Place de l'analyse instrumentale embarquée dans l'évaluation des signes moteurs de la maladie de Parkinson : revue de littérature

Marina Badin

▶ **To cite this version:**

Marina Badin. Place de l'analyse instrumentale embarquée dans l'évaluation des signes moteurs de la maladie de Parkinson : revue de littérature. Médecine humaine et pathologie. 2019. hal-03297723

HAL Id: hal-03297723
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03297723

Submitted on 18 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE DE LORRAINE FACULTE DE MÉDECINE DE NANCY
2019

THÈSE
Pour obtenir le grade de
DOCTEUR EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée
par

Marina BADIN

le 07 juin 2019

Place de l'analyse instrumentale embarquée dans l'évaluation des signes moteurs de la maladie de Parkinson : revue de littérature

Place of wearable instrumental analysis in the assessment of motor signs in Parkinson's disease: review

Examinateurs de la thèse :

M. le Professeur Jean PAYSANT *Président*
Mme le Professeur Sophie COLNAT-COULBOIS *Juge*
Mme le Professeur Louise TYVAERT *Juge*
Mr le Docteur Jean-Marie BEIS
et Mme le Docteur Nathalie KHALIL *Directeurs*

Président de l'Université de Lorraine :
Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyen de la Faculté de Médecine
Professeur Marc BRAUN

Vice-doyenne
Pr Laure JOLY

Assesseurs :
Premier cycle : Dr Julien SCALA-BERTOLA
Deuxième cycle : Pr Marie-Reine LOSSER
Troisième cycle : Pr Laure JOLY
SIDES : Dr Julien BROSEUS
Formation à la recherche : Pr Nelly AGRINIER
Relations Grande Région : Pr Thomas FUCHS-BUDER
CUESIM : Pr Stéphane ZUILY

Chargés de mission
Bureau de docimologie : Dr Guillaume VOGIN
Orthophonie : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER
PACES : Dr Mathias POUSSEL
International : Pr Jacques HUBERT
Vie Facultaire : Dr Philippe GUERCI

Président de Conseil Pédagogique : Pr Louise TYVAERT
Président du Conseil Scientifique : Pr Jean-Michel HASCOET

==========
DOYENS HONORAIRES

Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER - Professeur Henry COUDANE

==========
PROFESSEURS HONORAIRES

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND - Pierre BEY
Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL – Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE
Jean-Louis BOUTROY – Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT Jean-François
CHASSAGNE - François CHERRIER – Henry COUDANE - Jean-Pierre CRANCE - Emile de LAVERGNE
Jean-Pierre DESCHAMPS - Jean-Bernard DUREUX - Gilbert FAURE - Gérard FIEVE - Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET
Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD
Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ -Gilles GROSDIDIER - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT
Claude HURIET - Michèle KESSLER - François KOHLER - Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Marie-Claire LAXENAIRE
Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ
Philippe MANGIN – François MARCHAL - Jean-Claude MARCHAL – Yves MARTINET - Pierre MATHIEU Michel MERLE
Daniel MOLÉ - Pierre MONIN - Pierre NABET – Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN - Claude PERRIN
Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL - Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER
Denis REGENT - Jacques ROLAND - Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER - Daniel SIBERTIN-BLANC
Claude SIMON - Danièle SOMMELET - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Paul VERT
Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT - Michel WEBER – Denis ZMIROU

==========
PROFESSEURS ÉMÉRITES

Etienne ALIOT - Pierre BEY - Henry COUDANE - Serge BRIANÇON - Jean-Pierre CRANCE - Gilbert FAURE
Bernard FOLIGUET - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ - Michèle KESSLER - François KOHLER
Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Yves MARTINET - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Luc PICARD
François PLENAT - Jean-Pierre VILLEMOT

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS
(Disciplines du Conseil National des Universités)

42e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE
1re sous-section : (Anatomie)
Professeur Marc BRAUN – Professeure Manuela PEREZ
2e sous-section : (Histologie, embryologie et cytogénétique)
Professeur Christo CHRISTOV
3e sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)
Professeur Jean-Michel VIGNAUD – Professeur Guillaume GAUCHOTTE

43e Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE
1re sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)
Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER
2e sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)
Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD - Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER – Professeur Damien MANDRY - Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

44e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION
1re sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)
Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER
2e sous-section : (Physiologie)
Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUEL

3e sous-section (Biologie cellulaire)
Professeure Véronique DECOT-MAILLERET
4e sous-section : (Nutrition)
Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

45e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE
1re sous-section : (Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)
Professeur Alain LOZNIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER
2e sous-section : (Parasitologie et Mycologie)
Professeure Marie MACHOUART
3e sous-section : (Maladies infectieuses ; maladies tropicales)
Professeur Bruno HOEN - Professeur Thierry MAY - Professeure Céline PULCINI - Professeur Christian RABAUD

46e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ
1re sous-section : (Épidémiologie, économie de la santé et prévention)
Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN
4e sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)
Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

47e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE
1re sous-section : (Hématologie ; transfusion)
Professeur Pierre FEUGIER
2e sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)
Professeur Thierry CONROY - Professeur François GUILLEMIN - Professeur Didier PEIFFERT - Professeur Frédéric MARCHAL
3e sous-section : (Immunologie)
Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO
4e sous-section : (Génétique)
Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

48e Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE
1re sous-section : (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)
Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER
Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN
2e sous-section : (Médecine intensive-réanimation)
Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY
3e sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)
Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU
4e sous-section : (Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie)
Professeur Nicolas GIRERD - Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL - Professeur Faiez ZANNAD

49e Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION
1re sous-section : (Neurologie)
Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD - Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT
2e sous-section : (Neurochirurgie)
Professeur Jean AUQUE - Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN
3e sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)
Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN
4e sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)
Professeur Bernard KABUTH
5e sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)
Professeur Jean PAYSANT

50e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE
1re sous-section : (Rhumatologie)
Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE
2e sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)
Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX
3e sous-section : (Dermato-vénéréologie)
Professeure Anne-Claire BURSZTEJN - Professeur Jean-Luc SCHMUTZ
4e sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)
Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

51e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE
1re sous-section : (Pneumologie ; addictologie)
Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT
2e sous-section : (Cardiologie)
Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET - Professeur Yves JUILLIERE
Professeur Nicolas SADOUL
3e sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)
Professeur Juan-Pablo MAUREIRA
4e sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)
Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

52e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE
1re sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)
Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET
2e sous-section : (Chirurgie viscérale et digestive)
Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD – Professeure Adeline GERMAIN

3e sous-section : (Néphrologie)
Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN
4e sous-section : (Urologie)
Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

53e Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE
1re sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie)
Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY
Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure JOLY
3e sous-section : (Médecine générale)
Professeur Jean-Marc BOIVIN – Professeur Paolo DI PATRIZIO

54e Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION
1re sous-section : (Pédiatrie)
Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET
Professeur Emmanuel RAFFO - Professeur Cyril SCHWEITZER
2e sous-section : (Chirurgie infantile)
Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE
3e sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)
Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL
4e sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)
Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

55e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU
1re sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)
Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER
2e sous-section : (Ophtalmologie)
Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD
3e sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Professeure Muriel BRIX

==========
PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

61e Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL
Professeur Walter BLONDEL

64e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

65e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Professeure Céline HUSELSTEIN

==========
PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE
Professeure associée Sophie SIEGRIST

==========
MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE
1re sous-section : (Anatomie)
Docteur Bruno GRIGNON

43e Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE
1re sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)
Docteur Antoine VERGER

44e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION
1re sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)
Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Catherine MALAPLATE - Docteur Marc MERTEN - Docteur Abderrahim OUSSALAH
2e sous-section** : **(Physiologie)
Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Mathias POUSSEL – Docteur Jacques JONAS

45e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE
1re sous-section : (Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)
Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD
2e sous-section : (Parasitologie et mycologie)
Docteure Anne DEBOURGOGNE

46e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ
1re sous-section : (Epidémiologie, économie de la santé et prévention)
Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE
2e sous-section (Médecine et Santé au Travail)
Docteure Isabelle THAON
3e sous-section (Médecine légale et droit de la santé)
Docteur Laurent MARTRILLE

47e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE
1re sous-section : (Hématologie ; transfusion)
Docteure Aurore PERROT – Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D'AVENI (stagiaire)
2e sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)
Docteure Lina BOLOTINE – Docteur Guillaume VOGIN
4e sous-section : (Génétique)

Docteure Céline BONNET

48e Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE
1e sous-section : (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)
Docteur Philippe GUERCI (stagiaire)
2e sous-section : (Médecine intensive-réanimation)
Docteur Antoine KIMMOUN
3e sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)
Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

50e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE
1re sous-section : (Rhumatologie)
Docteure Anne-Christine RAT
4e sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)
Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

51e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE
3e sous-section : (Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire)
Docteur Fabrice VANHUYSE
4e sous-section : (Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire)
Docteure Nicla SETTEMBRE (stagiaire)

52e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE
1re sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)
Docteur Jean-Baptiste CHEVAUX – Docteur Anthony LOPEZ
2e sous-section : (Chirurgie viscérale et digestive)
Docteur Cyril PERRENOT

54e Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION
4e sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale)
Docteure Eva FEIGERLOVA (stagiaire)
5e sous-section : (Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale)
Docteure Isabelle KOSCINSKI

55e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU
1re sous-section : (Oto-Rhino-Laryngologie)
Docteur Patrice GALLET

==========
MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5e Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES
Monsieur Vincent LHUILLIER

7e Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES
Madame Christine DA SILVA-GENEST

19e Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE
Madame Joëlle KIVITS

64e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

65e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Madame Ketsia HESS - Monsieur Christophe NEMOS

66e Section : PHYSIOLOGIE
Monsieur Nguyen TRAN

69e Section : NEUROSCIENCES
Madame Sylvie MULTON

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE
Docteur Cédric BERBE - Docteur Olivier BOUCHY - Docteur Jean-Michel MARTY

==========
DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)
Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würtzburg (R.F.A)
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeure Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996) Université de Pennsylvanie (U.S.A)
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)
Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)
Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)
Professeur Brian BURCHELL (2007)
Université de Dundee (Royaume-Uni)
Professeur Yunfeng ZHOU (2009)
Université de Wuhan (CHINE)
Professeur David ALPERS (2011)
Université de Washington (U.S.A)
Professeur Martin EXNER (2012)
Université de Bonn (ALLEMAGNE)

À mon Maître et Président du Jury,

Monsieur le Professeur Jean Paysant,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier de Médecine physique et de réadaptation

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse,
Soyez assuré de ma sincère reconnaissance pour votre accompagnement tout au long de mon internat,

À mon Maître et Juge,

Madame le Professeur Sophie Colnat-Coulbois,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier de Neurochirurgie

Vous me faîtes l'honneur de juger ce travail, veuillez trouver ici mes sincères remerciements et l'assurance de ma profonde estime à votre égard.

À mon Maître et Juge,

Madame le Professeur Louise Tyvaert,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier de Neurologie,

Je vous adresse mes sincères remerciements pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail de thèse, soyez assurée de ma gratitude et de mon profond respect à votre égard.

À mes Maîtres et Juges,

Madame le Docteur Nathalie Khalil et Monsieur le Docteur Jean-Marie Beis,

Docteurs en Médecine physique et de réadaptation

Merci pour vos précieux conseils tout au long de ce travail et pour votre accompagnement durant ces quatre années d'internat,

Je profite de ce moment marquant l'aboutissement de ces années d'études et la poursuite d'autres aventures, pour remercier :

Ma famille,

Mes parents, pour votre soutien infaillible, particulièrement durant mes études, entre Nièvre, Auvergne puis Lorraine. Merci pour tout.

Mes grands-parents, Papy et Mamy de Lyon, Papy et Mamy d'Alsace qui n'ont pu faire la route ce soir. Ne vous inquiétez pas, on vous réserve une photo.

Mes oncles et tantes : Philippe, qui nous a quitté trop tôt, Sylvie, Christine B. Christine S. et Sonti.

Les couz': Lucas, Julie, Nora et leurs conjoints Pierre et Philippe.

Mes amis et collègues,

Alex, toujours fidèle au poste de « sœur de cœur » depuis maintenant presque 18 ans, merci pour tout. Un grand merci également à Béa, Domi, Manu, Mathilde (et vos 2 petits bouts, Alban et Alice), et Damien.

Les amis entre Nièvre et Cher : Natasha et Maëlle, merci d'être venues ; et Deb avec qui on a arrêté de compter les années.

Les amis de la famille entre Bourgogne et Grand Est : Annick et Pascal, Bénédicte et Jean-Marc, Patricia et Philippe, merci de votre présence.

Les cops' de Clermont, noyau dur pendant 6 années de labeur, puis le voyage se poursuit dans des contrées éloignées des volcans pour certaines, mais pas un nuage à l'horizon : Elo, LouLou, Maëlle, Marine, Mathilde, Mélou, Paup, sans oublier vos conjoints.

Les internes de Nancy : ceux pour qui l'internat ne serait presque qu'un lointain souvenir, Emilie, Morgane, Chloé, Fanny, Guillaume Mo, Guillaume Bo, Aurore, Nicolas V ; ceux pour qui ce ne sera bientôt qu'un souvenir, Margaux, Rémi, Gaëlle ; et les plus jeunes : Magali, Vincent, Fabien R, Mathilde, Bouchra, Manon, Pierrick, Marion, Laure, Adeline, Fabien E et Arthur.

Les internes rencontrés à Verdun : Gaëlle, Marion S, Carole, Marion M, Zaza (et Pierre), Valentine, Zed (et Elsa), Thomas, Julien,

Les internes de la neuro-Mercy : Laura, Sara, Marion, Micka, Alex. « On fait un doodle pour le prochain resto ? »

Les Montpelliérains : Orianne et Giuseppe, c'est toujours un plaisir de vous retrouver ; Marlène et Claire, merci de partager votre maison pour ces 6 mois et les co-internes de rhumato (Manon, Baptiste, Soraya, Danielle, Marie, Léa, Martin)

Un grand merci à tous les médecins, équipes paramédicales, secrétaires, techniciens, de l'ensemble des services qui m'ont accueillie lors de mes stages d'externat puis d'internat :

Les équipes médicales et universitaires du CHU de Clermont-Ferrand, où j'ai effectué mes premiers et deuxième cycles d'études.

Le centre de rééducation PASORI à Cosne-sur-Loire, sous la responsabilité du Dr BORDET, merci pour votre accueil et pour m'avoir fait découvrir la MPR,

Les centres de rééducation de l'IRR sous la responsabilité du Pr Jean Paysant , merci à l'ensemble du personnel pour votre accompagnement tout au long de mon internat sur les différents établissements : le centre de Lay Saint-Christophe où je vais avoir la chance de faire mes premier pas de « Docteur », le centre de Flavigny-Sur-Moselle, le service de rééducation post-réanimation, le centre Louis Pierquin,

Le service de MPR de Verdun, merci à Agnès, Elise et toute l'équipe pour avoir guider mes premiers pas d'interne,

Le service de neurologie du CH de Mercy à Metz du Pr Ducrocq,

Le service de rhumatologie du CHU de Montpellier des Pr COMBE et Morel, où j'effectue actuellement mon dernier stage d'interne.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CT= clinical trial (essai clinique)

FOG = freezing of gait

HY= Echelle d'Hoehn and Yahr

IRM = imagerie par résonance magnétique

MP= Maladie de Parkinson

NFOG-Q= New Freezing of Gait Questionnaire

RCT= randomised controled trial (essai randomisé contrôlé)

RDS= rush dyskinesia scale

SR= systematic review (revue systématique)

TEMP= tomographie par émission mono-photonique

TEP-scan = tomographie par émission de positons

TSS= Tremor Severity Score

TUG = time up and go test

UDysRS =Unified Dyskinesia Rating Scale

UPDRS = Unified Parkinson Disease Rating Scale

WS= « wearable sensors » ou « wearable devices » = dispositifs ou capteurs embarqués

SERMENT

« Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les moeurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences.

Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque ».

TABLE DES MATIÈRES

1. Présentation du sujet

1 – Syndromes parkinsoniens et Maladie de Parkinson……17

***1.1 Historique*……..17**
***1.2Physiopathologie*……...18**

***1.3 Epidémiologie*…… …...18**

***1.4Diagnostic et évolution*…….. 19**
1.4.1 Signes cliniques moteurs
1.4.2 Signes cliniques non moteurs
***1.5Prise en charge thérapeutique*…… 21**
1.5.1 Traitements médicamenteux
1.5.2 Traitements non médicamenteux
1.5.3 Prise en charge rééducative
2 – Evaluation clinique de la MP…… 23

***2.1 Evaluation clinique des signes moteurs*…… 23**
2.1.1 Echelles spécifiques de la MP
2.1.2 Echelles et tests cliniques non spécifiques de la MP
***2.2 Evaluation clinique des signes non moteurs*…….. 24**

3 – Analyse instrumentale dans la maladie de Parkinson……. 25

***3.1 Systèmes d'analyse instrumentale non embarqués*…… ……25**
***3.2 systèmes d'analyse instrumentale embarqués*…… 27**

2. Article : Place de l'analyse instrumentale embarquée dans l'évaluation des signes moteurs de la maladie de Parkinson : revue de littérature …… 30
1 – Introduction……... 30
2 – Matériel et Méthode…… ……33

3 – Résultats …….. 34
***3.1 Sur le plan méthodologique*…… 34**
***3.2 Les lieux d'évaluation des dispositifs*……34**
***3.3 Classification des dispositifs embarqués en fonction des signes moteurs étudiés*……34**
3.3.1 Rappel des définitions des signes moteurs de la MP étudiés dans cet article
3.3.2 Les types d'outils utilisés
3.3.3 résultats principaux des études et caractéristiques des dispositifs embarqués, en fonction des signes moteurs étudiés
a) Le tremblement de repos
b) Freezing (FOG pour freezing of gait)
c)Etude de la marche
d)Hypokinésie et Bradykinésie
d) Chutes, troubles posturaux et de l'équilibre
f) Autres articles

4 – Discussion…….... 49

4.1 L'existence d'une corrélation entre échelles cliniques et dispositifs embarqués dans la MP ……...49

4.1.1 Tremblement de repos

4.1.2 FOG

4.1.3 Les complications motrices : fluctuations motrices et dyskinésies

4.1.4 Marche, bradykinésie, hypokinésie

4.1.5 L'études des troubles cinétiques lors du sommeil

4.2 Le développement d'outils prédictifs…… 53

4.3 Le développement d'outils thérapeutiques …… 53

4.4 Les localisations des dispositifs embarqués …… 54

4.5 L'aspect méthodologique : avantages et limites…… 54

4.6 Les contraintes liées aux dispositifs …… 55

3. Conclusions et perspectives …… …….. *58*

Bibliographie …… …….. *63*

Annexes…… ……... ……*73*

Résumé

1 – PRESENTATION DU SUJET

1. Présentation du sujet

La maladie de Parkinson (MP) est un sujet très exploité dans la littérature. Les principaux symptômes : akinésie, rigidité, tremblements ; regroupés communément sous le terme de « triade parkinsonienne » ne sont qu'une part des signes cliniques moteurs et non moteurs. Les échelles et tests cliniques pour l'évaluation des signes de la MP sont nombreux, spécifiques ou non spécifiques, nous les rappelons brièvement dans cette première partie.

L'article, présenté en deuxième partie, traite sous forme d'une revue de littérature de l'évaluation instrumentale des signes moteurs de la MP au moyen de dispositifs embarqués. L'objectif ce travail est de référencer de manière la plus exhaustive possible les dispositifs embarqués (« wearable devices »), pour la plupart, surtout utilisés dans le domaine de la recherche, et de montrer leur intérêt dans notre pratique clinique pour le diagnostic et le suivi des signes moteurs de la MP, ainsi que leur fonction thérapeutique : adaptation pharmacologique ou prise en charge rééducative.

1 – Syndromes parkinsoniens et Maladie de Parkinson

1.1 Historique

La MP est décrite dès 1817 par James Parkinson, chirurgien et anatomiste britannique, appelée à l'époque « shaking palsy », littéralement « paralysie agitante »(1). Le tremblement de repos caractéristique de la pathologie aurait déjà été rapporté dans des écrits plus anciens (Galien, 2éme siècle après J-C), mais James Parkinson est le premier à avoir fait l'état de plusieurs cas concordant de MP regroupant des signes typiques : apparition des symptômes de manière unilatérale, difficulté à l'exécution des mouvements et notamment la marche, les troubles posturaux (« attitude voutée »), les troubles de la parole et de déglutition, les difficultés à d'écriture, les troubles vésico-sphinctériens . En France, les premiers enseignements sur la MP

sont réalisés par Jean-Martin Charcot en 1861 (2). Il faudra attendre le début du XIXème siècle pour les premières descriptions anatomiques, notamment Lewy en 1912.

Les molécules proposées initialement pour le traitement de la MP était des antipsychotiques et des antihistaminiques avec des résultats médiocres sur les symptômes.

1.2Physiopathologie

Environ 1 siècle après la description de J. Parkinson, la découverte du déficit dopaminergique de la voie nigro-striée en 1919 a permis l'essor de la L-dopamine (L-dopa) en 1961 comme traitement de référence de la MP(2)

La MP est une maladie neuro-dégénérative impliquant un déficit progressif en neurones dopaminergiques au niveau de la voie nigro-striatale et on note la présence de corps de Lewy (inclusions intra-neuronales) , au niveau du système nerveux central responsables de troubles moteurs et non moteurs (troubles olfactifs, hallucinations par exemple), et au niveau du système nerveux périphérique , par exemple le système nerveux entérique responsable de troubles digestifs qui peuvent être révélateurs de la maladie(3). On estime une perte d'environ 50% des neurones de la voie nigro-striée avant l'apparition de signes cliniques moteurs(4).

1.3 Epidémiologie(5,6)

En France, la MP est la 2ème maladie neurodégénérative la plus fréquente après la Maladie d'Alzheimer, affectant près de 160 000 personnes, soit une prévalence de 2.5 patients pour 1000 personnes, l'incidence est plus élevée chez les hommes que chez les femmes (sex ratio d'environ 1.5)

Bien qu'il y ait un enjeu majeur de santé publique sur la perte d'autonomie, sur l'augmentation du risque de chute, il n'y a pas d'augmentation du taux de mortalité toutes causes confondues chez les patients parkinsonien par rapport à la population générale.

1.4Diagnostic et évolution(4,7,8)

La MP est la cause la plus fréquente de syndrome parkinsonien. L'étiologie de cette maladie reste floue mais certains contextes cliniques doivent faire évoquer d'autres causes de syndrome parkinsonien : causes iatrogènes (neuroleptiques antiémétiques, anti-dépresseurs), progression rapide et résistance aux dopaminergiques (atrophie multi-systématisée, paralysie supra-nucléaire progressive, dégénérescence cortico-basale, démence à corps de Lewy), syndrome parkinsonien vasculaire, exposition à des toxiques, contexte génétique (Maladie de Wilson).

1.4.1 Signes cliniques moteurs (4,7,9,10)

La MP est révélée le plus souvent par ces signes moteurs caractéristiques, notamment lorsqu'ils sont associés entre eux :

- **Signes moteurs révélateurs** :

  -<u>tremblement de repos</u> : de vitesse lente (4-6Hz), il est diminué lors des mouvements, aggravé lors de tâches cognitives ou d'un contexte émotionnel(11), atteinte des membres (également aux membres inférieurs), unilatéral ou asymétrique, mouvement global en prono-supination (à la différence du tremblement essentiel en flexion-extension)

  -<u>rigidité</u> dite plastique ou hypertonie extra-pyramidale : touchant principalement les membres et le cou, présence d'une roue dentée, sensibilisée par la manœuvre de Froment,

  -<u>hypokinésie, bradykinésie, akinésie</u> : ralentissement ou diminution de l'amplitude du mouvement, gênant dans toutes les activités quotidiennes (micrographie), atteinte oro-faciale (voix monocorde, hypomimie), et de la marche : marche à petit pas, perte du ballant des bras

-autres signes moteurs pouvant être évocateurs et révélateurs d'un syndrome parkinsonien : raideur d'un membre, affection rhumatologique (atteinte scapulo-humérale préférentiellement),

- **Signes moteurs axiaux** révélés à un stade plus avancé de la maladie ; la réponse aux traitements médicamenteux est plus médiocre :

  -troubles de la marche : freezing (« les pieds restent collés au sol », festination) (11,12)

  -dysarthrie, troubles de la déglutition, hypersialorrhée

- **Complications motrices** liées au traitement dopaminergique, apparaissant après la phase dite de « lune de miel » pendant laquelle les symptômes sont encore bien contrôlés : fluctuations motrices (phénomènes « on/off »), dyskinésies de milieu de dose, akinésie de fin de dose,
- **Troubles posturaux** : attitudes en triple flexion des membres inférieurs, troubles statiques et dynamiques du tronc (camptocormie, syndrome de Pise, tendance à la rétropulsion)

1.4.2 Signes cliniques non moteurs (16)

Pouvant être révélateurs de la maladie de Parkinson : déficit olfactif, troubles digestifs, troubles du comportement.

Aux stades plus avancés, peuvent être observés un déclin cognitif avec syndrome dysexécutif, démence, troubles psychiatriques (hallucinations, paranoïa), dysautonomie (troubles vésico-sphinctériens, hypotension orthostatique).

1.5Prise en charge thérapeutique (4,7,13)

1.5.1 Traitements médicamenteux

- Traitements à visée dopaminergique :
    - L-Dopa : elle est transformée en dopamine par la dopa décarboxylase au niveau cérébral. Il convient d'associer un inhibiteur de la dopa décarboxylase pour éviter les effets périphériques (nausées et hypotension orthostatique).
    - Agonistes dopaminergiques (exemples : PRAMIPEXOLE, ROPINIROLE) : sont moins bien tolérés et présentent des effets secondaires, réversibles à l'arrêt du traitement, à type de compulsions (aux jeux, alimentaires, sexuelles). Utilisés précocement, ils retardent l'apparition des complications motrices. Ils agissent aussi sur les symptômes dépressifs.
    - IMAO-B = Inhibiteurs de la monoamine oxydase de type B, ils interviennent en inhibant le métabolisme de la dopamine ; ils peuvent être utilisés en première intention ou en cas d'échec des autres traitements.
    - Anticholinergiques : utilisés avec prudence du fait de leurs nombreux effets secondaires
- A associer aux traitements dopaminergiques pour limiter les effets secondaires : dompéridone à visée antiémétique, midodrine en cas d'hypotension orthostatique insuffisamment contrôlée par les mesures préventives.
- A associer à la L-dopa en cas de fluctuations motrices : inhibiteurs de la catéchol-O-méthyltransférase (ICOMT), par son action principale sur le métabolisme de la dopamine au niveau périphérique
- En cas de blocages et phénomènes ON-OFF importants : apomorphine, cet agoniste dopaminergique est disponible en stylo injecteur ou sous forme de pompes.
- En cas de dyskinésies sévères : amantadine

1.5.2 Traitements non médicamenteux

En cas de symptômes insuffisamment contrôlées par les thérapies médicamenteuses, notamment en cas de dyskinésies et fluctuations motrices, des traitements chirurgicaux peuvent être proposés : il s'agit de la mise en place de stimulateurs intracérébraux au niveau des noyaux sous-thalamiques ou du pallidum interne.

1.5.3 Prise en charge rééducative (10,14)

En France, l'HAS donne des recommandations en 2016 sur l'importance d'une activité physique régulière, continue, et diversifiée (15).

Les objectifs rééducatifs dépendent du stade de la maladie, et des contraintes liées aux prises médicamenteuses. Le travail sera plus actif et participatif en phase ON et pour les sujets aux stades précoces (Hoehn and Yahr <4) ; en phase OFF et aux stades plus sévères de la maladie ou en cas d'atteinte cognitive au premier plan, les objectifs seront à dominante passive et fonctionnelle, à visée d'entretien des mobilités articulaires et de correction posturale.

Les propositions rééducatives sont nombreuses dans la littérature et peuvent s'appuyer sur des indiçages auditifs, visuels ou proprioceptifs : travail de la marche sur tapis de marche(16), marche nordique (17),coordination des mouvements par la danse comme le tango (18),technique LSVT BIG (19) , basée sur le principe d'augmentation de l'amplitude des mouvements pour la prise en charge de la bradykinésie, issue de la rééducation orthophonique LSVT LOUD (20)

2 – Evaluation clinique de la MP

2.1 Evaluation clinique des signes moteurs (15,21–23)

Les tests et échelles cliniques pour évaluer les signes moteurs sont nombreux, spécifiques de la MP ou non spécifiques. (15)

2.1.1 Echelles spécifiques de la MP

- Echelles globales :
    - Echelle d'Hoehn and Yahr =HY (24,25) : permet de grader la sévérité globale de la maladie (*annexe 1*) ;
    - UPDRS (26,27)=Unified Parkinson Disease Rating Scale: évaluation multi-dimensionnelle des déficiences et incapacités (motrices et non motrices) ,validée en grade A par l'ANAES (=Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé) , c'est l'échelle de référence pour l'évaluation du patient parkinsonien .En revanche, la durée de passation est longue, plus de 30 minutes dans sa totalité. Souvent, seule la partie III est réalisée, il s'agit de l'examen moteur, comprenant notamment l'Hoehn ans Yahr (*annexe 2)*
- Echelles spécifiques à un signe moteur de la MP :
    - Dyskinésies : UDysRS =Unified Dyskinesia Rating Scale (auto-questionnaires et évaluations objectives sur des tâches de vie quotidienne) ; section IV de l'UPDRS (évaluation subjective) ; échelle de Goetz ou Rush Dyskinesia Scale(28)
    - Tremblements : UPDRS parties I et II (évaluation par auto-questionnaire) et partie III (examen moteur) ; ETRS (Essential Tremor Rating Scale) comportant également une partie questionnaire sur l'évaluation des tremblements dans la vie quotidienne et une partie d'évaluation clinique objective

- Freezing(FOG): NFOG-Q=New Freezing of Gait Questionnaire , évaluant la fréquence, la sévérité, la durée des épisodes de freezing, et l'impact sur la vie quotidienne, (29); UPDRS parties II (questionnaire) et III (examen clinique)

2.1.2 Echelles et tests cliniques non spécifiques de la MP

- Evaluation de la marche et de l'endurance à la marche :

  -Test de marche de 6 minutes : évaluation de la distance de marche parcourue en 6 minutes , idéalement sur un couloir de 30 mètres, avec mesures de paramètres cardio-respiratoires (30)

  - Test des 10 mètres de marche : évaluation de la durée de marche sur une distance de 10 mètres, à vitesse confortable

  -Get-up and Go Test : calcul du temps mis pour se lever d'une chaise sans accoudoir, parcourir 3 mètres, faire demi-tour et se rasseoir (normalement <20 secondes), cotation de 1 à 5 pour l'évaluation de l'instabilité lors du test.
- Evaluation de l'équilibre : BBS =Berg Balance Scale, test évaluant l'appui bipodal et unipodal, l'équilibre statique et dynamique, yeux fermés et yeux ouverts.

2.2 Evaluation clinique des signes non moteurs

- Dépression et Qualité de vie : GDS (Geriatric Depression scale) et HAD (Hospital Anxiety and Depression Scale) , échelles génériques utilisées pour évaluer les symptômes dépressifs ; Parkinson's Well-Being Map ; PDQL-37 (Parkinson Disease Quality of Life) évaluant en 37 items l'impact émotionnel et sur la qualité de vie de la MP , PDQ39 (Parkinson's Disease Quotation 39 items) , auto-questionnaire spécifique à la MP évaluant la qualité de vie au moyen de 8 sous-scores (mobilité, activités de la vie quotidienne, bien-être affectif, gêne

psychologique, soutien social, troubles cognitifs, communication, inconfort physique)

- Troubles du sommeils : Nocturnal Akinesia Dystonia and Cramp score (NADCS) évaluant l'impact nocturne des dystonies et des troubles cinétiques ; PDSS= Parkinson's Disease Sleep Scale (auto-questionnaire évaluant la qualité du sommeil) ; score d'Epworth évaluant la somnolence (échelle utilisée pour le dépistage des syndromes d'apnées du sommeil)

3 – Analyse instrumentale dans la maladie de Parkinson (9,31–33)

L'examen clinique des signes moteurs du parkinsonien a ses limites de par sa subjectivité, son manque de reproductibilité inter et intra-examinateur et son manque de précision.

Des méthodes d'analyses quantifiées des paramètres de marche se sont développées ces dernières années pour répondre à ces limites. Il s'agit de systèmes embarqués ou fixes en laboratoire (non embarqués)

3.1 Systèmes d'analyse instrumentale non embarqués

Du simple système de caméra pour l'enregistrement vidéo de la marche ,ce que nous pouvons réaliser au quotidien avec nos smartphones actuellement , permet de revoir à l'infini la marche du patient, de faire des ralentis et des arrêts sur image, l'avantage est la simplicité d'utilisation (par tout médecin , thérapeute mais aussi patient et famille du patient) et ainsi suivre l'évolution de la pathologie au fur et à mesure des consultations. Des marquages au sol ou au mur pour donner des repères de distances permettent de déduire approximativement la longueur du pas, le nombre de pas, et donc la vitesse de marche.

…..Aux systèmes plus sophistiqués mais aussi plus fiables et plus précis permettant une analyse quantifiée non seulement de la marche mais du mouvement dans sa globalité (AQM pour analyse quantifiée de la marche) (32,34,35) . Ces outils ont déjà été validés pour l'étude d'autres pathologies orthopédiques ou neurologiques (AVC, sclérose en plaques, paralysie cérébrale, poliomyélite, amputation, …)

La contrepartie de ces outils technologiquement riches est la complexité de recueil des données et leur interprétation requièrent une formation appropriée et spécifique de l'outil pour l'ensemble des utilisateurs.

Voici une liste non exhaustive des systèmes non embarqués, utilisables en laboratoire :

- Imagerie fonctionnelle (36,37) , IRM, TEMP (tomographie par émission monophotonique), DAT scan (étude du transport de la dopamine) : Non systématiques en pratique courante, ces examens sont des supports techniques au diagnostic de la MP, à la caractérisation du type de syndrome parkinsonien (vasculaire, dégénératif, post-neuroleptique) ou de diagnostics différentiels (démence à corps de Lewy, maladie d'Alzheimer) (38,39).
- Réalité virtuelle : intérêt diagnostic et surtout rééducatif, ces technologies, parfois issues du domaine des jeux vidéo, sont disponibles au grand public dans le commerce.
- Les foot-switches (9,40) comportent un capteur ou « switches » au niveau du talon et de l'avant-pied permettant d'analyser les temps de contact des ces zones avec le sol : talon, appui plantaire, soulèvement du talon et des orteils, et donc de déduire les temps de marche (double-appui, oscillation). Ils sont « semi-embarqués » car sont reliés par un fil au système d'analyse (un ordinateur).
- Plateformes de marche : systèmes de plaques conductrices, les pieds du sujet comportant des capteurs reliés par un fils à l'ordinateur, elles détectent la position du pied au contact des plaques.

- Plateforme de force et autres plateformes du commerce Wii® (41)
- Mesures des pressions plantaires par système baropodométrique

- EMG=électromyogramme : système d'enregistrement de l'activité électrique musculaire ou nerveuse, pouvant être combiné aux autres systèmes de mesure présentés ici.
- AQM =Analyse quantifiée de la marche ou du mouvement = (42,43): en laboratoire, le patient est équipé de capteurs au différents points anatomiques étudiés, l'enregistrement des mouvements est réalisé par une caméra détectant les déplacements des capteurs. Système qui peut être combiné à une analyse baropodométrique et une analyse EMG.

3.2 systèmes d'analyse instrumentale embarqués (9,32,44)

- Accéléromètres, gyroscopes, magnétomètres, inclinomètres : ces systèmes sont souvent combinés et sont l'objet de l'article présenté ci-après

  -accéléromètres : pour la plupart tri-dimensionnels, ces outils permettent des mesures d'accélération des 3 composantes spatiales du point anatomique où il est fixé, par exemple mesure du pic d'accélération de la cheville au moment de l'attaque du talon au sol. L'inconvénient principal est le parasitage par la gravité, d'autant plus marquée que l'axe du point étudié est proche de la verticale

  -gyroscopes : permettent d'analyser l'orientation dans l'espace, les vitesses et accélération angulaire des segments anatomiques sur lesquels ils sont fixés.

  -magnétomètres : ces outils donnent l'orientation du segment anatomique où il est fixé par rapport au champ magnétique terrestre, permet donc un calcul de position angulaire

  On appelle centrale inertielle un dispositif regroupant accéléromètre, gyroscope et magnétomètre ; c'est le cas de la plupart des outils présentés dans ces études.

-inclinomètres : mesurent l'inclinaison du segment étudiés par rapport à la verticale gravitaire

- Analyses baropodométriques(45) : avec semelles embarquées ou semi-embarquées (exemple F-Scan®) : enregistrement de pression plantaire, étude du déplacement du centre de pression et de paramètres spatio-temporels (vitesse de marche, longueur du pas)

Sont présentées en annexe 3 des illustrations de quelques dispositifs embarqués.

2 - ARTICLE

2. Article : Place de l'analyse instrumentale embarquée dans l'évaluation des signes moteurs de la maladie de Parkinson : revue de littérature

1 – Introduction

La maladie de Parkinson de Parkinson (MP) est une maladie dégénérative classiquement décrite comme l'association de signes moteurs : tremblements de repos, bradykinésie, rigidité, souvent révélateurs de la maladie et de signes non moteurs : troubles cognitifs, dysautonomie, troubles du comportement, dépression, ces derniers étant généralement d'apparition plus tardive(4,7)

Les échelles et tests cliniques utilisées pour mesurer les paramètres moteurs dans la MP, notamment la marche, sont simples d'utilisation en pratique quotidienne (21,22). Il s'agit des d'échelles spécifiques à la MP permettant de graduer la sévérité , UPDRS(27) et Hoehn and Yahr (25) ou génériques évaluant l'équilibre ,le risque de chute et l'endurance chez le sujet âgé, vestibulaire, neurologique, et amputé : BBS =Berg balance scale, BEST test et TUG= time up and go, « pull test » (équilibre), le test de marche de 6 min (vitesse et endurance à la marche),ou autres échelles relatives à l'évaluation de la qualité de vie.

Leur reproductibilité entre utilisateurs, leur précision, leur fiabilité et leur spécificité restent cependant discutables (21), et leurs scores peuvent varier selon le moment de réalisation des tests par rapport à la prise du traitement du patient. L'UPDRS est l'échelle de référence d'évaluation dans la MP. Sa version révisée MDS-UPDRS (Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale) est une échelle composite très complète, s'intéressant aux signes moteurs ou non moteurs de la MP ou et des effets indésirables liés au traitement (complications motrices), comportant des auto-questionnaires et des tests cliniques sur instructions d'une tierce-personne, certaines parties pouvant être réalisées en phase ON ou OFF. Elle a une bonne validité selon les recommandations françaises ANAES (grade A), elle est également traduite dans plusieurs langues(15). Cependant certains points

sont discutables sur le plan méthodologique : durée de passation longue, nécessité d'un examinateur expérimenté dans l'évaluation du syndrome parkinsonien, manque de reproductibilité inter-examinateurs. Certaines tâches demandées dans la 3ème partie de l'UPDRS intitulée « examen moteur » sont peu représentatives des activités de vie quotidienne du Parkinsonien : épreuves motrices de tapotement des doigts et des orteils, pronosupination des mains, agilité des jambes (27,46), *annexe 2*.

L'échelle selon Hoehn et Yahr(25), décrite en 1967 et intégrée au score MDS-UPDRS (fin de la 3ème partie « examen moteur ») permet de statuer sur la sévérité fonctionnelle globale du patient parkinsonien , *annexe 1*.

Malgré le manque de précision, l'examen clinique neuro-orthopédique et l'utilisation de ces échelles restent indispensables à tout professionnel de santé prenant en charge des patients atteints de la MP, elles sont un support pour le suivi des patients au cours de l'évolution de leur maladie et permettent un langage commun entre praticiens.

De nouvelles technologies, décrites récemment dans la littérature, apportent des analyses objectives des signes moteurs : marche, freezing, troubles posturaux (camptocormie). Certains ont déjà été utilisés pour d'autres affections neurologiques que la MP(47) (AVC, épilepsie, paralysie cérébrale, séquelles de poliomyélite) ou pathologies orthopédiques (amputés principalement). Ces outils sont un support diagnostic, en mesurant des paramètres non quantifiables cliniquement par l'examinateur, et/ou thérapeutique, en aidant à la rééducation du patient ou à l'ajustement du traitement médicamenteux. Ils peuvent dans certains cas détecter des signes précoces, à des stades peu ou pas symptomatiques de la MP (45).

L'analyse de ces signes moteurs peut faire appel à divers dispositifs. Les laboratoires d'analyse du mouvement (9,32,34,35) sont équipés de systèmes de pointe permettant une analyse vidéo du mouvement au moyen de capteurs portés par le patient. Les déplacements de chaque segment

de membre font l'objet d'une analyse tridimensionnelle précise permettant l'évaluation de la position, de la vitesse, et de l'accélération. La vidéo est parfois combinée à un enregistrement électromyographique (EMG) et/ou baropodométrique (9,32). L'imagerie fonctionnelle (31,38,39)est un système pour le moment surtout appliqué en recherche . Chez le parkinsonien, elle permet d'étudier le transport de la dopamine au sein de la voie nigro-striée (DAT-scan), les métabolismes énergétiques entrant en jeu dans le système dopaminergique (TEP-scan, TEMP), et de visualiser des pertes d'hypersignaux de la substance noire en IRM. Ces technologies sont dites « non embarquées » et leur application relève essentiellement d'études expérimentales ou de l'utilisation clinique intra-hospitalière car elles nécessitent une infrastructure et du personnel dédiés. L'utilisation de la réalité virtuelle (31,48), empruntant parfois des techniques issues des jeux vidéo (Wii®, Kinect®) , permet d'associer l'analyse du mouvement (outil diagnostic) et la dispensation d'exercices de rééducation (outil thérapeutique). On peut facilement imaginer l'intégration de ces dispositifs dans le quotidien du patient.

Le recours aux accéléromètres a débuté dans les années 1980, avec une utilisation initiale plutôt en milieu sportif afin de mesurer les capacités physiques (vitesse, accélérations, endurance et tolérance cardio-respiratoire). Des dispositifs plus récents, dont les accéléromètres, se développent pour un usage en situation écologique : ce sont des systèmes dits « portatifs » ou « embarqués », avec un intérêt clinique en pratique courante dans nos centre neurologiques, gériatriques et de rééducation (47)

L'objectif de cet article est de proposer une revue de littérature des techniques instrumentales embarquées à notre disposition et de leur application dans l'analyse des troubles moteurs du Parkinsonien.

2 – Matériel et Méthode

Il s'agit d'une revue de littérature non systématique portant sur des articles en anglais. Les mots-clés utilisés pour les recherches sont « Parkinson's disease » (c'est-à-dire maladie de Parkinson dite idiopathique) et « wearable electronic devices » ou « wearable », dans les bases de données bibliographiques suivantes : principalement PUBMED, et pour quelques références, les moteurs de recherche EMBASE, SCOPUS, COCHRANE LIBRARY et GOOGLE SCHOLAR. Il n'y avait pas de limite fixée pour la date de début de publication des articles, le plus ancien article retrouvé date de 1992 et les plus récents de mars 2019. Ont été exclus les articles traitant des signes non moteurs de la MP (olfaction, audition, fréquence cardiaque), les « non-human studies », les articles dont seul le résumé était disponible et les articles non disponibles en langue anglaise.

La figure 1 en *annexe 4* représente sous forme de diagramme l'organisation de la sélection des articles. Six articles apparaissaient en doublons. Huit articles sont exclus de la sélection : un article traitant de syndromes parkinsoniens vasculaires, 3 articles traitant de signes non moteurs (parole, audition, olfaction), 1 article en langue chinoise, 1 étude portant sur des sujets sains simulant des symptômes parkinsoniens, 1 éditorial. Ces 2 derniers sont exclus pour leur faiblesse méthodologique.

3 – Résultats

3.1 Sur le plan méthodologique

Les 51 articles retenus pour cette revue, sont publiés de 1998 à 2019.

Sur le plan méthodologique, on retrouve 26 essais cliniques non contrôlés (CT), 23 essais cliniques randomisés contrôlés (RCT) et 2 revues systématiques (SR). Il n'y avait pas de méta-analyse. Le graphique de la figure 2 en *annexe 5* représente le nombre et le type d'études par année de publication

3.2 Les lieux d'évaluation des dispositifs

Trois lieux d'évaluation sont décrits selon les études. La plupart des études réalisent leurs mesures en laboratoires (14,49–80) ou dans un établissement hospitalier. Seules quelques études s'intéressent à des outils utilisés au domicile exclusivement (51,81–90) ou en complément des analyses en laboratoire (55,91,92), ou bien ont été conçus pour des utilisations situations écologiques à domicile (50,61,63,93)

3.3 Classification des dispositifs embarqués en fonction des signes moteurs étudiés

3.3.1 Rappel des définitions des signes moteurs de la MP étudiés dans cet article (4,7)

-<u>tremblement de repos (tremor)</u> : caractérisé par une augmentation de l'intensité au repos et à la marche, il est le plus souvent asymétrique dans la MP, contrairement aux tremblements essentiels.

-<u>freezing</u> (freezing of gait) ou enrayement cinétique, il s'agit d'un blocage transitoire de la marche au moment de l'initiation du pas ,principalement localisé aux membres inférieurs, ce signe serait moins présent chez les patients qui présentent un tremblement

comme principal symptôme (94), à différencier de la festination qui correspond à des embardées à la marche.

-la marche dans la MP : caractérisée par des déplacements lents et à petits pas, avec une perte du ballant des bras.

-hypokinésie, bradykinésie : diminution de la rapidité d'exécution et de l'amplitude des mouvements volontaires mais aussi altération phonique (faiblesse de la voix, ton monocorde) ou de l'expression faciale (hypomimie)

-chutes : l'enjeu principal de la prise en charge du parkinsonien est la prévention du risque de chutes.

-effets adverses du traitement par L-dopa= les complications motrices : dyskinésies et fluctuations motrices, apparaissant aux stades avancés, sur des prises de dopamine de longue durée, décrites en moyenne à 5 ans du début du traitement.

3.3.2 Les types d'outils utilisés

La plupart des outils présentés ici comportent un ou plusieurs capteurs placés sur les régions anatomiques étudiés, ils sont reliés à un système d'exploitation, comportant une batterie, par wifi, Bluetooth ou câble au moment du transfert des données. Un logiciel d'analyses des données est exploitable sur PC.

Rappelons quelques définitions pour les types de dispositifs utilisés dans ces études(9,32).

-accéléromètres : ces outils permettent des mesures d'accélération des composantes spatiales du point anatomique où il est fixé, mais renseignent aussi des données cinétiques de déplacements de ce segment anatomique.

-gyroscopes : permettent d'analyser l'orientation dans l'espace, les vitesses et accélération angulaire des segments anatomiques auxquels ils sont fixés.

-magnétomètres : donnent l'orientation du segment anatomique où il est fixé par rapport au champ magnétique terrestre, permettent donc un calcul de position angulaire.

La plupart des outils présentés dans ces études sont des centrales inertielles et regroupent les 3 dispositifs : accéléromètres, gyroscopes, magnétomètres ; ils sont le plus souvent tri-dimensionnels.

3.3.3 résultats principaux des études et caractéristiques des dispositifs embarqués, en fonction des signes moteurs étudiés

Pour chaque signe moteur, nous classons les outils en fonction de leurs principes d'utilisation. Certains outils embarqués ont une fonction uniquement diagnostique (calcul de la vitesse de marche par exemple), certains ont un but uniquement thérapeutique (c'est le cas du métronome pour l'indiçage auditif dans la prise en charge du freezing ou de la bradykinésie), d'autres ont une fonction combinée de diagnostic d'un signe moteur (freezing) et thérapeutique (indiçage et feedback auditif)

Certains outils ont une qualité dite prédictive (l'exemple de la détection du pré-freezing ou pré-FOG) ou ont l'avantage de détecter des anomalies chez des patients à des stades précoces de la maladie qui sont asymptomatiques à l'examen clinique.

Les 6 tableaux en *annexe 6*, un tableau par signe clinique, regroupent les principales caractéristiques des articles de cette revue. Pour les essais cliniques, sont précisés le nombre de sujets parkinsonien, ainsi que le nombre de sujets témoins lorsque les essais étaient contrôlés. Le type d'outil embarqué est indiqué ainsi que l'outil de référence ou de comparaison ou gold standard utilisé lors des essais. Pour l'outil de comparaison, il

s'agit le plus souvent de vidéo des sujets avec annotations cliniques (calculs de score tel l'UPDRS, annotation du FOG) par un ou plusieurs examinateurs, réalisées ou non en temps réel, l'enregistrement permettant la relecture à volonté et l'arrêt sur image.

a) Le tremblement de repos

Quatre articles s'intéressent au tremblement de repos et sont tous orientés vers le diagnostic et le caractère prédictif de ce diagnostic.

Dans les études de Kim et Jeon (50,95) , les outils utilisés pour mesurer les tremblements des membres supérieurs sont des capteurs, comportant un accéléromètre et un gyroscope, placés au niveau des extrémités .L'étude de Scanlon (96) apporte en plus des informations sur le tremblement aux membres inférieurs en plaçant des capteurs aux 4 extrémités, et aurait des possibilité de mesures de variations infimes des mouvements des membres inférieurs, imperceptibles à l'examen clinique, permettant de différencier des sujets parkinsoniens non symptomatiques des sujets sains.

Delrobaei (52) présente un plus grand nombre de capteurs (« full body ») dont des capteurs au niveau de la tête et du tronc.

Les tâches demandées lors des mesures pour ces 4 études étaient des tâches de vie quotidienne : « rester assis sur une chaise » (50,95), « maintenir une posture » (52), ou « effectuer une double tâche » , un exercice cognitif par exemple (96)

b) Freezing (FOG pour freezing of gait) :

Le freezing est un signe moteur spécifique de la MP, procurant une gêne fonctionnelle majeure et avec un risque de chute important chez les patients. L'étude de ce signe est l'objet de la majeure partie des articles présentées ici (15 articles).

Les outils diagnostiques : Les études portant sur la détection du FOG comportent pour la plupart accéléromètres et gyroscopes, permettant de conforter le diagnostic clinique ou de repérer des FOG passés inaperçus à l'œil de l'examinateur. Les positions des capteurs sont variables, principalement aux membres inférieurs et à la taille. Des enregistrements vidéo visionnés par des examinateurs permettent de comparer les mesures de l'outil embarqué avec les échelles cliniques classiques (UPDRS III moteur essentiellement)

Les outils prédictifs : Cinq études (53–56,59) apportent des éléments prédictifs pour la détection du pré-freezing ou pré-FOG, phase qui comporte des anomalies de marche précédant le FOG discriminés par les mesures d'anomalies motrices par les outils instrumentaux à défaut de l'être par l'œil humain

L'étude de Ashhar(59) est une des seules à comparer l'outil embarqué (Ultrasonic Sensor®, composé d'un accéléromètre et d'un gysroscope) avec un système d'analyse quantifiée du mouvement, qui est le « gold standard » dans l'analyse du mouvement. Le dispositif est cependant plutôt semi-embarqué car comporte des transmetteurs fixés au mur.

Les outils diagnostiques et thérapeutiques : D'autres outils combinent l'aspect diagnostic et thérapeutique. Un signal auditif pour la plupart (50,52,53,57,78,92) associé à un stimuli vibratoire dans l'étude de Mazilu (61) est déclenché de manière rythmique pour permettre l'indiçage ou déclenché dès que le FOG est détecté permettant au sujet un rappel attentionnel afin de lui faire prendre conscience du trouble et le corriger (feedback).

Six études utilisent un smartphone comme système de détection, d'indiçage et de feedback, l'utilisation se fait principalement en laboratoire de recherche. Les études de

Mazilu et Ginis (55,82) sont tout ou partie réalisées au moyen d'un dispositif utilisé au domicile. Ginis (82) compare l'utilisation du smartphone, permettant indiçage et feedback auditifs, chez des parkinsoniens versus patients non équipés de l'appareil. Les 2 groupes (intervention et contrôle) effectuaient de manière identique un programme d'entrainement à la marche avec des suivis réguliers par des instructeurs au domicile. Le système proposé a permis de montrer son acceptation par le patient, la faisabilité des mesures au domicile, avec une efficacité supérieure sur la vitesse de marche, grâce à l'utilisation du smartphone comparé au suivi et à la rééducation conventionnelle.

La particularité du dispositif présenté par Mazilu en 2015 (55) est, outre l'utilisation d'un accéléromètre au niveau des chevilles, la détection de modification de signes non moteurs : signes ECG, conductance cutanée (reflet de l'activité du système nerveux autonome par mesure de la sudation cutanée). Ces paramètres physiologiques montrent des différences significatives dans les 4 à 5 secondes précédant (pre-FOG) et suivant (post-FOG) la détection du FOG.

Capecci (63) présente un outil de détection et de quantification du FOG sous forme d'un smartphone avec une fiabilité meilleure, comparativement aux travaux antérieurs de Bachlin en 2010, avec des sensibilités respectives de 80.63% et 73.1% et spécificités de 94.87% et 81.6%. Il s'agit de la seule étude dans ce recueil qui donne une classification clinique du type de FOG : « shuffling » (trainant les pieds avec des petits pas), « trembling » (tremblement sur place) et « akinetic » (sans mouvement) déjà différenciés dans d'autres études et qui signerait un degré de sévérité du freezing de plus en plus important. La corrélation clinique avec HY et les types de FOG, n'a pas pu être montrée dans cette étude du fait de la faible taille de l'échantillon.

c)Etude de la marche

L'étude de la marche du Parkinsonien est un sujet qui intéresse de nombreuses études. Les laboratoires d'analyses du mouvement et autres technologies plus récentes vendues aussi dans le commerce (Wii®, Kinect®) sont de plus en plus exploités dans la littérature pour l'étude du mouvement chez le parkinsonien(34,40,41) Nous nous focaliserons uniquement sur les capteurs embarqués.

Les outils décrits fournissent principalement des données diagnostiques (59–61,64,79,80,88) :

- paramètres spatio-temporels tels que cadence, vitesse, longueur de foulée, durée de foulée, longueur, et nombre de pas, durée de la phase oscillante et du double appui, déplacement du centre de masse : médio-latéral, antéro-postérieur, amplitudes articulaires, positions angulaires des articulations (hanches, genoux, chevilles)
- les paramètres cardio-respiratoires (93) ; ne sont pas des paramètres moteurs mais peuvent influer sur l'endurance à la marche: échelles de Borg, fréquence cardiaque (FC), VO2 max (consommation maximale d'O2 lors d'un effort)

En plus de l'aspect diagnostic , certains outils ont un atout prédictif (67,68) des anomalies de la marche. L'étude de Bonora (68) s'intéresse aux ajustements posturaux anticipatoires (APAs) dans la MP à l'initiation de la marche au moyen de 3 capteurs inertiels au niveau lombaire et des tibias. Les APAs correspondent aux accélérations médio-latérales du tronc qui dépassent un certain seuil physiologique dans la MP. Ils correspondent à la période située juste avant le décollement du talon du sol. Les résultats retrouvés avec ces outils embarqués coïncident avec les données spatio-temporelles recueillies par les plateformes de marche utilisées comme référence.

Sur le plan thérapeutique, seuls deux articles retiennent notre attention. Carpinella en 2017(70) présent l'outil « gamepad system » , composé de 6 capteurs inertiels, et un écran d'ordinateur. Ce système permet la détection des déplacements antéro-postérieurs et médio-latéraux du tronc et du centre de masse des sujets, ainsi que les positions angulaires des genoux. Au cours d'exercices statiques ou dynamiques (marche à différentes vitesses, relevés d'une chaise), des feedback auditifs et/ou visuels sont générés pour le groupe expérimental. Le groupe contrôle avait pour seul feedback les instructions verbales d'un thérapeute. Les critères de jugements principaux étaient cliniques soit 2 échelles couramment utilisées dans l'évaluation clinique chez le MP(97) , BBS =Berg Balance Scale, et le test de marche sur 10 mètres . Les mesures des paramètres spatio-temporels faisaient partie des critères secondaires avec une diminution significative uniquement pour le déplacement du centre de masse médio-latéral dans le groupe expérimental. L'amplitude de déplacement médio-latérale étant particulièrement augmentée chez le MP, attribuée comme un des responsables du risque de chutes.

Casamassima (84) propose un système composé d'un smartphone et de 2 capteurs inertiels placés sur la face dorsale du pied au niveau des chaussures. Le sujet porte des écouteurs qui transmettent des instructions verbales (feedback auditif) demandant au sujet d'augmenter ou diminuer sa vitesse, réaliser des pas plus ou moins amples, augmenter la longueur du pas à droite ou à gauche en cas d'asymétrie détectée, augmenter la montée du membre inférieur au passage du pas, tenir le tronc droit, …

d)Hypokinésie et Bradykinésie

Le ralentissement moteur est un des signes caractéristiques de la MP. Rappelons quelques définitions(4) :

-L'akinésie correspond à un ralentissement à l'initiation du mouvement,

-La bradykinésie est un ralentissement à l'exécution du mouvement,

-L'hypokinésie est la diminution de l'amplitude du mouvement

Les outils diagnostiques(49,87,88)

L'accéléromètre proposé par Dunnewold (88) met en évidence une augmentation de la durée de la station allongée et des périodes d'inactivité chez le patient parkinsonien

Deux études s'intéressent au diagnostic des troubles cinétiques au cours du sommeil : hypo- ou akinésie engendrant une altération de la qualité du sommeil, évaluée par questionnaires génériques sur le sommeil tels le score d'Epworth, ou spécifiques de la MP = PDSS (49) ; dystonies et crampes ressenties au cours du sommeil, évaluées par le Nocturnal Akinesia Dystonia and Cramp score (NADCS) et (UPDRS)-axial subscore (UPDRS items 18, 22, 27–30) (87)

Des mesures polysomnographiques sont aussi réalisées lors de l'étude de Xue(49) permettant de mesurer le temps total de sommeil qui est significativement diminué chez dans la avec bradykinésie durant le sommeil ainsi que « sleep efficiency » (pourcentage de sommeil durant le temps passé au lit), également très diminué.

Les outils diagnostiques et thérapeutiques (74,86)

Concernant les troubles du sommeil du parkinsonien, l'étude de Bhidayasiri en 2016 (86)propose un outil embarqué permettant d'évaluer l'efficacité d'un traitement par doses d'apomorphine nocturne sur l'hypokinésie au lit, mesures réalisées sur 2 nuits au domicile avec de bons résultats sur les vitesses et les amplitudes de retournements, les scores PDSS et UPDRS axial et les échelles de qualité de vie.

Les outils à valeur prédictive (71–73) **:** D'autres études utilisent des outils avec un double intérêt : diagnostic et prédictif. Il s'agit par exemple de l'étude de Phan(71) qui mesure des paramètres spatio-temporels évaluant la bradykinésie axiale et l'instabilité

posturale avec une forte corrélation selon Pearson avec le score de Hoehn and Yahr, une des échelles cliniques de sévérité de la MP. Les conclusions de l'étude permettraient même de limiter le nombre de capteurs à 2 au lieu de 4 avec une précision suffisante sur les mesures effectuées.

Chen et Mancini s'intéressent à des stades précoces de la MP, non traités ou prenant des faibles doses de L-dopa. Chen (72) utilise un seul capteur lombaire pour détecter les déplacements du centre de pression lors de tâches statiques (yeux fermés et ouverts) accompagnées dans un second temps de tâches mentales comme le calcul, les doubles tâches et notamment celles augmentant les fonctions attentionnelles pouvant favoriser les instabilités . De plus, était détecté des paramètres orthoptiques par le test stéréoscopique de Titmus, test de perception subjective visuelle de la profondeur. Des cas de dysfonction stéréoscopique étant fréquemment observés chez des patient parkinsoniens (98,99)

Lin Zhirong(73) dans son étude de 2017 utilise un outil d'évaluation de la bradykinésie aux membres supérieurs. Les scores de bradykinésie prédits par des accéléromètres, gyroscopes et magnétomètres positionnés aux poignets et aux 2èmes doigts, ont une forte corrélation avec les échelles cliniques de bradykinésie dans la MP (UPDRS).

d) Chutes, troubles posturaux et de l'équilibre

La détection et la prévention des chutes dans la MP est un sujet clé dans la prise en charge thérapeutique.

Les outils diagnostiques (89,92) : Weiss(89) en 2014 présente un outil avec un seul capteur lombaire permettant d'analyser le risque de chute en milieu écologique, le patient portait le dispositif pendant 3 jours au domicile**.** On constate une corrélation,

bien que faible à modérée, entre les paramètres enregistrés par l'outil de mesure (notamment les accélérations) et les scores cliniques de marche et d'équilibre (vitesse de marche, TUG, BBS)

Cette étude a l'un des plus grands effectifs de patients parmi les études présentées ici.

Les outils diagnostiques et thérapeutiques(74,76)

L'étude de Nanhoe(74) en 2012 propose un outil diagnostic avec un objectif également rééducatif, un accéléromètre et un gyroscope placés au niveau du tronc et de la tête. Lors d'une série d'exercices d'équilibre (statique ou dynamique, yeux fermés ou ouverts), des déplacements du tronc médio-latéraux ou antéro-postérieurs au-delà d'un certain seuil déclenchaient une stimulation vibro-tactile via un dispositif placé au niveau de la tête (« headband »)

Les outil prédictifs (75,76,92)

Lin (76)est le seul à proposer un outil intégré à un vêtement , il s'agit d'une veste comportant 5 capteurs au niveau du tronc permettant , par la mesure du déplacement du centre de masse, d'évaluer le risque de chutes chez des sujets de plus de 60 ans, le nombre de patients MP n'est pas précisé. Une évaluation des paramètres spatio-temporels par les examinateurs en temps réel permettait de détecter cliniquement les risques de chute. Une enquête sur l'acceptation de l'outil est réalisée au cours de cette étude expérimentale, l'intégration d'un outil aux propres vêtements du sujet renforçant l'observance de l'outil.

Stack(92) propose un dispositif placé sur le tronc et les 4 extrémités permettant de détecter les instabilités lors d'activités proposées en laboratoire et au domicile permettant la prévention des chutes.

Mancini (75) utilise aussi un seul capteur lombaire dans son étude chez des patients non traités par L-Dopa, donc à un stade très précoce , avec un suivi long jusqu'à un an. Les mesures de déplacements du capteur dans la direction médio-latérale, représentant surtout les mouvements des hanches et du tronc sont davantage perturbés que dans la direction antéro-postérieure impliquant surtout les chevilles, déjà démontré auparavant sur plateformes de force(100) ou par électromyographie(101). Cette étude pilote souligne le fait que l'initiation d'un traitement par L-dopa pourrait masquer certaines caractéristiques des troubles posturaux présents aux stades précoces de la maladie. Ces troubles de l'équilibre mal identifiés ne sont pas forcément les premiers symptômes présents lors du diagnostic initial de la MP ; l'apparition d'une lenteur dans les mouvements, de tremblements ou de signes non moteurs étant souvent les premières plaintes des patients motivant l'introduction d'un traitement(8).

Le dispositif présenté par Volpe(77) est à part car il n'est pas à proprement parler un outil d'évaluation de signes moteurs de la MP mais s'intègre dans une approche thérapeutique.

Il est utilisé au cours d'un programme de rééducation de l'équilibre dans la MP. Les dispositifs utilisés, sous forme de patchs autocollants, comparés à un placebo, sont placés en cervical et au niveau des mollets. Les fibres nanotechnologiques qu'ils contiennent génèrent des vibrations sous l'effet de la chaleur corporelle, induisant des variations de longueur du muscle, les vibrations ayant déjà montrées leur intérêt dans la réduction des troubles posturaux et l'amélioration de la marche du patient parkinsonien (74,102). Au cours de l'études, des mesures posturographiques sont réalisées au moyen d'une plateforme stabilométrique

e) évaluation des effets et des complications des traitements

A une phase plus avancée de la maladie, l'augmentation des posologies et la durée du traitement dopaminergique entrainent des effets indésirables appelés complications motrices. Rappelons leurs définitions(4,15) :

-dyskinésies : mouvements involontaires, choréiques des membres et du tronc, survenant lors du pic d'efficacité du traitement dopaminergique, en milieu de dose

-fluctuations motrices : correspondent à des mouvements involontaires, parfois dystoniques, rythmés par les prises médicamenteuses. Peuvent se manifester par des blocages (ou réapparition des signes parkinsoniens) à distance des prises de médicament.

-akinésie de fin de dose : apparition des symptômes parkinsonien avant la prochaine prise de L-Dopa. A des stades plus avancés, la durée d'action entre 2 prises peut correspondre à la demi-vie de la L-dopa soit moins de deux heures, la capacité de stockage cérébrale diminuant avec l'aggravation de la maladie. Des phénomènes dits « on-off » sont possibles correspondant à un passage souvent rapide et brutal d'un état ON sans signes de la MP à un état OFF avec recrudescence des symptômes parkinsoniens.

Les outils diagnostiques des complications motrices(79,90,91,103) :

Trois études évaluent des outils diagnostiques dans les activités quotidiennes du patient et son donc utilisés au domicile. Cai (103) et Cereda (90) proposent au moyen de dispositifs simples portés au membre supérieur (montre ou « arm-band ») de mesurer des paramètres de marche (vitesse, nombre de pas) ainsi que des paramètres de consommation d'énergie (dépense énergétique) et apportent des conseils en matière de diététique (intérêt d'un régime pauvre en protéines). Des corrélations sont décrites

entres les doses de L-Dopa et les paramètres cliniques mesurés (scores UPDRS pour dyskinésie). Ramsperger (91) présente une étude multicentrique regroupant 23 sujets MP dont 7 présentant des dyskinésies et 13 contrôles sains, en Allemagne, au Portugal et en Norvège. Il développe un algorithme en laboratoire, basé sur un seul capteur de cheville, validé en milieu écologique pour l'évaluation des dyskinésies aux membres inférieurs.

Delrobaei (79) présente dans un essai randomisé contrôlé, un outil de mesure globale des dyskinésies « full-body dyskinesia » basé sur 17 capteurs placés sur l'ensemble du corps au niveau des articulations. La particularité de cette étude est l'évaluation de patients MP traités par stimulateurs cérébraux, au cours de 3 tâches différentes : au repos (assis sur une chaise), lors d'une posture statique (assis bras tendus en pronation) et en dynamique (mouvements de prono-supination des bras). Il est montré une corrélation entre un score de sévérité des dyskinésies, résultant des mesures instrumentales (DSS= dyskinesia severity score) avec un score de sévérité clinique calculé par 2 examinateurs à partir des enregistrements vidéo des patients (UDysRS =UDRS= Unified Dyskinesia Rating Scale)

Les outils diagnostiques et thérapeutiques(78,104)**:**

Thomas en 2018(78) présente un score instrumental d'évaluation de la réponse au traitement par L-Dopa, appelé TRIS pour Treatment Response Index from Sensors, algorithme élaboré à partir d'un accéléromètre et d'un gyroscope contenus dans un capteur placé au poignet, lors de tâches de prono-supination. Les correspondances effets-doses et les corrélations avec les scores clinique tels l'UPDRS semblent fiables, et présentent un intérêt dans l'adaptation des posologies de L-Dopa en fonction de la sévérité de la MP et surtout des effets adverses à leur utilisation au long cours et à des posologies élevées.

Les outils prédictifs : Des études innovantes apportent des éléments prédictifs dans un souci de prévention des effets indésirables des traitements. L'étude de Lopane en 2015 (80) compare des patients non traités (dits « de novo ») avec des patients parkinsonien de sévérité modérée (HY 2-3) traités par L-dopa, tous équipés d'un capteur embarqué placé en lombaire, afin de discriminer les dyskinésies induites par L-Dopa (= levodopa-induced dyskinesias= LIDs), des mouvements physiologiques, lors de tâches motrices (TUG, tapotements, tests posturaux).Les tests étaient aussi effectués sur des sujets contrôles sains, en laboratoire et sur des activités quotidienne au domicile. La sensibilité de détection est bonne, 91% avec un seul capteur, et présente une bonne corrélation avec les échelles cliniques, ici CDRS * et les concentrations plasmatiques de L-Dopa. Deux patients sur 13 dyskinétiques n'ont pas été reconnus comme tels par ce dispositif, il semblerait que ce défaut soit lié au fait que ces 2 patients avaient des dyskinésies prédominantes en distalité ou au niveau oro-facial, et donc non détectées par le capteur axial proposé dans cette étude.

f) Autres articles :

Nous présentons séparément dans le dernier tableau 2 études, s'intéressant à l'évaluation de plusieurs signes moteurs.

L'étude de Mera (81) exploite les données d'un capteur placé au niveau du poignet et de l'index pour évaluer à la fois la bradykinésie et les tremblements au cours de tâches motrices issues de l'UPDRS pour l'item « tremblements » (au repos, en posture statique et dynamique) et l' item bradykinésie (tapotement du doigt, fermeture de la main, prono-supination) . Les patients utilisaient ce dispositif au domicile pendant 3 à 6 jours consécutifs. Ces données confirment des corrélations fortes entre les paramètres

instrumentaux mesurés avec le capteur, et les scores cliniques UPDRS (item tremblements) et MBRS pour la bradykinésie.

L'outil a également été évalué pour sa capacité à détecter les complications motrices et permet surtout de les différencier des tremblements de repos par leurs fréquences d'enregistrement : les dyskinésies seraient enregistrées de 1 à 3 Hz, et les tremblements entre 3 et 6 Hz. Les fluctuations motrices ont pu être aussi enregistrées et identifiées par rapport aux moments des prises de L-dopa.

La revue systématique de Johansson (47) reprend en grande partie les articles présentés ici pour la MP (54,69,75,78,80,85,88,89,91,96), et présente aussi de manière exhaustive les dispositifs embarqués dans l'évaluation d'autres pathologies neurologiques (accidents vasculaires cérébraux et épilepsie). Concernant la MP, les données intéressent tous les signes moteurs dits « cardinaux » (tremblements, bradykinésie, troubles de marche, équilibre) et complications motrices (dyskinésies), mais aussi le niveau d'activités physique et les troubles du sommeil.

4 – Discussion

Cette revue bien que non systématique permet une approche assez exhaustive des outils embarqués actuels pour l'évaluation, la confirmation d'une mesure clinique, mais aussi la rééducation et la prévention des signes moteurs de la MP.

Les références présentées ici ont pour la majorité (46 sur 51) été publiés il y a moins de 10 ans ce qui montre bien l'engouement actuel pour l'utilisation et l'innovation d'outils technologiques, toujours plus performants dans le nombre de données exploitées et dans un souci de miniaturisation, enjeu de taille dans le développement de dispositifs embarqués.

Nous ne ferons pas la liste des types de dispositifs embarquées, qui est aussi variée que le nombre d'articles présentés ici, ni de leurs caractéristiques techniques détaillées sauf lorsqu'elles présentent un intérêt clinique avéré.

Nous ferons la synthèse pour chaque signe moteur des principales conclusions de ces études puis tenterons de montrer les liens qui peuvent exister entre ces évaluations instrumentales embarquées et les évaluations cliniques conventionnelles à disposition pour suivre les patients parkinsoniens. Nous commenterons les aspects méthodologiques des études et leurs limites.

4.1 L'existence d'une corrélation entre échelles cliniques et dispositifs embarqués dans la MP

4.1.1 Tremblement de repos

L'évaluation du tremblement au moyen d'échelles cliniques tel l'UPDRS item tremblements, reste très subjective et peu reproductible entre examinateurs. Des dispositifs embarqués tels que ceux présentés par Scanlon(96) permettent des analyses fines de mouvements, ce qui permettrait la détection précoce d'un tremblement qui est un des premier signe moteur révélé lors du diagnostic de MP. Des capteurs placés aussi aux membres inférieurs renforce l'analyse, et pourraient avoir un intérêt dans cette détection précoce car le tremblement aux membres inférieurs peut rester imperceptible de l'œil humain contrairement aux membres supérieurs. L'étude de Delrobaei(52) décrit un score développé pour mesurer la sévérité du tremblement le TSS (tremor severity scale) via un systéme embarqués comprenant 17 capteurs répartis sur l'ensemble du corps dont les membres inférieurs et la tête. TSS et UPDRS présente une bonne corrélation au repos et lors du maintien d'une posture, cette corrélation n'a pas pu être montrée à l'action. De plus ces dispositifs, pour le moment utilisé

uniquement en recherche pour le tremblement aurait un apport diagnostique pour le clinicien mais aussi pour faire prendre conscience au patient de ses troubles lors d'une utilisation au domicile, et ce sur de plus longues périodes que le temps imparti pour examiner le patient en consultation avec l'UPDRS.

4.1.2 FOG

Les études sur le freezing dans la MP sont nombreuses. L'intérêt principal des outils embarqués proposés est la détection d'éléments prédictifs du FOG, appelé pre-FOG. Des signes indirects non moteurs sont aussi modifiés lors des phases de pré et post-FOG(55). Il s'agit de paramètres cardio-vasculaires via enregistrement électrocardiographiques (ECG), et de paramètres de sudation via détection de la conductance cutanée qui semblent être des pistes à exploiter de par leur simplicité d'utilisation par l'ajout d'électrodes de surface

4.1.3 Les complications motrices : fluctuations motrices et dyskinésies

Bien qu'il y ait une différence sémiologique entre dyskinésie et tremblement, l'analyse clinique peut parfois être difficile. L'étude de Mera (81) propose un outil permettant de différencier les dyskinésies des tremblements, par les différences de fréquences enregistrées entre ces 2 signes, ces résultats concordent avec des études antérieures , utilisant électromyogramme (105) ou accéléromètre (106). La différenciation de ces signes étant capitale pour l'ajustement du traitement médicamenteux et de la prise en charge rééducative.

Les mesures précises du début des fluctuations motrices permettraient un ajustement des posologies de L-dopa et des moments des prises au cours de la journée. Aux

premiers stades de la maladie, les patients peuvent présenter une fenêtre thérapeutique longue de 6 à 8heures , qui se réduit de 30 minutes à 2 heures avec la progression des symptômes et l'augmentation des doses de L-Dopa (107)

4.1.4 Marche, bradykinésie, hypokinésie

De nombreuses études s'intéressant à la marche du parkinsonien ne comportent pas de capteurs au membres supérieurs, ce qui ne permet pas d'étudier les mouvements de balancement des bras lors de la marche, la perte de ballant des bras étant un de signes caractéristiques de la maladie de Parkinson. Seules les études de Lamont (93), Nguyen (66)et Ireland (67)utilisent aussi des capteurs aux membres supérieurs permettant une discrimination plus fine des troubles de la marche.

4.1.5 L'études des troubles cinétiques lors du sommeil

L'étude de l'hypokinésie et la bradykinésie lors du sommeil comporte un intérêt majeur sur l'amélioration de la qualité de vie et la prévention des comorbidités, notamment cardio-vasculaires, cependant certaines études peuvent être critiquées car réalisées en laboratoire(49), l'étude de la qualité du sommeil pouvant être très affectée par le fait de dormir hors du domicile, le port un dispositif de mesure au moyen de plusieurs capteurs, voire ceux pour la réalisation de la polysomnographie, constituant déjà un perturbateur majeur dans la liberté des mouvements et l'efficacité du sommeil (86,87)

4.2 Le développement d'outils prédictifs

La sévérité de la MP dans ces études reste modérée pour la plupart correspondant à des stades entre 2 et 3 sur l'échelle de Hoehn and Yahr (*annexe 1*), l'atteinte pouvant être bilatérale avec des pertes d'équilibre mais le patient restant suffisamment autonome pour se déplacer sans assistance. En effet, il semble qu'il y ait un faible intérêt à l'utilisation des dispositifs embarqués à des stades très avancés de la MP, puisque ces outils sont développés pour que le patient puisse le positionner en autonomie et ait les capacités cognitives pour en assurer le bon usage.

A l'inverse, ces outils ont un intérêt tout particulier à être utilisés chez des sujets peu ou pas symptomatiques (HY 0 à 1) à la recherche de signes précoces non détectés par un simple examen clinique. C'est le cas dans les études déjà citées plus haut pour le FOG (54), l'analyse des troubles de la marche(93), et la bradykinésie(72)

Toujours dans le but de réaliser des diagnostics plus précoces afin de débuter des moyens préventifs ou thérapeutiques adaptés, quelques études s'intéressent au développement d'outils prédictifs : détection du pre-FOG (53,56,59), des ajustements posturaux anticipatoires avant l'initiation de la marche (APAs)(68), des marqueurs du risque de chutes (92).

4.3 Le développement d'outils thérapeutiques

Le développement d'outils à visée thérapeutique s'intègre dans la continuité de celui des outils prédictifs. L'intérêt de détecter et de prédire l'apparition de signes moteurs est un moyen de mettre en place des stratégies de compensation du FOG, et du risque de chute(74) : indiçage auditif (55,57,58,83,108) ou visuel, techniques de rétrocontrôle ou feedback, visuel, auditif, ou vibro-tactile(61,82).

L'intégration aux smartphones de ce type de capteurs inertiels et de dispositifs d'indiçage et/ou de rétrocontrôle est probablement le meilleur compromis pour favoriser la mise en place de technologies issues du laboratoire d'expérimentation directement au service du patient en situation de vie quotidienne. En effet, l'utilisation du smartphone commence à se répandre dans les dernières études : pour la détection de trouble de la marche(84), et plus particulièrement le FOG et pré-FOG et permet de délivrer des indiçages auditifs grâce aux écouteurs (51,55,61,63,82,109). Certains ont pu être utilisé au domicile avec une fiabilité correcte par rapport aux mesures en laboratoire et des retours favorables des patients sur l'utilisation. (47,63)

4.4 Les localisations des dispositifs embarqués

L'emplacement des capteurs dépend du signe moteur étudié, placé au plus près la région anatomique à analyser : poignet et doigt pour l'étude des tremblements ; genoux, chevilles ou chaussures pour l'analyse de la marche et du freezing ; tronc pour l'étude des troubles posturaux et d'équilibre. En effet, l'étude des troubles axiaux nécessite des mesures de déplacement antéro-postérieur et médio-latéral du centre de masse, celui-ci est la plupart du temps situé près de la région lombaire, emplacement dédié pour les capteurs du tronc (72,75,86,87)

4.5 L'aspect méthodologique : avantages et limites

La revue proposée comporte moins de la moitié d'études de qualité méthodologique correcte : 23 RCT, de faible puissance par la faiblesse des effectifs , avec 50 sujets au maximum (88) et le plus souvent moins de 20 sujets. Les essais cliniques non contrôlés ont aussi pour la plupart de petits effectifs de patients, hormis quelques cohortes de taille conséquente : Jeon 85 MP (50), Kim 92 MP(95), Weiss 107 MP(89)

Seules 3 études sont multicentriques , regroupant pour chacune 2 à 3 centres différents : Skidmore(85), Ramsperger(91), Ginis (82)

4.6 Les contraintes liées aux dispositifs

La diversité des dispositifs embarqués est grande. Certains outils avec de trop nombreux capteurs semblent difficilement intégrés en pratique courante : longue durée d'installation, nécessite des examinateurs expérimentés,et multiplier le nombre de capteurs ne semble pas améliorer la fiabilité et la précision des mesures. Les études récentes tendent à réduire le nombre de capteurs au minimum nécessaires. Les conditions du laboratoire peuvent aussi influencer les mesures chez le patient Parkinsonien chez qui tout facteur émotionnel (stress) ou attentionnel (lieu inhabituel) peut majorer des symptômes, notamment les tremblements et le freezing. Les dispositifs utilisés au domicile sont donc intéressants mais peuvent impliquer un défaut d'observance ou des erreurs de manipulation. Des phénomènes OFF très sévères peuvent entraver le bon positionnement du dispositif et nécessitera une tierce-personne (47).

Cependant les quelques enquêtes de satisfactions auprès des patients montre que l'acceptation et l'adhésion aux outils proposés sont plutôt bonnes (47,110)

Concernant l'utilisation de ces outils dans l'évaluation thérapeutique, peu d'études se sont intéressées aux autres traitements que la L-dopa. Une étude présente l'utilisation auprès de patients porteur d'un stimulateur cérébral mais le but n'était pas d'évaluer l'efficacité de ce stimulateur. Ces faibles effectifs peuvent être expliqués par le fait que l'implantation d'un stimulateur cérébral intervient en cas d'échec de réponse aux traitements médicamenteux de première intention, les stades des patients étant souvent

plus sévères, avec d'éventuels troubles cognitifs ajoutés pouvant rendre délicat leur inclusion dans ce type d'étude. Cependant il n'est pas décrit d'interférence ou de contre-indications à l'utilisations de dispositifs embarqués en présence de stimulateurs cérébraux ou de pompes à apomorphine (66,86).

3 – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

3. Conclusions et perspectives

L'analyse instrumentale de la MP met à profit des technologies récentes, d'où le nombre important d'études publiées ces dix dernières années. Ces dispositifs sont nombreux et très disparates en fonction de la fonction recherchée et du pays de fabrication. Ce sont pour la plupart des prototypes ou des outils développés initialement pour la recherche et utilisés en laboratoire.

Bien que multiplier les fonctions d'un outil ne permet pas d'augmenter sa fiabilité, les propositions de dispositifs embarqués combinant une analyse par capteur inertiel d'un signe moteur (par exemple le freezing) et permettant un indiçage et/ou un rétrocontrôle sont très intéressantes car à un simple outil de mesure, on y associe un support rééducatif.

Ces dispositifs ne peuvent se substituer au clinicien, au thérapeute et ni au ressenti du patient mais ils sont d'une aide objective dans certaines situations : sujets peu symptomatiques ou à des stades précoces de la MP (valeur prédictive et de « dépistage »), ou au contraire à des stades plus avancés ou les troubles moteurs mais aussi cognitifs sont tels qu'une suppléance technologique (par exemple un indiçage auditif) peut être nécessaire au simple fait d'initier la marche.

La place de l'auto-rééducation dans la prise en charge actuelle des patients, quelle que soit la pathologie ou le handicap, est un sujet d'actualité alors que la télémédecine est en plein essor. On pourrait facilement imaginer l'utilisation des dispositifs présentés dans ces études pour le suivi des patients parkinsoniens au domicile. Le but n'est pas de supprimer la consultation régulière du patient auprès des cliniciens mais de le suivre sur son lieu de vie, avec ses contraintes matérielles (logement inadapté), familiales, professionnelles, géographique (éloignement d'un centre de référence).

Certaines technologies inspirées des jeux vidéo sont déjà utilisées et commercialisées pour le grand public et ont été étudiées à des fins de suivi clinique et rééducatif du sujet Parkinsonien (34,40,41). Des applications smartphones sont disponibles gratuitement et proposent des exercices de rééducation et conseils hygiéno-diététiques aux patients. Les enregistrements sur la durée et la validation des exercices permettent un suivi de la progression. Il convient de mettre en garde le patient à l'utilisation exclusive de ces applications, qui peut certes être un support mais ne remplace en aucun cas l'examen clinique ni la séance de rééducation avec le thérapeute.

L'utilisation de ces nouvelles technologies présente l'intérêt d'impliquer le patient dans sa rééducation et son suivi. Dans le cas de patients peu ou pas symptomatiques au début de leur maladie, ces outils peuvent être des éléments motivationnels à débuter ou poursuivre une prise en charge rééducative, inciter à la pratique d'une activité physique régulière, et aussi impliquer l'entourage du patient dans la connaissance de la maladie, la détection ou l'aggravation de symptômes.

En termes de coût, ces dispositifs restent accessibles : de 150 euros pour les montres connectées trouvées dans le commerce, à 4500 euros pour les combinaisons plus sophistiquées comprenant de multiples capteurs inertiels. L'analyse des données nécessite l'installation d'un logiciel sur PC. Ces prix sont modérés en comparaison de ceux nécessaires pour l'installation de laboratoires d'analyses du mouvement, qui avoisinent les dizaines voire centaines de milliers d'euros et nécessitent une infrastructure dédiée. Le non-remboursement et la nécessité de validation clinique de ces dispositifs par notre système de soins ne permet pas encore leur utilisation en dehors d'essais cliniques.

Des études randomisées contrôlées, avec des effectifs plus importants comparant les dispositifs entre eux permettraient de guider le choix de l'outil au type de patient (âge, sévérité de la maladie, présence ou non de troubles cognitifs), aux signes moteurs étudiés et au traitement

proposé : adaptation des posologies du traitement médicamenteux, et/ou intégrer l'outil à un programme de rééducation. L'intégration d'outils aux smartphones des patients et des cliniciens semble être une piste à exploiter.

De manière générale, même si l'acceptation et l'observance des dispositifs proposés ici semblent favorables, elles dépendent de leur fiabilité, de leur simplicité d'utilisation, et de leur coût.

Nous concluons ce travail par la présentation d'une étude pilote en cours sur le centre de rééducation neurologique de Lay-Saint-Christophe. Cette étude s'intitule BARO-PARK et s'intéresse à l'analyse baropodométrique de la marche dans la MP au moyen d'un outil semi-embarqué F-SCAN (Tekscan®) ; ce dispositif comporte un boitier porté à la taille et 2 boitiers au niveau des chevilles reliés à 2 semelles placées dans les chaussures du patient (*annexe 7*). Il permet des enregistrements de pressions plantaires, avec mesure d'impulsions relatives entre plusieurs zones de la plante du pied (hallux, talon, médio-pied), du trajet du centre de pression et des paramètres spatio-temporels (vitesse, longueur, amplitude et cadence du pas).

Cet outil est déjà utilisé dans notre centre pour l'analyse baropodométrique de pied varus équin spastique après bloc moteur anesthésique lorsqu'un geste de neurotomie est envisagé (111,112)

Le contexte de cette étude est développé par Pihet et al. en 2006 (45) qui utilise des semelles embarquées pour la mesure de paramètres baropodométriques chez des patients parkinsoniens à des stades divers de la maladie (UPDRS marche de 0 à 2 selon l' item 30 de l'examen moteur)

La conclusion de son étude est que la mesure de pressions plantaires permet une discrimination suffisamment fine pour que son utilisation soit envisagée dans la détection et le suivi clinique de patients atteints de la maladie de Parkinson, et on retrouve une sensibilité supérieure de la baropodométrie par rapport à l'examen clinique notamment aux stades précoces de la maladie.

Ce système d'analyse de la marche a déjà fait l'objet de publication chez le parkinsonien (113–115). Mais à notre connaissance, aucune étude n'a encore utilisé l'outil baropodométrique comme outil d'évaluation des effets d'un programme de rééducation dans la MP.

Les objectifs de cette étude sont :

-de comparer l'évolution de mesures baropodométriques (impulsions relatives de 8 zones plantaires), des paramètres spatio-temporels (vitesse, longueur et cadence du pas), avant et après un programme de rééducation sur tapis de marche d'une durée de 4 semaines.

-Etudier l'association entre les modifications baropodométriques et l'évolution des critères cliniques de marche.

Le protocole prévoit des évaluations cliniques et baropodométriques à court et moyen termes (4 semaines, 3 mois et 6 mois).

Nous incluons des patients parkinsoniens, de plus de 18 ans, de grades Hoehn and Yahr de 1 à 3, avec un UPDRS moteur item « marche » stades 1 ou 2 (item 30), stables sous traitement médicamenteux ou non médicamenteux (stimulateurs). Sont exclus les patients présentant des contre-indications à effectuer une rééducation sur tapis de marche (autres pathologies neuro-orthopédiques ou cardio-respiratoires invalidantes), ou présentant des troubles cognitifs (MMS<24).

Le programme de rééducation sur tapis de marche proposé est élaboré selon la revue systématique de Mehrholz en 2015(16) et comporte 4 semaines d'entrainements à raison de 3 séances d'1 heure par semaine, avec une augmentation progressive de la vitesse de marche et de l'inclinaison de la pente. L'exploitation des premiers résultats fera l'objet du travail de thèse en 2020 de Mathilde Guyot, interne de Médecine Physique et de Réadaptation.

Bibliographie

Bibliographie

1. Khalil R. [History of Parkinson's disease]. Hist Sci Med. 1996;30(2):215–20.

2. Hornykiewicz O. The discovery of dopamine deficiency in the parkinsonian brain. J Neural Transm Suppl. 2006;(70):9–15.

3. Raza C, Anjum R, Shakeel NUA. Parkinson's disease: Mechanisms, translational models and management strategies. Life Sci. 2019 Jun 1;226:77–90.

4. Maladie de Parkinson [Internet]. Collège des Enseignants de Neurologie. 2016 [cited 2018 Jun 9]. Available from: https://www.cen-neurologie.fr/deuxieme-cycle%20/maladie-parkinson

5. Carcaillon-Bentata L. Épidémiologie de la maladie de Parkinson, données nationales / Epidemiology of Parkinson's disease, French national data. :43.

6. Parkinson (maladie de) [Internet]. Inserm - La science pour la santé. [cited 2019 May 30]. Available from: https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/parkinson-maladie

7. Jankovic J. Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry. 2008 Apr 1;79(4):368–76.

8. Schrag A, Zhelev SS, Hotham S, Merritt RD, Khan K, Graham L. Heterogeneity in progression of prodromal features in Parkinson's disease. Parkinsonism & Related Disorders. 2019 May;S1353802019302342.

9. Azulay J-P, Assaiante C, Vaugoyeau M, Serratrice G, Amblard B. Exploration instrumentale des troubles de la marche. EMC - Neurologie. 2005 Feb;2(1):26–43.

10. Gracies J-M. [Neurorehabilitation in parkinsonian syndromes]. Rev Neurol (Paris). 2010 Feb;166(2):196–212.

11. Morris M, Iansek R, Smithson F, Huxham F. Postural instability in Parkinson's disease: a comparison with and without a concurrent task. Gait & Posture. 2000 Dec;12(3):205–16.

12. Walton CC, Shine JM, Hall JM, O'Callaghan C, Mowszowski L, Gilat M, et al. The major impact of freezing of gait on quality of life in Parkinson's disease. J Neurol. 2015 Jan;262(1):108–15.

13. Fox SH, Katzenschlager R, Lim S-Y, Barton B, Bie RMA de, Seppi K, et al. International Parkinson and movement disorder society evidence-based medicine review: Update on treatments for the motor symptoms of Parkinson's disease. Movement Disorders. 2018;33(8):1248–66.

14. Lee J, Choi M, Yoo Y. A Meta-Analysis of Nonpharmacological Interventions for People With Parkinson's Disease. Clin Nurs Res. 2017;26(5):608–31.

15. maladie_de_parkinson_et_syndromes_apparentes_-_rapport_delaboration.pdf [Internet]. [cited 2019 Apr 22]. Available from: https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2016-07/maladie_de_parkinson_et_syndromes_apparentes_-_rapport_delaboration.pdf

16. Mehrholz J, Kugler J, Storch A, Pohl M, Hirsch K, Elsner B. 2015 Treadmill training for patients with Parkinson's disease. Cochrane Database Syst Rev. 2015 Sep 13;(9):CD007830.

17. Bombieri F, Schena F, Pellegrini B, Barone P, Tinazzi M, Erro R. Walking on four limbs: A systematic review of Nordic Walking in Parkinson disease. Parkinsonism & Related Disorders. 2017 May;38:8–12.

18. Hackney ME, Earhart GM. Short duration, intensive tango dancing for Parkinson disease: An uncontrolled pilot study. Complementary Therapies in Medicine. 2009 Aug;17(4):203–7.

19. Fox C, Ebersbach G, Ramig L, Sapir S. LSVT LOUD and LSVT BIG: Behavioral Treatment Programs for Speech and Body Movement in Parkinson Disease [Internet]. Parkinson's Disease. 2012 [cited 2018 Jun 9]. Available from: https://www.hindawi.com/journals/pd/2012/391946/

20. Ramig L, Halpern A, Spielman J, Fox C, Freeman K. Speech treatment in Parkinson's disease: Randomized controlled trial (RCT). Mov Disord. 2018 Nov;33(11):1777–91.

21. Ebersbach G, Baas H, Csoti I, Müngersdorf M, Deuschl G. Scales in Parkinson's disease. Journal of Neurology. 2006 Sep;253(S4):iv32–5.

22. Pérennou D, Decavel P, Manckoundia P, Penven Y, Mourey F, Launay F, et al. Évaluation de l'équilibre en pathologie neurologique et gériatrique. Annales de Réadaptation et de Médecine Physique. 2005 Jul;48(6):317–35.

23. Choi S-M, Yoon G-J, Jung H-J, Kim BC. Analysis of characteristics affecting instrumental activities of daily living in Parkinson's disease patients without dementia. Neurol Sci. 2019 Apr 1;

24. Goetz CG, Poewe W, Rascol O, Sampaio C, Stebbins GT, Counsell C, et al. Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: Status and recommendations The Movement Disorder Society Task Force on rating scales for Parkinson's disease. Movement Disorders. 2004;19(9):1020–8.

25. Martinez-Martin P, Skorvanek M, Rojo-Abuin JM, Gregova Z, Stebbins GT, Goetz CG. Validation study of the hoehn and yahr scale included in the MDS-UPDRS. Movement Disorders. 2018 Apr 1;33(4):651–2.

26. The Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS): Status and recommendations. Movement Disorders. 2003;18(7):738–50.

27. Goetz CG, Tilley BC, Shaftman SR, Stebbins GT, Fahn S, Martinez-Martin P, et al. Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating

Scale (MDS-UPDRS): Scale presentation and clinimetric testing results. Movement Disorders. 2008 Nov 15;23(15):2129–70.

28. Conférence de consensus HAS [Internet]. [cited 2019 May 31]. Available from: https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/park.pdf

29. Nieuwboer A, Rochester L, Herman T, Vandenberghe W, Emil GE, Thomaes T, et al. Reliability of the new freezing of gait questionnaire: agreement between patients with Parkinson's disease and their carers. Gait Posture. 2009 Nov;30(4):459–63.

30. Cabillic M, Rass-Roumeguere D, Peron T, Gouilly P, Beaumont M, Chambellan A. Enquête sur la réalisation du test de marche de six minutes. Revue des Maladies Respiratoires. 2011 Nov;28(9):1111–23.

31. Mirelman A, Maidan I, Deutsch JE. Virtual reality and motor imagery: Promising tools for assessment and therapy in Parkinson's disease. Movement Disorders. 2013;28(11):1597–608.

32. Barrois R, Vidal P-P, Ricard D. Nouvelles techniques de quantification de la marche applicables en pratique clinique. Pratique Neurologique - FMC. 2015 Dec;6(4):282–92.

33. Espay AJ, Bonato P, Nahab FB, Maetzler W, Dean JM, Klucken J, et al. Technology in Parkinson's disease: Challenges and opportunities: Technology in PD. Movement Disorders. 2016 Sep;31(9):1272–82.

34. Galna B, Barry G, Jackson D, Mhiripiri D, Olivier P, Rochester L. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease. Gait Posture. 2014 Apr;39(4):1062–8.

35. Xu X, McGorry RW, Chou L-S, Lin J, Chang C. Accuracy of the Microsoft Kinect™ for measuring gait parameters during treadmill walking. Gait & Posture. 2015 Jul 1;42(2):145–51.

36. Kimberley TJ, Khandekar G, Skraba LL, Spencer JA, Van Gorp EA, Walker SR. Neural substrates for motor imagery in severe hemiparesis. Neurorehabil Neural Repair. 2006 Jun;20(2):268–77.

37. Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, Pillon B, Dubois B, Agid Y. The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. Science. 1996 Sep 13;273(5281):1564–8.

38. Prange S, Hermier M, Danaila T, Laurencin C, Thobois S. Imagerie cérébrale dans les syndromes parkinsoniens. La Presse Médicale. 2017 Mar;46(2):202–9.

39. Remy P. [Is functional imaging useful in the clinical evaluation of Parkinson's disease?]. Rev Neurol (Paris). 2003 May;159(5 Pt 2):3S57-61.

40. Maranesi E, Capitanelli L, Capecci M, Ghetti GG, Mercante O, Di Nardo F, et al. A stereophotogrammetric-based method to assess spatio-temporal gait parameters on healthy and Parkinsonian subjects. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2015;2015:5501–4.

41. Huurnink A, Fransz DP, Kingma I, van Dieën JH. Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks. J Biomech. 2013 Apr 26;46(7):1392–5.

42. Blin O, Ferrandez AM, Serratrice G. Quantitative analysis of gait in Parkinson patients: increased variability of stride length. Journal of the Neurological Sciences. 1990 Aug 1;98(1):91–7.

43. Hubble RP, Naughton GA, Silburn PA, Cole MH. Wearable Sensor Use for Assessing Standing Balance and Walking Stability in People with Parkinson's Disease: A Systematic Review. Maetzler W, editor. PLOS ONE. 2015 Apr 20;10(4):e0123705.

44. Tao W, Liu T, Zheng R, Feng H. Gait Analysis Using Wearable Sensors. Sensors. 2012 Feb 16;12(2):2255–83.

45. Pihet D, Moretto P, Defebvre L, Thevenon A. Analyse de la marche dans la maladie de Parkinson par enregistrement baropodométrique à l'aide de semelles embarquées. Revue Neurologique. 2006 Feb 1;162(2):208–13.

46. Pulliam CL, Heldman DA, Brokaw EB, Mera TO, Mari ZK, Burack MA. Continuous Assessment of Levodopa Response in Parkinson's Disease Using Wearable Motion Sensors. IEEE Trans Biomed Eng. 2018 Jan;65(1):159–64.

47. Johansson D, Malmgren K, Alt Murphy M. Wearable sensors for clinical applications in epilepsy, Parkinson's disease, and stroke: a mixed-methods systematic review. Journal of Neurology. 2018 Aug;265(8):1740–52.

48. Matar E, Shine JM, Naismith SL, Lewis SJG. Using virtual reality to explore the role of conflict resolution and environmental salience in freezing of gait in Parkinson's disease. Parkinsonism Relat Disord. 2013 Nov;19(11):937–42.

49. Xue F, Wang F-Y, Mao C-J, Guo S-P, Chen J, Li J, et al. Analysis of nocturnal hypokinesia and sleep quality in Parkinson's disease. Journal of Clinical Neuroscience. 2018 Aug;54:96–101.

50. Jeon H, Lee W, Park H, Lee H, Kim S, Kim H, et al. Automatic Classification of Tremor Severity in Parkinson's Disease Using a Wearable Device. Sensors. 2017 Sep 9;17(9):2067.

51. Kim H, Lee HJ, Lee W, Kwon S, Kim SK, Jeon HS, et al. Unconstrained detection of freezing of Gait in Parkinson's disease patients using smartphone. In: 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2015. p. 3751–4.

52. Delrobaei M, Memar S, Pieterman M, Stratton TW, McIsaac K, Jog M. Towards remote monitoring of Parkinson's disease tremor using wearable motion capture systems. J Neurol Sci. 2018 Jan 15;384:38–45.

53. Palmerini L, Rocchi L, Mazilu S, Gazit E, Hausdorff JM, Chiari L. Identification of Characteristic Motor Patterns Preceding Freezing of Gait in Parkinson's Disease Using

Wearable Sensors. Frontiers in Neurology [Internet]. 2017 Aug 14 [cited 2019 Jan 8];8. Available from: http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fneur.2017.00394/full

54. Silva de Lima AL, Evers LJW, Hahn T, Bataille L, Hamilton JL, Little MA, et al. Freezing of gait and fall detection in Parkinson's disease using wearable sensors: a systematic review. Journal of Neurology. 2017 Aug;264(8):1642–54.

55. Mazilu S, Calatroni A, Gazit E, Mirelman A, Hausdorff JM, Troster G. Prediction of Freezing of Gait in Parkinson's From Physiological Wearables: An Exploratory Study. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2015 Nov;19(6):1843–54.

56. Ferster ML, Mazilu S, Tröster G. Gait Parameters Change Prior to Freezing in Parkinson's Disease: A Data-Driven Study with Wearable Inertial Units. In: Proceedings of the 10th EAI International Conference on Body Area Networks [Internet]. Sydney, Australia: ICST; 2015 [cited 2019 Jan 20]. Available from: http://eudl.eu/doi/10.4108/eai.28-9-2015.2261411

57. Bachlin M, Plotnik M, Roggen D, Maidan I, Hausdorff JM, Giladi N, et al. Wearable Assistant for Parkinson's Disease Patients With the Freezing of Gait Symptom. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 2010 Mar;14(2):436–46.

58. Jovanov E, Wang E, Verhagen L, Fredrickson M, Fratangelo R. deFOG--A real time system for detection and unfreezing of gait of Parkinson's patients. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2009;2009:5151–4.

59. Ashhar K, Soh CB, Kong KH. A wearable ultrasonic sensor network for analysis of bilateral gait symmetry. In: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) [Internet]. Seogwipo: IEEE; 2017 [cited 2019 Mar 6]. p. 4455–8. Available from: https://ieeexplore.ieee.org/document/8037845/

60. Ahlrichs C, Samà A, Lawo M, Cabestany J, Rodríguez-Martín D, Pérez-López C, et al. Detecting freezing of gait with a tri-axial accelerometer in Parkinson's disease patients. Med Biol Eng Comput. 2016 Jan;54(1):223–33.

61. Mazilu S, Hardegger M, Zhu Z, Roggen D, Tröster G, Plotnik M, et al. Online detection of freezing of gait with smartphones and machine learning techniques. In: 2012 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and Workshops. 2012. p. 123–30.

62. Suppa A, Kita A, Leodori G, Zampogna A, Nicolini E, Lorenzi P, et al. l-DOPA and Freezing of Gait in Parkinson's Disease: Objective Assessment through a Wearable Wireless System. Frontiers in Neurology. 2017 Aug 14;8:406.

63. Capecci M, Pepa L, Verdini F, Ceravolo MG. A smartphone-based architecture to detect and quantify freezing of gait in Parkinson's disease. Gait & Posture. 2016 Oct;50:28–33.

64. Caramia C, Torricelli D, Schmid M, Munoz-Gonzalez A, Gonzalez-Vargas J, Grandas F, et al. IMU-Based Classification of Parkinson's Disease From Gait: A Sensitivity Analysis on Sensor Location and Feature Selection. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2018 Nov;22(6):1765–74.

65. Zago M, Sforza C, Pacifici I, Cimolin V, Camerota F, Celletti C, et al. Gait evaluation using inertial measurement units in subjects with Parkinson's disease. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2018 Oct 1;42:44–8.

66. Nguyen V, Kunz H, Taylor P, Acosta D. Insights into Pharmacotherapy Management for Parkinson's Disease Patients Using Wearables Activity Data. Stud Health Technol Inform. 2018;247:156–60.

67. Ireland D, Wang Z, Lamont R, Liddle J. Classification of Movement of People with Parkinsons Disease Using Wearable Inertial Movement Units and Machine Learning. Stud Health Technol Inform. 2016;227:61–6.

68. Bonora G, Mancini M, Carpinella I, Chiari L, Horak FB, Ferrarin M. Gait initiation is impaired in subjects with Parkinson's disease in the OFF state: Evidence from the analysis of the anticipatory postural adjustments through wearable inertial sensors. Gait & Posture. 2017 Jan;51:218–21.

69. Lord S, Rochester L, Baker K, Nieuwboer A. Concurrent validity of accelerometry to measure gait in Parkinsons Disease. Gait & Posture. 2008 Feb;27(2):357–9.

70. 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. 2017;98(4):622-630.e3.

71. Phan D, Horne M, Pathirana P, Farzanehfar P. Measurement of Axial Rigidity and Postural Instability Using Wearable Sensors. Sensors. 2018 Feb 7;18(2):495.

72. Chen T, Fan Y, Zhuang X, Feng D, Chen Y, Chan P, et al. Postural sway in patients with early Parkinson's disease performing cognitive tasks while standing. Neurological Research. 2018 Jun 3;40(6):491–8.

73. Zhirong Lin null, Houde Dai null, Yongsheng Xiong null, Xuke Xia null, Shi-Jinn Horng null. Quantification assessment of bradykinesia in Parkinson's disease based on a wearable device. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2017;2017:803–6.

74. 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 & Related Disorders. 2012 Nov;18(9):1017–21.

75. Mancini M, Carlson-Kuhta P, Zampieri C, Nutt JG, Chiari L, Horak FB. Postural sway as a marker of progression in Parkinson's disease: A pilot longitudinal study. Gait & Posture. 2012 Jul;36(3):471–6.

76. Lin W-Y, Chou W-C, Tsai T-H, Lin C-C, Lee M-Y. Development of a Wearable Instrumented Vest for Posture Monitoring and System Usability Verification Based on the Technology Acceptance Model. Sensors. 2016 Dec 17;16(12):2172.

77. Volpe D, Giantin MG, Fasano A. A wearable proprioceptive stabilizer (Equistasi®) for rehabilitation of postural instability in Parkinson's disease: a phase II randomized double-blind, double-dummy, controlled study. PLoS ONE. 2014;9(11):e112065.

78. Thomas I, Westin J, Alam M, Bergquist F, Nyholm D, Senek M, et al. A Treatment-Response Index From Wearable Sensors for Quantifying Parkinson's Disease Motor States. IEEE J Biomed Health Inform. 2018;22(5):1341–9.

79. Delrobaei M, Baktash N, Gilmore G, McIsaac K, Jog M. Using Wearable Technology to Generate Objective Parkinson's Disease Dyskinesia Severity Score: Possibilities for Home Monitoring. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2017 Oct;25(10):1853–63.

80. Lopane G, Mellone S, Chiari L, Cortelli P, Calandra-Buonaura G, Contin M. Dyskinesia detection and monitoring by a single sensor in patients with Parkinson's disease. Movement Disorders. 2015;30(9):1267–71.

81. Mera TO, Heldman DA, Espay AJ, Payne M, Giuffrida JP. Feasibility of home-based automated Parkinson's disease motor assessment. J Neurosci Methods. 2012 Jan 15;203(1):152–6.

82. 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 & Related Disorders. 2016 Jan;22:28–34.

83. Ginis P, Heremans E, Ferrari A, Bekkers EMJ, Canning CG, Nieuwboer A. External input for gait in people with Parkinson's disease with and without freezing of gait: One size does not fit all. Journal of Neurology. 2017 Jul;264(7):1488–96.

84. Casamassima F, Ferrari A, Milosevic B, Ginis P, Farella E, Rocchi L. A Wearable System for Gait Training in Subjects with Parkinson's Disease. Sensors. 2014 Mar 28;14(4):6229–46.

85. Skidmore FM, Mackman CA, Pav B, Shulman LM, Garvan C, Macko RF, et al. Daily ambulatory activity levels in idiopathic Parkinson disease. Journal of Rehabilitation Research & Development. 2008 Dec;45(9):1343–8.

86. Bhidayasiri R, Sringean J, Anan C, Boonpang K, Thanawattano C, Ray Chaudhuri K. Quantitative demonstration of the efficacy of night-time apomorphine infusion to treat nocturnal hypokinesia in Parkinson's disease using wearable sensors. Parkinsonism Relat Disord. 2016;33 Suppl 1:S36–41.

87. Bhidayasiri R, Sringean J, Thanawattano C. Impaired bed mobility: quantitative torque analysis with axial inertial sensors. Neurodegenerative Disease Management. 2017 Aug;7(4):235–43.

88. Dunnewold RJ, Hoff JI, van Pelt HC, Fredrikze PQ, Wagemans EA, van Hilten BJ. Ambulatory quantitative assessment of body position, bradykinesia, and hypokinesia in Parkinson's disease. J Clin Neurophysiol. 1998 May;15(3):235–42.

89. Weiss A, Herman T, Giladi N, Hausdorff JM. Objective Assessment of Fall Risk in Parkinson's Disease Using a Body-Fixed Sensor Worn for 3 Days. Bayer A, editor. PLoS ONE. 2014 May 6;9(5):e96675.

90. Cereda E, Pezzoli G, Barichella M. Role of an electronic armband in motor function monitoring in patients with Parkinson's disease. Nutrition. 2010 Feb;26(2):240–2.

91. Ramsperger R, Meckler S, Heger T, van Uem J, Hucker S, Braatz U, et al. Continuous leg dyskinesia assessment in Parkinson's disease –clinical validity and ecological effect. Parkinsonism & Related Disorders. 2016 May;26:41–6.

92. Stack E, Agarwal V, King R, Burnett M, Tahavori F, Janko B, et al. Identifying balance impairments in people with Parkinson's disease using video and wearable sensors. Gait Posture. 2018;62:321–6.

93. Lamont RM, Daniel HL, Payne CL, Brauer SG. Accuracy of wearable physical activity trackers in people with Parkinson's disease. Gait Posture. 2018;63:104–8.

94. Macht M, Kaussner Y, Möller JC, Stiasny-Kolster K, Eggert KM, Krüger H-P, et al. Predictors of freezing in Parkinson's disease: A survey of 6,620 patients. Movement Disorders. 2007;22(7):953–6.

95. Kim HB, Lee WW, Kim A, Lee HJ, Park HY, Jeon HS, et al. Wrist sensor-based tremor severity quantification in Parkinson's disease using convolutional neural network. Comput Biol Med. 2018 01;95:140–6.

96. Scanlon BK, Levin BE, Nation DA, Katzen HL, Guevara-Salcedo A, Singer C, et al. An accelerometry-based study of lower and upper limb tremor in Parkinson's disease. Journal of Clinical Neuroscience. 2013 Jun;20(6):827–30.

97. 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. Movement Disorders. 2016;31(9):1342–55.

98. Harris J. Vision in Parkinson's disease: what are the deficits and what are their origins? Neuro-Ophthalmology. 1998 Jan 1;19(3):113–35.

99. Müller T, Woitalla D, Peters S, Kohla K, Przuntek H. Progress of visual dysfunction in Parkinson's disease. Acta Neurologica Scandinavica. 2002;105(4):256–60.

100. Kuo AD, Speers RA, Peterka RJ, Horak FB. Effect of altered sensory conditions on multivariate descriptors of human postural sway. Exp Brain Res. 1998 Sep;122(2):185–95.

101. Henry SM, Fung J, Horak FB. Effect of Stance Width on Multidirectional Postural Responses. Journal of Neurophysiology. 2001 Feb 1;85(2):559–70.

102. De Nunzio AM, Grasso M, Nardone A, Godi M, Schieppati M. Alternate rhythmic vibratory stimulation of trunk muscles affects walking cadence and velocity in Parkinson's disease. Clin Neurophysiol. 2010 Feb;121(2):240–7.

103. Cai G, Huang Y, Luo S, Lin Z, Dai H, Ye Q. Continuous quantitative monitoring of physical activity in Parkinson's disease patients by using wearable devices: a case-control study. Neurol Sci. 2017 Sep;38(9):1657–63.

104. Lee SI, Daneault J-F, Golabchi FN, Patel S, Paganoni S, Shih L, et al. A novel method for assessing the severity of levodopa-induced dyskinesia using wearable sensors. In: 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) [Internet]. Milan: IEEE; 2015 [cited 2019 Mar 6]. p. 8087–90. Available from: https://ieeexplore.ieee.org/document/7320270/

105. Lemstra AW, Verhagen Metman L, Lee JI, Dougherty PM, Lenz FA. Tremor-frequency (3-6 Hz) activity in the sensorimotor arm representation of the internal segment of the globus pallidus in patients with Parkinson's disease. Neurosci Lett. 1999 May 28;267(2):129–32.

106. Koller WC, Vetere-Overfield B, Barter R. Tremors in early Parkinson's disease. Clin Neuropharmacol. 1989 Aug;12(4):293–7.

107. Ahlskog JE, Muenter MD. Frequency of levodopa-related dyskinesias and motor fluctuations as estimated from the cumulative literature. Movement Disorders. 2001;16(3):448–58.

108. Mazilu S, Calatroni A, Gazit E, Roggen D, Hausdorff JM, Tröster G. Feature Learning for Detection and Prediction of Freezing of Gait in Parkinson's Disease. In: Perner P, editor. Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 144–58. (Lecture Notes in Computer Science).

109. Mazilu S, Blanke U, Dorfman M, Gazit E, Mirelman A, Hausdorff JM. A Wearable Assistant for Gait Training for Parkinson's Disease with Freezing of Gait in Out-of-the-Lab Environments. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems. 5(1):31.

110. Fisher JM, Hammerla NY, Rochester L, Andras P, Walker RW. Body-Worn Sensors in Parkinson's Disease: Evaluating Their Acceptability to Patients. Telemed J E Health. 2016 Jan;22(1):63–9.

111. Khalil N, Chauvière C, Le Chapelain L, Guesdon H, Speyer E, Bouaziz H, et al. Plantar pressure displacement after anesthetic motor block and tibial nerve neurotomy in spastic equinovarus foot. J Rehabil Res Dev. 2016;53(2):219–28.

112. Khalil N, Beis J-M, Paysant J, Mainard D. Analyse instrumentale baropodométrique embarquée : place du système F-Scan® dans l'évaluation de la chirurgie du pied. Med Chir Pied. 2016 Sep 1;32(3):77–83.

113. Nieuwboer A, De Weerdt W, Dom R, Peeraer L, Lesaffre E, Hilde F, et al. Plantar force distribution in Parkinsonian gait: a comparison between patients and age-matched control subjects. Scand J Rehabil Med. 1999 Sep;31(3):185–92.

114. Kimmeskamp S, Hennig EM. Heel to toe motion characteristics in Parkinson patients during free walking. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2001 Nov;16(9):806–12.

115. Prätorius B, Kimmeskamp S, Milani TL. The sensitivity of the sole of the foot in patients with Morbus Parkinson. Neuroscience Letters. 2003 Aug;346(3):173–6.

ANNEXES

Annexe 1 : ECHELLE HOEHN & YAHR

0 : Asymptomatique

1 : Implication unilatérale seulement

2 : Implication bilatérale sans perte d'équilibre

3 : Implication légère à modérée ; instabilité posturale mais physiquement autonome ; a besoin d'assistance pour récupérer du test de pulsion.

4 : Incapacité sévère ; encore capable de marcher ou de tenir debout sans assistance.

5 : Obligé à être dans une chaise roulante ou alité à moins d'être aidé(e)

Annexe 2 : MDS-UPDRS , explications de la passation du test , version française :

La nouvelle version de l'UPDRS sponsorisée par la MDS se base sur la critique formulée par la TaskForce pour les échelles d'évaluation dans la maladie de Parkinson (Mov. Disord 2003 ; 18 : 738-750).

Par la suite, la MDS recruta un Président dans le but d'organiser un programme procurant à la communauté des mouvements anormaux, une nouvelle version de l'UPDRS qui maintiendrait le format général de l'UPDRS original, mais qui prendrait en compte les faiblesses et les ambigüités identifiées dans la critique de l'échelle. Le Président créa des sous-commissions composées d'un responsable et de membres. Chaque partie a été écrite par des membres appropriés des sous-commissions, puis a été revue et ratifiée par le groupe entier. Ces membres sont listés ci-dessous.

Le MDS ou UPDRS comprend 4 parties :
- Partie I : expériences non motrices de la vie quotidienne
- Partie II : expériences motrices de la vie quotidienne
- Partie III : examen moteur
- Partie IV : complications motrices

La partie I se compose de deux parties : 1A : concernant un nombre de comportements qui sont évalués par l'investigateur avec toutes les informations pertinentes provenant des patients et des aidants. 1B : est complétée par le patient avec ou sans l'aide de l'aidant, mais indépendamment de l'investigateur. Ceci peut néanmoins être revu par l'évaluateur pour s'assurer que toutes les questions ont une réponse claire et l'évaluateur peut aider en expliquant toute ambigüité éventuellement perçue.

La partie II est destinée à être un questionnaire auto-administré comme dans la partie IB, mais peut être revue par l'investigateur pour s'assurer qu'elle ait été remplie de façon complète et claire.

On note que les versions officielles de la partie 1A, partie 1B et partie II de la MDS-UPDRS n'ont pas d'évaluation séparée en condition ON et OFF. Cependant, pour des programmes ou des protocoles individuels, les mêmes questions peuvent être employées séparément pour évaluer le patient en condition ON et OFF.

La partie III comporte des instructions à donner par l'évaluateur au patient ou pour qu'il lui en fasse la démonstration ; cette partie est remplie par l'évaluateur.

La partie IV donne des instructions à l'investigateur ainsi que des instructions qui doivent être lues au patient. Cette partie intègre des informations provenant de patients avec les observations et les jugements cliniques de l'évaluateur et est remplie par l'évaluateur.

Annexe 3 : exemple d'outils embarqués décrits dans la littérature

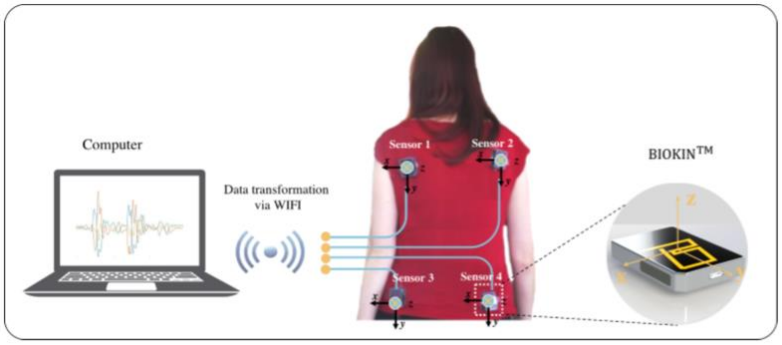
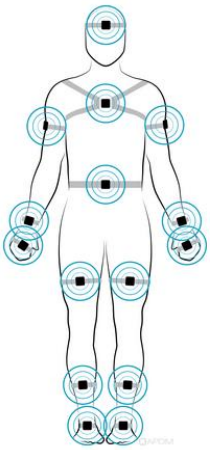


Figure 1. Experiment setup: Four BioKin™ sensors are attached on the back, connected to computer via wifi.

BioKin, capteur inertiel développé par la société TDK InvenSense® composé d'un accéléromètre et d'un gyroscope(67)



Outils sous formes de boitiers fixés à l'aide d'un bracelet ou d'une ceinture, développés par la société APDM® dans le domaine du sport(112) avec de nombreuses publications en pathologie, notamment pour la maladie de Parkinson (30,87)

Montre connectée (exemple Garmin® vívosmart): fréquence cardiaque, podomètre, consommation énergétique(89)

The Motion Capture System Tech-MCS ®(Technaid S.L., Spain) (60)

Figure 2: Clinical standard tasks to assess tremor at (a) rest, (b) posture, while wearing Synertial's IGS-180 wearable motion capture system, (c) a snapshot of the generated animation.

Evaluation des tremblements au moyen de 17 capteurs inertiels placé sur l'ensemble du corps, intégrés dans une combinaison : Synertial IGS–180®, UK(48)

Capteur de poignet et de doigts développé par la société Shimmer®

Equistasi®(73) :outil développé en Italie, apporte un rétrocontrôle proprioceptif . Déjà expérimenté dans la MP, il est utilisé dans d'autre pathologies neurologiques : sclérose en plaque, ataxie cérébelleuse et ataxie de Friedreich.

Annexe 4 , figure1

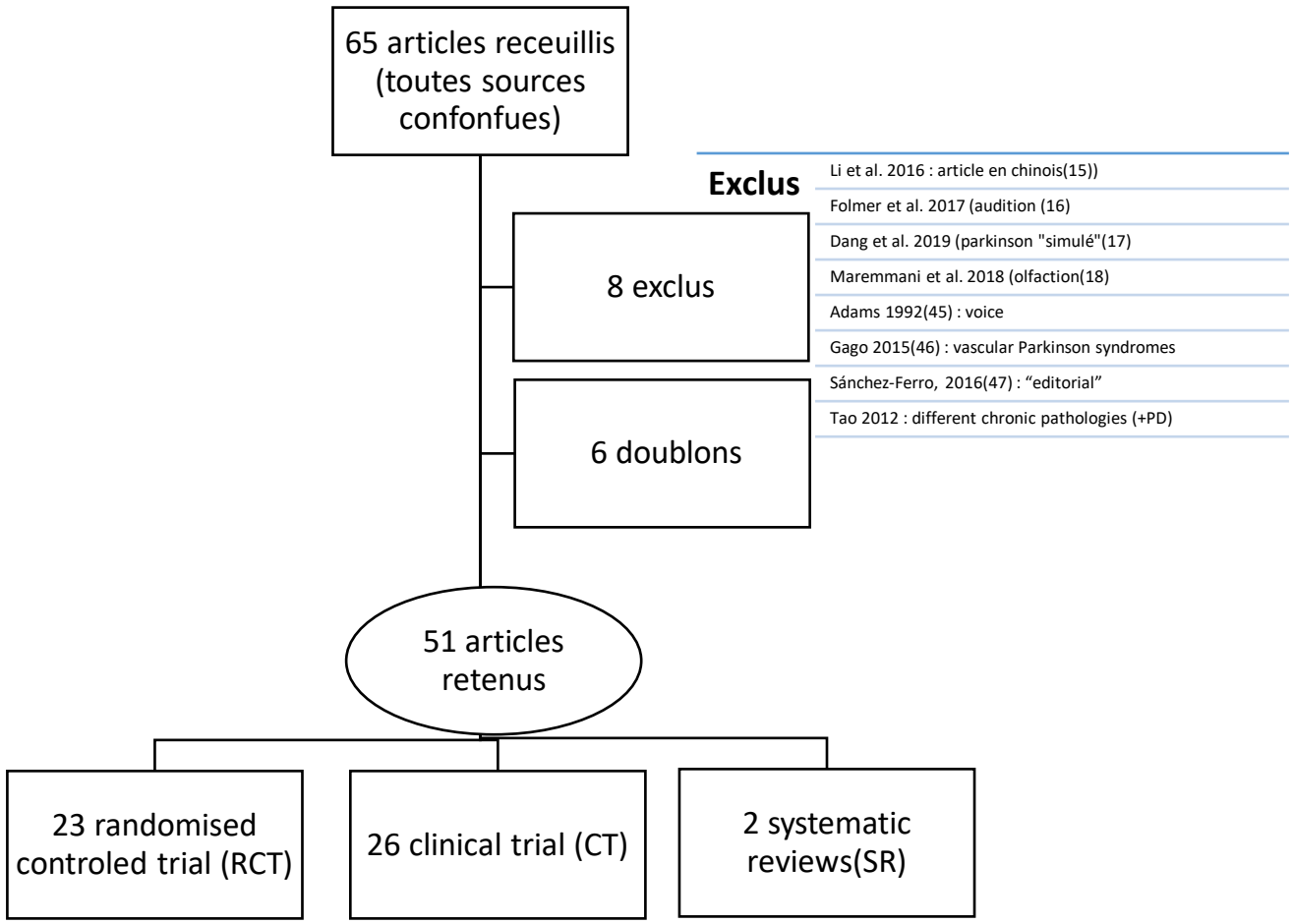


Figure 1 : Organigramme représentant l'organisation de la sélection des articles de la revue

Annexe 5, figure 2

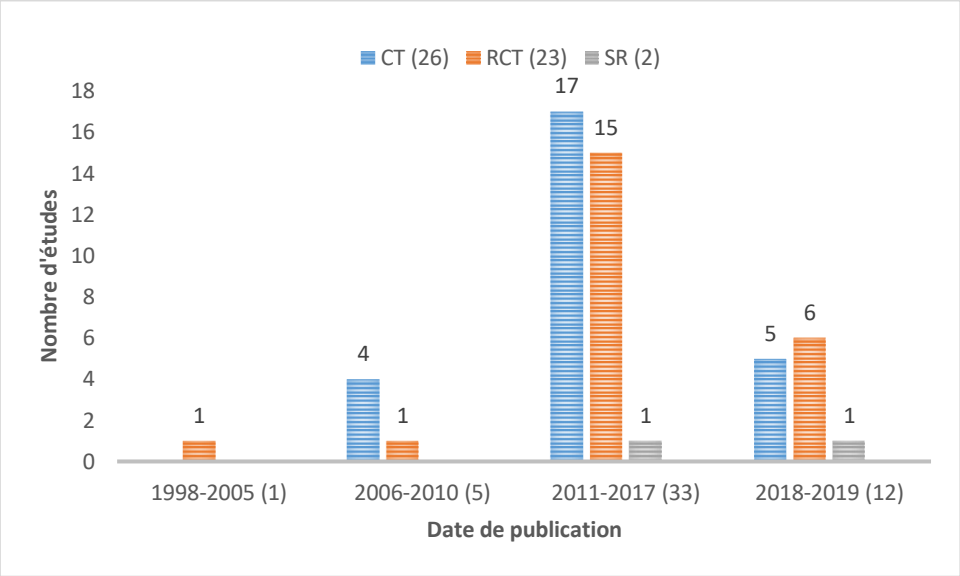


Figure 2 : représentation du nombre et du type d'études par années de publication

Annexe 6 : Résultats de l'article : Tableau pour chaque signe moteur

Légende des tableaux :

Type d'études : RCT= randomized controlled trial (essai randomisé contrôlé) , CT=clinical trial (essai Clinique non contrôlé), SR= systematic review (revue systématique)

Type de dispositif embarqué : A=accéléromètre, G=gyroscope, M=magnétomètre

Lieux de mesure : HB= home-based (au domicile), Labo=Laboratoire, Hosp= établissement hospitalier.

Population : CS=sujets contrôles sains, HY= échelle de Hoehn And Yahr , ND=non disponible,

Tableau I : Tremblement de repos (page 79)

Tableau II : Freezing-of-gait= FOG(page 81)

Tableau III : étude de la marche(page 83)

Tableau IV : hypokinésie, bradykinésie(page 86)

Tableau V : chutes et risque de chutes(page 88)

Tableau VI : effets et complications des traitements(page 90)

Tableau VII : autres articles(page 91)

Tableau I : Tremblement de repos, 4 articles

Auteur, Date	**Type d'étude**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Jeon 2017(50)	CT	A, G Montre-poignet Labo	Video : UPDRS III item tremblements	85 MP	ND	Grand échantillon
Kim 2018 (95)	CT	A, G Capteurs de poignet et de doigt Labo	Video : UPDRS III item tremblements	92 MP	HY 2-3	Grand échantillon
Delrobaei 2018(52)	**RCT**	A,M,G 17 capteurs « full-body » dont capteur au niveau de la tête Labo	Video : UPDRS III item tremblements	40 MP 22 CS	HY 1-3 ON +OFF	**TSS Corrélation avec UPDRS**
Scanlon 2013 (100)	**RCT**	A 4 extrémités Labo	Annotations temps réel (1 examinateur)	16 MP 8 CS	HY1.9 Stades **précoces** (UPDRS tremblement < ou =2)	**Membres inférieurs** Tâches cognitives Petit échantillon

*TSS= Tremor Severity Score

Tableau II: Freezing-of-gait= FOG, 15 articles

Auteur, Date	**Type d'étu-de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Palmerini , 2017(53)	CT	A,G Lombaire, chevilles Labo	Video: UPDRS III NFOG-Q*	11 MP	HY 2-4 ON	**Pré-FOG** Petit échantillon
Silva De lima 2017(54)	**SR**	A Tibia pour la plupart Labo	Enregistrement : (UPDRS) Ou annotations temps réel	1 à 48 MP	HY 2-4 Stades modérés+ ++	Petits échantillons Seulement 3 au domicile
Mazilu, 2015 (55)	CT	A, Smartphone écouteurs Chevilles+ **ECG Conductance cutanée** Labo	Vidéo Et annotations temps réel (2 examinateurs)	11 MP	HY 2-4 ON	**Prédiction des FOG Indiçage auditif** Petits échantillons
Ferster, 2015(56)	RCT	A, G, M Chevilles Labo	Annotations temps réel	5 MP	HY 2-4 ON	**Pre-FOG** Très petit échantillon
Bachlin 2010 (57)	CT	A, écouteurs Jambes, cuisses, tronc Labo	Vidéo Et annotations temps réel (2 examinateurs)	8 MP	HY 2-4 **OFF**	**Indicage** auditif Petit échantillon
Jovanov 2009 (58)	CT	A, G Genou (1 capteur) Labo	Enregistrements vidéo	5 MP avec FOG	ND	**Indicage** auditif Petit échantillon
Kim 2015(51)	CT	A,G Smartphone Taille, chevilles, poches **HB**	Vidéo avec smartphone	15 MP	ND	Utilisation au domicile Petit échantillon

Auteur, Date	**Type d'étu -de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Ashhar 2017(59)	CT	A,G Chevilles, transmetteurs au mur Labo	QAG*	**5 sujets non symptomatiques**	-	**Pre-FOG** Petit échantillon Labo uniquement
Ginis 2016 (82)	RCT	A, Smartphone, Écouteurs Chaussures **HB**	Entrainement à la marche conventionnel	40 MP 40 CS	HY 2-3 ON	**Multicentrique** (2 centres) **Indiçage et feedback** auditifs
Ginis 2017(83)	CT	A, G, M Chaussures Casque Labo	NFOG-Q	13 MP- FOG 15 MP sans FOG	HY1-3 ON	**Indiçage et feedback** auditifs
Ahlrichs 2016(60)	CT	A, G, M Taille Labo	Vidéo et annotations temps réel	8 MP-FOG 12 MP- sans FOG	**ON+OFF**	Petit échantillon
Mazilu 2012 (61)	CT	A, Smartphone Chevilles, genoux, hanches Labo	Vidéo	10 MP FOG	ND	**Indiçage** auditif et **feedback** vibro-tactile
Suppa 2017(62)	RCT	A,G Tibias, taille Labo	Vidéo	28 MP- FOG 16 MP sans FOG 16 SC	HY2.6 **ON + OFF**	Corrélation avec **doses de L-Dopa**
Mazilu 2015 (109)	CT	A, Smartphone écouteurs Chevilles Labo +**HB**	Vidéo et annotations temps réel	9 MP FOG	HY 2-3	**Indiçage** rythmique auditif + **exercices moteurs au domicile** Petit échantillon

Auteur, Date	**Type d'étu -de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Capecci, 2016(63)	CT	A, smartphone Taille Labo	Enregistrements vidéo	20 MP FOG	HY3.6 ON	Pas de corrélation clinique pour les 3 types de FOG prouvée

* NFOG-Q= new freezing of gait -questionnaire ; QAG = quantitative Analysis of Gait

Tableau III : étude de la marche, 10 articles

Auteur, Date	**Type d'étu -de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Caramia 2018(64)	RCT	A, G, M 8 capteurs : pieds, jambes, cuisses, poitrine, lombaire Labo	ND	25 MP 25 CS	HY 1-3	Pas d'analyse aux membres supérieurs
Zago 2018(65)	CT	A, G, M Lombaire(L5) Labo	QAG*	22 MP	UPDRS 28+/-9 (/108)	Longueur des pas, erreurs sur les temps de marche
Lamont 2018(93)	CT	A **Capteurs de poignet (vendu dans le commerce)** Labo	Autres A. utilisés en labo	33 MP	HY 1-2 ON	Vo2+FC **Possibilité d'utilisation au domicile**

Auteur, Date	**Type d'étu-de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Nguyen 2018(66)	CT	A, G, M 5 capteurs : dos et 4 membres Labo	Test de marche de 6 minutes (6MWT)	14 MP (dont 2 avec stimulateurs cérébraux)	HY 2	**Corrélation** clinique avec UPDRS III Petit échantillon
Ireland 2016(67)	CT	A, G 5 capteurs : jambes, poignets, dos Labo	MDS-UPDRSIII 6MWT	14 MP	HY 2	Prédiction sévérité Petit échantillon
Casamas-sima 2014(84)	CT	A, G, M, Smartphone Ecouteurs 3 capteurs : chaussures, tronc **HB**	Plateforme de marche	5 MP	HY 1-3	Petit échantillon
Bonora 2017(68)	RCT	A, G 3 capteurs : jambes , bas du dos Labo	Plateforme de marche	10 MP 12 CS	HY 2.5 **OFF**	APAs=**antici-patory postural adjustments**
Lord 2008 (102)	RCT	A 5 capteurs : membres inférieurs et tronc Labo	GAITRite (plateforme de marche)	12 MP 11 CS	HY 1-4	Petit échantillon
Skidmo-re 2008 (85)	CT	« Activity sensor » Malléole externe droite (1 capteur) **HB**	UPDRS	26 MP	HY 2-4 ON +OFF	**Multicentri-que**

Auteur, Date	**Type d'étu-de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Carpinel-la 2017 (70)	RCT pilot	A, G, M Gamepad 6 capteurs : cuisses, tibia, taille thorax Labo	BBS* 10MWT*	42 MP: 17 avec gamepad 20 MP contrôles sans gamepad	HY 2-4 ON	**Feedback acoustique** pour rééducation marche et équilibre

* BBS =Berg Balance Scale, 10MWT =10-meter Walk Test, QAG = quantitative Analysis of Gait

Tableau IV : hypokinésie, bradykinésie 7 articles

Auteur, Date	**Type d'étude**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Phan 2018(71)	RCT	A, G 4 capteurs : 2 haut du dos, 2 bas du dos Labo	HY	15 MP 8 CS	Min HY 3	**Forte corrélation avec HY** Petit échantillon
Xue 2018(49)	CT	A, G Polysomnographie 5 capteurs : abdomen, chevilles, poignets Labo	Sleep quality questionnaire	29 MP (17 IBM, 12 non IBM *)	HY 2-3	Scores de **qualité du sommeil**
Chen 2018(72)	RCT	A Lombaire (L4-L5) Labo	Titmus stereo test plates	23 **stades précoces de MP, non traités** 23CS	HY 1 UPDRS III posture 0 or 1	
Zhirong Lin 2017(73)	RCT	A, G, M Poignets, doigts Labo	UPDRS	15 MP 5 CS	UPDRS III bradykinésie à 3	Bonne **corrélation** des prédictions et scores cliniques
Bhidayasiri 2016(86)	RCT	A, G Tronc **HB**	UPDRS axial PDSS* NADCS*	10 MP	HY 3.25	Qualité du sommeil **Efficacité apomorphine** Petit échantillon
Bhidayasiri 2017(87)	CT	A,G Tronc **HB**	UPDRS axial PDSS* NADCS*	17 MP 17 CS	HY 2.59	**Mobilité durant le sommeil**

Auteur, Date	**Type d'étu-de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Dunnewold 1998 (88)	RCT	A 2 capteurs : Sternum, membre inférieur dominant **HB**	UPDRS	50 MP 43 CS	HY 2.6 ON	

*IBM =impaired bed mobility, *PDSS= , *NADCS= Nocturnal Akinesia Dystonia and

Cramp score

Tableau V : chutes et risque de chutes, 6 articles

Auteur Date	**Type d'étude**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Lin 2016 (76)	CT	A Veste 5 capteurs : cervical, poitrine, L3, hanches droite et gauche Labo	-	50 personnes âgées (âge non précisé) dont MP	ND	Mesures régulières pour **prédiction**
Stack 2018 (92)	RCT	A, G 5 capteurs : dos, chevilles, poignets Labo **+ HB**	Vidéo	24 MP 24 CS	HY 1-**5**	Phase de **pré-chute** (« near fall »)
Weiss 2014 (89)	CT	A, G Lombaire **HB**	Calendrier des chutes NFOG-Q UPDRS DGI, BBT, TUG, GDS, ASBCS*	**107** MP	HY 2.6 (1-4)	Suivi **long-terme** (1 year) Echantillon de grande taille
Volpe 2014 (77)	RCT pilot	3 stabilisateurs proprioceptifs – générateurs de vibration (patchs) C7, tendons des soleus Labo	Mesures posturographiques (plateforme stabilométrique) Nombres de chutes UPDRS FES BBS ABC*	40 MP : 2 groupes (avec et sans dispositif actif)	HY 3	**Programme de rééducation**
Nanh-oe 2012 (74)	CT	A,G Tronc, tête Labo		20 MP 10 CS	HY1.6 ON	**Troubles de l'équilibre** **Biofeedback** vibro-tactile

Auteur Date	**Type d'étu-de**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Mancini 2012(75)	RCT pilote	A, G Lombaire (L5) Labo	UPDRS moteur III	13 MP 12 CS	Stades précoces **Non traités** ou faible dose de L-dopa	**Longitudina-le , suivi long (12 mois)** Petit échantillon

*DGI=Dynamic Gait Index, BBT = the Berg Balance Test, TUG= Timed Up and Go, GDS= Geriatric Depression Scale, ASBCS= Activity-specific Balance Confidence Scale

Berg Balance Scale (BBS), Falls Efficacy Scale (FES), and the Activities-specific Balance Confidence (ABC)

Tableau VI : effets et complications des traitements, 7 articles

Auteur, Date	**Type d'étude**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Thomas 2018(78)	RCT	A,G Poignets Labo	Vidéo (3 examinateurs) UPDRS	19 MP 22 CS	ON	Fluctuations motrices Dyskinésies **Fiabilité test-retest**
Delrobaei 2017(79)	RCT	A,G, M 17 capteurs Labo	Enregistrements videos	13 MP avec stim.intracérébrale 12 HC	HY 2-3 ON	« full-body dyskinesia » **DSS corrélé avec UDysRS***
Cai 2017(103)	RCT	Montre de sport (kcal, nombre de pas, vitesse) **HB** (5 jours)	UPDRS II et III	21 MP 20 CS	HY 1-4 ON	Fluctuations motrices Corrélation UPDRS, dose L-Dopa et activité physique
Lee 2015(104)	CT	A 8capteurs : bras, poignets, cuisses et jambes Labo	Vidéo et annotations temps réel (RDS*)	7 MP (3 avec agonistes dopaminergiques)	ND	**Agonistes dopaminergiques** Dyskinésies
Lopane 2015(80)	RCT	A, G lombaire Labo	CDRS*	46 MP L-dopa 18MP **de novo, non traités** 18CS	HY 2.3(l-opa) HY 1.7(de novo)	Mesures des **concentrations de L-dopa**
Ramsperger 2016 (103)	RCT	A, G Chevilles Labo +**HB**	Vidéo UDRS*	23MP (7dyskinésies) 13 CS	HY 2.5 ON	**Multicentrique**
Cereda 2010(90)	CT	Brassard : consommation d'énergie, nombre de pas **HB**	Dyskinesia	6 MP	ND	Bénéfices des régimes pauvres en protéines Petit échantillon

*DSS= dyskinesia severity score, UDysRS =UDRS= Unified Dyskinesia Rating Scale

CDRS= Clinical Dyskinesia Rating Scale, RDS= Rush Dyskinesia Scale

Tableau VII : autres articles

Auteur, Date	**Type d'étude**	**Type de dispositif embarqué/ Emplacements des capteurs/ Lieux de mesure**	**Gold standard /Outil de comparaison**	**Nombre de sujets (MP/CS)**	**Stade de la MP/ ON/OFF**	**Avantages / Limites**
Johansson 2018(47)	SR	A, G Labo, Hosp, HB	ND	MP (21 études) + épilepsie, AVC	ON + OFF	Signes moteurs cardinaux et effets adverses des traitements
Mera 2012(81)	RCT Pilot	A, G Capteur de doigt et poignet **HB**	UPDRS III (tremblement) MBRS* (bradykinésie) Complications motrices	10 MP 10 CS	ND	**Adaptations** des posologies de L-dopa Petit échantillon

*MBRS= Modified Bradykinesia Rating Scale

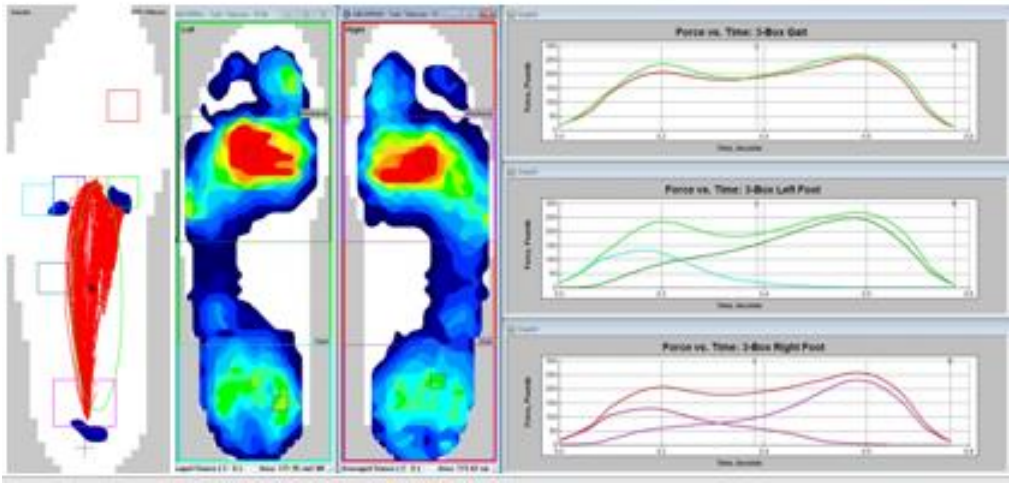
Annexe 7 : illustrations du projet BARO-PARK

Flexible, thin in-shoe sensors give information about what's occurring inside the shoe.

The unique sensor design allows the sensor to be trimmed to fit nearly any shoe.

F-SCAN

Tekscan™



RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Les évaluations cliniques utilisées en pratique courante, génériques ou spécifiques de la maladie de Parkinson (MP), manquent d'objectivité, de précision et de reproductibilité dans l'aide au diagnostic et le suivi de l'évolution des signes caractérisant cette pathologie : tremblements de repos, bradykinésie, freezing, dyskinésies. De nouvelles technologies ont été développées, en particulier des systèmes embarqués, permettant le recueil de données plus précises. Cette revue de littérature présente les dispositifs instrumentaux embarqués disponibles pour l'analyse des signes moteurs de la MP. Les outils diffèrent par leur objectif clinique : contributions diagnostique, prédictive et thérapeutique (indiçage, feedback). Le faible coût et la facilité d'utilisation au domicile sont des arguments supplémentaires pour leur développement dans le suivi et le traitement de patients parkinsoniens.

TITRE EN ANGLAIS:

Place of wearable instrumental analysis in the assessment of motor signs in Parkinson's disease: review

THÈSE : MÉDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION – ANNÉE 2019

MOTS CLEFS: Parkinson's disease; wearable devices; freezing; gait; tremor; bradykinesia

INTITULÉ ET ADRESSE :
UNIVERSITÉ DE LORRAINE
Faculté de Médecine de Nancy
9, avenue de la Forêt de Haye
54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex