaient souvent manquantes. Les résultats de ces tests ont été récupérés dans les dossiers des kinésithérapeutes, dans le DPI des patients. Les kinésithérapeutes ne font pas, à chaque bilan, un test clinique et ils ne font pas tous les mêmes tests à leurs patients. La comparaison des patients entre eux est donc limitée, et la comparaison de l'évolution d'un même individu peut aussi être limitée si deux kinésithérapeutes lui ont fait des tests différents. Certains professionnels de santé préfèrent le Mini-BESTest, d'autres le combinent avec le 10MWT, ou d'autres préfèrent le BBS. Cela peut s'expliquer par la réalité du parcours de soin en raison d'un manque de temps, d'un état d'un patient trop grave ou d'un test jugé non nécessaire car le patient est "en forme". Par ailleurs, ce manque de complétude de certaines échelles (Index de Barthel, TUG ou Fes-I) réduit la puissance des analyses de corrélation avec les paramètres de posturographiques.

Concernant les comptes-rendus médicaux des kinésithérapeutes, leur présentation peut être hétérogène. Par moment, il n'y a aucune trace des visites des patients dans le centre ou aucune notion de la réalisation d'un bilan Hunova®. Pour certains dossiers, il y a écrit que le

test MIF sera réalisé “tous les mois” ou à “chaque hospitalisation” sans trace par la suite. Aussi, cette phrase est inscrite “Résultats MIF : ...” sans la valeur associée. Entre kinésithérapeutes, certains nomment les tests de plusieurs manières différentes. Par conséquent, pour les repérer dans les comptes-rendus, cela peut être compliqué. C’est le cas du test 10MWT, qui peut également être nommé de plusieurs façons : test de marche 10 m, 10M, ou TD10M.

Finalement, les principales limites de cette étude préliminaire sont le nombre de données manquantes, ce qui induit un nombre de patients pour les analyses statistiques faibles et une cohorte multi pathologique. Il faut donc continuer de récupérer la fin des données Hunova® au centre de Lay-Saint-Christophe afin d’enrichir la base de données et d’enrichir les analyses statistiques pour augmenter la puissance et la significativité des analyses longitudinales à suivre.

## VI. Conclusion et perspectives

L’objectif de cette pré-étude était de d’exploiter rétrospectivement les données Hunova® des patients pris en charge dans leur soin courant à l’IRR de Lay-Saint-Christophe. Plusieurs aspects ont été abordés : la description de la cohorte des patients, l’association des paramètres posturographiques avec des tests cliniques ainsi que de l’évolution des paramètres entre deux bilans.

La question de recherche se tournait sur la place de l’évaluation posturographique instrumentée par la plateforme Hunova®, en complément des tests cliniques usuels, afin de caractériser le contrôle postural et de suivre l’évolution au cours du parcours du soin.

Cette pré-étude a permis de mettre en évidence l’évaluation posturographique de la plateforme robotisée Hunova® au sein de la cohorte multi pathologique du centre de Lay-Saint-Christophe. Hunova® correspond à un complément aux tests cliniques pour caractériser le contrôle postural. Entre le Silver Index et le nombre de chutes par an, il existe une corrélation positive statistiquement significative. Il existe également une forte corrélation négative entre le Silver Index et l’indice d’autonomie (MIF). Avec l’utilisation de la plateforme Hunova®, une évolution statistiquement significative a été observée pour la vitesse du CoP en YO (CJP) et le RMS en YO et YF entre le début et la dernière utilisation de la plateforme pour le patient. Les résultats suggèrent une évolution favorable du contrôle postural avec la plateforme Hunova®.

L’étude a respecté les règles de la MR-004 en utilisant des données rétrospectives du soin courant. Les forces de l’étude concernent surtout la représentativité de la population qui a

utilisé la plateforme Hunova®. Cette population était composée de plusieurs pathologies, âgée de minimum 18 ans sans critères de non-inclusion stricts, ce qui montre la force de cette étude.

En revanche, l'étude a présenté plusieurs limites. Le nombre de patients était encore trop faible pour avoir une distribution qui suit une loi normale, utiliser des tests statistiques paramétriques ou pour avoir des résultats statistiquement significatifs. Le nombre de données manquantes était également élevé ce qui induit des effectifs très limités pour les analyses de certains paramètres. La population multi pathologique représentait une force, mais la comparaison entre pathologies n'était pas optimale en raison des effectifs non égaux entre. Il n'y avait non plus pas de groupe contrôle pour réellement évaluer le contrôle postural. Bien qu'il est visible d'observer des variations significatives sur certains paramètres posturographiques, il n'est pas possible d'attribuer ces changements exclusivement à la sensibilité de Hunova®. Cela pourrait refléter une évolution naturelle de l'état du patient au cours de sa rééducation, améliorant ainsi son équilibre. La comparaison avec la littérature est également limitée en raison d'une non concordance de contexte pathologique. En effet, les études sur le sujet sont fixées sur une seule pathologie et non plusieurs, comme la cohorte présentée ici. Les résultats sont donc à interpréter avec prudence en vue des limites présentes.

Par la suite, il est important de continuer de récupérer la totalité des données de la plateforme Hunova® et d'enrichir la base de données. Le but est d'augmenter les effectifs de la cohorte, d'augmenter les effectifs des sous-pathologies et d'augmenter ainsi, la puissance statistique des analyses statistiques. Ensuite, des analyses pronostiques avec des régressions multiples et des modélisations pronostic constituent une suite logique à ce travail. A terme, les résultats pourront améliorer la prise en charge des patients et personnaliser leur rééducation.

Personnellement, ce stage m'a permis de développer mes compétences sur les étapes clés du montage d'un projet de recherche clinique, la gestion de données avec la création et l'alimentation de la base de données, la rigueur méthodologique avec la vérification des données sources ainsi que sur les méthodes statistiques à utiliser en recherche clinique. Ce stage a de nouveau confirmé mon projet professionnel de me spécialiser en recherche clinique. Avec l'obtention de mon DIU FARC, je souhaite activement poursuivre dans cette voie afin de contribuer et valider de nouvelles thérapies.

## VII. Références bibliographiques

1. UGECAM Nord-Est. L'UGECAM Nord-Est| GROUPE UGECAM [Internet]. [cité 25 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.groupe-ugecam.fr/ugecam-nord-est/lugecam-nord-est>

2. UGECAM Nord-Est. Institut régional de réadaptation | GROUPE UGECAM [Internet]. [cité 25 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.groupe-ugecam.fr/institut-regional-de-readaptation>
3. UGECAM Nord-Est. Portail Cellule Recherche UGECAM NE [Internet]. 2025 [cité 25 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.cri-irr.org/index.php>
4. Marchesi G, De Luca A, Squeri V, De Michieli L, Vallone F, Pilotto A, et al. A Lifespan Approach to Balance in Static and Dynamic Conditions: The Effect of Age on Balance Abilities. *Front Neurol.* 21 févr 2022;13:801142. doi:10.3389/fneur.2022.801142 PubMed PMID: 35265025; PubMed Central PMCID: PMC8899125.
5. Podda J, Marchesi G, Squeri V, De Luca A, Bellosta A, Pedullà L, et al. Standard versus innovative robotic balance assessment for people with multiple sclerosis: a correlational study. *Eur J Med Res.* 26 juill 2023;28:254. doi:10.1186/s40001-023-01223-2 PubMed PMID: 37491303; PubMed Central PMCID: PMC10369743.
6. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 1 sept 2006;35(suppl\_2):ii7-11. doi:10.1093/ageing/afl077
7. De Luca A, Squeri V, Barone LM, Verneti Mansin H, Ricci S, Pisu I, et al. Dynamic Stability and Trunk Control Improvements Following Robotic Balance and Core Stability Training in Chronic Stroke Survivors: A Pilot Study. *Front Neurol.* 17 juin 2020;11. doi:10.3389/fneur.2020.00494
8. Tamburella.F, SCIVOLETTO.G, MOLINARI.M. Balance training improves static stability and gait in chronic incomplete spinal cord injury subjects: a pilot study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2013.
9. Castelli L, Iacovelli C, Loreti C, Malizia AM, Tomaino A, Fusco A, et al. Robotic-assisted rehabilitation for balance in stroke patients (ROAR-S): effects of cognitive, motor and functional outcomes. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2023. doi:10.26355/eurev\_202309\_33580
10. Cella A, Luca AD, Squeri V, Parodi S, Vallone F, Giorgeschi A, et al. Development and validation of a robotic multifactorial fall-risk predictive model: A one-year prospective study in community-dwelling older adults. *PLOS ONE.* 25 juin 2020;15(6):e0234904. doi:10.1371/journal.pone.0234904
11. Spina S, Facciorusso S, Cinone N, Armiento R, Picelli A, Avvantaggiato C, et al. Effectiveness of robotic balance training on postural instability in patients with mild parkinson's disease: a pilot, single-blind, randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 8 févr 2020;53(2):2753. doi:10.2340/16501977-2793 PubMed PMID: 33585943; PubMed Central PMCID: PMC8814837.
12. Castelli L, Iacovelli C, Malizia AM, Loreti C, Biscotti L, Caliandro P, et al. Assessment of Fall Risk in Neurological Disorders and Technology: Relationship Between Silver Index and Gait Analysis. *Sensors.* 27 janv 2026;26(3):840. doi:10.3390/s26030840 PubMed PMID: 41682354; PubMed Central PMCID: PMC12899951.
13. De Nunzio AM, Zucchella C, Spicciato F, Tortola P, Vecchione C, Pierelli F, et al. Biofeedback rehabilitation of posture and weight-bearing distribution in stroke: a center of foot pressure analysis. *Funct Neurol.* 13 oct 2014;29(2):127-34. PubMed PMID: 25306123; PubMed Central PMCID: PMC4198161.

14. Podda J, Marchesi G, Squeri V, De Luca A, Bellosta A, Pedullà L, et al. Standard versus innovative robotic balance assessment for people with multiple sclerosis: a correlational study. *Eur J Med Res.* 26 juill 2023;28:254. doi:10.1186/s40001-023-01223-2 PubMed PMID: 37491303; PubMed Central PMCID: PMC10369743.
15. Podda J, Marchesi G, Bellosta A, Squeri V, De Luca A, Pedullà L, et al. Testing Dynamic Balance in People with Multiple Sclerosis: A Correlational Study between Standard Posturography and Robotic-Assistive Device. *Sensors.* 23 mai 2024;24(11):3325. doi:10.3390/s24113325 PubMed PMID: 38894116; PubMed Central PMCID: PMC11174503.
16. Joyce JM, Debert CT, Chevignard M, Sorek G, Katz-Leurer M, Gagnon I, et al. Balance impairment in patients with moderate-to-severe traumatic brain injury: Which measures are appropriate for assessment? *Front Neurol.* 3 août 2022;13. doi:10.3389/fneur.2022.906697
17. Horak FB, Wrisley DM, Frank J. The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to Differentiate Balance Deficits. *Phys Ther.* mai 2009;89(5):484-98. doi:10.2522/ptj.20080071 PubMed PMID: 19329772; PubMed Central PMCID: PMC2676433.
18. Movendo Technology. hunova: Robotic Rehabilitation and Physiotherapy System. HUNOVA The robotic system that supports doctors, physiotherapists and patients [Internet]. 2025 [cité 27 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.movendo.technology/our-products/hunova/?lang=en>
19. Saglia JA, Luca AD, Squeri V, Ciaccia L, Sanfilippo C, Ungaro S, et al. Design and Development of a Novel Core, Balance and Lower Limb Rehabilitation Robot: hunova®. In: 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR) [Internet]. Toronto, ON, Canada: IEEE; 2019 [cité 27 mai 2026]. p. 417-22. Disponible sur: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8779531/> doi:10.1109/ICORR.2019.8779531
20. Payedimarri AB. ResearchGate [Internet]. 2022 [cité 14 juin 2026]. Platform-Based Robot-Assisted Rehabilitation. Disponible sur: [https://www.researchgate.net/publication/359711239\\_Platform-Based\\_Robot-Assisted\\_Rehabilitation](https://www.researchgate.net/publication/359711239_Platform-Based_Robot-Assisted_Rehabilitation)
21. CNIL. Méthodologie de référence MR - 004 : Recherches n'impliquant pas la personne humaine, études et évaluations dans le domaine de la santé [Internet]. 2018 [cité 28 mai 2026]. Disponible sur: <https://www.cnil.fr/fr/declaration/methodologie-de-reference-04-recherches-nimpliquant-pas-la-personne-humaine-etudes-et-evaluations-dans-le-domaine-de-la-sante>
22. JASP. JASP - Free and User-Friendly Statistical Software [Internet]. 2025 [cité 11 juin 2026]. JASP - A Fresh Way to Do Statistics. Disponible sur: <https://jasp-stats.org/>
23. STROBE. STROBE [Internet]. 2026 [cité 2 juin 2026]. Disponible sur: <https://www.strobe-statement.org/>

## Résumé

Le contrôle postural est une capacité importante pour le maintien de l'équilibre dans la vie quotidienne. L'équilibre est souvent impacté dans les pathologies neurologiques. La rééducation de l'équilibre est donc mise en place pour la récupération de leurs fonctions. La plateforme Hunova® est un dispositif de réadaptation et de rééducation des membres inférieurs et du tronc utilisé par les kinésithérapeutes au centre de Lay-Saint-Christophe pour leurs patients. Le but est d'établir le début de la mise en place de cette pré-étude et d'exploiter rétrospectivement les données Hunova® pour caractériser la cohorte des patients qui l'utilisent, explorer l'association des paramètres posturographiques et des tests cliniques et décrire l'évolution des paramètres entre deux bilans Hunova®. L'objectif est d'évaluer la place de l'évaluation posturographique par Hunova®, en complément des tests cliniques, pour caractériser le contrôle postural et suivre l'évolution au cours du parcours de soin. L'étude a mis en évidence l'évaluation posturographique de Hunova® avec des associations entre le Silver Index et le nombre de chutes ainsi que MIF, ainsi qu'avec des évolutions sur la vitesse du CoP en YO et le RMS en YO/YF. L'étude présente des limites sur le nombre de données manquantes et le nombre d'effectifs. La récupération de la finalité des données de la plateforme Hunova® est nécessaire pour améliorer la robustesse des analyses statistiques.

**Mots-clés :** Hunova®, Rééducation, Équilibre, Vitesse du centre de pression

## Abstract

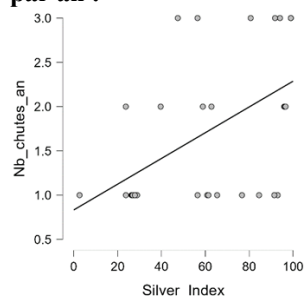
Postural control is an important ability for maintaining balance in daily life. Balance is often impaired in neurological disorders. Balance rehabilitation is therefore implemented to help patients recover these functions. The Hunova® platform is a rehabilitation device for the lower limbs and trunk used by physical therapists at the Lay-Saint-Christophe center for their patients. The goal is to initiate this preliminary study and retrospectively analyse Hunova® data to characterize the cohort of patients using the device, explore the association between posturographic parameters and clinical tests, and describe changes in these parameters between two Hunova® assessments. The objective is to evaluate the role of posturographic assessment using Hunova®, as a complement to clinical tests, in characterizing postural control and monitoring changes throughout the course of care. The study highlighted the posturographic assessment provided by Hunova®, revealing associations between the Silver Index and the number of falls as well as MIF, and with changes in CoP speed in EO direction and RMS in EO/EC directions. The study has limitations related to missing data and a small sample size. Further analysis of the data from the Hunova® platform is necessary to improve the robustness of the statistical analyses.

**Keywords :** Hunova®, Rehabilitation, Balance, Center of Pressure Speed

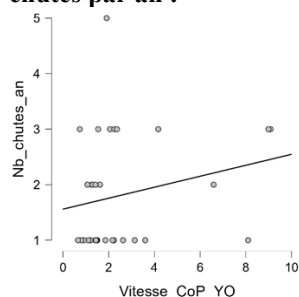
# Annexes

## Annexe 1 : Nuages de points des corrélations de Spearman entre les paramètres

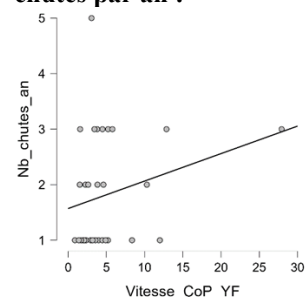
### 1. Silver Index vs Nb chutes par an :



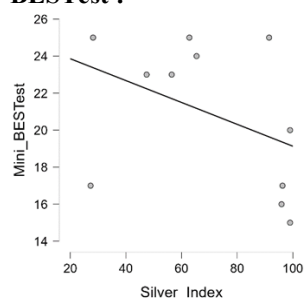
### 2. Vitesse CoP YO vs Nb chutes par an :



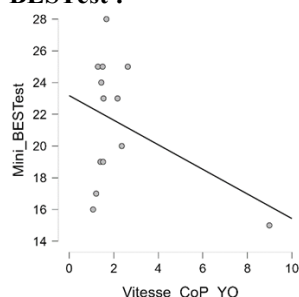
### 3. Vitesse CoP YF vs Nb de chutes par an :



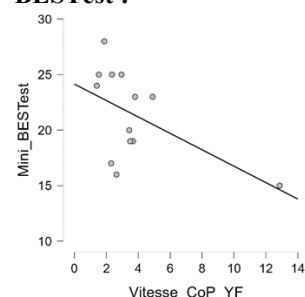
### 1. Silver Index vs Mini-BESTest :



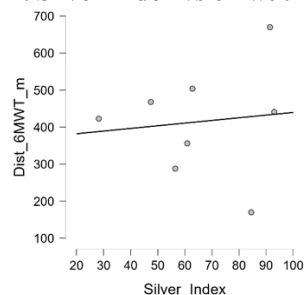
### 2. Vitesse CoP YO vs Mini-BESTest :



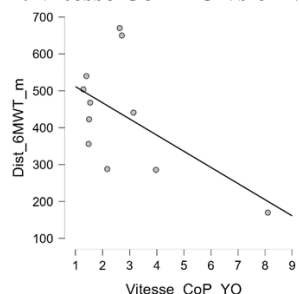
### 3. Vitesse CoP YF vs Mini-BESTest :



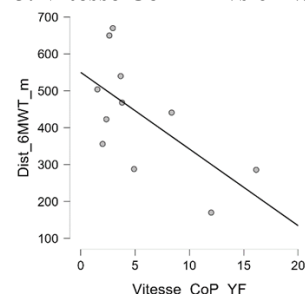
### 1. Silver Index vs 6mwt :



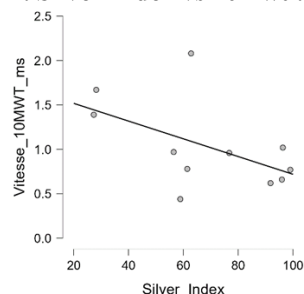
### 2. Vitesse CoP YO vs 6mwt :



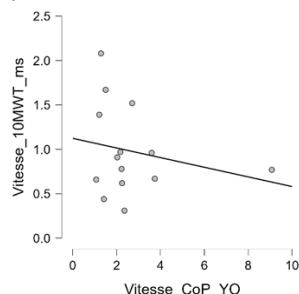
### 3. Vitesse CoP YF vs 6mwt :



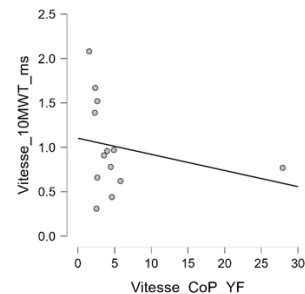
### 1. Silver Index vs 10mwt :



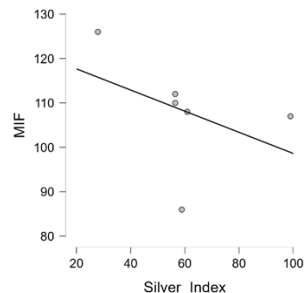
### 2. Vitesse CoP YO vs 10mwt :



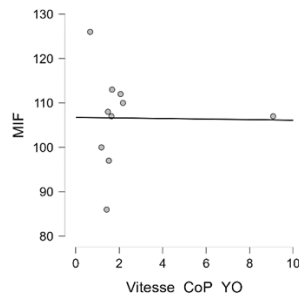
### 3. Vitesse CoP YF vs 10mwt :



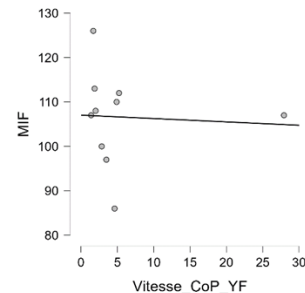
### 1. Silver Index vs MIF :



### 2. Vitesse CoP YO vs MIF :



### 3. Vitesse CoP YF vs MIF :



**Annexe 2 : Graphique présentant l'évolution des paramètres pré et post évaluation (test de Wilcoxon)**

