



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique 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 : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

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

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTERE DE LA SANTE
REGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

La réalité augmentée influe-t-elle sur le freezing parkinsonien : une revue systématique

Sous la direction de ZACZYK Antoine

Mémoire présenté par **Valentin
BARBIERI,**

Etudiant en 4^{ème} année de masso-kinésithérapie, en vue de valider l'UE28 dans le cadre de la formation initiale du Diplôme d'Etat de Masso-kinésithérapeute.

Promotion 2017-2021



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné(e), ...BARBIERI *Valentin*.....

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Nancy, le 29/04/2021

Signature

Remerciements :

Je voudrais remercier mon directeur de mémoire M. ZACZYK pour son temps et son investissement dans ce travail. Je le remercie pour son aide indispensable, ses conseils, ses relectures et corrections qui m'ont permis de réaliser ce mémoire. Nos échanges m'ont permis d'acquérir une rigueur de travail et une méthodologie de recherche que je n'aurais pas cru atteindre.

Je remercie également Mme JAMBEAU pour son expertise et son suivi tout au long de la rédaction de ce travail. Son aide pour me lancer dans ce projet a été essentielle. Je la remercie pour son suivi lors de mon parcours à l'ILFMK.

Je remercie M. FERRING pour ses conseils en neurologie, pour sa disponibilité ainsi que son aide essentielle lors de ma recherche de directeur de mémoire.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'ILFMK pour m'avoir permis d'acquérir les connaissances et les compétences nécessaires à ma formation ainsi que tous les professionnels de santé que j'ai pu rencontrer au cours de mes stages pour les connaissances qu'ils m'ont transmises et leur confiance.

Enfin, j'aimerais remercier mes collègues et amis ainsi que ma compagne pour m'avoir épaulé et soutenu tout au long de ce cursus.

La réalité augmentée influe-t-elle sur le freezing parkinsonien : une revue systématique

Introduction : Le freezing touche 40 à 70% des personnes atteintes de la maladie de Parkinson idiopathique. Il se caractérise par une incapacité de la personne à lever et avancer le pied. Ce phénomène se produit généralement à l'initiation de la marche ou lors de changements de direction. Il réduit la qualité de vie et majore le risque de chute. Diverses méthodes existent pour le diminuer dont les indiçages visuels. Aujourd'hui, de nouvelles technologies émergent et permettent un nouveau type d'indiçage visuel : les dispositifs de réalité augmentée. L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'effet de la réalité augmentée sur le freezing parkinsonien. **Méthode** : Une revue systématique a été réalisée et a interrogé plusieurs bases de données : Pubmed, Science Direct, PEDro, Cochrane Library, Google Scholar, Kinédoc, Australian New Zealand Clinical Trials Registry, Clinicaltrials.gov et EUClinicaltrialsRegister. Le critère de jugement principal est le freezing. Les critères secondaires sont les paramètres de marche et l'avis des utilisateurs. **Résultats** : Six études ont été sélectionnées : quatre études en crossover, une série de cas et une étude de cas. La réalité augmentée ne montre pas de changement significatif sur le freezing. Elle n'améliore pas les paramètres de marche et les détériore selon certaines études. **Discussion** : A l'heure actuelle, la réalité augmentée ne semble pas montrer de réel intérêt sur le freezing et les paramètres de marche. Cependant, les patients semblent apprécier cet indiçage malgré des résultats mitigés. De futures études de plus haut niveau de preuve sur une plus longue durée d'entraînement sont à réaliser pour pouvoir confirmer ou infirmer ces résultats.

Mot clés : freezing, maladie de Parkinson, réalité augmentée

Does augmented reality influence parkinsonian freezing : a systematic review

Introduction : Freezing affects 40 to 70% of people with idiopathic Parkinson's disease. It is characterized by an inability of the person to lift and move the foot forward. This phenomenon usually occurs during gait initiation or turning. It reduces the quality of life and increases the risk of falling. Several methods exist to fight against this disorder including visual cues. Today, new technologies are emerging that allow a new type of visual cues : augmented reality devices. The objective of this work is to evaluate the effects of augmented reality on parkinsonian freezing. **Method** : A systematic review was performed and examined several databases: Pubmed, Science Direct, PEDro, Cochrane Library, Google Scholar, Kinédoc, Australian New Zealand Clinical Trials Registry, Clinicaltrials.gov and EUClinicaltrialsRegister. The primary outcome measure is the freezing. The secondary outcomes are the quality of gait and user experience. **Results** : Six studies were selected: Four crossover studies, one case series and one case study. Augmented reality does not show any significant change in freezing. It doesn't improve walking and is deleterious according to some studies. **Discussion** : At present, augmented reality does not seem to show any real interest in freezing and walking parameters. However, patients seem to appreciate this cue despite mixed results. Future studies with a higher level of evidence are needed to generalize these results.

Key words : freezing, Parkinson's disease, augmented reality

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	1
1.1. La maladie de Parkinson idiopathique.....	1
1.1.1. Epidémiologie	1
1.1.2. Causes.....	1
1.2.3. Facteurs de risque	1
1.2.4. Physiopathologie.....	2
1.2.5. Evaluation de la maladie de Parkinson idiopathique.....	3
1.2.5. Les symptômes	4
1.2.5.1. Les symptômes non moteurs	4
1.2.5.2. Les symptômes moteurs	5
1.3 Freezing.....	5
1.3.1. Définition.....	5
1.3.2. Types de freezing.....	6
1.3.3. Evaluation	6
1.3.4. Conséquences	7
1.3.5. Prise en charge.....	9
1.3.5.1. Prise en charge médicamenteuse	9
1.3.5.2. Prise en charge chirurgicale.....	10
1.3.5.3. Prise en charge rééducative.....	10
1.3.5.3.1. Stratégie intentionnelle.....	12
1.3.5.3.1. Indicage auditif	12
1.3.5.3.2. Indicage visuel	12
1.4. Apport des nouvelles technologies.....	13
1.4.1. Réalité augmentée	13
1.4.2. Réalité virtuelle	14
1.4.3. Démocratisation de la réalité augmentée	15
1.5. Freezing et réalité augmentée	15
1.6. Problématique.....	16
2. MATERIEL ET METHODE	17
2.1. Modèle PICO.....	17
2.3. Recherche documentaire	19
2.3.1. Base de données et équation de recherche	19
2.3.2. Sélection des articles	22
2.3.3. Extraction des données.....	22

3.	RESULTATS	23
3.1.	Sélection des études.....	23
3.2.	Freezing.....	29
3.2.1.	Evaluation du freezing.....	29
3.2.2.	Effets sur le freezing	30
3.3.	Paramètres de marche	31
3.3.1.	Evaluation des paramètres de marche	31
3.3.2.	Effets sur les paramètres de marche.....	32
3.3.2.1.	Longueur du pas	32
3.3.2.2.	Temps de l'épreuve.....	33
3.3.2.3.	Vitesse de marche	33
3.3.2.4.	Cadence	33
3.4.	Avis des utilisateurs	35
3.4.1.	Evaluation de l'avis des utilisateurs	35
3.4.2.	Effets sur l'avis des utilisateurs	35
4.	DISCUSSION	36
4.1.	Apport sur le freezing.....	36
4.1.1.	Synthèse des résultats.....	36
4.1.2.	Port des lunettes et freezing.....	36
4.1.3.	Expérience antérieure avec la réalité augmentée.....	37
4.1.4.	Réalité augmentée et troubles des fonctions exécutives	37
4.1.5.	Effet immédiat et moyen terme.....	38
4.2.	Apport sur les paramètres de marche	38
4.2.1.	Apport sur la longueur du pas	38
4.2.2.	Apport sur la vitesse de marche	39
4.2.3.	Apport sur la cadence de marche.....	39
4.3.	Intérêt de l'utilisateur	40
4.4.	Limites de notre étude	42
4.5.	Futures études.....	42
	CONCLUSION	43
	BIBLIOGRAPHIE	
	ANNEXES.....	

Liste des abréviations

CARE : Clinical Case Reporting Guideline Development

FOG-Q : Freezing Of Gait-Questionnaire

HAS : Haute Autorité de Santé

MDS-UPDRS : Movement Disorder Society- Unified Parkinson's Disease Rating Scale

MMSE : Mini-Mental State Examination

MoCA : Montreal Cognitive Assessment

MPi : Maladie de Parkinson idiopathique

New FOG-Q : New Freezing Of Gait-Questionnaire

PDCS : Parkinson's Disease Composite Scale

PRISMA : Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

RoB 2 : Risk Of Bias 2.0

ROBINS-I : Risk Of Bias In Non randomized Studies of Interventions assessment tool

1. INTRODUCTION

1.1. La maladie de Parkinson idiopathique

1.1.1. Epidémiologie

La maladie de Parkinson idiopathique (MPi) est une pathologie neuro-dégénérative chronique du système nerveux central. Dans le monde, en 2019, sa prévalence est d'une à deux personnes pour 1000 habitants et affecte 1 % des plus de 60 ans. Son incidence varie entre dix et vingt nouveaux cas par an pour 100 000 habitants (1). C'est la deuxième maladie neuro-dégénérative la plus fréquente après la maladie d'Alzheimer dans le monde (2).

1.1.2. Causes

Dans 90% des cas, l'origine de la pathologie est inconnue (3). Cependant, pour 5 à 10% des cas, la maladie est due à une modification génétique. Une mutation du gène « leucine-rich repeat kinase 2 » ou LRRK2 (4) entrainerait l'apparition de la maladie de Parkinson. L'exposition à des facteurs environnementaux pourrait également entrainer la survenue de la MPi : l'habitat en milieu industriel ou rural avec une exposition prolongée aux métaux lourds (mercure, plomb, cadmium) et aux pesticides (5,6).

1.2.3. Facteurs de risque

Il existe plusieurs facteurs de risque pouvant augmenter le taux d'apparition de cette pathologie. Les facteurs de risque génétiques comme des variations d'alpha-synuclein peuvent influencer sa survenue (1).

L'exposition à certains facteurs favoriserait l'apparition de la maladie. Il existe notamment :

- La prise de méthamphétamine
- La présence de mélanome
- Les traumatismes crâniens. Cette pathologie est également plus répandue chez les hommes (3).

D'autres facteurs eux protégeraient de l'apparition de la pathologie. C'est le cas du tabac, de la caféine, de la théine, de l'urate et de l'activité physique (3).

1.2.4. Physiopathologie

Le cerveau se compose de plusieurs types de neurones réceptifs à différents neurotransmetteurs. Dans cette maladie, ce sont les neurones de la voie nigro-striée ayant une affinité avec la dopamine qui sont atteints. Ces derniers sont reliés au putamen et font synapses dans le striatum. Ils vont alors agir sur les noyaux thalamiques responsables du contrôle des mouvements (1). Il existe deux voies réceptives à la dopamine dans le putamen (7) (Fig. 1) :

- la voie directe où les récepteurs D1 activent les neurones striataux qui inhibent le globus pallidus interne. Celui-ci n'inhibe plus le thalamus qui peut libérer les noyaux VA et VL et stimuler les aires motrices responsables de l'initiation du mouvement.
- La voie indirecte où les récepteurs D2 activés vont inhiber les neurones striataux, ce qui activera ceux du globus pallidus externe. Lorsqu'ils sont activés, ils exercent une régulation négative de la voie directe en inhibant le globus pallidus interne. De plus, ils inhibent le noyau sous-thalamique, ce qui permet également une inhibition du globus pallidus interne.

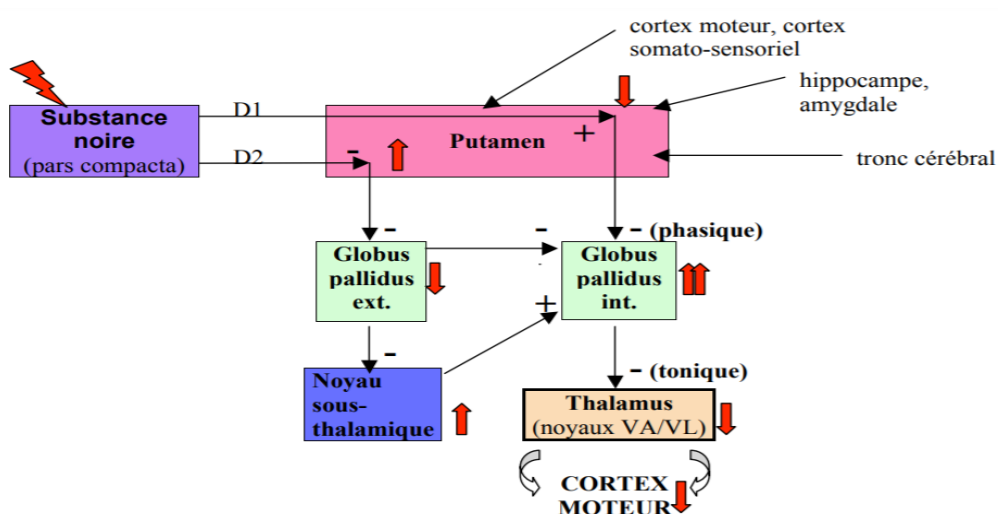


Figure 1 : Fonctionnement des noyaux gris centraux (7) (La MPi affecte la substance noire et les neurones dopaminergiques (éclair rouge) ce qui perturbe le fonctionnement des ganglions de la base (flèches rouges) et entraîne une inhibition du cortex moteur et une altération des mouvements)

Lorsque les neurones dopaminergiques sont progressivement détruits et qu'il ne reste plus que 50-30% de leur effectif de base (8), les troubles moteurs apparaissent. Les signes cliniques sont d'abord unilatéraux, avec une faible influence sur la qualité de vie (8). Puis, ils deviennent bilatéraux avec le temps et handicapent fortement le patient, diminuant son autonomie et rendant ses déplacements de plus en plus difficiles.

1.2.5. Evaluation de la maladie de Parkinson idiopathique

Plusieurs méthodes d'évaluation sont recommandées par la Haute Autorité de Santé (HAS) pour la maladie de Parkinson idiopathique (9). Parmi elles, il existe l'échelle de Hoehn et Yahr (10) (Tab. I.). Elle est composée de six stades allant de 0 à 5 et permet de catégoriser le patient en fonction de ses symptômes moteurs, mais est peu sensible au changement (11).

Tableau I : Echelle de Hoehn et Yahr

Stade 0	Pas de signes parkinsoniens
Stade I	Signes unilatéraux n'entraînant pas de handicap dans la vie quotidienne
Stade II	Signes à prédominance unilatérale entraînant un certain handicap
Stade III	Atteinte bilatérale avec une certaine instabilité posturale, malade autonome
Stade IV	Handicap sévère mais possibilité de marche, perte partielle de l'autonomie
Stade V	Malade en chaise roulante ou alité, n'est plus autonome

La « Movement Disorder Society- Unified Parkinson's Disease Rating Scale » (MDS-UPDRS) (12,13) ainsi que le « Parkinson's Disease Composite Scale » (PDCS) (ANNEXE I) (14) sont des évaluations fréquemment utilisées. Elles interrogent sur les signes moteurs et les symptômes non moteurs mais également sur les incapacités, la qualité de vie et les effets du traitement médicamenteux. La MDS-UPDRS est une échelle multidimensionnelle reconnue internationalement, fiable et valide. Elle est simple d'emploi, mais nécessite du temps. Les sections cognitive, comportementale et thymique requièrent une évaluation par une ou des échelles plus spécifiques (9).

1.2.5. Les symptômes

1.2.5.1. Les symptômes non moteurs

Dix ans avant même l'apparition de symptômes moteurs, une phase prémotrice peut être annonciatrice du début de la maladie. Des symptômes non moteurs apparaissent. Ces derniers se présentent sous plusieurs formes (Tab. III.) et diminuent la qualité de vie des patients atteints (15,16).

Tableau III : Symptômes non moteurs et fréquence d'apparition

Troubles de la fonction autonome	Hypotension orthostatique 30-40 % Troubles gastro-intestinaux (constipation) 70-80 % Incontinence 60 % Troubles érectiles Troubles de thermorégulation (hypersudation)
Troubles du sommeil	Sommeil fractionné 66% Somnolence excessive diurne 50 % Apnée obstructive du sommeil
Troubles psychologiques	Hallucination 30-40 % Troubles cognitifs et démences : 2 fois plus que la population saine Dépression et anxiété 33% Euphorie/hypomanie, comportement à risque, hypersexualité, appauvrissement des capacités organisationnelles
Troubles sensitifs	Perte d'odorat 80 % Douleur 40-85 % (musculosquelettique 50%, neuropathique, dystonique, neuropathique centrale, akathisie) Troubles visuels

1.2.5.2. Les symptômes moteurs

Les signes cliniques de l'apparition de cette pathologie concernent notamment le contrôle des mouvements. Ils se caractérisent par une triade de symptômes que sont les tremblements de repos, la rigidité et l'akinésie (1,2,8,17).

Les tremblements de repos touchent 70 à 100 % des patients suivant le stade d'évolution de la maladie (18–20). Entre 3 et 6 Hz, ils apparaissent généralement au niveau d'un des membres inférieurs, mais peuvent se développer sur les deux côtés ainsi que sur les membres supérieurs et la face.

La rigidité, plastique, est d'origine extra-pyramidale. Elle est présente chez plus de 90 % des patients (18–20). Elle implique une hypertonie des muscles rendant difficile les mobilisations passives et favorisant une attitude en flexion du tronc et des membres (21).

L'akinésie (difficulté d'initier le mouvement), associée à l'hypokinésie (faible amplitude du mouvement) et à la bradykinésie (lenteur du mouvement), limite grandement les mouvements du patient. Elle est retrouvée dans 80 à 98 % des cas (18–20). Les mouvements sont plus lents, plus saccadés. Elle peut s'accompagner d'un freezing et de festinations annonciatrices d'un risque élevé de chute.

1.3 Freezing

1.3.1. Définition

Le freezing se définit par « un bref épisode d'incapacité à avancer le pied malgré l'intention de marcher ou de tourner » (22,23). Ce phénomène se produit souvent lors de l'initiation de la marche, lors de changements de direction ou lors de passages d'obstacles. Cela majore le risque de chute. En effet, lors de la marche, le tronc ainsi que le centre de gravité de la personne avancent. Mais lors du freezing, le pied ne s'avance pas pour rattraper le centre de gravité (24). Ce phénomène se produit en majorité (61,6 %) lorsque le patient est en phase OFF, c'est-à-dire, lorsque le traitement médical perd en efficacité (25). Le risque est d'autant plus majoré que le patient parkinsonien présente souvent des troubles de l'équilibre et cognitifs (22–24,26). Cette déficience peut arriver à n'importe quel stade de la pathologie (27) et affecte 39,9 % (28) des patients parkinsoniens. Sa prévalence augmente en fonction

de la durée et de la sévérité de la pathologie, jusqu'à 70 % pour une maladie de plus de dix ans et un score de Hoehn et Yahr supérieur à 2,5 (28). Cette déficience est à ne pas confondre avec la festination. Dans ce phénomène, le patient cherche à rattraper son centre de gravité en augmentant le nombre de pas, mais avec une faible amplitude (29).

Le freezing peut également affecter le mouvement des doigts et la parole (24). Cela se traduit par une perturbation des gestes complexes, une dysgraphie ainsi que des blocages vocaux et une palilalie (répétition d'un syllabe) (20).

1.3.2. Types de freezing

Le mécanisme de survenue du freezing est aujourd'hui encore mal connu. Il existe néanmoins plusieurs phénotypes (22,30) :

- Les types moteurs : leur freezing apparait lors des changements de direction.
- Les types limbiques : leur freezing apparait avec l'anxiété ou lorsqu'il doit se dépêcher.
- Les types cognitifs : leur freezing apparait lors de double-tâches.

Pour Niewbauer, le freezing peut se classer selon le type de mouvement des jambes (30) :

- A la suite d'un tremblement des jambes entre 3 et 8 Hz.
- A la suite de très petits pas.
- A la suite d'aucun mouvement (forme akinétique).

1.3.3. Evaluation

L'évaluation du freezing s'effectue selon plusieurs méthodes. Elle peut se faire de manière clinique mais peut s'avérer difficile. L'évaluateur observe la marche du patient et détermine visuellement la présence ou non de freezing. Cependant, le freezing a tendance à être moins présent lorsque la personne se concentre sur sa marche (30). De ce fait, lors de son évaluation par un praticien, le patient se focalise sur sa marche et l'apparition du freezing en est affectée.

D'autres solutions existent pour déterminer la présence de freezing. En effet, des capteurs de type gyroscopes et accéléromètres sont placés au niveau des membres et sont couplés avec un enregistrement vidéo pour permettre de déterminer la présence d'un épisode de freezing (31). Leur capacité diagnostique varie selon les dispositifs utilisés : une sensibilité entre 73 à 100 % et une spécificité entre 67 et 100 % (32). Les capteurs sont placés généralement sur les chevilles et/ou les genoux. L'analyse se base sur la variation des capteurs (accéléromètres) : le freezing entraîne un mouvement des jambes à haute fréquence (3-8 Hz) avec une absence relative d'activité locomotrice (0-3 Hz). Le rapport entre les deux permet de calculer un indice de freezing. Lors de l'évaluation, si le capteur dépasse l'indice de freezing, un épisode de freezing est alors détecté (31,33). Les examinateurs détermineront ainsi avec l'aide de l'enregistrement vidéo si le sujet présente un moment de freezing ou non (34) .

Il existe également des auto-évaluations du freezing via deux questionnaires validés (23). Le Freezing Of Gait-Questionnaire (FOG-Q) (ANNEXE II) (35) et le New Freezing Of Gait-Questionnaire (New FOG-Q) (ANNEXE III) (36) permettent d'estimer la sévérité du freezing. Plus le score est élevé, plus l'atteinte est prononcée (37). Ils cherchent à déterminer la fréquence et la sévérité du freezing et son impact sur la qualité de vie. Le New FOG-Q est une version révisée du FOG-Q et fréquemment utilisé pour évaluer le freezing. Il permet en plus de diagnostiquer la présence de freezing et présente une forte fiabilité inter-évaluateurs : (coefficient de corrélation intra-classe = 0,78 ; intervalle de confiance à 95% 0,65-0,87). Cependant, pour être au-delà de l'erreur de mesure du questionnaire, il faut un changement de score total 35 % supérieur entre deux mesures (27).

Ces auto-questionnaires subjectifs sont les moyens les plus utilisés pour déterminer la présence ou l'absence de freezing ainsi que sa sévérité. Cependant, l'utilisation de capteurs est de plus en plus utilisée pour déterminer plus objectivement la présence de freezing bien que leur précision dépende des appareils utilisés.

1.3.4. Conséquences

L'une des principales conséquences du freezing est la perte d'équilibre entraînant la chute (38,39). Bekkers et al. (40) ont formulé 3 modèles mettant en relation les troubles de l'équilibre et le freezing (Tab. IV.). L'équilibre comprend plusieurs composants dont les

ajustements posturaux anticipatoires et les ajustements posturaux réactionnels. Ces derniers sont significativement altérés chez les personnes dont le freezing est diagnostiqué comparés à celles qui n'en sont pas atteintes (41). Ces patients ont une augmentation de la durée des ajustements posturaux anticipatoires avec une plus faible amplitude notamment sur le transfert du poids ce qui affecte l'initiation de la marche (42) :

- Le centre de gravité est plus en arrière chez les patients avec freezing pour éviter les chutes en avant mais rend l'avancement du pied plus difficile (43).
- L'équilibre est plus détérioré chez les patients présentant un freezing (43). Lors de la réalisation des BESTest et Mini-BESTest, les scores étaient plus faibles chez les personnes avec freezing : respectivement ($p=0.008$, $F=7.35$) et ($p=0.002$, $F=10.37$) (44).
- Une personne présentant un freezing a 75 % de risque de chuter dans l'année (45). L'anxiété et la peur de tomber peuvent également apparaître à la suite d'épisodes de freezing.

Ces troubles sont alors majorés par la sévérité et la fréquence du freezing et vont l'entretenir (46).

Tableau IV : Corrélation entre freezing et contrôle postural selon Bekkers (40)

Modèle indépendant	Instabilité posturale et freezing n'ont aucune corrélation
Modèle de conséquence	Instabilité posturale est une conséquence du freezing ou réciproquement
Modèle de chevauchement	Instabilité posturale et freezing coexistent et sont partiellement liés

Les troubles cognitifs sont également associés avec le freezing. Les patients avec freezing ont des scores plus faibles lors du Mini-Mental State Examination (MMSE) (26.93 ± 2.74) que ceux qui ne présentent pas de freezing (28.82 ± 3.53) ou les personnes saines (29.45 ± 4.37) (47). Ces troubles peuvent poser problème lors de la réalisation d'exercices ou de l'utilisation de certains indices au cours de la rééducation. Afin de s'assurer que la personne est apte à comprendre les explications et rentrer potentiellement dans des études, une évaluation cognitive peut être réalisée. Il existe plusieurs questionnaires dont le MMSE. Ce questionnaire permet en fonction des réponses données, de déterminer la présence et la sévérité de troubles cognitifs (48). Le Montreal Cognitive Assessment (MoCA) est un autre

questionnaire permettant aussi cette évaluation (49). Ces deux questionnaires permettent de catégoriser l'atteinte cognitive de la personne en quatre classes : sans atteinte, atteinte légère, modérée ou sévère.

Le freezing est également corrélé avec des troubles des fonctions exécutives (50). Une perte plus rapide de ces fonctions est observée chez les patients présentant un freezing. Celles-ci sont compensées par une activation plus importante du cortex préfrontal (responsable du mouvement volontaire) comparé aux patient ne présentant pas de freezing ($p=0,031$) (51). La marche automatique est altérée avec le freezing. Elle devient plus lente ($p=0,029$) avec un pas plus court ($p<0,001$) et une variabilité dans la durée du pas plus importante ($p=0,044$) (51).

Ces conséquences et leurs effets peuvent conduire le patient à un isolement social, une réduction de la qualité de vie et à une progression plus rapide de la pathologie (38,52).

1.3.5. Prise en charge

1.3.5.1. Prise en charge médicamenteuse

Un traitement médicamenteux est souvent proposé aux patients parkinsoniens. Celui-ci permet de moduler les symptômes moteurs (2,53). Les médicaments dopaminergiques agissent sur le freezing en le rendant moins fréquent et moins long chez les patients prenant ce traitement (53).

Celui-ci repose généralement sur la prise de Levodopa couplé à un inhibiteur décarboxilase pour favoriser sa conversion en dopamine dans le système nerveux central (54). Celle-ci peut alors se fixer sur les récepteurs dopaminergiques et limiter l'apparition du freezing. Chez 20 patients atteints de MPi, une heure après sa prise, il a fait disparaître les festinations et le freezing de 20 % ($p<0,0001$) (55).

Des agonistes dopaminergiques permettent également d'agir lorsque la pathologie est peu avancée. Leur effet est moins puissant sur les symptômes moteurs que la Levodopa (2).

D'autres molécules existent également. Leur but est de limiter la dégradation de la dopamine et de Levodopa pour en prolonger les effets.

1.3.5.2. Prise en charge chirurgicale

Lorsque que la pathologie est avancée ou que le traitement médical ne suffit plus, l'implantation d'un stimulateur cérébral profond peut être envisagée (2,8) (Fig. 2.). Celui-ci consiste à placer des électrodes au contact du cerveau reliées par des câbles fins à un générateur d'impulsion sous cutané. Il stimule le noyau sous thalamique avec une intensité, une fréquence et une largeur d'impulsion décidées par le médecin pour obtenir la meilleure réponse possible (56,57). Il est proposé aux patients sous certaines conditions (Tab. V.). Ce procédé permet, sur une population comprenant 52 % de personnes avec freezing, de réduire cette proportion à 34 % en deux ans (58).

Tableau V : Critères D'inclusion et d'exclusion pour la stimulation cérébrale profonde (59)

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
- Diagnostic de MPI	- Parkinsonisme atypique
- Réceptivité au traitement dopaminergique	- Pas de réponse au traitement dopaminergique
- Complication motrice malgré le traitement dopaminergique	- Démence sévère, dépression ou psychose
- Absence de démence ou maladie psychiatrique	

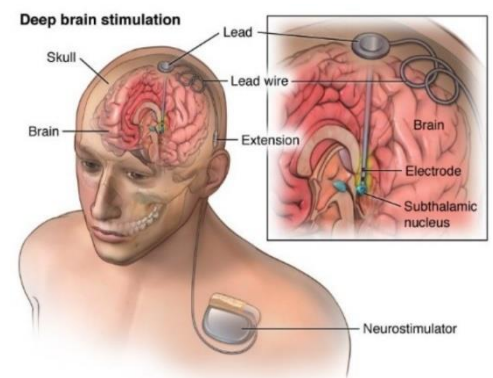


Figure 2 : Stimulateur cérébral profond (58)

1.3.5.3. Prise en charge rééducative

En complément du traitement médical, une prise en charge rééducative est proposée. Elle comprend plusieurs types d'interventions dont une rééducation basée sur l'activité physique (Tab. VI) avec des exercices de marche avec ou sans tapis, des exercices en double-tâche ou dans des environnements susceptibles de provoquer un freezing comme des couloirs étroits ou des changements de direction (60). Le but est de donner au patient le moyen de

gérer au mieux son freezing. Des exercices de danse et d'équilibre sont aussi proposés pour limiter le risque de chutes (20,61). La kinésithérapie conventionnelle, l'entraînement à la marche et la danse sont recommandés dans des programmes plus longs et semblent avoir des effets à plus long terme. Les stratégies utilisant des repères et indiçages combinées à l'utilisation d'un tapis de marche permettent d'obtenir des résultats immédiats. (20,60,62,63).

Tableau VI : Grade de recommandations des interventions sur la marche et l'équilibre issus de la HAS en 2016 (20)

Objectifs rééducatifs	Interventions					
	Kinésithérapie conventionnelle (marche, équilibre transferts, entretien capacités physiques et fonctionnelles)	Entraînement sur tapis de marche	Stratégies par repères (attentionnelles, indiçage visuel et auditif)	Exercices d' équilibre	Danse	Renforcement musculaire
Marche	Grade B	Grades B et C	Grades B et C			
Equilibre	Grade C	Grade C	Grade C	Grade B	Grade C	Grade B

La kinésithérapie a démontré son efficacité pour diminuer le freezing à court et long terme (60,64). Cependant, aucune technique n'est significativement supérieure aux autres bien que l'entraînement sur tapis de marche et l'observation d'action ont des effets nettement démontrés (65). Parmi les thérapeutiques existantes de prise en charge du freezing, il existe aussi les indiçages auditifs et visuels.

1.3.5.3.1. Stratégie intentionnelle

Cette stratégie se caractérise par des stimulations intrinsèques du patient. Celui-ci focalise son attention sur une tâche à effectuer et ne pense qu'à cela (20). Par exemple, le patient peut lors de sa marche, ne penser qu'à faire de grands pas. L'utilisation de cette stratégie a montré son intérêt dans l'amélioration de la marche du patient parkinsonien (66).

1.3.5.3.1. Indiciage auditif

L'indiciage auditif se fait généralement via un métronome ou un son rythmé (67). Il peut permettre de remédier au manque d'ajustements posturaux nécessaires pour l'initiation à la marche (68). Le rythme de la musique correspond à la cadence de base de la marche, puis est soit augmenté soit diminué. Le patient essaye alors de se déplacer au rythme de l'indiciage auditif. Il est supposé que ce rythme vienne compenser le trouble du rythme dans les noyaux gris centraux (63). Son utilisation avec une fréquence supérieure à 10% du rythme de base améliore les paramètres de marche et diminue le temps de freezing (69).

1.3.5.3.2. Indiciage visuel

L'indiciage visuel est utilisé pour lutter contre le freezing. Son principe repose sur une réorientation des circuits neuronaux vers les moins affectés (68). Il permet d'influencer l'initiation de la marche et de diminuer le freezing du patient parkinsonien (70). Cette aide visuelle se présente généralement par un marquage au sol espacé de la longueur d'un pas ou de pointeur laser (71). Le patient se concentre sur les repères et sa marche. Cela a pour effet de contourner l'interaction entre les noyaux gris centraux et l'aire motrice supplémentaire (72). Il synchronise sa marche avec l'indiciage et améliore ainsi différents paramètres : temps et nombre de freezing, longueur et hauteur du pas, vitesse et cadence de marche (63,73). L'effet perdure tant que le patient reste concentré sur l'aide visuelle (72).

1.4. Apport des nouvelles technologies

Aujourd'hui, de nouvelles technologies se développent et se répandent : les appareils de réalité augmentée et de réalité virtuelle. Ces derniers permettent de donner au patient des indications visuelles via un casque ou des lunettes sans avoir besoin de préparer un marquage préalable. Le patient voit au travers du dispositif l'aide visuelle comme si elle était réellement présente devant lui. Cela lui permet d'utiliser cet indicage dans sa vie de tous les jours et où il le souhaite (74). Cela pourrait l'aider à sortir du freezing grâce à l'effet immédiat de cet indicage.

1.4.1. Réalité augmentée

Parmi ces nouvelles technologies permettant un nouveau genre d'indication visuelle, il existe la réalité augmentée. Cette dernière utilise l'environnement du patient pour y ajouter des objets ou des éléments virtuels via un dispositif digital comme une paire de lunettes dites intelligentes (Fig. 3,4) ou connectées ou via un téléphone (75).



Figure 3 : Exemple de lunette de
RA : HoloLens (76)



Figure 4 : Exemple de lunette de RA :
Optical Stimulating Glasses (77)

Le patient se voit dans l'environnement réel qui l'entoure et peut interagir avec diverses choses que le dispositif lui montre. Cela lui permet de ne pas se couper du monde autour de lui lors de son utilisation. Ces dispositifs permettent d'ajouter des éléments ponctuels dans l'environnement de l'utilisateur. Par exemple, il peut observer des lignes au sol visibles uniquement au travers de lunettes de réalité augmentée. De la même manière, si l'appareil

expose au patient un cube devant lui, il verra ce cube dans la pièce dans laquelle il se trouve (Fig. 5,6).

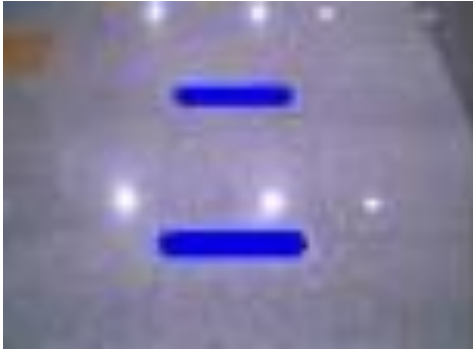


Figure 5 : lignes observées
via des lunettes de réalité
augmentée (31)

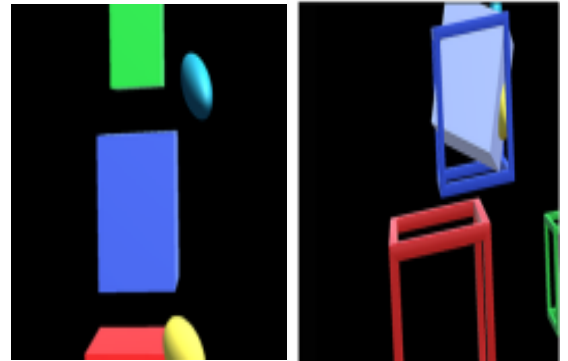


Figure 6 : blocs observés via des
lunettes de réalité augmentée (le
fond noir sera remplacé par
l'environnement du patient) (78)

1.4.2. Réalité virtuelle

La réalité augmentée est à ne pas confondre avec la réalité virtuelle. En effet, dans ce cas-ci, le patient est immergé dans un monde virtuel. Par l'intermédiaire généralement d'un casque, le sujet ne voit plus son environnement réel. L'appareil donne l'illusion d'être dans un autre endroit, différent de là où il se trouve actuellement (75). Le dispositif lui montre un nouvel environnement (Fig. 7). Peu importe l'orientation de son regard, la personne ne percevra que l'endroit dans lequel elle est immergée.

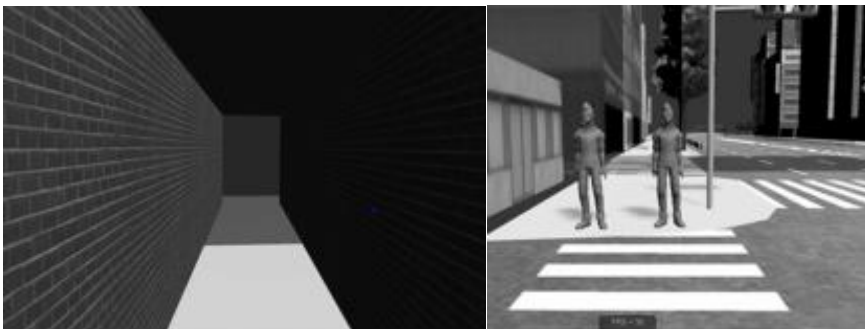


Figure 7 : Exemple d'environnement en réalité virtuelle (79)

Dans ce « monde virtuel », le patient peut également interagir avec des éléments non présents dans la réalité en ayant l'impression pourtant de les voir. Cette technologie a déjà fait l'objet de plusieurs études. Triegaardt et al. (80) ont démontré au travers de leur méta-analyse les effets que pouvait avoir la réalité virtuelle. Le freezing, la longueur du pas, la vitesse de marche, l'équilibre, la coordination et les fonctions cognitives sont autant de domaines sur lesquels cette aide a été testée et où elle a démontré ses effets.

1.4.3. Démocratisation de la réalité augmentée

La réalité augmentée se développe actuellement dans le domaine de la santé mais également en dehors (divertissement, architecture, éducation) (81). Cette technologie se démocratise dans la société et de plus en plus de personnes l'utilisent ou l'ont utilisée (82). Si cette technologie continue à se développer, il est possible que les futurs patients parkinsoniens connaissent déjà son fonctionnement. Cela faciliterait leur utilisation lors de la rééducation et de leur vie quotidienne (74).

1.5. Freezing et réalité augmentée

La réalité augmentée permet de développer un tout nouveau type d'indication visuelle. Cette aide « visuelle augmentée » montre son intérêt dans de nombreux domaines, dont la rééducation du patient parkinsonien présentant un freezing.

Janssen et al. ont cherché à démontrer à plusieurs reprises son influence sur la durée et le nombre d'épisodes de freezing (34,76,83). Cette aide semble réduire la sévérité du freezing et ses conséquences. Elle est comparée avec d'autres types d'indications et l'influence que le dispositif peut avoir même éteint est actuellement à l'étude.

Différents appareils existent actuellement. D'autres sont créés et testés pour détecter le freezing et émettre un indication visuelle permettant de sortir de cet épisode de freezing (31,84). Ils visent à déterminer, accompagnés de capteurs ou non sur le patient, l'apparition d'un freezing et les modalités d'aides à émettre.

Son utilisation est testée en laboratoire et au domicile des patients (68). Son utilisation dans leur vie quotidienne est également étudiée (74,85). Son développement permettrait aux patients de l'utiliser où et quand ils en ont besoin.

L'étude du freezing et de la réalité augmentée se développe de plus en plus. Elle s'intéresse à l'aide ponctuelle que cette technologie peut apporter ainsi qu'à son utilisation quotidienne par le patient.

1.6. Problématique

La maladie de Parkinson idiopathique est une pathologie du système nerveux central. Cette dernière affecte notamment le contrôle des mouvements, l'équilibre et la marche de la personne atteinte (10). Parmi ces déficiences, le freezing peut fortement handicaper le patient parkinsonien (22). Il peut survenir dans différentes situations de la vie courante (virage, moment de stress), empêcher le patient d'avancer et peut entraîner sa chute (22,24,30).

La prise en charge kinésithérapique vise à limiter notamment les troubles moteurs dont le freezing (20). Pour y pallier, le thérapeute possède un certain nombre de techniques (86). Parmi elles, il existe les indiçages auditifs et visuels (68). Ils se présentent sous la forme d'un son rythmé ou d'un métronome pour l'auditif ou d'un marquage au sol pour le visuel (20).

Aujourd'hui, il existe des nouvelles technologies capables de dispenser ces aides (82). Des appareils encore émergents, sont étudiés dans le cadre de la maladie de Parkinson idiopathique. C'est le cas des appareils de réalité augmentée (80).

Ces derniers permettent de procurer au patient un indiçage visuel au travers de ces dispositifs. Les aides visuelles « classiques » comme le marquage au sol ou des lignes à enjamber ont déjà démontré leur intérêt dans la rééducation de la pathologie (73).

L'intérêt principal de cette technologie est de permettre au patient de visualiser l'indiçage sans réel marquage au sol. Cela permettrait donc potentiellement de pouvoir utiliser cette méthode dans n'importe quel environnement : laboratoire, domicile, extérieur et quand le patient le souhaite (31).

A la différence de la réalité virtuelle, les effets de la réalité augmentée sont peu démontrés dans la littérature. Cependant, son intérêt dans la rééducation de la marche et la correction du freezing du patient parkinsonien intéresse les chercheurs. En effet, des dispositifs sont à l'étude pour déterminer leurs effets sur le freezing du patient parkinsonien. Ces recherches peuvent aussi bien concerner les effets sur la sévérité du freezing (84) ou sur sa détection (31). A ce jour, nous n'avons trouvé aucune revue systématique ou méta-analyse s'intéressant aux effets de la réalité augmentée sur le freezing.

Notre revue cherchera donc à répondre la question suivante :

La réalité augmentée améliore-t-elle le freezing des patients parkinsoniens par rapport à d'autres indicateurs ?

Nous émettons les hypothèses que la réalité augmentée améliore le freezing par rapport aux indicateurs visuels réels, auditifs, mais également à d'autres modalités comme des autres traitements non médicamenteux. Nous supposons également que la réalité augmentée améliore les paramètres de marche des patients présentant un freezing.

2. MATERIEL ET METHODE

Nous avons choisi de réaliser une revue systématique. Nous baserons notre plan sur les lignes directrices de la grille Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (87). Cette dernière est utilisée pour la rédaction des revues systématiques et des méta-analyses.

2.1. Modèle PICO

Pour notre étude, nous avons utilisé le modèle PICO afin d'orienter nos recherches. Nous avons ainsi émis plusieurs critères que l'article devait respecter pour rentrer dans notre analyse. Le choix a été fait de ne pas se limiter qu'aux essais contrôlés randomisés en raison de leur faible nombre dans la littérature sur ce sujet.

L'ensemble de nos critères d'inclusion et d'exclusion se trouve dans le tableau VII ci-dessous.

Tableau VII : Modèle PICO de l'étude

	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Population	<ul style="list-style-type: none"> - La population est atteinte de la maladie de Parkinson idiopathique - La population a donné son consentement éclairé - Le score de Hoehn et Yahr est entre 2 et 4 - La population a un freezing diagnostiqué (par questionnaires ou capteurs) 	<ul style="list-style-type: none"> - L'article n'est pas écrit en anglais ou en français (car nous ne maîtrisons pas les autres langues) - La population présente un MMSE <23 ou MoCA <18 (car un score inférieur induit des troubles cognitifs pouvant diminuer la compréhension des exercices et de l'utilisation de la réalité augmentée) - Utilisation d'un dispositif s'apparentant à la réalité virtuelle
Intervention	L'intervention utilise un dispositif de réalité augmentée	
Comparateur	<ul style="list-style-type: none"> - L'intervention peut être comparée avec un groupe n'utilisant pas la réalité augmentée ou utilisant la réalité augmentée comme placebo - L'intervention peut être comparée avec l'utilisation d'indicateurs sonores ou visuels réels 	
Outcome ou critère de jugement	<p><u>Critère de jugement principal</u> : freezing (nombre et durée) évalué par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - questionnaires 	

	<ul style="list-style-type: none"> - capteurs via analyse de la marche avec ou sans vidéo <p><u>Critères de jugement secondaires :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacité d'équilibre - Peur de tomber - Expérience de l'utilisateur
Study ou type d'études	<ul style="list-style-type: none"> - Etudes contrôlées randomisées - Etudes contrôlées non randomisées - Etudes crossover - Séries de cas - Etudes de cas

2.3. Recherche documentaire

2.3.1. Base de données et équation de recherche

Pour effectuer nos recherches, nous avons utilisé plusieurs bases de données : PubMed, Science Direct, PEDro et Cochrane Library.

Pour les protocoles d'essais cliniques, nous avons utilisé les bases de données : ClinicalTrials.gov, EudraCT ainsi que ANZCTR.

Pour la littérature grise, les bases de données utilisées étaient Google Scholar et Kinedoc.

Nous nous sommes également intéressés aux références citées dans les articles sélectionnés.

Pour chaque base de données, une stratégie de recherche a été employée (Tab. V).

Tableau V : Stratégie documentaire

Base de données	Stratégie de recherche
PubMed	Equation de recherche : #1 parkinson[MeSH Terms] #2 parkinso*[MeSH Terms]

	<p>#3 parkinso*[Title/Abstract] #4 ((augment* real*[MeSH Terms]) OR (glass*[MeSH Terms])) OR (augment* visu*[MeSH Terms]) #5 ((augment* real*[Title/Abstract]) OR (glass*[Title/Abstract])) OR (augment* visu*[Title/Abstract]) #6 (freezing[MeSH Terms]) OR (freezing[Title/Abstract]) #7 #1 OR #2 OR #3 #8 #7 AND (#4 OR #5) #6</p>
<p>Science Direct</p>	<p>Equation de recherche : (("parkinson disease" OR "parkinsonism" OR "parkinsonian") AND ("augmented reality" OR "glass" OR "glasses" OR "augment visual ")) AND ("freezing") Title, abstract or author-specified keywords: freezing Article type : research article + conference abstract + short communications</p>
<p>PEDro</p>	<p>Equations de recherche : 1) parkinso* augment* visu* 2) parkinso* augment* reality 3) parkinso* glass* Subdiscipline : neurologie Method : clinical trial</p>
<p>Cochrane Library</p>	<p>Equation de recherche : #1 parkinson's disease #2 parkinsonism #3 parkinsonian #4 parkinso* #5 #1 OR #2 OR #3 OR #4</p>

	<p>#6 augment* real*</p> <p>#7 augment* visu*</p> <p>#8 glass*</p> <p>#9 #6 OR #7 OR #8</p> <p>#10 freez* OR gait</p> <p>#11 #5 AND #9 AND #10</p> <p>#12(parkinson's disease) AND ((augment* real*) OR (glass*) OR (augment* visu*)) AND freez*</p>
Google Scholar	<p>Equation de recherche avancée :</p> <p>Articles contenant tous les mots suivants : parkinson* freezing</p> <p>Articles contenant au moins un des mots suivants : augment* real* visu* glass*</p>
Kinedoc	<p>Equation de recherche :</p> <p>maladie de parkinson ET ((réalité augmentée) OU (lunettes) OU (indiçage))</p>
ANZCTR	<p>Intervention code : treatment : devices OR rehabilitation</p> <p>Study type : Interventionnal</p> <p>Allocation to intervention : Randomised + non randomised</p> <p>Condition category : neurological</p> <p>Condition code : Parkinson's disease</p> <p>Age group : Adult</p>
Clinical Trials.gov	<p>Condition or disease : Parkinson</p> <p>Other terms : freezing</p> <p>Study type : interventionnal</p> <p>Age group : Adult + Older adult</p>
EU Clinical Trials Register	<p>Equation de recherche :</p> <p>parkinso* AND freezing</p> <p>Age range : adults</p>

2.3.2. Sélection des articles

Pour inclure les articles dans cette étude, la lecture des titres et abstracts a été effectuée. Les études restantes ont alors été lues intégralement pour vérifier les critères d'inclusion et d'exclusion. Si tous les critères étaient respectés, l'article était alors sélectionné pour l'étude. Ce procédé a été effectué par deux évaluateurs indépendants qui en cas de différence de résultats, ont échangé afin d'obtenir un consensus.

2.3.3. Extraction des données

Pour chaque texte sélectionné, une fiche récapitulative de l'article a été réalisée (Tab. VI) (ANNEXE IV). Cette dernière reprenait différents éléments selon le plan IMRaD (88) :

Tableau VI : Fiche de lecture et d'extraction de données

Introduction	Objectifs, question de recherche et hypothèses de l'étude
Matériel et méthode	Type d'étude Caractéristique de la population (effectif, stade de Hoehn et Yahr, freezing diagnostiqué, troubles cognitifs) Critères de jugement Appareil et protocole utilisés Analyse des résultats
Résultats	Efficacité de l'intervention et de l'appareil Comparaison des groupes
Discussion	Biais connus des auteurs Limites de l'étude Ouverture de l'étude

L'analyse de la qualité et du risque de biais de l'étude a été réalisée en fonction du type d'étude.

Pour les essais contrôlés randomisés, nous avons utilisé l'échelle PEDro ainsi que le « Risk Of Bias 2.0 » (RoB 2) de la Cochrane. L'échelle PEDro permet de donner un score sur 10 points en fonction des biais possibles de l'essai contrôlé randomisé. Le RoB 2 évalue le risque de biais (faible, élevé ou peu clair) en 5 items.

Pour les essais contrôlés non randomisés, nous avons utilisé le « Risk Of Bias In Non randomized Studies of Interventions assessment tool » (ROBINS-I) de la Cochrane. Il fonctionne comme le RoB 2 mais en 7 items.

Pour les séries de cas, nous avons utilisé les recommandations « Appropriate use and reporting of uncontrolled case series in the medical literature » (89).

Pour les études de cas, nous avons utilisé la grille de recommandation « Clinical Case Reporting Guideline Development » ou CARE (90).

3. RESULTATS

3.1. Sélection des études

Notre recherche bibliographique s'est déroulée du 15/11/2020 au 22/03/2021. Elle a permis d'identifier 16 513 articles. A la suite d'une lecture des titres et résumés de chacun d'eux et de la suppression des doublons, une disparité entre les examinateurs a été observée pour les articles à sélectionner. Un consensus a permis de retenir 18 études pour une lecture complète. Après cette étape, nous avons sélectionné 6 études dans notre revue (Fig. 8.) : 4 études crossover, 1 série de cas et 1 étude de cas. Les études exclues après lecture complète sont au nombre de 12 ; les raisons de l'exclusion sont précisées en ANNEXE V. Le détail de notre sélection est présenté dans le tableau ci-dessous (Tab. VII.)



Figure 8 : Diagramme de flux

Tableau VII : Etudes incluses dans la revue qualitative

Etude	Population	Protocole	Critères de jugements
Zhao et al. 2016 (84) Etude crossover	<u>12 personnes</u> Age 66.8 ± 6.8 ans Sexe : F(n=3) H(n=9) Délai moyen depuis le diagnostic de la maladie 13.6 ± 6.7 ans UPDRS-part III 35.2 ± 10.6 Stade de H. et Y. 2 (n=8), 3 (n=4) New FOG-Q 22.1 ± 5.1 FAB 15.7 ± 2.2	Dispositif de RA : Google Glass. Tests en laboratoire 1 journée <u>Réalisation de quatre parcours de marche (Fig. 9)</u> : « virage large », « virage étroit », « tour complet » et « passage de porte ». <u>4 conditions pour chaque parcours</u> : sans aide, métronome, LED et optic flow.	Principal : Freezing (nombre et durée) via une analyse de vidéos Secondaires : <ul style="list-style-type: none"> • Paramètres de marche via analyse de vidéos et capteurs) • Avis de l'utilisateur via un entretien semi-dirigé)
Janssen et al. 2020 (76) Etude crossover	<u>16 personnes</u> Age moyen 69 ans Sexe : F(19%) H(81%) Délai moyen depuis le diagnostic de la maladie : 10 ans Délai moyen depuis le début du freezing : 4 ans UPDRS III 38 Stade de H. et Y. 2 MMSE 29 New FOG-Q 18 FAB 17	Dispositif de RA : HoloLens. Tests en laboratoire 1 journée <u>Réalisation d'un demi-tour sous 3 conditions</u> : AR visual cues (stimulations visuelles en RA), Uncued (sans aide) et Auditory (métronome). Réalisation d'une session d'entraînement puis de deux sessions de mesures de 15 essais par conditions pour chaque session.	Principal : freezing (nombre et durée) via des capteurs Secondaires : <ul style="list-style-type: none"> • Cinétique axiale via capteurs • Demi-tour (durée) • Avis de l'utilisateur via un entretien
Janssen et al. 2017 (34) Etude crossover	<u>25 personnes</u> Age moyen 72 ans Sexe : F(24%) H(76%) Délai moyen depuis le diagnostic de la maladie : 11 ans Délai moyen depuis le début du freezing : 2 ans UPDRS III 34	Dispositif de RA : Inventé pour l'étude. Tests en laboratoire 1 journée <u>5 conditions testées</u> : barres transversales en RA ; escalier en RA (AS) ; barres transversales réelles régulièrement espacées (CB) ; indiçage auditif via métronome (CM) ; aucune aide (OFF)	Principale : Freezing (nombre et durée) via une analyse de vidéo Secondaires : <ul style="list-style-type: none"> • Paramètres de marche via analyse de vidéos • Avis de l'utilisateur via un entretien semi-dirigé)

	<p>Stade de H. et Y. 2 MMSE 28 New FOG-Q 18 FAB 14</p>	<p><u>Parcours (Fig. 9)</u> : Marche dans un couloir de 15m avec deux chaises à 7,5m espacées de 50cm. 3 épreuves ont été effectuées par condition :</p> <ul style="list-style-type: none"> - « walking straight » : les patients devaient marcher sans tâche additionnelle - « stop and start » une voix pré-enregistrée demandait aux patients de s'arrêter à 3 endroits aléatoires. Ils pouvaient repartir quand ils le voulaient. - « turning » les patients devaient réaliser un tour de 360° à 3 endroits aléatoires commandé par une voix préenregistrée. 	
<p>Griffin et al. 2011 (91)</p> <p>Etude crossover</p>	<p><u>26 personnes</u></p> <p>Age moyen 64.3 ± 7.58 ans Sexe : F(n=4) H(n=22) UPDRS III 28.1 ± 12.3 Stade de H. et Y. 2.52 ± 0.57</p>	<p><u>Dispositif de RA</u> : Inventé pour l'étude. Tests en laboratoire 1 journée</p> <p><u>Parcours de marche réalisé 2 fois sous chaque conditions (Fig. 9)</u> :</p> <p>Se lever d'une chaise en utilisant les bras, marcher 11m dans un couloir large pour toucher une cible. Puis virage à 90° à gauche pour marcher dans un couloir étroit délimité pour l'épreuve, franchissement d'une porte standardisée et d'une chicane pour aller toucher une deuxième cible. Demi-tour pour refaire le trajet en sens inverse et s'asseoir.</p> <p><u>Conditions utilisées dans l'ordre suivant</u> :</p> <p>Sans aide (lunettes ou barres au sol), placebo VRG (image statique d'un rectangle sur fond noir), Visual Flow VRG (bandes au sol en RA), Rhythmic cueing VRG (flashes rouge et noir en alternance à la cadence la plus proche possible de la marche du patient), TL (barres réelles au sol), sans aide.</p>	<p><u>Principale</u> : temps de réalisation de l'épreuve via chronomètre</p> <p><u>Secondaires</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paramètres de marche via une analyse vidéo • Freezing via une analyse vidéo • Peur de tomber
<p>Kaminsky et al. 2007 (92)</p>	<p><u>6 personnes</u></p> <p>Age moyen 65.16 ans Sexe : F(n=2) H(n=4)</p>	<p><u>Dispositif de RA</u> : VCS. Tests en laboratoire et à domicile 18 à 24 jours</p>	<p><u>Principaux</u> : Pertes d'équilibre et nombre de freezing via auto-évaluation des patients</p>

Série de cas	Délai moyen depuis le diagnostic de la maladie 13 ans Stade de H. et Y. 2-3 MMSE >27	Des vidéos montrant des pertes d'équilibre et des épisodes de freezing sont présentées aux patients pour qu'ils comprennent la définition de ces événements + entraînement à l'utilisation des lunettes pendant 7 à 10 jours. Utilisation à domicile pendant 10 jours, les patients évaluent leurs pertes d'équilibre, épisodes de freezing et différentes activités. Suivi pendant 1 à 4 jours sans les lunettes.	<u>Secondaires</u> : <ul style="list-style-type: none"> Niveau d'activités via liste d'items à cocher Avis de l'utilisateur via entretien
Janssen et al. 2020 (83) Etude de cas	<u>1 personne</u> Age 63 Sexe : H Délai depuis le diagnostic de la maladie 17 ans Présence de freezing depuis 16 ans Réceptif aux stimulations visuelles et auditives	<u>Dispositif de RA</u> : HoloLens. Tests en laboratoire 1 journée <u>Passage de porte 4 fois sous 7 conditions</u> : - pas de lunettes RA portées, pas de stimulations appliquées (« Control ») - Lunettes RA portées mais éteintes («SG OFF ») - barres tridimensionnelles affichées à travers les lunettes RA («SG AR ») - barres réelles transversales au sol, pas de lunettes RA portées ("Real bars ») - barres réelles transversales sur le sol tout en portant lunettes RA éteintes («SG real bars ») - enjamber un balai, pas de lunettes RA portées (« Broom ») - coups de pieds contre une petite boîte sur le sol, pas de lunettes RA portées (« Boîte »).	<u>Principal</u> : Freezing (durée) via analyse de vidéos

Légende : F= femmes, H= hommes, UPDRS = Score moyen du Unified Parkinson's Disease Rating Scale, Stade de H. et Y.= Stade moyen de Hoehn et Yahr, New FOG-Q= Score moyen du New Freezing Of Gait-Questionnaire, FAB= Score moyen du Frontal Assessment Battery, RA= réalité augmentée, MMSE= Score moyen du Mini-Mental State Evaluation, VRG = Virtual Reality Glasses, VCS= Virtual Cueing Spectacles

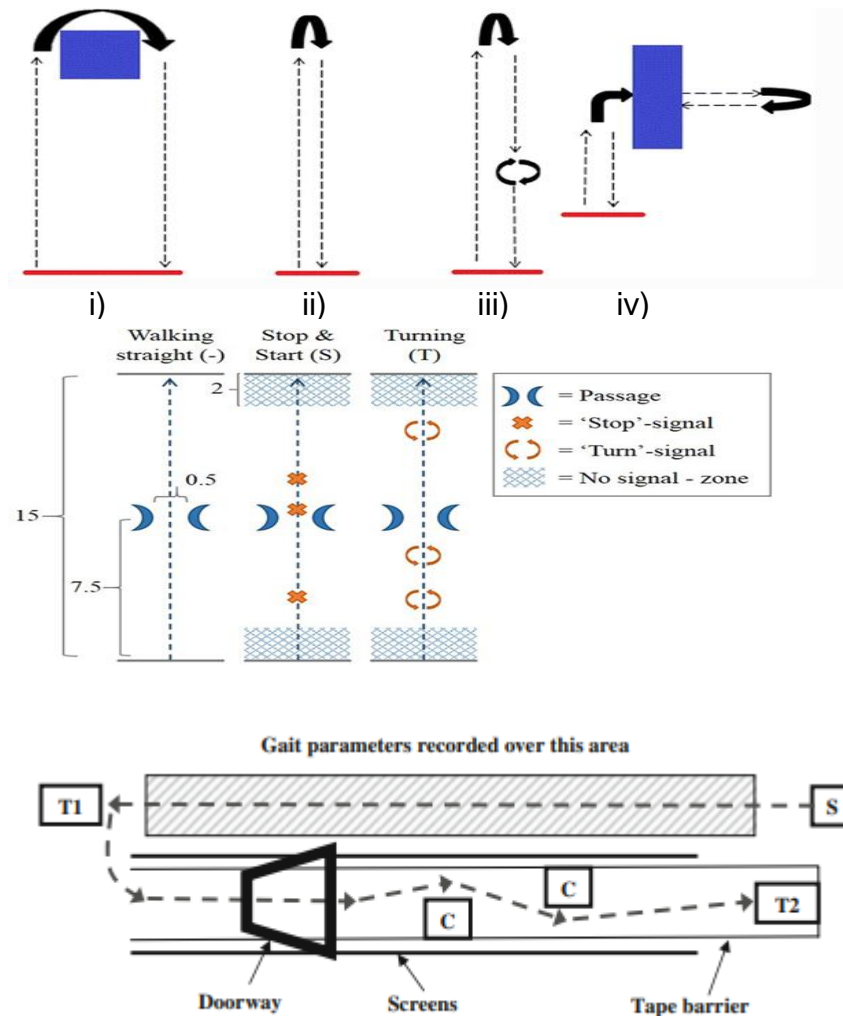


Figure 9 : Présentation des parcours de marche des études de (A) Zhao. (84), (B) Janssen. (34) et (C) Griffin. (91)

L'utilisation de la Risk Of Bias In Non-Randomized Studies-of interventions assessment tool (ROBINS-I) nous a permis d'évaluer les biais des études suivantes (Tab. VIII) :

Tableau VIII : Evaluation de la qualité méthodologique des études avec le ROBINS-I

Etudes	Biais de confusion	Biais de sélection	Biais de performance	Biais d'attrition	Biais dans la mesure	Biais de rapport des résultats
Zhao et al. (84)	+	+	+	?	+	+
Janssen et al. (76)	+	+	+	?	+	+
Janssen et al. (34)	+	?	+	?	+	+
Griffin et al. (91)	-	+	+	?	+	+
Kaminsky et al. (92)	+	-	?	?	+	?

⊕ = faible risque de biais ; ⊕ = risque modéré de biais ; ⊖ = risque élevé de biais

3.2. Freezing

3.2.1. Evaluation du freezing

L'évaluation du freezing a été réalisée dans les six études incluses. Elle consistait en une mesure de différents paramètres : nombre d'épisodes de freezing, temps total passé freezing ou pourcentage de ce temps (Tab. IX). 4 d'entre elles (34,83,84,91) ont choisi l'analyse vidéos pour identifier les épisodes de freezing.

Dans l'étude de Janssen et al. (76), cette évaluation s'est effectuée à l'aide de capteurs (gyroscopes et accéléromètres) placés sur les patients.

Pour l'étude de Kaminsky et al. (92), les patients ont rapporté eux-mêmes le nombre d'épisodes de freezing qu'ils ont rencontrés au cours de la journée.

Tableau IX : Paramètres de freezing évalués

Etude	Outil	Paramètre évalué
Zhao et al. (84)	Vidéos	Nombre, durée
Janssen et al. (76)	Capteurs (gyroscopes et accéléromètres)	Nombre, durée, pourcentage de temps
Janssen et al. (34)	Vidéos	Nombre, durée
Griffin et al. (91)	Vidéos	Nombre

Kaminsky et al. (92)	Feuilles de collecte de données remplies par les patients	Nombre
Janssen et al. (83)	Vidéos	Durée

3.2.2. Effets sur le freezing

Dans l'étude de Zhao et al. (84), le nombre d'épisodes de freezing et leur durée n'ont pas significativement varié entre les différentes conditions notamment avec la réalité augmentée (respectivement $\chi^2(3) = 7.29$, $p = 0.063$ et $\chi^2(3) = 2.42$, $p = 0.50$ pour le nombre et la durée). C'est également le cas dans l'étude de Janssen et al. (34). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre la réalité augmentée et les autres conditions (sans aide, indiçage auditif, barres au sol) sur le nombre d'épisodes de freezing ou le pourcentage de temps passé en freezing.

Selon une autre étude de Janssen et al. (76), lors de la réalisation d'un demi-tour, la réalité augmentée comparée à l'absence de stimulation n'a pas significativement modifié le nombre d'épisodes ($p=0,73$), la durée ($p=0,78$) ou le pourcentage de temps en freezing ($p=0,73$) des patients. Par rapport à l'utilisation du métronome, la réalité augmentée a aggravé le freezing : $p=0,02$ pour le nombre d'épisode, $p=0,007$ pour la durée et $p=0,01$ pour le pourcentage de temps.

Griffin et al. (91) ont montré que seules les barres réelles au sol ont réduit l'hésitation à la marche ($p=0,046$) lors de leur parcours. Le deuxième passage sans les aides a également réduit ce paramètre mais de manière non significative ($p=0,063$).

D'après Kaminsky et al. (92), l'utilisation de la réalité augmentée a diminué le nombre d'épisodes de freezing pour 5 des 6 patients testés. Pour 2 d'entre eux, le nombre d'épisodes a réaugmenté dès l'arrêt de l'utilisation de la stimulation.

Selon l'étude de Janssen et al. (83), la réalité augmentée n'a pas eu d'effet significatif sur le freezing par rapport à la condition contrôle. Le pourcentage de temps en freezing été de 93,5% pour la condition contrôle, de 93,3% avec les lunettes éteintes et de 88,8% pour les lunettes allumées.

Les résultats des six études sont synthétisés dans le tableau suivant (Tab. X) :

Tableau X : Effets de la réalité augmentée sur le freezing

Etude	Type d'étude	Effets de la réalité augmentée sur les paramètres de freezing	Résultats
Zhao et al. (84)	Crossover	Nombre	Pas de changement significatif
		Durée	Pas de changement significatif
Janssen et al. (76)	Crossover	Nombre	Pas de changement significatif
		Durée	Pas de changement significatif
		Pourcentage de temps	Pas de changement significatif
Janssen et al. (34)	Crossover	Nombre	Pas de changement significatif
		Durée	Pas de changement significatif
Griffin et al. (91)	Crossover	Nombre	Pas de changement significatif
Kaminsky et al. (92)	Série de cas	Nombre	↗ non significative
Janssen et al. (83)	Etude de cas	Durée	↗ non significative

Légende : ↗= amélioration

3.3. Paramètres de marche

3.3.1. Evaluation des paramètres de marche

Quatre études ont choisi d'analyser différents paramètres de marche (Tab. XI). L'utilisation des capteurs (accéléromètres et gyroscopes) a été préférée par ces dernières pour analyser la marche.

Les différents paramètres évalués étaient :

- la longueur du pas (en mètre ou centimètre) pour 3 études
- le temps de réalisation de l'épreuve pour 2 études (en seconde ou minute)
- la vitesse de marche du sujet (en mètre/seconde ou mètre/minute) pour 2 études
- La cadence de marche (nombre de pas/minute) pour 4 études.

- La cinétique de marche pour 1 étude.

Tableau XI : Paramètres de marche évalués suivant les études

Etude	Outil d'évaluation	Paramètres évalués
Zhao et al. (84)	Capteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Longueur du pas • Vitesse de marche • Cadence de marche
Janssen et al. (76)	Capteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de demi-tour à 180° • Cadence de marche
Janssen et al. (34)	Capteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Longueur du pas • Cadence de marche • Cycle de marche
Griffin et al. (91)	Capteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Longueur du pas • Temps • Vitesse de marche • Cadence de marche

3.3.2. Effets sur les paramètres de marche

3.3.2.1. Longueur du pas

Concernant les études en crossover : l'étude de Zhao et al. (84) a montré que la réalité augmentée a significativement réduit la variation de longueur du pas (respectivement -1.84 ± 0.56 cm (-5.9%), $p < 0.01$ pour la condition optic flow et -1.90 ± 0.56 cm (-6.1%), $p < 0.001$ pour la condition LED). Cette variation s'est accompagnée d'une diminution de la longueur du pas (optic flow -2.44 ± 0.92 cm (-2.8%), $p < 0.01$; LED -3.22 ± 0.93 cm (-3.8%), $p < 0.005$). A l'inverse, la condition métronome a augmenté la longueur du pas (2.22 ± 0.93 cm (2.6%), $p < 0.05$). Janssen et al. (34) ont comparé les stimulations visuelles réelles à deux stimulations augmentées et ont montré une longueur de pas significativement plus longue pour les stimulations visuelles réelles ($\chi^2(1,571)$ $p=0,013$ et $\chi^2(1,762)$ $p=0,003$). Entre la réalité augmentée et l'absence de stimulation, il n'y a pas de changement significatif.

Dans la série de cas de Griffin et al. (91), la longueur du pas n'a pas significativement augmenté avec la réalité augmentée.

3.3.2.2. Temps de l'épreuve

Janssen et al. (76) ont étudié la durée de réalisation d'un demi-tour sous différentes conditions. La réalité augmentée n'a pas significativement diminué le temps de réalisation par rapport à la condition contrôle ($p=0,08$).

Avec Griffin et al. (91), l'utilisation de barres réelles au sol a montré une meilleure amélioration de temps ($F(1,18) = 3.07$, $p = 0.048$). L'utilisation de bandes en réalité augmentée a également montré une amélioration, mais non significative ($F(1,18) = 2.55$, $p = 0.064$). Cependant, l'utilisation de flashes lumineux en réalité augmentée a montré une réalisation plus longue de l'épreuve ($F(1,18) = 4.94$, $p = 0.020$).

3.3.2.3. Vitesse de marche

Zhao et al. (84) ont réalisé plusieurs parcours avec différentes conditions. Seul le métronome a amélioré la vitesse de marche et uniquement sur le parcours comprenant un passage de porte (5.62 ± 0.22 cm/s (11.2 %), $z = 2.51$, $p < 0.05$). A l'inverse, la vitesse a diminué avec la réalité augmentée sur les parcours comprenant des virages larges ou étroits (avec l'utilisation d'optic flow sur le virage large : -7.33 ± 0.22 cm/s (-7.5 %), $z = -3.34$, $p < 0.01$; virage étroit : -9.72 ± 0.22 cm/s (-10.7 %), $z = -4.42$, $p < 0.001$ et l'utilisation de LED virage large : -11.92 ± 0.22 cm/s (-12.1 %), $z = -5.321$, $p < 0.001$; virage étroit : -13.1 ± 0.23 cm/s (-14.4 %), $z = -5.79$, $p < 0.001$)

Dans leur étude, Griffin et al. (91) ont montré que les barres réelles amélioreraient la vitesse non significativement ($p=0,058$). La réalité augmentée, via des stimulations visuelles lumineuses rythmées, altérerait significativement la vitesse ($p=0,029$).

3.3.2.4. Cadence

Pour Zhao et al. (84), l'utilisation de toute les stimulations a diminué la cadence dans le parcours « virage étroit » (métronome: -5.20 ± 1.75 pas/min (-4.6 %), $z = -2.96$, $p < 0.01$; optic flow: -8.25 ± 2.00 pas/min (-7.3 %), $z = -4.12$, $p < 0.001$; LED: -12.03 ± 2.35 pas/min (-10.7 %), $z = -5.13$, $p < 0.001$) et pour le parcours « tour complet » (métronome: -4.35 ± 1.47 pas/min (-3.7 %), $z = -2.97$, $p < 0.01$; optic flow: -5.48 ± 1.78 pas/min (-4.7 %), $z = -3.08$, $p < 0.01$; LED: 5.17 ± 2.14 pas/min (-4.4 %), $z = -2.41$, $p < 0.05$). Uniquement

l'utilisation de LED a diminué la cadence lors du parcours « virage large » (-8.02 ± 2.33 pas/min (-7.4%), $z = -3.45$, $p < 0.01$).

Janssen et al. ont déterminé la cadence des sujets dans deux études. Dans la première (76), lors d'une épreuve de demi-tour, il n'y a pas de différence significative ($p=0,53$) entre l'utilisation de la réalité augmentée ou l'utilisation de stimulations auditives ou d'une absence d'indiçage. Dans la seconde (34), lors de différents parcours de marche, la cadence est significativement plus basse avec la réalité augmentée ($p<0,0005$) comparée à l'utilisation de barres réelles au sol. Lorsqu'elle est comparée avec un groupe contrôle sans stimulation, il n'y a pas de différence significative.

Pour Griffin et al. (91), la réalité augmentée avec stimulation lumineuse rythmée a réduit la cadence non significativement ($p=0,087$) de même que les barres réelles au sol ($p=0,055$).

Tableau XII : Effets de la réalité augmentée sur les paramètres de marche

Etudes	Type d'étude	Effets de la réalité augmentée sur :	Résultats
Zhao et al. (84)	Crossover	Longueur du pas	↘ significative
		Vitesse de marche	↘ significative
		Cadence de marche	↘ significative
Janssen et al. (76)	Crossover	Temps du demi-tour	Pas de changement significatif
		Cadence de marche	Pas de changement significatif
Janssen et al. (34)	Crossover	Longueur du pas	Pas de changement significatif
		Cadence de marche	Pas de changement significatif
Griffin et al. (91)	Crossover	Longueur du pas	Pas de changement significatif
		Temps de l'épreuve	↗ non significative sous Visual Flow VRG
			↘ significative sous Rhythmic cueing VRG
		Vitesse de marche	↘ significative
Cadence de marche	↘ non significative		

Légende : ↘=dégradation, ↗= amélioration

3.4. Avis des utilisateurs

3.4.1. Evaluation de l'avis des utilisateurs

Des six études incluses, quatre ont évalué le ressenti des patients avec la réalité augmentée.

Les études de Zhao et al. (84), Janssen et al. (34,76) et Kaminsky et al. (92) ont effectué un entretien semi-dirigé pour déterminer l'avis que les patients ont vis-à-vis de cette technologie mais également leurs préférences face à d'autres types d'indiçage ou encore si cette aide peut leur apporter une utilité au quotidien.

3.4.2. Effets sur l'avis des utilisateurs

Quatre des six études ont évalué le vécu des patients vis-à-vis de cette technologie. Zhao et al. (84) rapportent que 9/12 des patients sont prêts à utiliser les lunettes chez eux. Pour Kaminsky (92), les patients estiment avoir une meilleure mobilité avec cette aide. D'après l'étude de Janssen et al. (76), 67% des participants ont estimé que la réalité augmentée les a aidés à tourner.

Selon une autre étude de Janssen et al. (34), l'apprentissage de leur utilisation est facile. L'envie d'une utilisation quotidienne est considérée comme faible chez les sujets qui privilégient l'utilisation du métronome. C'est également le cas dans l'étude de Zhao et al. (84) où 11/12 des patients ont préféré l'utilisation du métronome.

Les principaux problèmes à cette technologie rapportés par les patients sont la difficulté de se concentrer selon l'étude de Zhao. La taille et la position des verres de lunettes ainsi que leur paramétrage sont des points négatifs souvent rapportés par les patients.

4. DISCUSSION

4.1. Apport sur le freezing

4.1.1. Synthèse des résultats

Les six études incluses dans notre revue n'ont pas montré d'effets significatifs sur les différents paramètres du freezing. Quatre de ces études n'ont pas montré de différences significatives comparé aux conditions contrôles ou aux stimulations visuelles réelles ou auditives. Seules deux études, qui ont les niveaux de preuves les plus faibles, ont montré une amélioration mais non statistiquement significative. Ces résultats nous laissent donc supposer que dans sa forme actuelle, la réalité augmentée n'a pas d'effet sur le freezing.

L'utilisation d'autres entraînements thérapeutiques tel que l'entraînement sur tapis de marche ou l'utilisation de stratégie attentionnelle n'a été ni comparée, ni réalisée en complément de la réalité augmentée dans les études sélectionnées.

Les auteurs de ces articles justifient leurs résultats. Dans les études de Janssen et al. (34,76), les auteurs émettent l'hypothèse que le port des lunettes entraîne une double-tâche responsable d'une perturbation de la marche et du freezing. Le poids des lunettes a pu également perturber la marche des patients comme le souligne ces études. Zhao et al. (84) émettent l'hypothèse, comme dans les études de Janssen et al., que les lunettes ont pu déconcentrer les patients et donc altérer leur marche et le freezing. Cette supposition se base sur les entretiens effectués avec les patients à la fin des études.

4.1.2. Port des lunettes et freezing

Janssen et al. (83) ont testé la réalité augmentée sur une personne réceptive aux indices visuels pour déterminer si le port des lunettes de réalité augmentée affecte le freezing. Lors de cette étude de cas, le patient a montré une amélioration non significative de la durée du freezing avec la réalité augmentée allumée et ne montre pas de différence significative lorsqu'elle est éteinte comparé à l'absence de stimulation. Cette étude laisse donc penser que le port d'appareils de réalité augmentée n'altère pas le freezing. Cependant, compte tenu de l'absence de significativité des résultats et du design de l'étude, cette conclusion ne peut être affirmée avec certitude et nécessite une recherche plus approfondie pour généraliser cette observation au reste de la population.

4.1.3. Expérience antérieure avec la réalité augmentée

Les populations incluses dans les différentes études ont certaines disparités. Leur expérience antérieure avec la réalité augmentée par exemple n'est pas identique suivant les études. Dans l'étude de Janssen et al. (76) certains patients avaient déjà expérimenté cette technologie alors que d'autres non. Dans l'étude de Kaminsky et al. (92), les participants ont été choisis parce qu'ils avaient déjà participé à une étude avec les nouvelles technologies. Cette différence d'expérience et d'entraînement avec la réalité augmentée a pu influencer les résultats de ces patients. Il est possible en effet, qu'une connaissance préalable de la technologie facilite l'entraînement avec celle-ci. Les patients connaissant déjà l'utilisation et le fonctionnement du dispositif et sont moins surpris par l'indigage. Par ailleurs, si les patients sont habitués à percevoir les indigages en réalité augmentée, la concentration nécessaire pour les différencier de l'environnement réel est possiblement moindre. La double-tâche engendrée par l'indigage pourrait être donc moins compliquée pour les patients ne découvrant pas cette technologie.

4.1.4. Réalité augmentée et troubles des fonctions exécutives

La maladie de Parkinson idiopathique s'accompagne de troubles des fonctions exécutives. Cela se traduit par une difficulté à réaliser des double-tâches, à prendre des décisions, à planifier des actions ou encore à inhiber certaines réponses automatiques (50,93,94). Lorsque la maladie progresse, ces troubles deviennent plus importants et viennent impacter la marche ainsi que l'équilibre des patients (50).

Les auteurs des études de Zhao et Janssen (34,76,84) émettent l'hypothèse que l'utilisation de la réalité augmentée a entraîné une double-tâche lors des expériences qui a pu perturber la marche et le freezing des patients (95). Ce problème de double-tâche peut être dû à un trouble attentionnel ou de mémoire de travail (94,96) : une surcharge d'informations arrive au patient qui ne parvient plus à savoir sur quelle information se focaliser, passe d'une tâche à l'autre en oubliant la précédente et finit par se bloquer.

Plus qu'un problème de double-tâche, Cohen et al. (93) ont essayé de déterminer quelle composante des fonctions exécutives est la plus affectée lors du freezing. Selon leur étude, le freezing serait dû en particulier à un défaut d'inhiber certaines actions, rendant ainsi le transfert de poids entre les jambes impossible. Ce défaut d'inhibition de comportement postural empêche la génération de mouvements et entraîne un freezing.

Lorsque les troubles exécutifs deviennent trop importants, au point que les patients n'arrivent plus à se concentrer sur l'indiçage, il est possible que ces derniers soient incapables d'utiliser cette stimulation. Ces troubles ayant été contrôlés avec la sélection des patients, il serait intéressant de refaire ces études avec des patients atteints de troubles exécutifs plus sévères afin de déterminer si l'effet de la réalité augmentée varie avec l'importance de ces troubles.

4.1.5. Effet immédiat et moyen terme

Par ailleurs, sur ces six études, cinq d'entre elles n'étudient les effets de la réalité augmentée que sur un effet immédiat après un entraînement de quelques minutes. L'étude de Kaminsky et al. (92) évalue les effets de cette aide sur une période plus longue : 18 à 24 jours. Si l'effet immédiat de cette technologie ne montre pas de changement, lors d'une utilisation plus longue, avec un entraînement donc plus poussé, cet indiçage semble montrer des résultats intéressants bien que non significatifs. Lors d'une utilisation quotidienne à domicile et dans l'environnement propre du patient, la réalité augmentée pourrait améliorer le nombre d'épisodes de freezing rapporté par les patients.

4.2. Apport sur les paramètres de marche

4.2.1. Apport sur la longueur du pas

Zhao et al. ont montré une diminution significative de cette dernière. Pour Janssen et al, la réalité augmentée ne diffère pas de l'absence de stimulation mais comparé aux indiçages réels actuellement utilisés, les résultats sont significativement inférieurs (34,84). Ces résultats laissent à penser que la réalité augmentée altère la longueur du pas du patient parkinsonien. Pour les mêmes raisons que pour le freezing cité plus haut, les auteurs ont justifié ces résultats : une double-tâche visuelle a altéré la marche probablement à cause de troubles des fonctions exécutives.

Néanmoins, une autre étude a démontré l'effet inverse. Ahn et al. (31) ont inventé un dispositif de réalité augmentée capable d'émettre un indiçage visuel augmenté en fonction ou non de la vitesse du sujet. Leur dispositif contourne le problème attentionnel en faisant apparaître l'indiçage uniquement quand le patient ralentit sa marche (et peut donc annoncer un freezing). La limite majeure de cet appareil est qu'il nécessite plusieurs pas pour s'enclencher et ne s'active pas au début de la marche qui peut elle aussi être affectée par le

freezing. Cet appareil a été testé avec des indiçages dits stéréotypés (indépendants de la vitesse du patient) et d'autres personnalisés basés sur la vitesse de marche du patient. En comparaison à une condition contrôle sans indiçage, leur système de réalité augmentée a amélioré la longueur du pas de 31,7% avec l'indiçage personnalisé.

L'indiçage visuel personnalisé et apparaissant uniquement au besoin pourrait-être plus prometteur que les autres indiçages pour optimiser la longueur du pas.

4.2.2. Apport sur la vitesse de marche

L'étude de Zhao (84) a évalué la vitesse de marche des patients lors de leurs parcours. Une baisse significative de la vitesse de marche a été observée. Ces résultats laissent à penser que la réalité augmentée a un effet immédiat relativement délétère sur la vitesse de marche.

Cependant, comme pour la longueur de pas, l'étude de Ahn et al. (31) tend à démontrer le contraire, l'indiçage personnalisé permettant d'augmenter la vitesse de marche de 37,2%. Cette série de cas a un niveau de preuve plus faible que l'étude de Zhao.

La réalité augmentée semble au vu de nos résultats, détériorer la vitesse de marche des patients.

4.2.3. Apport sur la cadence de marche

Les résultats concernant la cadence de marche sont défavorables. Sur quatre études, une a montré une baisse significative et les trois autres n'ont pas trouvé de différence significative. Si la cadence diminue, cela peut être dû soit à une augmentation de la longueur du pas, soit à une difficulté à avancer le pied (initiation de la marche) réduisant également le nombre de pas à la minute. Or, dans les résultats précédents, les études tendent à démontrer que la longueur des pas serait plus petite avec la réalité augmentée. Les études montrant un résultat significativement plus petit pour la cadence sont également celles qui montraient une diminution significative de la longueur du pas. Il est donc probable que la réalité augmentée ait rendu plus difficile la marche des sujets.

4.3. Intérêt de l'utilisateur

Malgré les effets mitigés démontrés par ces études, les patients semblent plutôt satisfaits par cet indiçage. En effet, lors des entretiens réalisés à la fin des expériences, l'avis des participants est globalement positif vis-à-vis de la réalité augmentée. Ils rapportent que la majorité des patients apprécierait avoir ce genre de dispositif à domicile ou le recommanderait à leurs proches. Cet indiçage leur a facilité, selon eux, la réalisation de l'épreuve de demi-tour dans l'étude de Janssen et al. (76) alors que les résultats objectifs ne montrent pas une telle amélioration. Avec Zhao et al (84), la moitié des patients ont eu l'impression que les stimulations avaient amélioré leur marche, cette sensation était présente chez tous les patients de l'étude de Kaminsky et al. (92).

Pour mieux comprendre l'impact des nouvelles technologies sur la population, le groupe Gartner propose un cycle plaçant diverses technologies en fonction de leur stade de développement et de l'engouement de la population à leur égard (97). Ce cycle, sous la forme d'une courbe, est divisé en 5 phases (Fig. 10). Une première phase correspond à la percée technologique. La technologie émerge et son engouement auprès de la population augmente jusqu'à une deuxième phase dite de pic de Hype où l'engouement et les possibilités thérapeutiques sont à leur paroxysme. Vient alors une troisième phase de désillusion, où les premiers échecs de la technologie apparaissent accompagné d'un désintéressement croissant. Puis une phase « d'illumination » où la technologie est mieux comprise par les développeurs et où elle permet une utilisation plus ciblée. Enfin, une phase de plateau avec une adoption plus ou moins généralisée par la population.

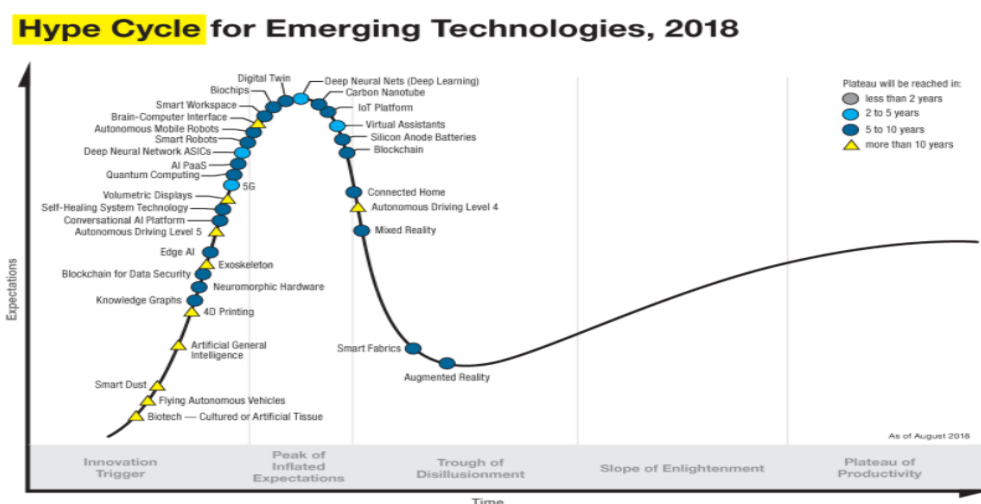


Figure 10 : Cycle de la Hype de Gartner en 2018 (97)

La réalité augmentée se place actuellement dans cette troisième phase de désillusion. Les études actuelles montrent que ses capacités ne permettent pas d'améliorer le freezing ou les paramètres de marche. Il est donc nécessaire de réétudier la conception des dispositifs pour pouvoir passer à un stade de développement plus optimisé et espérer généraliser l'utilisation de cette technologie. Les patients eux seraient plus dans les deux premières phases de ce cycle. Leur engouement est plutôt en faveur de la réalité augmentée au point de, pour certains, vouloir l'utiliser quotidiennement à domicile (84,92).

Par ailleurs, il serait intéressant de se questionner sur la place de la réalité augmentée au sein de l'Evidence-Based Practice. Cette dernière regroupe trois éléments (Fig. 11) : l'expérience clinique du thérapeute, les preuves scientifiques de la littérature ainsi que les préférences du patient. Si les résultats de notre revue et les preuves scientifiques actuelles ne permettent pas d'affirmer une réelle efficacité de la réalité augmentée, les préférences des patients laissent à penser que cette indication peut leur être utile.

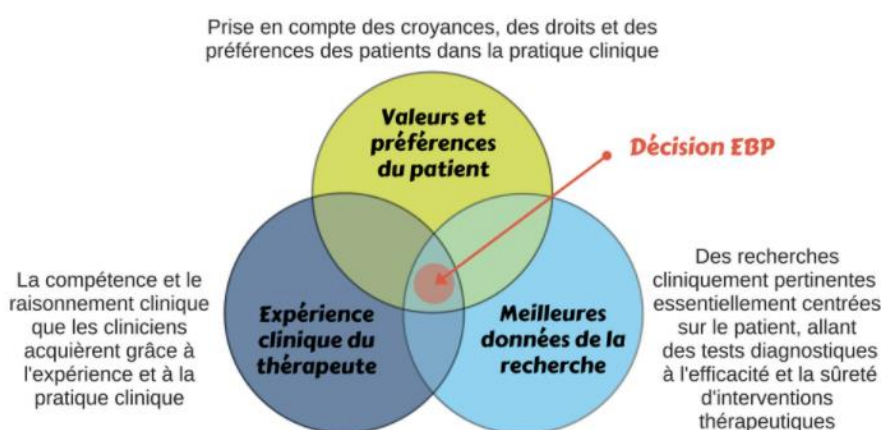


Figure 11 : Schéma de l'Evidence-Based Practice (98)

Il n'est donc pas obligatoire d'exclure cette technologie de la prise en charge des patients. Même si d'un point de vue strictement rééducatif, elle n'apporte pas plus que les indiçages visuels et auditifs conventionnels, la réalité augmentée peut être intéressante pour garder la motivation du patient tout au long de son traitement et de sa prise en charge. La maladie de Parkinson idiopathique est une pathologie chronique avec laquelle les patients doivent apprendre à vivre. Ces dispositifs permettent de leur proposer de nouveaux exercices et ainsi entretenir leur motivation qui peut aussi diminuer avec le temps et l'évolution de la maladie.

Cependant, ce point est à contrebalancer avec les aspects négatifs également relevés par les patients. Le poids des lunettes et leur effet distrayant sont des freins à une utilisation

optimale de ces dispositifs. De même, Lee et al. (99) ont utilisé une paire de Google Glass® similaire à celle utilisée par Zhao et al. (84). Ces derniers ont relevé deux points négatifs supplémentaires à cette technologie, le premier étant l'obsolescence des logiciels d'exploitation des lunettes. Il serait intéressant de voir si les mêmes résultats sont observés chez les patients avec une technologie plus récente et qui potentiellement aura corrigé les aspects négatifs actuels. Le second étant l'autonomie des dispositifs. Ce point est également évoqué dans l'étude de Ahn et al. (31), qui montre que l'autonomie de la batterie n'est que d'une journée environ. Cela limite l'utilisation à long terme par les patients notamment en dehors de leur domicile.

4.4. Limites de notre étude

Notre étude présente plusieurs limites. Tout d'abord, le faible nombre d'articles sélectionnés ne nous permet pas d'affirmer que nos conclusions sont valables pour l'ensemble de la population. Par ailleurs, plusieurs articles n'ont pas été retenus dans notre revue car ils ne présentaient pas encore de résultats ou leur texte intégral n'a pu être obtenu. Ces études auraient potentiellement pu apporter de nouvelles données pouvant influencer la réponse à notre question de recherche.

De plus, les études sélectionnées ont un niveau de preuve relativement faible. Aucun essai contrôlé randomisé de forte puissance n'a été trouvé. Le niveau de preuve de notre revue en est donc impacté.

Un biais d'attrition a été retrouvé dans toutes les études. La fatigue lors des différents parcours a eu un impact fort sur les patients. Certains ont dû arrêter l'expérience et leurs résultats n'ont donc pas pu être pris en compte. Ce nombre de personne dont les résultats n'ont pu être analysés est variable suivant les études mais affecte la précision des résultats.

4.5. Futures études

Si de nouvelles études venaient à être réalisées sur ce sujet, plusieurs points seraient à modifier. Zhao, Janssen et Kaminsky proposent tous les trois d'essayer la réalité augmentée sur une période plus longue (7 à 10 jours) pour mieux comprendre et s'entraîner avec la technologie. Cela permettrait d'étudier l'effet de cet indicage sur un plus long terme ainsi que dans l'environnement personnel et quotidien des patients. Cela permettrait d'étudier :

- l'effet de l'entraînement de ce dispositif. Un entraînement plus long pourrait avoir de meilleurs résultats sur les effets immédiats de cette technologie.
- si un effet perdure dans le temps après l'arrêt de la stimulation. Des études s'intéressant à nos mêmes critères de jugements mais après quelques jours ou quelques semaines après l'arrêt de l'utilisation de la réalité augmentée seraient à réaliser pour déterminer si des effets sont encore observables à plus long terme.

La population choisie serait également à prendre en compte. Janssen propose de vérifier que les patients soient bien réceptifs aux indiçages visuels et auditifs afin de vérifier que les effets ou non-effets observés proviennent bien des indiçages (76). Un groupe contrôle de personnes saines pourrait également être intéressant pour étudier l'effet de la réalité augmentée sur leurs paramètres de marche (34). La motivation des sujets est à prendre en considération. En effet, l'étude de Kaminsky a sélectionné des personnes très motivées par cette technologie et a obtenu des résultats positifs. Il est donc raisonnable de se poser la question de l'influence de la motivation des patients dans de futures études.

Enfin, Zhao et Janssen (76,84) proposent d'améliorer au préalable les lunettes de réalité augmentée avec un poids plus léger mais surtout avec un indiçage personnalisé propre à chaque patient et à leur vitesse de marche à l'instar des lunettes développées par Ahn et al (31).

CONCLUSION

Malgré le faible niveau de preuve de nos études, la réalité augmentée dans sa forme actuelle, n'apparaît pas comme une solution permettant d'améliorer le freezing. Suite à un entraînement de courte durée, son effet ne se distingue pas des autres types d'indiçages. Au contraire, elle semble même altérer les paramètres de marche des patients présentant un freezing.

Néanmoins, il pourrait avoir un effet intéressant à moyen terme avec un freezing moins présent. De futures études de meilleures qualités seraient à réaliser pour en déterminer les effets précis. Si un entraînement de plus longue durée a un impact positif à la fin ou à distance de celui-ci, sur les effets à moyen et long terme, cet indiçage serait pertinent pour une utilisation à domicile des patients.

Actuellement, la réalité augmentée n'a pas d'utilité clinique démontrée ni sur le freezing, ni sur les paramètres de marche. Certains aspects sont encore à éprouver expérimentalement mais son utilisation dans la rééducation du freezing parkinsonien n'est pour l'heure pas recommandable.

BIBLIOGRAPHIE

1. Tysnes O-B, Storstein A. Epidemiology of Parkinson's disease. *J Neural Transm Vienna Austria* 1996. août 2017;124(8):901-5.
2. Reich SG, Savitt JM. Parkinson's Disease. *Med Clin North Am.* mars 2019;103(2):337-50.
3. Ascherio A, Schwarzschild MA. The epidemiology of Parkinson's disease: risk factors and prevention. *Lancet Neurol.* nov 2016;15(12):1257-72.
4. Lesage S, Durr A, Brice A. LRRK2, gène majeur de la maladie de Parkinson dans les pays du Maghreb. *médecine/sciences.* 1 mai 2006;22(5):470-1.
5. Guide parcours de soins maladie de Parkinson [Internet]. Haute Autorité de Santé. [cité 9 janv 2021]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_1242645/fr/guide-parcours-de-soins-maladie-de-parkinson
6. Breckenridge CB, Berry C, Chang ET, Sielken RL, Mandel JS. Association between Parkinson's Disease and Cigarette Smoking, Rural Living, Well-Water Consumption, Farming and Pesticide Use: Systematic Review and Meta-Analysis. *PloS One.* 2016;11(4):e0151841.
7. Eger A-F, Gaudet-Blavignac C, Hammer A. La Maladie de Parkinson. Université de Genève; 2009.
8. Beitz JM. Parkinson's disease: a review. *Front Biosci Sch Ed.* 1 janv 2014;6:65-74.
9. La maladie de Parkinson : critères diagnostiques et thérapeutiques [Internet]. Haute Autorité de Santé. [cité 29 déc 2020]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_272069/fr/la-maladie-de-parkinson-criteres-diagnostiques-et-therapeutiques
10. HAS. La Maladie de Parkinson : critères diagnostiques et thérapeutiques [Internet]. 2000 [cité 28 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/park.pdf>
11. 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. *Mov Disord.* 2018;33(4):651-2.
12. Siderowf A, McDermott M, Kieburtz K, Blindauer K, Plumb S, Shoulson I, et al. Test-retest reliability of the unified Parkinson's disease rating scale in patients with early Parkinson's disease: results from a multicenter clinical trial. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc.* juill 2002;17(4):758-63.
13. MDS-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) [Internet]. [cité 29 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.movementdisorders.org/MDS/MDS-Rating-Scales/MDS-Unified-Parkinsons-Disease-Rating-Scale-MDS-UPDRS.htm>

14. Stocchi F, Radicati FG, Chaudhuri KR, Johansson A, Padmakumar C, Falup-Pecurariu C, et al. The Parkinson's Disease Composite Scale: results of the first validation study. *Eur J Neurol*. mars 2018;25(3):503-11.
15. Pfeiffer RF. Non-motor symptoms in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. janv 2016;22 Suppl 1:S119-122.
16. Sveinbjornsdottir S. The clinical symptoms of Parkinson's disease. *J Neurochem*. oct 2016;139 Suppl 1:318-24.
17. Olson M, Lockhart TE, Lieberman A. Motor Learning Deficits in Parkinson's Disease (PD) and Their Effect on Training Response in Gait and Balance: A Narrative Review. *Front Neurol* [Internet]. 2019 [cité 24 sept 2020];10. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2019.00062/full>
18. Gelb DJ, Oliver E, Gilman S. Diagnostic criteria for Parkinson disease. *Arch Neurol*. janv 1999;56(1):33-9.
19. Frank C, Pari G, Rossiter JP. Approach to diagnosis of Parkinson disease. *Can Fam Physician*. 10 juill 2006;52(7):862-8.
20. HAS. Maladie de Parkinson et syndromes apparentés : techniques et modalités de la prise en charge non médicamenteuse des troubles moteurs [Internet]. 2016 [cité 9 nov 2020]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2016-07/maladie_de_parkinson_et_syndromes_apparentes_-_rapport_delaboration.pdf
21. Syndrome parkinsonien [Internet]. Collège des Enseignants de Neurologie. 2016 [cité 28 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.cen-neurologie.fr/premier-cycle/semiologie-analytique/syndrome-myogene-myopathique/syndrome-myogene-myopathique-11>
22. Weiss D, Schoellmann A, Fox MD, Bohnen NI, Factor SA, Nieuwboer A, et al. Freezing of gait: understanding the complexity of an enigmatic phenomenon. *Brain J Neurol*. 01 2020;143(1):14-30.
23. Nutt JG, Bloem BR, Giladi N, Hallett M, Horak FB, Nieuwboer A. Freezing of gait: moving forward on a mysterious clinical phenomenon. *Lancet Neurol*. août 2011;10(8):734-44.
24. Nonnekes J, Snijders AH, Nutt JG, Deuschl G, Giladi N, Bloem BR. Freezing of gait: a practical approach to management. *Lancet Neurol*. juill 2015;14(7):768-78.
25. Amboni M, Stocchi F, Abbruzzese G, Morgante L, Onofri M, Ruggieri S, et al. Prevalence and associated features of self-reported freezing of gait in Parkinson disease: The DEEP FOG study. *Parkinsonism Relat Disord*. juin 2015;21(6):644-9.
26. Bek J, Arakaki AI, Lawrence A, Sullivan M, Ganapathy G, Poliakoff E. Dance and Parkinson's: A review and exploration of the role of cognitive representations of action. *Neurosci Biobehav Rev*. 1 févr 2020;109:16-28.

27. Hulzinga F, Nieuwboer A, Dijkstra BW, Mancini M, Strouwen C, Bloem BR, et al. The New Freezing of Gait Questionnaire: Unsuitable as an Outcome in Clinical Trials? *Mov Disord Clin Pract.* févr 2020;7(2):199-205.
28. Ge H-L, Chen X-Y, Lin Y-X, Ge T-J, Yu L-H, Lin Z-Y, et al. The prevalence of freezing of gait in Parkinson's disease and in patients with different disease durations and severities. *Chin Neurosurg J.* 2020;6:17.
29. Moreau C, Cantiniaux S, Delval A, Defebvre L, Azulay J-P. [Gait disorders in Parkinson's disease: and pathophysiological approaches]. *Rev Neurol (Paris).* févr 2010;166(2):158-67.
30. Mancini M, Bloem BR, Horak FB, Lewis SJG, Nieuwboer A, Nonnekes J. Clinical and methodological challenges for assessing freezing of gait: Future perspectives. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc.* 2019;34(6):783-90.
31. Ahn D, Chung H, Lee H-W, Kang K, Ko P-W, Kim NS, et al. Smart Gait-Aid Glasses for Parkinson's Disease Patients. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2017;64(10):2394-402.
32. 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. *J Neurol.* août 2017;264(8):1642-54.
33. Moore ST, Yungher DA, Morris TR, Dilda V, MacDougall HG, Shine JM, et al. Autonomous identification of freezing of gait in Parkinson's disease from lower-body segmental accelerometry. *J NeuroEngineering Rehabil.* 13 févr 2013;10:19.
34. Janssen S, Bolte B, Nonnekes J, Bittner M, Bloem BR, Heida T, et al. Usability of Three-dimensional Augmented Visual Cues Delivered by Smart Glasses on (Freezing of) Gait in Parkinson's Disease. *Front Neurol [Internet].* 13 juin 2017 [cité 14 oct 2020];8. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28659862/>
35. Giladi N, Tal J, Azulay T, Rascol O, Brooks DJ, Melamed E, et al. Validation of the freezing of gait questionnaire in patients with Parkinson's disease. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc.* 15 avr 2009;24(5):655-61.
36. 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.* nov 2009;30(4):459-63.
37. Nilsson M, Hariz G-M, Wictorin K, Miller M, Forsgren L, Hagell P. Development and testing of a self administered version of the Freezing of Gait Questionnaire. *BMC Neurol.* 23 sept 2010;10:85.
38. Bloem BR, Hausdorff JM, Visser JE, Giladi N. Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: a review of two interconnected, episodic phenomena. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc.* août 2004;19(8):871-84.

39. Canning CG, Paul SS, Nieuwboer A. Prevention of falls in Parkinson's disease: a review of fall risk factors and the role of physical interventions. *Neurodegener Dis Manag.* 2014;4(3):203-21.
40. Bekkers EMJ, Dijkstra BW, Heremans E, Verschueren SMP, Bloem BR, Nieuwboer A. Balancing between the two: Are freezing of gait and postural instability in Parkinson's disease connected? *Neurosci Biobehav Rev.* nov 2018;94:113-25.
41. Bekkers EMJ, Dijkstra BW, Dockx K, Heremans E, Verschueren SMP, Nieuwboer A. Clinical balance scales indicate worse postural control in people with Parkinson's disease who exhibit freezing of gait compared to those who do not: A meta-analysis. *Gait Posture.* 1 juill 2017;56:134-40.
42. Coelho DB, Ribeiro de Souza C, de Lima-Pardini AC, Treza R de C, Shida TKF, Silva-Batista C, et al. Is freezing of gait correlated with postural control in patients with moderate-to-severe Parkinson's disease? *Eur J Neurosci.* 19 oct 2020;
43. Schlenstedt C, Muthuraman M, Witt K, Weisser B, Fasano A, Deuschl G. Postural control and freezing of gait in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord.* mars 2016;24:107-12.
44. Duncan RP, Leddy AL, Cavanaugh JT, Dibble LE, Ellis TD, Ford MP, et al. Balance differences in people with Parkinson disease with and without freezing of gait. *Gait Posture.* sept 2015;42(3):306-9.
45. Okuma Y. Freezing of gait and falls in Parkinson's disease. *J Park Dis.* 2014;4(2):255-60.
46. Witt I, Ganjavi H, MacDonald P. Relationship between Freezing of Gait and Anxiety in Parkinson's Disease Patients: A Systemic Literature Review. *Park Dis.* 2019;2019:6836082.
47. Yao Z, Shao Y, Han X. Freezing of gait is associated with cognitive impairment in patients with Parkinson disease. *Neurosci Lett.* 24 août 2017;656:126-30.
48. Derouesné C, Poitreneau J, Hugonot L, Kalafat M, Dubois B, Laurent B. Au nom du groupe de recherche sur l'évaluation cognitive (GRECO). Le Mental-State Examination (MMSE): un outil pratique pour l'évaluation de l'état cognitif des patients par le clinicien. Version française consensuelle. *Presse Méd.* 1999;1141-8.
49. Ciesielska N, Sokołowski R, Mazur E, Podhorecka M, Polak-Szabela A, Kędziora-Kornatowska K. Is the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test better suited than the Mini-Mental State Examination (MMSE) in mild cognitive impairment (MCI) detection among people aged over 60? Meta-analysis. *Psychiatr Pol.* 31 oct 2016;50(5):1039-52.
50. Dirnberger G, Jahanshahi M. Executive dysfunction in Parkinson's disease: a review. *J Neuropsychol.* sept 2013;7(2):193-224.

51. Vitorio R, Stuart S, Mancini M. Executive Control of Walking in People With Parkinson's Disease With Freezing of Gait. *Neurorehabil Neural Repair*. déc 2020;34(12):1138-49.
52. Rudzińska M, Bukowczan S, Stożek J, Zajdel K, Mirek E, Chwata W, et al. Causes and consequences of falls in Parkinson disease patients in a prospective study. *Neurol Neurochir Pol*. 1 janv 2013;47(5):423-30.
53. Goldenberg MM. Medical Management of Parkinson's Disease. *Pharm Ther*. oct 2008;33(10):590-606.
54. Tarakad A, Jankovic J. Diagnosis and Management of Parkinson's Disease. *Semin Neurol*. avr 2017;37(2):118-26.
55. Fietzek UM, Zwosta J, Schroeteler FE, Ziegler K, Ceballos-Baumann AO. Levodopa changes the severity of freezing in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. oct 2013;19(10):894-6.
56. Dayal V, Limousin P, Foltynie T. Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease: The Effect of Varying Stimulation Parameters. *J Park Dis*. 2017;7(2):235-45.
57. Deep Brain Stimulation – Advantages, Risks and Conditions Treated [Internet]. [cité 20 févr 2021]. Disponible sur: <https://www.aans.org/>
58. Barbe MT, Tonder L, Krack P, Debû B, Schüpbach M, Paschen S, et al. Deep Brain Stimulation for Freezing of Gait in Parkinson's Disease With Early Motor Complications. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc*. janv 2020;35(1):82-90.
59. Malek N. Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease. *Neurol India*. août 2019;67(4):968-78.
60. Cosentino C, Baccini M, Putzolu M, Ristori D, Avanzino L, Pelosin E. Effectiveness of Physiotherapy on Freezing of Gait in Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analyses. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc*. avr 2020;35(4):523-36.
61. Bloem BR, de Vries NM, Ebersbach G. Nonpharmacological treatments for patients with Parkinson's disease. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc*. 15 sept 2015;30(11):1504-20.
62. Domingos J, Coelho M, Ferreira JJ, Domingos J, Coelho M, Ferreira JJ. Referral to rehabilitation in Parkinson's disease: who, when and to what end? *Arq Neuropsiquiatr*. déc 2013;71(12):967-72.
63. Spaulding SJ, Barber B, Colby M, Cormack B, Mick T, Jenkins ME. Cueing and Gait Improvement Among People With Parkinson's Disease: A Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 1 mars 2013;94(3):562-70.
64. Tomlinson CL, Patel S, Meek C, Herd CP, Clarke CE, Stowe R, et al. Physiotherapy versus placebo or no intervention in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 10 sept 2013;(9):CD002817.

65. Temporiti F, Adamo P, Cavalli E, Gatti R. Efficacy and Characteristics of the Stimuli of Action Observation Therapy in Subjects With Parkinson's Disease: A Systematic Review. *Front Neurol* [Internet]. 2020 [cité 23 févr 2021];11. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2020.00808/full>
66. Baker K, Rochester L, Nieuwboer A. The immediate effect of attentional, auditory, and a combined cue strategy on gait during single and dual tasks in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*. déc 2007;88(12):1593-600.
67. Lirani-Silva E, Lord S, Moat D, Rochester L, Morris R. Auditory Cueing for Gait Impairment in Persons With Parkinson Disease: A Pilot Study of Changes in Response With Disease Progression. *J Neurol Phys Ther JNPT*. janv 2019;43(1):50-5.
68. Ginis P, Nackaerts E, Nieuwboer A, Heremans E. Cueing for people with Parkinson's disease with freezing of gait: A narrative review of the state-of-the-art and novel perspectives. *Ann Phys Rehabil Med*. 1 nov 2018;61(6):407-13.
69. Gómez-González J, Martín-Casas P, Cano-de-la-Cuerda R. Effects of auditory cues on gait initiation and turning in patients with Parkinson's disease. *Neurol Barc Spain*. août 2019;34(6):396-407.
70. Lu C, Amundsen Huffmaster SL, Tuite PJ, Vachon JM, MacKinnon CD. Effect of Cue Timing and Modality on Gait Initiation in Parkinson Disease With Freezing of Gait. *Arch Phys Med Rehabil*. juill 2017;98(7):1291-1299.e1.
71. Frazzitta G, Maestri R, Uccellini D, Bertotti G, Abelli P. Rehabilitation treatment of gait in patients with Parkinson's disease with freezing: a comparison between two physical therapy protocols using visual and auditory cues with or without treadmill training. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc*. 15 juin 2009;24(8):1139-43.
72. Iansek R, Danoudis M. Freezing of Gait in Parkinson's Disease: Its Pathophysiology and Pragmatic Approaches to Management. *Mov Disord Clin Pract*. juin 2017;4(3):290-7.
73. Rocha PA, Porfírio GM, Ferraz HB, Trevisani VFM. Effects of external cues on gait parameters of Parkinson's disease patients: a systematic review. *Clin Neurol Neurosurg*. sept 2014;124:127-34.
74. Espay AJ, Baram Y, Dwivedi AK, Shukla R, Gartner G, Gaines L, et al. At-home training with closed-loop augmented-reality cueing device for improving gait in patients with Parkinson disease. *J Rehabil Res Dev* [Internet]. 2010 [cité 14 oct 2020];47(6). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20848370/>
75. Huang K-T, Ball C, Francis J, Ratan R, Boumis J, Fordham J. Augmented Versus Virtual Reality in Education: An Exploratory Study Examining Science Knowledge Retention When Using Augmented Reality/Virtual Reality Mobile Applications. *Cyberpsychology Behav Soc Netw*. 18 janv 2019;22(2):105-10.
76. Janssen S, de Ruyter van Steveninck J, Salim H, Cockx HM, Bloem BR, Heida T, et al. The Effects of Augmented Reality Visual Cues on Turning in Place in Parkinson's Disease Patients With Freezing of Gait. *Front Neurol* [Internet]. 24 mars

2020 [cité 14 oct 2020];11. Disponible sur:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32265826/>

77. Ferrarin M, Brambilla M, Garavello L, Di Candia L, Pedotti A, Rabuffetti M. Microprocessor-controlled optical stimulating device to improve the gait of patients with Parkinson's disease. *Med Biol Eng Comput* [Internet]. mai 2004 [cité 14 oct 2020];42(3). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15191077/>

78. Bank PJM, Cidota MA, Ouweland PW, Lukosch SG. Patient-Tailored Augmented Reality Games for Assessing Upper Extremity Motor Impairments in Parkinson's Disease and Stroke. *J Med Syst*. déc 2018;42(12):246.

79. Yamagami M, Imsdahl S, Lindgren K, Bellatin O, Nhan N, Burden SA, et al. Effects of virtual reality environments on overground walking in people with Parkinson disease and freezing of gait. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 6 nov 2020;0(0):1-8.

80. Triegaardt J, Han TS, Sada C, Sharma S, Sharma P. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants. *Neurol Sci Off J Ital Neurol Soc Ital Soc Clin Neurophysiol*. mars 2020;41(3):529-36.

81. Chicchi Giglioli IA, Pallavicini F, Pedroli E, Serino S, Riva G. Augmented Reality: A Brand New Challenge for the Assessment and Treatment of Psychological Disorders. *Comput Math Methods Med*. 3 août 2015;2015:e862942.

82. Asakawa T, Sugiyama K, Nozaki T, Sameshima T, Kobayashi S, Wang L, et al. Can the Latest Computerized Technologies Revolutionize Conventional Assessment Tools and Therapies for a Neurological Disease? The Example of Parkinson's Disease. *Neurol Med Chir (Tokyo)* [Internet]. 15 mars 2019 [cité 14 oct 2020];59(3). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30760657/>

83. Janssen S, de Ruyter van Steveninck J, Salim H, Bloem BR, Heida T, van Wezel RJA. The Beneficial Effects of Conventional Visual Cues Are Retained When Augmented Reality Glasses Are Worn [Internet]. Vol. 2020, Parkinson's disease. *Parkinsons Dis*; 2020 [cité 14 oct 2020]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32322385/>

84. Zhao Y, Nonnekes J, Storcken E, Janssen S, van Wegen E, Bloem B, et al. Feasibility of external rhythmic cueing with the Google Glass for improving gait in people with Parkinson's disease | Cochrane Library. *J Neurol*. 2016;(263):1156-65.

85. Tunur T, DeBlois A, Yates-Horton E, Rickford K, Columna LA. Augmented reality-based dance intervention for individuals with Parkinson's disease: A pilot study. *Disabil Health J*. avr 2020;13(2):100848.

86. Tomlinson CL, Herd CP, Clarke CE, Meek C, Patel S, Stowe R, et al. Physiotherapy for Parkinson's disease: a comparison of techniques. *Cochrane Database Syst Rev*. 17 juin 2014;(6):CD002815.

87. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie Rev.* 1 janv 2015;15(157):39-44.
88. Lorette G, Grenier B. Le plan d'un article (ou la structure IMRAD). *Ann Dermatol VÉNÉRÉOLOGIE.* 2005;132(1):73-4.
89. Kempen JH. Appropriate use and reporting of uncontrolled case series in the medical literature. *Am J Ophthalmol.* janv 2011;151(1):7-10.e1.
90. Gedda M. Traduction française des lignes directrices CARE pour l'écriture et la lecture des études de cas. *Kinésithérapie Rev.* 1 janv 2015;15(157):64-8.
91. Griffin HJ, Greenlaw R, Limousin P, Bhatia K, Quinn NP, Jahanshahi M. The effect of real and virtual visual cues on walking in Parkinson's disease. *J Neurol.* juin 2011;258(6):991-1000.
92. Kaminsky TA, Brian O, Dudgeon J, Felix O, Billingsley F, H PP. Virtual cues and functional mobility of people with Parkinson's disease: A pilot study. 2007;44(3):437-48.
93. Cohen RG, Klein KA, Nomura M, Fleming M, Mancini M, Giladi N, et al. Inhibition, executive function, and freezing of gait. *J Park Dis.* 2014;4(1):111-22.
94. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « Frontal Lobe » tasks: a latent variable analysis. *Cognit Psychol.* août 2000;41(1):49-100.
95. Spildooren J, Vercruyse S, Desloovere K, Vandenberghe W, Kerckhofs E, Nieuwboer A. Freezing of gait in Parkinson's disease: The impact of dual-tasking and turning. *Mov Disord.* 2010;25(15):2563-70.
96. Heremans E, Nieuwboer A, Spildooren J, Vandebossche J, Deroost N, Soetens E, et al. Cognitive aspects of freezing of gait in Parkinson's disease: a challenge for rehabilitation. *J Neural Transm Vienna Austria* 1996. avr 2013;120(4):543-57.
97. Gartner. 5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018 [Internet]. [cité 17 avr 2021]. Disponible sur: [//www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/](http://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/)
98. SFP. Qu'est-ce que l'EBP [Internet]. SFP- Site de contenu de la Société Française de Physiothérapie. [cité 10 avr 2021]. Disponible sur: https://www.wmaker.net/sfphysio/Qu-est-ce-que-l-EBP_a751.html
99. Lee A, Hellmers N, Vo M, Wang F, Popa P, Barkan S, et al. Can google glass™ technology improve freezing of gait in parkinsonism? A pilot study. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 20 nov 2020;1-11.

ANNEXES

ANNEXE I : Parkinson's Disease Composite Scale

Motor symptoms		
Bradykinesia:	Score	<i>(total of finger tapping, alternating hand, movements, legs agility, total impression of body bradykinesia)</i>
Absent	0	Symptom not present
Mild	1	Minimal slowness, giving movement a deliberate character; could be normal for some persons. Possibly reduced amplitude.
Moderate	2	Mild degree of slowness and poverty of movement which is definitely abnormal. Alternatively, some reduced amplitude.
Severe	3	Moderate slowness, poverty or small amplitude of movement.
Very severe	4	Marked slowness, poverty or small amplitude of movement.
Tremor:	Score	<i>(total of four limbs)</i>
Absent	0	Symptom not present
Mild	1	Slight and infrequently present.
Moderate	2	Mild in amplitude and persistent. Or moderate in amplitude, but only intermittently present.
Severe	3	Moderate in amplitude and present most of the time.
Very severe	4	Marked in amplitude and present most of the time
Gait:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	3	walks slowly, may shuffle with short steps, no festination or propulsion
Moderate	4	with difficulty, little or no assistance, some festination, short steps or propulsion
Severe	5	severe disturbance, frequent assistance
Very severe	6	cannot walk
Balance/postural stability:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	4	walks without helps, recovers unaided at pull test
Moderate	5	walks with help, would fall if not caught at pull test
Severe	6	walks with help, falls spontaneously at pull test
Very severe	7	wheelchair bound, unable to stand

Freezing:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	4	1-2 seconds – very rarely
Moderate	5	3-10 seconds – rarely
Severe	6	11-30 seconds – often
Very severe	7	≥31 seconds – always
Nocturnal akinesia	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	1	mild loss of the ability to move (10-20% of the night)
Moderate	2	moderate loss of the ability to move (21-40% of the night)
Severe	3	severe loss of the ability to move (41-60% of the night)
Very severe	4	very severe loss (61-100% of the night)
Non Motor Symptom: (in the past 2 weeks)		
Fatigue:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	1	Fatigue interferes very rarely with physical functioning/carrying out duties/responsibilities
Moderate	2	Fatigue interferes rarely with physical functioning/carrying out duties/responsibilities
Severe	3	Fatigue interferes often with physical functioning/carrying out duties/responsibilities
Very severe	4	Fatigue interferes always with physical functioning/carrying out duties/responsibilities
Urinary:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	1	Very rarely urgency and frequency day/night
Moderate	2	Rarely urgency and frequency day/night
Severe	3	Often urgency and frequency day/night, rarely loss

Very severe	5	of urine Always urgency and frequency day/night, frequent loss of urine
Cognitive impairment:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	4	Occasional forgetfulness with partial recollection of events and no other difficulties.
Moderate	5	Moderate memory loss, with disorientation and moderate difficulty handling complex problems. Mild but definite impairment of function at home with need of occasional prompting
Severe	6	Severe memory loss with disorientation for time and often to place. Severe impairment in handling problems.
Very severe	7	Severe memory loss with orientation preserved to person only. Unable to make judgments or solve problems. Requires much help with personal care. Cannot be left alone at all.
Depression/anxiety:	Score	
Absent	0	Symptom not present
Mild	1	Periods of sadness or anxiety greater than normal, never sustained for days or weeks
Moderate	2	Sustained depression or anxiety (1 week or more).
Severe	3	Sustained depression with vegetative symptoms (insomnia, anorexia, weight loss, loss of interest) or sustained anxiety.
Very severe	4	Sustained depression with vegetative symptoms and suicidal thoughts or intent.
Symptomatic Orthostatic Hypotension	Score	
absent	0	Symptom not present
Mild	4	Very rarely dizziness/high headedness/feeling faint/generalized weakness
Moderate	5	Rarely dizziness/high headedness/feeling faint/generalized weakness
Severe	6	Often dizziness/high headedness/feeling faint/generalized weakness and occasional loss of consciousness
Very severe	7	Always dizziness/high headedness/feeling faint/generalized weakness and frequent loss of consciousness

Hallucination or Thought disorder (due to drug intoxication or dementia):	Score	
absent	0	Symptom not present
Mild	4	Vivid dreaming or Hallucinations
Moderate	5	"Benign" hallucinations with insight retained
Severe	6	Occasional to frequent hallucinations or delusions; without insight; could interfere with daily activities
Very severe	7	Persistent hallucinations, delusions, or florid psychosis. Not able to care for self.
Treatment complication: (in the past 2 weeks)		
Dyskinesia:	Score	
absent	0	Symptom not present
Mild	2	Dyskinesia present ≤ 25 % of on-time, or more but not interfering with daily activities.
Moderate	3	Dyskinesia present 26-50 % of on-time, mildly invalidating
Severe	4	Dyskinesia present 51-75 % of on-time, or less but interfering with daily activities
Very severe	5	Dyskinesia present ≥ 76 % of on-time and interfering with daily activities
Dystonia: (or if present rate the severity of Camptocormia and/or Pisa Syndrome)	Score	
absent	0	Symptom not present
Mild	2	Dystonia present less than 30 minutes a day
Moderate	3	Dystonia present less than 60 minutes a day
Severe	4	Dystonia present less than 2 hours a day, with pain
Very severe	5	Dystonia present more than 2 hours a day, with severe pain
ON/OFF:	Score	
absent	0	Symptom not present

Mild	3	Time spent in the OFF state: $\leq 25\%$ of waking day ; fluctuations impact on a few activities
Moderate	4	Time spent in the OFF state: 26-50% of waking day ; fluctuations impact on some activities
Severe	5	Time spent in the OFF state: 51-75% of waking day ; fluctuations impact on many activities
Very severe	6	Time spent in the OFF state: $\geq 76\%$ of waking day ; fluctuations impact on all the activities
Dopamine Dysregulation Syndrome:	Score	
absent	0	Symptom not present
Mild	3	Very rarely automedication/mood disturbance/violent behavior/compulsive behavior
Moderate	4	Rarely automedication/mood disturbance/violent behavior/compulsive behavior
Severe	5	Often automedication/mood disturbance/violent behavior/compulsive behavior
Very severe	6	Always automedication/mood disturbance/violent behavior/compulsive behavior
Disability level		
Disability level:	Score	
absent	0	Able to perform daily activity without problems
Mild	1	Limitations to perform exigent or instrumental daily activities
Moderate	2	Limitations to perform basic daily activities
Severe	4	Needs help to perform some basic daily activities
Very severe	6	Dependent of other persons to perform all basic daily activities

ANNEXE II : Freezing Of Gait Questionnaire

B.1. Freezing of Gait Questionnaire (FOGQ)

B.1.1. During your worst state—Do you walk:

- 0 Normally
- 1 Almost normally—somewhat slow
- 2 Slow but fully independent
- 3 Need assistance or walking aid
- 4 Unable to walk

B.1.2. Are your gait difficulties affecting your daily activities and independence?

- 0 Not at all
- 1 Mildly
- 2 Moderately
- 3 Severely
- 4 Unable to walk

B.1.3. Do you feel that your feet get glued to the floor while walking, making a turn or when trying to initiate walking (freezing)?

- 0 Never
- 1 Very rarely—about once a month
- 2 Rarely—about once a week
- 3 Often—about once a day
- 4 Always—whenever walking

B.1.4. How long is your longest freezing episode?

- 0 Never happened
- 1 1–2 s
- 2 3–10 s
- 3 11–30 s
- 4 Unable to walk for more than 30 s

- 3 Takes longer than 10 s to start walking
- 4 Takes longer than 30 s to start walking

B.1.5. How long is your typical start hesitation episode (freezing when initiating the first step)?

- 0 None
- 1 Takes longer than 1 s to start walking
- 2 Takes longer than 3 s to start walking

B.1.6. How long is your typical turning hesitation: (freezing when turning)

- 0 None
- 1 Resume turning in 1–2 s
- 2 Resume turning in 3–10 s
- 3 Resume turning in 11–30 s
- 4 Unable to resume turning for more than 30 s

ANNEXE III : New Freezing of Gait Questionnaire

Part I – Distinction Freezer – non-Freezer, over the past month	score
<p>1. Did you experience “freezing episodes” over the past month? <i>Freezing is the feeling that your feet are transiently glued to the floor while trying to initiate walking, making a turn or when walking through narrow spaces or in crowded places? Sometimes it can be accompanied with trembling of the legs and small shuffling steps. We will watch a short video together to see the many ways in which freezing can occur. Watch out for how long these episodes last, as you can expect some questions on this later. (tester points out the clock on video clip)</i></p> <p>0. I have <u>not</u> experienced such a feeling or episode over the past month 1. I have experienced such a feeling or episode over the past month</p>	

Part II – Freezing severity; frequency and duration	
<p>2. How frequently do you experience freezing episodes?</p> <p>0. Less than once a week 1. Not often, about once a week 2. Often, about once a day 3. Very often, more than once a day</p>	
<p>3. How frequently do you experience freezing episodes during <u>turning</u>?</p> <p>0. Never 1. Rarely, about one a month 2. Not often, about once a week 3. Often, about once a day 4. Very often, more than once a day</p> <p><i>If the answer is 1 or more go to question #4. If the answer is 0, go directly to #5.</i></p>	
<p>4. How long is your <u>longest</u> freezing episode during turning?</p> <p>1. Very short, 1 sec 2. Short, 2 - 5 s. 3. Long, between 5 and 30 s. 4. Very long, unable to walk for more than 30 s.</p>	
<p>5. How frequently do you experience episodes of freezing when <u>initiating the first step</u>?</p> <p>0. Never 1. Rarely, about once a month 2. Not often, about once a week 3. Often, about once a day 4. Very often, more than once a day</p> <p><i>If the answer 1 or more go to question #6. If the answer is 0, go directly to #7.</i></p>	

<p>6. How long is your <u>longest</u> freezing episode when initiating the first step?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Very short, 1 s. 2. Short, 2-5 Sec 3. Long, between 5 and 30 s. 4. Very long, unable to walk for more than 30 s. 	
--	--

Part III - Impact of freezing on daily life	
<p>7. How disturbing are the freezing episodes for your daily walking?</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Not at all 1. Very little 2. Moderately 3. Significantly 	
<p>8. Do the freezing episodes cause feelings of insecurity and fear of falling?</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Not at all 1. Very little 2. Moderately 3. Significantly 	
<p>9. Are your freezing episodes affecting your daily activities? (Rate the impact of freezing on daily activities only. <u>Not</u> the impact of the disease in general)</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Not at all, I continue doing things as normal 1. Mildly, I avoid only few daily activities 2. Moderately, I avoid a significant amount (about half) of daily activities 3. Severely, I am very restricted in carrying out most daily activities 	

Total Score Part II and Part III: 28

Part I: 0 or 1

Part II: 19

Part III: 9

Annexe IV : Fiche LCA des articles sélectionnés pour la revue

Titre de l'article	Feasibility of external rhythmic cueing with the Google Glass for improving gait in people with Parkinson's disease
Auteur/Revue	Zhao Y, Nonnekes J, Storcken EJ, Janssen S, van Wegen EE, Bloem BR, Dorresteyn LD, van Vugt JP, Heida T, van Wezel RJ

	DESCRIPTION	COMMENTAIRE
Introduction	<u>Objectif</u> : Evaluer les effets des stimulations visuelles via Google Glass sur les performances de marche	Contexte scientifique posé
Objectif(s) de l'étude / Question de recherche / Hypothèses de recherche	<u>Hypothèses</u> : L'utilisation des stimulations visuelles et auditives via les lunettes entraînerait une réduction du freezing. Elles amélioreraient les paramètres de marche (longueur du pas, vitesse de marche, variation de cadence)	Objectifs et hypothèses émises en fin d'introduction Pas de question de recherche clairement exprimée
Matériel et méthode	Etude en crossover	
Type d'étude		
Population	12 personnes <u>Critères d'inclusion</u> Au moins deux épisodes de FOG (via New FOG-Q) dans l'année Capable de marcher 20m sans aide <u>Critères d'exclusion</u> Troubles cognitifs (Frontal Assessment Battery), de la vue empêchant l'utilisation des lunettes ou comorbidités affectant la marche Patients en état de fin de dose H&Y entre 2-3	Détails dans un tableau (Table 1) Critères d'éligibilité définis Lieu de recrutement définis

Critère de jugement	<p><u>Principal</u> : freezing via analyse de vidéos par deux expérimentateurs externes</p> <p><u>Secondaires</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - paramètre de marche (longueur du pas, vitesse, cadence) : analyse des vidéos et capteurs - Expérience de l'utilisateur : entretien semi ouvert enregistré et analysé par deux expérimentateurs indépendants 	Critères de jugement fiables et pertinents
Protocole utilisé	<p>Réalisation de quatre parcours de marche en portant les lunettes sous quatre conditions différentes (sans aide, métronome, LED et optic flow).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parcours « grand virage », les participants ont marché 10 m en avant, ont effectué un large demi-tour de 180° autour d'une chaise, et sont retournés au point de départ. - Parcours « virage étroit », un demi-tour de 180° est effectué à la place de la chaise. - Parcours « tour complet » impliquait un tour supplémentaire de 360° au parcours « virage étroit » à mi-chemin du parcours de retour. - Parcours « porte », les participants ont marché 2m, ont tourné à 90°, franchit une porte ouverte, ont tourné à 180° avant de revenir au début <p>Chaque parcours a été réalisé 2 fois. Des essais supplémentaires, jusqu'à quatre au total pour chaque parcours, ont été effectués à la fin de la session si le temps le permettait.</p>	<p><u>Biais de mesure</u> :</p> <p>Pas le même nombre d'essais supplémentaires pour tout le monde Pas d'information si les essais supplémentaires sont pris en compte</p> <p><u>Randomisation de l'ordre d'épreuve</u> : génération aléatoire de nombre de un à quatre attribuant l'ordre du parcours puis un autre nombre de un à quatre pour l'ordre des conditions Le tout effectué par l'un des expérimentateurs externes.</p> <p>En moyenne, 5,2 ± 3,7 essais supplémentaires ont été réalisés.</p>
Analyses statistiques	Nombre de freezing et leur durée (par épreuve avec la même condition) ont été testés avec le Test de la somme des rangs de Friedman puis avec le test des rangs signé de Wilcoxon avec les corrections de Bonferonni.	Critère de jugement testé avec alpha à 0,5%

	Les paramètres de marche ont été comparés en utilisant une analyse multiniveaux avec le lme4 library.	
Résultats	<p><u>Freezing</u> : Le nombre de freezing varie selon les parcours. Le nombre et la durée ne différaient pas significativement ($p=0,063$ et $p=0,50$) entre les différentes conditions. Parcours « tour complet » condition métronome meilleurs résultats que sans aide $p<0,05$.</p> <p><u>Longueur du pas</u> : Toutes les conditions ont significativement réduit la variation de longueur Métronome a augmenté la longueur 2.22 ± 0.93 cm $p<0.05$ Optic flow et LED l'ont significativement diminuée -2.44 ± 0.92 cm $p<0.01$ et -3.22 ± 0.93 cm $p<0.005$</p> <p><u>Vitesse de marche</u> : Effets significatifs des aides $p<0,001$ Métronome augmente la vitesse durant le parcours « porte » (5.62 ± 0.22 cm/s $p<0.05$ Optic flow et LED l'ont diminuée sur les parcours « étroit et grand virage » Optic flow : grand -7.33 ± 0.22 cm/s $p<0.01$; étroit -9.72 ± 0.22 cm/s $p<0.001$ LED : grand -11.92 ± 0.22 cm/s $p<0.001$; étroit -13.1 ± 0.23 cm/s $p<0.001$</p> <p><u>Cadence</u> : Toute les aides ont significativement réduit la cadence comparé à sans aide sur le parcours « virage étroit » (métronome : -5.20 ± 1.75 pas/min $p<0.01$; optic flow: -8.25 ± 2.00 pas/min $p<0.001$; LED: -12.03 ± 2.35 pas/min $p<0.001$) Parcours « tour complet » (métronome : -4.35 ± 1.47 pas/min $p<0.01$; optic flow: -5.48 ± 1.78 pas/min $p<0.01$; LED: 5.17 ± 2.14 pas/min $p<0.05$). Pas d'effet significatif sur le parcours « porte » Parcours « grand virage » LED diminue -8.02 ± 2.33 pas/min $p<0.01$).</p>	<p>Résumé des résultats avec diagramme en boîte Pas d'abandon de l'étude Période de test défini avec le patient lors de la sélection</p> <p>Pas de donnée initiale car correspond à la condition sans aide</p> <p>Résultats détaillés</p> <p>Ressenti des patients développé dans l'expérience de l'utilisateur mais pas d'effets secondaires inattendus développés</p>
Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion, ...)		

	<p><u>Expérience de l'utilisateur</u> : La moitié des patients ont rapporté une amélioration subjective de la marche avec les aides (N = 5/10) et la plupart étaient prêts à utiliser les lunettes chez eux contre le freezing (N = 9/12).</p> <p>Le métronome était le préféré (N = 11/12) tandis que l'optic flow était le moins apprécié (N = 11/12) due à la difficulté de se concentrer et de se synchroniser sur le rythme.</p>	<p><u>Biais d'attrition</u> : Certaines réponses n'ont pas été pris en compte car jugées non applicables.</p> <p>Certains utilisaient déjà des métronomes chez eux ce qui peut jouer sur leur appréciation de cette condition</p>
Discussion	<p>Les résultats ne peuvent être généralisés à cause du peu de freezing et une utilisation antérieure de certaines stimulations conventionnelles par quelques sujets.</p> <p>La version des lunettes utilisée n'est plus disponible à l'achat</p>	<p>Discussion sur la significativité des résultats</p> <p>Comparaison avec les données de la littérature</p> <p>Discussion sur les limites de l'étude et des biais</p>
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses		
Applicabilité et intérêt clinique	<p>Il n'est pas certain que ces lunettes soient plus efficaces pour améliorer la qualité de la marche que les aides conventionnelles comme le métronome. Un développement plus poussé doit être réalisé pour un usage quotidien.</p> <p>Ils proposent plusieurs axes d'amélioration pour le développement de lunettes.</p>	
Bibliographie	Bibliographie non appelée dans l'ordre	
Résumé	Le résumé reprend les données de l'article et respecte le plan IMRad	
Niveau de preuve (selon HAS)	Niveau de preuve 3 grade C	

Titre de l'article	The Effects of Augmented Reality Visual Cues on Turning in Place in Parkinson's Disease Patients With Freezing of Gait
Auteur/Revue	S J, J de R van S, Hs S, Hm C, Br B, T H, et al. Vol. 11, Frontiers in neurology. Front Neurol; 2020

	DESCRIPTION	COMMENTAIRE
Introduction	<p><u>Objectifs</u> : déterminer si la RA influence le freezing (temps du demi-tour, hauteur du pas, cinétique axiale) par rapport à un groupe contrôle</p> <p><u>Question</u> : Est-ce que la RA peut diminuer le freezing ?</p> <p><u>Hypothèses</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la RA réduit le temps de freezing, le nombre et la durée des épisodes de freezing - La RA améliore la cinétique axiale et la dissociation tête-pelvis - La montée des escaliers et le temps du demi-tour vont être augmentés par la RA 	<p>Contexte posé avec références bibliographiques</p> <p>Justification de l'utilisation de la RA mais pas du métronome pour le 3ème groupe</p> <p>Objectifs, question de recherche et hypothèses clairement formulées en fin d'introduction</p>
Matériel et méthode	Etude en crossover	
Type d'étude		
Population	<p>16 personnes</p> <p>1 groupe sous 3 conditions : stimulation visuelle (RA), stimulation auditive (métronome), sans stimulation</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> :</p> <p>Diagnostic de MPi Episode de freezing >2 par jour (New FOG-Q)</p> <p><u>Critères d'exclusion</u> :</p> <p>- MMSE <24 ou Frontal Assessment Battery <13</p>	<p>Contexte, lieu, enregistrement indiqué</p> <p>Critères d'inclusion et d'exclusion détaillés</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Comorbidités causant des troubles de la marche, troubles bilatéraux de vue ou d'ouïe - incapacité à effectuer un demi-tour sans aide <p>Testé en fin de dose ou juste après la prise de lévodopa</p>	
Critère de jugement	<p><u>Freezing (durée et nombre d'épisodes)</u> : déterminé par les capteurs</p> <p><u>Cinétique axiale</u> : calculée par les capteurs placés au niveau de la tête et du pelvis et estime la position du centre de masse, la dissociation maximale de la tête et du pelvis et sa durée</p> <p><u>Demi-tour</u> : cadence, la vitesse angulaire maximale, la durée de la foulée, le coefficient de variation de la foulée (COV), la hauteur de pas, la hauteur de pas COV et le temps du demi-tour mesuré par les capteurs</p>	<p>Critère de jugement fiable</p> <p>Place des capteurs non déterminée précisément</p>
Protocole utilisé	<p>HoloLens placé sur le patient</p> <p>Capteurs placés aux niveaux des pieds, jambes, cuisse, pelvis, mains, avant-bras, bras, sternum, épaules et tête</p> <p>2 caméras supplémentaires pour filmer le patient sous différents angles (pieds et jambes/ corps entier)</p> <p>Haut-parleurs pour le son du métronome</p> <p>1 session d'entraînement puis 2 sessions de mesures avec un test par condition et 15 essais par condition :</p> <p>1er test avec RA : demi-tour avec aide visuelle à 175cm</p> <p>2ème test sans aide</p> <p>3ème test avec métronome</p> <p>Tous les tests se sont faits avec le HoloLens porté.</p> <p>Le demi-tour était effectué dans un carré de 50 x 50 cm collé sur le sol, aussi rapidement que possible en toute sécurité. Le sens de rotation alternait entre le sens horaire et antihoraire.</p>	<p>Protocole détaillé</p> <p>Possibilité de le réeffectuer dans des conditions similaires</p> <p>Pas de critère d'arrêt (seulement expliqué dans les résultats)</p>

	Après l'expérience, les participants ont été interrogés sur leurs expériences précédentes avec les aides, la réalité augmentée et la réalité virtuelle (RV), et leurs expériences avec les signaux et les lunettes intelligentes.	
Analyses statistiques	<p>Seuil alpha à 0,05 et ajusté avec la méthode de Bonferroni-Holmes pour comparer les conditions.</p> <p>Les valeurs extrêmes et aberrantes ont été attribuées à des problèmes techniques et retirées des analyses.</p> <p>La normalité des distributions a été évaluée visuellement et testée par les tests de Shapiro-Wilk.</p> <p>Les paramètres dont la distribution était non-normale ont été analysés avec les tests non paramétriques de Friedman et des rangs signés de Wilcoxon.</p> <p>Le reste des paramètres a été évalué avec des mesures ANOVA et le test de t-appareillé.</p> <p>Le consensus sur le nombre et la durée des freezing évalué par les deux expérimentateurs a été analysé avec une corrélation d'ordre de rang de Spearman.</p>	
Résultats	<p><u>Freezing</u> : La RA n'a pas significativement amélioré les paramètres du freezing (temps $p=0,73$; nombre $p=0,73$ et durée $p=0,78$) comparé au contrôle sans stimulations</p> <p>La RA avait des scores plus élevés dans tous les paramètres comparés au groupe avec les stimulations auditives ($p=0,01$; $p=0,02$ et $p=0,007$)</p> <p><u>Cinétique axiale</u> : RA améliore la durée de séparation tête-pelvis ($p=0,02$) par rapport aux contrôles mais pas sur la distance de dissociation ($p=0,08$)</p> <p><u>Demi-tour</u> : RA diminue significativement la vitesse angulaire (RA vs. contrôle $p=0.03$; RA vs. Métronome $p=0.02$) et la hauteur du pas (RA vs. contrôle $p=0.02$; RA vs. métronome $p=0.007$)</p> <p>Pas de différence significative sur la cadence ($p=0,53$) et le temps de demi-tour($p=0,08$)</p>	<p><u>Biais d'attrition</u> :</p> <p>12 participants restants car 4 ont arrêté à cause de la fatigue</p> <p>1 a eu un problème lors de la collecte des données pour la cinétique axiale et du demi-tour et a été exclu des analyses</p> <p>Détails des résultats dans des diagrammes</p>
Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion, ...)		

	<p><u>Expérience utilisateur</u> :</p> <p>73% n'avaient jamais utilisé de RA 80% trouvent que la RA facilite le demi-tour 67% trouvent que la RA facilite leur attention pour tourner 87% n'ont pas eu de problème pour localiser l'aide en RA 7% trouvent que la RA trouble sa vue 13% ont trouvé que la RA déconcentrait trop ou bloquait la vue</p>	<p>Détails des réponses avec leurs proportions Les auteurs évoquent les points positifs comme négatifs</p>
<p>Discussion</p> <p>Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses</p>	<p>Les hypothèses ne sont pas validées Soit parce que la RA ne suffit pas et il faut du rythme. Soit l'exercice n'était pas assez explicite et a entraîné une double-tâche. Le poids des lunettes a pu jouer un rôle sur les résultats.</p> <p>Tous les patients n'ont pas la même expérience passée avec la réalité augmentée et ne sont pas tous sensibles aux stimulations.</p>	<p>Les auteurs discutent des résultats et formulent des hypothèses pour les expliquer</p> <p>Les auteurs discutent des limites de l'étude</p>
<p>Applicabilité et intérêt clinique</p>	<p>L'apport de la réalité augmentée reste à prouver car dans cette étude elle n'en a pas montré.</p>	
<p>Bibliographie</p>	<p>Bibliographie bien présentée avec le doi de chaque article</p>	
<p>Résumé</p>	<p>Le résumé reprend les données de l'article et respecte le plan IMRaD</p>	
<p>Niveau de preuve (selon HAS)</p>	<p>Niveau de preuve 3 grade C</p>	

Titre de l'article	Usability of Three-dimensional Augmented Visual Cues Delivered by Smart Glasses on (Freezing of) Gait in Parkinson's Disease
Auteur/Revue	S J, B B, J N, M B, Br B, T H, et al. Front Neurol [Internet]. 13 juin 2017 [cité 14 oct 2020];8. Disponible sur: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28659862/

	DESCRIPTION	COMMENTAIRE
Introduction	<u>Objectif</u> : Comparer les effets de repères visuels en 3D via la RA à l'utilisation de repères 3D classiques (barres au sol) et à un métronome sur le freezing et la qualité de la marche.	Introduction fait référence aux études précédentes. Pas de question de recherche ni d'hypothèse clairement formulé.
Objectif(s) de l'étude / Question de recherche / Hypothèses de recherche		
Matériel et méthode	Etude en crossover	Le type d'étude est approprié pour répondre à l'objectif
Type d'étude		
Population	<p>25 personnes</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> Consentement éclairé Avoir 18 ans ou plus MPi avec freezing (via NFOG-Q) plus d'une fois par jour</p> <p><u>Critères d'exclusion</u> AVC Maladie psychiatrique interférant avec le freezing Problème sévère de vue ou d'audition Comorbidité limitant la déambulation Stimulateur cérébral profond ou pompe Apo morphinique Infusion de gel de lévodopa MMSE < 24</p> <p>Les patients ont été testé en fin de dose de levodopa</p>	<p>Sélection des participants claire et bien définie.</p> <p>Biais de sélection : exclusion des patients utilisant un stimulateur cérébral ou une pompe Apo morphinique</p> <p>Pas de randomisation Pas de différents groupes Pas de perte de vue</p>

Critère de jugement	<p><u>Principal</u> : freezing (nombre et durée) via analyse de vidéo par deux examinateurs indépendants en aveugle sauf pour une épreuve</p> <p><u>Secondaires</u> : Longueur du pas, cycle de marche, cadence, vitesse via analyse vidéo et expérience utilisateur via entretien semi-dirigé</p>	Les critères de jugement sont fiables et tous utilisés
Protocole utilisé	<p><u>Conditions</u> : 5 conditions ont été testées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Barres transversales en RA - Escalier en RA (AS) - Barres transversales réelles régulièrement espacées (CB) - Indication auditive via métronome (CM) - Aucune aide (OFF) <p>Les lunettes ont été portées pour toutes les conditions.</p> <p><u>Epreuve de marche</u> : Marche dans un couloir de 15m avec deux chaises à 7,5m espacées de 50cm.</p> <p>3 épreuves ont été effectuées par condition :</p> <ul style="list-style-type: none"> - « walking straight » : les patients devaient marcher sans tâche additionnelle - « stop and start » une voix pré-enregistrée demandait aux patients de s'arrêter à 3 endroits aléatoires. Ils pouvaient repartir quand ils le voulaient. - « turning » les patients devaient réaliser un tour de 360° à 3 endroits aléatoires commandé par une voix préenregistrée <p>L'étude consistait en deux sessions séparées par une demi-heure de pause. Chaque session se composait de cinq «blocs» : un par condition (AB, AS, CB, CM ou OFF). Un bloc inclus tous les parcours de marche exécutés une fois.</p>	<p>Détails des conditions et des paramètres des aides bien expliqués</p> <p>Détails du protocole énoncés</p>

	<p>Entre les blocs, les participants ont été invités à se reposer aussi longtemps que nécessaire.</p> <p>L'ordre des blocs, des parcours et des commandes par la voix préenregistrée a été régulé par l'ordinateur des expérimentateurs.</p>	
Analyses statistiques	<p>Seuil alpha à 0,05%</p> <p>Normalité de la distribution testé avec le test de Shapiro-Wilk</p> <p>La moyenne et l'écart-type de la longueur du pas, le temps de cycle de marche, la cadence et la vitesse ont été analysés exclusivement pour les parcours de «marche en ligne droite», chez tous les participants. Les paramètres cinétiques ont été calculés en tant que valeurs médianes par participant, par condition, puis comparés entre les participants pour chaque condition de repérage. Des mesures ANOVA ont été appliquées si les données étaient normalement distribuées. Si la sphéricité (évaluée par le test de sphéricité de Mauchly) n'était pas respectée, une correction Greenhouse – Geisser était appliquée. Le test non paramétrique de Friedman a été utilisé en cas de non-normalité. Toutes les comparaisons ont été effectuées avec une correction de Bonferroni.</p> <p>Pour l'entretien semi-dirigé, les scores médians sont rapportés pour les questions répondues sur une échelle de Likert en 5 points. Les questions avec des réponses ouvertes et des précisions sur les questions fermées ont été évaluées qualitativement.</p>	Ajustement d'analyse en fonction de la normalité
Résultats	<p><u>Freezing</u> : Nombre d'épisodes significativement différents entre les différentes stimulations ($p=0,042$) en faveur des lunettes éteintes et des stimulations réelles.</p> <p>Pourcentage de temps en freezing non significativement différent entre les stimulations ($p=0,090$)</p> <p>Les résultats sont équivalents lorsque qu'on compare les différents parcours</p> <p><u>Longueur du pas et cycle de marche</u> : statistiquement significatif en faveur pour les barres réelles comparé aux aides augmentées</p>	<p><u>Biais d'attrition</u> : 5 patients n'ont pas pu terminer l'expérience à cause de leur fatigue</p> <p>Résultats concernant le freezing détaillé sous forme de tableau et de diagramme en boîte</p>
Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion, ...)		

	<p><u>Cadence et vitesse de marche :</u> Cadence plus basse avec les barres réelles comparé aux autres stimulations Vitesse plus basse pour le groupe barres réelles comparé aux groupe métronome et aucune aide</p> <p><u>Expérience utilisateur :</u> Préférence des stimulations : CM>CB>AB>OFF>AS Le métronome est considéré comme le plus pertinent pour les activités de la vie quotidienne L'utilisation des lunettes est considéré comme facile à apprendre et ne demande pas d'effort supplémentaire cependant, l'envie d'une utilisation quotidienne est considéré comme faible</p>	Détails des résultats présentés dans des tableaux pour les paramètres de marche
<p>Discussion</p> <p>Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses</p>	<p>Les résultats des barres réelles peuvent être attribués à la distance entre elles qui dépendait de la taille du sujet. Dans les études précédentes, les autres stimulations n'altéraient pas les paramètres de marche.</p> <p><u>Manque d'effets des stimulations en RA</u> Les patients n'étaient pas habitués à utiliser les lunettes. Additionné au poids des lunettes, cela a pu distraire les patients et entraîner une double-tâche altérant ainsi la marche. La durée d'utilisation a pu être trop courte pour laisser aux patients le temps de se familiariser avec le dispositif. La vision périphérique et celle des jambes sont limitées par l'appareil ce qui a pu majorer le nombre de freezing et diminuer les paramètres de marche. L'étude n'a pas permis d'exclure cette hypothèse. L'étude a été réalisée en fin de dose de levodopa. Des précédentes études ont étudié les effets des stimulations dans</p>	<p>Les résultats répondent à l'objectif.</p> <p>Les auteurs discutent des résultats</p> <p>Les limites de l'étude sont évoquées</p> <p>Les auteurs évoquent d'autres études pour comparer leur résultats</p>

	différents états de médication mais l'impact de traitement médical est encore à déterminer. <u>Limites de l'étude :</u> Il n'y a pas de groupe contrôle sans lunettes qui aurait pu éliminer l'hypothèse d'une distraction des lunettes. La majorité (224/300) des épisodes de freezing ont eu lieu lors de virages. Les autres épisodes sont trop peu nombreux pour avoir un effet significatif sur les résultats.	
Applicabilité et intérêt clinique	Les futures études devraient étudier si les stimulations devraient être diffusées dans le champ visuel central ou périphérique ainsi que leurs effets sur une période plus longue. Un groupe contrôle avec des patients sains serait intéressant pour déterminer si les paramètres de marche sont également affectés chez eux.	Les résultats sont applicables à la population étudiée. L'ouverture vers de futures études est évoquée.
Bibliographie	Bibliographie récente en norme Vancouver.	
Résumé	Résumé reprend les données de l'article en suivant le plan IMRaD	
Niveau de preuve (selon HAS)	Niveau de preuve 3 grade C	

Titre de l'article	The effect of real and virtual visual cues on walking in Parkinson's disease
Auteur/Revue	H. J. Griffin, R. Greenlaw, P. Limousin, K. Bhatia, N. P. Quinn, M. Jahanshahi. J Neurol (2011) 258 :991–1000 DOI 10.1007/s00415-010-5866-z

	DESCRIPTION	COMMENTAIRE
Introduction	<u>Objectif</u> : Effectuer une étude contrôlée des effets des stimulations réelles et virtuelles sur la marche du patient parkinsonien en phase off et on de médication	Introduction fait référence aux études précédentes.
Objectif(s) de l'étude / Question de recherche / Hypothèses de recherche		Pas de question de recherche ni d'hypothèse clairement formulées.
Matériel et méthode	Etude en crossover	Le type d'étude est approprié pour répondre à l'objectif
Type d'étude		
Population	26 personnes Age moyen 64.3 (SD = 7.58) Problèmes de mobilité lié à la MPi Pas de démences, de dépression ou de comorbidité affectant la mobilité Stade de Hoehn et Yahr (phase off) : 2.52 (SD = 0.57) : 38.5% au stade 2, 34.6% au stade 2.5, 19.2% au stage 3, 7.7% au stade 4. Score UPDRS-III en phase off 28.1 (SD = 12.3) Les patients devaient être capable de tenir sans médicament pendant 12h avant l'étude	Détails sur les patients Biais de confusion : le freezing n'est pas un critère d'inclusion Pas d'information sur les critères d'inclusion et de sélection Pas de randomisation Pas de différents groupes
Critère de jugement	<u>Principal</u> : temps de réalisation de l'épreuve (chronomètre) <u>Secondaires</u> : Longueur du pas, cadence, vitesse, freezing (analyse de vidéo), peur de tomber	Les critères de jugement sont fiables et tous utilisés
Protocole utilisé	A leur arrivée, les patients se familiarisent avec le matériel et le parcours standardisé Ils réalisent l'UPDRS III et le Berg Balance Scale Ils réalisent le parcours suivant 2 fois sous chaque condition : Se lever d'une chaise en utilisant les bras, marcher 11m dans un couloir large pour toucher une cible. Puis virage à 90° à gauche pour marcher dans un couloir étroit délimité pour l'épreuve, franchissement d'une porte standardisée et une chicane pour aller	Détails du parcours donnés avec précision, reproductible et schéma explicatif. Détails des conditions et des paramètres des aides bien expliqués Détails du protocole énoncés, possibilité de le reproduire.

	<p>toucher une deuxième cible. Demi-tour pour refaire le trajet en sens inverse et s'asseoir.</p> <p>Avant chaque condition les patients ont 5-10min pour s'habituer aux aides.</p> <p>Elles sont dans l'ordre d'utilisation :</p> <p>Sans aide (lunettes ou barres au sol), placebo VRG (image statique d'un rectangle sur fond noir), Visual Flow VRG (bandes au sol en RA), Rhythmic cueing VRG (flash rouge et noir en alternance à la cadence la plus proche possible de la marche du patient), TL (barres réelles au sol), sans aide</p>	
Analyses statistiques	<p>Les valeurs F et p ont été corrigées avec Greenhouse-Geisser (G-G) là où le test de sphéricité de Mauchly a renvoyé $p < 0,05$.</p> <p>La fréquence du freezing a été analysée à l'aide du test de chi carré une correction appliquée de Yates</p>	
Résultats	<p>19 patients restants</p> <p><u>Temps de l'épreuve</u> Réalisation significativement plus rapide en phase on $F(1,18) = 24.0, p < 0.0005$ En phase on : pas d'effet intervention/condition $F(1.42,25.5) = 1.10, p < 0.3$ En phase off : effet significatif intervention/condition : $F(2.64,47.6) = 10.7, p < 0.0005$ Comparé à la première condition sans aide, amélioration de la vitesse avec TL $F(1,18) = 3,07, p = 0,048$, deuxième fois sans aide $F(1,18) = 17,8, p < 0,0005$ et Visual Flow VRG $F(1,18) = 2,55, p = 0,064$ Vitesse plus lente avec Rhythmic cueing VRG $F(1,18) = 4.94, p = 0.020$</p> <p><u>Vitesse de marche :</u> Par rapport à la première condition : plus rapide avec deuxième sans aide ($p = 0.0055$) et TL ($p = 0.058$) Plus lent avec Rhythmic cueing VRG ($p = 0.029$)</p>	<p>Biais d'attrition : perte de 7 personnes avec justification de leur départ de l'étude</p> <p>Détails des patients restants donnés</p> <p>Résumé des résultats avec graphiques</p>
Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion, ...)		

	<p><u>Longueur du pas</u> :</p> <p>Plus grande avec TL ($p < 0.0005$) et deuxième sans aide ($p = 0.006$)</p> <p><u>Cadence</u> :</p> <p>Plus basse sous Rhythmic VRG ($p = 0.087$) et TL ($p = 0.055$)</p> <p><u>Peur de tomber</u> :</p> <p>Pas d'interaction significative entre condition/intervention $F(3.08, 55.3) = 1.55$ $p < 0.2$</p> <p><u>Freezing</u> :</p> <p>La relation intervention/condition a affecté la fréquence d'hésitation au départ ($X^2 = 12.6$, $df = 5$, $p = 0.027$) et à la destination ($X^2 = 11.8$, $df = 5$, $p = 0.037$) TL a réduit l'hésitation au départ $p = 0,046$</p>	<p>Détails des résultats présentés dans des tableaux pour les paramètres de marche</p> <p>Résultats pour seulement 16 des 19 patients restants</p> <p>Uniquement évalué en phase off</p>
Discussion	<p>Dus aux peu d'effet de la RA placebo, les effets observés proviennent effectivement des stimulations en RA.</p> <p>La RA n'augmente pas la peur de tomber ce qui permet au patient de ne pas limiter ses activités.</p>	<p>Les résultats répondent à l'objectif.</p> <p>Les auteurs discutent des résultats</p> <p>Les limites de l'étude ne sont pas évoquées</p> <p>Les auteurs évoquent d'autres études pour comparer leur résultats</p>
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses		
Applicabilité et intérêt clinique	<p>Les lunettes améliorent certains paramètres de marche mais aucun stimulus ne se distingue des autres.</p> <p>Les futures études devront s'intéresser à la motivation du patient et établir quelle aide est le plus utile dans une situation spécifique.</p>	<p>Les résultats ne sont pas suffisants pour conclure des effets sur la population générale.</p> <p>Nécessité de futures études.</p>
Bibliographie	Bibliographie en norme Vancouver sans être toujours récente. Non appelé de manière chronologique dans le texte.	
Résumé	Résumé sans donnée chiffrée, reprend les informations de l'article	
Niveau de preuve (selon HAS)	Niveau de preuve 3 grade C	
Titre de l'article	Virtual cues and functional mobility of people with Parkinson's disease:	

	A single-subject pilot study
Auteur/Revue	Tatiana A. Kaminsky, Brian J. Dudgeon, Felix F. Billingsley, Pamela H. Mitchell, Suzanne J. Weghorst

	DESCRIPTION	COMMENTAIRE
Introduction	<u>Objectif</u> : Déterminer l'impact des lunettes VCS sur la mobilité des patients parkinsoniens atteints d'akinésie	Introduction fait référence aux études précédentes.
Objectif(s) de l'étude / Question de recherche / Hypothèses de recherche	Questions : - Est-ce que les VCS diminuent les pertes d'équilibre, le nombre d'épisodes de freezing ou leur durée - Quel est l'impact des VCS sur les mode de vie sédentaire et actif - Est-ce que les utilisateurs trouvent les VCS utiles dans leur quotidien	Pas d'hypothèse formulée.
Matériel et méthode	Série de cas	Le type d'étude est approprié pour répondre à l'objectif
Type d'étude		
Population	6 personnes Troubles de la marche avec difficulté à domicile et dans la vie en communauté <u>Critères d'inclusion</u> Stade 3 ou 4 selon Hoehn et Yahr MMSE >27 <u>Critères d'exclusion</u> Utilisation de déambulateur Troubles de marches sans lien avec la Mpi Troubles visuels limitant leur capacité a voir leurs pieds ou les stimulations visuelles	<u>Biais de sélection</u> : patients choisis sur une population ayant participé à une étude sur la réalité virtuelle et montrant un intérêt pour d'autres études Niveau de Hoehn et Yahr déterminé par l'expérimentateur principal de l'étude Détails des patients données dans le tableau I Sélection des participants claire et bien définie. Justification des critères de sélection
Critère de jugement	<u>Principal</u> : pertes d'équilibre et nombre d'épisode de freezing	Les critères de jugements sont fiables et tous utilisés

	<p><u>Secondaires :</u> Niveau d'activité PDQ-39 Expérience utilisateur</p>	
Protocole utilisé	<p>Les patients ont été entraînés à l'utilisation des lunettes. L'examineur principal analyse la marche avec et sans les lunettes.</p> <p>Des vidéos montrant des pertes d'équilibre et des épisodes de freezing sont présentées aux patients pour qu'ils comprennent la définition de ces événements. Cet entraînement se poursuit jusqu'à ce qu'il y ait 95% de cohérence entre les réponses de l'examineur et les participants.</p> <p>Les patients, une fois chez eux marquent le nombre et l'heure à laquelle ces évènements leur arrivent en journée.</p> <p>Les participants cochent quotidiennement sur une liste de 38 activités celles qu'ils ont réalisées.</p> <p>Un PDQ-39 a été réalisé après l'entraînement avec l'examineur et après l'étude (7-10jours)</p> <p>Un entretien sur l'utilité des lunettes a été effectué à la fin de l'étude.</p>	<p>Pas d'accès à la liste complète des activités</p> <p>Présence d'un évaluateurs pour comparer les résultats donnés par le patient et la réalité</p> <p>Appel tous les 2-3jours pour collecter les données</p>
Analyses statistiques	<p>Données recueillis des feuilles remplis par les patients. Analyse graphique et visuelle des résultats</p>	
<p>Résultats</p> <p>Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion, ...)</p>	<p><u>Perte d'équilibre et freezing :</u></p> <p>Variable entre les patients mais diminution du freezing avec les VCS mais réaugmente lors de l'arrêt de leur utilisation</p> <p>Le temps passé en freezing a globalement diminué</p> <p>La perte d'équilibre n'a pu être correctement étudiée car leur fréquence n'a pu être déterminée par les patients</p>	<p>Graphique donné pour les nombres de pertes d'équilibre et d'épisodes de freezing</p> <p>Biais de performance : Changement de médication pour 1 patient/ pas tous la même utilisation des VCS dans la journée</p> <p>Biais d'attrition :</p>

	<p><u>Marche</u> :</p> <p>Augmentation de la longueur du pas (patients 1,5,6), du balancement du bras (patients 2,6) Diminution de la rigidité lors du mouvement (patients 1,2,4,6)</p> <p><u>Niveau d'activité</u> :</p> <p>Niveau d'activité élevé pour tous les patients sauf le 3 Pas d'effet clair sur le patient 3</p> <p><u>Utilité</u> : Tous les patients ont déclaré avoir une meilleure mobilité avec les VCS</p>	<p>Difficulté des patients de rapporter l'impact des VCS sur les pertes d'équilibre</p> <p>Justification des résultats avec les données recueillies des participants Pas de données chiffrées pour l'amélioration de la marche Pas de graphique sur l'activité car les auteurs ne voyaient pas d'effets des VCS Détails des réponses de tous les patients sur l'utilité</p> <p><u>Biais de rapport de résultats</u> :</p> <p>Ne donne pas toutes les infos de l'interview, ne cite que le positif</p>
Discussion	<p>Les auteurs résument brièvement les résultats</p> <p><u>Limites de l'étude</u> :</p> <p>Facteurs externes comme changement de médication, maladie Population active donc on ne peut pas connaître l'effet sur des populations isolées ou sédentaires Le même évaluateur a réalisé toute les mesures</p>	<p>Les auteurs ne discutent pas des résultats</p> <p>Les limites de l'étude sont évoquées</p> <p>Les auteurs n'évoquent pas d'autres études pour comparer leurs résultats</p>
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses		
Applicabilité et intérêt clinique	<p>Non applicable à tous les patients. Nécessite différents stade de la pathologie pour extrapoler les résultats.</p> <p>Futures études pour déterminer si un effet au long terme persiste.</p>	<p>Les résultats ne sont pas applicable à la population étudiée.</p> <p>L'ouverture vers de futures études est évoquée.</p>
Bibliographie	Bibliographie en norme Vancouver, articles cités parfois anciens.	
Résumé	Résumé présente de façon succincte la population et le protocole. Les résultats sont donnés sans valeurs.	
Niveau de preuve (selon HAS)	Niveau de preuve 3 grade C	

Titre de l'article	The Beneficial Effects of Conventional Visual Cues Are Retained When Augmented Reality Glasses Are Worn	
Auteur/Revue	Sabine Janssen, Jaap de Ruyter van Steveninck, Hizirwan S. Salim, Bastiaan R. Bloem, Tjitske Heida, Richard J.A. van Wezel. Parkinson's Disease Volume 2020	
	DESCRIPTION	COMMENTAIRE
Introduction	<u>Question</u> : Porter des lunettes de RA peut supprimer les effets bénéfiques des stimulations visuelles en RA et conventionnelles	Réalisé à la suite de leur précédente étude
Objectif(s) de l'étude / Question de recherche / Hypothèses de recherche	<u>Hypothèses</u> : porter des lunettes de RA peut avoir des effets négatifs : - provoquer ou aggraver le freezing - rendre inefficace les effets des stimulations conventionnelles	Vérification d'une de leurs précédentes hypothèses
Matériel et méthode	Etude de cas	Pas indiqué dans le titre
Type d'étude		
Population	1 personne 63 ans diagnostiqué MPi depuis 17 ans Sujet au freezing depuis 16 ans Réceptif aux stimulations visuelles et auditives conventionnelles Amélioration partielle avec Levodopa mais aucun effet de stimulation cérébrale profonde sur le freezing Pas de comorbidité ou de troubles cognitifs Testé en phase OFF >12h après la dernière prise de médicament	Informations spécifiques et anonymisées du patient Patient sujet au critère d'évaluation mais mode d'évaluation du freezing non spécifié Vérification qu'il est bien sensible aux stimulations visuelles standards Pas d'informations sur ses antécédents ou autre informations cliniques Consentement éclairé donné

Critère de jugement	Pourcentage de temps en freezing	
Protocole utilisé	<p>Le stimulateur cérébral profond a été laissé allumé. Le patient a traversé une porte quatre fois sous chacune des conditions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de lunettes RA portées, pas de stimulations appliqués (« Control ») - Lunettes RA portées mais éteintes («SG OFF ») - barres tridimensionnelles affichées à travers les lunettes RA («SG AR ») - barres réelles transversales au sol, pas de lunettes RA portées ("Real bars ») - barres réelles transversales sur le sol tout en portant lunettes RA éteintes («SG real bars ») - enjamber un balai, pas de lunettes RA portées (« Broom ») - coups de pieds contre une petite boîte sur le sol, pas de lunettes RA portées (« Boîte »). <p>Les lunettes de RA utilisées étaient les lunettes Microsoft HoloLens.</p> <p>Le freezing était évalué à partir d'enregistrements vidéo par deux évaluateurs indépendants expérimentés</p>	<p>Identification du freezing réalisé par des examinateurs indépendants</p> <p>Seul le nombre de répétitions (quatre) est indiqué, difficile à reproduire en externe</p> <p>Pas de changement d'intervention notifié</p>
Analyses statistiques	Le pourcentage de temps en freezing a été comparé entre les différentes conditions avec des tests t appariés.	
<p>Résultats</p> <p>Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion, ...)</p>	<p>Les groupes « real bars, broom, et box » ont significativement amélioré les temps de freezing comparé au groupe contrôle (prouve que le patient est réceptif aux stimulations visuelles). Le port de lunettes RA n'a pas augmenté le pourcentage de temps en freezing par rapport au groupe contrôle (93,5% pour le groupe contrôle et 93,3% et 88,8% pour les lunettes éteintes et allumées.</p> <p>Le pourcentage de temps en freezing n'a pas été affecté par le port des lunettes RA.</p>	<p>Résultats à partir de vidéos visualisées par des expérimentateurs externes</p> <p>Détails des résultats, sous forme de tableau</p> <p>Pas de détails sur le ressenti du patient</p>

	La RA n'a pas amélioré ni détérioré le freezing	Pas d'effets indésirables notifiés
Discussion	Le champ de vision des lunettes est limité ce qui a pu modifier la perception de pouvoir enjamber les barres en RA	Confirmation avec les résultats que le patient est réceptif aux stimulations
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses	Le patient était conscient que les barres n'étaient pas réelles ce qui a pu affecter l'aide potentielle.	Limites justifiées par le champ de vision des lunettes et les connaissances du patient Pas de discussion en lien avec de la littérature Démontre que les lunettes n'empêchent pas l'utilisations des stimulations visuelles
Applicabilité et intérêt clinique	Les résultats de cette étude nécessitent plus de patients pour être généralisés. Les futures études pourraient se faire avec des groupes contrôle ne portant pas de lunettes de RA.	Les auteurs ont conscience que la technologie n'est pas encore totalement au point pour ce traitement
Bibliographie	Faible nombre de référence mais bien présenté et en norme Vancouver	
Résumé	Le résumé ne reprend pas le plan IMRad mais est conforme aux données de l'article.	
Niveau de preuve (selon HAS)	Niveau de preuve 5 grade C	

Légende : RA= réalité augmentée

ANNEXE V : Etudes exclues de la revue et raison de cette exclusion

Etudes	Raisons de l'exclusion			
	1	2	3	4
Lee et al. 2020			X	
Ahn et al. 2017			X	
Chen, Liou et al. 2016	X			
Nieuwboer. 2015	X			
Riess. 2004		X	X	
Mikos, Heng et al. 2017	X			
Snijders, Jeene et al 2012	X			
van Wezel, Heida et al. 2016				X
Canning, Song. 2013				X
Cunha dos Reis. 2008	X	X		X
Schoffer. 2006	X			X
Mylius. 2020				X

1 : Pas d'utilisation de dispositif de réalité augmentée

2 : L'article ne fait pas partie des types d'études sélectionnées

3 : L'étude n'évalue pas le freezing

4 : Articles non consultables ou résultats non disponibles

La réalité augmentée influe-t-elle sur le freezing parkinsonien : une revue systématique

Introduction : Le freezing touche 40 à 70% des personnes atteintes de la maladie de Parkinson idiopathique. Il se caractérise par une incapacité de la personne à lever et avancer le pied. Ce phénomène se produit généralement à l'initiation de la marche ou lors de changements de direction. Il réduit la qualité de vie et majore le risque de chute. Diverses méthodes existent pour le diminuer dont les indices visuels. Aujourd'hui, de nouvelles technologies émergent et permettent un nouveau type d'indice visuel : les dispositifs de réalité augmentée. L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'effet de la réalité augmentée sur le freezing parkinsonien. **Méthode** : Une revue systématique a été réalisée et a interrogé plusieurs bases de données : Pubmed, Science Direct, PEDro, Cochrane Library, Google Scholar, Kinédoc, Australian New Zealand Clinical Trials Registry, Clinicaltrials.gov et EUClinicaltrialsRegister. Le critère de jugement principal est le freezing. Les critères secondaires sont les paramètres de marche et l'avis des utilisateurs. **Résultats** : Six études ont été sélectionnées : quatre études en crossover, une série de cas et une étude de cas. La réalité augmentée ne montre pas de changement significatif sur le freezing. Elle n'améliore pas les paramètres de marche et les détériore selon certaines études. **Discussion** : A l'heure actuelle, la réalité augmentée ne semble pas montrer de réel intérêt sur le freezing et les paramètres de marche. Cependant, les patients semblent apprécier cet indice malgré des résultats mitigés. De futures études de plus haut niveau de preuve sur une plus longue durée d'entraînement sont à réaliser pour pouvoir confirmer ou infirmer ces résultats.

Mot clés : freezing, maladie de Parkinson, réalité augmentée

Does augmented reality influence parkinsonian freezing : a systematic review

Introduction : Freezing affects 40 to 70% of people with idiopathic Parkinson's disease. It is characterized by an inability of the person to lift and move the foot forward. This phenomenon usually occurs during gait initiation or turning. It reduces the quality of life and increases the risk of falling. Several methods exist to fight against this disorder including visual cues. Today, new technologies are emerging that allow a new type of visual cues : augmented reality devices. The objective of this work is to evaluate the effects of augmented reality on parkinsonian freezing. **Method** : A systematic review was performed and examined several databases: Pubmed, Science Direct, PEDro, Cochrane Library, Google Scholar, Kinédoc, Australian New Zealand Clinical Trials Registry, Clinicaltrials.gov and EUClinicaltrialsRegister. The primary outcome measure is the freezing. The secondary outcomes are the quality of gait and user experience. **Results** : Six studies were selected: Four crossover studies, one case series and one case study. Augmented reality does not show any significant change in freezing. It doesn't improve walking and is deleterious according to some studies. **Discussion** : At present, augmented reality does not seem to show any real interest in freezing and walking parameters. However, patients seem to appreciate this cue despite mixed results. Future studies with a higher level of evidence are needed to generalize these results.

Key words : freezing, Parkinson's disease, augmented reality