

**Institut Limousin de FOrmation  
aux MÉtiers de la Réadaptation  
Masso-kinésithérapie**

**Adaptation posturale du patient hémiplegique dans un  
environnement virtuel**

Création d'un test prédictif du risque de chute lors du retour à domicile

Mémoire présenté et soutenu par

**Charles MORIZIO**

En juin 2019



Mémoire dirigé par

**François DUZOU**

Directeur de la filière masso-kinésithérapie

## Remerciements

---

En premier lieu, je tiens à remercier mes proches pour m'avoir accompagné dans mes études de Masso-Kinésithérapie. Mes parents et ma sœur pour m'avoir encouragé et aidé tout au long de mes études. Je tiens aussi à remercier mon amie Charlène LOPES pour m'avoir soutenu et accompagné dans mon projet.

Je remercie M. Anaïck PERROCHON, enseignant chercheur à l'ILFOMER, pour son encadrement au sein du laboratoire HAVAE et lors de l'ensemble de ce travail expérimental. Pour le temps passé à me conseiller, à me relire et pour m'avoir fait découvrir le domaine de la recherche en le rendant passionnant.

Je remercie M. François DUZOU, directeur de ce mémoire et de la filière de masso-kinésithérapie à l'ILFOMER, pour ses conseils, sa disponibilité et pour sa présence tout au long de mon cursus.

Je remercie l'ensemble des équipes du service MPR du CHU de Limoges pour leur participation et leur contribution à cette étude. M. Romain JOSTE, médecin rééducateur à l'hôpital Jean REBEYROL pour m'avoir orienté et conseillé dans ce travail. M. le Pr Jean-Yves SALLE, M. le Pr Jean-Christophe DAVIET et Mme Brigitte PRENEUF pour m'avoir permis d'effectuer cette expérimentation au sein de ce service, pour leur disponibilité, leurs encouragements et pour la mise à disposition du matériel nécessaire.

Je tiens à remercier tous les participants de cette étude pour avoir accepté de donner de leur temps.

Je tiens à remercier également Martial PEROL, Thomas BIDAUD et Lylian CASTAING, amis et collègues de promotion pour les heures passées à travailler ensemble, leurs encouragements et pour les bons moments partagés lors de ces quatre années. Je remercie également Thomas BRUNEAU pour m'avoir aidé à effectuer mon expérimentation lors du clinicat.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui prendront le temps de lire ce mémoire.

## Droits d'auteurs

---

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



## Charte anti-plagiat

---

La Direction Régionale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du Préfet de région les diplômes du travail social et des auxiliaires médicaux et sous l'autorité du Ministre chargé des sports les diplômes du champ du sport et de l'animation.

Elle est également garante de la qualité des enseignements délivrés dans les dispositifs de formation préparant à l'obtention de ces diplômes.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue que les directives suivantes sont formulées à l'endroit des étudiants et stagiaires en formation.

Article 1 :

Tout étudiant et stagiaire s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, l'engagement suivant :

**Je, soussigné Charles MORIZIO**

**atteste avoir pris connaissance de la charte anti plagiat élaborée par la DRDJSCS NA  
– site de Limoges et de m'y être conformé.**

**Et certifie que le mémoire/dossier présenté étant le fruit de mon travail personnel, il ne  
pourra être cité sans respect des principes de cette charte.**

**Fait à Limoges, Le mercredi 1er mai 2019**

**Suivi de la signature.**

Article 2 :

« Le plagiat consiste à insérer dans tout travail, écrit ou oral, des formulations, phrases, passages, images, en les faisant passer pour siens. Le plagiat est réalisé de la part de l'auteur du travail (devenu le plagiaire) par l'omission de la référence correcte aux textes ou aux idées d'autrui et à leur source » .

Article 3 :

Tout étudiant, tout stagiaire s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté(e) ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 4 :

Le plagiaire s'expose aux procédures disciplinaires prévues au règlement intérieur de l'établissement de formation. Celles-ci prévoient au moins sa non présentation ou son retrait de présentation aux épreuves certificatives du diplôme préparé.

En application du Code de l'éducation et du Code pénal, il s'expose également aux poursuites et peines pénales que la DRJSCS est en droit d'engager. Cette exposition vaut également pour tout complice du délit.

# Vérification de l'anonymat

---

**Mémoire DE Masseur-Kinésithérapeute**

**Session de juin 2019**

**Attestation de vérification d'anonymat**

Je soussignée(e) Charles MORIZIO

Etudiant.e de 4ème année

Atteste avoir vérifié que les informations contenues dans mon mémoire respectent strictement l'anonymat des personnes et que les noms qui y apparaissent sont des pseudonymes (corps de texte et annexes).

Si besoin l'anonymat des lieux a été effectué en concertation avec mon Directeur de mémoire.

Fait à :Limoges

Le : mercredi 1er mai 2019

Signature de l'étudiant

## Glossaire

---

**3D** : Trois Dimensions

**AIT** : Accident Ischémique Transitoire.

**ARS** : Agence Régionale de Santé

**AVC** : Accident Vasculaire Cérébral.

**BBS** : Berg Balance Scale

**BDAE** : Boston Diagnostic Aphasia Examination

**CdP** : Centre de Pression

**CG** : Centre de Gravité

**CHU** : Centre Hospitalier Universitaire

**CP** : Contrôle Postural

**EEP** : Espace Extra Personnel

**EHPAD** : Établissement d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes

**EPP** : Espace Péri Personnel

**EVA** : Échelle Visuelle Analogique

**FAC** : Functional Ambulation Categories

**FAST** : Face, Arm, Speech, Time

**FES-I** : Fall Efficacy Scale – International

**FMA** : Fugl-Meyer Assessment

**HAD** : Hospitalisation A Domicile

**HAS** : Haute Autorité de Santé

**HDJ** : Hôpital De Jour

**IMC** : Indice de Masse Corporel

**MCO** : Médecine, Chirurgie, Obstétrique

**MIF** : mesure de l'Indépendance Fonctionnelle

**MMSE** : Mini-Mental State Examination

**MPR** : Médecine Physique et de Réadaptation

**NGC** : Noyaux Gris Centraux

**NIHSS** : National Institutes of Health Stroke Scale

**Inserm** : Institut national de la santé et de la recherche médicale

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PASS** : Postural Assessment Scale for Stroke patients

**RAD** : Retour à Domicile

**RV** : Réalité Virtuelle

**SD** : Écart-type

**SNC** : Système Nerveux Central

**SOFMER** : Société Française de Médecine physique et de Réadaptation

**SSR** : Soins de Suite et de Réadaptation

**TUG** : Times Up and Go

**UNV** : Unité Neuro-Vasculaire.

**USLD** : Unité de Soins de Longue Durée

## Table des matières

---

Introduction .....	12
L'Accident Vasculaire Cérébral (AVC) .....	13
1. Définition : .....	13
2. Physiopathologie : .....	13
2.1. Signes cliniques et facteurs de risques de l'AVC : .....	15
2.2. Conséquences fonctionnelles de l'AVC : .....	16
2.3. L'héminégligence : .....	19
3. Parcours de soins et Retour à domicile du patient AVC : .....	19
3.1.1. Le retour à domicile du patient AVC : .....	21
Le contrôle postural (CP) .....	24
1. Définition : .....	24
2. Mécanismes du contrôle postural et de son adaptation : .....	24
2.1. Système somato-sensoriel : .....	25
2.2. Système vestibulaire : .....	25
2.3. Système visuel : .....	25
2.4. Neuro-anatomie du contrôle postural : .....	26
3. AVC et contrôle postural : .....	27
3.1. Héminégligence, contrôle postural et espaces péri- et extra-personnels : .....	29
3.2. Risque de chute du patient AVC : .....	30
4. Évaluation du contrôle postural en kinésithérapie : .....	31
La Réalité Virtuelle (RV) .....	33
1. Présentation du concept : .....	33
2. RV et rééducation : .....	34
3. RV comme outil de bilan : .....	34
Problématisation : .....	36
Problématique .....	37
Méthode et matériel .....	38
1. Description de la population : .....	38
2. Déroulement du protocole expérimental : .....	39
2.1. Partie 1 : .....	40
2.2. Partie 2 : .....	41
2.3. Partie 3 : .....	41
3. Matériel utilisé et variables étudiées : .....	44
3.1. Matériel utilisé : .....	44
3.2. Variables étudiées : .....	45
4. Analyses statistiques : .....	46
Résultats .....	47
1. Caractéristiques générales des patients : .....	47
2. Adaptation posturale des patients hémiplésiques et des sujets sains : .....	49
3. Faisabilité du protocole proposé : .....	51
3.1. Intérêt clinique du test : .....	53
Discussion .....	55
1. Intérêt de l'étude : .....	55
2. Analyse des résultats et comparaison avec la littérature : .....	56



2.1. Adaptation posturale des sujets AVC et contrôles dans un environnement virtuel écologique :.....	56
2.2. Adaptation posturale des patients héminégligents et non héminégligents :.....	58
2.3. Impact de la variation de stimuli visuels dans l'EPP sur le CP :.....	59
2.4. Faisabilité du test proposé pour la population AVC :.....	60
2.4.1. Intérêt clinique du test proposé :.....	63
3. Limites de ce travail :.....	64
4. Perspectives :.....	65
Conclusion .....	66
Références bibliographiques .....	67
Annexes .....	73
Annexe I : test MMSE :.....	73
Annexe II : fiche sujet protocole :.....	74
Annexe 2.1 : Échelle FES-I : .....	75
Annexe 2.2 : Test PASS :.....	76
Annexe III : conditions proposées en RV :.....	77
Annexe 3.1. Familiarisation (hall centre commercial).....	77
Annexe 3.2. Baseline (salon « Mirror therapy ») .....	77
Annexe 3.3. Condition 1, extra-personnel et peu dense .....	78
Annexe 3.4. Condition 2, extra-personnel et dense .....	78
Annexe 3.5. Condition 3, péri-personnel et peu dense .....	79
Annexe 3.6. Condition 4, péri-personnel et dense .....	79
Annexe IV : Installation de l'expérimentation dans le L2H (Rebeyrol) .....	80

## Table des illustrations

---

Figure 1: Vascularisation cérébrale .....	14
Figure 2 : Différentes composantes du parcours de soins du patient AVC .....	20
Figure 3 : Déroulement chronologique du protocole.....	39
Figure 4 : Installation étape 3.....	42
Figure 5 : Plateforme WIN-POSTURO .....	44
Figure 6 : Casque HTC vive.....	44
Figure 7 : Diagramme de flux adapté de la méthode Consort. ....	47
Figure 8 : Relation entre la vitesse moyenne de déplacement du CdP et l'échelle FES-I pour les modalités évaluées.....	53
Figure 9 : Relation entre la vitesse moyenne de déplacement du CdP et le PASS pour les modalités évaluées .....	54
Figure 10 : Installation de l'expérimentation au L2H.....	80

## Table des tableaux

---

Tableau 1 : Facteurs de risques de l'AVC .....	15
Tableau 2 : Tableaux cliniques en fonction du territoire vasculaire atteint. ....	18
Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion du groupe AVC .....	38
Tableau 4 : Caractéristiques anthropométriques des groupes AVC et contrôle .....	48
Tableau 5 : Caractéristiques cliniques des sujets AVC analysés .....	48
Tableau 6 : Données posturographiques des groupes AVC et contrôle en fonction des conditions.....	49
Tableau 7 : Caractéristiques et données posturographiques des sujets héminégligents et non-héminégligents.....	50
Tableau 8 : Données de faisabilité du test mis au point. ....	52

## Introduction

---

Les champs d'application de la kinésithérapie sont multiples, et parmi ces différents domaines, celui de la rééducation et de la réadaptation neurologique a particulièrement attiré mon attention. L'ensemble des cours théoriques, pratiques ainsi que les situations de stage rencontrées m'ont donné l'envie d'approfondir mes connaissances dans cette discipline.

L'accident vasculaire cérébral est une pathologie neuro-vasculaire liée aux risques cardio-vasculaires et à l'âge. Le vieillissement général de la population entraîne une augmentation de l'incidence des attaques cérébrales et présente cette affection comme un enjeu majeur de santé publique. Parmi les conséquences cliniques, on retrouve le plus souvent une hémiplegie avec un éventail de déficiences associées polymorphe. Lors de la prise en soins, le kinésithérapeute met en place, avec le patient, un projet thérapeutique de rééducation et de réadaptation en lien avec les objectifs partagés. Le retour à domicile, quand il est envisagé, nécessite une sécurité permettant de limiter le risque de chute. L'observation du suivi de ces patients pose la question de l'importance des capacités d'équilibration dans la réalisation de cet objectif et la méthode d'évaluation utilisée par le professionnel de santé pour l'objectiver.

Le contrôle postural est un élément clef de la sécurité de la personne ainsi que de son autonomie. Durant la rééducation du patient victime d'un accident vasculaire cérébral, un des axes majeurs est le travail des différents mécanismes d'adaptations posturales. Cependant, l'équilibre étant perturbé par l'environnement dans lequel évolue la personne, il faut l'envisager dans une situation écologique. Dans la continuité d'une rééducation dite fonctionnelle, il apparaît utile d'utiliser une évaluation plus pertinente suivant ce principe.

A cette fin, l'apport de la réalité virtuelle immersive trouve son utilité. Cette nouvelle technologie permet à une personne d'interagir avec un environnement simulé que l'on peut contrôler. Elle permet de confronter la personne à une situation de vie écologique, tout en contrôlant au mieux les paramètres de sécurité et en donnant la possibilité d'étudier l'adaptation posturale dans une situation statique. Cette technologie se développe actuellement dans la rééducation mais son utilisation en tant qu'outil d'évaluation et de bilan n'est pour le moment pas formalisée.

Le développement qui va suivre a pour but de mettre en place un test permettant l'évaluation des capacités d'adaptation posturale du patient hémiplegique dans une situation écologique à l'aide de la réalité virtuelle immersive afin de prédire un risque de chute dans la perspective d'un retour à domicile.

# L'Accident Vasculaire Cérébral (AVC)

---

## 1. Définition :

L'accident vasculaire cérébral (AVC) est défini selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme « un déficit brutal d'une fonction cérébrale focale sans autre cause apparente qu'une cause vasculaire ». L'AVC est une affection neurologique très fréquente, et aux conséquences très importantes. Elle représente dans les pays occidentaux, la première étiologie de handicap acquis chez l'adulte (500 000 français vivent aujourd'hui avec des séquelles), la deuxième cause de démence derrière la maladie d'Alzheimer et la troisième cause de décès (1). En France, on dénombre chaque année 150 000 cas, soit un AVC toutes les 4 minutes. Plus de 110 000 patients sont hospitalisés et 30 000 en décèdent. Au niveau mondial, 16 millions de nouveaux cas sont recensés chaque année et une prévision de 23 millions par an est prévue pour 2030 (2). Il s'agit d'une affection du sujet âgé, 75% des patients ont plus de 65 ans et l'âge moyen d'apparition est de 71,4 ans chez les hommes et de 76,5 ans chez les femmes (1–3). Le vieillissement de la population entraîne de ce fait une augmentation du nombre de patients atteints. Le coût économique de l'AVC en France est très important et la croissance de l'incidence place cette affection comme un enjeu majeur de santé publique (4).

## 2. Physiopathologie :

L'AVC est une pathologie neuro-vasculaire présentant deux mécanismes d'atteintes différents (1):

- Les AVC ischémiques (ou infarctus cérébraux) qui représentent entre 80% et 85% des AVC et sont le plus souvent le résultat de l'occlusion d'une artère par un thrombus. La suppression de l'apport sanguin entraîne une nécrose des tissus dans le territoire vasculaire irrigué par l'artère obstruée. Il peut être provoqué par une thrombose cérébrale ou une embolie cérébrale. Les pathologies pouvant favoriser cet accident sont : l'athérosclérose, l'artériosclérose ainsi que d'autres maladies cardio-vasculaires.
- Les AVC hémorragiques, hémorragies cérébrales ou méningées (respectivement 15% et 5% de la totalité des AVC) sont la conséquence de la rupture d'une artère cérébrale. Cette rupture concerne le plus souvent les artères de petit calibre fragilisées par l'artériosclérose ou par une malformation préexistante.

La gravité des lésions cérébrales dépend de la durée de l'occlusion et des possibilités de suppléances vasculaires collatérales à partir des artères cérébrales adjacentes. Une interruption de la circulation sanguine de courte durée n'entraîne pas d'infarctus cérébral mais un Accident Ischémique Transitoire (AIT) qui régresse sans conséquences fonctionnelles (5). Si l'occlusion est prolongée, une nécrose des tissus apparaît rapidement au niveau de l'aire cérébrale hypoperfusée. L'ischémie entraîne un défaut d'apport de substrats énergétiques avec comme conséquence un arrêt du fonctionnement des synapses donnant lieu à un déficit neurologique correspondant à l'aire cérébrale touchée. Il suit un arrêt du fonctionnement des pompes ioniques des membranes cellulaires des neurones et des cellules gliales qui crée un œdème cytotoxique. Il évolue en quelques minutes à quelques heures et est potentiellement réversible. En cas d'ischémie majeure, l'œdème cytotoxique donne lieu à un œdème vasogénique. Il y a une augmentation du volume extracellulaire ainsi que de la pression intracrânienne qui va comprimer les tissus neuronaux et les artères cérébrales. Cet œdème se produit dans les heures voire les jours suivant l'ischémie et provoque des dommages graves et irréversibles (5).

En ce qui concerne les AVC hémorragiques, leurs effets néfastes sont dus à une hypoxie liée à la perturbation de l'apport vasculaire, à l'effet inflammatoire de l'hémorragie sur le parenchyme cérébral ainsi qu'à l'augmentation de la pression intracrânienne. L'accentuation de cette pression va restreindre la vascularisation cérébrale, c'est pour cette raison qu'il s'agit des AVC les plus graves (5).

La circulation collatérale de l'encéphale est composée de canaux anastomotiques artériels permettant la perfusion des aires cérébrales atteintes par l'ischémie (6). On peut distinguer trois systèmes anatomiques dans la circulation collatérale cérébrale. En premier, le polygone de Willis se trouvant à la base du cerveau et reliant les artères cérébrales antérieures et postérieures.

Deuxièmement, des anastomoses intracrâniennes entre les artères cérébrales antérieures, moyennes et postérieures ainsi qu'entre les artères cérébrales postérieures et cérébelleuses. Troisièmement, des anastomoses entre les branches des artères carotides externes et internes (6).

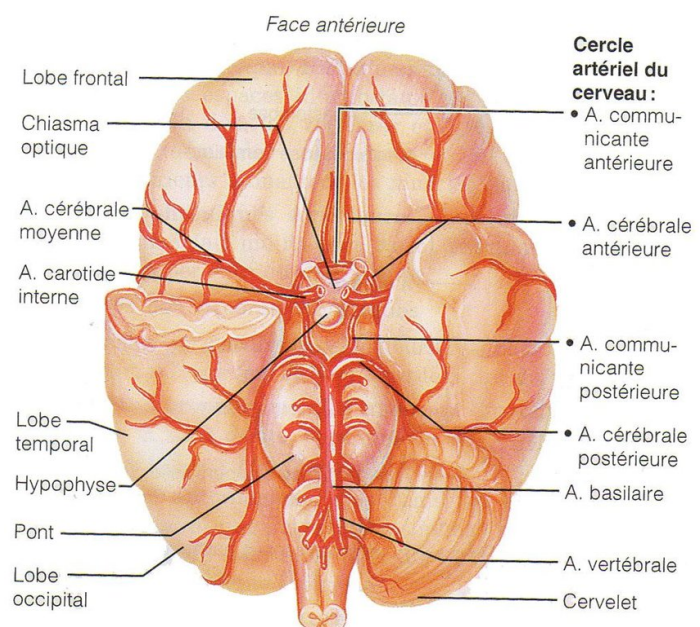


Figure 1: Vascularisation cérébrale

## 2.1. Signes cliniques et facteurs de risques de l'AVC :

La sévérité de l'atteinte neurologique dépend en partie de la vitesse de prise en charge et de la mise en place d'un traitement en urgence permettant de limiter les lésions cérébrales et d'améliorer les capacités de récupération (7). Les signes cliniques prédictifs d'un AVC sont une faiblesse soudaine (paralysie brutale du visage ou d'un bras) , une difficulté à l'élocution, des troubles visuels, des vertiges et un mal de tête soudain et important (7,8). L'American Stroke Association promeut la mise en place de la méthode FAST (Face, Arm, Speech, Time) qui a montré sur les dix dernières années qu'une stratégie d'éducation publique efficace peut avoir un réel impact sur la prise en charge précoce de l'AVC (7). Plusieurs campagnes de communications sont mises en place sur le territoire français pour informer la population (8).

Avant l'apparition de ces symptômes, il est cependant possible d'identifier une population cible grâce à plusieurs facteurs de risques ciblés (9). La prévention de l'AVC est un axe de travail capital de santé publique, c'est la méthode la plus efficace pour réduire son incidence car 76% des cas sont des premiers événements de déficits cardio-vasculaires (10). Meschia et al. ont mis en évidence plusieurs facteurs de risques parmi lesquels certains peuvent être surveillés (10). Une autre étude effectuée par O'Donnell et al. a mis en évidence 10 facteurs de risques associés à 90% de la possibilité de développer un AVC ischémique ou hémorragique (11). Cette étude précise les facteurs de risques communs et potentiellement modifiables.

Tableau 1 : Facteurs de risques de l'AVC

Facteurs de risques non modifiables	Facteurs de risques modifiables
L'âge.	Pression artérielle élevée.
Le genre.	Diabète.
Les facteurs génétiques.	Tabagisme chronique.
Un premier épisode d'AVC ou d'AIT.	Obésité et alimentation de mauvaise qualité.
Le poids de naissance.	Manque d'activité physique (sédentarité).
	Consommation importante d'alcool.
	Taux de mauvais cholestérol (LDL) trop élevé (dyslipidémie).
	Facteurs psycho-sociaux (stress, dépression).
	Apnée du sommeil.
	Troubles cardiaques (fibrillation auriculaire, arythmie, insuffisance cardiaque...).

## 2.2. Conséquences fonctionnelles de l'AVC :

Les conséquences cliniques d'un AVC sont multiples et propres à chaque patient. Cela va d'un AIT qui régresse sans conséquences fonctionnelles, à un accident grave pouvant entraîner le décès dans les heures ou les jours qui suivent. Un an après l'AVC, 30% des patients sont décédés. Parmi les survivants, 40% ont des séquelles sensitivo-motrices ayant une incidence sur leur autonomie et entraînent une restriction de leur participation socio-professionnelle. Le risque de récurrence de l'AVC est estimé entre 30% et 40%. Selon l'OMS, les AVC ont des conséquences très variables. La sévérité des déficiences acquises dépend de la localisation de l'atteinte, du type d'AVC (ischémique ou hémorragique) ainsi que de la vitesse de prise en charge et de la mise en place d'un traitement en urgence (1).

L'hémiplégie est la principale déficience motrice consécutive à un AVC. Elle est liée à l'atteinte du faisceau pyramidal et engendre différentes formes cliniques en fonction de la topographie de la lésion. L'hémiplégie ou hémiparésie (paralysie incomplète) se définit par « la perte plus ou moins complète de la motricité volontaire d'une moitié du corps ». L'atteinte de la voie pyramidale (faisceau cortico-spinal) effectuant la transmission du signal nerveux des aires cérébrales jusqu'aux effecteurs provoque une altération de la motricité volontaire de l'hémicorps opposé à l'hémisphère cérébral lésé, car la voie pyramidale possède un trajet croisé. Le déficit peut être exceptionnellement homolatéral à la lésion, si la lésion siège en aval de la décussation pyramidale. Elle débute au niveau du cortex cérébral pour former le faisceau pyramidal, passe par la capsule interne, puis par le bulbe rachidien où elle croise la ligne médiane : c'est la décussation pyramidale. Les motoneurones centraux descendent ensuite dans la moelle épinière. La terminaison du premier motoneurone se situe au niveau de la corne antérieure, lieu de la synapse avec le motoneurone périphérique qui transmet l'information au muscle par la jonction neuro-musculaire (12). Les différents déficits moteurs en fonction de la topographie de la lésion sont les suivants :

- L'hémiplégie liée à une lésion corticale dite superficielle a pour conséquence une atteinte sensitivo-motrice controlatérale qui prédomine au niveau du membre supérieur et de la face pour les AVC sylviens. Elle est dite non proportionnelle, non pure, et possède des troubles associés (trouble de la sensibilité, du langage...)
- L'hémiplégie trouvant sa topographie lésionnelle au niveau de la capsule interne et du noyau lenticulaire, dite profonde. Elle présente une atteinte controlatérale totale, purement motrice et proportionnelle.
- L'hémiplégie faisant suite à un infarctus sylvien total regroupe les caractéristiques de l'atteinte superficielle et profonde et est proportionnelle.



- Une lésion qui se situe au niveau du tronc cérébral (territoire de l'artère vertébrobasilaire) donne une hémiplégie dite alterne avec un syndrome pyramidal controlatéral et une paralysie périphérique homolatérale d'un nerf cranien. Le cervelet placé en dérivation à la face postérieure du tronc cérébral peut être atteint et engendrer un syndrome cérébelleux (trouble de la statique, de la marche, de l'exécution et un trouble du tonus)
- Une lésion au niveau de la moelle peut provoquer une atteinte unilatérale (syndrome de Brown Sequard) ou bilatérale (paraplégie ou tétraplégie).

La commande motrice est atteinte dans la majorité des AVC, 85% des survivants ont au moins une déficience motrice d'un membre (13). Les troubles moteurs peuvent trouver leurs origines à différents niveaux de la voie pyramidale entre le neurone d'origine de cette voie et la synapse avec le motoneurone alpha dans la corne antérieure de la moelle épinière. Pour produire un mouvement adapté, il existe cinq étapes dans la création d'une action motrice volontaire ou involontaire (14):

- L'intention : à l'origine de tout mouvement volontaire, c'est l'identification du but.
- La planification : c'est la sélection de la réponse et un choix de la stratégie mise en place.
- La programmation : c'est la création d'un programme moteur, elle précise les paramètres d'exécutions.
- L'exécution : c'est le codage du mouvement volontaire et l'envoi aux motoneurones de la moelle épinière.
- La correction : c'est la modification au cours du mouvement du programme moteur mis en place à l'aide de feedbacks.

Ces différentes étapes vont mettre en jeu plusieurs aires et structures cérébrales (14) :

L'intention met en jeu le thalamus, le système limbique et les cortex associatifs préfrontaux et pariétaux. La planification nécessite l'action des cortex associatifs et du cortex prémoteur. Les aires préfrontales sont impliquées dans la prise de décision et l'anticipation des conséquences de l'action afin d'élaborer la stratégie motrice. Les aires pariétales reçoivent les informations des aires somatosensorielles et les informations des aires visuelles. Enfin, le cortex prémoteur joue son rôle dans la planification du mouvement volontaire.

La programmation met en jeu les noyaux gris centraux, ils ont un rôle dans la régulation des informations corticales. L'exécution du mouvement est permise par les aires motrices primaires qui transmettent le message nerveux à la moelle épinière.

La correction du mouvement est permise par l'action du cervelet et certains noyaux gris centraux. Le cervelet permet la modulation du signal à l'aide d'un circuit en boucle qui le relie au cortex cérébral.

Concernant les atteintes du cortex cérébral, de nombreux tableaux cliniques peuvent être observés. Des déficits somatosensoriels associés à l'atteinte motrice sont très souvent retrouvés suite à un AVC (15). Ces déficits sont liés à l'artère présentant l'ischémie et aux aires corticales lésées. La nature des déficiences est fonction de la zone affectée car il existe des aires cérébrales dédiées à des fonctions spécifiques. Toutes les fonctions du système sensitivo-moteur et tâches intégratives peuvent être atteintes, donnant des déficiences très variables et propres à chaque patient : aphasie, troubles visuels, troubles de la sensibilité, troubles des fonctions supérieures, troubles vésico-sphinctériens, hémiasomatognosie, anosodiaphorie, anosognosie, troubles praxiques, agnosie visuelle, troubles du tonus...

Tableau 2 : Tableaux cliniques en fonction du territoire vasculaire atteint.

	<b>Principales manifestations cliniques</b>
<b>Territoire carotidien</b>	
Artère cérébrale antérieure	Syndrome frontal ; hémiplégie à prédominance crurale controlatérale.
Artère cérébrale moyenne	Hémihypoesthésie controlatérale (brachio-faciale) ; Aphasie (hémisphère gauche) ; hémignégligence, hémiasomatognosie, anosognosie (hémisphère droit) ; hémianopsie latérale homonyme controlatérale.
<b>Territoire vertébrobasilaire</b>	
Artère Vertébrale intracrânienne	Syndrome de Wallenberg.
Tronc basilaire	Locked-in syndrome.
Artère cérébrale postérieure	Hémianopsie latérale homonyme controlatérale ; hémianesthésie controlatérale si infarctus profond.
Artère cérébelleuse supérieure	Syndrome cérébelleux unilatéral du côté de la lésion

### **2.3. L'héminégligence :**

L'héminégligence ou négligence spatiale unilatérale est un trouble fréquemment observé suite à un AVC, c'est l'affection la plus courante suite à une lésion située dans l'hémisphère droit. Ce syndrome est classiquement défini comme « l'incapacité pour le patient de se rendre compte de, de réagir à et de s'orienter vers des stimulations significatives ou nouvelles présentées dans l'hémi-espace controlatéral à une lésion cérébrale » (16). Il s'agit d'un trouble complexe ayant de multiples composantes, qui peut toucher l'ensemble des modalités sensorielles (visuelle, auditive, somatosensorielle), ainsi que le contrôle moteur (17). Sur le plan comportemental, l'héminégligence se caractérise par l'incapacité de signaler les événements ayant lieu dans l'espace du côté contra lésionnel, de s'y orienter ou d'y réagir. La négligence suite à un AVC est un mauvais pronostic sur le devenir fonctionnel, à la fois comme facteur indépendant ou associé à d'autres paramètres (18,19).

### **3. Parcours de soins et Retour à domicile du patient AVC :**

Le plan national AVC mis en place en 2010 donne pour rôle aux ARS de mettre en place des filières de prise en charge de l'AVC pour mailler le territoire. Ces filières devront posséder une unité neuro-vasculaire (UNV) et des structures MCO (Médecine, Chirurgie, Obstétrique), SSR (Soins de Suites et de Réadaptation), USLD (Unité de Soins de Longue Durée), hôpitaux locaux et de retour à domicile (20). Des recommandations pour la prise en charge initiale du patient AVC ont été proposées par la HAS en 2009 (21). Parmi les directives présentes dans ce document on retrouve la sensibilisation du grand public aux signes d'alerte et à l'urgence de la prise en charge. L'optimisation des filières préhospitalières et intrahospitalières initiales, dans le but de proposer une prise en charge pluriprofessionnelle précoce en UNV, est aussi précisée.

La filière intrahospitalière neuro-vasculaire doit être organisée au préalable et coordonnée avec les différents professionnels de santé et formalisée avec des procédures écrites. Elle doit permettre un accès rapide à une expertise neuro-vasculaire et à l'utilisation de l'imagerie cérébrale (21). Cette prise en charge précoce doit permettre de confirmer le diagnostic, d'en préciser le mécanisme (ischémique ou hémorragique) et de mettre en place le traitement approprié. Les établissements possédant une UNV doivent orienter directement le patient vers un médecin de cette filière. Les établissements ne possédant pas d'UNV doivent structurer une filière en coordination avec une UNV existante. Tout patient ayant un AVC doit être proposé à une UNV pour mettre en place une rééducation précoce (21,22). L'orientation du patient à la sortie de l'UNV doit respecter les impératifs individuels du patient et les impératifs organisationnels.

La SOFMER a proposé différents types de parcours de soins tenant compte de la sévérité des déficiences, du pronostic fonctionnel et des facteurs contextuels. Pour cela, quatre catégories de patients ont été proposées :

- Catégorie 1 : Patient présentant une seule déficience (motrice, trouble de la marche, du langage, de la vision, ou un déficit de sensibilité incomplet) et possédant un projet d'autonomie.
- Catégorie 2 : Plusieurs déficiences et présentant un projet d'autonomie probable.
- Catégorie 3 : Plusieurs déficiences comprenant un trouble des fonctions cognitives et/ou du comportement avec un potentiel de récupération limité ; projet d'autonomie partielle ou impossible.
- Catégorie 4 : Multiples déficiences (état végétatif, Locked-in syndrome) et ne présentant aucun projet d'autonomie

Pour préciser le parcours de soins approprié à chaque patient, une adaptation est prévue suivant différents paramètres personnels ou environnementaux qui justifieront des moyens spécifiques, du temps supplémentaire et des surcoûts possibles. Les différentes composantes du parcours de soins du patient AVC sont les suivantes (23):

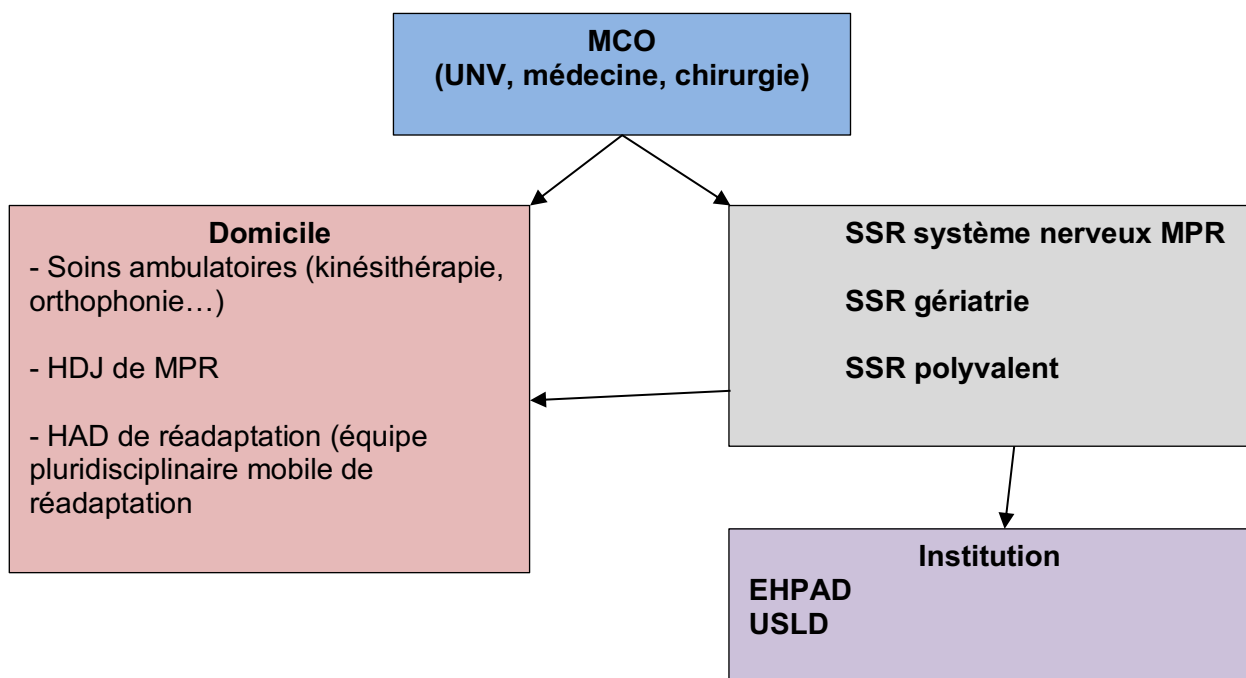


Figure 2 : Différentes composantes du parcours de soins du patient AVC

Suite à la prise en charge en UNV, le patient peut être orienté soit vers un retour à domicile précoce ; soit vers une hospitalisation en SSR spécialisé pour les affections du système nerveux (MPR) si il a les capacités de suivre une rééducation soutenue ; soit en SSR non spécialisé. Suite à l'hospitalisation, les patients sont orientés vers un retour à domicile (RAD) avec une prise en charge adaptée comprenant :

- La prescription de soins ambulatoires (kinésithérapie, orthophonie...).
- L'hospitalisation de jour (HDJ) de la structure MPR.
- L'hospitalisation à domicile (HAD) par une équipe pluridisciplinaire de réadaptation.

Si le RAD n'est pas envisageable, l'orientation vers une institution la plus adaptée aux capacités du patient est mise en place. Le RAD ou le transfert en institution à la sortie de l'hospitalisation est décidé en fonction de l'état clinique du patient, de son environnement social (familial, économique...) et des compétences et performances des structures d'accueil. Une consultation médicale de bilan post-AVC doit être mise en place à 6 mois de l'accident pour observer l'évolution du patient et programmer les adaptations nécessaires.

### **3.1.1. Le retour à domicile du patient AVC :**

La HAS stipule qu'aucune stratégie de prise en charge n'apparaît supérieure aux autres dans l'optimisation de la récupération fonctionnelle pour le patient hémiplegique entre le retour précoce au domicile, la rééducation en HDJ ou en HAD et l'hospitalisation complète. Cependant, les différentes méthodes de prise en charge au domicile, soit par les praticiens libéraux, soit par les équipes pluridisciplinaires permettant une HAD montrent un coût inférieur ou égal aux soins hospitaliers. Malgré l'augmentation du nombre d'UNV mise en place par le plan AVC, les capacités de prise en soins dans les services de SSR spécialisés MPR ne permettent pas la prise en charge de l'ensemble des patients nécessitant une rééducation à la suite de la phase aigüe de l'AVC (J14). La diversification des filières de suivi par la promotion de la prise en soins à domicile (retour précoce, rééducation à domicile, HAD, HDJ de MPR) permet d'optimiser la prise en charge de l'ensemble des patients AVC. Il est donc nécessaire de promouvoir et de structurer les équipes permettant cette méthode de suivi alors que la rééducation est souvent effectuée par des réseaux pluriprofessionnels informels (24).

Dans cette démarche, il est nécessaire lors de l'hospitalisation de préparer le RAD du patient. La sortie se prépare dès l'admission en prenant en compte de façon systémique les dimensions médicales et psycho-sociales. Les démarches à effectuer sont l'information du patient et de ses proches au sujet de son état clinique, de son évolution et de ses droits. La prise en compte du projet du patient et de sa situation socio-économique est primordiale pour pouvoir anticiper les différents paramètres de la démarche et la débiter le plus tôt possible.

Il est nécessaire de mettre en place des aides humaines et matérielles permettant le RAD. La préparation suit un plan d'action concernant le patient et son entourage :

- Rencontre de la famille dès l'admission, recueil des informations sur l'environnement du patient et analyse de la situation sociale.
- Informer le médecin traitant et identifier les professionnels de santé présents pour la sortie et communiquer par courrier pour transmettre les informations du dossier du patient, de son projet et des modalités de sortie.
- Définition des objectifs suite au RAD.
- Visite au domicile en vue d'une adaptation matérielle et de la proposition d'aides techniques.
- Planification du suivi du patient et des aidants, mise en place d'une éducation thérapeutique de l'entourage et orientation vers les associations de patients.
- Mises en situation épisodiques (permissions de sortie à domicile).

Daviet et al. ont mis en évidence des facteurs prédictifs du RAD chez les patient ayant subi un AVC. Ces facteurs sont : la nature ischémique de l'AVC, un index de Barthel élevé à J15, l'absence d'incontinence urinaire à J15, l'absence d'héminégligence, et le fait de vivre en couple (25). Plusieurs études ont mis en évidence des facteurs jouant un rôle positif ou négatif dans les possibilités du RAD suite à un AVC : l'âge ; le sexe ; la situation familiale et socio-économique ; la présence d'une aphasie, de troubles cognitifs et/ou psychiatriques ; une héminégligence ; une incontinence à l'entrée et à un mois de l'accident ; les déficiences motrices initiales et le délai de prise en charge. La situation sociale du patient tient un rôle prépondérant dans le RAD, sa prise en charge durant l'hospitalisation est donc primordiale. La présence ou non de facteurs de mauvais pronostic doit être prise en compte et discutée avec le patient et son entourage dans la prise de décision de la destination de sortie (26–28). Les scores de mesure des conséquences de l'AVC obtenus à l'aide de la MIF (Mesure de l'Indépendance Fonctionnelle) et du NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale) lors de l'admission sont de bons prédicteurs de la destination de sortie d'hospitalisation chez les patients AVC et peuvent être utilisés pour planifier précocement l'orientation du patient. Cependant les facteurs psycho-sociaux doivent absolument être pris en compte et peuvent avoir un poids plus important dans le choix de la destination de sortie (29). La connaissance de l'influence de ces différents paramètres sur les possibilités et les conditions d'un RAD permet d'identifier les conditions favorables de cette orientation et donc de cibler les patients susceptibles de s'inscrire dans cette démarche.

Le RAD le plus précoce possible est promu actuellement par le système de soins français. Les patients et leur entourage sont confrontés chez eux à un environnement pouvant mettre la personne en danger notamment par rapport au risque de chute. Plusieurs facteurs permettent d'identifier précocément les patients susceptibles d'entreprendre un RAD. Cette démarche est encouragée dans le parcours de soins du patient AVC et elle doit être encadrée au mieux pour promouvoir le devenir fonctionnel de ces personnes. Dans cette perspective, les compétences des masseurs-kinésithérapeutes sur l'évaluation des capacités fonctionnelles du patient hémiparétique ont un rôle important. Le développement d'outils prédictifs permettant d'émettre un avis objectif sur les capacités d'un patient à effectuer ce RAD en sécurité semble très pertinent. Ces outils devront prendre en compte le patient hémiparétique de façon holistique au-delà de l'atteinte sensitivo-motrice, notamment en tenant compte du rôle des fonctions supérieures.

# Le contrôle postural (CP)

---

## 1. Définition :

Selon Pérennou, une posture est « une attitude définie par la position relative des segments corporels ainsi que par leur orientation dans l'espace » (30). L'utilisation du terme posture dans le domaine paramédical ne désigne pas une simple analyse de l'organisation du corps dans l'espace mais prend en compte les différents mécanismes régulateurs (nerveux) de cette attitude. La posture de référence chez l'homme est la posture orthostatique. La recherche de l'équilibre est le facteur déterminant de l'organisation de la posture. L'équilibre postural résulte de l'alignement du centre de masse (centre de gravité : CG) avec le centre de pression au sol, autrement dit, il faut que la projection du CG soit à l'intérieur du polygone de sustentation (délimité par la surface d'appui au sol). Pour préserver cet équilibre, il est nécessaire d'orienter le corps et de contrôler les oscillations autour de cette orientation pour stabiliser la posture. Le CP est la capacité de contrôler la posture afin de maintenir une position verticale pendant les activités fonctionnelles et de gérer les contraintes externes (gravité et perturbations) et internes (propres au corps) pour éviter les chutes (31). Le CP a pour but de fournir une base stabilisée à l'action, de permettre l'élaboration des représentations spatiales et d'assurer l'équilibre (30).

## 2. Mécanismes du contrôle postural et de son adaptation :

Le contrôle postural nécessite l'intégration d'informations multisensorielles provenant du système vestibulaire, proprioceptif et visuel dans le but de générer une réponse motrice qui permettra de maintenir l'équilibre dans les activités statiques et dynamiques. Le maintien d'une posture érigée nécessite une activité musculaire de base (tonus musculaire) permettant une lutte antigravitaire permise par la contraction des muscles antigravitaires (essentiellement des muscles extenseurs). Le mécanisme d'équilibration est la réorganisation des activités toniques dans le but de rapprocher la projection du centre de gravité du milieu du polygone de sustentation (30).



## **2.1. Système somato-sensoriel :**

Le système somato-sensoriel comprend les informations liées au toucher ainsi que celles transmises par l'ensemble des récepteurs proprioceptifs. Les récepteurs somesthésiques cutanés sont plus ou moins profonds dans l'épiderme et le derme ; on retrouve parmi eux les mécanorécepteurs (terminaisons libres, disque de Merkel, corpuscules de Meissner, Pacini et Ruffini). Lorsque le sujet est debout, les récepteurs cutanés plantaires donnent des renseignements sur la position du sujet par rapport au support. Les informations acquises par ces récepteurs sont transmises au bulbe rachidien par le cordon postérieur de la moelle, puis par le système lemniscal médian jusqu'au thalamus et projetées ensuite au cortex somesthésique controlatéral. Les récepteurs proprioceptifs comprennent les récepteurs musculaires (fuseaux neuromusculaires, organes tendineux de Golgi) et les récepteurs articulaires (corpuscules de Ruffini, Golgi et Pacini et les terminaisons libres). Ils permettent à chaque instant de renseigner sur la position et les mouvements des différents segments corporels. Les informations afférentes sont transmises aux aires corticales somato-sensorielles. Les récepteurs cutanés permettent l'acquisition de la sensibilité superficielle tandis que la sensibilité profonde est acquise grâce aux récepteurs proprioceptifs (32).

## **2.2. Système vestibulaire :**

L'organe sensoriel du système vestibulaire est l'oreille interne. Elle comprend deux types de structures, les canaux semi-circulaires qui sont sensibles aux accélérations angulaires (rotation), et les organes otolithiques sensibles aux accélérations linéaires. Ce système informe le cerveau sur la position et les déplacements de la tête tout en maintenant l'équilibre. Il permet la coordination des mouvements de la tête et des yeux en générant les réflexes vestibulo-oculaires. Les afférences sensorielles sont acquises aux niveaux des noyaux vestibulaires. Ce système utilise les voies descendantes vestibulo-spinales en lien avec les motoneurones des membres inférieurs pour effectuer les corrections posturales par rapport à la position et aux déplacements de la tête (32).

## **2.3. Système visuel :**

Le système visuel participe tout autant à la gestion du contrôle postural. La vision joue un rôle d'autant plus important que la tâche à effectuer est difficile, certaines postures ne peuvent être maintenues les yeux fermés. Les photorécepteurs de la rétine captent les informations visuelles, qui sont transmises par les voies optiques au cortex occipital, véritable centre de la vision du cerveau. Ces informations permettent l'orientation dans l'espace du corps et la perception de la verticalité à l'aide de repères visuels.

Le flux visuel transmet la perception du mouvement, soit égocentrique (déplacement de l'individu) ou exocentrique (mouvements de son environnement). Le système visuel n'est pas capable de différencier ces deux types de déplacement, il doit être couplé aux autres systèmes sensoriels pour pouvoir entraîner une adaptation posturale (32).

#### **2.4. Neuro-anatomie du contrôle postural :**

Les informations sensorielles afférentes vont être intégrées à différents niveaux du SNC, qui pourra exercer un contrôle sur les muscles striés et donc assurer le CP. Cette contraction est permise suite à l'excitation par les motoneurones alpha, la gestion du CP se fera par inhibition et désinhibition de ces motoneurones (32).

Il existe un contrôle segmentaire comprenant plusieurs boucles réflexes courtes permettant de faire varier l'activation des motoneurones des muscles posturaux et donc la variation du tonus musculaire (réflexe myotatique, myotatique inversé). Ces réflexes peuvent être modulés au niveau cortical par une anticipation de l'action. Des mécanismes de contrôle supra-segmentaire sous-corticaux (au niveau du tronc cérébral) et corticaux sont aussi présents. Le tronc cérébral par l'intermédiaire de la formation réticulée participe à la régulation du tonus. Cette formation reçoit les afférences multisensorielles inconscientes, des collatérales de la voie lemniscale (somesthésie), et des noyaux vestibulaires. Par l'intermédiaire des faisceaux réticulo-spinaux, elle a un effet excitateur sur les motoneurones des muscles antigravitaires. Le contrôle vestibulo-spinal utilise les informations labyrinthiques et visuelles préalablement intégrées par les noyaux vestibulaires. Ils émettent des efférences spinales par les faisceaux vestibulo-spinaux latéral et médian qui se projettent sur les motoneurones paravertébraux et antigravitaires des membres inférieurs. Il a un rôle dans le maintien de l'équilibre en position debout et pendant la marche (32).

- Le cervelet a un rôle de comparateur entre les informations sensorielles proprioceptives et la commande motrice programmée. Il reçoit de nombreuses afférences (vestibulaires, spinales, corticales) et transmet de nombreuses efférences (vestibulaires, corticales, thalamiques, réticulaires). Il peut modifier le message moteur avant l'exécution et permet donc la coordination nécessaire à l'adaptation du CP.

- Les noyaux gris centraux (NGC) participent à la régulation du CP par leurs connexions corticales et avec le thalamus. Ils ont un rôle majeur dans l'intégration et l'analyse des différentes afférences sensorielles. Ils agissent comme un filtre capable de moduler les informations corticales par l'intermédiaire des boucles cortico-sous-corticales. Leur atteinte dans la maladie de Parkinson met en évidence l'importance de leur action.

- Au niveau cortical, le contrôle postural nécessite la participation de différentes aires cérébrales. Les cortex somesthésique et visuel permettent la connaissance du schéma corporel et de l'environnement. Les cortex associatifs mettent en relation les différentes afférences (par exemple occipito-pariétale et fronto-pariétale) et permettent l'organisation du mouvement. Les aires motrices et pré-motrices ont un rôle dans la réalisation de l'acte volontaire.

- Le noyau rouge, à l'origine du faisceau rubro-spinal, reçoit des afférences des aires motrices principales, médullaires et cérébelleuses. Il transmet les efférences vers le bulbe et la moelle. Il a un rôle dans la régulation du tonus musculaire à la partie distale des membres, et dans l'initiation motrice (32).

Le CP fait donc appel à beaucoup de structures du SNC ayant chacune un rôle très important. Nous avons vu que l'AVC peut survenir dans différentes zones sans tropisme particulier. L'AVC peut avoir un impact sur les différentes composantes du CP en fonction de la localisation de sa survenue et ne suit donc pas un schéma pré-établi.

### **3. AVC et contrôle postural :**

Les troubles du CP sont parmi les conséquences les plus fréquentes des patients ayant eu un AVC, ils touchent 50% de cette population en France. La diminution des capacités posturales a un lien direct avec le risque de chute et les complications médicales et chirurgicales qu'elles engendrent. Ces troubles sont responsables de l'isolement social, de la perte d'autonomie et de la diminution de la qualité de vie (31). Alfieri et al. ont évalué les capacités de CP des sujets ayant subi un AVC et des sujets âgés sains et ont conclu que leurs performances étaient inférieures (33). Les changements dans l'organisation du CP des patients AVC observés sont la diminution de la surface de stabilité, l'asymétrie de la répartition du poids du corps, l'augmentation des oscillations posturales et l'inclinaison du tronc (« pusher syndrome »). Les mécanismes influençant le contrôle de la posture sont : les déficiences sensori-motrices, l'altération des réactions posturales, la présence d'un tonus musculaire asymétrique et d'une coactivation musculaire synergique anormale, l'altération de la cognition spatiale par rapport au schéma corporel postural ainsi que la modifications de l'utilisation des ajustements posturaux anticipés. Les troubles perceptifs sensoriels et l'altération de la cognition spatiale (analyse visuo-spatiale, perception de la verticalité, défaut d'attention, utilisation des différentes informations sensorielles) ont un impact important sur le CP, ce qui explique la prévalence de son atteinte pour les lésions de l'hémisphère droit qui est le site de l'intégration multisensorielle. Il y a donc un défaut de la représentation interne du corps dans l'espace altérant le fonctionnement du CP.

Une lésion située au niveau de l'hémisphère droit a pour conséquence une instabilité posturale associée généralement à une asymétrie de la répartition du poids du corps et une altération de la représentation du schéma corporel. La lésion située au niveau de l'hémisphère gauche dédié au contrôle moteur entraîne le plus souvent une apraxie mettant en échec le CP. Lopes et al. ont étudié l'influence de la localisation de l'atteinte sur le CP des patients hémiplegiques. L'atteinte de l'hémisphère droit implique un moins bon contrôle postural en phase aiguë et sub-aiguë mais ce déficit n'est pas retrouvé en phase chronique (34).

L'altération des mécanismes de contrôle trouve généralement son origine au niveau du système nerveux central mais certaines stratégies peuvent être le résultat d'une adaptation stratégique des patients hémiplegiques (31). Suite à l'AVC, le CP utilise plus les circuits de feedback (sensoriels) que feedforward (anticipation) car les mécanismes anticipatifs impliquent de nombreuses structures cérébrales pouvant être atteintes par la lésion (corticales, NGC, thalamus, tronc cérébral et cervelet). L'accentuation de l'oscillation du corps est un signe d'altération du CP, cependant elle permet une augmentation de l'information sensorielle et entraîne paradoxalement un contrôle plus efficace de la posture par feedback (31).

Bonan et al. décrivent le « reweighting » chez les patients AVC. C'est la capacité de prendre en compte les différentes informations sensorielles et de moduler la contribution de chacune selon la situation. Ce mécanisme est nécessaire aux ajustements posturaux en temps réel. Chez les AVC, beaucoup montrent une prise en compte excessive de l'information visuelle pour adapter leur posture dans la période qui suit l'accident. Ils développent ainsi une dépendance visuelle pour la régulation du CP. Yelnik et al. décrivent la réorganisation de l'intégration multisensorielle chez les patients hémiplegiques et la dépendance visuelle de cette population. Cette dépendance est retrouvée chez les sujets âgés et particulièrement chez les sujets chuteurs. Cette modulation de la prise en compte des différentes informations est un critère à prendre en compte dans le risque de chute du patient AVC (35,36).

La déficience du CP chez les patients AVC a pour conséquence une incapacité de ce mécanisme à assurer ses différents rôles, notamment de permettre un équilibre postural de qualité. Ce défaut d'équilibre va entraîner un risque de chute préjudiciable chez les patients hémiplegiques car il est lié à une restriction de participation et a des comorbidités invalidantes.

### 3.1. Héminégligence, contrôle postural et espaces péri- et extra-personnels :

Pérennou et al. ont mis en évidence l'influence de l'héminégligence visuo-spatiale dans les troubles du CP. L'hypothèse émise est que l'instabilité posturale observée chez ces patients peut être le résultat d'un déficit de l'orientation du corps dans l'espace dû à un trouble dans le traitement des informations somesthésiques de l'hémicorps négligé et une déformation de la perception du schéma corporel. La négligence des informations visuelles nécessaires à la stabilisation du corps par un référentiel exocentrique est aussi mise en cause (37). Ces différentes déficiences expliquent les troubles du CP plus importants des patients héminégligents par rapport aux autres individus ayant eu un AVC. Van Nes et al. ont montré que la négligence spatiale chez les patients hémiparétiques à la phase aiguë de l'AVC est un facteur indépendant de l'atteinte du CP en posture érigée et lors de la marche (38).

La négligence peut se manifester dans l'espace péri-personnel ou dans l'espace extra-personnel ; de plus les conséquences fonctionnelles de ces deux affections sur les activités de la vie quotidienne sont différentes. Des études ont démontré que seuls les patients souffrant d'héminégligence péri-personnelle présentent des déficits d'équilibre et des incapacités dans plusieurs activités de la vie quotidienne alors que les patients présentant une négligence extra-personnelle présentent quant à eux des difficultés d'orientation dans l'espace (39). Il convient d'introduire le principe de la segmentation de l'espace. Plusieurs auteurs ont décrits des modèles de segmentation de l'espace reposant sur l'interdépendance entre les fonctions de perception et d'action, la perception de l'espace qui nous entoure serait modulée par l'expérience motrice. Le modèle de Previc, basé sur des analyses comportementales, neurophysiologiques et neuropsychologiques décrit quatre régions spatiales : l'espace péri personnel, extra personnel focal, extra personnel d'action et extra personnel ambiant. Ils peuvent être regroupés en deux grands espaces, l'espace péri personnel (EPP) et l'espace extra personnel (EEP) (40).

L'EPP correspond à la région au sein de laquelle sont possibles les manipulations manuelles d'objets, c'est un espace basé sur un référentiel égocentrique, lié à la position des différents segments du corps dans l'espace qui permet de déterminer les gestes possibles pour interagir avec l'environnement. Il implique les systèmes visuels, tactiles, proprioceptifs et vestibulaires. L'EPP est assimilé à une interface multisensorielle et sensorimotrice permettant toutes les interactions physiques entre le corps et l'environnement, il présente une très grande variabilité entre les individus. Ces différences inter-individuelles dans l'extension de l'EPP trouvent leur réponse anatomique dans le cortex prémoteur (41).

L'EEP correspond quant à lui aux régions spatiales situées au delà des capacités d'actions directes de l'individu, c'est un espace dans lequel se situent les fonctions visuelles telles que la reconnaissance d'objets, l'orientation et la navigation dans l'espace. La variation de stimuli dans cet espace influence donc la posture et la locomotion (40).

Alors que l'espace est perçu comme unitaire, les preuves expérimentales indiquent que le cerveau contient une représentation modulaire de l'espace. Des régions corticales spécifiques sont impliquées dans le traitement de l'EEP (voie ventrale), tandis que d'autres régions corticales traitent les informations de l'EPP (voie dorsale) (42,43).

### **3.2. Risque de chute du patient AVC :**

La chute est un fait commun à toutes les étapes de l'AVC (phase aiguë, subaiguë, et chronique). Batchelor et al. ont fait l'état des lieux du risque de chute chez les patients ayant un AVC et les conséquences de cet incident (44). Les différentes études analysées montrent que 65% des patients chutent au moins une fois durant leur hospitalisation (UNV et service de rééducation). Dans les 6 mois qui suivent le RAD, les études rapportent que 37% à 73% chutent au cours de cette période et que 36% des AVC en phase chronique décrivent des épisodes de chute. Dix ans après l'AVC, le risque de chute est plus de deux fois plus élevé que chez les individus de même âge et de même sexe. La prévalence des personnes effectuant des chutes répétées, qui sont des individus particulièrement vulnérables, est plus importante dans la population AVC, 20% à 57% en post-AVC au lieu de 15% au même âge. Les patients AVC ne présentent pas seulement un risque de chute plus élevé mais tombent plus souvent que les individus sains (45).

Les moments critiques du phénomène de chute sont identifiés par Batchelor et al. (44) Ce sont les périodes de transition entre les différents lieux de vie des patients (suite au déplacement en service de rééducation, et suite au retour à domicile ou en institution). Durant la première semaine d'hospitalisation le risque est très important. Les 2 mois qui suivent le RAD sont aussi identifiés comme dangereux, on observe 50% des premiers épisodes de chutes dans cette période (37). Les circonstances de la chute ont été identifiées chez les patients hémiplegiques, elles ont lieu pendant les transferts et lors de la marche. Le lieu de vie (domicile ou hospitalisation) n'influence pas les circonstances ainsi que l'endroit (près du lit, salle de bain). Le mécanisme est le plus souvent une chute sur le côté ou vers l'avant. Les patients rapportent le plus souvent une sensation de perte d'équilibre ou une erreur de jugement (marche plus haute, irrégularité du sol) (47). C'est pour cela qu'il est très important d'observer la personne dans son environnement pour analyser le risque de chute lors de mise en situation.

Les conséquences de la chute sont nombreuses, elles vont d'une simple plaie à des traumatismes très graves mais ne concernent pas seulement l'appareil locomoteur.

Elles peuvent entraîner des complications médicales, psychologiques et sociales. La mortalité liée aux chutes est très importante, elle concerne l'incident en lui-même mais aussi les complications associées. Les « chutes critiques » désignent les chutes responsables d'un temps au sol prolongé. Les patients hémiparétiques, ont un risque élevé d'effectuer des chutes critiques dues à leurs déficits sensori-moteurs. Ces chutes graves ont des répercussions physiques (risque d'hypothermie, déshydratation...), psychologiques et augmentent le risque de décès (48). L'apparition d'un syndrome post-chute peut être présent à la suite de cet événement avec un possible syndrome de la peur de chuter. La peur de chuter suite à un premier épisode est aussi présente dans la population AVC que chez les individus sains. Cette peur de la chute va entraîner une diminution de l'activité de la personne, un déconditionnement et une diminution de sa participation sociale. Ce phénomène délétère va entraîner d'autres complications psychologiques (dépression) et une diminution de l'autonomie (49).

Les patients hémiparétiques ont un risque important de chute et tout particulièrement un risque de chute critique. Les conséquences très graves sur la qualité de vie montrent l'importance d'anticiper ce risque notamment lors du retour à domicile qui est une période à risque pour le patient.

#### **4. Évaluation du contrôle postural en kinésithérapie :**

L'évaluation du contrôle postural et de l'équilibre est primordiale dans la prise en soins des patients hémiparétiques pour anticiper les capacités fonctionnelles et le risque de chute dans le but de mettre en place les méthodes de rééducation nécessaires à sa prévention. Il existe plusieurs méthodes d'évaluations de l'équilibre :

- Observation du patient dans son attitude spontanée (inclinaison du tronc, rétropulsion, élargissement du polygone de sustentation, utilisation d'aides techniques, capacité à tenir l'équilibre les yeux fermés...).
- Test cliniques statiques et dynamiques fonctionnels (Berg Balance Scale ; Postural Assessment Scale for Stroke patient ; Timed Up and Go...).
- Utilisation de la posturographie.

Il est nécessaire pour les tests fonctionnels du CP de présenter une faisabilité pour la population AVC et une signification clinique sur les capacités du patient. De plus, ils doivent avoir une validité, une fiabilité et une cohérence interne. Pour fournir une évaluation précise et un suivi du patient, il est nécessaire de minimiser l'effet « plafond » ou « plancher » et de permettre la mise en évidence des changements (37). Le chiffrage du bilan des capacités est nécessaire pour mettre en place la rééducation adaptée et de comparer l'état clinique du patient à la littérature.

La visualisation de l'évolution du patient à l'aide d'un test quantitatif va donner la possibilité d'adapter les objectifs au cours de la prise en soins. La posturographie est l'évaluation de l'équilibre à partir des modifications du centre des pressions (CdP) recueillies par une plateforme de forces. Cette technologie s'est développée dans l'intérêt de répondre à la problématique de la chute et de concevoir de nouvelles technologies dans le domaine de l'évaluation instrumentale. La posturographie est le moyen le plus adapté pour évaluer la qualité d'une posture (50). Elle renseigne sur l'orientation par la position moyenne du CdP et sur la stabilisation par les oscillations de celui-ci (vitesse, surface).

Chez les patients ayant eu un AVC, l'asymétrie de la répartition du poids du corps et l'oscillation posturale sont exagérés. Ces troubles du CP sont des facteurs augmentant le risque de chute et permettent de considérer la posturographie comme un outil prédictif de ce risque (51). De plus, la vitesse de déplacement du CdP est le paramètre posturographique le plus fiable et le plus reproductible pour l'analyse du CP des patients hémipariés (52).

Les différents outils existant pour évaluer le CP chez les patients hémipariés prennent en compte l'aspect analytique et fonctionnel de celui-ci dans les actes de la vie quotidienne. Parmi ces différents tests, aucun n'utilise l'environnement écologique pour confronter les capacités des patients lors d'une mise en situation pouvant renseigner plus précisément sur le risque de chute lors du RAD. Le développement de nouvelles technologies comme la réalité virtuelle permet d'envisager une utilisation en tant qu'outil dans le but de simuler l'environnement écologique nécessaire pour effectuer une évaluation, s'intégrant dans la démarche de prise en soins fonctionnelle des patients AVC.



# La Réalité Virtuelle (RV)

---

## 1. Présentation du concept :

La réalité virtuelle est une nouvelle technologie permettant l'interaction entre une personne et un environnement artificiel (virtuel ou réel) et crée numériquement par l'intermédiaire d'un dispositif informatique (53,54). Il peut s'agir d'un environnement réel recrée numériquement ou bien d'un univers imaginaire. L'expérience est à la fois visuelle, auditive et peut comprendre des simulations haptiques ajoutées. Elle entraîne un sentiment de présence réelle dans le monde virtuel. Ce concept se distingue de la réalité augmentée qui superpose par une interface informatique des objets virtuels sur l'environnement présent. La simulation virtuelle immersive est permise par un casque de RV, qui effectue un affichage 3D stéréoscopique.



Figure 2 : Exemple de réalité virtuelle



Figure 3 : Exemple de réalité augmentée

Il existe aussi des salles de RV, comprenant des images projetées sur les murs, le sol et le plafond associées à un système de capteurs des mouvements permettant l'ajustement de la perception du sujet. Aujourd'hui, cette technologie est utilisée dans différents rôles. Une application ludique est logiquement retrouvée majoritairement dans les jeux vidéos ou les activités récréatives, c'est d'ailleurs ce domaine qui a permis l'évolution rapide de cet outil depuis 2015. Les entreprises de « gaming » ont produit des casques plus performants et plus abordables utilisés pour le jeu mais qui peuvent être utiles dans beaucoup d'autres domaines. Elle a aussi un rôle éducatif comme la visite virtuelle de musées, les simulateurs de vols pour les pilotes d'avions, la mise en situation virtuelle pour les chirurgiens. Un rôle pédagogique est aussi possible, par exemple à l'aide de logiciels d'anatomie permettant la visualisation du fonctionnement des différents systèmes et organes du corps humain. Son utilisation dans le domaine médical sur le traitement des phobies ou en rééducation par les kinésithérapeutes est aussi en plein essor.

## **2. RV et rééducation :**

La RV commence à être utilisée en rééducation et particulièrement en neurologie. Mosadeghi et al. ont mis en place une étude pour évaluer la faisabilité de l'utilisation de la RV en milieu hospitalier. Les patients décrivent cette expérience comme agréable et encouragent son utilisation. Cependant, peu de patients sont éligibles à l'utilisation de la RV dû aux troubles visuels, cognitifs et la présence de vertiges lors de son utilisation (55). Cette faisabilité de mise en place doit être prise en compte pour sa pratique chez les patients hémiplegiques car ils présentent des tableaux cliniques complexes avec des troubles sensori-moteurs et des fonctions supérieures. L'utilisation de la RV est déjà mise en place et a un impact significatif sur la gestion de la douleur grâce à la variation des stimuli multisensoriels chez les patients souffrant de douleurs chroniques et chez les brûlés (56). Il s'agit d'un autre exemple d'utilisation de cette technologie dans la rééducation des patients qui pourrait servir dans la prise en soins du syndrome douloureux régional complexe chez le patient post-AVC.

Laver et al. ont fait l'état des lieux de l'utilisation de la RV dans la rééducation des patients hémiplegiques à la suite d'un AVC. Les conclusions de cette revue de la littérature sont que la RV peut être utilisée comme une intervention sûre et semble efficace dans la rééducation de la fonction motrice du membre supérieur. Son utilisation dans la rééducation fonctionnelle pour les activités de la vie quotidienne (vitesse de marche, équilibre et participation aux différentes tâches) est efficace mais ne semble pas significativement supérieure à la thérapie conventionnelle (57).

## **3. RV comme outil de bilan :**

L'écologie est « la science ayant pour objet les relations entre les êtres vivants avec leur environnement ainsi qu'avec les autres êtres vivants ». Dans le but de recréer un environnement écologique, la RV se présente comme un outil intéressant. Parsons et al. ont mis en évidence le potentiel de la RV pour recréer un environnement écologique et son utilité dans la recherche en neurosciences (58). Cette technologie fait le lien entre la recherche expérimentale et les activités quotidiennes.

Il est possible par l'utilisation de la RV de mesurer objectivement le comportement et son adaptation dans des environnements pouvant mettre en difficulté les patients. Un avantage très important de cette technologie est que cette mise en situation peut se faire en sécurité, dans un environnement écologique sans devoir se déplacer dans le lieu voulu. Elle permet de fournir une standardisation dans le contenu proposé, ce qui donne la possibilité d'adapter et d'individualiser les protocoles d'évaluation en recréant exactement le même environnement pour un patient lors des différentes passations du test.

La modification relativement facile de l'environnement donne aux cliniciens la possibilité d'évaluer plus efficacement l'influence de ces modifications. Elle permet aussi d'augmenter graduellement la difficulté du test par une gestion informatique (53). L'utilisation de la RV en tant qu'outil de bilan semble très intéressante car elle a la particularité de fournir un environnement standardisé, reproductible et contrôlable.

Ce système donne la possibilité de comparer les résultats à un test d'une personne dans le temps, mais aussi de comparer différents patients ou différentes populations sur une tâche identique. De plus, l'aspect ludique de cet outil est très important pour la prise en charge et favorise une meilleure participation des patients aux séances (59).

Cependant, la RV présente des limites d'utilisation. Les dispositifs à bas coûts peuvent présenter une latence du logiciel ou une mauvaise résolution et donc une moins bonne perception de l'environnement virtuel pouvant altérer l'adhésion des patients. C'est pourquoi il est nécessaire de s'équiper avec du matériel informatique performant mais de fait plus onéreux. Dans l'analyse de l'équilibre, il faut aussi prendre en compte le processus de déséquilibre produit par le fait d'avoir le dispositif équipé qui pourrait apporter un changement au niveau de la vision périphérique et avoir un effet délétère sur le contrôle postural (59).

## **Problématisation :**

---

Dans ce développement, nous avons vu que le RAD le plus précoce possible est promu actuellement par le système de soins français. Cette démarche est encouragée dans le parcours de soins du patient AVC et elle doit être encadrée au mieux pour promouvoir le devenir fonctionnel de ces personnes. Les troubles du CP sont très fréquents chez les patients hémiparétiques et sont responsables d'un risque de chute élevé. Ces chutes ont des conséquences médicales et sociales importantes et doivent donc être évitées par l'identification des individus à risque.

Dans cette perspective, les compétences des masseurs-kinésithérapeutes sur l'évaluation des capacités fonctionnelles du patient hémiparétique ont un rôle important. Le développement d'outils prédictifs permettant d'émettre un avis objectif sur les capacités d'un patient à effectuer ce RAD en sécurité semble très pertinent. Ces outils devront prendre en compte le patient hémiparétique de façon holistique au-delà de l'atteinte sensitivo-motrice, notamment en tenant compte du rôle des fonctions supérieures. C'est dans ce cadre que l'utilisation de la RV semble pertinente. La simulation d'un environnement écologique, contrôlable et reproductible dans lequel le patient va évoluer permet d'objectiver les capacités d'adaptation posturale lors du RAD.

Nous avons créé un test permettant d'observer l'adaptation posturale en situation écologique à l'aide de la réalité virtuelle immersive. Ce test est destiné aux patients hémiparétiques suite à un AVC dans le but de prévenir le risque de chute lors du retour au domicile..

## Problématique

---

L'objectif principal de cette étude pilote est de comparer les capacités d'adaptation posturale des patients hémipariés par rapport aux individus sains dans un environnement écologique.

Les objectifs secondaires sont :

- De comparer les capacités d'adaptations posturales des patients hémipariés et non-hémipariés.
- De mesurer l'impact de l'influence de la variation de stimuli visuels (de la foule) dans l'espace péri personnel sur les mécanismes d'adaptation posturale dans les deux groupes.
- D'évaluer la faisabilité du test pour la population visée et son intérêt clinique.

Les hypothèses émises en lien avec ces objectifs d'après la littérature sont les suivantes :

- Les patients hémipariés présentent des capacités d'adaptation posturale en situation écologique moins performantes que les sujets sains.
- Les patients hémipariés présentent des capacités d'adaptation posturale en situation écologique moins performantes que les patients hémipariés non hémipariés.
- Le test mis en place est faisable pour la population visée et présente un intérêt clinique.

## Méthode et matériel

### 1. Description de la population :

La population est séparée en deux groupes. Le premier est composé de sujets sains, c'est-à-dire n'ayant pas de pathologies orthopédiques, rhumatologiques ou neurologiques pouvant entraîner des troubles du contrôle postural. Un âge de 50 ans est requis pour l'inclusion des sujets sains. Il est appelé « groupe contrôle ». Pour le second groupe, des patients dont l'hémiplégie est due à un AVC, présentant ou non une hémiparésie et hospitalisés dans le service MPR du CHU de Limoges sont recrutés en concertation avec les médecins du service. L'âge, le sexe, l'indice de Barthel de chaque patient ont été notés.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion du groupe AVC

Critères d'inclusions	Critères d'exclusions
<ul style="list-style-type: none"><li>• Patient hémiplégique présentant ou non une hémiparésie</li><li>• Patient hospitalisé en MPR</li><li>• Retour à domicile compris dans les objectifs</li><li>• Survenue AVC &gt; 15 jours</li><li>• Individu majeur</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Troubles cognitifs (MMSE &lt; 24).</li><li>• Maintien de la position debout inférieur à 1 minute</li><li>• Aphasie de compréhension (BDAE &lt; 2), Troubles visuels importants.</li><li>• Complications orthopédiques, neurologiques et rhumatologiques modifiant l'équilibre debout</li></ul>

### MMSE (Annexe I) :

Les patients doivent disposer de capacités cognitives suffisantes afin de comprendre les consignes données dans cette étude. Pour cela, leurs fonctions cognitives sont testées afin de dépister des troubles potentiels. Le MMSE est un test clinique qui permet de réaliser ce dépistage. Ce test évalue, sur 7 catégories différentes, 30 questions spécifiques à : l'orientation spatio-temporelle, l'attention, le langage, les rappels immédiats, la mémoire verbale à court terme ainsi que les praxies constructives. Il peut s'effectuer à tout âge et pour tous les niveaux socio-culturels possibles. Il est admis qu'un score inférieur à 24 est anormal.

### **BDAE :**

Si le sujet présente une aphasie, le BDAE version courte, permet d'objectiver si des troubles de la compréhension majeurs sont perceptibles et donc susceptibles d'entraver la bonne adhésion au protocole. Si le patient obtient un score strictement inférieur à 2 alors il sera exclu. Ce test est réalisé par la neuropsychologue du service pour tous les patients présentant une aphasie. Il est nécessaire pour cette étude que les sujets comprennent correctement les consignes et puissent mettre en place une méthode de communication pour les différents passages dans l'environnement virtuel.

## **2. Déroulement du protocole expérimental :**

Le protocole est composé de 3 parties (Figure 3) :

- Partie 1 : Evaluation clinique des capacités d'équilibre et de la peur de chuter.
- Partie 2 : Evaluation stabilométrique classique.
- Partie 3 : Evaluation stabilométrique dans un environnement virtuel écologique avec une variation des stimuli visuels dans l'espace péri personnel.

Le groupe contrôle effectue uniquement les parties 2 et 3.

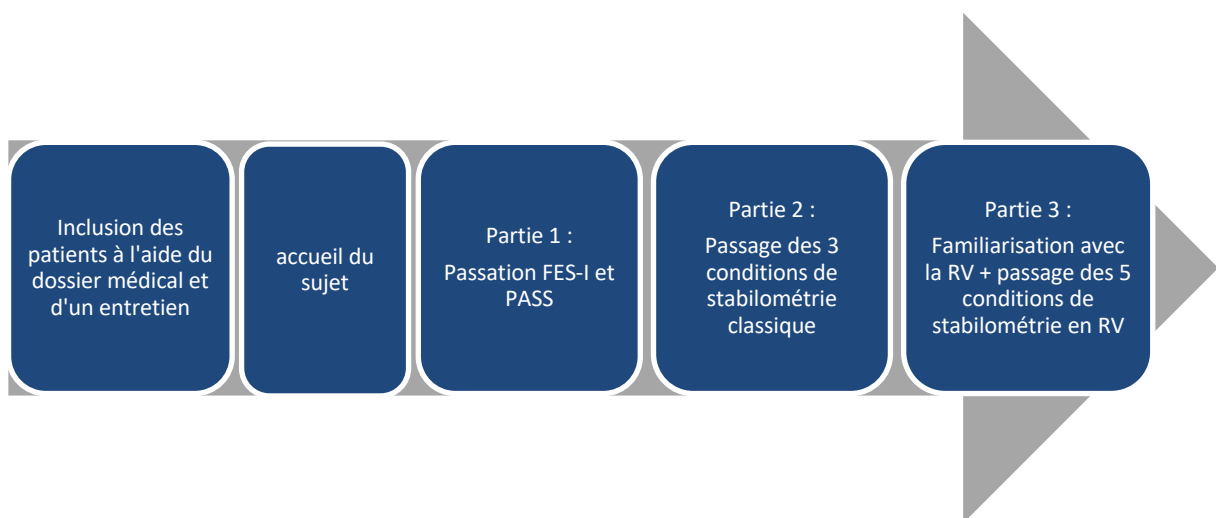


Figure 3 : Déroulement chronologique du protocole.

## 2.1. Partie 1 :

La première partie est une évaluation clinique de l'équilibre utilisant deux outils de mesure (Annexe II). Une échelle d'évaluation de la peur de chuter chez le sujet âgé, la FES-I version longue (Fall Efficacy Scale – International), et un test d'évaluation des capacités d'équilibre, le PASS (Postural Assessment Scale for Stroke patients).

- La FES-I a été créée dans le cadre du projet ProFaNE (réseau européen de prévention des chutes) de 2003 à 2006. Les membres de cette équipe ont mis au point un questionnaire de 16 items côtés chacun sur une échelle de 4 points (1 = pas du tout inquiet, 4 = très inquiet) en fonction de la peur de tomber ressentie pour une situation proposée. Cette échelle peut être utilisée sous la forme d'un questionnaire à remplir par le patient ou oralement dans le cadre d'un entretien avec le thérapeute. Pour chaque question, il faut cocher la case de réponse correspondant au degré d'inquiétude. Dewan et al. mettent en évidence la validité et la sensibilité de cette échelle dans la prédiction du risque de chute pour les personnes âgées avec ou sans troubles cognitifs (60). Une étude réalisée par Hauer et al. recommande un passage sous forme d'entretien oral (61). Une autre étude réalisée par Greenberg et al. ayant analysé les différentes méthodes d'évaluation de la peur de tomber de 1982 à 2012 conclut que la version longue de la FES-I est l'outil de mesure le plus approprié pour évaluer la peur de chuter chez les sujets âgés (62).

Les scores obtenus dans ce questionnaire vont de 16 à 64, Delbaere et al. ont mis en évidence trois seuils d'inquiétude pour la crainte de chutes : faible (de 16 à 19), modérée (de 20 à 27) et élevée (de 28 à 64). Cette étude précise qu'au-delà d'un score de 23, cette échelle indique une inquiétude forte sur le risque de chute, elle certifie également une très bonne validité pour l'outil étudié (63).

Le passage de la FES-I pour notre étude se déroule sous forme d'un entretien oral, les réponses des sujets sont notées sur le formulaire mis au point et traduit par l'équipe du projet ProFaNE (Annexe 2.1).

- Le PASS a été développé en 1999 par Benaim et al. en tant qu'adaptation de la sous-échelle d'équilibre du Fulg-Meyer Assessment. Il montre une excellente corrélation avec l'échelle de Berg (BBS) et possède un temps de passage plus court, il démontre aussi de meilleures propriétés psychométriques, c'est pourquoi nous avons choisi cette évaluation. C'est l'outil d'évaluation du contrôle postural chez les patients ayant eu un AVC présentant la validité et la fiabilité la plus importante durant les trois premiers mois suivant l'AVC et son utilisation peut se faire sur l'ensemble de la période de prise en charge (64). Le PASS évalue l'équilibre dans les positions couchée, assise, et debout. Il mesure les capacités à maintenir des postures stables, ainsi que l'équilibre dans les changements de positions (65).



Ce test a été spécialement conçu pour les patients ayant été victimes d'un AVC, adapté à tous les individus, quelles que soient leurs performances posturales (66). Il est composé de 12 items de difficulté croissante (5 items portant sur la capacité à maintenir une posture et 7 items concernant les changements de postures), chaque item peut être coté selon une échelle de 4 points allant de 0 à 3. Le score total peut aller de 0 à 36, plus le score est élevé, plus l'équilibre est de qualité. Il faut 1 à 10 minutes pour effectuer le test. L'utilisation de ce test est recommandée par la HAS dans la prise en charge des patients ayant eu un AVC lors des bilans de changement de position, de l'équilibre assis et debout (67). Ce test peut être aussi utilisé comme indicateur pour la récupération de la mobilité du patient à sa sortie du service de MPR (68).

Pour notre expérience, nous utiliserons le formulaire préétabli (Annexe 2.2) pour recueillir les résultats obtenus par le sujet.

## **2.2. Partie 2 :**

La deuxième partie est une évaluation de l'équilibre statique en position orthostatique à l'aide d'une plateforme de stabilométrie. Le sujet se place sur l'appareil, pieds nus ou en chaussettes, se met dans la position induite par les cales (pieds ouverts à 30°). On lui donne comme consigne de fixer un point fixe (scotch noir) placé à 1m50 devant lui, les bras relâchés le long du corps et de garder cette position en bougeant le moins possible.

Nous lui demandons de ne pas parler pendant l'évaluation. La prise de mesure se fait sur 30 secondes avec une fréquence de 40 Hz. Ces paramètres sont choisis en fonction des recommandations et des valeurs présentes dans la littérature ainsi qu'en se basant sur les protocoles proposés par défaut dans le logiciel (69–71). On prend deux mesures les yeux ouverts (la première prise est une phase de familiarisation avec le matériel et n'est pas retenue) et une les yeux fermés. Les consignes sont données au sujet avant chaque mesure. Une pause de 1 minute est effectuée entre chaque condition.

## **2.3. Partie 3 :**

La troisième partie est une évaluation stabilométrique en position orthostatique dans un environnement virtuel écologique avec une variation des stimuli visuels dans l'espace péri personnel. Nous mettons en place le dispositif de RV (Figure 4). Si le sujet décrit une gêne importante ou des vertiges ne permettant pas d'évoluer dans un environnement virtuel, il est exclu de l'expérimentation. Dès lors que le sujet est équipé, une sécurité adaptée est mise en place. D'une part une sécurité humaine positionnée près du sujet, d'autre part un support sur lequel la personne peut prendre appui en cas de déséquilibre pour prévenir tout risque de chute.

- Le sujet effectue une phase de familiarisation avec la RV dans l'environnement « hall de magasin » pendant 30 secondes en position assise.



Figure 4 : Installation de l'étape 3

Nous débutons ensuite les prises de mesures en position orthostatique à l'aide de la stabilométrie dans différentes situations virtuelles écologiques. Lors de l'évaluation, le sujet doit suivre les mêmes consignes que lors de la stabilométrie classique. Il doit observer l'environnement dans lequel il évolue sans bouger la tête.

- Nous effectuons une prise de mesure nous servant de condition de contrôle dans la modalité « thérapie miroir » (environnement représentant un salon sans présence d'avatar virtuel).

- Nous faisons ensuite les prises de mesure avec la variation des deux paramètres sélectionnés pour obtenir quatre situations écologiques différentes. Les deux paramètres sélectionnés sont : la zone d'évitement et la vitesse de création d'un avatar virtuel. La zone d'évitement correspond à la distance séparant le sujet et les avatars virtuels lors du croisement, elle peut varier entre 0,1 m et 0,8 m, c'est donc une variation de la distance d'évitement dans l'espace péri personnel. La vitesse de création d'un personnage représente la fréquence d'apparition des avatars, elle est comprise entre 0,8 et 10 secondes. Ce réglage fait donc varier le flux de personnes (densité de la foule) présentes dans l'environnement. L'évaluation se déroule dans la situation « centre commercial 1<sup>er</sup> étage ».

L'ordre de passage de ces quatre modalités est tiré au sort avant le début de la séance par le sujet. Les situations sont les suivantes (Annexe III) :

- Condition 1 : Population rencontrée peu dense (vitesse d'apparition = 10 s) et zone d'évitement large (0,8m).
- Condition 2 : Population rencontrée dense (vitesse d'apparition = 0,8 s) et zone d'évitement large (0,8m).
- Condition 3 : Population rencontrée peu dense (vitesse d'apparition = 10 s) et zone d'évitement étroite (0,1m).
- Condition 4 : Population rencontrée dense (vitesse d'apparition = 0,8 s) et zone d'évitement étroite (0,1m).

Une pause de une minute est accordée entre chacune des prises.

Pour chaque condition, il est demandé au sujet d'évaluer en fonction de son ressenti la difficulté à maintenir une posture stable sur une échelle visuelle analogique (EVA) de 0 à 10.

Nous obtenons donc à la fin du passage des données stabilométriques pour 8 conditions :

- 1 mesure de familiarisation (non prise en compte pour l'analyse).
- 1 mesure les yeux ouverts => « **ST-YO** »
- 1 mesure les yeux fermés => « **ST-YF** »
- 1 mesure de contrôle en RV => « **RV Baseline** »
- 1 mesure foule peu dense et zone d'évitement large => « **RV Extra-PD** »
- 1 mesure foule dense et zone d'évitement large => « **RV Extra-D** »
- 1 mesure foule peu dense et zone d'évitement étroite => « **RV Péri-PD** »
- 1 mesure foule dense et zone d'évitement étroite => « **RV Péri-D** »

### 3. Matériel utilisé et variables étudiées :

#### 3.1. Matériel utilisé :

- **Plateforme WIN-POSTURO :**

MEDICAPTEURS® est une entreprise française qui confectionne et produit des plateformes pour la podologie, la posturographie et la biomécanique. La plateforme de stabilométrie retenue est la WIN-POSTURO. Elle permet de réaliser une évaluation posturale ainsi que l'analyse des troubles de la statique en conditions orthostatiques. Elle est normalisée suivant les normes APE 85. L'outil est composé d'une plateforme et d'un ordinateur reliés par une connexion USB. Les dimensions de la plateforme sont de 530\*460\*35 mm (longueur, largeur et hauteur) et une épaisseur de 12 mm. Cet outil présente une charge maximale de 250 kg. Elle possède une conversion analogique-numérique de 16 bits et une fréquence d'acquisition allant jusqu'à 40 Hz permettant des enregistrements fiables. L'alimentation ainsi que l'interface PC-plateforme s'effectue par connexion USB. Le système d'exploitation nécessaire pour l'utilisation est Windows (7, 8, 10). Le logiciel utilisé dans cette étude est le « Win-Posture NV Software », il permet la production de la totalité des données stabilométriques normalisées APE 85 et l'exportation directe des données stabilométriques vers Excel.

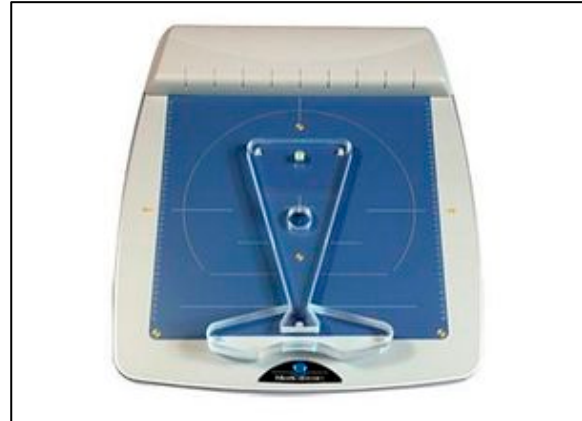


Figure 5 : Plateforme WIN-POSTURO

- **Casque HTC vive :**

Nous utiliserons un casque de RV immersive HTC VIVE, il est commercialisé par la société HTC®. L'outil est composé d'un casque (ajustable avec des sangles), de deux contrôleurs (manettes) ainsi que deux stations de bases (caméras) reliées par un système wifi et permettant de suivre le sujet dans l'espace. Pour utiliser ce matériel il faudra une pièce de 2×1,5 m minimum et une distance entre les 2 bases de 5 m maximum.



Figure 6 : Casque HTC vive

Nous installons ce matériel dans la chambre du L2H (Logement, Handicap et Habitat) du service MPR de Rebeyrol (Annexe IV). L'autre partie comprend un ordinateur avec un système d'exploitation Windows® (7, 8 ou 10). Le matériel informatique doit être assez performant pour permettre l'utilisation du logiciel. Le contenu utilisé en RV est disponible sur la plateforme SteamVR.

- **Logiciel de réalité virtuelle :**

Le logiciel de réalité virtuelle utilisé est développé par la société VIRTUALIS®. C'est une société qui développe des logiciels de réalité virtuelle en collaboration avec les professionnels de santé dans le but de fournir de nouveaux outils de prise en charge. Les modules que nous allons utiliser sont un environnement avec une foule modulable et un salon sans variation visuelle. Le module de la foule contient six environnements différents (magasin, centre commercial, couloir ouvert, couloir fermé, métro, passage piéton). Il permet de mettre la personne dans un environnement écologique, simulant une situation à laquelle le patient pourra être confronté lors de son RAD.

### **3.2. Variables étudiées :**

L'ensemble des variables sont recueillies sur une fiche sujet (Annexe II).

La variable principale utilisée est la moyenne de la vitesse de déplacement du centre de pression (CdP) en  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Les variables secondaires étudiées sont :

- La surface de déplacement du CdP ( $\text{mm}^2$ )
- Le score obtenu sur l'échelle FES-I, au test du PASS, et l'indice de Barthel.

Pour le groupe AVC, les variables de faisabilité seront recueillies :

- Population visée.
- Test réussi ou non.
- Temps de passation.
- Difficulté ressentie, compréhension de la tâche demandée.
- Utilisation du matériel.

Ces différentes données sont enregistrées lors des situations proposées et sont ensuite comparées pour mettre en évidence un lien entre la variation des valeurs lors des sept situations rencontrées par les sujets et leurs capacités d'adaptation posturale.

L'analyse inter groupe permet d'observer la différence d'adaptation posturale de chaque groupe par rapport à une situation donnée et de mettre en évidence un risque de chute chez la personne hémiplegique souffrant ou non d'un syndrome d'héminégligence.

#### **4. Analyses statistiques :**

Les statistiques descriptives seront effectuées avec Excel® et présentées sous forme de moyennes et d'écart-types. La distribution des données de notre population étant non normale, nous avons utilisé des tests non paramétriques qui sont le test de Mann Whitney pour la comparaison inter-groupe et le test de Wilcoxon pour les comparaisons entre les différentes modalités. Le logiciel utilisé pour analyser les variables sera IBM SPSS Statistics® version 22 (IBM Corp, Armonk, New York). Une différence significative sera retenue pour une valeur de  $p < 0,05$ .

# Résultats

## 1. Caractéristiques générales des patients :

22 patients hémiplésiés à la suite d'un AVC hospitalisés dans le service de MPR de Rebeyrol et 25 sujets contrôles travaillant dans les locaux du CHU ont été recrutés pour participer à l'expérimentation (Figure 7). L'examen des critères d'exclusion a permis de sélectionner les sujets éligibles. Au final, 5 sujets AVC et 19 sujets contrôle ont été analysés.

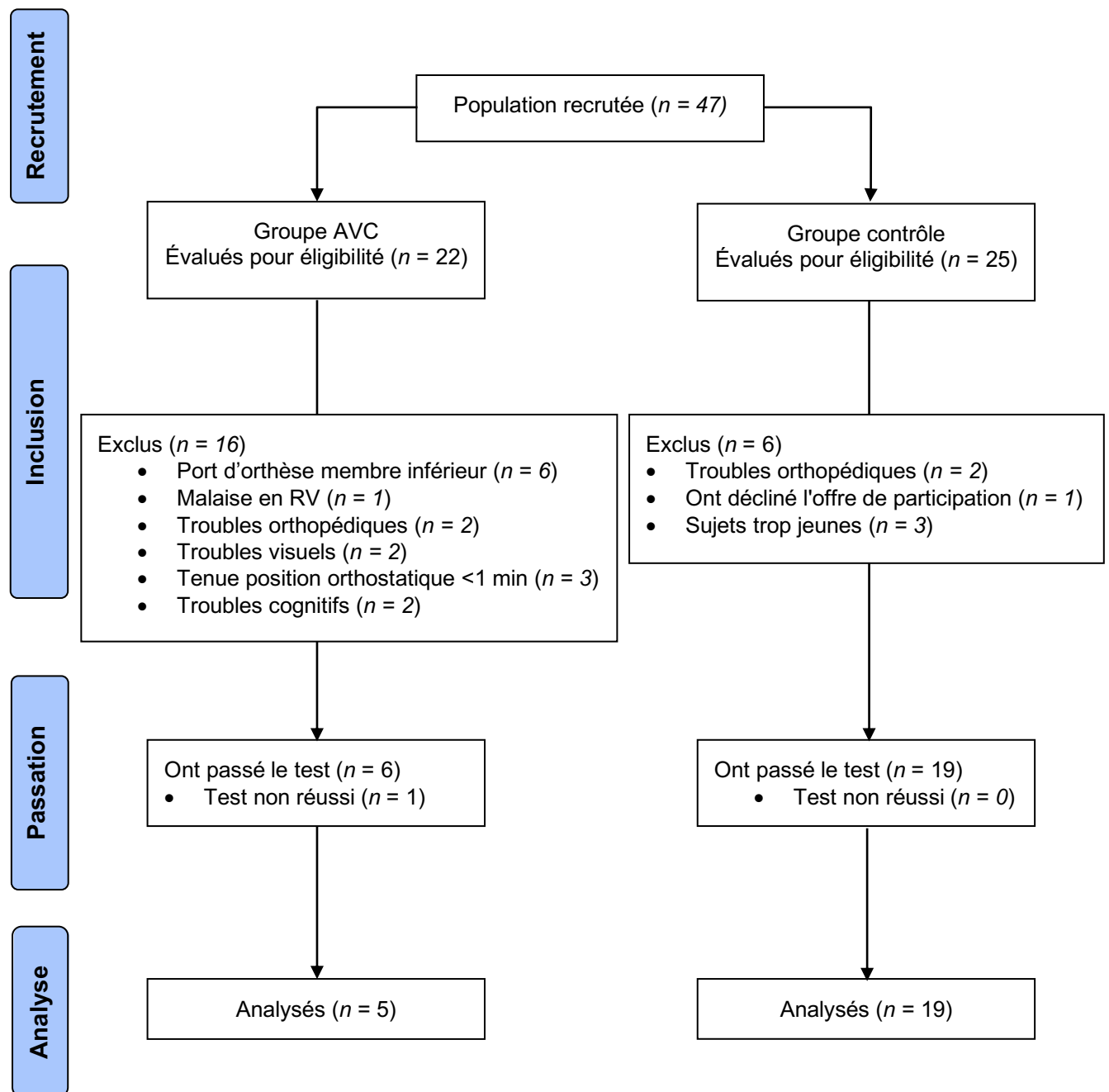


Figure 7 : Diagramme de flux adapté de la méthode Consort.

Les caractéristiques anthropométriques des deux groupes sont présentés dans le Tableau 4. Le groupe AVC est composé de 2 femmes et 3 hommes avec une tranche d'âge allant de 51 à 69 ans ( $61,2 \pm 7,05$ ). Le groupe contrôle est composé à 57,9 % de femmes, et présente une tranche d'âge qui s'étend de 49 à 65 ans ( $57,3 \pm 4,35$ ). On ne retrouve pas de différence significative entre les deux groupes pour l'âge et l'IMC.

Tableau 4 : Caractéristiques anthropométriques des groupes AVC et contrôle

	Groupe AVC	Groupe Contrôle	p
<b>Effectif</b>	5	19	-
<b>Femmes, n (%)</b>	2 (40)	11 (57,9)	-
<b>Age <math>\pm</math> SD</b>	61,2 (7,05)	57,3 (4,35)	0,160
<b>IMC <math>\pm</math> SD</b>	25,54 (2,12)	25,25 (3,69)	0,783

L'ensemble des sujets du groupe AVC analysés a subis un AVC sylvien superficiel et un seul présentait une atteinte droite. Les 5 sujets étaient en phase subaigüe et un présentait un temps post-AVC plus long (J150). Le temps moyen post-AVC au moment de la passation était de 63 jours  $\pm$  48,86 jours. Les scores obtenus par les sujets analysés à l'indice de Barthel au moment du test sont de  $87 \pm 11,51$ . En ce qui concerne la FES-I et le PASS, les scores étaient respectivement de  $26,6 \pm 8,99$  et  $33,6 \pm 1,82$ . Les données obtenues par la FES-I nous indiquent que 3 sujets présentaient une inquiétude élevée face au risque de chute (Tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques cliniques des sujets AVC analysés

		Sujets AVC analysés					
		P01	P02	P03	P04	P05	Moy $\pm$ SD
<b>Caractéristiques cliniques</b>	Age	55-60	65-70	50-55	65-70	60-65	61,2 (7,05)
	Sexe	H	F	H	F	H	-
	Type d'AVC	I syl G sup	I syl G sup	I syl G sup	I syl D sup	I syl G sup	-
	Héminégligence	D	Non	Non	G	Non	-
	Aphasie	Non	Oui	Oui	Non	Oui	-
	Temps post-AVC	J38	J48	J36	J43	J150	J 63 (48,86)
	NIHSS entrée	6	10	9	1	6	6,4 (3,5)
	Barthel entrée	50	50	90	55	95	68 (22,53)
	Barthel Test	85	85	100	70	95	87 (11,51)
	FES-I	30	39	16	20	28	26,6 (8,99)
PASS	32	32	36	33	35	33,6 (1,82)	

Age : présenté par tranche de 5 ans ; I : Ischémique ; syl : sylvien ; G : gauche ; D : droite ; sup : superficiel ;

Moy  $\pm$  SD : moyenne  $\pm$  écarts-type.



Le PASS comprend une partie sur la mobilité évaluée sur 21 points et une sur l'évaluation de différentes tâches d'équilibre sur 15 points. Les scores obtenus au PASS montraient une différence uniquement sur les tâches d'équilibre car les 5 sujets ont eu le score maximum de 21 sur les conditions de mobilité.

## 2. Adaptation posturale des patients hémiplegiques et des sujets sains :

Tableau 6 : Données posturographiques des groupes AVC et contrôle en fonction des conditions

	Groupe AVC	Groupe Contrôle	p
<b>Posture ST YO</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	14,22 (4,07)	11,35 (3,34)	0,139
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	241,32 (193,57)	143,73 (79,13)	0,265
<b>Posture ST YF</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	26,18 (15,15)	18,00 (5,41)	0,265
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	360,94 (93,22)	222,89 (107,32)	<b>0,019*</b>
<b>Posture RV Baseline</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	17,05 (7,95)	11,4 (3,71)	0,053
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	304,54 (205,74)	144,17 (88,29)	<b>0,015*</b>
<b>Posture RV Extra-PD</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	18,05 (8,04)	11,76 (3,55)	<b>0,009*</b>
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	426,42 (160,30)	140,13 (82,86)	<b>0,000*</b>
<b>Posture RV Extra-D</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	17,98 (3,10)	12,70 (3,68)	<b>0,005*</b>
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	290,34 (59,76)	172,07 (120,84)	<b>0,024*</b>
<b>Posture RV Péri-PD</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	20,05 (10,77)	11,33 (3,24)	<b>0,009*</b>
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	426,26 (283,93)	162,36 (106,29)	<b>0,005*</b>
<b>Posture RV Péri-D</b>			
V moy ± SD (mm.s <sup>-1</sup> )	21,28 (7,29)	13,27 (4,19)	<b>0,015*</b>
S moy ± SD (mm <sup>2</sup> )	486,62 (183,15)	202,18 (144,19)	<b>0,004*</b>

V : Vitesse moyenne de déplacement du CdP ; S : Surface de déplacement du CdP

Le Tableau 6 présente la variation de la vitesse moyenne de déplacement du CdP et de la surface de déplacement du CdP entre le groupe AVC et le groupe contrôle pour les différentes modalités de posturographie proposées. Pour la vitesse, il n'existait pas de différence significative pour les conditions standards (YO et YF) et une tendance a été retrouvée pour la condition « RV Baseline » (p=0,053). En ce qui concerne la surface, une différence significative a été retrouvée pour les conditions « ST-YF » (p=0,019) et « RV Baseline » (p=0,015). L'ensemble des conditions mettant en scène des avatars virtuels montraient une différence significative sur les variables de vitesse et de surface entre les deux groupes (Tableau 6).

La condition « ST-YF » présentait la vitesse la plus élevée pour les sujets AVC et contrôles (AVC,  $26,18 \pm 15,15$  ; contrôle,  $18 \pm 5,41$ ).

### Comparaison de l'adaptation posturale des sujets héminégligents et non héminégligents :

Tableau 7 : Caractéristiques et données posturographiques des sujets héminégligents et non-héminégligents

	Héminégligents	Non-héminégligents
<b>Effectif</b>	2	3
<b>Femmes, n (%)</b>	1 (50%)	1 (33%)
<b>Age <math>\pm</math> SD</b>	62 (5,66)	60,67 (9,07)
<b>Posture ST YO</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	14,51 (4,92)	14,03 (4,58)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	346,25 (319,68)	171,37 (74,07)
<b>Posture ST YF</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	18,33 (0,59)	31,40 (18,88)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	372,3 (83,16)	353,37 (117,1)
<b>Posture RV Baseline</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	14,58 (1,41)	18,70 (10,74)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	405 (352,14)	237,57 (76,39)
<b>Posture RV Extra-PD</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	13,65 (1,99)	20,99 (9,74)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	476,4 (190,4)	393,1 (170,6)
<b>Posture RV Extra-D</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	16,31 (0,76)	19,1 (3,79)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	303 (77,1)	281,9 (62,48)
<b>Posture RV Péri-PD</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	14,68 (1,85)	23,63 (13,49)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	356,7 (111,2)	472,6 (383,4)
<b>Posture RV Péri-D</b>		
V moy $\pm$ SD (mm.s <sup>-1</sup> )	18,19 (0,06)	23,35 (9,49)
S moy $\pm$ SD (mm <sup>2</sup> )	635,6 (194,5)	387,3 (105,9)

V : Vitesse moyenne de déplacement du CdP ; S : Surface de déplacement du CdP.

Nous avons analysé 2 sujets héminégligents et 3 sujets non-héminégligents (Tableau 7). En raison du nombre de sujets, aucune analyse statistique n'a été mise en place.

Les non-héminégligents avaient une vitesse plus élevée que les héminégligents sur l'ensemble des conditions excepté en condition « ST-YO » pour laquelle les données étaient semblables ( $14,51 \pm 4,92$  ;  $14,03 \pm 4,58$ ). Chez les sujets héminégligents, la condition « RV Péri-D » était associée à une vitesse et une surface plus élevée par rapport aux autres conditions ( $18,19 \pm 0,06$  ;  $635 \pm 194,5$ ). Pour les non-héminégligents, les modalités avec des stimuli péri-personnels étaient liées à une vitesse plus élevée (« RV Péri-PD »  $23,63 \pm 13,49$  ; « RV Péri-D »  $23,35 \pm 9,49$ ).

## **Comparaison de l'influence de la densité et de la localisation des stimuli visuels sur l'adaptation posturale :**

Pour les conditions avec présence d'avatars virtuels, la condition « RV Péri-D » possédait la vitesse la plus élevée pour les deux groupes (AVC,  $21,28 \pm 7,29$  ; contrôle  $13,27 \pm 4,19$ ) (Tableau 6).

Chez les patients AVC, nous avons retrouvé une différence significative sur l'augmentation de la vitesse lors de la variation de la présence d'avatars virtuels dans l'espace péri- et extra-personnel : « RV-Péri-D » supérieur à « RV-Extra-D » ( $p=0,043^*$ ).

Chez les sujets témoins, nous avons retrouvé une différence significative sur l'augmentation de la vitesse lors de la variation de la densité de la foule : « RV-Péri-D » supérieure à « RV-Péri-PD » ( $p=0,005^*$ ).

Les autres comparaisons analysées en fonction de l'espace ou de la densité de la foule ne montraient pas de différences significatives sur la variation de la vitesse et de la surface.

### **3. Faisabilité du protocole proposé :**

Parmi les sujets inclus dans l'expérimentation, un seul a été exclu lors de la passation du test. En effet, un 6<sup>ème</sup> sujet dans le groupe AVC n'a pas réussi le test car il n'a pas pu maintenir la position orthostatique pendant 30 secondes pour la condition « ST-YF » et pour les conditions en RV. Ce patient est un homme dans la tranche d'âge 70-75 ans avec un IMC de 24. Il a obtenu un score de 32 au PASS et de 39 à la FES-I, ce qui correspond à une inquiétude par rapport au risque de chute élevée. Il présentait un NIHSS à 7 au moment de l'hospitalisation, un Barthel compris entre 55 - 65 à l'entrée et entre 60 - 70 au moment du test. Le test a été effectué à J39. Ce sujet avait subi un AVC ischémique sylvien superficiel droit et présentait une hémiparésie gauche. Pour les conditions effectuées, il avait ressenti une difficulté de 4,1.

Sur les 22 sujets AVC évalués pour l'inclusion, 6 ont pu effectuer le test et 5 ont été analysés (22,7%). Sur les 16 exclus, 6 l'ont été pour le port d'une orthèse au membre inférieur en raison d'un déficit de motricité volontaire des muscles releveurs du pied. Pour les troubles visuels, nous avons exclu 1 sujet à cause de lunettes trop larges pour le casque et indispensables pour la vue de la personne et 1 deuxième dû à une agnosie visuelle. 1 sujet a été exclu pour malaise et a présenté ce trouble lors d'une séance de rééducation en RV et n'a pas pu être inclus dans le test. 5 sujets ont été exclus car ils ne pouvaient pas maintenir la position orthostatique pendant une minute. 1 sujet a été exclu pour une opération de prothèse de hanche récente et 1 pour des troubles cognitifs trop importants.

Les données nécessaires pour évaluer la faisabilité du test proposé sont présentées dans le Tableau 8. Le temps de passation de l'ensemble des conditions de posturographie est de  $23,8 \pm 4,8$  minutes. Il a diminué entre le sujet P01 et le sujet P03. Pour le groupe contrôle la durée du test est de  $19,4 \pm 2,6$  minutes. Le temps nécessaire pour effectuer l'ensemble des conditions de posturographie a diminué au fur et à mesure des passages pour les deux groupes.

L'amplitude de la difficulté chez les sujets AVC s'étendait de 0 à 6,8. Les sujets AVC ont décrit une difficulté ressentie maximale pour les conditions « ST-YF »  $3,2 \pm 2,6$  et « RV Péri-D »  $3,5 \pm 2,6$ . Les autres conditions de RV présentaient une difficulté similaire et supérieure à la condition « ST-YO ». Pour les sujets contrôles, la tâche « ST-YF » était ressentie comme la plus difficile  $1,5 \pm 1,7$ . Pour ce groupe, la condition « RV Péri-D » a été évaluée comme plus difficile mais la différence est moins élevée que chez le groupe AVC.

Tableau 8 : Données de faisabilité du test mis au point.

	P01	P02	P03	P04	P05	AVC	Contrôle
<b>Population visée</b>	Se référer au diagramme de flux 5/22						-
<b>Test réussi</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	83,30%	100%
<b>Temps de passation</b>	30	28	20	21	20	23,8 (4,8)	19,4 (2,6)
<b>Difficulté ressentie évaluée par EVA (0 à 10)</b>							
<b>ST-YO</b>	2	3	0	4,8	0	1,9 (2,1)	1 (1,1)
<b>ST-YF</b>	4	5,2	0	6	1	3,2 (2,6)	2,1 (1,8)
<b>Baseline</b>	2	4	0	3,9	1,5	2,3 (1,7)	1,3 (1,9)
<b>Extra-PD</b>	3	4,5	0	4,2	0,4	2,4 (2,1)	1,2 (1,3)
<b>Extra-D</b>	3	4,5	0	3,9	1,4	2,6 (1,8)	1,2 (1,5)
<b>Péri-PD</b>	3	4,6	0	4,1	0,4	2,4 (2,1)	1,1 (1,2)
<b>Péri-D</b>	3	5,3	0	6,8	2,6	3,5 (2,6)	1,5 (1,7)

Temps de passation en minute ; Les colonnes AVC et Contrôle présentent des moyennes et des écarts-type.

Durant l'ensemble de l'expérimentation nous avons eu 3 déficiences du matériel informatique. Il y a eu une déficience du logiciel de posturographie qui a nécessité un redémarrage de l'ordinateur. Dans l'environnement virtuel, nous avons eu une situation avec présence d'artéfacts, et une perte du suivi du casque qui a entraîné une sensation de glissement.

### 3.1. Intérêt clinique du test :

Les graphiques de la Figure 8 montrent la variation de la vitesse moyenne de déplacement du CdP pour le groupe AVC en fonction du résultat obtenu sur l'échelle FES-I. Nous avons observé que plus le score de la FES-I était élevé, plus la vitesse augmentait pour l'ensemble des situations. Cette variation s'observait particulièrement pour les modalités « ST-YF », « RV Péri-PD » et « RV Péri-D ».

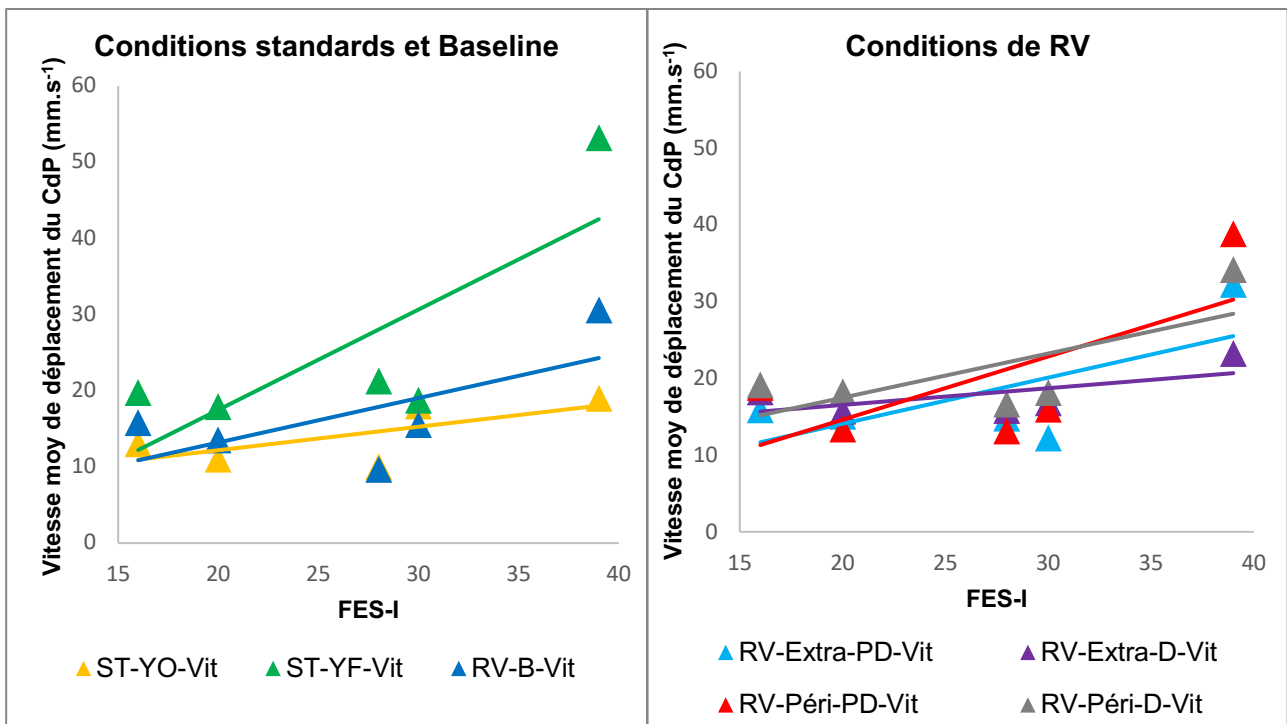


Figure 8 : Relation entre la vitesse moyenne de déplacement du CdP et l'échelle FES-I pour les modalités évaluées

Les graphiques de la Figure 9 mettent en évidence la variation de la vitesse moyenne de déplacement du CdP en fonction du score du PASS. Plus le score du PASS est faible, plus la vitesse est élevée pour les différentes modalités standards et de RV. Les conditions pour lesquelles cette relation est la plus marquée sont les mêmes que pour la FES-I. La situation « RV Extra-D » ne montre pas de relation avec le score PASS.

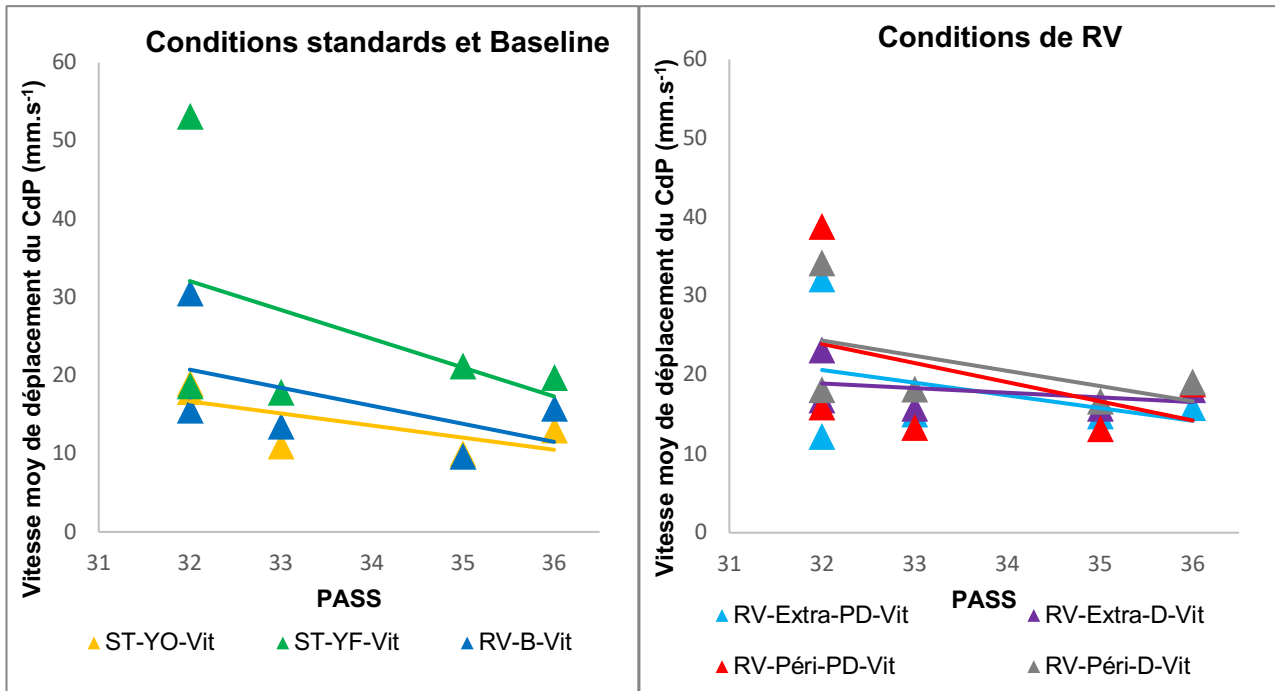


Figure 9 : Relation entre la vitesse moyenne de déplacement du CdP et le PASS pour les modalités évaluées

## Discussion

---

### 1. Intérêt de l'étude :

Ce travail avait pour objectif de créer un test visant à objectiver les capacités d'adaptation posturale des patients hémiplegiques et pouvant prédire un risque de chute dans le cadre d'un RAD. Dans le but de réaliser une mesure de l'adaptation posturale qui s'inscrit dans la prise en soins fonctionnelle des patients post-AVC, nous avons utilisé la RV immersive pour simuler un environnement écologique ainsi qu'une plateforme de posturographie pour l'analyse du CP statique. L'objectif principal était de comparer les capacités d'adaptation posturale des patients hémiplegiques par rapport aux sujets sains du même âge dans un environnement virtuel écologique. Les objectifs secondaires comprenaient la comparaison des capacités de CP des sujets hémiplegiques et non hémiplegiques, la mesure de l'impact de la variation de stimuli visuels dans l'EPP et l'EEP sur le CP et une éventuelle différence entre les sujets AVC et les sujets sains. Nous avons aussi évalué la faisabilité de ce test et l'intérêt clinique de celui-ci pour prédire le risque de chute chez les patients hémiplegiques.

Un faible nombre de sujets hémiplegiques a été inclus dans cette expérimentation, cependant, des résultats intéressants ont été observés. D'après la littérature consultée, il s'agit de la première étude expérimentale ayant pour but de créer un outil prédictif du risque de chute des patients ayant eu un AVC lors du RAD à l'aide de la RV immersive. Cette étude a pour but d'ouvrir la voie de l'utilisation de la RV immersive comme outil de bilan et d'offrir un nouvel outil adapté à une prise en soins fonctionnelle aux professionnels de santé prenant en charge les patients hémiplegiques.

Peu d'études ont eu pour objectif de prédire le risque de chute post-AVC par des données quantitatives. Ashburn et al. ont effectué une étude rétrospective montrant que les chutes durant l'hospitalisation et les capacités fonctionnelles des membres supérieurs à la sortie de l'hôpital pouvaient prédire le risque de chute dans les 12 mois suivant le RAD des patients. Une autre étude réalisée par Baetens et Al. a proposé un modèle prédictif du risque de chute par l'évaluation du score obtenu au FAC (Functional Ambulation Categories), l'utilisation d'une aide technique lors de la marche et la force de préhension. Mackintosh et al. ont effectué une étude prospective et suggèrent que les antécédents de chute lors de l'hospitalisation, associés à un mauvais score d'équilibre évalué par l'échelle de Berg (BBS) permettent de prédire un risque de chute suite à un AVC. Ces études ont décrit exclusivement des caractéristiques qualitatives du CP dans le but de prédire la chute du patient hémiplegique (72–74).

L'analyse quantitative semble intéressante pour permettre une évaluation plus objective des capacités des patients et renseigner des données aidant à une meilleure prise en charge par les professionnels de santé grâce à un bilan quantifié amélioré.

Lee et al. ont proposé un score prédictif du risque de chute des patients hémipariés par l'évaluation de données quantitatives posturographiques (asymétrie de répartition du poids du corps et oscillation posturale). Cette étude est la première à proposer un modèle prédictif prenant en compte les variables quantitatives et l'âge chez les sujets AVC (51). Notre étude introduit la dimension écologique par la simulation d'un environnement que les patients peuvent rencontrer lors du RAD à l'aide de la RV immersive. La création d'un score prédictif de la chute chez les patients hémipariés prenant en compte la vitesse moyenne de déplacement du CdP pourrait être envisagée pour permettre d'identifier les individus à risque et établir un score seuil dans cet environnement virtuel.

## **2. Analyse des résultats et comparaison avec la littérature :**

### **2.1. Adaptation posturale des sujets AVC et contrôles dans un environnement virtuel écologique :**

Suite à la lecture de l'étude de D'Antonio et al. nous avons émis l'hypothèse suivante : les capacités d'adaptation posturale des sujets AVC dans un environnement virtuel sont moins performantes que les sujets sains du même âge (75). L'âge des deux groupes était respectivement de  $61,2 \pm 7,05$  ans pour les AVC et de  $57,3 \pm 4,35$  ans pour les sujets contrôles et il n'existait pas de différence significative entre eux ( $p = 0,160$ ) ; de plus, il est cohérent avec l'âge moyen retrouvé dans la littérature concernant cette population. Le pourcentage d'hommes et de femmes n'est pas comparable de par le faible effectif du groupe AVC, cependant on retrouve une répartition relativement équilibrée entre les genres pour les deux groupes. Aucune différence à propos de l'IMC n'a été retrouvée ( $25,54 \pm 2,12$  pour les AVC et  $25,25 \pm 3,69$  pour les sujets contrôle). Il n'y a donc pas eu d'effet de l'âge, du genre et de l'IMC sur les résultats obtenus.

L'analyse posturographique lors de la condition « ST-YO » montre des vitesses différentes entre les groupes. Le groupe AVC présente une vitesse de déplacement du CdP de  $14,22 \pm 4,07$  mm.s<sup>-1</sup> tandis que celle-ci est de  $11,35 \pm 3,34$  mm.s<sup>-1</sup> pour le groupe contrôle. Ces résultats sont conformes aux données de la littérature (76,77). Il n'existe cependant pas de différence significative entre les deux groupes, cela s'oppose aux données de la littérature qui mettent en évidence une différence statistique des mesures dynamiques du CP statique entre les sujets ayant eu un AVC et les sujets âgés sains (51,76).



Cette différence par rapport à la littérature pose la question de la sensibilité de l'étude posturographique dans les conditions standards.

Lors de la situation proposant une privation des informations visuelles, dans la condition « ST-YF », les données nous indiquent une augmentation significative de la surface chez les sujets hémiplegiques par rapport aux sujets sains ( $p = 0,019$ ) mais pas de l'augmentation de la vitesse. Ces résultats sont en accord avec la présence d'une dépendance visuelle plus importante pour le CP chez les sujets AVC (35,36).

Lors des situations utilisant la RV, nous avons fait varier les paramètres de la foule et donc les informations visuelles. Une différence significative ( $p < 0,05$ ) pour les variables de vitesse et de surface a été retrouvée pour les 4 conditions de RV avec modulation de la foule. Ces résultats sont en corrélation avec ceux retrouvés dans l'étude effectuée par D'antonio et al. qui ont montré une influence du flux optique dans un environnement virtuel 3D sur l'oscillation du corps (75). Cette observation montre donc une différence sur les aptitudes posturales entre la privation des données visuelles et leur modulation. Les personnes hémiplegiques présenteraient une plus grande difficulté par rapport aux sujets âgés sains à prendre en compte les variations de l'environnement virtuel qui les entourent en comparaison à la privation de la vision. Ce résultat indique l'importance d'évaluer le CP des patients hémiplegiques dans leur environnement pour observer l'adaptation posturale plutôt que d'évaluer le CP dans les situations de posturographie standard (yeux ouverts et yeux fermés).

Lee et al. ont pour leur part observé la variation de l'information proprioceptive sur la vitesse de déplacement du CdP dans le but de mettre au point un score prédictif du risque de chute. Ils ont retrouvé un CP moins performant chez les sujets AVC lors de la mise en place d'une variation de l'information sensorielle. Cette altération des capacités d'adaptation posturale est majorée dans les conditions de mise en difficulté par la variation de l'information proprioceptive pour les sujets chuteurs comparé aux sujets non chuteurs (51). Il apparaît possible de transposer cette différence de capacités chez les sujets chuteurs lors de la variation de l'information visuelle apportée par la RV dans notre étude. La RV immersive permet de faire varier les stimuli visuels et donc de mettre en évidence les sujets présentant un risque de chute plus élevé. Ces résultats montrent la différence de capacités d'adaptation posturale entre les patients hémiplegiques et les sujets sains lors de la mise en situation dans un environnement virtuel. Ils sont en accord avec l'hypothèse formulée.

Nous avons vu que l'analyse du CP statique permet d'évaluer le risque de chute, les données obtenues montrent donc un risque de chute plus élevé chez les sujets hémiplegiques que chez les sujets âgés sains dans les situations proposées. La RV permet de simuler un environnement écologique potentiellement rencontré par les patients lors du RAD. L'observation de l'altération des mécanismes du CP par des mesures posturographiques dans cet environnement simulé semble permettre d'identifier un risque de chute des sujets AVC.

## **2.2. Adaptation posturale des patients héminégligents et non héminégligents :**

Lors de cette expérience, nous avons analysé 2 patients héminégligents et 3 patients non héminégligents. Nous n'avons pas effectué d'analyses statistiques car l'échantillon analysé était trop faible. Nous avons émis l'hypothèse que les patients héminégligents présenteraient un CP plus affecté par la présence d'un environnement virtuel écologique. Notre raisonnement était fondé sur les causes du déficit postural spécifiques à cette population. Ces patients présentent une négligence des informations somesthésiques de l'hémicorps atteint (souvent l'hémicorps gauche) et des informations visuelles de l'hémi champ concerné. La variation des stimuli visuels de l'environnement dans lequel évoluent les patients étant moins bien traité par l'atteinte corticale droite, l'adaptation posturale mise en place devrait être moins efficace. Les patients héminégligents présentent d'après la littérature un déficit du CP plus important que les autres patients post-AVC (37,38). Nous pouvons observer que les valeurs de posturographie dans la condition « ST-YO » sont sensiblement équivalentes entre ces deux groupes ( $14,51 \pm 4,92 \text{ mm.s}^{-1}$  pour les héminégligents et  $14,03 \pm 4,58 \text{ mm.s}^{-1}$  pour les autres patients) ce qui s'oppose aux données de la littérature qui montrent une différence des capacités d'adaptation posturale en conditions standards. La privation des informations visuelles lors de la condition « ST-YF » montre une différence entre les deux groupes, les patients non héminégligents présentent des vitesses plus importantes et donc un CP de moins bonne qualité. Nous retrouvons cette tendance pour l'ensemble des conditions de RV avec modulation de la foule. Ces résultats s'opposent donc à l'hypothèse formulée. Le nombre de patients ne permet pas de conclure sur les capacités d'adaptation posturale des patients héminégligents et non héminégligents dans un environnement virtuel. Cependant la possibilité que les sujets héminégligents soient moins affectés par la variation des informations visuelles peut être évoquée. Il est important de noter la présence d'écart-type importants dans les résultats du groupe non héminégligent, par exemple pour la condition « ST-YF » il est de  $\pm 18,89 \text{ mm.s}^{-1}$  et pour la condition « VR Péri-PD » il est de  $\pm 13,49 \text{ mm.s}^{-1}$ . Le faible nombre de participants et la présence de grands écart-type ne permettent pas de conclure sur une tendance pour la différence d'adaptation posturale entre ces 2 groupes.

La négligence des informations visuelles de l'hémi-champs controlatéral à la lésion pourrait être la cause expliquant la différence de l'impact de l'environnement. Les patients héminégligents seraient donc moins sensibles à la variation des stimuli visuels. Cette observation met en évidence l'importance de la négligence somesthésique de l'hémicorps chez les patients héminégligents sur les capacités de CP comparé à la négligence visuelle.

### **2.3. Impact de la variation de stimuli visuels dans l'EPP sur le CP :**

Nous avons fait varier les stimuli visuels dans l'EPP et l'EEP par la modulation de la densité de la foule et l'espace d'évitement des avatars dans l'environnement simulé. Ce choix a été effectué après l'observation dans la littérature de la différence de gestion des stimuli visuels des sujets héminégligents dans l'espace péri-personnel et extra personnel. Nous avons voulu observer si la variation de ces stimuli entre l'espace péri et extra personnel avait un impact sur le CP des sujets âgés sains et des sujets hémiplegiques.

Pour les deux groupes, la situation ayant entraîné la vitesse moyenne de déplacement du CdP la plus importante était la condition « VR Péri-D ». Ces résultats indiquent que la présence d'une foule dense dans l'EPP a un impact sur le CP. Cet impact peut être lié à la variation de l'information visuelle et la gestion de ces stimuli pour maintenir une position orthostatique stable.

Chez les sujets hémiplegiques, nous avons observé une différence significative de la variation de la vitesse moyenne de déplacement du CdP entre les conditions « VR Péri-D » et « VR Extra-D » ( $p=0,043$ ). Cette différence met en avant l'impact de la localisation du stimulus visuel dans l'espace péri-personnel sur l'instabilité posturale.

Chez les sujets âgés sains, une différence significative a été retrouvée entre les conditions « VR Péri-D » et « VR Péri-PD ». Chez les individus sains c'est donc la densité de la foule dans l'EPP qui a eu un effet sur les capacités de CP.

Il serait intéressant d'étudier les mécanismes mis en jeu dans l'adaptation du CP en présence de variation de stimuli visuels et d'observer l'impact de l'attention visuelle et des émotions sur celui-ci lors de la modulation de ces informations.

## **2.4. Faisabilité du test proposé pour la population AVC :**

### **Population visée :**

Sur l'ensemble des patients ayant subi un AVC et étant hospitalisés dans le service MPR du CHU de Limoges durant la période d'expérimentation (n = 22), 5 individus ont pu être analysés. Cela représente 22,7% de l'effectif total. Les différentes causes d'exclusion sont liées aux capacités des patients nécessaires à l'utilisation du matériel. Les sujets exclus pour le port d'une orthèse au membre inférieur, pour l'incapacité à tenir la position orthostatique et pour un trouble orthopédique, sont au nombre de 12. Ces critères d'exclusion sont retrouvés dans les études utilisant la posturographie et sont liés à l'utilisation de ce matériel qui est déjà validé comme un outil de bilan du contrôle postural chez les patients hémipariés.

Les 2 sujets présentant des troubles visuels (port de lunettes trop larges et agnosie visuelle) ainsi que celui ayant eu un malaise lors de l'utilisation de la RV immersive au cours d'une séance de rééducation ont été exclus par rapport à l'utilisation du casque de RV.

Le patient exclu pour des troubles cognitifs trop importants ne représente pas une limite de l'utilisation de la RV car ce déficit cognitif n'est pas spécifique à l'utilisation de la RV immersive. L'effectif analysé semble acceptable pour conclure que ce test est réalisable chez les patients hémipariés. Sur les 6 patients évalués, un seul n'a pas réussi le test, cela représente 83,3% de réussite pour les patients évalués. Ce sujet présentait une hémipariés, qui est un facteur augmentant le risque de chute. Il avait un indice de Barthel entre 60 et 70 représentant des capacités d'autonomie fonctionnelle relativement faibles par rapport aux autres sujets et était âgé de plus de 70 ans. Nous savons que les sujets âgés ont un risque de chute plus élevé. Lors de l'évaluation sur la FES-I, un score de 39 avait été retrouvé. Ce score est associé à une inquiétude élevée par rapport à la chute. Ces différentes données montrent une cohérence entre l'échec au test proposé et des caractéristiques cliniques qui nous permettent d'identifier un patient avec un risque de chute élevé.

L'observation des caractéristiques cliniques des sujets AVC montre que notre test s'adresse à des patients  $61,2 \pm 7,05$  ans présentant un AVC sylvien gauche ischémique superficiel, ayant un indice de Barthel de  $87 \pm 12,51$  ans et présentant un PASS de  $33,6 \pm 1,82$ . Le peu de différence de typologie d'AVC rencontrée trouve sûrement son explication dans le lieu d'expérimentation choisi et la plus grande capacité de récupération des AVC sylviens superficiels en rééducation. Un indice de Barthel de 87 et un PASS moyen de 33,6 représentent des patients ayant une autonomie fonctionnelle et une bonne récupération des capacités d'équilibre. Ce test a pour cible une population présentant des capacités motrices et cognitives fonctionnelles permettant d'envisager un RAD en autonomie.

### **Temps de passation :**

Le temps de passation du test comprenant huit conditions de posturographie était de  $23,8 \pm 4,8$  minutes pour le groupe AVC et de  $19,4 \pm 2,6$  minutes pour le groupe contrôle. Cette différence est due à un temps d'installation plus long pour les patients hémiplésiques par rapport aux sujets sains mais aussi à une prise en main du matériel informatique au cours de l'étude, les sujets AVC ayant été majoritairement testés en premier lieu. Nous pouvons voir dans le tableau 8 que le sujet P01 a un temps de passation de 30 minutes alors que le sujet P05 a un temps de 20 minutes. C'est un autre exemple de l'impact de la maîtrise des logiciels informatiques sur le temps de passage. Pour une personne maîtrisant ce matériel, un temps de passage de 20 minutes semble être nécessaire. Ce temps de passation est cohérent avec la durée des tests qualitatifs actuellement utilisés pour évaluer les capacités du CP.

Le PASS nécessite de 1 à 10 minutes tandis que la BBS nécessite environ 15 minutes. Le test de Tinetti a une durée de passation d'environ 5 minutes et le FMA (Fugl-Meyer Assessment) prend lui entre 30 et 110 minutes pour être administré entièrement. De plus nous savons que les patients ayant eu un AVC possèdent une fatiguabilité plus importante que les sujets sains et notamment lors des tâches d'équilibre statique (78). Il est donc impératif de réduire au maximum le temps nécessaire à l'évaluation et d'insérer des temps de pause, ce qui a été mis en place dans notre test. Une pause d'une minute étant effectuée entre chaque prise de mesure. Le temps de passation permet donc de confirmer la faisabilité de ce test.

### **Difficulté ressentie :**

Nous avons aussi étudié la difficulté ressentie par les sujets lors des différentes conditions, la demande étant la suivante : « placez sur cette échelle la difficulté que vous avez ressentie pour maintenir votre position debout la plus immobile possible pendant la situation proposée ». La difficulté ressentie par les sujets AVC lors de la situation « ST-YO » était de  $1,9 \pm 2,1$  et celle pour la situation « ST-YF » était de  $3,2 \pm 2,6$ . Ces conditions représentent des passages standards déjà utilisés lors de l'analyse posturographique standard.

Parmi les conditions de RV, la situation « RV Péri-D » a recueilli la difficulté la plus importante chez les deux groupes avec respectivement  $3,5 \pm 2,6$  pour les AVC et  $1,5 \pm 1,7$  pour le groupe contrôle. Cette difficulté en RV dépasse très légèrement la situation « ST-YF » pour le groupe AVC mais la présence d'un écart-type important ne permet pas de montrer une difficulté supérieure pour cette condition. L'amplitude de difficulté retrouvée dans le groupe AVC est comprise entre 0 et 6,8, il n'est pas possible de conclure sur la difficulté générale du test par cette observation.

Cependant la relation entre les conditions standards retrouvées dans les études mettant en place une analyse posturographique et les conditions de RV que nous avons proposée est intéressante. Dans l'ensemble, les situations proposées n'ont pas été plus difficiles que l'analyse standard. Cette donnée valide la faisabilité de notre test.

### **Acceptabilité et sécurité :**

Nous n'avons eu aucune demande d'arrêt pendant le test, aucune douleur ou sensation désagréable (vertige) n'a été relevée. Lors de l'ensemble des passages, nous n'avons eu aucune chute, le sujet exclu a été stabilisé par la personne assurant la sécurité humaine mise en place. Ce test nécessite donc deux personnes pour pouvoir être mis en place chez les individus ayant eu un AVC. La sécurité humaine est indispensable car la personne évolue dans un environnement virtuel et porte un casque, elle ne peut donc pas anticiper la chute lors d'un déséquilibre en se rattrapant à un support. La mise en place d'un harnais de sécurité ne semble pas envisageable par son influence sur le CP.

La nécessité de la présence d'une deuxième personne pour l'utilisation de ce test est un frein à son utilisation dans la pratique.

### **Matériel :**

L'utilisation du matériel est intuitive et ne nécessite pas de formation informatique particulière. L'installation du matériel de RV nécessite un espace suffisant, et une pièce dédiée à cet outil semble être nécessaire pour en faciliter l'utilisation. L'entretien et la désinfection du casque et de la plateforme sont réalisés sans difficulté dans le respect des mesures d'hygiène en vigueur. L'observation du temps de passation montre qu'un délai de prise en main est retrouvé, mais l'utilisation des deux logiciels est simple. Cela permet d'émettre un avis positif sur la validation de l'utilisation de ce matériel.

Nous avons utilisé deux ordinateurs pour pouvoir gérer dans le même temps la prise de mesure posturographique et la simulation de l'environnement virtuel. Il serait intéressant de pouvoir coupler ces deux outils sur le même ordinateur pour faciliter la manipulation. Sur l'ensemble de l'expérimentation, seulement trois soucis informatiques mineurs ont été répertoriés, cela ne semble pas être un frein à l'utilisation de ce matériel pour l'étude de l'instabilité posturale des sujets hémiplésiques.

Bower et al. ont mis en place des échelles de la fatigue ressentie et de l'acceptabilité du protocole proposé dans une étude de faisabilité de l'utilisation de différentes technologies de jeux vidéos dans la rééducation des patients AVC (79). Ce sont des échelles que nous n'avons pas mises en place et il serait intéressant que d'autres études s'intéressent à cette dimension dans le futur.

Le temps de passation permet d'avoir une idée sur la fatigue induite par le protocole mais son évaluation par une échelle clinique ou par la mise en place de conditions standards comparatives en fin de passage semble nécessaire. La difficulté ressentie donne une indication sur l'acceptabilité de notre test, cependant une demande sur l'appréciation ressentie par les sujets paraît intéressante. Nous avons eu plusieurs retours lors des passages que ce soit par les sujets AVC ou le groupe contrôle. Une grande majorité des personnes ont souligné un réel engouement pour l'utilisation de la RV et plusieurs patients ont fait la demande de renouveler l'utilisation de cette technologie au cours de leur rééducation. Plusieurs personnes ont par contre été déçues par la qualité des graphismes et le réalisme des avatars virtuels présents dans l'environnement proposé. Le développement de cet outil et l'amélioration constante du logiciel de rééducation en RV Virtualis® devrait permettre de corriger ce problème.

#### **2.4.1. Intérêt clinique du test proposé :**

Les figures 8 et 9 montrent un lien entre la variation de la vitesse moyenne de déplacement du CdP en fonction du score obtenu à la FES-I et au PASS. Dans les quatre graphiques, nous observons une augmentation de la vitesse lors de l'augmentation du score à la FES-I et la diminution du résultat du PASS. Sawacha et al. ont montré une corrélation entre le temps effectué pour réaliser le TUG (Timed Up and Go), le score obtenu à la BBS (Berg Balance Scale) et le déplacement du CdP. Corriveau et al. ont pour leur part mis en évidence un lien entre le score obtenu à la BBS, le score au test de Tinetti et l'oscillation du CdP. Ces deux études montrent que l'augmentation de l'oscillation posturale (déplacement du CdP) est associée à un score plus bas sur les échelles cliniques qualitatives de l'instabilité posturale (76,77). Nos résultats sont en accord avec les données de la littérature et permettent de montrer que l'augmentation de la vitesse de déplacement du CdP lors de la mise en situation en RV et particulièrement pour la condition « RV Péri-D » est associée à une altération du CP chez les patients hémiplegiques et donc à un risque de chute augmenté.

### 3. Limites de ce travail :

Notre étude présente certaines limites :

La population AVC analysée de 5 sujets ne permet pas de conclure sur les capacités du CP des patients hémiplésiques dans un environnement virtuel. En effet, seule une tendance peut être observée dans ce travail et il doit donc être poursuivi et complété. Le faible nombre de sujets peut s'expliquer par la courte période d'inclusion, par des critères d'inclusion et d'exclusion précis et par les contraintes physiques des outils utilisés lors de cette étude.

L'environnement virtuel a été validé comme pouvant représenter un environnement écologique utilisable dans la recherche en neurosciences. Cependant, lors de notre étude, plusieurs sujets ont émis des critiques sur le réalisme de la RV immersive. En effet, ils nous ont rapporté que le graphisme des conditions proposées n'était pas optimal et que les avatars présentaient un manque d'expression et d'émotion. Cela a pu entraîner une non adhésion à l'environnement proposé. On peut donc se poser la question de la transposition de nos résultats lors d'une mise en situation réelle. Une caractéristique importante à observer lors de l'utilisation de cette technologie est le sentiment de présence physique suscité par l'environnement virtuel immersif. Il permet à l'utilisateur de répondre de manière réaliste aux stimuli virtuels et provoque les réactions physiologiques normalement observées dans un environnement réel. Ce sentiment de présence a un impact sur les réponses émotionnelles et le comportement adopté par la personne. Plus la technologie de RV immersive est sophistiquée, plus le sentiment de présence est fort. Dans notre étude il aurait été très intéressant d'évaluer la présence physique des sujets à l'aide d'un questionnaire pour savoir si leur réaction était identique à une situation réelle (54).

Nous avons voulu observer la différence d'impact de la présence de stimuli visuels dans l'EPP ou dans l'EEP sur les capacités de CP. Le logiciel Virtualis® utilisé pour simuler les différents environnements virtuels avait la capacité de faire varier la zone d'évitement de 0,1 à 0,8 m. L'EPP est défini comme l'espace dans lequel nous pouvons interagir manuellement avec les objets ; l'espace d'évitement de 80 cm ne représente donc pas une variation de l'information visuelle dans l'EEP mais un stimulus plus éloigné dans l'EPP. Le développement et les mises à jour régulières du logiciel permettent d'imaginer une adaptation de la zone d'évitement au-delà de la zone dans lesquelles les interactions physiques sont possibles pour pouvoir effectuer une étude plus précise sur l'influence de la localisation des stimuli visuels sur le CP.



#### 4. Perspectives :

L'étude que nous avons effectuée comprend exclusivement une mesure des capacités du CP dans une situation statique, or, on s'oriente actuellement vers une prise en charge de plus en plus fonctionnelle pour la rééducation des patients hémiplegiques. L'évolution du matériel de RV et notamment le développement par la société HTC® d'un casque HTC Vive Pro sans fil permettant d'exploiter une surface plus importante, donne la possibilité d'imaginer une étude de l'équilibre dynamique par une analyse de la marche dans un environnement virtuel. Le système d'analyse des paramètres spatio-temporels lors de la marche, GAITRite développé par la société BIOMETRICS® (France), semble être l'outil idéal pour analyser la marche dans un environnement virtuel. De plus, le CHU de Limoges est déjà équipé de ce matériel dans son service de MPR. La comparaison des données de l'analyse de la marche à une donnée qualitative dynamique du risque de chute comme le TUG serait pertinente pour approfondir notre travail.

Nous avons effectué notre étude dans le service de MPR du CHU de Limoges. Le tableau 5 montre que le test a été effectué en moyenne à J 63 après la survenue de l'AVC. Ce chiffre est à relativiser par l'inclusion d'un patient évalué à J 150 post AVC. Les patients présents dans ce service sont hospitalisés sur des périodes longues, ce qui ne permet pas d'inclure un effectif important à cause de leur faible renouvellement. De plus, nous observons dans la population analysée que les types d'AVC rencontrés dans ce service ne sont pas représentatifs de l'ensemble des typologies d'AVC existantes.

Nous avons analysé 100% d'AVC sylviens superficiels. Dans le parcours de soins du patient AVC, seuls certains patients sont admis dans les services de MPR de par la stratégie de prise en soins mise en place au niveau national et l'orientation rapide vers un RAD. Un nombre important de patients sont orientés rapidement vers un RAD lors de leur prise en charge en UNV. Il serait intéressant de mettre en place cette étude dans l'UNV du CHU de Limoges pour pouvoir analyser un plus grand nombre de patients, des typologies d'AVC plus variées et des patients possédant les capacités fonctionnelles pour pouvoir revenir chez eux rapidement suite à leur hospitalisation.

Le faible effectif de notre étude a rendu impossible l'analyse statistique de l'adaptation posturale entre les patients hémiplegiques présentant ou non une hémiparésie. La mise en place de cette étude sur une plus longue période permettrait de pouvoir comparer plus précisément les capacités de CP de ces deux groupes.

## Conclusion

---

L'accident vasculaire cérébral est une pathologie fréquente. Les troubles du contrôle postural retrouvés chez ces patients sont la conséquence des multiples déficiences sensorimotrices et de l'altération des fonctions supérieures. Le déficit de contrôle postural entraîne une augmentation du risque de chute pour cette population. Dans le parcours de soins du patient AVC, le retour à domicile le plus précoce est actuellement promu par le système de soins français. Cette étape représente une période critique du risque de chute. Dans cette démarche, il est primordial d'identifier les individus à risque car la chute a de lourdes conséquences sur le devenir fonctionnel de ces patients. Les masseurs kinésithérapeutes ont compétence pour évaluer les capacités de contrôle postural des patients hémipariés. Cependant, il n'existe pas actuellement d'outil prédictif quantitatif du risque de chute prenant en compte l'environnement dans lequel va évoluer le patient à sa sortie.

Ce travail avait pour objectif de créer un test visant à évaluer les capacités d'adaptation posturale des patients hémipariés et pouvant prédire un risque de chute dans le cadre d'un RAD. Dans le but de réaliser une mesure de l'adaptation posturale qui s'inscrit dans la prise en soins fonctionnelle des patients post-AVC, nous avons utilisé la RV immersive pour simuler un environnement écologique ainsi qu'une plateforme de posturographie pour l'analyse du CP statique. L'objectif principal était de comparer les capacités d'adaptation posturale des patients hémipariés par rapport aux sujets sains du même âge dans un environnement virtuel écologique. Une étude de la faisabilité du test créé a aussi été mise en place.

Ce test a montré une augmentation de la vitesse moyenne de déplacement du CdP lors des conditions de RV immersive chez les sujets AVC. Les résultats obtenus montrent un risque de chute plus élevé chez les patients hémipariés que chez les sujets âgés sains dans cet environnement. La RV permet de simuler un environnement écologique potentiellement rencontré par les patients lors du RAD. L'observation de l'altération des mécanismes du CP par des mesures posturographiques dans cet environnement simulé semble permettre d'identifier un risque de chute des sujets AVC. De plus, ce test est réalisable pour la population visée.

Ce travail ouvre la voie de l'évaluation écologique du risque de chute par l'utilisation de la RV immersive chez la personne cérébro-lésée. Il pourrait contribuer à terme à améliorer la sécurité du RAD qui est un des aspects fondamentaux de cet enjeu de santé publique.

## Références bibliographiques

---

1. Accident vasculaire cérébral (AVC) | Inserm - La science pour la santé [Internet]. [cité 1 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/accident-vasculaire-cerebral-avc>
2. Béjot Y, Touzé E, Jacquin A, Giroud M, Mas J-L. Épidémiologie des accidents vasculaires cérébraux. *médecine/sciences*. août 2009;25(8-9):727-32.
3. Moulin T. Épidémiologie, physiopathologie des accidents vasculaires cérébraux ischémiques. *J Mal Vasc*. mars 2005;30:5-6.
4. de Pourville G. Coût de la prise en charge des accidents vasculaires cérébraux en France. *Arch Cardiovasc Dis Suppl*. févr 2016;8(2):161-8.
5. Deb P, Sharma S, Hassan KM. Pathophysiologic mechanisms of acute ischemic stroke: An overview with emphasis on therapeutic significance beyond thrombolysis. *Pathophysiology*. juin 2010;17(3):197-218.
6. Ginsberg MD. The cerebral collateral circulation: Relevance to pathophysiology and treatment of stroke. *Neuropharmacology*. mai 2018;134:280-92.
7. Jauch EC, Saver JL, Adams HP, Bruno A, Connors JJ (Buddy), Demaerschalk BM, et al. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. mars 2013;44(3):870-947.
8. Les symptômes d'un AVC [Internet]. Au coeur de l'AVC. 2017 [cité 3 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.aucoeurdelavc.fr/symptomes-d-un-avc/>
9. Guzik A, Bushnell C. Stroke Epidemiology and Risk Factor Management: Contin Lifelong Learn *Neurol*. févr 2017;23(1):15-39.
10. Meschia JF, Bushnell C, Boden-Albala B, Braun LT, Bravata DM, Chaturvedi S, et al. Guidelines for the Primary Prevention of Stroke: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. déc 2014;45(12):3754-832.
11. O'Donnell MJ, Xavier D, Liu L, Zhang H, Chin SL, Rao-Melacini P, et al. Risk factors for ischaemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): a case-control study. *The Lancet*. juill 2010;376(9735):112-23.
12. Vibert J-F. Neurophysiologie de la physiologie à l'exploration fonctionnelle [Internet]. Issy-les-Moulineaux [France: Elsevier Masson; 2011 [cité 7 avr 2019]. Disponible sur: <http://site.ebrary.com/id/10538479>
13. Lai S-M, Studenski S, Duncan PW, Perera S. Persisting Consequences of Stroke Measured by the Stroke Impact Scale. *Stroke*. juill 2002;33(7):1840-4.
14. Marieb EN, Hoehn K. Human anatomy & physiology. 7. ed., international ed. San Francisco, Calif.: Pearson Benjamin Cummings; 2007. 1159 p.

15. Kessner SS, Schlemm E, Cheng B, Bingel U, Fiehler J, Gerloff C, et al. Somatosensory Deficits After Ischemic Stroke: Time Course and Association With Infarct Location. *Stroke* [Internet]. 4 avr 2019 [cité 6 avr 2019]; Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.118.023750>
16. Paillard J, Badan M. À propos de l'héminégligence: bilan et perspectives. *Ann Réadapt Médecine Phys.* janv 1997;40(7):503-18.
17. Jacobs S, Brozzoli C, Farnè A. Neglect: A multisensory deficit? *Neuropsychologia.* mai 2012;50(6):1029-44.
18. Cumming TB, Plummer-D'Amato P, Linden T, Bernhardt J. Hemispatial Neglect and Rehabilitation in Acute Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* nov 2009;90(11):1931-6.
19. Spaccavento S, Cellamare F, Falcone R, Loverre A, Nardulli R. Effect of subtypes of neglect on functional outcome in stroke patients. *Ann Phys Rehabil Med.* nov 2017;60(6):376-81.
20. de Peretti C, Nicolau J, Tuppin P, Schnitzler A, Woimant F. Évolutions de la prise en charge hospitalière des accidents vasculaires cérébraux en court séjour et en soins de suite et de réadaptation entre 2007 et 2009 en France. *Presse Médicale.* mai 2012;41(5):491-503.
21. [avc\\_prise\\_en\\_charge\\_precoce\\_-\\_recommandations.pdf](#) [Internet]. [cité 8 avr 2019]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-07/avc\\_prise\\_en\\_charge\\_precoce\\_-\\_recommandations.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-07/avc_prise_en_charge_precoce_-_recommandations.pdf)
22. Tarvonen-Schröder S, Matomäki J, Laimi K. Factors associated with outcomes of inpatient stroke rehabilitation. *Int J Ther Rehabil.* 2 janv 2018;25(1):34-40.
23. Tuppin P, Samson S, Fagot-Campagna A, Woimant F. Care pathways and healthcare use of stroke survivors six months after admission to an acute-care hospital in France in 2012. *Rev Neurol (Paris).* avr 2016;172(4-5):295-306.
24. Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES). *Acta Endosc.* avr 1998;28(2):151-5.
25. Daviet JC, Verdié-Kessler C, Stuit A, Popielarz S, Sinzakaraye A, Munoz M, et al. Facteurs prédictifs du devenir fonctionnel et du retour à domicile après un premier accident vasculaire cérébral hémisphérique. *Ann Réadapt Médecine Phys.* mars 2006;49(2):49-56.
26. Petrilli S, Durufle A, Nicolas B, Pinel JF, Kerdoncuff V, Gallien P. Hémiplégie vasculaire et retour à domicile. *Ann Réadapt Médecine Phys.* févr 2002;45(2):69-76.
27. Van der Cruyssen K, Vereeck L, Saeys W, Remmen R. Prognostic factors for discharge destination after acute stroke: a comprehensive literature review. *Disabil Rehabil.* 3 juill 2015;37(14):1214-27.
28. Mutai H, Furukawa T, Araki K, Misawa K, Hanihara T. Factors associated with functional recovery and home discharge in stroke patients admitted to a convalescent rehabilitation ward: Favorable factors in stroke rehabilitation. *Geriatr Gerontol Int.* avr 2012;12(2):215-22.
29. Thorpe ER, Garrett KB, Smith AM, Reneker JC, Phillips RS. Outcome Measure Scores Predict Discharge Destination in Patients With Acute and Subacute Stroke: A Systematic Review and Series of Meta-analyses. *J Neurol Phys Ther.* janv 2018;42(1):2-11.

30. Pérennou D. Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *Lett Médecine Phys Réadapt.* sept 2012;28(3):120-32.
31. Tasseel-Ponche S, Yelnik AP, Bonan IV. Motor strategies of postural control after hemispheric stroke. *Neurophysiol Clin Neurophysiol.* nov 2015;45(4-5):327-33.
32. Paillard T. *Posture et équilibration humaines.* Louvain-la-Neuve; [Paris: De Boeck supérieur; 2016.
33. Alfieri FM, Riberto M, Lopes JAF, Filippo TR, Imamura M, Battistella LR. Postural Control of Healthy Elderly Individuals Compared to Elderly Individuals with Stroke Sequelae. *Open Neurol J.* 15 mars 2016;10(1):1-8.
34. Lopes PG, Lopes JAF, Brito CM, Alfieri FM, Rizzo Battistella L. Relationships of Balance, Gait Performance, and Functional Outcome in Chronic Stroke Patients: A Comparison of Left and Right Lesions. *BioMed Res Int.* 2015;2015:1-8.
35. Bonan IV, Marquer A, Eskiizmirli S, Yelnik AP, Vidal P-P. Sensory reweighting in controls and stroke patients. *Clin Neurophysiol.* avr 2013;124(4):713-22.
36. Yelnik AP, Kassouha A, Bonan IV, Leman MC, Jacq C, Vicaut E, et al. Postural visual dependence after recent stroke: Assessment by optokinetic stimulation. *Gait Posture.* nov 2006;24(3):262-9.
37. Pérennou D. Postural disorders and spatial neglect in stroke patients: a strong association. *Restor Neurol Neurosci.* 2006;24(4-6):319-34.
38. van Nes IJW, van der Linden S, Hendricks HT, van Kuijk AA, Rulkens M, Verhagen WIM, et al. Is Visuospatial Hemineglect Really a Determinant of Postural Control Following Stroke? An Acute-Phase Study. *Neurorehabil Neural Repair.* juill 2009;23(6):609-14.
39. Nijboer TCW, Ten Brink AF, van der Stoep N, Visser-Meily JMA. Neglecting posture: differences in balance impairments between peripersonal and extrapersonal neglect. *NeuroReport.* déc 2014;25(17):1381-5.
40. Previc FH. The neuropsychology of 3-D space. *Psychol Bull.* sept 1998;124(2):123-64.
41. Ferri F, Costantini M, Huang Z, Perrucci MG, Ferretti A, Romani GL, et al. Intertrial Variability in the Premotor Cortex Accounts for Individual Differences in Peripersonal Space. *J Neurosci.* 16 déc 2015;35(50):16328-39.
42. Ten Brink AF, Biesbroek JM, Oort Q, Visser-Meily JMA, Nijboer TCW. Peripersonal and extrapersonal visuospatial neglect in different frames of reference: A brain lesion-symptom mapping study. *Behav Brain Res.* janv 2019;356:504-15.
43. Cléry J, Guipponi O, Wardak C, Ben Hamed S. Neuronal bases of peripersonal and extrapersonal spaces, their plasticity and their dynamics: Knowns and unknowns. *Neuropsychologia.* avr 2015;70:313-26.
44. Batchelor FA, Mackintosh SF, Said CM, Hill KD. Falls after Stroke. *Int J Stroke.* août 2012;7(6):482-90.
45. Jørgensen L, Engstad T, Jacobsen BK. Higher incidence of falls in long-term stroke survivors than in population controls: depressive symptoms predict falls after stroke. *Stroke.* févr 2002;33(2):542-7.

46. Mackintosh SF, Hill K, Dodd KJ, Goldie P, Culham E. Falls and injury prevention should be part of every stroke rehabilitation plan. *Clin Rehabil.* juin 2005;19(4):441-51.
47. Chaiwanichsiri D, Jiamworakul A, Kitisomprayoonkul W. Falls among stroke patients in Thai Red Cross rehabilitation center. *J Med Assoc Thai Chotmaihet Thangphaet.* sept 2006;89 Suppl 3:S47-52.
48. Bloch F. Les complications non traumatiques des chutes : des conséquences trop souvent négligées chez la personne âgée. *NPG Neurol - Psychiatr - Gériatrie.* août 2015;15(88):188-90.
49. Schmid AA, Rittman M. Consequences of poststroke falls: activity limitation, increased dependence, and the development of fear of falling. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* juin 2009;63(3):310-6.
50. Thoumie P. Intérêts et limites de la posturographie pour l'évaluation des troubles de l'équilibre. *Lett Médecine Phys Réadapt.* sept 2012;28(3):139-44.
51. Lee HH, Jung SH. Prediction of Post-stroke Falls by Quantitative Assessment of Balance. *Ann Rehabil Med.* 2017;41(3):339.
52. Gray VL, Ivanova TD, Garland SJ. Reliability of center of pressure measures within and between sessions in individuals post-stroke and healthy controls. *Gait Posture.* mai 2014;40(1):198-203.
53. Weiss PL, Kizony R, Feintuch U, Katz N. Virtual reality in neurorehabilitation. In: Selzer M, Clarke S, Cohen L, Duncan P, Gage F, éditeurs. *Textbook of Neural Repair and Rehabilitation [Internet].* Cambridge: Cambridge University Press; 2006 [cité 14 avr 2019]. p. 182-97.
54. Tieri G, Morone G, Paolucci S, Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Rev Med Devices.* févr 2018;15(2):107-17.
55. Mosadeghi S, Reid MW, Martinez B, Rosen BT, Spiegel BMR. Feasibility of an Immersive Virtual Reality Intervention for Hospitalized Patients: An Observational Cohort Study. *JMIR Ment Health.* 27 juin 2016;3(2):e28.
56. Tashjian VC, Mosadeghi S, Howard AR, Lopez M, Dupuy T, Reid M, et al. Virtual Reality for Management of Pain in Hospitalized Patients: Results of a Controlled Trial. *JMIR Ment Health.* 29 mars 2017;4(1):e9.
57. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Stroke Group, éditeur. Cochrane Database Syst Rev.* 20 nov 2017
58. Parsons TD. Virtual Reality for Enhanced Ecological Validity and Experimental Control in the Clinical, Affective and Social Neurosciences. *Front Hum Neurosci.* 11 déc 2015
59. Morel M, Bideau B, Lardy J, Kulpa R. Advantages and limitations of virtual reality for balance assessment and rehabilitation. *Neurophysiol Clin Neurophysiol.* nov 2015;45(4-5):315-26.
60. Dewan N, MacDermid JC. Fall Efficacy Scale - International (FES-I). *J Physiother.* mars 2014;60(1):60.

61. Hauer K, Yardley L, Beyer N, Kempen G, Dias N, Campbell M, et al. Validation of the Falls Efficacy Scale and Falls Efficacy Scale International in Geriatric Patients with and without Cognitive Impairment: Results of Self-Report and Interview-Based Questionnaires. *Gerontology*. 2010;56(2):190-9.
62. Greenberg SA. Analysis of Measurement Tools of Fear of Falling for High-Risk, Community-Dwelling Older Adults. *Clin Nurs Res*. févr 2012;21(1):113-30.
63. Delbaere K, Close JCT, Mikolaizak AS, Sachdev PS, Brodaty H, Lord SR. The Falls Efficacy Scale International (FES-I). A comprehensive longitudinal validation study. *Age Ageing*. 1 mars 2010;39(2):210-6.
64. Benaim C, Pérennou DA, Villy J, Rousseaux M, Pelissier JY. Validation of a standardized assessment of postural control in stroke patients: the Postural Assessment Scale for Stroke Patients (PASS). *Stroke*. sept 1999;30(9):1862-8.
65. Di Monaco M, Trucco M, Di Monaco R, Tappero R, Cavanna A. The relationship between initial trunk control or postural balance and inpatient rehabilitation outcome after stroke: a prospective comparative study. *Clin Rehabil*. juin 2010;24(6):543-54.
66. de Oliveira CB, de Medeiros IRT, Frota NAF, GreTERS ME, Conforto AB. Balance control in hemiparetic stroke patients: main tools for evaluation. *J Rehabil Res Dev*. 2008;45(8):1215-26.
67. Evaluation\_ fonctionnelle\_ AVC\_ref.pdf [Internet]. [cité 9 janv 2019]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/Evaluation\\_%20fonctionnelle\\_%20AVC\\_ref.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/Evaluation_%20fonctionnelle_%20AVC_ref.pdf)
68. Huang Y, Wang W, Liou T, Liao C, Lin L, Huang S. Postural Assessment Scale for Stroke Patients Scores as a predictor of stroke patient ambulation at discharge from the rehabilitation ward. *J Rehabil Med*. 2016;48(3):259-64.
69. Scoppa F, Capra R, Gallamini M, Shiffer R. Clinical stabilometry standardization. *Gait Posture*. févr 2013;37(2):290-2.
70. Yamamoto M, Ishikawa K, Aoki M, Mizuta K, Ito Y, Asai M, et al. Japanese standard for clinical stabilometry assessment: Current status and future directions. *Auris Nasus Larynx*. avr 2018;45(2):201-6.
71. Ferreira LAB, Galli M, Lazzari RD, Dumont AJL, Cimolin V, Oliveira CS. Stabilometric analysis of the effect of postural insoles on static balance in patients with hemiparesis: A randomized, controlled, clinical trial. *J Bodyw Mov Ther*. avr 2017;21(2):290-6.
72. Ashburn A, Hyndman D, Pickering R, Yardley L, Harris S. Predicting people with stroke at risk of falls. *Age Ageing*. 10 mars 2008;37(3):270-6.
73. Baetens T, Kegel A, Calders P, Vanderstraeten G, Cambier D. Prediction of falling among stroke patients in rehabilitation. *J Rehabil Med*. 2011;43(10):876-83.
74. Mackintosh SF, Hill KD, Dodd KJ, Goldie PA, Culham EG. Balance Score and a History of Falls in Hospital Predict Recurrent Falls in the 6 Months Following Stroke Rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. déc 2006;87(12):1583-9.

75. D'Antonio E, Tieri G, Paolucci S, Patanè F, Iosa M. Postural Sway Responses to 3D Virtual Dynamic Visual Stimulation in Post-stroke patients. In: Masia L, Micera S, Akay M, Pons JL, éditeurs. *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation III* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [cité 3 mai 2019]. p. 783-7.
76. Corriveau H, Hébert R, Raïche M, Prince F. Evaluation of postural stability in the elderly with stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* juill 2004;85(7):1095-101.
77. Sawacha Z, Carraro E, Contessa P, Guiotto A, Masiero S, Cobelli C. Relationship between clinical and instrumental balance assessments in chronic post-stroke hemiparesis subjects. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2013;10(1):95.
78. Houdijk H, ter Hoeve N, Nooijen C, Rijntjes D, Tolsma M, Lamoth C. Energy expenditure of stroke patients during postural control tasks. *Gait Posture.* juill 2010;32(3):321-6.
79. Bower KJ, Louie J, Landesrocha Y, Seedy P, Gorelik A, Bernhardt J. Clinical feasibility of interactive motion-controlled games for stroke rehabilitation. *J NeuroEngineering Rehabil.* déc 2015;12(1):63.



# Annexes

## Annexe I : test MMSE :

<b>MINI MENTAL STATE EXAMINATION (M.M.S.E)</b>	Etiquette du patient
Date : .....	
Évalué(e) par : .....	
Niveau socio-culturel .....	

### ORIENTATION

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire. Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

Quelle est la date complète d'aujourd'hui ? .....

☞ *Si la réponse est incorrecte ou incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :*

- |  |  |
|--|--|
| !0ou1!<br>1. en quelle année sommes-nous ? | !0ou1!<br>4. Quel jour du mois ?       |
| !____!<br>2. en quelle saison ?            | !____!<br>5. Quel jour de la semaine ? |
| !____!<br>3. en quel mois ?                | !____!                                 |

☞ *Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous nous trouvons.*

- |  |        |
|--|--------|
| 6. Quel est le nom de l'Hôpital où nous sommes ?                       | !____! |
| 7. Dans quelle ville se trouve-t-il ?                                  | !____! |
| 8. Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ? | !____! |
| 9. Dans quelle province ou région est situé ce département ?           | !____! |
| 10. A quel étage sommes-nous ici ?                                     | !____! |

### APPRENTISSAGE

☞ *Je vais vous dire 3 mots ; je voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les demanderai tout à l'heure.*

- |            |         |    |           |        |
|------------|---------|----|-----------|--------|
| 11. Cigare | [citron | ou | [fauteuil | !____! |
| 12. fleur  | [clé    | ou | [tulipe   | !____! |
| 13. porte  | [ballon | ou | [canard   | !____! |

Répéter les 3 mots.

### ATTENTION ET CALCUL

☞ *Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?*

- |        |        |
|--------|--------|
| 14. 93 | !____! |
| 15. 86 | !____! |
| 16. 79 | !____! |
| 17. 72 | !____! |
| 18. 65 | !____! |

☞ *Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander : « voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers » : E D N O M.*

### RAPPEL

☞ *Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandé de répéter et de retenir tout à l'heure ?*

- |            |         |    |           |        |
|------------|---------|----|-----------|--------|
| 19. Cigare | [citron | ou | [fauteuil | !____! |
| 20. fleur  | [clé    | ou | [tulipe   | !____! |
| 21. porte  | [ballon | ou | [canard   | !____! |

### LANGAGE

- |  |        |
|--|--------|
| 22. quel est le nom de cet objet?    Montrer un crayon.                  | !____! |
| 23. Quel est le nom de cet objet    Montrer une montre                   | !____! |
| 24. Ecoutez bien et répétez après moi : « PAS DE MAIS, DE SI, NI DE ET » | !____! |

☞ *Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : « écoutez bien et faites ce que je vais vous dire » (consignes à formuler en une seule fois) :*

- |   |        |
|---|--------|
| 25. prenez cette feuille de papier avec la main droite. | !____! |
| 26. Pliez-la en deux.                                   | !____! |
| 27. et jetez-la par terre ».                            | !____! |

☞ *Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractères : « FERMEZ LES YEUX » et dire au sujet :*

- |                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| 28. «faites ce qui est écrit ». | !____! |
|---------------------------------|--------|

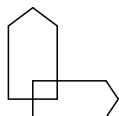
☞ *Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo en disant :*

- |   |        |
|---|--------|
| 29. voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. » | !____! |
|---|--------|

### PRAXIES CONSTRUCTIVES.

☞ *Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander :*

- |   |        |
|---|--------|
| 30. « Voulez-vous recopier ce dessin ». | !____! |
|---|--------|



**SCORE TOTAL (0 à 30)                    !\_\_\_\_!**

## Annexe II : fiche sujet protocole :

Sujet :

Groupe : n° :

Date :

Age :

Sexe :

Taille :

Poids :

Pointure :

Score échelle FES-I :

Test PASS :

- Mobilité :
- Équilibre :

Bilan stabilométrique :

Ordre de passage des conditions :

Temps de passation :

Conditions	Vitesse moyenne	Surface	Y moyen	X moyen	LFS	VFY	EVA
Familiarisation							
Yeux ouverts							
Yeux fermés							
VR-Baseline							
Condition 1 Extra-peu-d							
Condition 2 Extra-dense							
Condition 3 Péri-peu-d							
Condition 4 Péri-dense							

Notes et commentaires :

## Annexe 2.1 : Échelle FES-I :

### FES-I

Nous aimerions vous poser quelques questions qui ont pour but de déterminer si vous ressentez de l'inquiétude face à la possibilité de tomber. Répondez en pensant à la manière dont vous effectuez habituellement cette activité. Si actuellement vous ne faites pas cette activité (par exemple si quelqu'un fait les courses à votre place), répondez à la question en imaginant votre degré d'inquiétude **SI** vous réalisiez en réalité cette activité. Pour chacune des activités suivantes, mettez une croix dans la case qui correspond le plus à votre opinion et qui montre le degré d'inquiétude que vous ressentez face au fait de pouvoir tomber lors de la réalisation de cette activité.

		<i>Pas du tout inquiet</i> 1	<i>Un peu Inquiet</i> 2	<i>Assez Inquiet</i> 3	<i>Très Inquiet</i> 4
1	Faire votre ménage (par ex : balayer, passer l'aspirateur, ou la poussière)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
2	Vous habiller et vous déshabiller	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
3	Préparer des repas simples	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
4	Prendre une douche ou un bain	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
5	Aller faire des courses	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
6	Vous lever d'une chaise ou vous asseoir	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
7	Monter ou descendre des escaliers	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
8	Vous promener dehors dans le quartier	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
9	Atteindre quelque chose au-dessus de votre tête ou par terre	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
10	Aller répondre au téléphone avant qu'il s'arrête de sonner	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
11	Marcher sur une surface glissante (par ex : mouillée ou verglacée)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
12	Rendre visite à un ami, ou à une connaissance	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
13	Marcher dans un endroit où il y a beaucoup de monde	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
14	Marcher sur un sol inégal (route caillouteuse, un trottoir non entretenu)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
15	Descendre ou monter une pente	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
16	Sortir (par ex : service religieux, réunion de famille, rencontre d'une association)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

FES-I translated to French by Prof Chantal Piot-Ziegler from Yardley L, Todd C, et al. 2005; doi:<https://doi.org/10.1093/ageing/afi196>

## Annexe 2.2 : Test PASS :

Nom :	Étiquettes du patient
Prénom :	
Date de naissance :	
Service :	
Hôpital/Centre MPR :	
Examineur :	
Date du jour :	

### *Traumatisme Crânien. Accident Vasculaire Cérébral (AVC) : bilan des déficiences*

Évaluation kinésithérapique des performances posturales = Postural Assessment Structural Scale (PASS)

Le PASS est validé et adapté à une utilisation préférentielle sur le plateau technique. Il nécessite une table de rééducation ou d'examen. Sont évalués à la fois le maintien et le changement de postures, en position allongée, assise et debout. Il est particulièrement adapté à l'examen du patient hémiparétique dans les premiers mois qui suivent la cérébro-lésion, y compris les plus atteints (contrairement à la plupart des autres scores validés).

#### Mobilité

<b>Couché sur le dos</b>	
Se tourne sur le côté hémi	<input type="checkbox"/>
Se tourne sur le côté sain	<input type="checkbox"/>
S'assoit sur le plan de Bobath	<input type="checkbox"/>
<b>Assis sur le plan de Bobath</b>	
Se couche sur le dos	<input type="checkbox"/>
Se lève	<input type="checkbox"/>
<b>Debout</b>	
S'assoit	<input type="checkbox"/>
Peut ramasser un objet à terre	<input type="checkbox"/>
<b>Total sur 21</b>	<input type="text"/>

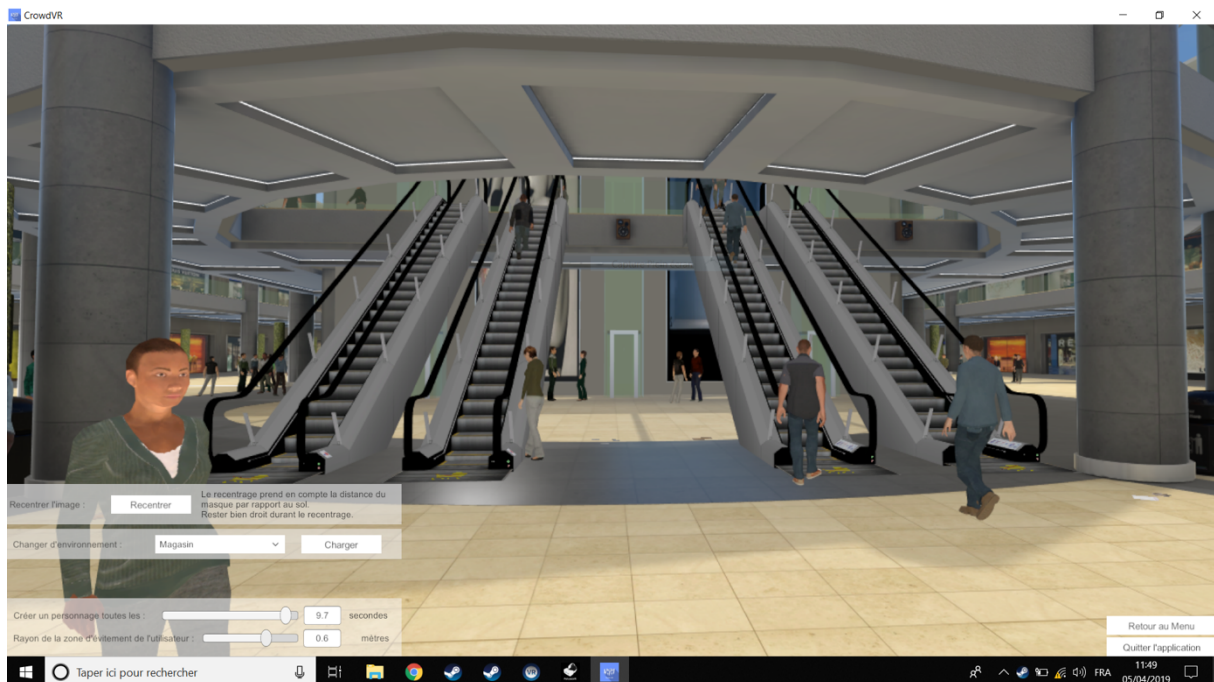
#### Équilibre

Assis sans support	<input type="checkbox"/>
Debout avec support	<input type="checkbox"/>
Debout sans support	<input type="checkbox"/>
Appui monopodal côté hémi	<input type="checkbox"/>
Appui monopodal côté sain	<input type="checkbox"/>
<b>Total sur 15</b>	<input type="text"/>
<b>Total PASS sur 36</b>	<input type="text"/>

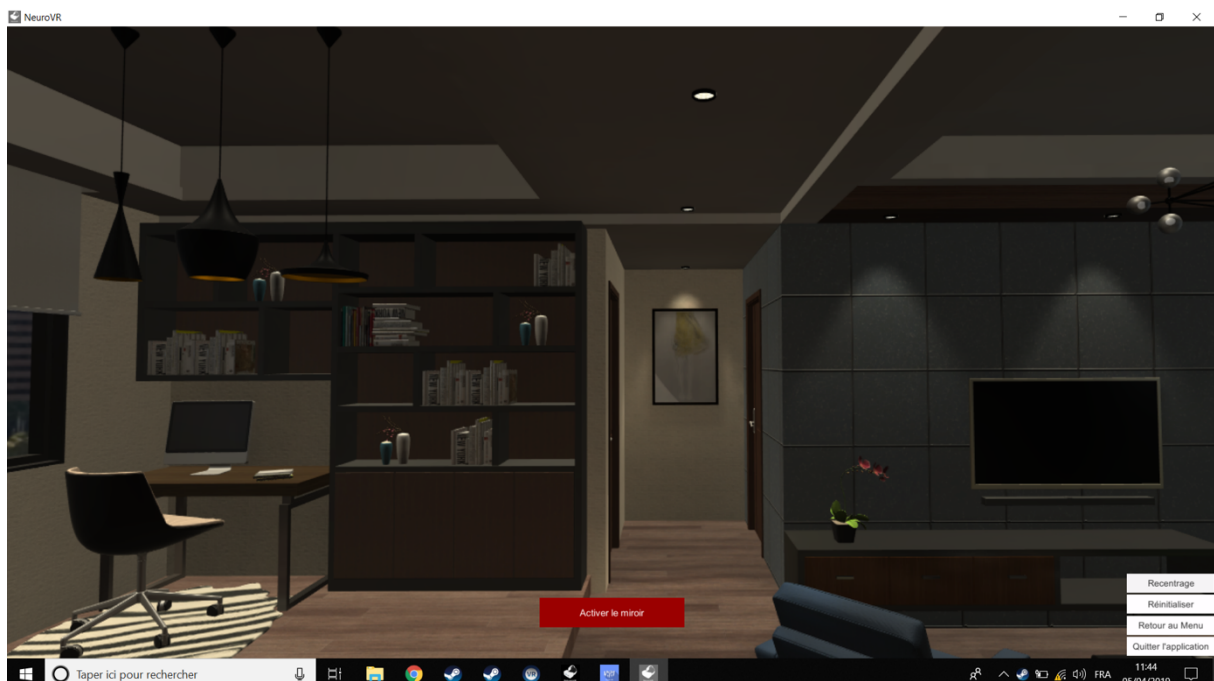


## Annexe III : conditions proposées en RV :

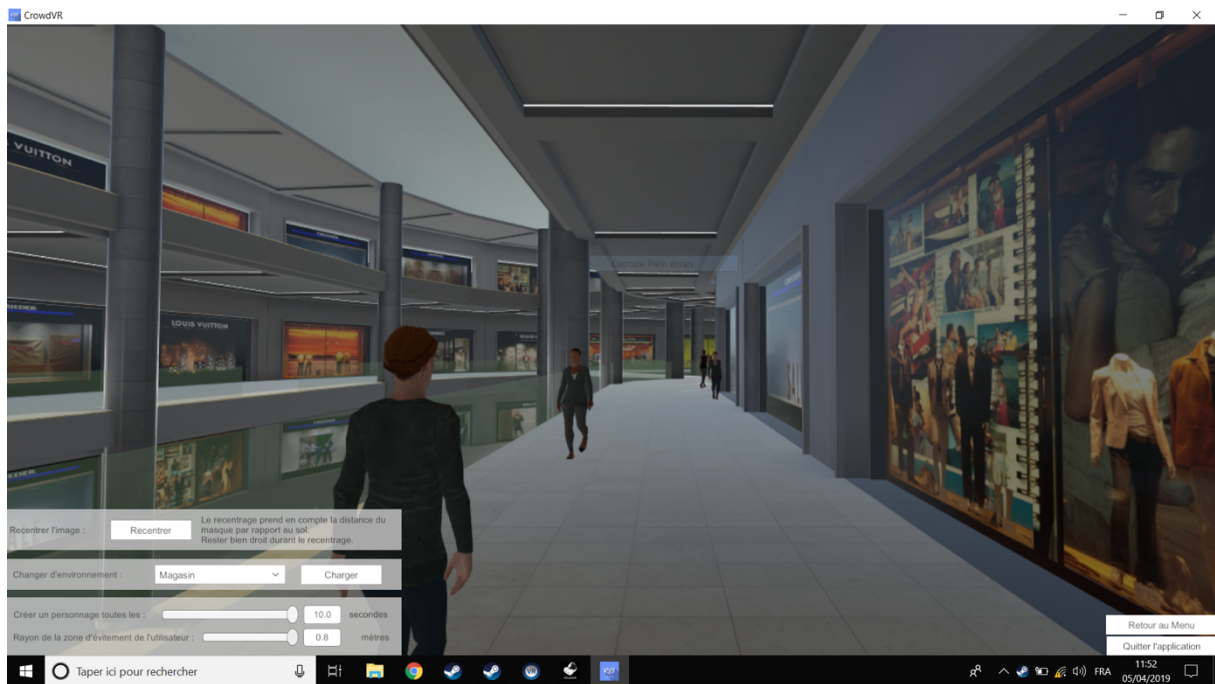
### Annexe 3.1. Familiarisation (hall centre commercial)



### Annexe 3.2. Baseline (salon « Mirror therapy »)



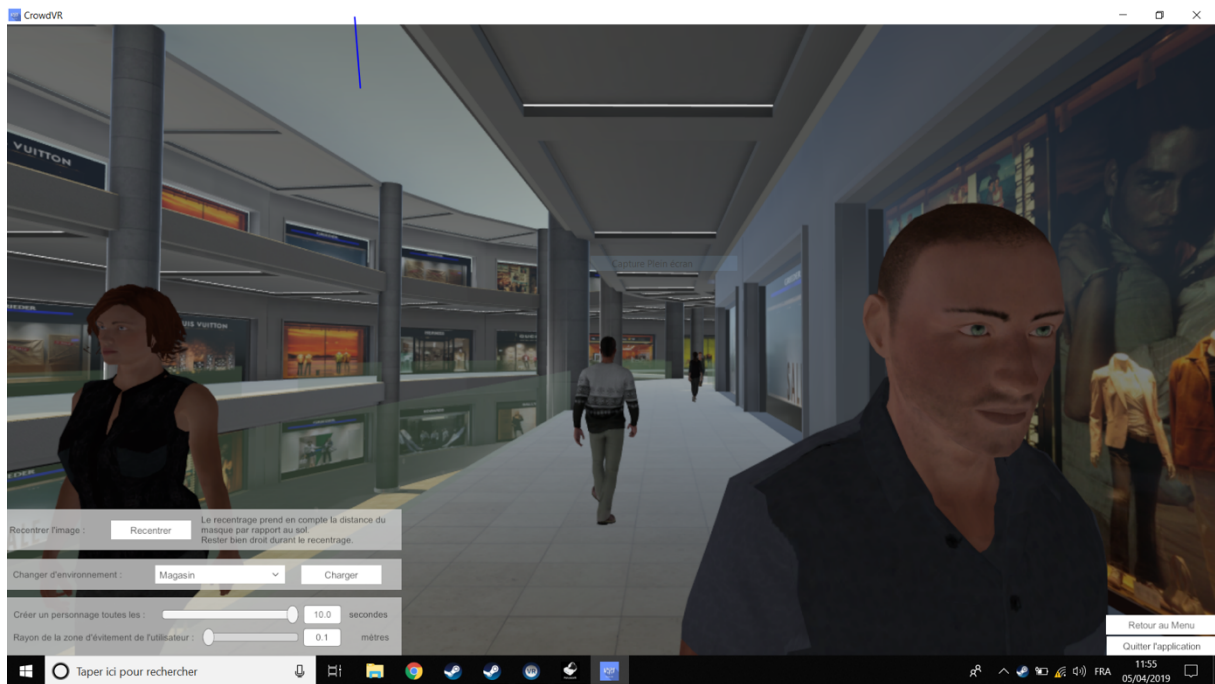
### Annexe 3.3. Condition 1, extra-personnel et peu dense



### Annexe 3.4. Condition 2, extra-personnel et dense



### Annexe 3.5. Condition 3, péri-personnel et peu dense



### Annexe 3.6. Condition 4, péri-personnel et dense



## Annexe IV : Installation de l'expérimentation dans le L2H (Rebeyrol)



Figure 10 : Installation de l'expérimentation au L2H



## **Adaptation posturale du patient hémiplégique dans un environnement virtuel : création d'un test prédictif du risque de chute lors du retour à domicile.**

---

Introduction : Les AVC sont des affections neurologiques fréquentes. Le risque de chute est très élevé pour cette population. Les conséquences de ces chutes sont très graves pour les patients et leur devenir fonctionnel. Actuellement le retour à domicile précoce est promu par le système de soins, cette étape représente une période critique du risque de chuter.

Objectif : Nous avons mis au point un test d'évaluation du contrôle postural des patients AVC dans un environnement écologique à l'aide de la RV immersive. Les objectifs de ce travail étaient de comparer l'adaptation posturale des patients hémiplégiques et des sujets sains dans un environnement virtuel écologique et d'évaluer la faisabilité du test pour cette population.

Méthode : Des patients ayant eu un premier épisode d'AVC ainsi que des individus sains de 50 ans ou plus ont été évalués pour participer à cette étude sur une période de 9 semaines. Le paramètre mesurant l'instabilité posturale (vitesse moyenne de déplacement du CdP) a été recueilli lors de différentes conditions standards et de RV à l'aide d'une plateforme de posturographie. Les caractéristiques cliniques des patients et les données de faisabilité ont aussi été relevées.

Résultats : Un total de 5 patients et 19 individus sains ont été analysés. Une augmentation significative de la vitesse de déplacement du CdP a été observée dans les situations de RV chez les hémiplégiques comparés aux sujets sains.

Conclusion : Le test proposé est réalisable pour la population visée et met en évidence un déficit de contrôle postural des sujets AVC dans un environnement virtuel. Cet environnement simulé à l'aide de la RV immersive a pour but de recréer les situations rencontrées lors du RAD des patients et permet d'identifier les individus présentant un risque de chute lors de cette étape.

---

Mots-clés : Accident Vasculaire Cérébral ; Contrôle Postural ; Réalité Virtuelle ; Évaluation

## **Postural adaptation of stroke patient in a virtual surrounding: Creation of a test to predict the risk of falling when returning home.**

---

Introduction : Stroke is a frequent neurological disease. The risk of falling is very high for stroke people. The consequences of falls are very serious for the patients and their functional future. Today's the health care system promotes an early home return, this step is a critical period of risk of falling.

Objective : We developed a test to evaluate the postural control of stroke patients in an ecological surrounding using immersive VR. The purpose of this work was to compare hemiplegics patient's postural adaptation with healthy subjects in an ecological virtual surrounding and to evaluate the feasibility of this test for this population.

Method : Patients with a first ever stroke episode and healthy people, 50 years old or more, have been evaluated to participate in this study over a 9-week period. The parameter used to appreciate the postural instability (mean CoP travel speed) was collected in different standard conditions and VR using a posturography platform. Patient's clinical characteristics and feasibility data were also identified.

Results : A total of 5 patients and 19 healthy people have been analyzed. A significant increase of CoP travel speed was observed in VR situations for hemiplegics patients compared to healthy subjects.

Conclusion : The suggested test is achievable for the target population and clearly shows a lack of postural control of stroke subjects in virtual surrounding. This environment simulated with immersive VR aims to recreate situations encountered during return home and allows to identify people at risk of falling during this stage.

---

Keywords : Stroke ; Postural control ; Virtual Reality ; Assessment

