



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT-SEBASTIEN SUR LOIRE

**L'apport des techniques de biofeedback biomécaniques dans la  
rééducation des troubles de l'équilibre chez les patients atteints de la  
maladie de Parkinson**

*Revue de la littérature*

Loana PELLETIER

Mémoire UE28

Semestre 10

Année scolaire : 2020-2021

RÉGION DES PAYS DE LA LOIRE





**AVERTISSEMENT**

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.



## Remerciements

---

Je souhaite avant tout adresser mes remerciements à mon directeur de mémoire, pour m'avoir guidée dans cette démarche et avoir toujours été présent, m'éclairant de ses précieux conseils. Merci pour sa disponibilité, et tout ce temps accordé.

Merci à ma tutrice de stage ST5, qui m'a permis d'orienter l'ensemble de ce projet et surtout m'a offert la possibilité d'élargir mes futures perspectives professionnelles en me faisant découvrir ses pratiques personnelles.

Je remercie toutes les personnes qui ont été d'une grande aide lors de la rédaction de ce travail, de près ou de loin, que ce soit par de simples échanges, des conseils, ou une relecture.

Merci à ma mère pour son soutien inconditionnel, sa patience, et surtout pour m'avoir permis de réaliser les grandes études dont j'ai toujours rêvé.

A tous mes amis, camarades de promotion, merci de m'avoir fait vivre quatre années merveilleuses, sûrement les meilleures.



## Résumé

---

**Introduction :** Les troubles de l'équilibre sont des symptômes fréquents dans la maladie de Parkinson. La rééducation de ces troubles dans différentes pathologies neurologiques fait intervenir des techniques interactives innovantes permettant au patient d'avoir un retour sur la position de son corps dans l'espace. C'est pourquoi ce travail vise à analyser l'apport des techniques de biofeedback biomécaniques dans la rééducation des troubles de l'équilibre dans la maladie de Parkinson, et notamment par rapport à des techniques de rééducation conventionnelles.

**Matériels et méthodes :** Une revue systématique de la littérature a été réalisée. Trois bases de données ont été interrogées : PEDro, Pubmed et Science Direct. Nos recherches se concentrent sur des études contrôlées, et l'évaluation de la qualité méthodologique des études avant inclusion est établie avec l'échelle PEDro.

**Résultats :** Sur les 582 articles trouvés, 4 études contrôlées randomisées ont été retenues dans ce travail. Les études comparent l'effet des techniques de rééducation assistées de biofeedback sur les échelles de l'équilibre (Berg Balance Scale, partie motrice de l'UPDRS, Time Up and Go test), par rapport aux techniques de rééducation conventionnelles. Les résultats semblent converger vers un intérêt des techniques de biofeedback, à hauteur des techniques conventionnelles sur la rééducation de l'équilibre des patients parkinsoniens.

**Discussion :** Notre revue révèle de nombreuses divergences dans les résultats des études, et un manque d'applicabilité en clinique de ces résultats. Des écrits complémentaires et plus rigoureux sur l'utilisation du biofeedback dans la rééducation de l'équilibre chez les patients atteints de la maladie de Parkinson permettraient de rendre compte de l'apport de ces techniques. Augmenter les connaissances sur les mécanismes neurophysiologiques du biofeedback ainsi que de développer des échelles spécifiques de l'équilibre dans la maladie de Parkinson pourrait permettre une meilleure évaluation des techniques de biofeedback.

## Mots clés

---

- **Biofeedback**
- **Equilibre**
- **Maladie de Parkinson**
- **Rééducation**



## Abstract

---

**Introduction** : Balance disorders are frequent symptoms in Parkinson's disease. Rehabilitation of these disorders in different neurological pathologies involves innovative interactive techniques allowing the patient to have feedback on the position of his body. This is why this work aims to analyse the contribution of biomechanical biofeedback techniques in the rehabilitation of balance disorders in Parkinson's disease, and especially compared to conventional rehabilitation techniques

**Material and methods** : A systematic review of the literature was realised. Three databases were queried : PEDro, Pubmed and Science Direct. Our search focused on controlled studies, and the assessment of the methodological quality of the studies before inclusion was established with the PEDro scale.

**Results** : Among the 582 articles found, 4 randomized controlled studies were included. The studies compared the effect of biofeedback-assisted rehabilitation techniques on balance scales (Berg Balance Scale, motor part of the UPDRS, Time Up and Go test), compared to conventional rehabilitation techniques. The results seem to converge towards an interest of biofeedback techniques, but at the same level as conventional techniques for balance rehabilitation of Parkinsonian patients.

**Discussion** : Our review reveals many discrepancies in the results of the studies, and a lack of clinical applicability of these results. Additional and more rigorous literature on the use of biofeedback in balance rehabilitation in patients with Parkinson's disease would help to account for the contribution of these techniques. Increasing knowledge of the neurophysiological mechanisms of biofeedback as well as developing specific scales for balance in Parkinson's disease could allow a better evaluation of biofeedback techniques.

## Key Words

---

- **Balance**
- **Biofeedback**
- **Parkinson's disease**
- **Rehabilitation**



## Index des abréviations

---

<b>10-MWT :</b>	10 Meter Walk Test
<b>ABC :</b>	Activities-Specific Balance Confidence Scale
<b>BBS :</b>	Berg Balance Scale
<b>CMD :</b>	Changement Minimal Détectable
<b>DASH :</b>	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand scale
<b>DGI :</b>	Dynamic Gait Index
<b>EBP :</b>	Evidence-Based Practice
<b>EMG :</b>	Electromyogramme
<b>FOGQ :</b>	Freezing Of Gait Questionnaire
<b>FRT :</b>	Functional Reach Test
<b>Game-PAD :</b>	Gaming Experience in Parkinson's Disease
<b>GC :</b>	Groupe Contrôle
<b>GE :</b>	Groupe Expérimental
<b>H&amp;Y :</b>	Hoehn & Yahr
<b>HAS :</b>	Haute Autorité de Santé
<b>HeTOP :</b>	Health Terminology Ontology Portal
<b>L-Dopa :</b>	Levodopa
<b>LSVT BIG :</b>	Lee Silverman Voice Treatment BIG®
<b>MK :</b>	Masseur-Kinésithérapeute

<b>MDS</b>	: Movement Disorders Society
<b>MeSH</b>	: Medical Subject Headings
<b>Mini-BEST</b>	: Mini Balance Evaluation Systems Test
<b>MP</b>	: Maladie de Parkinson
<b>MPI</b>	: Maladie de Parkinson Idiopathique
<b>PDQ-39</b>	: Parkinson Disease Questionnaire
<b>PEDro</b>	: Physiotherapy Evidence Database
<b>PICO</b>	: Population, Intervention, Comparateur, Outcome
<b>RV</b>	: Réalité Virtuelle
<b>SF-36</b>	: Short Form 36
<b>TSQ-WT</b>	: Telehealth Care Satisfaction Questionnaire- Wearable Technology
<b>TUG</b>	: Time Up and Go test
<b>UPDRS</b>	: Unified Parkinson's Disease Rating Scale



## Tables des matières

---

1. Introduction .....	1
2. Cadre conceptuel .....	2
2.1. La maladie de Parkinson .....	2
2.2. L'équilibre .....	7
2.3. Le biofeedback .....	15
3. Question et hypothèses de recherche .....	20
4. Matériel et méthodes.....	21
4.1. Choix de la méthode.....	21
4.2. Stratégies de recherches .....	21
4.3. Sélection des articles.....	24
5. Résultats .....	26
5.1. Présentation générale des études .....	26
5.2. Caractéristiques générales des études.....	26
5.3. Résultats des études.....	30
6. Discussion .....	36
6.1. Les limites méthodologiques des études .....	36
6.2. L'intérêt en clinique des résultats obtenus .....	38
6.3. Limites de notre revue.....	41
6.4. Confrontation avec la littérature .....	43
6.5. Réponse à la question de recherche et perspectives envisagées.....	47
7. Conclusion.....	50

## Références Bibliographiques

## 1. Introduction

Au cours du cursus de formation en masso-kinésithérapie, les expériences en stage clinique permettent notamment de découvrir une diversité de domaines au sein de la rééducation. Parmi eux, la prise en charge des patients atteints de la **maladie de Parkinson (MP)** s'est présentée comme un domaine d'intérêt. Avec une estimation en 2015 de 25 000 nouveaux cas par an, cette pathologie neurologique dégénérative constitue un **enjeu de santé publique** majeur. En effet, on considère que d'ici 2030, le nombre de cas pourrait doubler, notamment en raison du vieillissement de la population et de l'amélioration de l'espérance de vie (1).

Si des années de recherches n'ont toujours pas permis d'apporter un traitement curatif à la MP, il est maintenant admis et démontré que la **rééducation** est un des fondamentaux de la prise en charge de la MP (2). En effet, elle permet d'aider le quotidien des patients parkinsoniens, en diminuant les symptômes ressentis par les patients, et notamment leurs conséquences. Parmi ceux-ci, les **troubles de l'équilibre** sont identifiés, avec une incidence de 40 à 70% chez les patients parkinsoniens, doublant ainsi le risque de **chute** de ces patients par rapport à des sujets âgés sains (3,4). Différents moyens sont mis en place dans la rééducation de l'équilibre, notamment le renforcement musculaire, le travail des grandes amplitudes et des stratégies d'équilibration qui doivent être réalisées à un rythme soutenu tout en encourageant une activité physique maximale (5–7). Si ces moyens peuvent être considérés comme de la rééducation « conventionnelle », des techniques innovantes et interactives émergent et montrent leur intérêt dans la rééducation de ces troubles de l'équilibre chez les personnes âgées, et en neurologie (8–11). En effet, le **biofeedback** est un outil de rééducation permettant à l'utilisateur d'obtenir des informations sur la position de son corps dans l'espace, et ainsi de pouvoir la corriger. A ce jour, aucune recommandation n'est établie à propos de son utilisation dans la maladie de Parkinson.

Ainsi, l'ensemble de ces éléments a confirmé l'importance portée à cette pathologie, et notamment dans le cadre de cette initiation à la recherche. C'est pourquoi nous nous sommes posé la question suivante : **le biofeedback a-t-il un intérêt dans la prise en charge des troubles de l'équilibre dans la maladie de Parkinson ?**

C'est avec ces interrogations que nous avons débuté notre travail de recherche, qui se sont précisées dans l'avancée de notre cadre conceptuel et démarche de problématisation. Les résultats de notre travail éclairent nos questions initiales, tout comme les éléments de discussion et perspectives apportées.

## 2. Cadre conceptuel

### 2.1. La maladie de Parkinson

#### 2.1.1. Généralités

La maladie de Parkinson est la **deuxième maladie neurodégénérative** la plus fréquente, après la maladie d'Alzheimer, ainsi que la deuxième cause de handicap moteur chez l'adulte après les accidents vasculaires cérébraux. On compte environ 200 000 malades en France, et 25 000 nouveaux cas se déclarent chaque année. L'impact économique de cette pathologie n'est pas négligeable. Le guide de recommandations européen pour la MP établi en 2014 estime qu'avec une population parkinsonienne européenne d'environ 1.2 millions, le coût annuel des dépenses engendrées par la MP en Europe est de 13.9 milliards d'euros, majoritairement attribuées à la prise en charge des soins des patients parkinsoniens (5).

Contrairement à une idée reçue, la maladie de Parkinson n'est pas une maladie de personnes âgées puisque presque un malade sur deux est diagnostiqué à 58 ans en moyenne, c'est-à-dire encore en âge d'exercer une activité. 17% des malades ont moins de 50 ans (12).

La MP est caractérisée par la **dégénérescence des neurones dopaminergiques** dans la substance noire du mésencéphale. La marque cytopathologique de la MP est le corps de Lewy, qui correspond à une agrégation de protéine appelée  $\alpha$ -synucléine. Un des modèles les plus cités pour expliquer l'évolution de la maladie est expliqué par Braak (13,14): la MP commencerait dans la moelle et le bulbe olfactif, ce qui associerait des symptômes précoces comme des troubles du sommeil et une diminution de l'odorat. Par la suite, la pathologie progresserait dans la « pars compacta » de la substance noire ainsi que d'autres structures cérébrales ce qui entraîne les symptômes moteurs de la MP. Enfin, la pathologie progresserait vers différents cortex cérébraux responsables d'un déclin de la cognition. Ces agrégations sont associées à une mort des cellules productrices de dopamine, et c'est pourquoi les traitements de la MP se tournent vers une supplémentation en dopamine (13,15).

Bien qu'un petit pourcentage de patients atteints de MP ait une forme héréditaire, la plupart des formes sont sporadiques et de causes inconnues (16). Également, la MP est la forme la plus courante des **syndromes parkinsoniens**, un terme qui englobe un groupe de pathologies neurologiques apparentés à la maladie de Parkinson, comme l'atrophie multisystématisée, la démence à corps de Lewy ou encore la paralysie supranucléaire progressive par exemple. Ces syndromes s'apparentent par leurs symptômes moteurs similaires, mais ne semblent pas avoir la même réponse aux traitements classiques de la maladie de Parkinson (6,17).

### 2.1.2. Les symptômes de la MP

En général, les premiers signes de la maladie sont des symptômes non moteurs, également appelés **signes inauguraux** : troubles du sommeil, dépression, problèmes de constipation, perte d'odorat, fatigue intense, douleurs musculaires... Puis progressivement les premiers symptômes moteurs apparaissent, de façon asymétrique. Les **symptômes moteurs** d'une maladie de Parkinson idiopathique sont : l'akinésie (difficulté d'initiation du mouvement) et/ou bradykinésie (lenteur du mouvement) et/ou hypokinésie (pauvreté du mouvement) ; l'hypertonie extrapyramidale ; le tremblement de repos (parfois absent, disparaît lors du mouvement volontaire). À cette triade typique, une instabilité posturale s'ajoute, parfois précocement dans les syndromes apparentés (6).

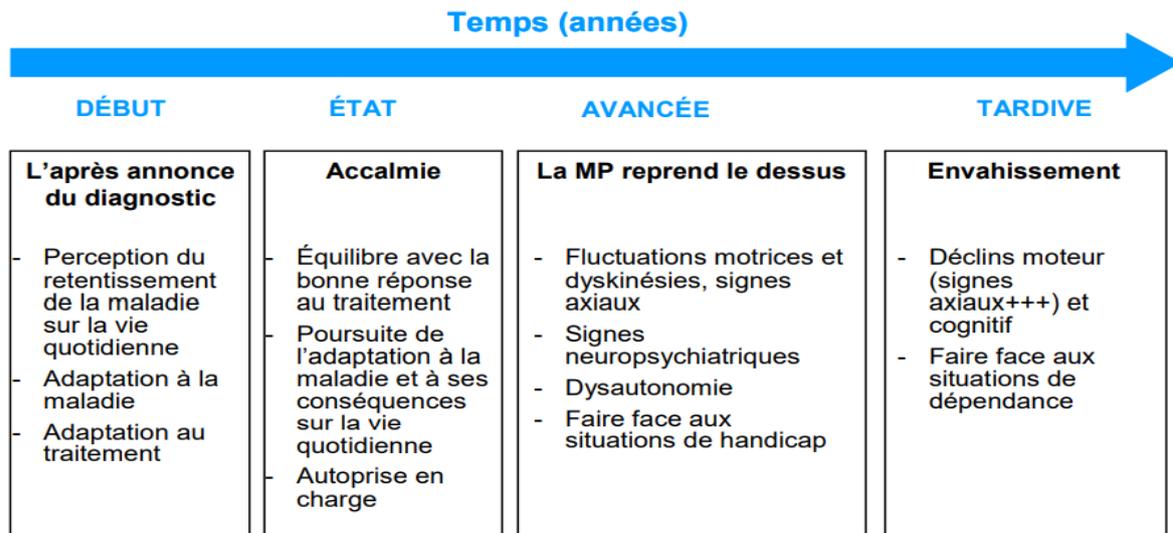
Les conséquences directes de ces symptômes sont : des troubles de la préparation du mouvement (initiation, ajustements posturaux, planification des mouvements complexes) ; une altération des mouvements automatiques : marche, écriture ; des troubles de la motivation.

Les conséquences générales de ces symptômes sont notamment :

- Des complications motrices provoquées par le traitement (fluctuations des performances motrices et mouvements anormaux involontaires) ;
- Des troubles morpho-statiques (triple flexion, camptocormie, inclinaisons latérales du tronc, etc.) ;
- Une altération de la fonction posturale (rétropulsion, ajustement postural, antécolis, etc.) ; une altération de la marche : marches à petits pas, enrayage cinétique (freezing), festination (tendance à marcher plus vite de façon à éviter la chute en avant) ;
- Une altération de la gestuelle : diminution de l'amplitude (micrographie, etc.) et de la vitesse des mouvements ;
- Des **troubles de l'équilibre** et ainsi des risques de chute ;
- Un déconditionnement physique
- Des limitations d'activités (transferts, dextérité, s'alimenter, marche, etc.) et restrictions de participation (loisirs, professions, activités sociales, communication, etc.) (6).

### 2.1.3. L'évolution de la MP

La MP est une maladie évolutive sans traitement curatif. La Haute Autorité de Santé (HAS) décrit 4 phases évolutives : la phase de début, la phase d'état, la phase d'avancée puis la phase tardive (2) (figure 1).



*Figure 1 : Description des différentes phases évolutives de la MP selon la HAS (2)*

La HAS souligne le fait que la largeur des cases n'est pas proportionnelle à la durée des phases ; en effet, la progression de la MP est totalement individuelle et non prédictible. Cette évolution est mesurée par différentes échelles, mais les symptômes axiaux, comme la posture et l'équilibre évoluent généralement plus rapidement que d'autres symptômes et semblent être les meilleurs indicateurs de l'évolution de la maladie (5).

Communément, le **degré d'évolution de** la MP est gradué selon l'échelle de Hoehn et Yahr (H&Y), et différencie en 6 stades les symptômes présents chez les patients parkinsoniens :

- Stade 0 : pas de signes parkinsoniens ;
- Stade 1 : signes unilatéraux n'entraînant pas de handicap dans la vie quotidienne ;
- Stade 2 : signes à prédominance unilatérale entraînant un certain handicap ;
- Stade 3 : atteinte bilatérale avec une certaine instabilité posturale, malade autonome ;
- Stade 4 : handicap sévère mais possibilités de marche, perte partielle de l'autonomie ;
- Stade 5 : malade en chaise roulante ou alité, n'est plus autonome.

L'altération de l'équilibre est associée à un stade 3 selon l'échelle de H&Y, et est associée à une diminution de la qualité de vie (6).

#### **2.1.4. Les traitements de la maladie de Parkinson**

##### **Les traitements médicamenteux et chirurgicaux**

Dans la maladie de Parkinson, il existe différents traitements médicamenteux, qui sont uniquement symptomatiques. Ils ont des mécanismes d'action et des modes d'administration

différents, mais quel que soit le médicament, son efficacité est variable d'un patient à un autre. Les deux traitements les plus courants pour lutter contre les symptômes moteurs sont la Levodopa et les agonistes dopaminergiques. Il existe également les inhibiteurs enzymatiques.

La **Levodopa** ou L-Dopa est le traitement le plus efficace et le plus puissant, avec la balance bénéfique risque la plus avantageuse. Malheureusement, elle peut engendrer des effets secondaires plus ou moins importants en fonction des doses et des fréquences de prise comme des dyskinésies importantes. Les **agonistes dopaminergiques** ou les **inhibiteurs de la monoamine oxydase de type B** peuvent être également des traitements utilisés dans la MP, et permettent de retarder l'apparition de complications motrices mais peuvent avoir des effets secondaires comme des changements de comportements. La plupart des patients atteints de la MP ont une plutôt bonne réponse au traitement dopaminergique, mais présentent une augmentation des symptômes lorsqu'une dose de médicament s'estompe. On parle alors de **période « off »** ; elle s'améliore avec la dose suivante de traitement dopaminergique, pour revenir à une **période dite « on »**. Les périodes « off » sont associés à des incapacités fonctionnelles et peuvent inclure des symptômes moteurs et non moteurs. (15)

Le traitement médicamenteux est adapté à chaque patient, et sera modifié tout au long de l'évolution de la maladie (la dose, la forme, le nombre de prise, etc) avec le neurologue (18,19).

Il existe également la **stimulation cérébrale profonde** qui consiste en l'implantation d'une électrode dans le noyau subthalamique. Cette procédure est plus rare et réservée à un nombre restreint de patients atteints de la MP (20).

Les traitements classiques de la MP permettent surtout d'agir sur les symptômes moteurs de la MP comme la lenteur, la rigidité le tremblement, et semblent moins efficaces pour les autres symptômes de cette maladie. Par exemple, certains troubles de l'équilibre répondent au traitement dopaminergique, mais peu efficacement, et tous n'y répondent pas favorablement (4,14). Toutefois, ces traitements ne permettent pas de ralentir l'évolution de la MP.

C'est en prenant compte de ces éléments que la rééducation, notamment par l'activité physique, est un complément essentiel à la prise en charge des patients parkinsoniens (21).

### La rééducation : une place importante dans la prise en charge de la maladie de Parkinson

L'objectif dans la gestion de la MP est de **réussir à optimiser les activités de la vie quotidienne**, la **participation sociale** ainsi que la **qualité de vie** des patients parkinsoniens, tout en considérant les facteurs fonctionnels, personnels et environnementaux de chacun. Il faut chercher à favoriser l'autonomie des patients, et c'est l'objectif de la rééducation dans la MP. Celle-ci est patient-centrée et multidisciplinaire.

Les différentes approches rééducatives doivent toujours inciter **l'activité physique** (5,6) qui augmente la qualité de vie des patients parkinsoniens. Elle semble être neuroprotectrice et augmenter l'efficacité des traitements pharmacologiques, tout en diminuant le rythme de progression de la maladie chez les patients parkinsoniens (22,23). L'intensité, la diversité, la régularité et la continuité sont les principes fondamentaux de l'activité rééducative (6). Celle-ci inclut différents éléments comme l'entraînement à la marche et l'équilibre, de l'entraînement sur tapis roulant, du renforcement musculaire, de l'exercice sur une base aérobie, ainsi que des approches basées sur la musique et la danse. En complément, des prises en charge chez l'ergothérapeute et l'orthophoniste ont également un intérêt pour le maintien des habilités manuelles et le travail de la voix (15).

L'ensemble de ces prises en charge doit être adapté à l'évolution de la maladie de chaque patient. Le guide de recommandations européen sur la physiothérapie dans la MP décrit des thérapies adaptées aux différents stades d'évolution de la MP selon l'échelle de H&Y (5). Les objectifs de rééducation sont résumés dans le tableau I ci-dessous.

Tableau I : Résumé des objectifs de rééducation dans la MP selon les stades de H&Y (5)

H&Y 1	H&Y 2-4	H&Y 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auto-rééducation</li> <li>- Prévention de l'inactivité</li> <li>- Prévention de la peur du mouvement ou de la chute</li> <li>- Améliorer les capacités physiques</li> <li>- Réduire la douleur</li> <li>- Retarder l'apparition des limitations d'activités</li> </ul>	<p>Les mêmes objectifs qu'au stade précédent, avec en plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le maintien ou l'amélioration d'activités spécifiques comme : les transferts, <b>l'équilibre</b>, la marche, les activités manuelles</li> </ul>	<p>Les mêmes objectifs qu'aux stades précédents, avec en plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le maintien des fonctions vitales</li> <li>- La prévention des escarres</li> <li>- La prévention des contractures</li> <li>- Soutien des aidants</li> <li>- Aide du personnel soignant</li> </ul>

En outre, la place du masseur kinésithérapeute dans le suivi de la MP résume d'un autre regard ces objectifs, et est détaillée en *Annexe 1*.

## 2.2. L'équilibre

### 2.2.1. La fonction d'équilibration

Les signes que l'on dit « axiaux » dans la MP sont les troubles de la posture, de la marche, ainsi que de l'équilibre (24). **Comment comprendre ce terme d'équilibre ?**

L'académie de Médecine définit l'équilibre comme « une attitude ou position stable du corps humain assurée par la **fonction d'équilibration** » ; cette dernière permet « le maintien d'une **posture**, particulièrement au niveau de l'axe du corps et des yeux, malgré d'éventuelles perturbations, ainsi que son rétablissement lorsqu'elle a été compromise » (25).

Au vu de ces définitions, il semble évident que les notions d'équilibre et de posture sont étroitement liées et parfois assimilées l'une à l'autre, mais T. Paillard évoque bien une réelle différence entre ces deux notions. Selon lui, la notion d'équilibre est évoquée en mécanique et c'est Newton qui stipule qu'un « corps est en équilibre si l'effet des forces extérieures qui s'applique sur lui est nul » (26). Ainsi, même si la notion **d'équilibre postural** est évoquée pour caractériser la faculté de maintenir une organisation particulière des segments corporels, cette terminologie semble abusive puisque d'un point de vue mécanique une personne réalise systématiquement des micromouvements. Finalement, l'équilibre postural est donc évoqué pour définir la **capacité du sujet à revenir au plus proche de cette position d'équilibre hypothétique**, quelles que soient les circonstances externes (26).

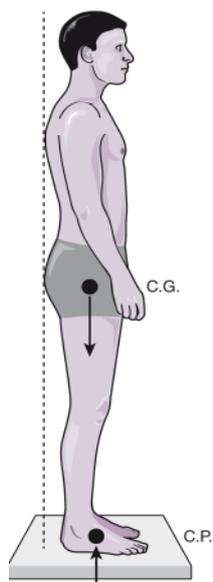


Figure 2 : Centre de gravité et centre des pressions

Gilles Péninou indique que pour comprendre l'équilibre statique debout, il faut assimiler l'ensemble du corps à un solide rigide. « Dans ce cas, il n'est soumis qu'aux actions de la force gravitaire, appliquée au centre de gravité (CG) et de la réaction des appuis au sol, appliquée au centre des pressions (CP) » (27). Ainsi, l'équilibre est alors obtenu lorsque le centre de gravité du corps se projette dans le polygone de sustentation, soit la surface déterminée par la projection des points d'appui au sol des deux pieds. Le poids du corps est alors équilibré « par la résultante des forces de réaction du sol appliqué au centre des pressions » (figure 2 ci-contre) (27).

Ainsi, le maintien de cet équilibre constitue un défi constant lors des activités de la vie quotidienne et nécessite un **système de contrôle complexe** capable d'intégrer plusieurs entrées sensorielles et de s'adapter aux changements d'états internes et externes (26,28).

### 2.2.2. Les bases neurophysiologiques de l'équilibre

Pour comprendre la physiologie de l'équilibre, il faut s'intéresser aux composantes qui rentrent en jeu dans l'adaptation des réactions d'équilibration lorsqu'un individu est en mouvement.

**Les effecteurs du mouvement** : Le maintien d'une position stable nécessite une activité musculaire de base notamment par certains **muscles striés squelettiques**, qui sont les effecteurs du mouvement. Ils sont constitués de fibres de types I et de type II, respectivement à vitesse de contraction lente et rapide, qui sont commandées par les motoneurones  $\alpha$  (29).

**Les capteurs du mouvement** : Plusieurs sont mis en jeu dans la réaction d'équilibration.

**La vision** : les photorécepteurs de la rétine captent les informations visuelles qui passent ensuite par les voies optiques, et se projettent sur le cortex occipital où elles sont décodées. Cela permet l'orientation dans l'espace et donne un repère visuel de la verticalité, et la perception du mouvement dans l'espace tridimensionnel (26,27).

**L'appareil vestibulaire** : il comprend le labyrinthe, qui est sensible aux accélérations linéaires et angulaires de la tête dans l'espace. Les organes otolithiques comme la saccule et l'utricule, ainsi que les canaux semi-circulaires sont fondamentaux dans ce système vestibulaire, qui est un référentiel précis de l'orientation spatiale par rapport à la gravité. (26,27)

**Les récepteurs somesthésiques cutanés** : il existe des récepteurs cutanés dans l'épiderme, en relation avec des fibres afférentes qui se projettent jusqu'au bulbe, puis au thalamus et sur les aires du cortex somesthésique. Il y a notamment les pressorécepteurs cutanés plantaires qui donnent des renseignements sur la position du corps par rapport à son support et permettent également d'en apprécier ses irrégularités, afin d'adapter le réflexe d'équilibration en conséquence, lorsque le sujet est debout (26,27,30).

**Les propriocepteurs musculaires** : ils sont à l'origine des boucles réflexes qui jouent un rôle prépondérant dans l'entretien et la régulation du tonus musculaire, en envoyant des informations au niveau du tronc cérébral et du cervelet. On trouve parmi ces récepteurs notamment les fuseaux neuromusculaires qui sont sensibles à l'allongement des muscles, ou les organes tendineux de Golgi sensibles à la traction des muscles (26,27).

**Les récepteurs articulaires** : ils sont situés dans les capsules et ligaments et sont sensibles à la position, la vitesse, la direction et aux accélérations des mouvements des articulations (26,27).

**Intégration du mouvement** : Les informations sensorielles reçues par les différentes entrées décrites vont être intégrées à différents niveaux du système nerveux central, qui va exercer un **contrôle hiérarchisé** de la contraction des muscles striés. Par la suite, les informations reviennent au système nerveux central afin d'assurer un retour sur la commande réalisée (31).

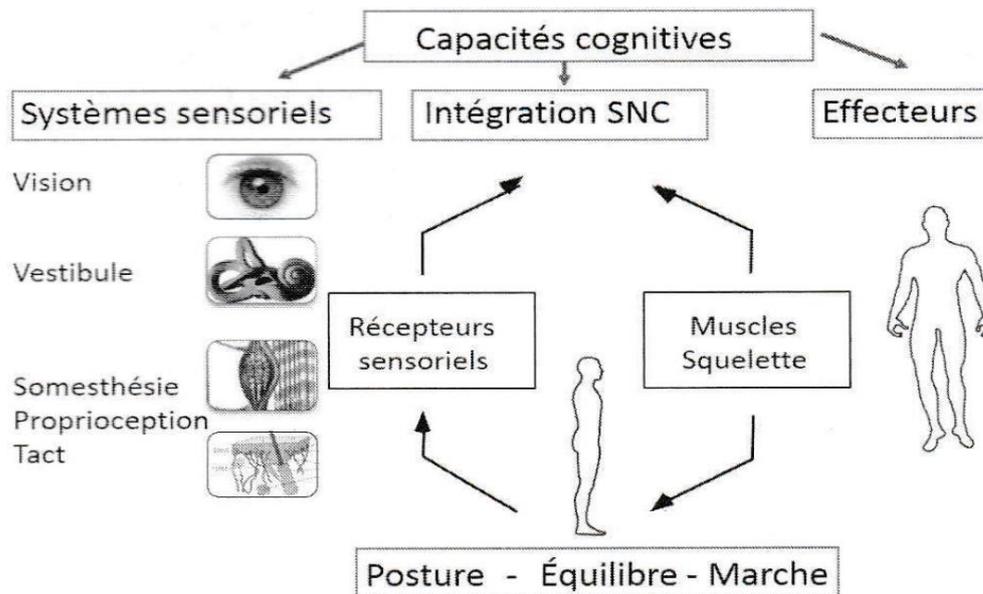
L'organisation de l'équilibration est tout d'abord permise par l'existence d'un système nerveux responsable de corrections et ajustements posturaux réalisés par **voie réflexe**, notamment via une contribution majeure du système extra-pyramidal. Ce système est composé des faisceaux vestibulospinaux et réticulospinaux issus des noyaux de la formation réticulée médiane du tronc cérébral, se distribuant à tous les étages médullaires. Ces voies participent à l'entretien du tonus postural en exerçant une modulation sur les motoneurones  $\alpha$  et  $\gamma$  des muscles striés antigravitaires (action excitatrice) et des muscles antagonistes (action inhibitrice). Les réflexes d'origines labyrinthiques ou musculaires permettent des ajustements automatiques rapides de la posture via une boucle réflexe au niveau spinal, sans intervention corticale. Le rôle de la proprioception musculaire intervient notamment en réponse aux contractions et allongements musculaires, en adaptant la réponse des muscles antagonistes pour permettre un contrôle permanent de la posture (31).

En revanche lorsque les réactions d'équilibration demandées au corps sont plus complexes, comme par exemple lors de la station unipodale, il y a besoin d'une plus grande **contribution des structures corticales** (32).

Ainsi, de nombreuses structures mésencéphaliques et télencéphaliques, sous-corticales et corticales, participent à la régulation de la posture et de l'équilibre. Le cortex moteur et ses liaisons avec l'aire prémotrice, l'aire motrice supplémentaire, l'aire kinesthésique et l'aire visuelle constituent des acteurs importants de la régulation posturale. Par ailleurs, le rôle du cervelet et celui des noyaux de la base du crâne doivent être soulignés, en particulier dans l'intégration des informations et l'exécution automatique de schémas moteurs appris (32). Le cervelet permet également la comparaison entre la commande initiale et l'acte moteur qui est vraiment réalisé et ainsi de permettre un ajustement de la réponse (26).

Un schéma récapitulatif de l'ensemble de ces systèmes sensori-moteurs impliqués dans le contrôle des ajustements posturaux est reporté en *Annexe 2*.

En résumé, la réaction d'équilibration se déroule ainsi : les **capteurs sensoriels détectent** la position respective des divers segments et informent sur celle-ci. Les **centres nerveux interprètent** la position ainsi transmise des différents influx et réalisent une réponse appropriée. Les **effecteurs moteurs** permettent la **correction** adéquate (25,33). Cette réaction est schématisée dans la figure 3 ci-dessous.



*Figure 3 : Schématisation des éléments mis en jeu dans la réaction d'équilibration*

L'équilibre est ainsi assuré par de nombreux référentiels, et cette **redondance informationnelle** permet d'assurer le maintien de la posture même en cas de défaillance d'un des référentiels par suppléance d'un autre.

### 2.2.3. L'équilibre dans la maladie de Parkinson

Ainsi, pour que la réaction d'équilibration fonctionne, il est nécessaire d'avoir un système musculosquelettique efficient, de la coordination motrice, de l'organisation sensitive et des capacités attentionnelles suffisantes.

Comme évoqué précédemment, des déficits de l'équilibre sont retrouvés dans la maladie de Parkinson. La répartition asymétrique de la rigidité (notamment d'un côté du corps, mais aussi sur la chaîne des fléchisseurs de tronc), le déficit de force et d'activation musculaire (notamment des muscles antigravitaires) ainsi que le déficit d'intégration des informations proprioceptives sont des hypothèses majoritaires permettant d'expliquer un déficit de la fonction d'équilibration dans la MP (7,34). La perte de sensibilité, les déficits cognitifs, ou des symptômes d'anxiété voire de dépression sont également des éléments de la MP qui rentrent

en jeu dans l'équilibre (24). C'est l'ensemble de ces **dysfonctions des différentes composantes de l'équilibre** qui peut expliquer les troubles d'équilibration chez les patients parkinsoniens. De plus, on retrouve également une altération naturelle des capacités d'équilibration dans le processus de vieillissement comme une dégradation de la proprioception, de l'acuité visuelle, de la sensibilité vestibulaire et cutanée plantaire, de la force musculaire, des synergies musculaires et de la souplesse articulaire (26). Cela participe également à dégradation de l'équilibre chez les patients parkinsoniens.

#### **2.2.4. L'évaluation de l'équilibre dans la maladie de Parkinson**

L'évaluation de l'équilibre et du risque de chute chez les patients parkinsoniens est un enjeu fort. Cela a conduit l'équipe de Winsler à réaliser une revue systématique des qualités psychométriques des échelles utilisées dans la MP (35). Cette publication de 2019 complète les recommandations de la HAS, afin d'identifier les échelles d'évaluation les plus pertinentes dans l'évaluation de l'équilibre dans la MP (6).

Le **Mini Balance Evaluation Systems Test** (Mini-BESTest) est la version courte du BEST développé pour identifier les systèmes de contrôle postural déficitaires dans l'équilibre. Ce test comprend 4 sous-échelles : ajustements posturaux anticipatoires, contrôle postural réactif, orientation sensorielle, marche dynamique. Elle est composée de 14 items, chaque item étant évalué d'un score de 0 à 2 points. Le meilleur score possible est donc de 28 points, et la réalisation du test prend environ 10 à 15 minutes (36). Un extrait est donné en *Annexe 3*.

Le **Berg Balance Scale** (BBS) est une échelle qui permet de mesurer l'équilibre statique et dynamique, et qui a été développée dans le but de dépister les personnes à risque de chute. Elle comprend 14 items, avec un score possible entre 0 et 4. Le meilleur score possible est donc de 56 points. Les items varient en difficulté, allant de s'asseoir dans une chaise à tenir en équilibre sur un pied. La réalisation du test prend environ 10 à 15 minutes (37). Un exemple d'échelle de Berg est donné en *Annexe 4*.

Le **Time Up and Go Test** (TUG) est un test utilisé pour évaluer l'équilibre statique et dynamique. Il mesure le temps total que le patient met pour se lever d'une chaise, parcourir 3 mètres, faire demi-tour et retourner à sa position assise d'origine (38). Une diminution du temps parcouru indique une amélioration au test. Ce test est également un indicateur de

risque de chute ; ainsi, un score supérieur à 35 secondes est prédictif de chute chez la personne âgée (39). Le déroulement du test est schématisé en *Annexe 5*.

**L'Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS)** est une échelle qui permet d'évaluer l'évolution du handicap et des déficiences dans la MP (40). Elle a été révisée par la Movement Disorders Society (MDS) qui a gardé les points forts de l'UPDRS et y a rajouté des items. Ainsi, la MDS-UPDRS est composée de 4 parties : I - expériences non motrices de la vie quotidienne ; II - expériences motrices de la vie quotidienne ; III - **examen moteur** ; IV - complications motrices (41). Winser & al indiquent également que la partie III peut être adaptée dans l'évaluation de l'équilibre et de la posture dans la MP. Le score attribué à la partie III de l'UPDRS présente un total de 56 points (42). Certains auteurs utilisent également la MDS-UPDRS en présentant la section III sur un total de 108 points qui correspond aux 27 premiers items de la section motrice sans notion d'amplitude ni de constance du tremblement de repos (43). A chaque fois, plus le score est faible, meilleur est le résultat.

La version de l'UPDRS (dont la partie III) créée par la Mouvement Disorders Society est disponible au lien suivant : [https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/PDFs/MDS-UPDRS-Rating-Scales/MDS\\_UPDRS\\_French\\_Offical\\_Translation\\_FINAL.pdf](https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/PDFs/MDS-UPDRS-Rating-Scales/MDS_UPDRS_French_Offical_Translation_FINAL.pdf)

La revue de littérature de Winser & al permet également de synthétiser les **propriétés psychométriques** des échelles sur l'évaluation de l'équilibre dans la maladie de Parkinson. Elles sont évaluées avec le COnsensus-based Standards for the selection of health Measurement Instruments (**COSMIN**). C'est un outil de mesure fiable et valide pour évaluer la qualité des propriétés psychométriques d'une échelle de mesure. Sur la base du score obtenu, la propriété est jugée excellente, bonne, passable ou mauvaise (35)

Le Mini-BESTest présente une bonne validité interne, ainsi qu'une bonne réponse au changement au niveau de l'équilibre des patients atteints de la MP depuis 6 à 12 mois. Il présente également une bonne, voire excellente, fiabilité de mesure inter-examineur (coefficient de corrélation interclasse > 0.95), tout comme la répétabilité (coefficient de corrélation interclasse > 0.95) et la consistance interne du test ( $\alpha$  de Cronbach = 0.87). Le BBS ainsi que le TUG sont présentés comme fiables et valides, mais avec des qualités COSMIN qui varient entre mauvaises à bonnes. La partie motrice de l'UPDRS est présentée comme fiable, valide, et réactive au changement, mais avec des qualités COSMIN qui varient entre mauvaises à excellentes (35).

Enfin, les études s'accordent pour affirmer que **les échelles proposées ne sont pas optimales pour l'évaluation de la MP et qu'elles ne sont pas suffisamment évaluées**. Il n'y a pas de score clinique qui soit suffisamment adapté avec de bonnes propriétés psychométriques dans l'évaluation de la MP (35,44).

### 2.2.5. Rééducation de l'équilibre

La rééducation est un des moyens pour favoriser l'apprentissage et l'optimisation de ces stratégies d'équilibration. La rééducation de l'équilibre repose sur différents axes et différentes stratégies. Dans son article sur la rééducation sensorimotrice de l'équilibre, M. Fourneau explique tous les fondamentaux de la rééducation de l'équilibre. Elle est basée sur 4 axes : « **aller du local au global, privilégier les exercices fonctionnels, répéter les exercices et varier les situations d'apprentissage** » (33).

En effet, avec un **entraînement répété**, les compétences d'équilibration s'accroissent, notamment en développant un répertoire de stratégies d'équilibration le plus riche et varié possible. Cela passe par le travail de la capacité d'un patient à utiliser toutes entrées sensorimotrices dont il dispose, mais également le fait de pouvoir être à l'aise lorsque l'entrée sensorimotrice sollicitée n'est pas l'entrée qu'il utilise préférentiellement (26,33).

Ces stratégies d'apprentissages se basent sur 2 modes de corrections différents lors d'une perturbation de l'équilibre :

- Le mode **réactionnel** : il intervient après la perturbation de l'équilibre détectée par les capteurs sensoriels. Il est utilisé lors de situations nouvelles.
- Le mode **anticipatoire** : il intervient avant la perturbation de l'équilibre, par l'utilisation d'informations sur l'environnement et la position du corps stockées en mémoire d'un précédent déséquilibre. Le cerveau utilise des représentations des conséquences de la situation dans laquelle il peut être confronté pour adapter sa réaction. Ce mode est donc permis par des situations déjà connues au préalable, et est le fruit de répétitions (33).

Il est possible de s'améliorer dans chaque domaine de l'équilibre (la station debout, les transferts, la marche, etc.) avec de la pratique, et notamment chez les personnes atteintes de pathologies neurologiques comme la MP (28).

L'objectif est que le patient puisse maintenir son équilibre au quotidien. Il est intéressant par exemple d'appliquer au patient des déstabilisations imprévues, et de varier les supports de la

base d'appui (du plus au moins stable) (45). De plus, le travail de la **double tâche** – soit la réalisation simultanée d'une tâche posturale et d'une tâche cognitive – permet de développer les activités d'équilibrations anticipées et ainsi de s'adapter à un contexte de situations réelles (26).

A cette notion de double tâche s'ajoute la notion **d'attention** dans le contexte d'apprentissage d'une tâche. En effet, il existe deux types de focalisation de l'attention, décrite par Wulf & al : la focalisation externe, qui se concentre sur l'effet d'un mouvement (= le résultat), et la focalisation interne, qui se concentre sur le mouvement en lui-même (= la performance motrice). Les résultats de la revue de littérature apportée par Wulf & al suggèrent que la focalisation externe semble plus efficace pour l'apprentissage moteur que la focalisation interne, notamment pour les stratégies d'équilibration. C'est d'autant plus valable lorsque la focalisation interne est déficitaire, ce qui est le cas dans de nombreuses pathologies neurologiques comme la maladie de Parkinson où cette focalisation externe vient suppléer la focalisation interne (46).

La **rééducation de l'équilibre dans la MP** se base sur les principes de la rééducation générale évoquée précédemment, mais également sur des principes spécifiques. Le renforcement musculaire permet notamment d'avoir une action directe sur les déficits de force des muscles antigravitaires déficitaires dans la MP. La méthode *Lee Silverman Voice Treatment Big*® (LSVT BIG®) est également utilisée pour obtenir des réactions d'ajustement postural avec une grande amplitude, à un rythme soutenu, et ainsi augmente les stratégies d'équilibrations des patients parkinsoniens, en séance de rééducation mais également dans la vie quotidienne. Ce travail spécifique des stratégies d'équilibration est également pertinent pour optimiser les performances dans la MP (7).

Il existe également d'autres activités, plus ludiques, qui sont associés à la rééducation de l'équilibre, par exemple le Tai-Chi ou le Qi Gong (activités gymniques) (7).

Enfin, la réalité virtuelle, utilisée souvent avec des jeux interactifs type Nintendo Wii®, X-box®, etc., est un outil émergent pertinent dans la rééducation de l'équilibre chez les personnes âgées afin de leur apporter un retour sur la position de leur corps, soit un **biofeedback**. Il semble également intéressant pour les patients atteints de la MP (7,47).

## 2.3. Le biofeedback

### 2.3.1. Le biofeedback : comment ça marche ?

Le terme de biofeedback est composé de deux racines, le terme bio ainsi que le terme feedback.

Le **feedback** désigne un retour d'information. De manière générale, le rôle du feedback est d'apporter une information dans le but de modifier son fonctionnement, on parle également de rétroaction. Le terme de biofeedback désigne l'application au vivant dans le domaine biologique de ce principe très général. Ainsi, d'après les Dr Rémond, le **biofeedback** peut être réduite à « groupe de procédés thérapeutiques qui utilisent une instrumentation électronique ou électromécanique pour mesurer avec précision, traiter et représenter, sous forme analogique ou numérique, une information aux propriétés renforcées sur l'activité neuromusculaire ou l'activité autonome (normale ou anormale) aux moyens de différents types de signaux ». De manière générale, cette information ou fonction est inconsciente, et le but est donc d'en acquérir un contrôle conscient, volontaire afin d'apporter des modifications à cette fonction (48). Cette technique donne des informations biologiques à l'utilisateur en temps réel, auxquelles il n'aurait pas forcément eu accès sans cela (49).

Le biofeedback a été utilisé pendant plus de cinquante ans dans la rééducation pour faciliter des mouvements normaux après une blessure par exemple, car il peut donner à des patients souffrant de déficiences sensorimotrices la possibilité de retrouver l'habileté à mieux évaluer les différentes réponses physiologiques possibles ainsi que la possibilité d'apprendre à les maîtriser (50,51).

Le biofeedback implique la mesure d'une variable biomédicale cible, qui est relayée à l'utilisateur par deux stratégies :

- Un feedback **direct** qui donne directement la variable mesurée (comme par exemple pour la fréquence cardiaque, où la valeur numérique serait donnée sur un appareil portable comme une montre)
- Un feedback **transformé** concernant la variable mesurée, où les mesures sont utilisées pour contrôler un signal adaptatif (qu'il soit sonore, visuel, tactile, etc.) (49).

Les mécanismes neurologiques pouvant justifier l'efficacité du biofeedback ne sont cependant pas réellement définis. Il pourrait exister deux possibilités : soient des nouvelles voies

neurologiques sont créées, soit une boucle de rétroaction auxiliaire recrute des voies cérébrales et spinales déjà existantes. La seconde option semble la théorie la plus appuyée ; le feedback visuel et auditif semblerait **activer des synapses sous voire non utilisées dans l'exécution de la commande motrice**.

De plus, le biofeedback peut améliorer la **plasticité neurale** en recrutant des entrées sensorielles accessoires, c'est également dans ce cadre qu'il peut être utilisé en rééducation (51).

La schématisation du système de biofeedback peut être intéressante afin de mieux comprendre son utilisation, comme présenté dans la figure 4 ci-dessous :

- 1 : un/des capteur(s) récupère(nt) les signaux émis par le corps
- 2 : Les signaux sont traités/encodés par l'appareil de biofeedback
- 3 : Les signaux sont analysés par un système numérique afin d'obtenir de multiples informations ainsi que des représentations plus complexes
- 4 : les informations sont envoyées à l'utilisateur par différents stimuli
- 5 : l'utilisateur traite les informations reçues et agit afin de modifier le paramètre sur lequel il travaille

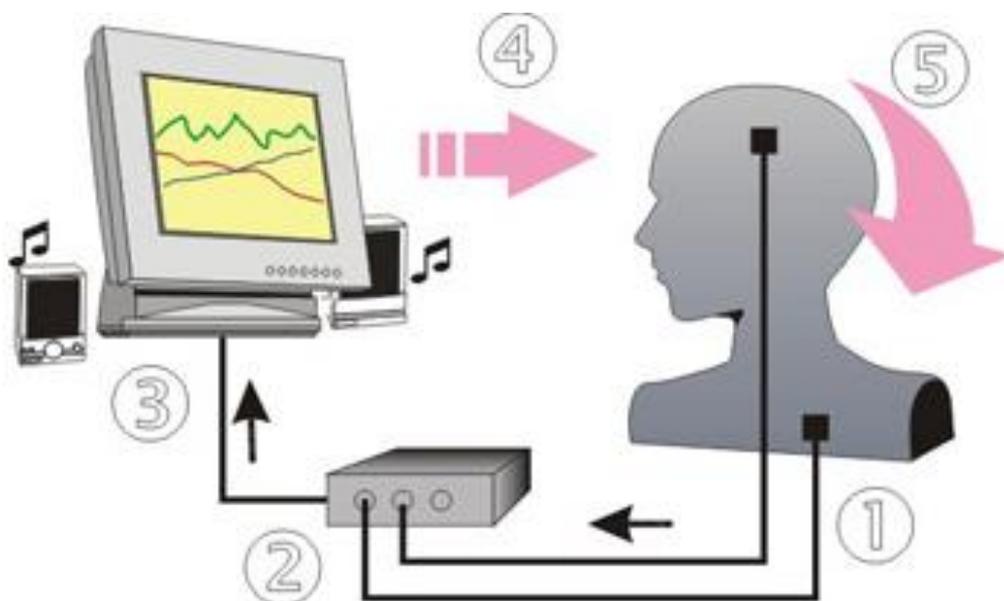
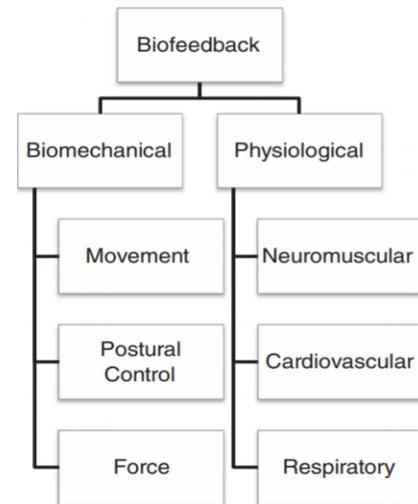


Figure 4 : Schématisation d'un système de biofeedback (51,52)

### 2.3.2. Les différents types de biofeedback

Il existe différents types de biofeedback fréquemment utilisés en rééducation, qui peuvent être rassemblés en deux catégories et sont représentées dans la figure 5 ci-contre :

- Le biofeedback **physiologique** : il implique les mesures des systèmes neuromusculaire, respiratoire et cardiovasculaire.
- Le biofeedback **biomécanique** : il implique les mesures du mouvement, de la posture et de la force. (49)



*Figure 5: Catégories de biofeedback utilisées en rééducation (41)*

#### Le biofeedback physiologique

Dans les systèmes de biofeedback physiologiques et notamment neuromusculaire, il existe l'**électromyogramme (EMG)** qui est un des biofeedback les plus répandus de cette catégorie. C'est une méthode qui consiste à ré-entraîner le muscle en créant des nouveaux systèmes de rétroaction à la suite de la conversion d'un signal électrique dans le muscle en un signal visuel ou auditif. L'EMG utilise des électrodes de surface afin de détecter un changement dans l'activité des muscles pour transmettre le feedback. L'EMG a montré son utilisation dans la rééducation neurologique, ainsi que dans la rééducation musculosquelettique (49).

#### Le biofeedback biomécanique

Il existe différents systèmes de biofeedback biomécaniques, qui impliquent des mesures du mouvement, du contrôle postural, et des forces produites par le corps. Les **capteurs inertiels**, les **plateformes de forces**, les **électrogoniomètres**, les **unités de biofeedback de pression**, ainsi que des systèmes basés sur des **caméras** sont tous des appareils de mesures qui peuvent être utilisés pour délivrer un biofeedback biomécanique. Un même appareil de mesure peut délivrer plusieurs informations ; par exemple, une plateforme de force peut à la fois donner des informations sur la force, ainsi que sur le contrôle postural (49).

Les **capteurs inertiels** cherchent à mesurer les changements dans la force d'inertie, et ils vont chercher à déterminer les informations cinématiques tridimensionnelles d'un segment du corps, comme son orientation, sa vitesse, et sa force gravitationnelle. Ils se composent de deux types de capteurs : les **accéléromètres**, ainsi que les **gyroscopes**. L'accéléromètre va mesurer l'accélération ainsi que l'accélération gravitationnelle, tandis qu'un gyroscope va

mesurer la vitesse angulaire. Ces paramètres sont utilisés comme entrée dans la boucle de rétroaction, et peuvent délivrer de nombreux feedback, dont ceux déjà cités précédemment (auditifs, visuels, tactiles). Ils peuvent être posés sur la tête ou le tronc de l'utilisateur par exemple afin de capter les mouvements du corps dans le plan sagittal et frontal (53–56). En raison de leur petite taille et de leur portabilité, les capteurs inertiels ont montré leur utilité dans leur application sur le travail du mouvement et de l'équilibre (49).

Les **plateformes de force** mesurent la force de réaction du sol générée par le poids du corps, et sont souvent utilisées pour donner des feedbacks sur l'équilibre, le mouvement ou la marche (57–59). Le feedback est souvent délivré en utilisant les forces de réactions au sol comme entrée à un affichage visuel, qui change avec la modification de la force. Les plateformes de force sont souvent utilisées pour améliorer la symétrie de la posture en position debout, équilibrer la mise en charge des membres inférieurs ou l'équilibre, ainsi que pour entraîner la conscience du mouvement (49).

L'**électrogoniométrie** permet la mesure de la cinématique articulaire durant une tâche fonctionnelle, et donne un feedback en temps réel au clinicien et au patient lorsque cette cinématique est modifiée (49).

Le **stabilisateur de pression** est un outil développé pour aider la récupération de l'activité musculaire et peut permettre un feedback visuel facilitant le traitement (60). Il se compose d'un coussin gonflable connecté à une jauge de pression qui retransmet les informations sur l'activité musculaire (49).

Il existe enfin les systèmes basés sur des **caméras** ; les caméras vidéo permettent aux cliniciens et aux patients d'examiner la locomotion de manière qualitative, alors que les systèmes de capture optique du mouvement permettent une analyse quantitative du mouvement en trois dimensions. Ces derniers utilisent un réseau de caméras, qui permettent de détecter une série de marqueurs placés sur des points-clés anatomiques du corps du sujet. Ces informations sont ensuite utilisées par le système pour délivrer un feedback visuel sur le mouvement et sur la posture. Malgré une grande précision, les systèmes de capture optique sont généralement restreints à un environnement de laboratoire et il y a un manque de preuve à propos de leur efficacité clinique dans la rééducation. Ces dernières années, la **réalité virtuelle immersive** s'est également développée, et peut être utilisée en rééducation en tant que système de biofeedback. La réalité virtuelle utilise une interface multimédia qui permet d'immerger

l'utilisateur dans un environnement virtuel construit. Ce dernier offre une expérience proche du réel, et peut offrir des feedbacks multimodaux (visuels et auditifs par exemple). Les jeux de réalité virtuelle thérapeutiques peuvent donner l'opportunité aux patients de réaliser des tâches intensives, agréables et liées aux activités réelles de la vie quotidienne (49,51).

Quel que soit le type de biofeedback biomécanique utilisé, il entraîne un signal de commande, qui peut être visuel (61,62), auditif (58,59), ou vibratoire (55,56), et ainsi permet à l'utilisateur d'avoir des informations sensorielles augmentées et d'ajuster sa réponse.

### **2.3.3. Le biofeedback dans la rééducation de l'équilibre**

En rééducation, ces systèmes peuvent être utilisés pour travailler l'équilibre d'un patient, en renforçant des entrées somatosensorielles déficitaires, ou en renforçant des entrées somatosensorielles accessoires pour pallier une entrée déficitaire. Ces systèmes peuvent également renforcer l'apprentissage des stratégies d'équilibration en améliorant la focalisation externe décrite précédemment (plus efficace dans la rééducation de l'équilibre) (63). Pour que le biofeedback soit pertinent en rééducation il faut que les patients soient actifs dans leur apprentissage et qu'ils pratiquent jusqu'à ce que l'exécution de la tâche demandée soit acquise, ou du moins améliorée (64). De plus, le biofeedback fait majoritairement intervenir de la double tâche, et stimule ainsi la cognition (qui fait défaut dans la MP).

La Nintendo Wii<sup>®</sup> peut être décrite à titre d'exemple : c'est un des systèmes de biofeedback très répandu et un des appareils les plus populaires utilisés pour la rééducation des personnes âgées. Le système est constitué d'une « Wii Balance Board<sup>®</sup> », qui est assimilé à une plateforme de force qui mesure n'importe quel changement dans le centre de pression, ainsi qu'une télécommande avec une technologie d'accéléromètre en trois dimensions pour suivre les mouvements du corps. La planche et la télécommande sont connectés au logiciel Wii Fit<sup>®</sup> qui donne un feedback visuel et/ou auditif à chaque changement du centre de pression (64).

La Wii Fit<sup>®</sup>, comme d'autres types de biofeedback, sont notamment utilisés pour la rééducation de l'équilibre. En effet, chez les personnes âgées et également les personnes atteintes de pathologies neurologiques (accidents vasculaires cérébraux, scléroses en plaque), l'entraînement avec ces systèmes interactifs semble améliorer l'équilibre des patients, notamment lorsqu'il est combiné à de la rééducation classique de l'équilibre (8–11).

***Alors, qu'en est-il des patients atteints de la MP ?***

### 3. Question et hypothèses de recherche

L'ensemble des éléments évoqués précédemment permet de renforcer ainsi que de spécifier nos questionnements initiaux. En effet, si différentes techniques de rééducation de l'équilibre dans la maladie Parkinson existent, le développement du biofeedback biomécanique comme option de rééducation nous a interpellé, notamment par son intérêt dans le contrôle postural et l'étude du mouvement, des mécanismes impliqués dans l'équilibre.

Aucunes recommandations Françaises ou Européennes récentes ne permet de statuer sur un apport certain des techniques de biofeedback dans la rééducation de l'équilibre dans la MP, contrairement à des techniques de rééducation conventionnelles. Pourtant, le biofeedback semble se développer en neurologie, et cela nous interroge quant à une possible transposition chez les patients parkinsoniens.

Au vu de l'ensemble des éléments développés dans ce cadre conceptuel, il nous semble judicieux d'aller explorer ce que la littérature met en évidence sur ce sujet. C'est pourquoi nous avons défini la question de recherche suivante :

**Au regard des données de la littérature,  
existe-t-il un apport des techniques de biofeedback biomécaniques dans la  
rééducation de l'équilibre chez les patients atteints de la maladie de Parkinson, par  
rapport à une rééducation de l'équilibre conventionnelle ?**

A l'issue de la formulation de cette question de recherche, nous formulons **3 hypothèses** :

- Le biofeedback biomécanique pourrait améliorer l'équilibre des patients atteints de la MP.
- Le biofeedback biomécanique pourrait avoir une efficacité supérieure aux techniques de rééducations conventionnelles dans la rééducation de l'équilibre chez les patients atteints de la MP.
- Certains types de biofeedback (auditifs, visuels, vibratoires, etc.) pourraient avoir une efficacité supérieure que d'autres dans la rééducation de l'équilibre chez les patients atteints de la MP.

Ainsi, l'objectif de ce travail est donc d'essayer de répondre à notre question de recherche, et de vérifier si les hypothèses émises sont justes.

## 4. Matériel et méthodes

### 4.1. Choix de la méthode

Pour répondre à notre problématique, nous avons décidé de réaliser une revue systématique de la littérature dans le but de définir l'état actuel des connaissances sur le sujet. Elle est définie comme « cherchant à rassembler toutes les données disponibles pour répondre à une question de recherche spécifique, selon des critères d'éligibilité préétablis, et visant à minimiser les biais en utilisant des méthodes systématiques explicites » (65,66).

### 4.2. Stratégies de recherches

#### Critères PICO

Afin de faciliter nos recherches et d'obtenir les réponses les plus pertinentes, nous avons défini notre question de recherche selon les critères PICO (Population, Intervention, Comparateur, Outcome ; Outcome signifiant résultat). Ils sont détaillés dans le tableau II ci-dessous, et regroupent l'ensemble de nos notions clés que nous souhaitons retrouver dans les résultats des recherches menées.

*Tableau II : Critères PICO*

<b>Population</b>	Patients atteints de la MP
<b>Intervention</b>	Rééducation de l'équilibre assistée d'une technique de biofeedback biomécanique
<b>Comparateur</b>	Rééducation conventionnelle de l'équilibre
<b>Outcome</b>	Modifications des échelles d'évaluation de l'équilibre dans la MP : Mini-BESTest, BBS, TUG, section motrice de l'UPDRS

#### Bases de données interrogées

Afin que notre recherche soit la plus exhaustive possible, nous avons interrogé plusieurs bases de données scientifiques, et notamment anglophones afin d'optimiser le nombre de résultats : Physiotherapy Evidence Database (PEDro), base de données spécifique à la kinésithérapie ; PubMed du National Center for Biotechnology Information ; Science Direct du groupe Elsevier Masson ; ainsi que Google Scholar du groupe Google réputée pour la quantité d'articles qui y est indexée.

**Mots-clés.**

Afin de réaliser nos équations de recherche dans les différents moteurs de recherches, nous avons tout d’abord défini les mots clés nécessaires pour optimiser nos recherches. Nous avons défini nos termes principaux, puis nous les avons traduits en anglais à l’aide du site **HeTOP** (Health Terminology/Ontology Portal), portail qui inclut les principales terminologies en santé. Il permet aussi la recherche de synonymes de ces termes, tout comme le Medical Subject Headings ou **MeSH** que nous avons également utilisé. Nos mots clés sont répertoriés dans le tableau III ci-dessous.

*Tableau III : Les mots clés utilisés*

<i>Français</i>	<i>Anglais</i>
Parkinson, Maladie de Parkinson	Parkinson, Parkinson disease, Parkinson’s disease, Parkinson disorders
Equilibre	Balance, Equilibrium
Rétroaction biologique	Biofeedback, Feedback
Rééducation, masso-kinésithérapie, entraînement	Rehabilitation, Physiotherapy, Training

**Equations de recherche**

Afin de débiter notre sélection d’articles, nous avons formulé des équations de recherche avec les mots-clés définis précédemment. Toutes les équations ont été réalisées en anglais, langue internationale de la recherche en santé. Elles sont reportées dans le tableau IV ci-dessous, avec également les filtres associés ainsi que les résultats obtenus.

Nous avons adapté chaque équation aux moteurs de recherches utilisés. En effet, PEDro ne reconnaît pas les opérateurs booléens, nous n’en avons donc pas utilisé. De plus, l’ajout du terme rééducation dans l’équation de recherche entraîne un silence documentaire, nous l’avons donc supprimé. Concernant PubMed, nous avons utilisé un maximum de synonymes afin de ne pas passer à côté d’un article ; néanmoins, le terme Parkinson est reconnu par le MeSH, ses synonymes sont donc compris automatiquement dans l’équation de recherche. Le bruit documentaire créé par l’ajout de synonymes aux termes de l’équation appliquée à Science Direct a entraîné une modification de l’équation afin de la rendre plus spécifique, ainsi que l’ajout du filtre « research articles ». Enfin, le moteur de recherche Google Scholar

entraîne également un trop grand bruit documentaire, nous avons donc fait le choix de l'exclure de la sélection.

Nous avons également appliqué un filtre de sélection par date, afin d'obtenir seulement des articles datant de moins de dix ans dans nos recherches ; nous estimons qu'il est possible que les écrits antérieurs soient dépassés par rapport aux connaissances actuelles sur le biofeedback.

*Tableau IV : Equations de recherches et résultats associés*

Moteur de recherche	Equation utilisée	Filtre utilisé	Nombre de résultats (n)
PEdro	Parkinson, feedback, balance	Publié depuis : 2011	n=9
PubMed	parkinson AND (feedback OR biofeedback) AND (balance OR equilibrium) AND (rehabilitation OR physiotherapy OR training)	Période : 2011-2021	n=55
Science Direct	parkinson AND balance AND (biofeedback OR feedback) AND rehabilitation	Période : 2011-2021 « Research articles »	n=518
Google Scholar	<i>parkinson AND (feedback OR biofeedback) AND (balance OR equilibrium) AND (rehabilitation OR physiotherapy OR training)</i>	Période : 2011-2021	n=24 000
Total			n=582

Notre recherche initiale nous a permis d'extraire **582 résultats** dans notre démarche de sélection d'articles.

### Critères d'inclusion et d'exclusion

Afin de sélectionner les ressources les plus pertinentes pour répondre à notre question de recherche, nous avons ensuite établi des critères d'inclusion et d'exclusion permettant le triage des résultats initiaux.

Nous conservons uniquement des articles **rédigés en anglais et/ou en français** dans un souci de compréhension du texte. Tout autre langue utilisée est exclue. Nous avons ensuite choisi d'inclure les **essais contrôlés** afin d'obtenir un bon niveau de preuve dans nos recherches, ainsi nous excluons la littérature grise et de synthèse (revue narratives, avis d'experts, guidelines, consensus et articles de colloque).

Les patients atteints de la **MP idiopathique** (MPi) sont notre population cible, ainsi tout autre atteinte de type syndromes apparentés (soit « parkinsonism » en anglais) est exclue. Le **degré**

**d'évolution** dans la MP est également un de nos critères de sélection ; la rééducation de l'équilibre du patient parkinsonien intervenant aux stades 2 à 4 de l'échelle de H&Y selon les recommandations, nous choisissons d'exclure les stades 1 et 5.

La rééducation à l'aide de **biofeedback biomécanique** étant plus spécifique et plus simple à mettre en place en clinique comme en pratique que le biofeedback physiologique, nous choisissons d'exclure ce dernier. Ainsi pour exemple, le neurofeedback ou l'EEG sont des éléments que nous ne prendrons pas en compte dans nos recherches. De plus, nous cherchons à déterminer l'apport d'un feedback par rapport à de la **rééducation conventionnelle**, nous cherchons donc une comparaison avec un groupe qui reçoit cette thérapie, tout autre comparateur est exclu.

Notre objectif est d'objectif un **changement dans les échelles d'évaluation de l'équilibre dans la MP** soit le Mini-BESTest, le BBS, le TUG ou la section motrice de l'UPDRS. Les articles retenus doivent donc inclure au minimum une de ces échelles, à défaut ils seront exclus.

#### **4.3. Sélection des articles**

Une fois notre recherche initiale effectuée, il est nécessaire de commencer une sélection des articles. Pour cela, nous avons tout d'abord importé tous les résultats obtenus dans le logiciel Zotero afin de conserver une traçabilité de notre recherche.

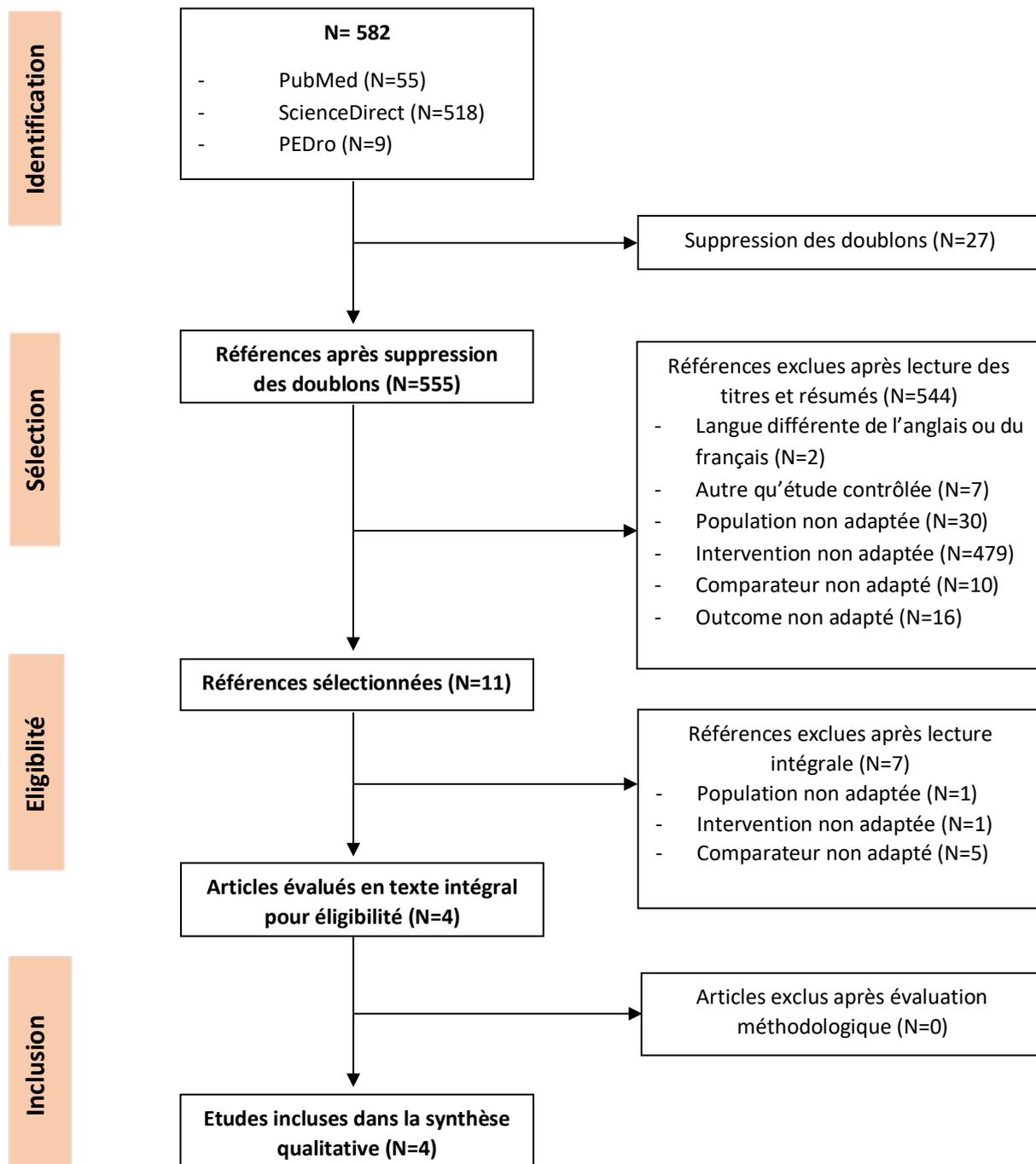
Nous avons démarré notre processus de sélection par une lecture initiale de tous les titres de nos articles, ce qui nous a d'emblée permis d'exclure les doublons. Ensuite, nous avons lu les titres et les résumés de chaque article afin de voir si ceux-ci correspondaient à notre équation PICO. Cette étape élimine un grand nombre d'article, et amène à l'étape d'éligibilité par une lecture intégrale des articles restants. Cette lecture a permis de déterminer si les articles correspondaient aux critères d'inclusion déterminés précédemment, et a dégagé ainsi 4 essais contrôlés randomisés permettant d'investiguer notre question de recherche.

La dernière étape du processus concerne l'inclusion des articles ; pour cela, il faut définir si la qualité méthodologique de ces derniers est correcte.

Il est possible d'utiliser la grille PEDro qui permet d'évaluer la validité interne d'un article (67). La qualité méthodologique des publications est évaluée sur un score de 0 à 10 ; un score inférieur à 4 est considéré comme mauvais, un score de 4 à 5 comme acceptable, 6 à 8 comme bon et de 9 à 10 comme excellent (68). Nous avons donc choisi de garder les articles avec un

score supérieur à 4, soit l'ensemble des études que nous avons sélectionnées. Les scores inspirés de la grille PEDro de chacune des études sont référencés dans la figure 6, reportée en *Annexe 6* ce qui permet une comparaison méthodologique facilitée des différentes études.

La démarche détaillée de ce processus de sélection des articles est illustrée par un diagramme de flux, exposé dans la figure 7 ci-dessous :



*Figure 7 : Diagramme de flux illustrant le processus de sélection des articles*

## 5. Résultats

### 5.1. Présentation générale des études

Notre processus de sélection a permis de faire émerger **4 études contrôlées randomisées** (67,69–71) publiées entre 2014 et 2019, et dont les caractéristiques générales sont présentées dans le tableau V ci-dessous.

Toutes les études ont sélectionné une population initiale entre 33 et 51 patients. Un total de **144 patients** est représenté, avec une proportion de 92 hommes pour 52 femmes. Toutes études ont des « groupe contrôle » (GC) et « groupe expérimental » (GE) avec une majorité **masculine**, sauf une étude dont le GC est à majorité féminine (67). Les critères d'inclusion et d'exclusion se rejoignent dans la majorité des études ; les patients doivent être atteints de la maladie de Parkinson idiopathique, avec un stade de H&Y entre 2 et 4, être en capacité de réaliser un programme de rééducation, ne pas avoir de troubles cognitifs, ne pas avoir de comorbidités sévères et ne pas avoir de déficits visuels voire auditifs.

Toutes les études comparent les effets de la **rééducation de l'équilibre à l'aide d'un feedback augmenté** chez les patients atteints de la MP, **par rapport à de la rééducation conventionnelle**. Deux études ont choisi un feedback uniquement visuel (69,70) tandis que les deux autres utilisent le feedback visuel ainsi que le feedback auditif (67,71).

Nous retrouvons dans ces articles les échelles de mesure de l'équilibre que nous avons sélectionnées comme étant les plus pertinentes pour les patients parkinsoniens. L'ensemble des études utilisent le BBS, 3 études l'UPDRS (notamment la section III) (67,69,70), et 2 études le TUG (67,70). Les études avaient également d'autres objectifs de mesure et ont ainsi sélectionné d'autres échelles, retrouvées dans le tableau V, mais que nous ne prendrons pas en compte lors du développement de nos résultats.

La durée des interventions se situe entre 40 et 60 minutes, avec 2 à 3 sessions par semaine, pour un total entre 10 et 20 sessions. Les évaluations se font majoritairement en post-intervention et avec un suivi de 2 à 6 semaines, sauf pour une des études qui ne fait pas de suivi (71). Toutes les interventions sont réalisées en **phase ON** du traitement. Les protocoles d'intervention ont été menés en clinique, excepté pour une étude réalisée à domicile (70).

### 5.2. Caractéristiques générales des études

Afin de mieux comprendre la réalisation de chaque étude, nous allons détailler les protocoles mis en place dans ces dernières.

*Tableau V : Caractéristiques générales des études*

Etude : Auteurs, Année	Population : (n), caractéristiques des groupes	Intervention : durée et fréquence + spécificités	Détail de l'intervention dans les Groupe Contrôle (GC) et Groupe Expérimental (GE)	Type de biofeedback utilisé dans le GC et matériel nécessaire	Echelles de mesures utilisées en fonction des objectifs de l'étude
<b>Van Den Heuvel &amp; al, 2014</b>	<b>n=33</b> -GC : 16 patients AM : 68.8 ± 9,68 H/F : 8/8 -GE : 17 patients AM : 66,3 ± 6,39 H/F : 12/5	2 sessions/semaine de 60 min, 5 semaines Total : 10 sessions  Evaluations à 6 et à 12 semaines  Travail en clinique	- <b>GC : thérapie conventionnelle</b> Travail de l'équilibre debout, exercices de stabilité, exercices d'enjambements, exercices de double tâche, changement de position, équilibre avec modification de terrain  - <b>GE : thérapie avec biofeedback augmenté</b> Jeux d'équilibre interactifs, 6 exercices d'équilibre	<b>Visuel</b>  Plateforme de force + capteurs inertiels Mouvement retranscrit par un avatar sur l'écran devant le patient	-1 <sup>er</sup> : FRT -2 <sup>ème</sup> : <b>BBS</b> , single leg stance test, 10m walk test, H&Y Stage, <b>UPDRS partie I, II, III et IV</b> , Fall Efficacy Scale, PDQ-39, Hospital Anxiety And Depression Scale, Multidimensional Fatigue inventory
<b>Yang &amp; al, 2015</b>	<b>n=23</b> -GC : 12 patients AM : 75,4 ± 6,3 H/F : 7/5 -GE : 11 patients AM : 72,5 ± 8,4 H/F : 7/4	2 sessions/semaine de 50 min, 6 semaines Total : 12 sessions  Evaluations à 6 et 8 semaines  Travail à <b>domicile</b>	- <b>GC : thérapie conventionnelle</b> Entraînement par un MK, travail de l'équilibre statique et dynamique, correction par le MK si besoin  - <b>GE : thérapie avec biofeedback augmenté</b> Réalité virtuelle 3 programme différents, apprentissage basique, AVQ intérieures, AVQ extérieures (équilibre dynamique + statique)	<b>Visuel</b>  Plateforme de force Mouvement retranscrit par un avatar sur l'écran devant le patient	-1 <sup>er</sup> : <b>BBS</b> -2 <sup>ème</sup> : DGI, <b>TUG</b> , PDQ-39, <b>UPDRS III</b> .
<b>Carpinella &amp; al, 2016</b>	<b>n=37</b> -GE : 20 patients AM : 75.6 ± 8.2 H/F : 9/11 -GC : 17 patients AM : 73.0 ± 7.1 H/F : 14/3	3 sessions/semaine de 45 min Total : 20 sessions  Evaluations en post traitement + à 1mois  Travail en clinique	- <b>GC : thérapie conventionnelle</b> 5 minutes d'étirements et de mobilisation, puis 40 minutes d'exercices d'équilibre, assisté par un MK.  - <b>GE : Thérapie avec biofeedback augmenté</b> Jeux d'équilibre interactifs : Tâche orientée, contrôle de la posture dans toutes les directions, tâche statique et dynamique	<b>Visuel et auditif</b>  6 capteurs inertiels Mouvement retranscrit par un avatar sur l'écran devant le patient + émission de son sur l'ordinateur	-1 <sup>er</sup> : <b>BBS</b> , 10MWT -2 <sup>ème</sup> : <b>UPDRS III</b> , <b>TUG</b> , ABC, FOGQ, PDQ-39, TSQ-WT, Instrumental stabilometric Indexes
<b>Pazzaglia &amp; al, 2019</b>	<b>n=51</b> -GC : 26 patients AM : 70 ± 10 H/F : 17/9 -GE : 25 patients AM : 72 ± 7 H/F : 18/7	3 sessions par semaine de 40 min, 6 semaines Total : 18 sessions  Evaluations à 6 semaines  Travail en clinique	- <b>GC : thérapie conventionnelle</b> 3 phases : échauffement (mobilisation et renforcement musculaire), phase active (exercice de coordination motrice, exercice d'équilibre et de marche), phase de repos (mobilisation et exercices respiratoires)  - <b>GE : Thérapie avec biofeedback augmenté</b> Réalité virtuelle, série de 7 exercices (coordination des membres sup et inf) et le contrôle du tronc.	<b>Visuel et auditif</b>  Caméra infra-rouge qui retranscrit les mouvements du patient sur un mur où l'écran est rétroprojeté.	-1 <sup>er</sup> : <b>BBS</b> -2 <sup>ème</sup> : DGI, Disabilities of the Arm, DASH, SF-36

n : nombre de participants ; GC : Groupe Contrôle ; GE : Groupe Expérimental ; AM : Age Moyen ; H/F : proportion d'hommes/femmes ; AVQ : Activités Vie Quotidienne ; 1<sup>er</sup> : Objectif principal ; 2<sup>ème</sup> : Objectifs secondaires  
FRT : Functional Reach Test ; BBS : Berg Balance Scale ; H&Y : Hoehn et Yahr ; UPDRS : Unified Parkinson Disease Rating Scale ; PDQ-39 : Parkinson Disease Questionnaire ; DGI : Dynamic Gait Index ; TUG : Time Up and Go test ; 10 MWT : 10-meter Walk Test ; ABC : Activities-specific Balance Confidence Scale ; FOGQ : Freezing Of Gait Questionnaire ; TSQ-WT : Tele-healthcare Satisfaction Questionnaire – Wearable Technology ; DASH : Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Scale ; SF-36 : Short-Form 36

Tout d'abord, la première étude réalisée par **Van Den Heuvel & al (2014)** (69) a pour objectif d'évaluer la faisabilité et la sécurité d'un programme d'entraînement de l'équilibre utilisant un feedback visuel augmenté (GE), et de mesurer s'il est plus efficace dans l'amélioration de l'équilibre qu'un programme d'entraînement classique chez les patients parkinsoniens (GC). 33 patients atteints de la MPI ont été recrutés et répartis aléatoirement dans le GC et le GE, les deux groupes ne montrant pas de différences statistiques à l'état initial. Au total, les mesures ont été réalisées sur 14 personnes dans le GC, et 17 dans le GE.

Dans les deux groupes, les patients sont supervisés par 2 thérapeutes qui définissent les objectifs d'entraînement et assurent l'intensité progressive de la tâche pendant la période d'exercices. Ils reçoivent 2 sessions par semaine de 60 minutes, pendant 5 semaines.

Le GC reçoit des exercices d'équilibre se basant sur le guide de recommandations allemand pour la rééducation de la MP (72) ; exercices unipodal (avec yeux ouverts ou fermés), utilisation du step, changements de positions et de terrain, avec parfois des exercices en double tâche.

Le GE reçoit le feedback visuel augmenté : une plateforme de force et des capteurs inertiels sont utilisés et permettent de convertir les mouvements du corps en mouvement d'un objet ou avatar sur l'écran disposé en face du patient. Il reçoit le même type d'exercice que le GC.

La seconde étude réalisée par **Yang & al (2015)** (70) a pour objectif de tester si un programme d'entraînement de l'équilibre à domicile assisté de réalité virtuelle (GE) est plus efficace qu'un entraînement à domicile classique (GC) sur l'amélioration de l'équilibre, de la marche et de la qualité de vie chez les patients parkinsoniens. 23 patients ont été sélectionnés par les cliniciens pour réaliser le protocole. Chaque session inclut : 10 minutes d'étirements en échauffement, 3x10 minutes d'exercices d'équilibre, entrecoupés de 5 minutes de pause. Au total, les mesures ont été réalisées sur 10 personnes dans le GC et également 10 personnes dans le GE. Les participants reçoivent 2 sessions par semaine de 50 minutes pendant 6 semaines, avec une notion de progression toutes les 3 séances. Chaque groupe est supervisé par deux thérapeutes différents.

Le GC bénéficie de la rééducation conventionnelle, avec des exercices de maintien de posture statique puis des exercices de transferts de poids dynamiques. Les exercices sont conduits par un thérapeute qui guide l'entraînement et qui donne des instructions verbales pour corriger les mouvements des participants.

Le GT reçoit le feedback visuel augmenté via de la réalité virtuelle (RV) : une plateforme de force mesure le centre de pression du patient, et retransmet le signal à travers un avatar ou un objet sur l'écran devant le patient. Il y a 3 sessions d'entraînement, l'apprentissage de base (qui permet au patient de se familiariser avec le programme de RV), les tâches quotidiennes d'intérieur puis d'extérieur, mais les exercices reçus sont très similaires à ceux reçus par le GC.

La troisième étude menée par **Carpinella & al (2016) (67)** évalue la faisabilité de l'utilisation d'un nouveau système de biofeedback, le GamePad (GAMing, Experience in PArkinson's Disease) (GE), dans la rééducation de l'équilibre et de la marche chez les patients atteints de la MP, et compare également son efficacité par rapport à de la rééducation sans biofeedback augmenté (GC). Les mesures ont été réalisées sur 37 participants. Les deux groupes reçoivent des PEC définies par l'équipe clinique au préalable, et inspirées notamment de précédents guides de recommandations dans la MP (73,74). Ils participent à 3 sessions par semaine de 50 minutes, avec un total de 20 sessions.

Le GC bénéficie de la rééducation conventionnelle avec 5 minutes d'étirements et d'exercices de mobilisation, suivi de 40 minutes d'exercices d'équilibre et de marche. Les sujets doivent exécuter la tâche sous la supervision d'un thérapeute qui les corrige si besoin.

Le GE reçoit le biofeedback visuel et auditif augmenté par 6 capteurs inertiels basés sur le tronc et les membres inférieurs qui transmettent le signal à l'ordinateur devant le patient. Les exercices programmés dans le GamePad sont des jeux d'équilibre interactifs, basés sur la tâche orientée, le contrôle de la posture, des exercices statiques et dynamiques. Ils sont progressivement ajustés par un thérapeute au fur et à mesure de l'exercice.

La dernière étude réalisée par **Pazzaglia & al (2019) (71)** compare un programme de rééducation avec de la réalité virtuelle (GE) par rapport à un programme de rééducation conventionnel chez les patients parkinsoniens (GC). 51 patients ont été répartis aléatoirement dans le GC et le GT, et les groupes ne sont pas différents à l'état initial. Les mesures ont été réalisées sur 26 personnes dans le GC, et 25 personnes dans le GE. Elles reçoivent 3 sessions par semaine de 45 minutes pendant 6 semaines.

Le GC reçoit de la thérapie conventionnelle proposée en suivant le guide de recommandations Allemand pour la rééducation des patients atteints de la MP (72). Chaque session est composée de trois phases : une phase d'échauffement avec de la mobilisation passive des principales articulations, ainsi qu'un renforcement musculaire des membres inférieurs ; une

phase active avec des exercices de coordination motrice des membres, des exercices d'équilibre et de marche ; une phase de retour au repos avec des exercices de mobilisation, ainsi que des exercices respiratoires.

Le GE reçoit de la thérapie avec un feedback visuel ainsi qu'auditif augmentés. Le patient est dans un environnement de réalité virtuelle ; un rétroprojecteur affiche au mur une série d'exercices interactifs impliquant la coordination des membres et du tronc. Son seul mouvement permet une interaction avec l'écran, grâce à un système d'analyse du mouvement, et au système NIRVANA. C'est un système opto-électronique infrarouge qui permet de détecter les mouvements du patient, puis de l'analyser pour réajuster la tâche proposée. Chaque exercice est proposé sur une durée de 4 minutes, suivi par 1 minute de repos.

### 5.3. Résultats des études

Cette partie développe les résultats de chaque protocole expérimental, en fonction des échelles de mesure que nous avons choisi d'étudier dans cette revue (le BBS, le TUG, l'UPDRS). Les études se réfèrent à des p-value  $> 0.05$  afin de pouvoir rejeter l'hypothèse nulle, sauf celle de Van del Heuvel & al qui présente une correction de Bonferroni qui permet d'ajuster le seuil de significativité pour les comparaisons multiples. L'hypothèse nulle est donc rejetée si la p-value  $> 0.0017$ .

#### 5.3.1. Résultats sur le Berg Balance Scale

L'ensemble des études retenues dans notre revue de littérature a sélectionné le BBS dans ces échelles de mesure de l'équilibre, ce qui nous permet de les comparer entre elles. Pour rappel, cette échelle présente 56 items ; plus le score du patient est élevé, plus l'équilibre mesuré est bon (37).

L'étude de *Van Den Heuvel & al (2014)* (69) utilise le BBS comme objectif secondaire de mesure. A la différence des autres études qui présentent les résultats avec les différences moyennes et des intervalles de confiance, les auteurs ont choisi d'utiliser les médianes et les écarts interquartiles comme outil de mesure de dispersion des données. Les résultats montrent qu'à la fin de l'intervention, le groupe contrôle diminue son score de 1 (2.0;2.0) tandis que le groupe expérimental augmente son score de 1 (-0.25 ; 2.00), par rapport à T0. A 12 semaines, le groupe contrôle présente une variation de 0.0 (-1.25 ;1.25), et le groupe expérimental une variation de 0.0 (-1.0 ;1.0) par rapport à T0. Ainsi, les résultats montrent que

les **deux groupes** n'ont **pas modifié significativement leur score au BBS** à la suite de l'expérimentation, que ce soit au moment de l'arrêt du protocole à 6 semaines ou lors du suivi des patients à 12 semaines.

La lecture des résultats dans le tableau présenté ne nous donne pas la valeur de la différence entre les médianes des deux groupes, mais nous indique une p-value égale à 0.108 en post-intervention, et une p-value égale à 0.864 au suivi à 12 semaines. Les auteurs indiquent qu'**aucune différence significative** n'a pu être établie **entre le groupe expérimental et le groupe contrôle**, à 6 semaines ou à 12 semaines (p-value >0.0017).

L'étude de **Yang & al (2015)** (70) utilise le BBS comme objectif principal de mesure. Les résultats montrent que le groupe contrôle présente une amélioration de  $4,17 \pm 5,01$  points, tandis que le groupe expérimental présente une amélioration de  $3,36 \pm 2,38$  points à 6 semaines (p-value=0.001). Le suivi des groupes à 8 semaines montre que cette amélioration perdure, puisque le groupe contrôle augmente significativement son score de  $2.83 \pm 3.76$ , et le groupe expérimental de  $2.73 \pm 3.07$  (p-value = 0.003). Les **deux groupes** ont **significativement augmenté leur score par rapport à l'état initial** (p-value <0,001).

La comparaison entre le groupe contrôle et le groupe expérimental à 6 semaines révèle une différence moyenne de 0,80 [IC95% : -4.26 ; 2.65] en faveur du groupe contrôle. La comparaison lors du suivi des sujets à 8 semaines indique une différence moyenne de 0,11 [IC95% : -3.10 ; 2.89] en faveur du groupe contrôle. Les intervalles de confiance croisent 0 et indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes, de plus les auteurs nous informe que **les différences moyennes intergroupes ne sont pas significatives** (p-value = 0.893).

L'étude de **Carpinella & al (2016)** (67) utilise également le BBS comme objectif principal de mesure. Les différences moyennes intra-groupes n'ont pas été présentées mais nous les avons calculées ultérieurement. Pour le groupe contrôle, elles sont de 1.7 et de 0.2, respectivement à T1 VS T0 et T2 VS T0, et pour le groupe expérimental de 4.0 et de 2.1, dans les mêmes conditions. Les **deux groupes semblent** donc avoir **augmenté leur score au BBS** que ce soit à la suite du protocole ou 1 mois après par rapport à l'état initial, mais nous ne pouvons pas affirmer qu'il existe une différence statistiquement significative entre les deux groupes.

En revanche, les auteurs présentent les résultats inter-groupes : le groupe contrôle et le groupe expérimental présentent une différence moyenne de  $2.3 \pm 1.1$  points statiquement

significative (p-value=0,047) en faveur du groupe expérimental à la fin de l'intervention. 1 mois après, cette différence semble se maintenir avec une différence moyenne de  $2.7 \pm 1.1$  points statistiquement significative (p-value = 0.018), toujours en faveur du groupe expérimental. Les **différences moyennes intergroupes** sont **statistiquement significatives**.

L'étude de **Pazzaglia & al (2019)** (71) cherche également à mesurer principalement une variation dans le BBS. Les résultats montrent que groupe contrôle présente une amélioration de 0.8 points [IC95% : -1.3 ;2.9], tandis que la différence moyenne du groupe expérimental est de +3.6 [IC95% : 1.3;5.9](p-value = 0.003). **Seul le groupe expérimental a augmenté significativement son score** au BBS à la suite de l'expérience.

Les auteurs indiquent dans leurs résultats que lorsque « l'effet temps » est significatif pour les indicateurs, ils cherchent à calculer « l'effet temps x l'effet groupe ». Pour le BBS, il n'est pas significativement différent. En revanche, ils indiquent en conclusion que le **groupe expérimental** présente une **amélioration plus importante que le groupe conventionnel**.

L'ensemble des résultats à propos du score au BBS est résumé dans le tableau VI ci-dessous.

*Tableau VI : Résumé des résultats des études à propos du BBS*

Etudes	Différence intragroupe (GE)		Différence intergroupe (GE/GC)	
	T1-T0	T2-T0	T1-T0	T2-T0
<b>Van Den Heuvel &amp; al</b>	Non (p>0.0017)	Non (p>0.0017)	Non (p>0.0017)	Non (p>0.0017)
<b>Yang &amp; al</b>	Oui (p=0.001)	Oui (p=0.003)	Non (p>0.05)	Non (p>0.05)
<b>Carpinella &amp; al</b>	Oui ?	Oui ?	Oui (p=0,047)	Oui (p=0.018)
<b>Pazzaglia &amp; al</b>	Oui (p=0.03)		Oui (auteurs)	

GE : Groupe expérimental ; GC : Groupe contrôle ; ? : il n'est pas possible d'affirmer une différence statistiquement significative ; auteurs : les calculs ne sont pas donnés, affirmation par les auteurs

### 5.3.2. Résultats sur l'UPDRS

Seules les études de Van den Heuvel & al (2014), Yang & al (2015) et Carpinella & al (2016) utilisent l'UPDRS comme outil de mesure. Comme cité précédemment, l'UPDRS permet d'évaluer le patient parkinsonien dans sa globalité, et la section III permet l'évaluation motrice. Le score maximum est de 56 points pour l'ancienne version de l'UPDRS, tandis qu'il est de 108 pour la nouvelle version de l'UPDRS (MDS-UPDRS). Plus le score est élevé, plus le patient a des symptômes moteurs élevés. Une amélioration correspond donc à une diminution du score de l'UPDRS (40,41).

Pour rappel, l'étude de **Van Den Heuvel & al (2014)** (69) présente ses résultats avec des variations de médianes et des différences interquartiles. Au sein de la section III, les auteurs ont choisi de dissocier la partie motrice « Motor » avec un score possible entre 0 à 112, et la partie posture et marche « Posture & Gait » avec un score possible entre 0 et 20. A la fin de l'intervention et par rapport à T0, le groupe contrôle augmente son score de 4.50 (2.38 ; 7.87) pour la partie « Motor », et de 1.00 (-0.75 ; 2.0) pour la partie « Posture & Gait » tandis que le groupe expérimental augmente son score de 1.00 (-4.38,6.63) pour la partie « motor » et de 0.00 (-1.00 ; 1.00) pour la partie « Posture & Gait ». Lors du suivi à 12 semaines et par rapport à T0, le groupe contrôle diminue son score de 4.00 (-9.50 ; 2.00) pour la partie « Motor », augmente de 1.00 (-1 ; 1.75) pour la partie « Posture & Gait » tandis que le groupe expérimental diminue son score de 4.00 (-8.13 ; 3.13) pour la partie « motor » et de 0.00 (-1.00 ; 1.00) pour la partie « Posture & Gait ». Les résultats montrent que **les deux groupes n'ont pas modifié significativement le score à l'UPDRS**, que ce soit au moment de l'arrêt du protocole à 6 semaines ou lors du suivi des patients à 12 semaines.

La lecture des résultats dans le tableau présenté dans l'étude ne nous donne pas la valeur de la différence entre les médianes des deux groupes, mais nous indique en post-intervention une p-value égale à 0.021 pour la partie « Motor », et une p-value égale à 0.174 pour la partie « Posture & Gait », et à 12 semaines une p-value égale à 0.740 pour la partie « Motor », et une p-value égale à 0.335 pour la « Posture & Gait ». Les auteurs indiquent **qu'aucune différence significative n'a pu être établie entre le groupe expérimental et le groupe contrôle**, à 6 semaines ou à 12 semaines (p-value >0.0017).

Les résultats de l'étude de **Yang & al (2015)** (70) montrent tout d'abord l'effet du temps dans l'expérimentation. Le groupe contrôle présente une diminution de  $-3.17 \pm 8.73$ , tandis que le groupe expérimental présente une augmentation de  $2.55 \pm 5.96$  à 6 semaines par rapport à l'état initial. Les valeurs des groupes à 8 semaines par rapport à l'état initial montrent que le groupe contrôle diminue son score de  $4.75 \pm 9.98$  points, tandis que le groupe expérimental présente une variation de  $0.00 \pm 6.72$ . Les auteurs indiquent que **les deux groupes n'ont pas significativement modifié leur score à l'UPDRS** par rapport à l'état initial sans intervention, que ce soit à 6 semaines ou 12 semaines par rapport à T0 (p-value = 0.345).

Ensuite, la comparaison entre le groupe contrôle et le groupe expérimental à 6 semaines par rapport à l'état initial révèle une différence moyenne de 5.71 [IC95% : -0.83 ; 12.25] en faveur

du groupe expérimental. La même comparaison lors du suivi des sujets à 8 semaines indique une différence moyenne de 4.75 [IC95% : -2.70 ; 12.20] en faveur du groupe contrôle. Les intervalles de confiance croisent 0 et indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes, de plus les auteurs nous informe que les **différences moyennes intergroupes ne sont pas significatives** (p-value = 0.345).

L'étude de *Carpinella & al (2016)* (67) n'indique pas l'effet du temps sur l'expérimentation, les différences moyennes intra-groupes n'étant pas présentées, nous les avons donc calculées a posteriori. Pour le groupe contrôle, elles sont respectivement de -3.2 et de -4.1 à T1-T0 et à T2-T0, et pour le groupe expérimental de -3 et -0.4 dans les mêmes conditions. Le **score moyen à l'UPDRS semble donc diminuer** pour tous les indicateurs, mais uniquement avec nos calculs nous ne pouvons pas indiquer une différence statistiquement significative au sein des groupes.

Les résultats entre les groupes sont présentés, et il y a une différence moyenne de  $-1.1 \pm 1.8$  en faveur du groupe contrôle à la fin de l'expérimentation, qui n'est pas significative (p-value = 0.545). 1 mois après, cette différence moyenne est de  $2.2 \pm 1.7$  en faveur du groupe expérimental, et n'est pas significative (p-value = 0.196). Il n'y a **pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes**.

*Tableau VII : Résumé des résultats des études à propos de l'UPDRS*

Etudes	Différence intragroupe (GE)		Différence intergroupe (GE/GC)	
	T1-T0	T2-T0	T1-T0	T2-T0
<i>Van Den Heuvel &amp; al</i>	Non (p>0.0017)	Non (p>0.0017)	Non (p>0.0017)	Non (p>0.0017)
<i>Yang &amp; al</i>	Non (p>0.05)	Non (p>0.05)	Non (p>0.05)	Non (p>0.05)
<i>Carpinella &amp; al</i>	Oui ?	Oui ?	Non (p=0.545)	Non (p=0.196)

GE : Groupe expérimental ; GC : Groupe contrôle

? : il n'est pas possible d'affirmer une différence statistiquement significative

### 5.3.3. Résultats sur le TUG

Seules les études de Yang & al (2015) (70) et Carpinella & al (2016) (67) utilisent le TUG comme outil de mesure de l'équilibre. Pour rappel, le TUG mesure le temps parcouru pour se mettre debout d'une chaise, parcourir une distance de 3 mètres à vitesse confortable, faire demi-tour et retourner s'asseoir sur la chaise (39). L'objectif est donc d'avoir un score le plus faible possible, et une diminution du score indique une amélioration au test.

L'étude de **Yang & al (2015)** (70) montre tout d'abord l'effet du temps sur l'expérimentation. En effet, le groupe contrôle présente une diminution de  $3.07 \pm 3.15$  à T1, puis de  $2.26 \pm 2.91$  à T2, par rapport à T0 sur le temps réalisé au TUG. Le groupe expérimental présente une diminution de  $3.34 \pm 3.67$  à T1, puis de  $2.26 \pm 1.96$  à T2, par rapport à T0. Les résultats montrent que les **deux groupes ont significativement diminué leur temps au TUG** par rapport à l'état initial sans rééducation (p-value <0,001).

Ensuite, la comparaison entre le groupe contrôle et le groupe expérimental à 6 semaines par rapport à l'état initial révèle une différence moyenne de -0.28 [IC95% : -3.24 ; 2.68], en faveur du groupe expérimental. La même comparaison lors du suivi des sujets à 8 semaines indique une différence moyenne de 0.00 [IC95% : -2.17 ; 2.17]. Les intervalles de confiance croisent 0 et indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes, de plus les auteurs nous informe que les **différences moyennes intergroupes ne sont pas significatives** (p-value = 0.684).

Dans l'étude de **Carpinella & al (2016)** (67), les différences moyennes entre les mesures à la suite de l'expérimentation, et 1 mois après ne sont pas données. Nous les avons donc calculées ; le groupe contrôle présente une augmentation moyenne de 0,4 secondes au TUG en post-intervention, et une diminution moyenne de 3.7 secondes 1 mois après l'intervention. Le groupe expérimental présente une diminution moyenne de 1 secondes à la suite de l'intervention par rapport à l'état initial, tandis qu'il présente une augmentation moyenne de 1.3 secondes 1 mois après l'intervention par rapport à l'état initial. Il n'est pas possible d'indiquer une différence statistique significative entre ces différences moyennes.

La différence moyenne entre les deux groupes à T1 est de  $-1.8 \pm 1.6$  (p-value = 0.269), et de  $-1.2 \pm 1.4$  (p-value =0.380) à T2. Il n'existe **pas de différences significatives entre le groupe contrôle et le groupe expérimental au temps réalisé pour le TUG**, que cela soit en post-intervention ou lors du suivi à 1 mois.

Tableau VIII : Résumé des résultats des études à propos du TUG

Etudes	Différence intragroupe (GE)		Différence intergroupe (GE/GC)	
	T1-T0	T2-T0	T1-T0	T2-T0
<b>Yang &amp; al</b>	Oui (p<0.05)	Oui (p<0.05)	Non (p>0.05)	Non (p>0.05)
<b>Carpinella &amp; al</b>	Oui ?	Non ?	Non (p=0.269)	Non (p=0.380)

GE : Groupe expérimental ; GC : Groupe contrôle

? : il n'est pas possible d'affirmer une différence statistiquement significative

## 6. Discussion

Les résultats présentés ci-dessus sont ceux donnés par les auteurs, mais il est important d'en éclairer la méthodologie et le sens clinique. C'est l'objectif de cette discussion, qui met également en lumière les limites ainsi que les perspectives de cette revue systématique de la littérature.

### 6.1. Les limites méthodologiques des études

#### 6.1.1. Les caractéristiques initiales des participants

A la différence des études de Van Den Heuvel & al et de Pazzaglia & al, il n'est pas indiqué dans l'étude de Yang & al que les caractéristiques initiales des participants ne sont pas statistiquement différentes entre le groupe contrôle et le groupe expérimental. De plus, pour l'étude de Carpinella & al, il existe déjà une différence significative entre certaines valeurs avant l'expérimentation, notamment au niveau du score de l'UPDRS et du TUG. Cela interroge sur les conclusions apportées par les auteurs sur ces scores à la suite de l'expérimentation, malgré le fait que l'analyse de corrélation indique que les améliorations ne soient pas liées à l'âge du patient, la durée ou la sévérité de la maladie.

#### 6.1.2. Pertinence des groupes contrôles

Afin d'observer l'importance du biofeedback dans la rééducation de l'équilibre chez les patients parkinsoniens, il est important de pouvoir comparer à une rééducation de l'équilibre sans biofeedback. C'était le design des 4 études que nous avons sélectionnées pour cette revue. Or à la lecture plus approfondie, nous nous sommes rendu compte que pour au moins deux des études, **le groupe contrôle recevait une forme de feedback**. En effet, pour l'étude de Carpinella & al ainsi que pour l'étude de Yang & al, les patients reçoivent des instructions orales par le masseur kinésithérapeute (MK) afin de corriger leurs mouvements et la position de leur corps lors des exercices. Recevant une information extérieure sur une donnée interne qui ne leur est pas accessible par eux-mêmes, cela revient à une forme de biofeedback. Pour Van den Heuvel & al ainsi que pour Pazzaglia & al, nous savons que les participants sont supervisés par un MK, mais nous n'avons pas d'informations à propos d'une éventuelle correction lors des exercices par celui-ci. Cela constitue également une limite aux études sélectionnées.

De plus, il est possible que les **thérapies proposées aux groupes contrôles ne permettent pas d'enlever « l'effet placebo »** du biofeedback. En effet, il faudrait un groupe contrôle qui reçoit

de la thérapie avec feedback augmenté mais avec un feedback factice, qui n'est pas réellement représentatif de la position du corps du participant dans l'espace. Cela pourrait permettre de supprimer cet effet placebo, comme suggéré par Carpinella & al (67). Si nous avions des études avec un tel procédé, les résultats auraient pu montrer une amélioration des indicateurs chez le groupe contrôle ; il est envisageable que c'est seulement le concept de jeux avec une interface interactive qui est une source de motivation et ainsi d'amélioration des scores, et non réellement le feedback de la position du corps dans l'espace. Cela permettrait d'éliminer un biais de confusion.

### 6.1.3. L'interprétation statistique

La **taille des échantillons** constitue une limite de toutes les études : au maximum, le nombre de participants de l'étude de Pazzaglia & al est de 51, mais avec les perdus de vue, il n'est possible d'avoir des analyses effectuées que sur 10 personnes dans le groupe contrôle et dans le groupe expérimental (étude de Yang & al). Il est donc difficile d'appliquer ces résultats à une population générale. De plus, lorsque l'on réalise des tests, il est important de déterminer en amont la taille de l'échantillon nécessaire, afin d'être sûr d'avoir un effectif suffisant pour maintenir un **niveau correct de puissance** de ce **test** (75). Par exemple, Carpinella & al nous informent dans leur partie discussion qu'ils ne l'ont pas calculé a priori, mais qu'a posteriori ils ont calculé la taille de l'échantillon nécessaire afin d'observer une taille d'effet intergroupe au moins égale à 0,68. Un minimum de 70 personnes étaient nécessaires, ce qui n'est le cas dans aucune des études. Également, concernant les autres échelles utilisées, aucune taille d'échantillon n'a été calculée, nous ne pouvons donc pas savoir si les échantillons des études sont suffisants afin de maintenir un niveau correct de puissance des tests.

Comme cité précédemment, seule l'étude de Van Den Heuvel & al utilise une **correction de Bonferroni** dans l'analyse statistique de ses résultats. La correction de Bonferroni est utilisée afin de pouvoir rejeter l'hypothèse nulle lorsque l'on utilise des comparaisons multiples. Cela permet d'accorder plus de significativité au résultat (75). Ainsi, les études de Carpinella & al et de Pazzaglia & al concluent sur des différences statistiquement significatives pour le BBS notamment, mais sans correction de Bonferroni, avec une p-value > 0.05. Ces études utilisant également des comparaisons multiples, il serait plus rigoureux d'appliquer cette correction afin d'avoir une conclusion statistiquement plus puissante. Nous pouvons donc nous interroger sur le seuil du rejet de l'hypothèse nulle dans les résultats de ces articles.

Il est possible d'analyser statistiquement les résultats obtenus dans une étude de différentes manières, et on parle notamment **d'analyse en « intention de traiter »**. De cette manière « les patients sont analysés dans le groupe dans lequel ils ont été randomisés, peu importe s'ils ont été observants au traitement alloué ou non » (75). Ce type d'analyse permet de prendre en compte des arrêts de protocoles ou des perdus de vues, et ainsi d'avoir une vision de l'effet se rapprochant des conditions réelles, ce qui nous intéresse pour la pratique.

Excepté l'étude de Pazzaglia & al qui étudie le même nombre de participants à l'état final qu'à l'état initial, les 3 autres études présentent des patients qui ne complètent pas les interventions jusqu'à la fin de l'expérimentation. Les études de Van den Heuvel & al et de Yang & al analysent leur résultat en appliquant « l'intention de traiter », ce qui permet d'appliquer les résultats aux groupes initiaux et ainsi d'éliminer le biais de sélection d'attrition, et ce qui n'est pas le cas de l'étude de Carpinella & al. Ainsi, les résultats de cette étude sont discutables car non appliquée à l'échantillon initial.

Enfin **le temps de rééducation**, différent selon les études (entre 10 et 20 séances de rééducation de 40 à 60 minutes) pourrait également être une limite des études. En effet, il est possible que le temps total de rééducation, ou que la fréquence des séances n'aient pas permis de montrer un effet significatif du temps sur les interventions en fonction des échelles de mesure. Cela est évoqué dans les limites de l'étude de Van Den Heuvel & al (69). Une estimation à priori du temps minimum nécessaire pour obtenir une variation dans les échelles aurait pu être pertinente. De plus, le suivi des études n'est pas toujours assuré comme par exemple l'étude de Pazzaglia & al, et quand il l'est, il est au maximum à 6 semaines de l'intervention. Cela ne permet pas d'assurer un effet dans le temps de l'intervention.

## **6.2. L'intérêt en clinique des résultats obtenus**

### **6.2.1. La taille d'effet**

La notion de **taille d'effet**, décrite par Herbert (2000) (76) nous permet **d'interpréter cliniquement des résultats statistiques** en donnant l'importance de l'effet thérapeutique d'une intervention. Cela permet d'aller au-delà de la valeur « p » que l'on nous donne pour signifier une différence entre deux groupes, et d'estimer la taille de cette différence.

Carpinella & al utilise le « d de Cohen » comme indicateur de la taille d'effet ; les auteurs mentionnent que des « d de cohen » de 0.2, 0.5 et 0.8 indiquent respectivement une taille d'effet faible, modérée et importante. Pour rappel, la différence intergroupe au BBS était

significative à T1 ( $2.3 \pm 1.1$ , p-value = 0.047) et à T2 ( $2.7 \pm 1.1$ , p-value = 0.018). La taille d'effet à T1 est de 0.68, et à T2 de 0.82. De prime abord, il semblerait donc que les tailles d'effet à T1 et T2 pour les différences moyennes intergroupes soient modérées à importantes. En revanche, ces tailles d'effet sont données avec un intervalle de confiance à 95%, qui permet d'indiquer que 95% des valeurs se trouvent dans cet intervalle, avec un risque d'erreur de 5%. A T1, il est de 0.68 [0.02 ; 1.34], tandis qu'à T2 il est de 0.82 [0.15 ; 1.49]. Les bornes sont très éloignées de la valeur centrale, et cela remet en question la significativité de la taille d'effet.

Concernant les autres études, Van den Heuvel & al ainsi que Pazzaglia & al indiquent des tailles d'effets dans leurs résultats qui n'utilisent pas le « d de cohen » et ne donnent pas de correspondance claire pour interpréter les valeurs données. Ainsi, et malgré nos recherches complémentaires, nous ne pouvons pas conclure sur les tailles d'effet de ces études. Enfin, Yang & al ne mentionnent pas de calculs ou d'indicateurs de taille d'effet.

### 6.2.2. Le changement minimum détectable

Il existe également un autre outil qui permet de préciser l'importance clinique des résultats obtenus : c'est le **changement minimum détectable (CMD)**. C'est la valeur minimale de changement dans le score d'un patient qui assure que cette différence ne soit pas le résultat d'une erreur de mesure (77). Ainsi, il faut que les **différences moyennes des groupes dépassent ce CMD** pour augmenter la pertinence clinique des résultats des études.

A propos du **BBS**, seule l'étude de Carpinella & al indique le CMD, qui serait entre 2.8 et 5 points. Seul le groupe expérimental en post-expérimentation atteint l'intervalle donné avec une augmentation de 4 points. En reprenant cette valeur de CMD donné par Carpinella & al, il est possible d'appliquer celle-ci aux autres études sélectionnées. L'étude de Van Den Heuvel & al montre qu'aucunes des valeurs données n'atteint le CMD. Concernant l'étude de Yang & al, les deux groupes rentrent dans l'intervalle du CMD à la suite de l'expérimentation (GC :  $4,17 \pm 5,01$  points ; GE :  $3,36 \pm 2,38$  points), et seul le groupe contrôle reste dans cet intervalle lors du suivi des patients à 8 semaines (GC :  $2.83 \pm 3.76$ ). L'étude de Pazzaglia & al montre que seul le groupe expérimental atteint l'intervalle du CMD ( $+3.6$  [IC95% : 1.3;5.9]). En revanche, nos recherches sur le CMD du BBS ont fait ressortir un CMD à 5 points chez les patients atteints de la MP et de syndromes apparentés (78), score qu'aucun des groupes dans aucune des études n'atteint.

Concernant l'**UPDRS**, aucune des études n'a indiqué la valeur du CMD. Nos recherches ont fait ressortir un CMD de 11 points chez les patients atteints de la MP et de syndromes apparentés au niveau de la partie motrice de l'UPDRS, évaluée sur 108 points (78). Seule l'étude de Yang & al quantifie l'UPDRS sur 108 points, et aucun des groupes n'atteint le CMD, que ce soit à la suite de l'expérimentation ou lors du suivi. L'étude de Van Den Heuvel & al quantifie l'UPDRS sur 112 points ce qui se rapproche de 108 points, mais aucun des groupes ne se rapproche du CMD identifié pour un score sur 108 points. Concernant l'étude de Carpinella & al, l'UPDRS est évaluée sur 56 points, ce qui ne permet pas de comparer avec le CMD donné précédemment.

Le CMD associé au **TUG** des personnes atteints de la MP est de 3.5 secondes (79). Dans l'étude de Yang & al, aucun des groupes n'atteint le CMD, que ce soit à la suite de l'expérimentation ou lors du suivi. Dans l'étude de Carpinella & al, seul le groupe contrôle semble atteindre le CMD à 1 mois de l'intervention (-3.7 secondes) mais ces valeurs sont le résultat de nos calculs et ne peuvent être interprétées significativement.

L'ensemble de ces résultats, associés à nos recherches complémentaires, semble indiquer qu'**aucun des groupes n'a atteint les seuils de changement minimum détectable**. Cela permet de remettre en doute la pertinence clinique des interventions des études, car un changement statistiquement significatif, quand il existe, ne suffit pas à statuer sur l'efficacité d'une intervention. Cela interroge encore une fois sur la durée et l'intensité des interventions proposées, car celles-ci ne permettent pas d'atteindre le CMD.

### **6.2.3. Notion de coût/efficacité et de bénéfices/risques**

La notion de **rapport entre le coût et l'efficacité du traitement** est à prendre en compte lors du choix de la mise en place d'un traitement, ou du choix d'un traitement par rapport à un autre. Ici, les études sélectionnées n'ont pas permis de conclure à un réel bénéfice de la rééducation de l'équilibre à l'aide du biofeedback chez les patients parkinsoniens. Or l'utilisation du biofeedback, notamment dans ces études, nécessite des appareils électroniques coûteux, que ce soit des capteurs inertiels, des plateformes de force, des écrans ou ordinateurs, des caméras infra-rouges, voire une combinaison de plusieurs de ces éléments. Au vu du peu de preuves scientifiques apportées sur l'apport des techniques de biofeedback dans la rééducation de l'équilibre, il ne semble pas indispensable d'investir dans de tels appareils afin d'obtenir une amélioration chez un patient. En revanche, si ceux-ci sont

déjà à disposition, il semble pertinent d'utiliser les techniques de biofeedback, mais au même titre que la rééducation classique de l'équilibre.

En effet, la rééducation de l'équilibre assistée de biofeedback ne semble pas plus pertinente que la rééducation conventionnelle, mais comme l'indique l'étude de Van den Heuvel & al, elle ne présente pas non plus d'effets inférieurs (69). De plus, la notion de jeux interactifs peut présenter une réelle source de **motivation** pour réaliser les exercices d'équilibre, motivation qui peut faire défaut chez les patients atteints de la MP (80). Cet aspect peut donc présenter une plus-value au traitement conventionnel, notamment si les patients doivent réaliser leurs exercices en autonomie, à domicile. En revanche, il existe tout de même un risque ; cela concerne les patients aux stades de H&Y plus élevés, qui peuvent présenter des risques de chute. Les jeux réalisés par le biofeedback peuvent inciter à une notion de performance, ce qui peut parfois induire le patient, déjà à risque de chute, à se mettre en danger. La présence d'une supervision est donc obligatoire lorsque la rééducation est dispensée à ces patients (69). Il faut donc apprécier cette notion de **balance bénéfique/risque** en fonction du patient auquel le thérapeute fait face lors de la rééducation de l'équilibre.

### 6.3. Limites de notre revue

Après avoir interrogé la méthodologie des auteurs de chaque étude, il est important de revenir sur notre propre méthodologie de réalisation d'une revue de la littérature. En effet, nous avons identifié certaines limites.

Tout d'abord, nous avons fait le choix d'utiliser seulement 4 **moteurs de recherche** afin d'effectuer notre sélection d'articles, mais il existe de nombreux autres moteurs de recherche en santé qui auraient potentiellement pu faire ressortir d'autres études intéressantes sur notre sujet.

De plus, nous avons été exposés à un bruit documentaire en utilisant « Google Scholar ». Ce moteur de recherche nous étant peu familier, nous n'avons probablement pas utilisé des équations de recherches adaptées qui auraient pu diminuer ce bruit et permettre son inclusion dans la démarche de recherche. Le bruit documentaire retrouvé sur Science Direct avec l'utilisation de tous les synonymes des mots-clés nous a conduit à réduire nos équations de recherche.

Également, nos **critères de sélection** à l'origine auraient pu être différents pour répondre à notre question de recherche. Nous nous sommes rendu compte que nos mots clés auraient pu faire ressortir le terme de « réalité virtuelle » en tant que synonymes de « biofeedback », car parfois ces deux termes peuvent être intervertis selon les études. Il est possible que nous soyons passés à côté d'études répondant à notre sujet en faisant ces choix.

Nous avons aussi fait le choix de ne sélectionner que des études utilisant un biofeedback biomécanique comme adjuvant à la rééducation. Or le biofeedback physiologique est également utilisé en rééducation, comme par exemple l'EMG, mais les modalités d'utilisation de l'EMG sont moins faciles d'accès que l'utilisation de plateformes de force ou de capteurs inertiels par exemple. Des éléments auraient pu être pertinents pour l'amélioration de l'équilibre avec ces techniques physiologiques, mais c'est dans un souci d'approche plus en lien avec la pratique masso-kinésithérapique que nous avons choisi de ne pas intégrer ce type de biofeedback dans notre démarche.

De plus, la limite entre posture et équilibre étant floue comme initialement présentée, nous aurions pu également inclure dans notre équation de recherche le terme de posture et ses synonymes français et anglais afin d'optimiser nos résultats. Mais il est probable que nous aurions fait face à du bruit documentaire.

A posteriori, nous nous sommes également rendu compte qu'il était fort probable que des déficits d'équilibre soient déjà présents aux stades précoces de la maladie. Par exemple, la mesure au TUG révèle un ralentissement au demi-tour chez les patients parkinsoniens aux stades précoces de la maladie, même quand la vitesse de marche est normale (14). Ainsi, il aurait pu être pertinent d'inclure les études ou les patients étaient au stade 1 de la classification de H&Y.

Nous avons également fait le choix d'utiliser dans nos critères de sélection les études évoquées dans les recommandations de la HAS et dans l'étude de Winser & al pour évaluer l'équilibre dans la MP (35). Or d'autres échelles évoquées par Winser & al comme l'ABC scale par exemple auraient pu être pertinentes dans notre revue, et est notamment utilisée dans l'étude de Carpinella & al (67). Dans un souci de niveau de preuve nous avons voulu utiliser également les échelles recommandées par la HAS, mais il est possible que nous ayons omis des résultats pertinents au vu de ces éléments.

Nous avons également utilisé comme critère de sélection la **langue** des articles publiés, soient l'anglais qui est la langue internationale scientifique ainsi que le français qui est notre langue maternelle. Or il est probable que des articles aient été publiés dans d'autres langues sur le sujet et qui auraient pu s'avérer pertinents au regard de notre questionnement.

Nous avons fait le choix de ne garder que des **études contrôlées** (même les études pilotes) afin d'obtenir les meilleurs niveaux de preuves possible à propos de notre question de recherche, or cela exclut la littérature grise ayant un intérêt sur notre sujet. De plus, notre sélection s'est faite à l'aide de la **grille PEDro** afin de déterminer les plus hauts niveaux de preuve possible, or cette échelle permet seulement d'évaluer la validité interne des études. L'importance clinique des traitements n'est pas retenue par la grille, et c'est également ce qui nous intéresse comme nous avons pu le voir précédemment. Il est probable que des études avec des niveaux de preuves moins élevés, tout comme les scores PEDRO auraient pu également nous renseigner sur notre questionnement initial.

Il existe également un **biais** dans la **sélection** de nos études : en effet, nous étions seuls dans la réalisation du tri de nos études. Ce processus, réalisé en binôme, aurait permis de nous assurer que chaque publication était bien dans la catégorie lui correspondant, et ainsi de faire ressortir les mêmes études finales. En effet, les recommandations conseillent plusieurs auteurs afin de garantir la reproductibilité de ce processus (81).

#### **6.4. Confrontation avec la littérature**

Lors de notre processus de sélection, certaines études ont été exclues à la suite de la lecture intégrale, ne répondant pas à l'ensemble de nos critères de l'équation PICO. Certaines ne présentaient pas le comparateur souhaité, soit un groupe contrôle recevant de la thérapie conventionnelle (82–85). Une autre étude avait pour population cible les patients atteints de la MP et ses syndromes apparentés, alors que nous souhaitions seulement inclure des patients atteints de la MP idiopathique (86).

C'est pour cela que nous ne les avons pas sélectionnées, mais à posteriori, il nous semble pertinent de reprendre certains résultats apportés par ces études afin d'éclairer notre question de recherche.

L'article de **Chang & al** (2019) (86) étudie l'effet d'un entraînement de l'équilibre avec l'appareil Tetrax, qui est apparenté à une plateforme de force retransmettant un feedback visuel sur un écran devant le patient. L'étude est réalisée chez les patients atteints de MP et ses syndromes apparentés. 20 patients ont été assignés à deux groupes, un groupe contrôle qui reçoit la rééducation conventionnelle, un groupe expérimental qui reçoit la rééducation avec le Tetrax. Le protocole est réalisé sur 2 semaines, avec 10 sessions de 30 min par jour.

Les résultats montrent que le groupe recevant la thérapie avec le biofeedback augmenté présente une amélioration statistiquement significative au BBS par rapport à l'état initial avec une différence moyenne calculée de +4.2 points ( $p$ -value = 0.007). Ils indiquent également que le score du groupe expérimental est significativement supérieur au score du groupe contrôle à la fin de l'expérimentation ( $p$ -value=0.041).

En revanche, il n'y a pas de contrôle dans le temps donc il n'est pas possible de connaître les effets à long terme. Les puissances des tests n'ont été calculées ni à priori ni à posteriori. De plus, le score au BBS n'atteint pas le changement minimal détectable de 5 points, mais s'en rapproche et dépasse les 2.8 points. Il est probable qu'un effet en clinique soit présent.

L'étude de **Mirelman & al** (2011) (83) évalue l'effet d'un programme d'entraînement avec du biofeedback auditif augmenté sur la posture et l'équilibre des patients atteints de la MP. 7 patients réalisent 18 sessions de 30 à 45 minutes, sur 6 semaines.

Les résultats montrent que les participants présentent une augmentation statistiquement significative de 3% ( $p$ -value=0.032) au BBS à la suite de l'expérimentation, ainsi qu'une amélioration statistiquement significative ( $p$ -value < 0.05) au TUG lors du suivi des patients à un mois (différence moyenne calculée de -2.4 secondes). Il n'y a pas de changement statistiquement significatif à l'UPDRS.

L'échantillon est très faible, sans groupe contrôle pour permettre une comparaison. Les puissances des tests ne sont pas calculées, et les valeurs obtenues n'atteignent pas les changements minimaux détectables. De plus, certaines sessions ont été réalisées à domicile, tandis que d'autres en clinique. Il est difficile d'accorder de l'importance clinique à ces résultats au vu de l'ensemble de ces éléments.

L'étude de **Zalecki & al** (2013) (85) évalue également l'effet de la Wii Fit et sa plateforme de force sur l'équilibre dans la MP. 24 patients parkinsoniens ont participé à l'entraînement avec 2 sessions de 20 minutes par jour, pendant 6 semaines soit un total de 84 sessions.

Les résultats montrent une augmentation statistiquement significative au BBS en post-expérimentation, avec une différence moyenne calculée de +4.5 points (p-value <0.05). Il existe une amélioration statistiquement significative au TUG, avec une différence moyenne calculée de -0.97 secondes (p-value < 0.05). Il y a également une diminution médiane du score à la partie motrice de l'UPDRS de 5 points (p-value < 0.05).

Cette étude présente un nombre de sessions très important comparée à toutes les autres études évoquées dans cette revue et dans cette discussion. Cela permet d'augmenter considérablement la fréquence des exercices et potentiellement d'avoir des résultats plus pertinents. En revanche, l'amélioration au TUG et à l'UPDRS n'atteint pas le changement minimal détectable, tout comme le BBS mais qui s'en approche et dépasse le score de 2,8. Le manque de groupe contrôle diminue la pertinence clinique de ces résultats.

L'article de **Mhatre & al** (2013) (84) étudie l'effet de la Wii Fit et sa plateforme de force sur l'équilibre et la marche dans la MP. 10 patients parkinsoniens ont participé à 3 sessions d'entraînement hebdomadaires de 30 minutes chacune, pendant 8 semaines.

Les résultats montrent que les participants présentent une amélioration statistiquement significative au BBS de 3.3 points (p-value =0.016).

Ce score se situe entre le seuil minimal détectable de 2.8 et 5 mais n'atteint pas les 5 points. Le faible échantillon ainsi que l'absence de groupe contrôle diminue également la pertinence clinique des résultats.

L'article d'**Esculier & al** (2012) (82) évalue l'effet d'un programme de rééducation de l'équilibre, utilisant la Wii Fit comme plateforme de force chez les patients atteints de la MP. Le groupe contrôle (n=8) reçoit l'intervention mais ce sont des patients âgés sains, tandis que le groupe expérimental (n=10) reçoit l'intervention, et est constitué de patients parkinsoniens. Ils ont réalisé 18 sessions de 40 minutes, sur 6 semaines.

Les résultats montrent que le groupe expérimental présente une diminution médiane de 1.9 secondes statistiquement significative au TUG à la suite de l'expérimentation (p-value <0.04).

Cette valeur n'atteint pas le seuil de changement minimal détectable. De plus, l'étude est réalisée sur un nombre très restreint de participants, avec en comparaison un groupe de sujets âgés sains. Cela n'est pas pertinent pour vérifier l'apport de cette thérapeutique chez les patients parkinsoniens, et ainsi peu intéressant pour notre pratique masso-kinésithérapique. En outre, des participants quittent l'étude lors de la réalisation du protocole, et ne sont pas pris en compte dans les résultats finaux : l'intention de traiter n'est pas réalisée. L'ensemble de ces éléments diminuent l'importance clinique des résultats.

Dans cette étude, les patients ont pour consigne de réaliser les exercices en autonomie à domicile, et seule une régulation téléphonique hebdomadaire permet de faire le point avec les thérapeutes. Ainsi, l'évaluation et le contrôle des patients pourrait s'avérer beaucoup moins fiable qu'une étude rigoureuse en clinique. En revanche, cette étude se rapproche des conditions réelles potentielles d'utilisation en pratique courante dans le cas de poursuite de la rééducation à domicile.

L'ensemble de ces résultats convergent vers une conclusion similaire aux résultats obtenus précédemment. En effet, d'un point de vue statistique, il semble que les techniques de rééducation s'appuyant sur le **biofeedback augmenté** obtiennent des **résultats pertinents** sur certaines échelles de mesure de l'équilibre, notamment le **BBS** et le **TUG**. En revanche, démontrer un effet cliniquement significatif semble plus difficile, malgré la proximité de certaines valeurs avec les seuils de changement minimal détectable. Il faut noter néanmoins qu'à chaque étude évoquée, les résultats s'améliorent, et permettent de montrer que l'utilisation du biofeedback n'a pas d'effets néfastes dans la rééducation de l'équilibre des patients atteints de la MP.

Nos recherches font ressortir des études qui évaluent dans la majorité des cas des techniques de biofeedback visuels ; parfois auditifs. Les autres types de biofeedback semblent moins étudiés dans littérature scientifique, et il n'est **pas possible de statuer sur la supériorité d'un type de biofeedback par rapport à un autre.**

Cela montre également que l'UPDRS n'est pas une échelle très utilisée pour évaluer l'équilibre, et que la majorité des études se servent plutôt du BBS ou du TUG.

Nous pouvons également remarquer que nous n'avons pas retrouvé le Mini-BESTest, une échelle initialement évaluée comme pertinente pour mesurer l'équilibre dans la MP (35). Cela nous permet d'appuyer l'idée qu'il n'y a **pas vraiment de consensus à propos d'outils dans l'évaluation de l'équilibre dans la MP**, et ainsi de mettre en évidence que cela rend encore plus complexes les interprétations des données de la littérature.

#### 6.5. Réponse à la question de recherche et perspectives envisagées

Pour rappel, notre question de recherche était la suivante :

***Au regard des données de la littérature, existe-t-il un apport des techniques de biofeedback biomécaniques dans la rééducation de l'équilibre chez les patients atteints de la maladie de Parkinson, par rapport à une rééducation de l'équilibre conventionnelle ?***

Les résultats apportés par notre revue de littérature, son analyse, ainsi que nos recherches complémentaires dans la littérature scientifique nous ont permis de montrer qu'il n'y avait **pas d'effets délétères à la rééducation de l'équilibre assistée du biofeedback** chez les patients atteints de la **MP**. Au contraire, les résultats semblent converger vers un **effet favorable** de cette rééducation sur **l'équilibre**, avec une amélioration des scores au Berg Balance Scale ainsi qu'au Time Up and Go test, malgré qu'il n'y ait pas d'améliorations franches et marquées qui permettent de démontrer une efficacité clinique indéniable.

Les études de notre revue semblent en accord avec les éléments évoqués dans notre cadre conceptuel. En effet, certaines indiquent que le biofeedback semble mobiliser les phénomènes d'apprentissages de l'équilibre et de stimulation cognitive, notamment par la répétition d'une tâche, qui permet également de potentialiser la focalisation externe (focalisation sur le résultat du mouvement) du patient. La motivation entraînée par des jeux interactifs notamment serait augmentée par rapport aux groupes qui reçoivent la thérapie conventionnelle (67,69–71).

Cependant, le peu d'études incluses dans notre revue de littérature, ainsi que les nombreuses limites recensées de ces dernières ne simplifient l'interprétation de résultats. Une grande hétérogénéité entre les études est retrouvée que ce soit au niveau des caractéristiques individuelles des patients ou des caractéristiques des protocoles retrouvés.

En effet, il y a des différences majeures entre la durée, la fréquence et l'intensité des interventions menées, que ce soit dans les groupes contrôles ou dans les groupes expérimentaux. Les analyses statistiques appliquées à chaque étude sont également très hétéroclites.

L'ensemble de ces éléments, ajouté au manque d'interprétation en clinique des résultats, ne nous **permet pas de conclure sur un apport notable à la rééducation de l'équilibre assistée de biofeedback, par rapport à de la rééducation conventionnelle chez les patients atteints de la maladie de Parkinson.**

Finalement, il faut souligner que le **biofeedback instrumental** reste une **option** parmi les différentes thérapeutiques proposées en masso-kinésithérapie pour la **rééducation de l'équilibre** chez les patients atteints de la **maladie de Parkinson.**

Il serait pertinent que de futures études, plus précises, plus rigoureuses, et avec des échantillons plus importants soient réalisées afin de pouvoir apporter une réponse clinique sur une différence entre les deux thérapeutiques dans la rééducation de l'équilibre chez les patients parkinsoniens.

Les mécanismes neurophysiologiques du biofeedback, notamment sur l'équilibre étant encore mal compris, il serait intéressant de développer les connaissances dans ce sujet. Il est probable que cela permettrait d'en ajuster la rééducation en conséquence, et ainsi de peut-être vérifier avec d'autres éléments si les thérapeutiques assistées de biofeedback biomécanique sont plus efficaces que de la rééducation conventionnelle dans la maladie de Parkinson.

Un suivi à plus long terme serait également pertinent pour déterminer l'effet du biofeedback dans le temps.

Il nous semble également judicieux d'investiguer les différences existantes entre les possibilités de biofeedback, et de déterminer s'il existe un type de retour d'informations plus performant qu'un autre. De plus, de nombreux systèmes de biofeedback étudiés dans ces études sont souvent créés dans une utilisation laboratoire ou clinique (49).

L'utilisation par les patients au quotidien des systèmes de biofeedback pourraient ne pas être appropriée pour certains systèmes notamment pour les feedback visuels et auditifs ; en effet, cela pourrait interférer dans la vie quotidienne des patients dans des tâches comme la parole, la vue ou l'audition, ce qui n'est pas le cas du feedback vibratoire qui donne juste des

stimulations sur la peau du patient (49). Des investigations supplémentaires dans cette direction seraient donc pertinentes.

De plus, l'ensemble des études utilisent des appareils de biofeedback qui semblent coûteux au vu du matériel utilisé. Cela peut potentiellement être un frein à l'acquisition de ce type de matériels (plateforme de force, capteurs inertiels, etc.). Développer un matériel moins onéreux permettrait une diffusion facilitée, que ce soit auprès des masseurs-kinésithérapeutes, mais également des patients dans le cadre d'auto-rééducation à domicile.

Cette diffusion pour également être facilitée si les appareils proposés pour réaliser ce biofeedback pouvaient être utilisés dans plus de **situations de la vie quotidienne**, par exemple avec des applications sur smartphone spécifiques, ou encore sur montres connectées. C'est le cas de Ginis & al en 2016 qui étudient les effets d'une application sur smartphone spécifique à la MP qui délivre un feedback automatique lors de la marche chez les patients parkinsoniens. Les résultats de cette étude semblent prometteurs sur différents symptômes de la MP, et notamment sur l'équilibre évalué par le Mini-BESTest (87).

Cela pourrait également permettre un suivi précis du patient en dehors des séances du masseur-kinésithérapeute, si le patient lui donnait l'accès à ces données protégées (88) afin de prolonger l'activité de soins en dehors d'une structure de santé.

Enfin, il serait également intéressant que les **échelles spécifiques de l'évaluation de l'équilibre dans la maladie de Parkinson** soient développées afin de pouvoir avoir des données exploitables dans la recherche, mais également de pouvoir en avoir une utilisation en clinique, auprès des patients.

## 7. Conclusion

A ce jour et au regard de l'ensemble des éléments de notre revue de littérature, il n'a pas été possible d'affirmer un apport notable des techniques de biofeedback biomécanique par rapport à des techniques conventionnelles dans la rééducation de l'équilibre chez les patients atteints de la maladie de Parkinson. Ces techniques, loin d'être délétères, peuvent néanmoins apporter une réelle motivation à la réalisation d'exercices par les patients, et ont ainsi leur **place dans le processus rééducatif** de la maladie de Parkinson.

Des études plus rigoureuses doivent être menées dans cette orientation pour servir la recherche mais surtout la profession. En effet, ces recherches scientifiques permettent d'accorder du crédit à notre profession, et au-delà de ce crédit, c'est un devoir. Le code de déontologie impose de dispenser des « soins consciencieux, attentifs et fondés sur des données acquises de la science » (89). Ainsi, pour prodiguer les meilleurs soins, il est intéressant de se demander quelles sont les techniques de rééducation de l'équilibre les plus pertinentes dans la rééducation de la maladie de Parkinson ? Y'a-t-il d'autres techniques avec un bénéfice supérieur que l'utilisation du biofeedback qui permettraient d'améliorer cet équilibre ?

Également, cette démarche d'initiation à la recherche nous a montré **l'importance de la démarche de recherche et la nécessité de rigueur en science**. En effet, s'arrêter à des conclusions statistiques données par des auteurs n'est pas suffisant pour démontrer la pertinence d'une technique en clinique, sans considérer les tailles d'effet, le changement minimal détectable ainsi que les balances bénéfiques/risques et coût/efficacité.

Cela permet d'inscrire notre pratique dans une démarche scientifique, un des piliers fondamentaux de **l'Evidence Based Practice (EBP)**, ou pratique fondée sur les preuves. C'est en conformité avec l'évolution des professions de santé vers une pratique raisonnée et justifiée (75). Ainsi, à l'aube de notre diplôme en masso-kinésithérapie, nous espérons pouvoir construire et mettre en œuvre une prise en charge fondée sur l'EBP, tout au long de notre vie professionnelle. Cela nous permettrait de dispenser des soins les plus adaptés possible à nos patients, ce qui passe par une **formation continue**. Celle-ci ayant démarré depuis 4 ans, nous souhaitons la prolonger dans un futur proche au sein d'un cursus de formation en neurologie, et notamment dans la prise en charge des patients parkinsoniens, avec un diplôme universitaire complémentaire voire un master.

## Références Bibliographiques

---

1. Santé Publique France. Maladie de Parkinson : 2 fois plus de cas en 25 ans [Internet]. [cité 18 avr 2021]. Disponible sur: /liste-des-actualites/maladie-de-parkinson-2-fois-plus-de-cas-en-25-ans
2. HAS. Guide parcours de soins maladie de Parkinson [Internet]. Haute Autorité de Santé. 2016 [cité 27 déc 2020]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_1242645/fr/guide-parcours-de-soins-maladie-de-parkinson](https://www.has-sante.fr/jcms/c_1242645/fr/guide-parcours-de-soins-maladie-de-parkinson)
3. Shen X, Wong-Yu ISK, Mak MKY. Effects of Exercise on Falls, Balance, and Gait Ability in Parkinson's Disease: A Meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair*. juill 2016;30(6):512-27.
4. Sparrow D, DeAngelis TR, Hendron K, Thomas CA, Saint-Hilaire M, Ellis T. Highly Challenging Balance Program Reduces Fall Rate in Parkinson Disease. *J Neurol Phys Ther*. janv 2016;40(1):24-30.
5. Keus S, Munneke M, Graziano M, Paltamaa J, Pelosin E, Domingos J, et al. European Physiotherapy Guideline for Parkinson's Disease. 2014;191.
6. HAS. Maladie de Parkinson et syndromes apparentés : techniques et modalités de la prise en charge non médicamenteuse des troubles moteurs [Internet]. Haute Autorité de Santé. 2016 [cité 9 sept 2020]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_2038173/fr/maladie-de-parkinson-et-syndromes-apparentes-techniques-et-modalites-de-la-prise-en-charge-non-medicamenteuse-des-troubles-moteurs](https://www.has-sante.fr/jcms/c_2038173/fr/maladie-de-parkinson-et-syndromes-apparentes-techniques-et-modalites-de-la-prise-en-charge-non-medicamenteuse-des-troubles-moteurs)
7. Journée de Menucourt, Pradat-Diehl P, Salvator-Witvoët V, Griffon A, éditeurs. À propos de la SEP et de la maladie de Parkinson: actualités sur la prise en charge des pathologies neurologiques à potentiel évolutif? Montpellier: Sauramps médical; 2014.
8. Karasu A, Batur E, Karataş G. Effectiveness of Wii-based rehabilitation in stroke: A randomized controlled study. *J Rehabil Med*. 2018;50(5):406-12.
9. Siddiqi FA, Masood T. Training on Biodex balance system improves balance and mobility in the elderly. *JPMA J Pak Med Assoc*. nov 2018;68(11):1655-9.
10. Cano Porrás D, Siemonsma P, Inzelberg R, Zeilig G, Plotnik M. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: Systematic review. *Neurology*. 29 mai 2018;90(22):1017-25.
11. Casuso-Holgado MJ, Martín-Valero R, Carazo AF, Medrano-Sánchez EM, Cortés-Vega MD, Montero-Bancalero FJ. Effectiveness of virtual reality training for balance and gait rehabilitation in people with multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. sept 2018;32(9):1220-34.
12. Admin S, Admin S. La maladie de Parkinson [Internet]. Ministère des Solidarités et de la Santé. 2019 [cité 9 sept 2020]. Disponible sur: <https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/maladies/maladies-neurodegeneratives/article/la-maladie-de-parkinson>
13. Braak H, Tredici KD, Rüb U, de Vos RAI, Jansen Steur ENH, Braak E. Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson's disease. *Neurobiol Aging*. mars 2003;24(2):197-211.
14. Mancini M, Nutt JG, Horak FB. Why is balance so important in Parkinson disease? In: *Balance Dysfunction in Parkinson's Disease* [Internet]. Elsevier; 2020 [cité 16 avr 2021]. p. 25-36. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128138748000027>

15. Armstrong MJ, Okun MS. Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review. *JAMA*. 11 févr 2020;323(6):548.
16. Reich SG, Savitt JM. Parkinson's Disease. *Med Clin North Am*. mars 2019;103(2):337-50.
17. Defebvre L. La maladie de Parkinson et les syndromes parkinsoniens apparentés. *Médecine Nucl*. juin 2007;31(6):304-13.
18. France Parkinson. Les traitements médicamenteux [Internet]. France Parkinson. [cité 14 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.franceparkinson.fr/la-maladie/traitements/traitements-medicamenteux/>
19. Louvain Medical. Le traitement médicamenteux des symptômes moteurs de la maladie de Parkinson [Internet]. 2020 [cité 14 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.louvainmedical.be/fr/article/le-traitement-medicamenteux-des-symptomes-moteurs-de-la-maladie-de-parkinson>
20. Defebvre L, Moreau C. Traitements médical et chirurgical de la maladie de Parkinson. *Presse Médicale*. mars 2017;46(2):218-24.
21. Feng Y-S, Yang S-D, Tan Z-X, Wang M-M, Xing Y, Dong F, et al. The benefits and mechanisms of exercise training for Parkinson's disease. *Life Sci*. mars 2020;245:117345.
22. Frazzitta G, Balbi P, Maestri R, Bertotti G, Boveri N, Pezzoli G. The Beneficial Role of Intensive Exercise on Parkinson Disease Progression: *Am J Phys Med Rehabil*. juin 2013;92(6):523-32.
23. Mak MK, Wong-Yu IS, Shen X, Chung CL. Long-term effects of exercise and physical therapy in people with Parkinson disease. *Nat Rev Neurol*. nov 2017;13(11):689-703.
24. Debû B, De Oliveira Godeiro C, Lino JC, Moro E. Managing Gait, Balance, and Posture in Parkinson's Disease. *Curr Neurol Neurosci Rep*. mai 2018;18(5):23.
25. Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine [Internet]. [cité 22 sept 2020]. Disponible sur: <http://dictionnaire.academie-medecine.fr/index.php?q=%C3%A9quilibration>
26. Paillard T. *Posture et équilibration humaines*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur; 2016.
27. Péninou G, Colné P, Thoumie P. *La posture debout: biomécanique fonctionnelle, de l'analyse au diagnostic*. 2019.
28. Mancini M, Nutt JG, Horak FB. How is balance controlled by the nervous system? In: *Balance Dysfunction in Parkinson's Disease* [Internet]. Elsevier; 2020 [cité 16 avr 2021]. p. 1-24. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128138748000015>
29. Dujardin F, Tobenas-Dujardin A-C, Weber J. Anatomie et physiologie de la marche, de la position assise et debout. *EMC - Appar Locomoteur*. janv 2009;4(2):1-18.
30. Kavounoudias, Roll. The plantar sole is a « dynamometric map » for human balance control. *Neuroreport* [Internet]. oct 1998; Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9831459/>
31. Kavounoudias, Gilhodes,, Roll. From balance regulation to body orientation: two goals for muscle proprioceptive information processing? *Experimental Brain Research* [Internet]. janv 1999; Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9928792/>

32. Lacour M. Physiologie de l'équilibre : des modèles génétiques aux conceptions cognitivistes [Internet]. EM-Consulte. [cité 22 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/775795/physiologie-de-l-equilibre-des-modeles-genetiques->
33. Fourneau M. Reprogrammation sensorimotrice et équilibre. *Kinésithérapie Rev.* août 2012;12(128-129):61-7.
34. Defebvre L, Vérin M, Vidailhet M, Fumat C. La maladie de Parkinson. Issy-les-Moulineaux: Elsevier, Masson; 2015.
35. Winser SJ, Kannan P, Bello UM, Whitney SL. Measures of balance and falls risk prediction in people with Parkinson's disease: a systematic review of psychometric properties. *Clin Rehabil.* déc 2019;33(12):1949-62.
36. Potter K, Brandfass K. The Mini-Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest). *J Physiother.* oct 2015;61(4):225.
37. Downs S. The Berg Balance Scale. *J Physiother.* janv 2015;61(1):46.
38. Kleiner AFR, Pacifici I, Vagnini A, Camerota F, Celletti C, Stocchi F, et al. Timed Up and Go evaluation with wearable devices: Validation in Parkinson's disease. *J Bodyw Mov Ther.* avr 2018;22(2):390-5.
39. Browne W, Nair B (Kichu) R. The Timed Up and Go test. Nair B (Kichu), O'Connor S, éditeurs. *Med J Aust.* janv 2019;210(1):13.
40. Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease. The Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS): Status and recommendations. *Mov Disord.* juill 2003;18(7):738-50.
41. Goetz CG. Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) : une nouvelle échelle pour l'évaluation de la maladie de Parkinson. *Rev Neurol (Paris).* janv 2010;166(1):1-4.
42. Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé, édération française de neurologie. La maladie de Parkinson : critères diagnostiques et thérapeutiques. Conférence de consensus. Texte de recommandations. 2000.
43. International Parkinson and Movement Disorder Society (MDS). MDS-UPDRS [Internet]. 2021. Disponible sur: [https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/PDFs/MDS-UPDRS-Rating-Scales/MDS\\_UPDRS\\_French\\_Offical\\_Translation\\_FINAL.pdf](https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/PDFs/MDS-UPDRS-Rating-Scales/MDS_UPDRS_French_Offical_Translation_FINAL.pdf)
44. Bloem BR, Marinus J, Almeida Q, Dibble L, Nieuwboer A, Post B, et al. Measurement instruments to assess posture, gait, and balance in Parkinson's disease: Critique and recommendations: Posture, Gait, and Balance Instruments in PD. *Mov Disord.* sept 2016;31(9):1342-55.
45. DiStefano LJ, Clark MA, Padua DA. Evidence Supporting Balance Training in Healthy Individuals: A Systemic Review. *J Strength Cond Res.* déc 2009;23(9):2718-31.
46. Wulf G. ATTENTIONAL FOCUS AND MOTOR LEARNING: A REVIEW OF 10 YEARS OF RESEARCH. :11.

47. de Amorim JSC, Leite RC, Brizola R, Yonamine CY. Virtual reality therapy for rehabilitation of balance in the elderly: a systematic review and META-analysis. *Adv Rheumatol Lond Engl*. 31 juill 2018;58(1):18.
48. Rémond A, Rémond A. *Biofeedback : principes et applications*. Masson. 1994.
49. Giggins OM, Persson U, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2013;10(1):60.
50. Tate JJ, Milner CE. Real-Time Kinematic, Temporospacial, and Kinetic Biofeedback During Gait Retraining in Patients: A Systematic Review. *Phys Ther*. 1 août 2010;90(8):1123-34.
51. Huang H, Wolf SL, He J. Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *J NeuroEngineering Rehabil*. 21 juin 2006;3(1):11.
52. Drouet J-L. *biofeedback.fr. Biofeedback*. 2007.
53. Sienko KH, Balkwill MD, Wall C. Biofeedback improves postural control recovery from multi-axis discrete perturbations. *J NeuroEngineering Rehabil*. déc 2012;9(1):53.
54. Nanhoe-Mahabier W, Allum JH, Pasman EP, Overeem S, Bloem BR. The effects of vibrotactile biofeedback training on trunk sway in Parkinson's disease patients. *Parkinsonism Relat Disord*. nov 2012;18(9):1017-21.
55. Rossi-Izquierdo M, Ernst A, Soto-Varela A, Santos-Pérez S, Faraldo-García A, Sesar-Ignacio Á, et al. Vibrotactile neurofeedback balance training in patients with Parkinson's disease: Reducing the number of falls. *Gait Posture*. févr 2013;37(2):195-200.
56. Sienko KH, Balkwill MD, Oddsson LIE, Wall C. The effect of vibrotactile feedback on postural sway during locomotor activities. *J NeuroEngineering Rehabil*. déc 2013;10(1):93.
57. Vuillerme N, Chenu O, Demongeot J, Payan Y. Controlling posture using a plantar pressure-based, tongue-placed tactile biofeedback system. *Exp Brain Res*. mai 2007;179(3):409-14.
58. Dozza M, Horak FB, Chiari L. Auditory biofeedback substitutes for loss of sensory information in maintaining stance. *Exp Brain Res*. 5 mars 2007;178(1):37-48.
59. Tanaka T, Kojima S, Takeda H, Ino S, Ifukube T. The influence of moving auditory stimuli on standing balance in healthy young adults and the elderly. *Ergonomics*. déc 2001;44(15):1403-12.
60. Cairns MC, Harrison K, Wright C. Pressure Biofeedback: A useful tool in the quantification of abdominal muscular dysfunction? *Physiotherapy*. mars 2000;86(3):127-38.
61. Chang W-D, Chang W-Y, Lee C-L, Feng C-Y. Validity and Reliability of Wii Fit Balance Board for the Assessment of Balance of Healthy Young Adults and the Elderly. *J Phys Ther Sci*. 2013;25(10):1251-3.
62. Koslucher F, Wade MG, Nelson B, Lim K, Chen F-C, Stoffregen TA. Nintendo Wii Balance Board is sensitive to effects of visual tasks on standing sway in healthy elderly adults. *Gait Posture*. juill 2012;36(3):605-8.
63. Gordt K, Gerhardy T, Najafi B, Schwenk M. Effects of Wearable Sensor-Based Balance and Gait Training on Balance, Gait, and Functional Performance in Healthy and Patient Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Gerontology*. 2018;64(1):74-89.

64. Alhasan H, Hood V, Mainwaring F. The effect of visual biofeedback on balance in elderly population: a systematic review. *Clin Interv Aging*. mars 2017;Volume 12:487-97.
65. Bérard C, Tanguay C, Bussièrès J. *Revue de la littérature reproductible*. 2014.
66. Higgins J, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page M, et al. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions | Cochrane Training* [Internet]. 2019 [cité 12 mars 2021]. Disponible sur: <https://training.cochrane.org/handbook>
67. Carpinella I, Cattaneo D, Bonora G, Bowman T, Martina L, Montesano A, et al. Wearable Sensor-Based Biofeedback Training for Balance and Gait in Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil*. avr 2017;98(4):622-630.e3.
68. Cashin AG, McAuley JH. *Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale*. *J Physiother*. janv 2020;66(1):59.
69. van den Heuvel MRC, Kwakkel G, Beek PJ, Berendse HW, Daffertshofer A, van Wegen EEH. Effects of augmented visual feedback during balance training in Parkinson's disease: a pilot randomized clinical trial. *Parkinsonism Relat Disord*. déc 2014;20(12):1352-8.
70. Yang W-C, Wang H-K, Wu R-M, Lo C-S, Lin K-H. Home-based virtual reality balance training and conventional balance training in Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *J Formos Med Assoc Taiwan Yi Zhi*. sept 2016;115(9):734-43.
71. Pazzaglia C, Imbimbo I, Tranchita E, Minganti C, Ricciardi D, Lo Monaco R, et al. Comparison of virtual reality rehabilitation and conventional rehabilitation in Parkinson's disease: a randomised controlled trial. *Physiotherapy*. 1 mars 2020;106:36-42.
72. Royal Dutch Society for Physical Therapy. *KNGF Guidelines for physical therapy in patients with Parkinson's disease*. 2004.
73. Morris ME. Movement Disorders in People With Parkinson Disease: A Model for Physical Therapy. *Phys Ther*. 1 juin 2000;80(6):578-97.
74. Keus SHJ, Bloem BR, Hendriks EJM, Bredero-Cohen AB, Munneke M, on behalf of the Practice Recommendations Development Group. Evidence-based analysis of physical therapy in Parkinson's disease with recommendations for practice and research. *Mov Disord*. 15 mars 2007;22(4):451-60.
75. Pallot A, Davergne T, Gallois M, Guémann M, Martin S, Morichon A, et al. *Evidence Based Praticte en rééducation - Démarche pour une pratique raisonnée*. Elsevier Masson. 2019.
76. Herbert RD. How to estimate treatment effects from reports of clinical trials. I: Continuous outcomes. *Aust J Physiother*. 2000;46(3):229-35.
77. Piette P. *Méetrologie appliquée à la kinésithérapie : mesures, tests et bilans, concepts fondamentaux*. In: EMC. Elsevier Masson. 2016.
78. Steffen T, Seney M. Test-Retest Reliability and Minimal Detectable Change on Balance and Ambulation Tests, the 36-Item Short-Form Health Survey, and the Unified Parkinson Disease Rating Scale in People With Parkinsonism. *Phys Ther*. 1 juin 2008;88(6):733-46.
79. Huang S-L, Hsieh C-L, Wu R-M, Tai C-H, Lin C-H, Lu W-S. Minimal Detectable Change of the Timed "Up & Go" Test and the Dynamic Gait Index in People With Parkinson Disease. *Phys Ther*. 1 janv 2011;91(1):114-21.

80. Pagonabarraga J, Kulisevsky J, Strafella AP, Krack P. Apathy in Parkinson's disease: clinical features, neural substrates, diagnosis, and treatment. *Lancet Neurol.* mai 2015;14(5):518-31.
81. Higgins J, Thomas J, Chandler J, Page M, Welch V, (editors). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 6.2. [Internet]. 2021 [cité 8 avr 2021]. Disponible sur: [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook).
82. Esculier J-F, Vaudrin J, Bériault P, Gagnon K, Tremblay LE. Home-based balance training programme using Wii Fit with balance board for Parkinson's disease: a pilot study. *J Rehabil Med.* févr 2012;44(2):144-50.
83. Mirelman A, Herman T, Nicolai S, Zijlstra A, Zijlstra W, Becker C, et al. Audio-biofeedback training for posture and balance in patients with Parkinson's disease. *J Neuroengineering Rehabil.* 21 juin 2011;8:35.
84. Mhatre PV, Vilares I, Stibb SM, Albert MV, Pickering L, Marciniak CM, et al. Wii Fit Balance Board Playing Improves Balance and Gait in Parkinson Disease. *PM&R.* 1 sept 2013;5(9):769-77.
85. Zalecki T, Gorecka-Mazur A, Pietraszko W, Surowka AD, Novak P, Moskala M, et al. Visual feedback training using WII Fit improves balance in Parkinson's disease. *Folia Med Cracov.* 2013;53(1):65-78.
86. Chang MC, Chun MH. The effect of balance training with Tetra-ataxiometric posturography on balance function in patients with parkinsonism. *NeuroRehabilitation.* 2019;45(3):379-84.
87. Ginis P, Nieuwboer A, Dorfman M, Ferrari A, Gazit E, Canning CG, et al. Feasibility and effects of home-based smartphone-delivered automated feedback training for gait in people with Parkinson's disease: A pilot randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord.* janv 2016;22:28-34.
88. Hordern V. Data Protection Compliance in the Age of Digital Health. *Eur J Health Law.* 14 juin 2016;23(3):248-64.
89. Ordre des MK. R. 4321-80 Qualité des soins > Code de déontologie des Masseurs-Kinésithérapeutes [Internet]. 2008 [cité 20 avr 2021]. Disponible sur: <https://deontologie.ordremk.fr/devoirs-envers-les-patients/r-4321-80-qualite-des-soins/>
90. Lemay J-F, Roy A, H.Gagnon D. Version française du Mini Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest) [Internet]. 2009. Disponible sur: [http://www.bestest.us/test\\_copies](http://www.bestest.us/test_copies)
91. Berg Balance Scale | RehabMeasures Database [Internet]. [cité 23 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/berg-balance-scale>
92. Fig 1. Principle of the timed-up-and-go (TUG) test (top) and of the... [Internet]. ResearchGate. [cité 23 avr 2021]. Disponible sur: [https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-the-timed-up-and-go-TUG-test-top-and-of-the-imaginary-TUG-test\\_fig3\\_298420630](https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-the-timed-up-and-go-TUG-test-top-and-of-the-imaginary-TUG-test_fig3_298420630)

## **Annexes 1 à 6**

---

**Annexe 1** : La place du masseur kinésithérapeute dans le suivi d'un patient atteint de la Maladie de Parkinson

**Annexe 2** : Schéma de synthèse récapitulant l'ensemble des systèmes sensorimoteurs impliqués dans le contrôle des ajustements posturaux

**Annexe 3** : Extrait de la version Française du Mini Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest)

**Annexe 4** : Exemple de Berg Balance Scale – traduction Française

**Annexe 5** : Schématisation de la réalisation du Time Up and go test

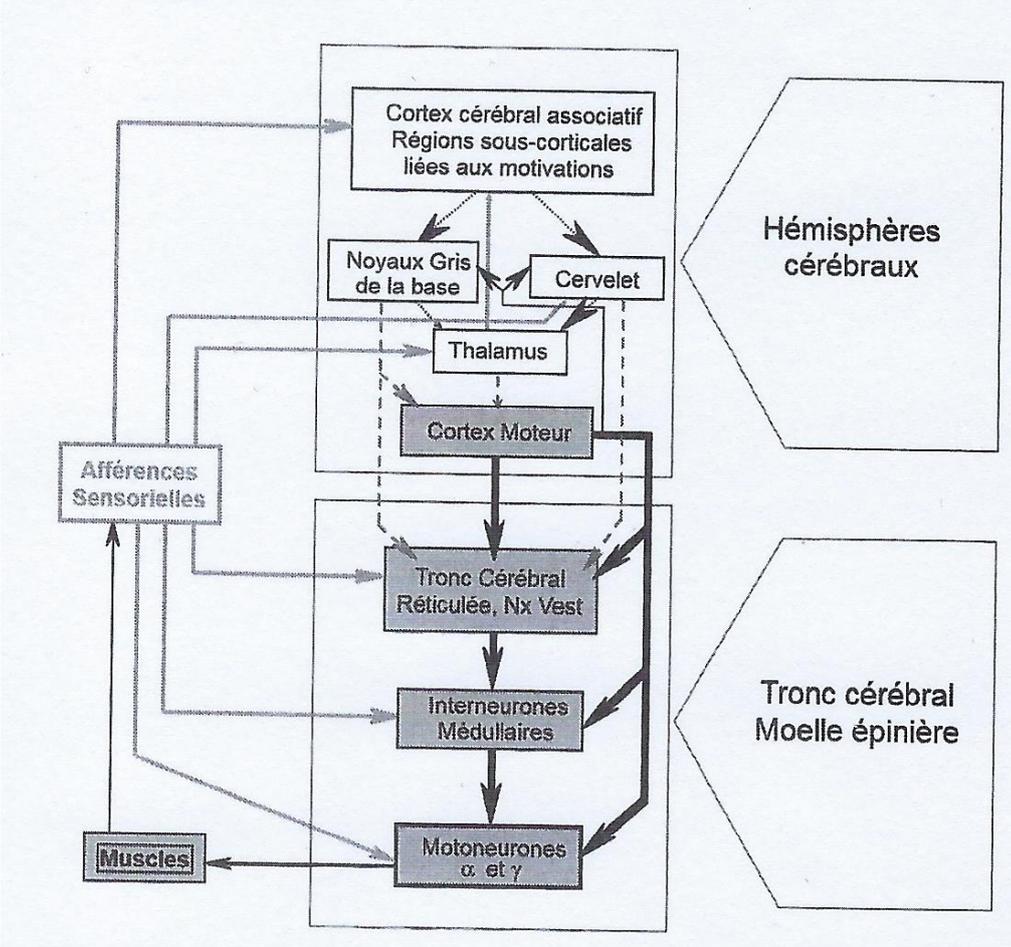
**Annexe 6** : Grille PEDro

Annexe 1 : La place du masseur kinésithérapeute dans le suivi d'un patient atteint de la maladie de Parkinson (6)

**évolution** →

<b>DÉBUT</b>	<b>ÉTAT</b>	<b>AVANCÉE</b>	<b>TARDIVE</b>
<p>Rééducation non systématique</p> <p>Prise en charge d'un symptôme persistant malgré l'instauration du traitement médical</p> <p>Éducation au bon exercice physique</p> <p>Accompagnement du patient suite à l'annonce diagnostique</p>	<p>Rééducation non systématique du sujet jeune (sous forme de cure) ; indication plus précoce pour le sujet âgé (cure ou rééducation continue)</p> <p>Apprentissage des exercices gymniques adaptés, stimulation des paramètres du mouvement défaillants (amplitude, vitesse, coordination...)</p> <p>Entraînement actifs et ré apprentissage de séquences fonctionnels : changements de position, marche, équilibre</p> <p>Auto-rééducation</p>	<p>Rééducation devenant systématique, de plus en plus continue d'abord au cabinet du kiné puis progressivement au domicile du PcP</p> <p>Travail en <i>phase on</i> à dominante active et gymnique : poursuite des stimulations précédentes, adaptations aux performances motrices propres à chaque PcP et à ses besoins et attentes</p> <p>Rééducation en <i>phase off</i> à dominante passive et fonctionnelle : mobilisations, étirements, correction et entretien des gestes quotidiens</p> <p>Prise en charge des troubles posturaux, des troubles de la respiration( + déglutition avec ortho), des troubles orthopédiques</p> <p>Adaptation de l'environnement, mise en place de moyens de suppléances (+ ergo)</p>	<p>Rééducation systématique, au domicile de la PcP</p> <p>Participe au soins de nursing, au confort de la PcP</p> <p>Lutte contre les attitudes vicieuses et les déformations</p> <p>Maintenir les capacités respiratoires : désencombrement, volume inspiratoire, phonation</p> <p>Maintenir une activité optimale, verticalisation</p>

Annexe 2 : Schéma de synthèse récapitulant l'ensemble des systèmes sensorimoteurs impliqués dans le contrôle des ajustements posturaux (26)



## Annexe 3 : Extrait de la version française du Mini Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest) (90)

AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPATOIRES + CONTRÔLE POSTURAL RÉACTIF + ORIENTATION SENSORIELLE + MARCHE DYNAMIQUE			/28	
AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPATOIRES	<b>1. ASSIS A DEBOUT</b>			
	Croisez vos bras sur votre poitrine. Essayez de ne pas utiliser vos mains sauf si nécessaire. N'appuyez pas vos jambes contre la chaise en vous levant. Levez-vous maintenant.	Normal : Se lève debout sans utiliser ses mains et se stabilise de façon indépendante.	2	
		Modéré : Se lève debout du premier coup AVEC l'aide des mains.	1	
		Sévère : Ne peut se lever debout de la chaise sans assistance OU a besoin de plusieurs tentatives avec l'aide des mains.	0	
	<b>2. MONTER SUR LA POINTE DES PIEDS</b>			
	Placez vos pieds à la largeur des épaules. Placez les mains sur les hanches. Essayez de monter le plus haut possible sur la pointe des pieds. Je vais compter à voix haute 3 secondes. Essayez de maintenir cette position au moins 3 secondes. Regardez droit devant vous. Allez-y maintenant.	Normal : Stable durant 3 secondes à une hauteur maximale.	2	
		Modéré : Peut lever les talons, mais à une amplitude incomplète (moins qu'en lui tenant les mains) OU instabilité marquée durant 3 secondes.	1	
		Sévère : ≤ 3 secondes.	0	
	<b>3. SE TENIR SUR UNE JAMBE</b>			
	Regardez droit devant vous. Gardez les mains sur les hanches. Levez une jambe vers l'arrière sans toucher ou appuyer celle-ci sur votre autre jambe. Restez debout sur une jambe le plus longtemps possible. Regardez droit devant. Levez la jambe maintenant.	GAUCHE	Essai 1 : (temps en secondes)	Reportez le score du moins bon des 2 côtés.
Normal : 20 secondes.			2	
Modéré : < 20 secondes.			1	
Sévère : Incapable.		0		
DROITE		Essai 2 : (temps en secondes)	2	
		Normal : 20 secondes.	1	
	Modéré : < 20 secondes.	0		
Sévère : Incapable.	0			
<b>TOTAL AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPATOIRES</b>			<b>/6</b>	
CONTRÔLE POSTURAL RÉACTIF	<b>4. STRATEGIE DE PAS COMPENSATOIRE: ANTERIEUR</b>			
	Tenez-vous debout avec les pieds à la largeur des épaules, les bras le long du corps. Penchez-vous vers l'avant contre mes mains au-delà de vos limites de stabilité. Quand je vais retirer mes mains, faites le nécessaire, y compris faire un pas, pour éviter de tomber.	Normal : Rétablit son équilibre de façon indépendante à l'aide d'un seul grand pas (un deuxième pas de réalignement est permis).	2	
		Modéré : Plus d'un pas est nécessaire pour rétablir l'équilibre.	1	
		Sévère : Ne fait aucun pas, OU chuterait s'il n'était pas rattrapé, OU chute spontanément.	0	
	<b>5. STRATEGIE DE PAS COMPENSATOIRE: POSTERIEUR</b>			
	Tenez-vous debout avec les pieds à la largeur des épaules, les bras le long du corps. Penchez-vous vers l'arrière contre mes mains au-delà de vos limites de stabilité. Quand je vais retirer mes mains, faites le nécessaire, y compris faire un pas, pour éviter de tomber.	Normal : Rétablit son équilibre de façon indépendante à l'aide d'un seul grand pas (un deuxième pas de réalignement est permis).	2	
		Modéré : Plus d'un pas est nécessaire pour rétablir l'équilibre.	1	
		Sévère : Ne fait aucun pas, OU chuterait s'il n'était pas retenu, OU chute spontanément.	0	
	<b>6. STRATEGIE DE PAS COMPENSATOIRE: LATERAL</b>			
	Tenez-vous debout pieds joints, les bras le long du corps. Penchez-vous sur le côté contre ma main au-delà de vos limites de stabilité. Quand je vais retirer ma main, faites le nécessaire, y compris faire un pas, pour éviter de tomber.	GAUCHE	Normal : Rétablit son équilibre de façon indépendante à l'aide d'un seul pas (croisé ou latéral sont acceptés).	Reportez le score du moins bon des 2 côtés.
Modéré : Fait plusieurs pas pour rétablir son équilibre.			2	
Sévère : Chute ou ne peut faire de pas.			1	
DROITE		Normal : Rétablit son équilibre de façon indépendante à l'aide d'un seul pas (croisé ou latéral sont acceptés).	2	
		Modéré : Fait plusieurs pas pour rétablir son équilibre.	1	
		Sévère : Chute ou ne peut faire de pas.	0	
<b>TOTAL CONTRÔLE POSTURAL RÉACTIF</b>			<b>/6</b>	

\* Horak FB, Wrisley DM & Frank J (2009), The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. Phys Ther 89, 484–98. Oregon Health & Science University [http://www.bestest.us/test\\_copies](http://www.bestest.us/test_copies)

ORIENTATION SENSORIELLE	<b>7. DEBOUT (PIEDS JOINTS): YEUX OUVERTS, SURFACE FERME</b>			
	Placez les mains sur les hanches. Placez vos pieds ensemble jusqu'à ce qu'ils soient presque en contact. Regardez droit devant. Demeurez aussi stable et immobile que possible, jusqu'à ce que je vous dise d'arrêter.	Temps en secondes :	Normal : 30 secondes.	2
			Modéré : < 30 secondes.	1
			Sévère : Incapable.	0
	<b>8. DEBOUT (PIEDS JOINTS): YEUX FERMÉS, SURFACE EN MOUSSE</b>			
	Montez sur la surface en mousse. Placez les mains sur les hanches. Placez vos pieds ensemble jusqu'à ce qu'ils soient presque en contact. Demeurez aussi stable et immobile que possible, jusqu'à ce que je vous dise d'arrêter. Je vais commencer à chronométrer quand vous allez fermer les yeux.	Temps en secondes :	Normal : 30 secondes.	2
			Modéré : < 30 secondes.	1
			Sévère : Incapable.	0
	<b>9. PLAN INCLINÉ- YEUX FERMÉS</b>			
	Montez sur le plan incliné, les orteils pointant vers le haut de la pente. Placez vos pieds à la largeur des épaules, les bras le long du corps. Je vais commencer à chronométrer quand vous allez fermer les yeux.	Temps en secondes :	Normal : Se tient debout de façon indépendante durant 30 secondes et s'aligne avec la gravité.	2
Modéré : Se tient debout de façon indépendante < 30 secondes OU s'aligne avec la surface.			1	
Sévère : Incapable.			0	
<b>TOTAL ORIENTATION SENSORIELLE</b>			/6	

MARCHÉ DYNAMIQUE	<b>10. CHANGEMENT DE VITESSE DE MARCHÉ</b>			
	Commencez à marcher à votre vitesse normale. Quand je dirai "vite", marchez le plus vite possible. Quand je dirai "lent", marchez très lentement.	Normal : Change significativement de vitesse de marche sans déséquilibre.	2	
			Modéré : Incapable de changer de vitesse de marche ou signes de déséquilibre.	1
			Sévère : Incapable de changer significativement de vitesse de marche ET signes de déséquilibre.	0
	<b>11. MARCHER EN TOURNANT LA TÊTE – À L'HORIZONTALE</b>			
	Commencez à marcher à votre vitesse normale. Quand je dirai "droite", tournez la tête pour regarder à droite. Quand je dirai "gauche", tournez la tête pour regarder à gauche. Essayez de marcher en ligne droite.	Normal : Tourne la tête sans changer la vitesse de marche et en gardant un bon équilibre.	2	
			Modéré : Réduit la vitesse de marche en tournant la tête.	1
			Sévère : Présence de déséquilibres en tournant la tête.	0
	<b>12. MARCHER ET PIVOTER</b>			
	Commencez à marcher à votre vitesse normale. Quand je dirai "tournez et arrêtez", faites demi-tour aussi vite que possible et arrêtez. Après le demi-tour, vos pieds devraient être rapprochés."	Normal : Tourne avec les pieds rapprochés RAPIDEMENT ( $\leq$ 3 pas) et avec un bon équilibre.	2	
			Modéré : Tourne avec les pieds rapprochés LENTEMENT ( $\geq$ 4 pas) et avec un bon équilibre.	1
			Sévère : Ne peut tourner avec les pieds rapprochés sans déséquilibre, peu importe la vitesse.	0
	<b>13. ENJAMBER UN OBSTACLE</b>			
	Commencez à marcher à votre vitesse normale. Quand vous arriverez à la boîte, passez par-dessus, et non autour, et continuez à marcher.	Normal : Peut enjamber la boîte en changeant minimalement sa vitesse de marche avec un bon équilibre.	2	
Modéré : Enjambe la boîte mais lui touche OU démontre un comportement prudent en ralentissant sa marche.			1	
Sévère : Incapable d'enjamber boîte OU contourne la boîte.			0	
<b>14. TIMED UP &amp; GO AVEC DOUBLE TÂCHE (marche sur 3 mètres)</b>				
<b>TUG :</b> Quand je dirai "go", levez-vous de la chaise, marchez à votre vitesse normale, franchissez la marque au sol, puis faites demi-tour et revenez vous asseoir sur la chaise. <b>TUG AVEC DOUBLE TÂCHE :</b> "Comptez à rebours à voix haute par bonds de 3 à partir de : Quand je dirai "go" levez-vous de la chaise, marchez à votre vitesse normale, franchissez la marque au sol, puis faites demi-tour et revenez vous asseoir sur la chaise. Continuez à compter à rebours pendant tout ce temps." Pour attribuer un score à l'épreuve 14, si la vitesse de marche du sujet ralentit de plus de 10% entre le TUG sans et avec la double tâche, le score devrait être diminué d'un point.	<b>TUG avec une double tâche :</b> (temps en secondes)			
	Normal : Pas de changement notable en position assise, debout ou en marchant lorsque le sujet compte à rebours en comparaison avec le TUG sans double tâche.	2		
		Modéré : La double tâche affecte soit le décompte OU la marche (> 10%) par rapport au TUG sans double tâche.	1	
		Sévère : Arrête de compter en marchant OU arrête de marcher en comptant.	0	
<b>TOTAL MARCHÉ DYNAMIQUE</b>			/10	

\* Horak FB, Wrisley DM & Frank J (2009), The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. Phys Ther 89, 484–98. Oregon Health & Science University [http://www.bestest.us/test\\_copies](http://www.bestest.us/test_copies)

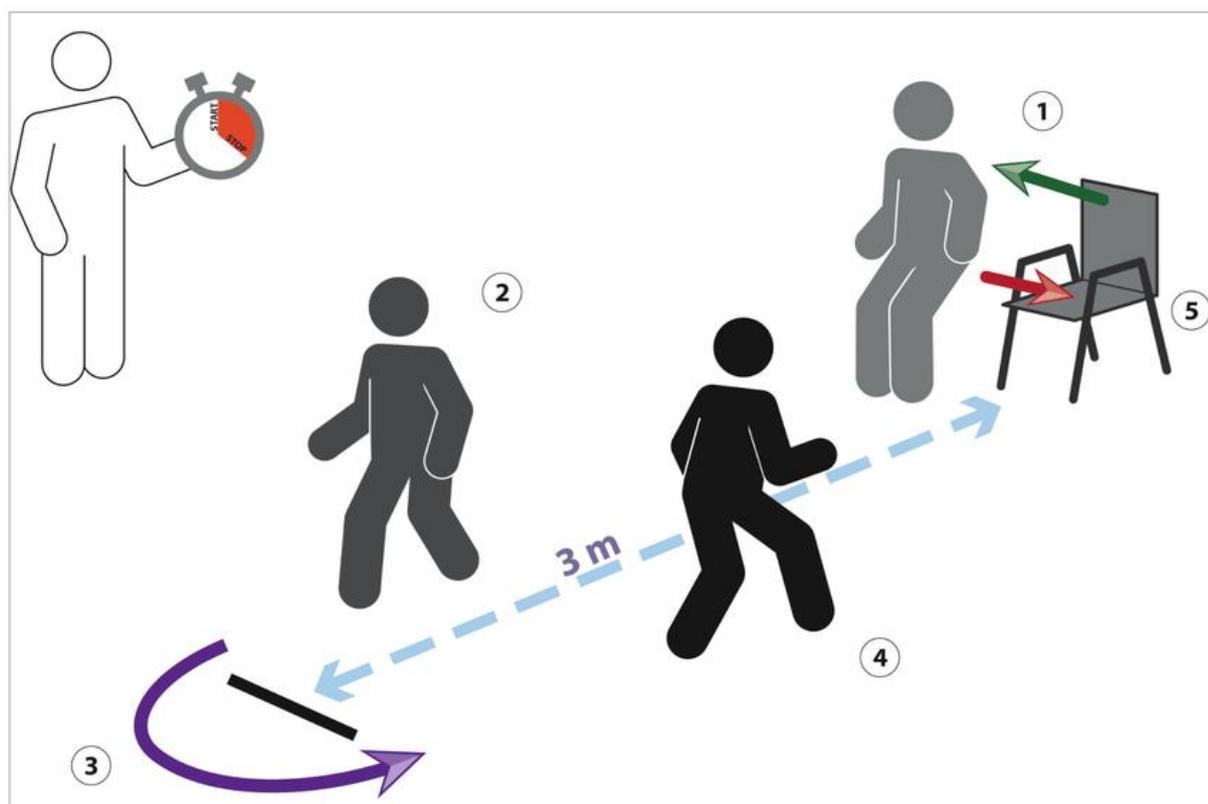
## Annexe 4 : Exemple de Berg Balance Scale – traduction Française (91)

Nom : Prénom : Endroit de réalisation des tâches :		Médecin prescripteur : Diagnostic : Kinésithérapeute :		Dates		
Instructions, items et cotation						
<b>1. Transfert assis-debout.</b> <i>Levez-vous. Essayez de ne pas utiliser vos mains pour vous lever</i>	4 : capable de se lever sans les mains et se stabilise indépendamment					
	3 : capable de se lever indépendamment avec les mains					
	2 : capable de se lever avec les mains après plusieurs essais					
	1 : a besoin d'un minimum d'aide pour se lever ou se stabiliser					
	0 : a besoin d'une assistance modérée ou maximale pour se lever					
<b>2. Station debout sans appui.</b> <i>Restez debout sans vous tenir</i>	4 : capable de rester debout en sécurité 2 minutes					
	3 : capable de rester debout 2 minutes avec une supervision					
	2 : capable de rester debout 30 secondes sans se tenir					
	1 : a besoin de plusieurs essais pour rester debout 30 secondes sans se tenir					
	0 : incapable de rester debout 30 secondes sans assistance					
<b>Si le sujet peut rester debout 2 minutes sans se tenir, attribuer le score maximum à l'item 3 et passer à l'item 4.</b>						
<b>3. Assis sans dossier mais les pieds en appui au sol ou sur un repose-pieds.</b> <i>Restez assis les bras croisés pendant 2 minutes</i>	4 : capable de rester assis en sûreté et sécurité pendant 2 minutes					
	3 : capable de rester assis en sûreté et sécurité pendant 2 minutes avec une supervision					
	2 : capable de rester assis 30 secondes					
	1 : capable de rester assis 10 secondes					
	0 : incapable de rester assis sans appuis 10 secondes					
<b>4. Transfert debout-assis.</b> <i>Asseyez-vous</i>	4 : S'assoit en sécurité avec une aide minimale des mains					
	3 : Contrôle la descente en utilisant les mains					
	2 : Utilise l'arrière des jambes contre le fauteuil pour contrôler la descente					
	1 : S'assoit indépendamment mais a une descente incontrôlée					
	0 : a besoin d'une assistance pour s'asseoir					
<b>5. Transfert d'un siège à un autre</b>	4 : Se transfert en sécurité avec une aide minimale des mains					
	3 : Se transfert en sécurité mais a absolument besoin des mains					
	2 : Se transfert mais avec des directives verbales et/ou une supervision					
	1 : a besoin d'une personne pour aider					
	0 : a besoin de 2 personnes pour assister ou superviser					
<b>6. Station debout yeux fermés.</b> <i>Fermez les yeux et restez debout yeux fermés 10 secondes</i>	4 : capable de rester debout 10 secondes en sécurité					
	3 : capable de rester debout 10 secondes avec une supervision					
	2 : capable de rester debout 3 secondes					
	1 : incapable de garder les yeux fermés 3 secondes mais resté stable					
	0 : a besoin d'aide pour éviter les chutes					

<b>7. Station debout avec les pieds joints. Serrez vos pieds et restez debout sans bouger</b>	4 : capable de placer ses pieds joints indépendamment et reste debout 1 minute en sécurité			
	3 : capable de placer ses pieds joints indépendamment et reste debout 1 minute avec une supervision			
	2 : capable de placer ses pieds joints indépendamment et de tenir 30 secondes			
	1 : a besoin d'aide pour atteindre la position mais est capable de rester debout ainsi 15 secondes			
	0 : a besoin d'aide pour atteindre la position et est incapable de rester debout ainsi 15 secondes			
<b>8. Station debout, atteindre vers l'avant, bras tendus. Levez les bras à 90°. Étendez les doigts vers l'avant aussi loin que vous pouvez</b>	4 : peut aller vers l'avant en toute confiance > 25 cm			
	3 : peut aller vers l'avant > 12,5 cm en sécurité			
	2 : peut aller vers l'avant > 5 cm en sécurité			
	1 : peut aller vers l'avant mais avec une supervision			
	0 : perd l'équilibre quand essaye le mouvement ou a besoin d'un appui extérieur			
<b>9. Ramassage d'un objet au sol. Ramassez le chausson qui est placé devant vos pieds</b>	4 : capable de ramasser le chausson en sécurité et facilement			
	3 : capable de ramasser le chausson avec une supervision			
	2 : incapable de ramasser le chausson mais l'approche à 2-5 cm et garde un équilibre indépendant			
	1 : incapable de ramasser et a besoin de supervision lors de l'essai			
	0 : incapable d'essayer ou a besoin d'assistance pour éviter les pertes d'équilibre ou les chutes			
<b>10. Debout, se tourner en regardant par-dessus son épaule droite et gauche. Regardez derrière vous par-dessus l'épaule gauche. Répétez à droite</b>	4 : regarde derrière des 2 côtés et déplace bien son poids			
	3 : regarde bien d'un côté et déplace moins bien son poids de l'autre			
	2 : tourne latéralement seulement mais garde l'équilibre			
	1 : a besoin de supervision lors de la rotation			
	0 : a besoin d'assistance pour éviter les pertes d'équilibre ou les chutes			
<b>11. Tour complet (360°). Faites un tour complet. De même dans l'autre direction</b>	4 : capable de tourner de 360° en sécurité en 4 secondes ou moins			
	3 : capable de tourner de 360° d'un côté seulement en 4 secondes ou moins			
	2 : capable de tourner de 360° en sécurité mais lentement			
	1 : a besoin d'une supervision rapprochée ou de directives verbales			
	0 : a besoin d'une assistance lors de la rotation			
<b>12. Debout, placer alternativement un pied sur une marche du ou sur un marchepied. Placez alternativement chacun de vos pieds sur la marche de ou sur le marchepied. Continuez jusqu'à ce que chaque pied ait réalisé cela 4 fois</b>	4 : capable de rester debout indépendamment et en sécurité et complète les 8 marches en 20 secondes			
	3 : capable de rester debout indépendamment et complète les 8 marches en > 20 secondes			
	2 : capable de compléter 4 marches sans aide et avec une supervision			
	1 : capable de compléter > 2 marches avec une assistance minimale			
	0 : a besoin d'assistance pour éviter les chutes/incapable d'essayer			
<b>13. Debout un pied devant l'autre. Montrez au sujet. Placez un pied directement devant l'autre. Si vous sentez que vous ne pouvez pas le faire, essayez de placer votre talon plus loin que les orteils du pied opposé</b>	4 : capable de placer son pied directement devant l'autre (tandem) indépendamment et de tenir 30 secondes			
	3 : capable de placer son pied devant l'autre indépendamment et de tenir 30 secondes			
	2 : capable de réaliser un petit pas indépendamment et de tenir 30 secondes			
	1 : a besoin d'aide pour avancer le pied mais peut le maintenir 15 secondes			
	0 : perd l'équilibre lors de l'avancée du pas ou de la position debout			
<b>14. Station unipodale. Restez sur un pied aussi longtemps que vous pouvez tenir</b>	4 : capable de lever un pied indépendamment et de tenir > 10 secondes			
	3 : capable de lever un pied indépendamment et de tenir entre 5 et 10 secondes			
	2 : capable de lever un pied indépendamment et de tenir au moins 3 secondes			
	1 : essaye de lever le pied, incapable de tenir 3 secondes mais reste debout indépendamment			
	0 : incapable d'essayer ou a besoin d'assistance pour éviter les chutes			
Score total : maximum 56 points				

## Annexe 5 : Schématisation de la réalisation du Time Up and go test (92)

---



Etape 1 : Lors de l'indication du thérapeute, le sujet se lève de la chaise

Etape 2 : Le sujet marche 3 mètres

Etape 3 : Le sujet fait demi-tour

Etape 4 : Le sujet retourne vers la chaise

Etape 5 : Le sujet se rassoit sur la chaise

## Annexe 6 : Grille PEDRO

<b>Etudes</b> <b>Critères PEDro</b>	<b>Van Den Heuvel &amp; al (2014)</b>	<b>Yang &amp; al (2015)</b>	<b>Carpinella &amp; al (2016)</b>	<b>Pazzaglia &amp; al (2019)</b>
1. Critères d'éligibilité	Oui	Oui	Oui	Non
2. Répartition aléatoire	Oui	Oui	Oui	Oui
3. Assignation secrète	Oui	Non	Non	Non
4. Comparabilité initiale intergroupe	Oui	Oui	Non	Oui
5. Sujets « en aveugle »	Non	Non	Oui	Non
6. Thérapeutes « en aveugle »	Non	Non	Non	Non
7. Examineurs « en aveugle »	Oui	Oui	Oui	Oui
8. Suivi adéquat	Oui	Oui	Oui	Non
9. Analyse en intention de traiter	Oui	Oui	Non	Non
10. Comparaisons statistiques intergroupes	Oui	Oui	Oui	Oui
11. Estimation effet et variabilité	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>Total</b>	<b>8/10</b>	<b>7/10</b>	<b>6/10</b>	<b>5/10</b>

Oui
Non

: Indique que l'étude remplit le critère ; 1 point est attribué.

: indique que l'étude ne remplit pas le critère ; aucun point n'est attribué.

*Figure 6 : Critères d'évaluation méthodologique des études selon la grille PEDro*