

Direction Régionale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU

**DIPLÔME D'ÉTAT DE  
MASSEUR-KINESITHERAPEUTE**

**Juin 2014**

**Effet de la réalité virtuelle sur la récupération motrice du membre supérieur parétique**

**chez des patients post AVC : étude prospective contrôlée**

*Mursi Carine*

Résumé :

**Objectif :** Évaluer les effets de la RV sur la récupération motrice du MS hémiparétiques chez des patients post AVC. **Méthode :** Cette étude pilote prospective contrôlée a été menée auprès de patients post AVC admis dans des centres de Médecine Physique et Réadaptation. Nous avons recruté 10 patients qui avaient un déficit de sévérité intermédiaire objectivé par l'échelle de Fugl-Meyer pour l'extrémité supérieur avec un score supérieur à 12 et sans déficience neuropsychologiques graves qui pouvaient interférer avec le protocole proposé. Les patients ont été répartis aléatoirement en deux groupes de traitements consacrés uniquement à la récupération du membre supérieur hémiparétique. Les patients du groupe contrôle ont bénéficié d'une rééducation conventionnelle (CV) seule une heure par jour et ceux du groupe expérimental ont bénéficié d'une rééducation conventionnelle une demi heure par jour couplée à une rééducation dans un environnement virtuel (RV) une deuxième demi-heure par jour. Les deux programmes ont donc comporté une heure de rééducation quotidienne, 5 jours par semaine, pendant 6 semaines. Les critères de jugement cliniques ont été l'échelle de Fugl-Meyer pour le membre supérieur, la Frenchay Arm Test, l'Indice de Barthel, la Box and Block test, le test des 9 chevilles et la force de préhension. **Résultats :** Les deux traitements ont montré une amélioration sur les échelles utilisées entre J0 et J45 mais l'amélioration obtenue sur la Frenchay Arm test ( $p < 0.05$ ) la Box and Block test ( $p < 0.01$ ) et la force de préhension ( $p < 0.001$ ) semble indiquer une différence significative pour le groupe RV entre J0 et J45. **Conclusion :** La rééducation conventionnelle couplée à la réalité virtuelle du membre supérieur hémiparétique semble être plus efficace que l'intervention conventionnelle seule.

Abstract:

**Objectives:** Evaluate the effects of VR on arm motor recovery after stroke. **Methods:** This controlled prospective pilot study was conducted in post stroke patients admitted to centers of Physical Medicine and Rehabilitation. We recruited 10 patients who had a deficit of intermediate severity objectified by the Fugl - Meyer scale for the upper end with a greater than 12 and without severe neuropsychological impairments that could interfere with the proposed protocol score. Patients were randomized into two treatment groups devoted solely to the recovery of hemiplegic upper limb. Patients in the control group received conventional rehabilitation (CV) only one hour per day and those in the experimental group received conventional rehabilitation half an hour a day coupled with rehabilitation in a virtual environment (VR) a second half an hour per day. Both programs have therefore included an hour of daily rehabilitation, five days per week for 6 weeks. The clinical outcomes were: Fugl -Meyer scale for the upper limb, the Frenchay Arm Test, the Barthel Index, the Box and Block test, Nine Hole Peg test and grip strength. **Results:** Both treatments showed improvement on the scales used between D0 and D45 but the improvement obtained on the Frenchay arm test ( $p < 0.05$ ) Box and Block Test ( $p < 0.01$ ) and grip strength ( $p < 0.001$ ) seems to indicate a significant difference in the RV group between D0 and D45. **Conclusion:** Conventional rehabilitation combined with virtual reality of hemiplegic sup member seems to be more effective than single conventional surgery.

Mots clés :

- Accident vasculaire cérébral
- plasticité cérébral
- membre supérieur
- réalité virtuel
- entraînement moteur

Keywords :

- Stroke
- brain plasticity
- upper limb
- virtual reality
- engine training

## SOMMAIRE

1. Introduction.....	1
2. Matériel et méthodes.....	4
2.1. Site de l'étude.....	4
2.2. Population étudiées.....	4
2.3. Interventions.....	5
2.4. Équipements utilisés pour le groupe RV.....	5
2.4.1. Calibrage des capteurs.....	6
2.4.2. Paramétrage des exercices.....	6
2.4.3. Variation des exercices.....	6
2.5. Rôle du thérapeute pendant les séances.....	7
2.6. Le protocole de la réalité virtuelle (RV).....	7
2.7. Le protocole de rééducation conventionnelle (CV).....	8
2.8. Paramètres mesurés.....	8
3. Résultats et analyses statistiques.....	9
3.1. Échelle Fugl-Meyer pour le membre supérieur.....	9
3.1.2. Statistiques descriptive.....	9
3.1.1. Analyse de la variance.....	10
3.2. Indice de Barthel.....	10
3.2.1. Statistiques descriptives.....	10
3.2.2. Analyse de la variance.....	11
3.3. Frenchay Arm Test.....	11
3.3.1. Statistiques descriptive.....	11

3.3.2. Analyse de la variance.....	12
3.4. Nine Hole Peg.....	13
3.4.1. Statistiques descriptives.....	13
3.4.2. Analyse de la variance.....	13
3.5. Box and Block Test.....	13
3.5.1. Statistiques descriptives.....	13
3.5.2. Analyse de la variance .....	14
3.6. La force de préhension.....	15
3.6.1. Statistiques descriptives.....	15
3.6.2. Analyse de la variance.....	15
4. Discussion.....	16
4.1. Justification du protocole expérimental.....	16
4.2. Limites méthodologiques et difficultés rencontrées.....	18
4.3. Interprétation des résultats et liens avec la littérature.....	19
4.4. Vérification de l'hypothèse.....	21
4.5. Biais de l'étude.....	21
4.6. Pistes pour de futures recherches.....	21
4.7. Apport personnels de ce travail.....	22
5. Conclusion.....	22
6. Listes de références bibliographiques.....	23
7. Annexes.....	29

## 1. Introduction

En France, chaque année, 130 000 personnes sont victimes d'un accident vasculaire cérébral (AVC) et  $\frac{3}{4}$  des survivants gardent des limitations motrices passées la période aiguë [1]. L'AVC entraîne la perte de neurones et de voies neuronales dans la partie du territoire vasculaire impliqué. Une hémiparésie survient si la voie pyramidale (cortico-spinale) est interrompue en un endroit quelconque de son trajet. L'aire motrice primaire M1, la région sous corticale et la capsule interne sont les endroits les plus fréquemment lésés [2]. L'AVC entraîne alors, du côté opposé à la lésion, des troubles moteurs, paralysie ou parésie, fréquemment associée à une hyperactivité musculaire [3]. Ces limitations motrices sont également souvent combinées à des troubles neuropsychologiques, sensoriels et/ou sensitifs. Malgré les efforts rééducatifs, près de 80% des patients gardent des limitations motrices au niveau du membre supérieur (MS), qui retentissent sur l'activité quotidienne et la participation en société [4, 5].

À la suite d'un AVC, des mécanismes de plasticité cérébrale sont à l'œuvre pour participer à la récupération motrice post AVC [6]. Ces mécanismes ont été mis en évidence chez l'homme grâce à l'essor de l'imagerie fonctionnelle : deux phénomènes ont été particulièrement retenus : la substitution et la compensation. La substitution peut impliquer une *redondance* ou une *vicariance* entre réseaux neuronaux, c'est-à-dire la capacité de deux réseaux neuronaux d'assurer une fonction motrice donnée et donc de redistribuer des représentations corticales avec une prise en charge de la fonction par une autre zone cérébrale saine à distance de la lésion lorsque l'un des deux réseaux, auparavant utilisé préférentiellement, est lésé [7].

La substitution peut également impliquer un *réapprentissage*, où des zones cérébrales préalablement non affectées à une tâche donnée apprennent par l'effort rééducatif à l'assumer et finissent par en adopter la capacité [7]. La compensation est le mécanisme par lequel le système s'adapte à son dysfonctionnement en *apprenant* une nouvelle tâche, différente de la tâche perdue mais qui vise à la remplacer.

Ces dernières décennies, les stratégies thérapeutiques mises en place ont ciblé les mécanismes physiopathologiques de la récupération. La lésion cérébrale corticale semble être à l'origine d'un déséquilibre de l'action inhibitrice inter-hémisphérique [8, 9, 10] au détriment de l'hémisphère lésé, ce qui peut entraîner une majoration du déficit [11].

Les objectifs de rééducation sont d'induire une plasticité chez le patient hémiparétique soit en stimulant le cortex moteur du côté lésé [12, 13, 14], soit en inhibant le cortex moteur du côté sain [15, 16, 17,18] pour rétablir l'équilibre inter-hémisphérique [19, 20, 21].

Aujourd'hui, la rééducation tient une place très importante dans la récupération motrice [17, 23]. Des études ont mis en évidence un lien direct entre la plasticité induite par l'entraînement et la récupération fonctionnelle [14, 22]. Aucune technique de rééducation utilisée en pratique courante n'a montré sa supériorité par rapport à une autre [12]. Il est établi que l'apprentissage moteur par répétition d'une tâche spécifique induit une plasticité cérébrale [6, 26, 27]. Pour guider et faciliter cette plasticité, l'environnement sensoriel doit être enrichi en stimuli plurimodaux [13,14, 30] et les mouvements doivent être répétés [29, 42, 43, 44]. De plus pour optimiser ce processus, le sujet doit d'une part être concentré lors de son activité car l'attention lors de l'exécution d'une tâche motrice semble être essentielle pour obtenir des changements à long terme et d'autre part, être face à un système de récompense car la motivation permet au cerveau de libérer des médiateurs chimiques, comme la dopamine et l'acétylcholine, qui lui permettent de consolider les aires de son cortex soumises aux changements [57].

L'intégration de la réalité virtuelle dans les stratégies thérapeutiques permet une immersion du patient dans un environnement riche en stimulations cognitives et sensorielles favorisant ainsi la plasticité neuronale et donc la récupération motrice [30,34]. De plus, des études montrent que pour améliorer la motricité du patient, les exercices proposés doivent être répétés de nombreuses fois [26, 27, 42,43]. Aussi est-il préférable que les exercices proposés soient motivants afin de mobiliser l'attention du sujet. Les jeux ludiques qui captivent le patient et le poussent à se surpasser nous fourniraient peut-être un moyen acceptable de faire répéter des gestes aux patients, à condition qu'ils ne soient pas iatrogènes. Des études récentes [35] démontrent que la réalité virtuelle pourrait être un moyen d'intervention permettant d'impliquer davantage le patient dans sa rééducation et ainsi favoriser l'amélioration de sa fonction motrice grâce aux mécanismes de la plasticité [9, 10, 11].

Un logiciel de rééducation RM. Feedback Sensors®, récemment développé par une société Française, est basé sur l'utilisation de capteurs inertiels (accéléromètres, magnétomètres et gyroscopes) qui permettent une interaction entre l'utilisateur et le système. Ce logiciel de rééducation, conçu pour les patients, est basé sur des activités impliquant tout le corps dont certaines sont spécifiques du membre supérieur.

Il offre une variété d'exercices possibles avec un paramétrage qui permet de s'adapter aux possibilités du patient. Son utilisation suscite un intérêt en rééducation car il présente plusieurs caractéristiques favorables à l'apprentissage moteur et à la plasticité cérébrale [12, 14, 24]. Bien qu'il soit déjà utilisé dans des centres de rééducations et des cabinets libéraux en combinaison avec la rééducation conventionnelle son effet spécifique sur la récupération motrice post AVC n'a pas été systématiquement évalué. Nous avons souhaité dans ce travail comparer deux groupes, l'un bénéficiant d'une rééducation conventionnelle seule et l'autre d'une rééducation conventionnelle couplée à une rééducation dans un environnement virtuel. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité du traitement rééducation conventionnelle couplée à la réalité virtuelle pendant 6 semaines sur la récupération motrice du membre supérieur et l'impact de cette récupération sur les activités de la vie quotidienne (AVQ) chez les patients au delà de 1 mois après un AVC.

### **Hypothèse :**

Des données récentes [35, 36, 37] suggèrent l'efficacité de la réalité virtuelle couplée à la rééducation conventionnelle sur la récupération motrice et fonctionnelle du membre supérieur parétique chez les patients post AVC. L'hypothèse de notre étude est que les patients vont améliorer leurs capacités motrices et fonctionnelle après traitement par la réalité virtuelle couplée à la rééducation conventionnelle, plus que par rééducation conventionnelle (CV) seule.

**Objectif primaire :** évaluer la récupération motrice sur l'échelle Fugl-Meyer [40].

**Objectif secondaires :** évaluer la dextérité, la force de préhension et les activités de la vie quotidienne.

## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Site de l'étude**

Nous avons recruté les patients de l'étude dans différentes structures.

Dans ce cadre, il a été mis à ma disposition une salle dans laquelle les patients devaient se rendre lors de leur séance de rééducation.

## **2.2. Population étudiées**

La cohorte de patients post AVC incluse a été choisie dans les services de neurologie de septembre 2013 à mars 2014. Les patients qui ont intégré le protocole ont signé un consentement éclairé pour participer à l'étude.

Dix patients ont été sélectionnés et répartis de manière aléatoire par tirage au sort pour constituer deux groupes de traitement.

Pour être éligibles, les patients devaient présenter les critères suivants :

Être majeur, une hémiparésie d'origine vasculaire secondaire à une lésion hémisphérique isolée (vérifiée par IRM), un AVC datant de plus d'un mois, un déficit de sévérité intermédiaire avec un score  $> 12$  sur l'échelle Fugl-Meyer pour le membre supérieure (FM-MS). Les conditions suivantes ont été considérées comme des critères de non inclusion : la présence d'un déclin cognitif marqué avec un score  $< 25/30$  sur la Mini Mental Score (MMS), des troubles visuels non corrigés, des troubles majeurs de la cognition et de la perception, l'utilisation d'un pacemaker (contre indiqué pour la réalisation du protocole expérimental) et un traumatisme quelconque au niveau du membre supérieur parétique. Les patients sélectionnés avaient tous bénéficié avant leur inclusion de séances de rééducation conventionnelle au sein du service. Pendant la durée du projet, les patients inclus ont dû arrêter toute prise en charge rééducative spécifique du MS en dehors du protocole assigné s'ils en bénéficiaient. La prise en charge des autres fonctions a été poursuivie.

Un bilan classique a été effectué par les professionnels de santé pour connaître « l'état initial » des patients. Il comprenait la mesure des amplitudes articulaires actives et passives de l'épaule, du coude et du poignet ; l'évaluation subjective qualitative de la sensibilité superficielle et profonde ; un test d'apraxie (test de Goldenberg) et un test d'héminégligence (test des cloches).

## **2.3. Interventions**

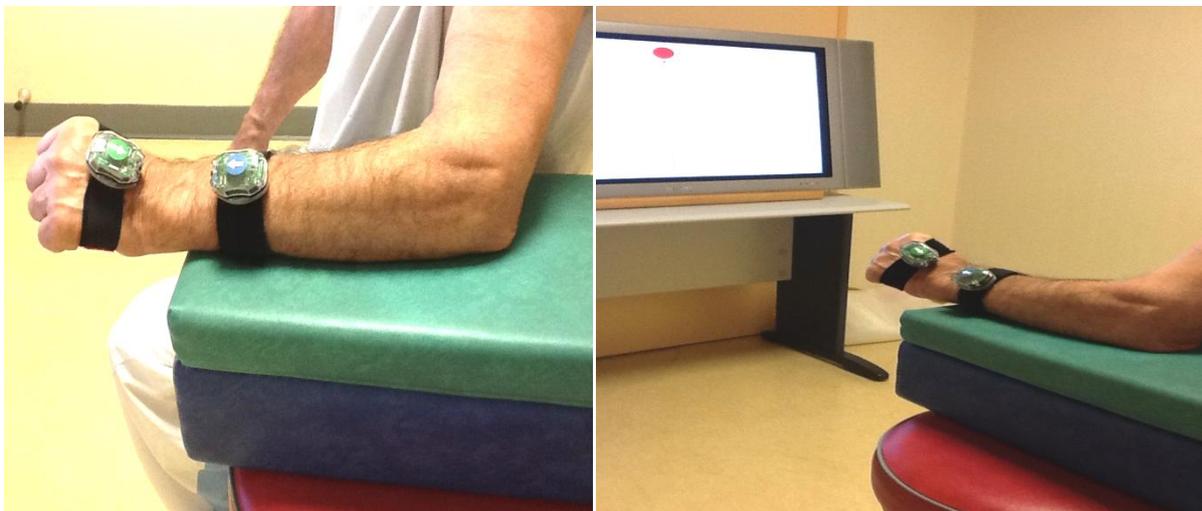
Tous les patients ont suivi un programme de rééducation composé d'une séance de kinésithérapie d'une heure 5 jours par semaine pendant une durée de 6 semaines. En cas de séances manquées, celles-ci ont été rattrapées afin de compléter le programme de rééducation assigné. Le groupe expérimental utilisant la réalité virtuelle (RV) a bénéficié d'une demi-heure de rééducation dans un environnement virtuel combiné à une demi-heure de rééducation

conventionnelle tandis que dans le groupe contrôle les patients ont bénéficié d'une heure de kinésithérapie conventionnelle (CV) du membre supérieur.

Dans les deux groupes d'intervention, des kinésithérapeutes ont été constamment présents au cours de la séance afin de contrôler les exercices et de les modifier en fonction des capacités du patient.

## 2.4. Équipements utilisés pour le groupe RV

L'équipement pour le groupe expérimental a été le logiciel RM Feedback Sensors® composé de deux capteurs inertiels fixés avec des sangles à scratch, d'un écran 36'' et un tabouret fixe situé à 2 mètres de l'écran (figure 1). Le logiciel de rééducation possédait une variété d'exercices pour chaque mouvement de chaque articulation. Ce traitement impliquait l'exécution de différentes tâches motrices. Le patient tenait un objet réel (balle, éponge et bâton) dans les mains tout en interagissant avec le scénario virtuel. Pendant le déroulement de l'exercice, un feedback visuel et sonore permettait au patient d'avoir un rétrocontrôle sur l'exécution des mouvements [34,38]. De plus, le temps restant pour réaliser l'exercice ainsi que le score s'affichaient pendant la réalisation des exercices ce qui permettait au patient d'avoir une connaissance de ses résultats en temps réel [28].



**Figure 1** : Dispositif expérimental utilisé dans le groupe RV.

### 2.4.1. Calibrage des capteurs

Avant chaque séance, les capteurs ont été calibrés conformément aux recommandations du constructeur (Annexe III) afin de garantir une bonne correspondance entre les mouvements

enregistrés et ceux réalisés par le patients (les magnétomètres pouvant se dérégler s'ils sont manipulés au voisinage d'objets ferreux entre les séances).

### 2.4.2. Paramétrage des exercices

À chaque début de séance le niveau de difficulté des exercices était paramétré en fonction des possibilités du patient. Avant le début de chaque exercice les amplitudes actives maximales des patients, la durée de l'exercice ainsi que le niveau de difficulté ont été enregistrés. Par exemple, les consignes pour le paramétrage de la flexion-extension de l'épaule ont été les suivantes « *montez le bras le plus haut possible en avant et le plus loin possible en arrière* ». Ainsi les patients ont bénéficié des mêmes exercices mais avec des amplitudes actives propres à chacun.

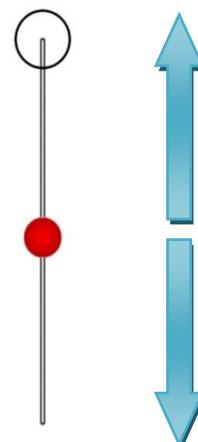
### 2.4.3. Variation des Exercices

Les exercices proposés par le logiciel sont multiples. Deux types d'exercices ont été sélectionnés pour cette étude : des exercices de mouvements alternatifs rapides d'amplitude maximale [43,44] et des exercices de mouvements avec postures statiques intermittentes [41]. Un ordre proximodistal des exercices a été conservé tout au long du protocole (annexe VII). Deux exemples d'exercice pour la flexion-extension du poignet sont illustrés dans les figures 2 et 3.



**Figure 2** : Exercice de mouvements avec posture statique intermittente.

- Le patient gonfle un ballon en gardant une position maximale de flexion active du poignet.
- Une fois le ballon gonflé, le patient le dégonfle en faisant une extension active du poignet.



**Figure 3** : Exercices de mouvements alternatifs rapides d'amplitude maximale.

Le patient doit placer la balle rouge dans le cercle noir qui se déplace de haut en bas et inversement. Le patient effectue des mouvements alternatifs rapides de flexion/extension maximale du poignet pendant 2 minutes.

## **2.5. Rôle du thérapeute pendant les séances**

Le thérapeute était présent pendant toute la durée de la séance, assis sur un tabouret du coté parétique. Il s'occupait de gérer l'environnement virtuel en fonction des capacités du patient, de régler les paramètres avant chaque exercice, de guider le patient avec des instructions verbales en cas de difficultés lors de l'exécution de l'exercice interactif, de contrôler les compensations, de stimuler le patient en le motivant à améliorer son score par rapport à la séance précédente et de donner les résultats aux patients en début et fin d'exercice afin de les comparer aux séances précédentes [28]. Pour les patients ayant des difficultés à réaliser seul les exercices un travail en actif aidé a été réalisé. À chaque début et fin de séance les scores de l'échelle visuelle analogique (EVA) pour la fatigue et la douleur ont été notés. Les scores du patient quant à sa performance ont été communiqués au patient et comparés à ceux de la séance précédente [28, 44]. Cette transmission des résultats au patient (connaissance des résultats) lui a permis d'être davantage impliqué dans sa rééducation et motivé pour augmenter sa performance [30].

## **2.6. Le protocole de la réalité virtuelle (RV)**

Les patients ont bénéficié d'un protocole combinant la rééducation dans un environnement virtuel (RV) et la rééducation conventionnelle (CV) d'une demi-heure chacune. Le programme de RV comprenait 24 minutes de mouvements simples et 6 minutes de mouvements complexes soit un total de 30 minutes d'exercices [27, 26, 29,43]. Les exercices ont débuté par un travail de l'épaule, puis du coude, de l'avant-bras et enfin du poignet. Les séquences d'exercices ont été les suivantes: travail de l'épaule avec des mouvements de flexion-extension, d'abduction-adduction, de rotation médiale-rotation latérale, puis du coude avec des mouvements de flexion-extension, puis de l'avant-bras avec des mouvements de pronation-supination et du poignet avec des mouvements de flexion-extension et enfin deux exercices de mouvements complexes (effacer une ardoise et sortir d'un labyrinthe en deux dimensions).

Pour les exercices de mouvements simples [21, 24,47], les patients ont effectué deux types d'exercices de 2 minutes chacun, le premier était un exercice de mouvements alternatifs rapides d'amplitude maximale [43, 44] et le second, un exercice de mouvement avec postures statiques intermittentes [41] avec un temps de maintien en fin d'amplitude dont la durée variait en fonction du niveau de difficulté de l'exercice et des possibilités du patient.

Enfin le protocole se terminait par deux exercices globaux dont les trajectoires étaient complexes [48] et reprenaient les mouvements des exercices précédents.

Par exemple, les patients ont été amenés à effacer une ardoise, utilisant ainsi des trajectoires complexes. Les différents types d'exercice ont été réalisés par les patients avec un objet tenu dans les mains. Les temps de pause se faisaient entre chaque changement d'exercice et correspondaient à une durée totale de 15 minutes.

## **2.7. Le protocole de rééducation conventionnelle (CV)**

Le programme de rééducation conventionnelle d'une durée d'une demi-heure pour le groupe expérimental et d'une heure pour le groupe contrôle a été basé sur les techniques de rééducation visant à restaurer les fonctions motrices du membre supérieur. Tous les exercices ont été basés sur le principe de l'apprentissage moteur avec répétition, intensité et orientation sur la tâche fonctionnelle [27, 29].

Les exercices reprenaient aussi les exercices de mouvements simples avec un travail alternatif rapide et un travail statique intermittent avec des temps de maintien variables en fonction des possibilités du patient et des mouvements de trajectoires complexes. Le programme de rééducation conventionnelle a donc été élaboré sur des principes similaires au travail dans l'environnement virtuel avec un même ordre proximodistal de travail pour les mouvements simples. Le thérapeute était placé du côté parétique et devait contrôler la bonne réalisation du geste.

## **2.8. Paramètres mesurés**

### **Critère d'évaluation principale**

Le critère principal de jugement de l'étude a été : le score de la Fugl-Meyer (FM-MS) pour le membre supérieur qui évalue la récupération motrice du MS parétique.

### **Critères d'évaluation secondaires**

- Le dynamomètre pour la force de préhension (FDP) qui a été suggérée comme un indice de récupération des performances du patient ;
- le Box and Block test (BBT) et le test des 9 chevilles (Nine Hole Peg test) qui testent l'une une dextérité grossière et l'autre une dextérité plus fine et qui sont des indicateurs de récupération fonctionnelle ;

-le Frenchay Arm Test (FAT) testant la capacité d'utilisation fonctionnelle du membre supérieur dans des activités de la vie quotidienne (AVQ) et l'Indice de Barthel (IB) qui est un indice de fonction globale.

Tous ces critères ont été mesurés en début (J0) et en fin de prise en charge (J45).

En plus de ces évaluations, l'EVA pour la douleur et la fatigue a été utilisée pour évaluer la tolérance de chaque patient au protocole assigné ainsi que la satisfaction avec le traitement reçu (EVA) et la motivation.

Les échelles d'évaluation classiquement utilisés dans les services recruteurs tel que l'indice de Barthel ont été réalisées par le personnel soignant (infirmière). L'évaluation avec les échelles Fugl-Meyer, le Frenchay Arm Test, le Box and Block test, le Nine Hole Peg et la force de préhension ont été réalisés par le personnel de rééducation (kinésithérapeutes et ergothérapeutes). Les mesures ont été prises par les mêmes évaluateurs en début et fin de prise en charge et dans les mêmes conditions (annexe V).

### **3. Résultats et analyses statistiques**

Pour faire nos statistiques, nous avons utilisé l'analyse de la variance avec une ANOVA à mesure répétées à un facteur (protocole RV ou CV) avec le logiciel Statistica 7.1.

La variable indépendante est le type de protocole et les variables dépendantes sont les différents résultats des tests cliniques utilisés (score ou temps).

L'analyse de la variance nous indique s'il y a un effet significatif entre les deux types de protocole et le facteur temps.

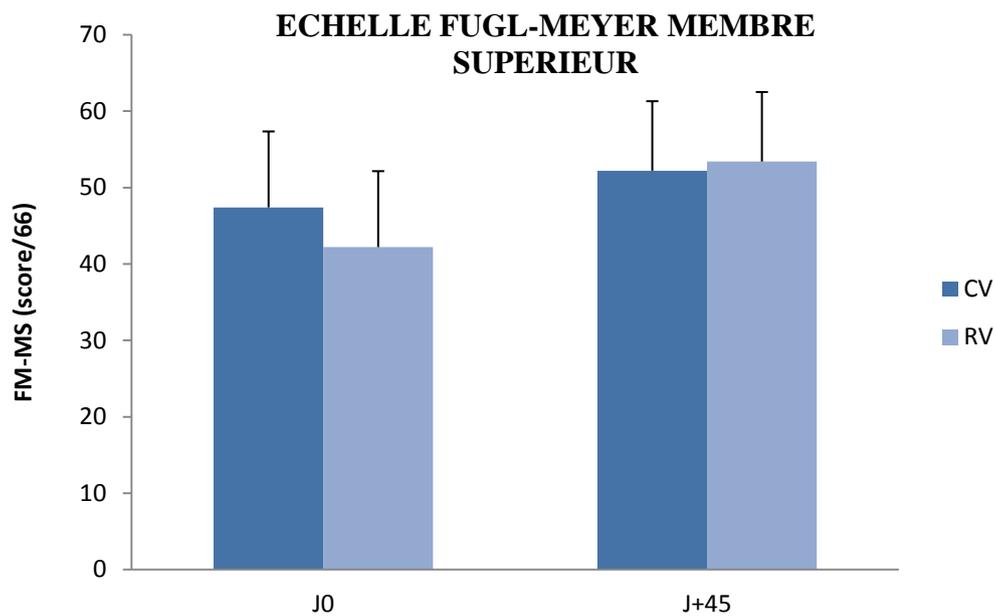
Lorsque le résultat de l'ANOVA était significatif, nous avons réalisé un test post hoc (de Newmann-Keuls) afin de comparer toutes les conditions entre elles.

### 3.1. Échelle Fugl-Meyer pour le membre supérieur

#### 3.1.1. Statistiques descriptives

Le tableau IV (annexe V) présente les statistiques descriptives des performances motrices du membre supérieur sur l'échelle de la Fugl-Meyer dans les deux groupes de traitement de J0 à J45.

Sur l'histogramme ci-dessous (figure 4) sont représentés les scores moyens sur la FM-MS des patients de chaque groupe au cours des deux évaluations pour les deux protocoles



**Figure 4** : Score moyen sur l'échelle Fugl-Meyer pour le membre supérieur de chaque groupe avant et après traitement.

À J0, le score moyen est évalué à 47.4 pour le groupe CV et à 42.2 pour le groupe RV.

#### 3.1.2. Analyse de la variance :

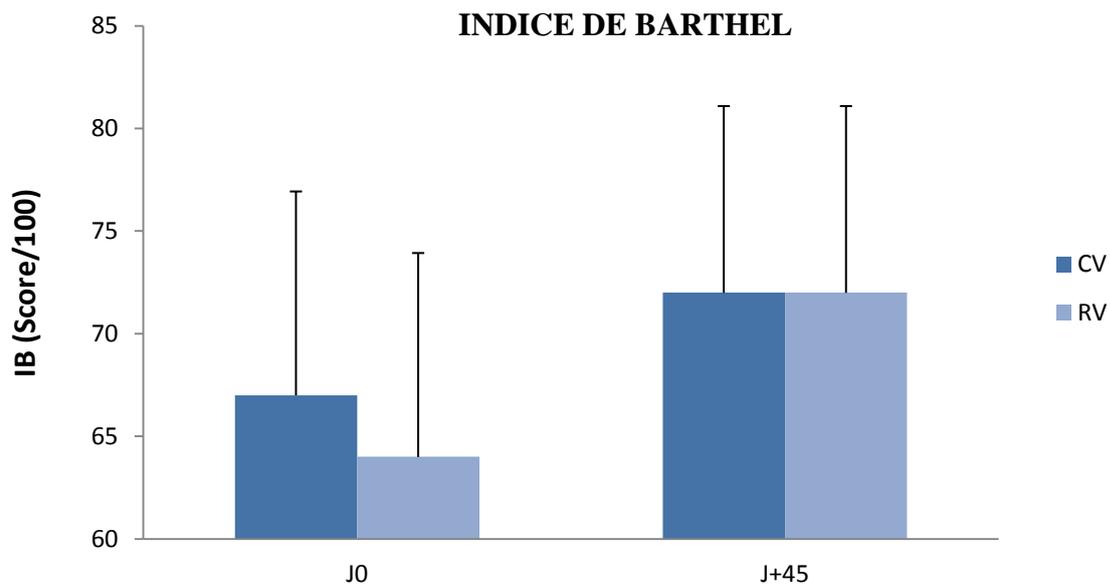
L'analyse de la variance n'a pas montré d'effet du facteur TEMPS ni du facteur GROUPE. Il existe une tendance à l'augmentation du score sur la FM-MS pour les deux protocoles au cours du temps mais qui ne s'avère pas significative.

## 3.2. Indice de Barthel

### 3.2.1. Statistiques descriptives

Le tableau V (annexe V) présente les statistiques descriptives des scores moyens de l'Indice de Barthel dans les deux groupes de traitement de J0 à J45.

L'histogramme ci-dessous (figure 5) représente le score moyen des patients dans les deux groupes de traitements de J0 à J45.



**Figure 5** : Score moyen de l'Indice de Barthel dans chaque groupe avant et après traitement.

Le score moyen à J0 est de 67 pour le groupe CV et de 64 pour le groupe RV.

### 3.2.2 Analyse de la variance :

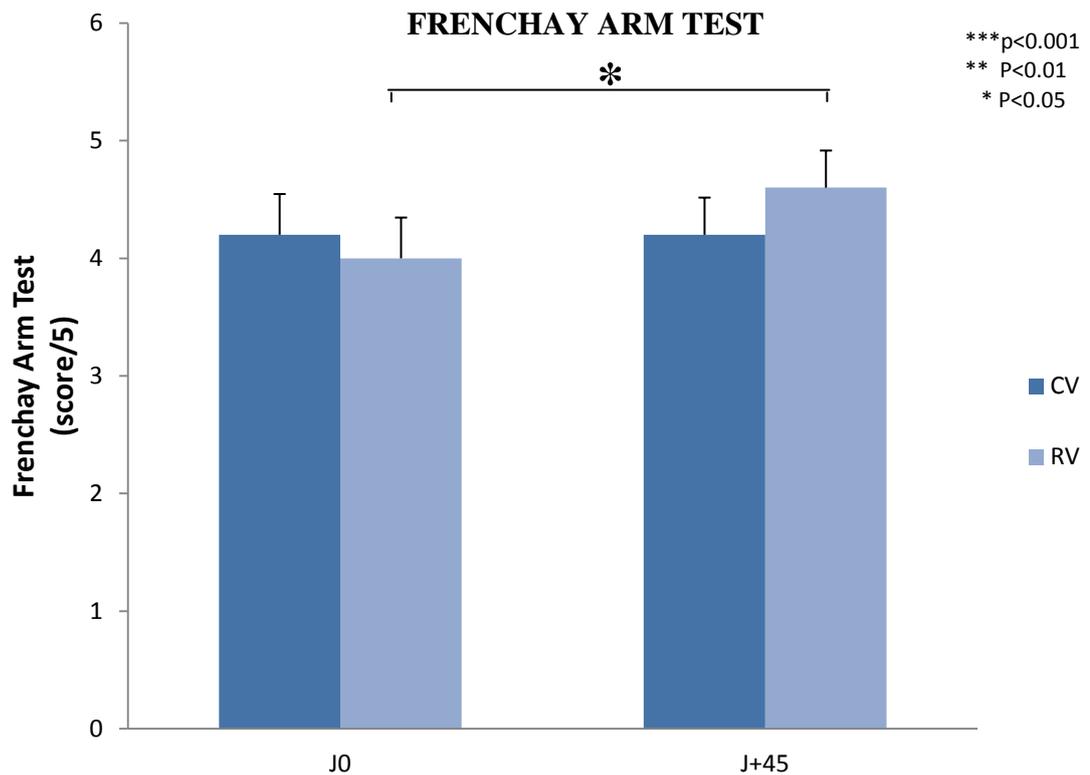
L'analyse de la variance n'a pas montré d'effet du facteur TEMPS ni du facteur GROUPE. Il existe une tendance à l'augmentation du score entre J0 et J45 pour les deux protocoles au cours du temps mais qui ne s'avère pas significative.

### 3.3. Frenchay Arm Test

#### 3.3.1. Statistiques descriptives

Le tableau VI (annexe V) présente les statistiques descriptives des scores moyens sur le Frenchay Arm Test dans les deux groupes de traitement de J0 à J45.

L'histogramme ci-dessous (figure 6) représente le score moyen sur le Frenchay Arm Test dans les deux groupes de traitements de J0 à J45.



**Figure 6** : score moyen sur le Frenchay Arm Test dans les deux groupes avant et après traitement.

Le score moyen à J0 est de 4.2 pour le groupe CV et de 4.0 pour le groupe RV.

### 3.3.2. Analyse de la variance :

L'analyse de la variance met en évidence un effet du facteur TEMPS et un effet du facteur GROUPE ( $F=6.0000$  ;  $p= 0.03997$ ).

Le test post hoc (Newman-Keuls) montre une augmentation significative du score entre J0 et J45 (tableau X) pour le groupe ( $p= 0.034771$ ) pour le groupe CV, il n'a pas été montré de différence significative entre J0 et J45.

**Tableau X:** Test post hoc (Newman-Keuls)

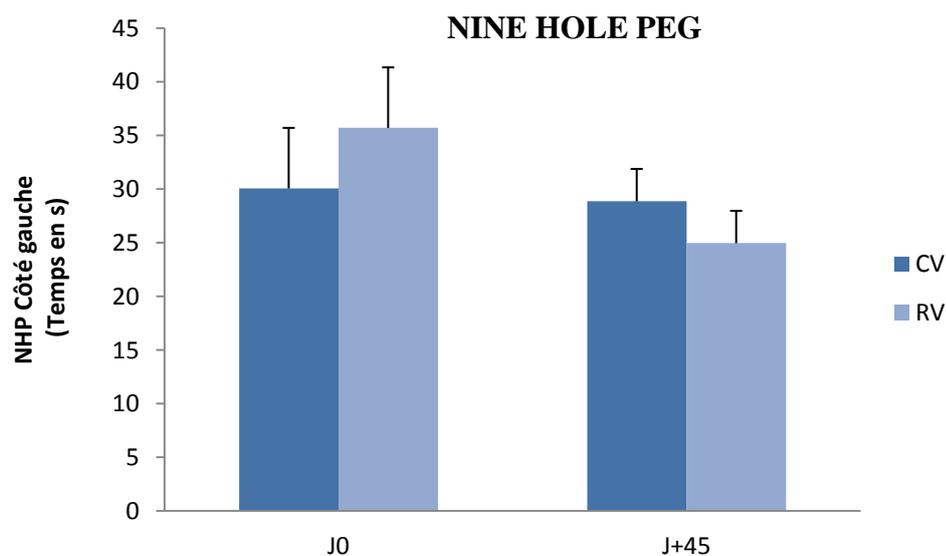
	protocole	période	1	2	3	4
1	CV	J0		1.000000	0.905726	0.415687
2	CV	J45	1.000000		0.679811	0.681377
3	RV	J0	0.905726	0.679811		0.034771
4	RV	J45	0.415687	0.681377	0.034771	

### 3.4. Nine Hole Peg

#### 3.4.1. Statistiques descriptives :

Le tableau VII (Annexe V) présente les statistiques descriptives relatives au temps moyens sur l'échelle Nine Hole Peg dans les deux groupes de J0 à J45.

L'histogramme ci-dessous (figure 7) représente le temps moyen sur la Nine Hole Peg dans les deux groupes de traitements de J0 à J45.



**Figure 7 :** Temps moyen sur l'échelle Nine Hole Peg dans les deux groupes avant et après traitement

### 3.4.2. Analyse de la variance :

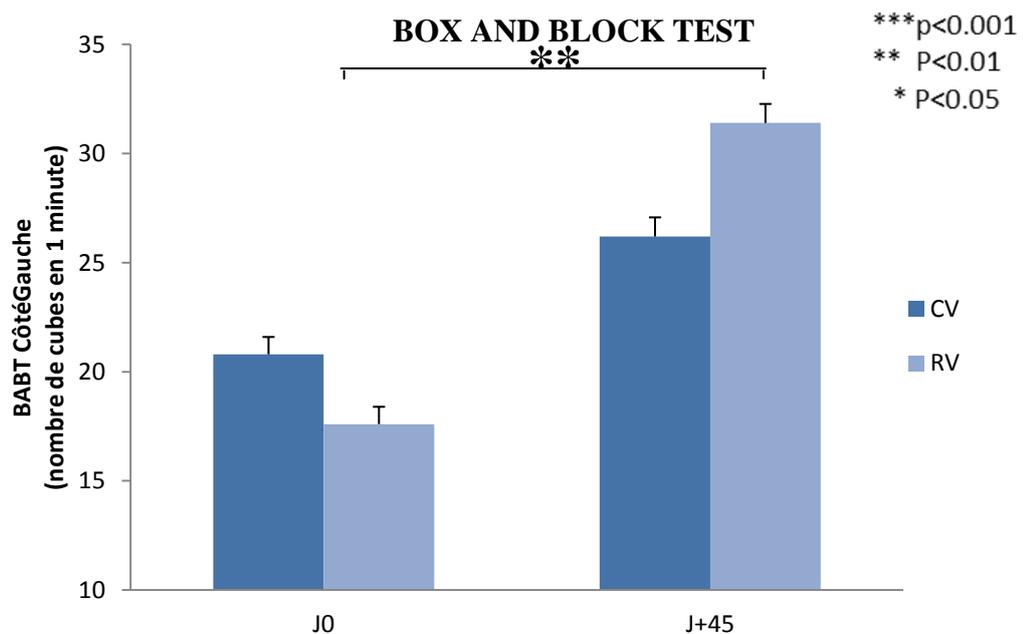
L'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative entre CV et RV et pas d'effet significatif entre J0 et J45.

## 3.5. Box and Block Test

### 3.5.1. Statistiques descriptives:

Le tableau VIII (annexe V) présente les statistiques descriptives relatives au score moyen sur l'échelle de la Box And Block Test dans les deux groupes de J0 à J45.

L'histogramme ci-dessous (figure 8) représente le score moyen sur la Box and Block Test dans les deux groupes de traitements de J0 à J45.



**Figure 7** : Score moyen des deux groupes sur l'échelle Box and Block test avant et après traitement.

Le score moyen à J0 est de 20.8 pour le groupe CV et de 17.6 pour le groupe RV.

### 3.5.2. Analyse de la variance :

L'analyse de la variance a montré un effet du facteur TEMPS et un effet du facteur GROUPE ( $F=6.0000$  ;  $p= 0.03997$ ).

Le test post hoc (Newman-Keuls) nous permet de dire que le score augmente significativement pour le groupe RV entre J0 et J45 (tableau XI). Pour le groupe CV, il n'y a pas de différence significative entre J0 et J45.

**Tableau XI:** Test post hoc (Newman-Keuls)

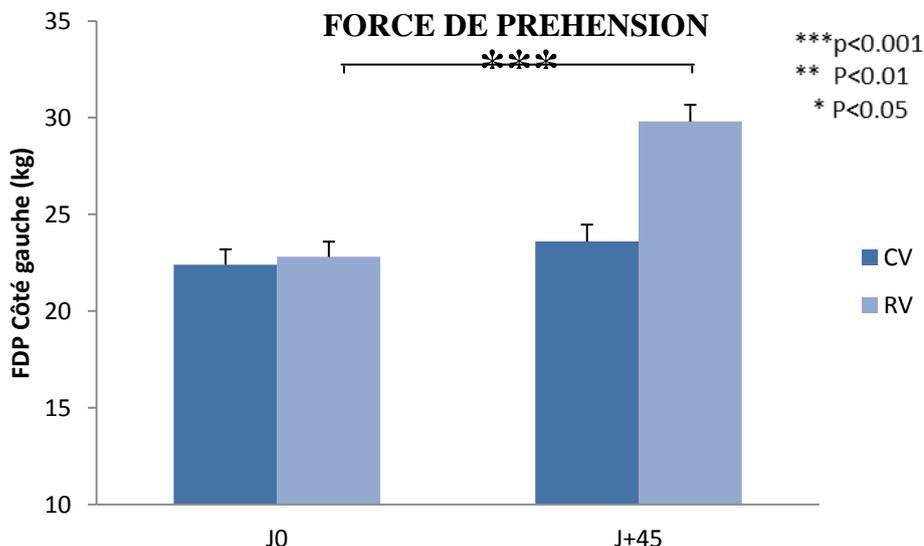
	Protocole	Période	1	2	3	4
1	CV	J0		0.057061	0.720339	0.469665
2	CV	J45	0.057061		0.598972	0.563130
3	RV	J0	0.720339	0.598972		0.002224
4	RV	J45	0.469665	0.563130	0.002224	

### 3.6. La force de préhension

#### 3.6.1. Statistiques descriptives :

Le tableau IV (annexe V) présente les statistiques descriptives relatives de la performance moyenne de la force de préhension dans les deux groupes à J0 à J45.

L'histogramme ci-dessous (figure 9) représente le score moyen de la force de préhension dans les deux groupes de traitements de J0 à J45.



**Figure 9 :** Score moyen de la force de préhension dans les deux groupes avant et après traitement.

Le score moyen à J0 pour le groupe CV est de 22.4 et de 22.8 pour le groupe RV.

### 3.6.2. Analyse de la variance :

L'analyse statistique de la variance montre un effet du facteur TEMPS et un effet du facteur GROUPE ( $F=13.244$  ;  $p= 0.00660$ ).

Le test post hoc (Newman-Keuls) nous permet de dire que le score augmente significativement pour le groupe RV entre J0 et J45,  $p=0.000827$  (tableau XII). Pour le groupe CV, il n'a pas été montré de différence significative entre J0 et J45.

**Tableau XII:** Test post hoc (Newman-Keuls)

	Protocole	Période	1	2	3	4
1	CV	J0		0.560289	0.963049	0.812014
2	CV	J45	0.560289		0.926085	0.478590
3	RV	J0	0.963049	0.926085		0.000827
4	RV	J45	0.81214	0.478590	0.000827	

## 4. Discussion

Dans ce chapitre, nous analysons notre démarche expérimentale. Nous reprenons la structure de notre travail avec ses points spécifiques, en abordant la pertinence de celui-ci ainsi que les limites méthodologiques et les difficultés rencontrées. Nous approfondissons nos résultats en les confrontant à la littérature afin de vérifier l'hypothèse de départ. De même, nous énumérons les potentiels biais de l'étude puis nous proposerons des pistes pour de futures recherches et enfin nous présenterons les apports personnels de ce travail.

### 4.1. Justification du protocole expérimental

L'élaboration du protocole s'appuie sur les connaissances actuelles concernant les techniques de rééducation qui ont été validées et qui repose sur le principe de l'apprentissage moteur et

principalement sur les phénomènes physiologiques impliquant les mécanismes de la plasticité cérébrale.

Nous avons décidé de débiter le travail de la récupération motrice du membre supérieur en mettant en place des exercices commençant par des mouvements de l'épaule puis du coude, de l'avant bras, du poignet et de la main.

En effet, l'accident vasculaire cérébral entraîne une atteinte des faisceaux pyramidaux croisés qui constituent 80% de la voie pyramidale. Les 20% restant sont homolatérales et forment le faisceau pyramidal direct. Ce faisceau corticospinal direct projette bilatéralement sur les motoneurones et interneurones des muscles axiaux et axio-proximaux. Cette physiologie et donc la présence des faisceaux directs en provenance l'hémisphère sain participent à l'explication du fréquent gradient proximodistal de récupération (annexe VII).

Nous avons débuté nos séances de rééducation par des mouvements analytiques puis terminé par des mouvements complexes. Le but de cette démarche était de créer et de renforcer des aires cérébrales distinctes par un travail analytique et ensuite par les mouvements complexes afin de tenter de raccorder les différents neurones entre eux. En effet, des études montrent [47,48] que lorsque que l'on dissocie dans le temps les signaux transmis aux neurones, on crée des aires cérébrales distinctes, ce principe est aujourd'hui formulé de la sorte : *Les neurones qui réagissent de façon asynchrone ne peuvent se raccorder ensemble*. Et lorsque deux neurones réagissent en même temps par des décharges électriques répétées, des modifications chimiques se produisent dans les deux, de sortes qu'ils tendent à se connecter plus fermement.

Le choix du mouvement alternatif rapide d'amplitude maximale repose sur le travail des muscles les moins rétractés et les moins hyperactifs (agonistes) contre leurs antagonistes qui plus contractés et contractants. La pratique de mouvements répétitifs et soutenus d'amplitude maximale va entraîner d'une part l'étirement des muscles antagonistes et d'autre part favoriser l'apprentissage moteur [43,44].

Nous avons choisi ce logiciel de rééducation car il contient des exercices ludiques ce qui augmente la motivation du patient [52,54]. De plus, l'environnement virtuel se compose d'un grand nombre de stimuli ce qui favorise la plasticité cérébrale [30] ; la présence du feedback augmente la performance et améliore l'apprentissage moteur [34, 51]. Lors des exercices, le

patient est informé en temps réel sur son score, cette connaissance du résultat par le patient augmente sa performance et son implication [53]. Des études montrent que chaque fois que le sujet est récompensé son cerveau libère des médiateurs chimiques qui lui permettent de consolider les aires de son cortex soumis aux changements. Si nous bloquons l'action de ces médiateurs pendant l'exercice, nous empêchons le gain d'apprentissage et de mémoire induit par l'exercice et nous annulons l'augmentation induite par l'exercice [49].

Pour optimiser cette apprentissage et favoriser la plasticité cérébrale, nous avons choisi d'isoler le patient dans une pièce au calme ce qui permet au patient d'être attentif lors de la séance de rééducation ce qui est essentiel pour obtenir des changements plastiques à long terme. Une étude montre que la concentration entraîne la libération de médiateurs qui favorise la plasticité [50].

Enfin, nous avons choisi dans le traitement expérimental de commencer par la rééducation dans l'environnement virtuel puis de poursuivre par la rééducation conventionnelle car une étude semble montrer que les mouvements appris dans un environnement virtuel sont transférables pour une tâche équivalente dans la vie quotidienne, voire pour d'autres tâches non rééduquées [55].

Lors de l'interrogatoire, il nous a semblé important de relever les traitements médicamenteux des patients quant-à la prise d'antidépresseur. En effet, une étude [57] semble montrer que les antidépresseurs ont eux aussi une action sur la plasticité cérébrale car ils stimulent la formation de nouveaux réseaux neuronaux dans les zones qui fonctionnent moins bien du fait de la dépression comme le cerveau émotionnelle. Certains patients voit leur symptomatologie s'améliorer, en se concentrant sur une activité agréable, on stimule d'autre connections, et on remplace peu à peu les mauvaises émotions au profit du plaisir.

#### **4.2. Limites méthodologiques et difficultés rencontrées**

La première limite à souligner et en rapport avec la taille de l'échantillon, nous avons au départ voulu recruter seize patients pour l'étude mais les critères d'inclusion stricts, le manque de personnel recrutés et formés au protocole de recherche ainsi que les contraintes imposées par l'école ont rendu difficile l'élargissement de la population. .

De plus, lors de la mise en place du projet, nous avons été au départ confrontés à la difficulté de trouver une salle au calme pour mettre en place nos traitements. En plus, de cette difficulté, il a fallu convaincre l'équipe soignante d'inclure leur patient dans les groupes de traitement et modifier leur prise en charge en fonction du protocole assigné ce qui n'a pas toujours été facile du fait des avis divergeant quand à la réalisation des protocoles de recherche. Nous avons également vérifié que les évaluateurs des différents sites utilisaient les mêmes outils d'évaluation comme par exemple le Jamar® pour la mesure de la force de préhension. Les évaluateurs ont reçu un formulaire pour chaque évaluations leur rappelant les consignes à donner aux patients et la procédure à poursuivre pour le Box and Blocks Test, le Nine Hole Peg et la force de préhension avec l'utilisation du Jamar® mais nous n'avons pu vérifier s'ils été respectées. Lors du déroulement des traitements, des séances ont été annulées car les patients avaient des rendez-vous médicaux ce qui a nécessité de rattraper les séances manquées en réorganisant le planning des patients.

### **4.3. Interprétation des résultats et liens avec la littérature**

Dans cette étude pilote, nous avons comparé deux groupes de traitement composés de patients présentant une parésie au membre supérieure suite à un AVC, avec l'un bénéficiant d'une heure de rééducation conventionnelle et l'autre d'une demi heure de rééducation dans un environnement virtuel puis une autre demi heure de rééducation conventionnelle. L'analyse statistique semble montrer une amélioration dans les deux groupes si l'on compare les valeurs entre J0 et J45.

Les résultats obtenues sur :

- l'échelle FM-MS qui évalue la récupération motrice du MS parétique. C'est une échelle spécifique du MS qui renferme plusieurs items comme les reflexes, les synergies de flexion et d'extension, les mouvements combinés, la dextérité grossière, la dextérité fine et la coordination et dont le score total est sur 66 ;
- l'Indice de Barthel qui est une échelle fonctionnelle globale qui évalue les AVQ sur un score total sur 100, elle n'est pas spécifique du MS
- et la Nine Hole Peg qui teste la dextérité fine dont la récupération est très tardive dans cette affection ; ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes de traitement de J0 à J45.

Néanmoins, il semble y avoir une différence significative des deux traitements en faveur du protocole RV de J0 à J45 sur :

- la force de préhension ( $p < 0.001$ ) qui objective la récupération des performances du patient ;
- la Frenchay Arm Test ( $p < 0.05$ ) qui est une échelle qui objective la récupération fonctionnelle du MS parétique, dont le score total est sur 5 ;
- et l'échelle Box And Block Test ( $p < 0.01$ ) qui évalue la dextérité grossière et qui est un indicateur de récupération fonctionnelle.

Une méta-analyse [33] visant à déterminer les bénéfices de la réalité virtuelle sur la récupération motrice du membre supérieur chez des patients post AVC, conclu que sur les 35 études identifiées, 12 répondaient aux critères d'inclusion et de non inclusions des participants. Parmi elles, il y avait 5 essais cliniques randomisés et 7 études d'observations conçues en pré et post intervention. La durée des interventions s'est étalée sur 4 à 6 semaines dans 9 de ces études et sur 2 à 3 semaines dans les 3 autres. Onze des 12 études ont montré un avantage significatif en faveur de la réalité virtuelle sur l'échelle de la Fugl-Meyer. Aucune différence significative n'a été observée sur le Box And Block Test. Parmi les études d'observation, il y a eu une amélioration de 14,7% sur l'échelle de la Mesure d'indépendance fonctionnelle et une amélioration de 20,1% sur la Fugl-Meyer. Cette étude conclue que la réalité virtuelle semblerait être un adjuvant à la rééducation conventionnelle.

Une autre étude [35], plus récente (novembre, 2013) et se rapprochant de notre protocole a été effectué sur un grand nombre de participant (376 sujets).

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité de la réalité virtuelle sur la récupération motrice et fonctionnelle du membre supérieur parétique chez les patients post AVC. Dans cette étude, les patients ont été répartis dans deux groupes de traitement, l'un recevant une rééducation conventionnelle seule et l'autre d'une rééducation dans un environnement virtuel couplé à de la rééducation conventionnelle. Les programmes de traitement ont été composés de 2 heures de traitement quotidien, 5 jours par semaine pendant 4 semaines. Les critères d'évaluation étaient la Fugl-Meyer pour le membre supérieur (FM-MS) et la MIF. Les résultats ont montré que les deux groupes ont amélioré les scores du FM-MS et de la MIF, et que l'amélioration dans le groupe RV était significativement supérieure à celle obtenue dans le groupe CV. Cette étude semble montrer une efficacité de la réalité virtuelle.

Similairement à ces différentes études, nous avons pu constater une amélioration de la fonction motrice du membre supérieure entre J0 et J45. Cependant nos résultats statistiques ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes de traitement sur le FM-

MS qui est l'échelle en commun avec ces études. Nous n'avons pas retrouvé d'étude prenant comme critère d'évaluation le Frenchay Arm Test, le Nine Hole Peg, l'indice de Barthel ou la force de préhension.

#### **4.4 Vérification de l'hypothèse :**

L'hypothèse soulevée au début de cette étude cherchait à savoir si l'utilisation du logiciel de rééducation dans un environnement virtuel combinée avec la rééducation conventionnelle avait un effet sur la récupération motrice et fonctionnelle du membre supérieur parétique chez les patients en post AVC.

A l'issue de l'étude menée et en vue des résultats, nous n'avons pas observé de différence significative entre les deux groupes de traitement de J0 à J45 sur le critère d'évaluation principale qui objective la récupération motrice du membre supérieure parétique. Cependant nous retrouvons une différence significative sur trois des cinq critères d'évaluation secondaire : le BAPT qui objective la dextérité grossière, la force de préhension et sur l'échelle fonctionnelle du Frenchay Arm Test.

Nous pouvons suggérer que l'utilisation de la réalité virtuelle semble avoir un impact sur l'amélioration de la fonction motrice du membre supérieur parétique chez les patients post AVC. La réalité virtuelle peut être suggérée comme adjuvant à la rééducation conventionnelle.

#### **4.5. Biais de l'étude**

Le nombre total de patients ayant finalement participé à l'étude est de dix. Cet échantillon semble insuffisant pour obtenir de résultats robustes. La population aurait été plus représentative avec davantage de patients et les résultats auraient été certainement plus probants.

Les évaluateurs avaient connaissance du traitement de chaque patient, il n'y a donc pas eu de procédure en aveugle et un même intervenant s'est occupé du traitement du groupe RV.

#### **4.6. Pistes pour de futures recherches**

Nous proposons un ensemble de perspectives à ce travail qui pourraient faire l'objet de futurs travaux. Nous avons effectué des évaluations sur un petit nombre de patient par conséquent, nous souhaitons tester ce protocole sur un plus grand nombre de sujet.

En ce qui concerne l'utilisation du logiciel de réalité virtuelle, nous aimerions l'améliorer par l'utilisation d'un avatar virtuel, afin de favoriser davantage la plasticité neuronale.

Enfin, nous aimerions introduire des capteurs permettant de visualiser l'activité cérébrale pendant les séances de rééducation pour mettre en avant les phénomènes de la plasticité cérébrale.

#### **4.7. Apport personnels de ce travail**

Mettre en place un projet de recherche a été une expérience très enrichissante. Cette démarche d'initiation à la recherche s'est déroulée sur une longue période et à demander une grande implication de notre part. Elle nous a permis de nous familiariser avec la littérature concernant notre sujet, d'acquérir une rigueur méthodique, d'effectuer des démarches auprès de différents intervenants, de savoir défendre son projet pour pouvoir le mettre en place, de surmonter chacune des difficultés mais surtout de savoir anticiper chaque évènement pour la bonne réalisation du projet. Cette initiation à la recherche nous a également permis de nous impliquer davantage dans notre formation en défendant nos idées découlant de notre connaissance, nos compétences mais aussi de notre proximité avec les patients.

Le travail pluridisciplinaire nous a permis d'approfondir et d'exploiter aux mieux nos échanges de connaissances concernant le thème de l'étude.

### **5. Conclusion**

Dans cette étude, nous avons évalué l'efficacité de la réalité virtuelle combinée à la rééducation conventionnelle en comparaison avec la rééducation conventionnelle seule auprès de deux groupes de patients post AVC atteints de parésie au membre supérieur.

Les deux groupes de patients étaient bien équilibrés en ce qui concerne le sexe, l'âge, le type d'accident vasculaire cérébral, l'hémisphère atteint et la gravité des déficiences. Tous les patients inclus dans les deux protocoles ont terminés leur programme de rééducation assigné.

Aucun des patients du protocole RV ne s'est plaint d'effets indésirables (trouble visuel, nausées, maux de tête ou d'autres malaises habituellement rapportés par rapport à l'utilisation d'équipements immersifs) [36].

A la fin du traitement les patients ont augmenté leur performance par rapport aux valeurs initiales. Les améliorations observées sur la Frenchay arm test, le box and block test et la force de préhension sont significativement plus élevées dans le groupe traité avec la réalité virtuelle par rapport au groupe traité avec la rééducation conventionnelle seule entre J0 et J45 ce qui plaide à l'utilisation de nouvelles technologies dans le cadre de la prise en charge des patients post-AVC.

## 6. Listes de références bibliographiques

1. Launois, R., et al., Estimating the cost-effectiveness of stroke units in France compared with conventional care. *Stroke*, 2004. 35(3): p. 770-5.
2. Woimant F. Epidemiologie des accidents vasculaires cerebraux. *Impact medecin hebdo* 1998; 411: 4.
3. Colebatch JG, Gandevia S. The distribution of muscular weakness in upper motor neuron lesions affecting the arm. *Brain* 1989; 112: 749-63.
4. Heller A, Wade DT, Wood VA, Sunderland A, Hewer RL, Ward E. Arm function after stroke: measurement and recovery over the first three months. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1987; 50: 714-9.
5. Nakayama H, Jorgensen HS, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of upper extremity function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75: 394-8.
6. Chollet F, DiPiero V, Wise RJ, Brooks DJ, Dolan RJ, Frackowiak RS. The functional anatomy of motor recovery after stroke in humans: a study with positron emission tomography. *Ann Neurol* 1991; 29: 63-71.
7. Weiller C, Ramsay SC, Wise RJ, Friston KJ, Frackowiak RS. Individual patterns of functional reorganization in the human cerebral cortex after capsular infarction. *Ann Neurol* 1993; 33: 181-9.
8. Baumer T, Bock F, Koch G, Lange R, Rothwell JC, Siebner HR, et al. Magnetic stimulation of human premotor or motor cortex produces interhemispheric facilitation through distinct pathways. *J Physiol* 2006; 572: 857-68.

9. Hanajima R, Ugawa Y, Machii K, Mochizuki H, Terao Y, Enomoto H, et al. Interhemispheric facilitation of the hand motor area in humans. *J Physiol* 2001; 531: 849-59.
10. Meyer BU, Roricht S, Graf von Einsiedel H, Kruggel F, Weindl A. Inhibitory and excitatory interhemispheric transfers between motor cortical areas in normal humans and patients with abnormalities of the corpus callosum. *Brain* 1995; 118 (Pt 2): 429-40.
11. Liepert J, Hamzei F, Weiller C. Motor cortex disinhibition of the unaffected hemisphere after acute stroke. *Muscle Nerve* 2000; 23: 1761-3.
12. Langhorne P, Sandercock P, Prasad K. Evidence-based practice for stroke. *Lancet Neurol* 2009; 8: 308-9.
13. Biernaskie J, Chernenko G, Corbett D. Efficacy of rehabilitative experience declines with time after focal ischemic brain injury. *J Neurosci* 2004; 24: 1245-54.
14. Nudo RJ, Wise BM, SiFuentes F, Milliken GW. Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science* 1996; 272: 1791-4.
15. Ferbert A, Priori A, Rothwell JC, Day BL, Colebatch JG, Marsden CD. Interhemispheric inhibition of the human motor cortex. *J Physiol* 1992; 453: 525-46.
16. Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW, 3rd, Fleming WC, Nepomuceno CS, et al. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 347-54.
17. Liepert J, Graef S, Uhde I, Leidner O, Weiller C. Training-induced changes of motor cortex representations in stroke patients. *Acta Neurol Scand* 2000; 101: 321-6.
18. Sirtori V, Corbetta D, Moja L, Gatti R. Constraint-induced movement therapy for upper extremities in stroke patients. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; CD004433.

19. Rossini PM, Tecchio F, Pizzella V, Lupoi D, Cassetta E, Pasqualetti P, et al. On the reorganization of sensory hand areas after mono-hemispheric lesion: a functional (MEG)/anatomical (MRI) integrative study. *Brain Res* 1998; 782: 153-66.
20. Rossini PM, Tecchio F, Pizzella V, Lupoi D, Cassetta E, Pasqualetti P. Interhemispheric differences of sensory hand areas after monohemispheric stroke: MEG/MRI integrative study. *Neuroimage* 2001; 14: 474-85.
21. Reis J, Swayne OB, Vandermeeren Y, Camus M, Dimyan MA, Harris-Love M, et al. Contribution of transcranial magnetic stimulation to the understanding of cortical mechanisms involved in motor control. *J Physiol* 2008; 586: 325-51.
22. Ottenbacher KJ, Jannell S. The results of clinical trials in stroke rehabilitation research. *Arch Neurol* 1993; 50: 37-44.
23. Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol* 2006; 19: 84-90.
24. Piron L, Turolla A, Agostini M, Zucconi CS, Ventura L, Tonin P et al. Motor learning principles for rehabilitation: a pilot randomized controlled study in poststroke patients. *Neurorehabil Neural Repair* 2010, 24:501-508.
25. Tombari D, Loubinoux I, Pariente J, Gerdelat A, Albucher JF, Tardy J, et al. A longitudinal fMRI study: in recovering and then in clinically stable sub-cortical stroke patients. *Neuroimage* 2004; 23: 827-39.
26. Krakauer JW. Arm function after stroke: from physiology to recovery. *Semin Neurol* 2005 ; 25: 384-95.
27. Kwakkel G, Wagenaar RC, Koelman TW, Lankhorst GJ, Koetsier JC. Effects of intensity of rehabilitation after stroke. A research synthesis. *Stroke* 1997; 28: 1550-6.
28. Winstein CJ. Knowledge of result and motor learning- implications for physical therapy. *Phys Ther* 1991; 71: 140-9.

29. Kwakkel G, van Peppen R, Wagenaar RC, Wood Dauphinee S, Richards C, Ashburn A, et al. Effects of augmented exercise therapy time after stroke: a meta-analysis. *Stroke* 2004; 35: 2529-39.
30. Biernaskie J, Corbett D. Enriched rehabilitative training promotes improved forelimb motor function and enhanced dendritic growth after local ischemic injury. *J Neurosci* 2001; 21(14): 5272-
31. Buma FE, Lideman E, Ramsay NF, Kwakkel G. Functional neuroimaging studies of early upper limb recovery after stroke: a systematic review of the literature. *Neurorehabil Neural Repair* 2010, 24: 589-608.
32. Hendersen A, Korner-Bitensky N, Levin M. Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery.
33. Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev* 2011, 9: CDOO8349.
34. Todorov E, Shadmehr R, Bizzi E. Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *J Mot Behav* 1997; 29: 147-158.
35. Turolla A, Dam M, Ventura L, Tonin P, Agostini M, Zucconi C et al. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *J Neuroeng Rehab.* 2013; 10-85.
36. Saposnik, G, et al. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke* 2010; 41(7): 1477-84.
37. Lehrer N, Attygalle S, Wolf L, Rikakis T. Exploring the bases for a mixed reality stroke rehabilitation system, Part I: A unified approach for representing action quantitative evaluation and interactive feedback. *J Neuroeng* 2011.

38. Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav* 2005; 8:187-211.
39. Jang SH, You SH, Hallet M, Cho YW, Park CM, Cho SH et al. Cortical reorganization and associated functional motor recovery after visual reality in patients with chronic stroke: an experimenter-blind preliminary study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2005; 86(11):2218-23.
40. Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Teglund S. The post-stroke hemiplegic patient. I. a method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med*. 1975; 7:13-31.
41. Bourbonnais D, Vanden Noven S, Pelletier R. Incoordination in patients with hemiparesis. *Canadian Journal of Public Health*. 1992; 83:558-62.
42. Butefisch C, Hummelstein H. Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J of neurological sciences*. 1995; 130:59-62.
43. Gracies JM. Autoprise en charge du membre supérieur chez l'hémiplégique : expérience pilote d'un programme intensif d'étirements et de mouvements alternatifs rapides à domicile au long cours. *Ann Med Phys* 2003; 46(7):429.
44. Gracies JM, Blondel R, Gault-Colas C, Bayle N. Contrat d'Autorééducation Guidée dans la parésie spastique. De Boeck éditions, ©Association Neuroréducation en Mouvement, 2013 ; 108p, ISBN 978-2-35327-169-6.
45. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther*, 1985; 39(6):386-91.
46. Mahoney FI, Barthel DW. Functional Evaluation: The Barthel Index. *Md State Med J*, 1965; 14:61-5.

47. Clark SA, Allard T, Jenkins WM, Merzenich M. Receptive fields in the body-surface map in adult cortex defined by temporally correlated inputs. *Nature* 1988; 332:61-63.
48. Wang X, Merzenich M, Sameshima K, Jenkins MW. Remodelling of hand representation in adult cortex determined by timing of tactile stimulation. *Nature* 1995; 378:71-75.
49. Vaynman S, Yinng Z, Gomez-Pinilla F. Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *J Neurosc* 2004; 20:2580-90.
50. Kilgard MP, Merzenich M. Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity. *Science* 1998; 279(5357):1714-18.
51. Hartveld A, Hegarty J. Augmented Feedback and Physiotherapy Practice. *Physiotherapy* 1996; 82:480-90.
52. Maclean N, Pound P. A critical review of the concept of patient motivation in the literature on physical rehabilitation. *Social Science & Medicine* 2000; 50:495-506.
53. Deci E, Ryan R. *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior.* Springer. 1985.
54. Merians AS, Poizner H, Boian R, Burdea G, Adamovich S. Sensorimotor training in a virtual reality environment: does it improve functional recovery poststroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2006 ; 20:252-67.
55. Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation. *Review Cyberpsychol Behav* 2005; 8: 87-211.
56. Todorov E, Shadmur R, Bizzi E. Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *J Motor Behav* 1997; 29: 147-58.
57. Kilgard MP, Merzenich M, Cortical Map reorganization enabled by nucleus basalis activity. *Science* 1998;279(5357):1714-18

## **7. ANNEXES**

ANNEXE I : Certificat de conformité

ANNEXE II : Formulaire de consentement

ANNEXE III : Calibrages des capteurs

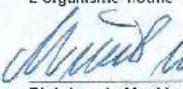
ANNEXE IV : Randomisation des patients

ANNEXE V : Échelles d'évaluations cliniques

ANNEXE VI : Les tableaux des statistiques descriptives

ANNEXE VII : Voie pyramidale

## ANNEXE I : Certificat de conformité

 <b>CERTIFICAT</b> Directive Européenne 93/42/CEE, Annexe V, Article 3 Système d'Assurance Qualité de la Production	
N° d'enregistrement: DD 60023803 0001	
N° de rapport: 28408152 001	
<b>Fabricant:</b>	RM INGENIERIE Avenue de la Gineste 12033 Rodez Cedex 9 France
<b>Domaine de validité:</b>	Aspects de la fabrication liés à la conformité des produits aux exigences métrologiques pour les dispositifs médicaux suivants:  Systèmes d'analyse et de rééducation par biofeedback
<b>Date d'expiration:</b>	13.01.2014
<p>L'organisme notifié approuve ici le système de gestion de qualité mis en place et appliqué par le fabricant. Les exigences de l'annexe V, article 3, sont remplies. Le fabricant est soumis au contrôle CE conformément à l'annexe V, article 4 de la Directive. Le titulaire de cette autorisation est en droit de l'utiliser dans le cadre de sa déclaration de conformité de fabricant.</p>	
<b>L'organisme notifié</b>	 Dipl.-Ing. I. Munkler
<b>Cologne, 14.01.2009</b>	
<b>TÜV Rheinland Product Safety GmbH - Am Grauen Stein - D-51105 Köln</b> Accrédité par la Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik (ZLS) et par le Zentralstelle der Länder für Gesundheitsschutz bei Arzneimitteln und Medizinprodukten (ZLG). Notifié sous le n° 0197 à la Commission Européenne	
CE Le marquage CE peut être apposé si les exigences des directives applicables sont respectées CE	

## ANNEXE II : Formulaire de consentement

<b>FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ</b>
---

Nom de l'étude :

Je soussigné(e),

Nom : .....

Prénom : .....

Date de naissance : .....

Déclare avoir pris connaissance des modalités de participation de l'étude décrites ci-dessous :

- J'ai pris connaissance de l'objectif et du déroulement de l'étude par la fiche d'information.
- J'ai pu poser toutes les questions que je voulais et j'ai reçu des réponses.
- Ma participation à l'étude est libre et volontaire et si je le souhaite, je peux me retirer à tout moment sans encourir aucune responsabilité.
- Aucune rémunération ne sera attribuée aux intervenants de l'étude.
- Le test n'aura aucun effet indésirable sur ma santé.
- Les données recueillies seront anonymes et ne seront utilisées qu'à des fins scientifiques.
- J'ai eu en ma possession un exemplaire de la fiche d'information et du formulaire de consentement.
- J'ai lu ce formulaire et accepte de participer à l'étude clinique.

Fait à .....

Le .....

Signature du (de la) patient(e)

Précédé de la mention

« Lu et approuvé »

Signature de l'intervenant

Précédé de la mention

« Lu et approuvé »

## Annexe III : Calibrages des capteurs

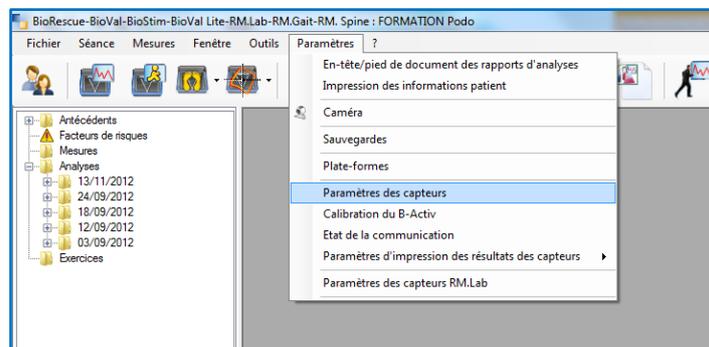
### Calibrage des capteurs

Les capteurs BioVal intègrent des magnétomètres qui demandent à être calibré régulièrement pour garantir des mesures fiables et reproductibles surtout si vous vous avez tendance à les déplacer à proximité de sources magnétiques (ex : clés, portables, etc.).

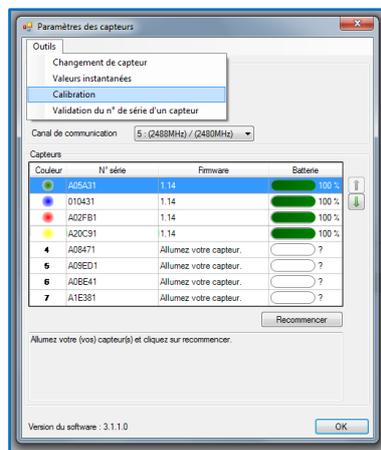
Une calibration des capteurs une fois par semaine est optimale.

*Dans le logiciel*

1. Allumer les capteurs.
2. Aller sur l'onglet Paramètres puis cliquez sur Paramètres des capteurs.



3. Sélectionner le capteur à calibrer puis aller sur l'onglet outil et calibration



4. Suivre la procédure de calibration et répéter les étapes pour tous les capteurs

## ANNEXE IV : Randomisation des patients

Si  $n > 0.5$   
 RV  
 Groupe 0  
 CV  
 Group 1 RV

Si  $\leq 0.5$  Cvpur

**Sujet 1**  
**Sujet 2**  
**Sujet 3**  
**Sujet 4**  
**Sujet 5**  
**Sujet 6**  
**Sujet 7**  
**Sujet 8**  
**Sujet 9**  
**Sujet 10**  
**Sujet 11**  
**Sujet 12**  
**Sujet 13**  
**Sujet 14**  
**Sujet 15**  
**Sujet 16**

	CV	RV
0,40981438	1	
0,9185296		1
0,67497013		1
0,16720489	1	
0,789734		1
0,23800423	1	
0,17150868	1	
0,10229276	1	
0,59905161		1
0,82892184		1
0,28220098	1	
0,7250674		1
0,79737338		1
0,95446763		1
0,59147614		1
0,03475759	1	
	<b>7</b>	<b>9</b>

## ANNEXE V : Échelles d'évaluations cliniques

### I-ÉCHELLE FUGL-MEYER POUR LE MEMBRE SUPÉRIEUR

*Fugl-Meyer Assessment of Physical Performance*

**Upper Extremity Motor**

**Date du test:**

Position	Attained Score/ Maximum Possible Score	Test	Scoring Criteria
Sitting	/4	<b>I. Reflexes</b>  Biceps /2 Triceps /2	No reflex activity can be elicited = 0  Reflex activity can be elicited = 2
	/12	<b>II. Flexor synergy</b> Elevation /2 Shoulder retraction /2 Abduction (at least 90°) /2 External rotation /2 Elbow flexion /2 Forearm supination /2	Cannot be performed at all = 0  Performed partly = 1  Performed faultlessly = 2
	/6	<b>III. Extensor Synergy</b> Shoulder adduction/internal rotation /2 Elbow extension /2 Forearm pronation /2	Cannot be performed at all = 0  Performed partly = 1  Performed faultlessly = 2
	/6	<b>IV. Movement Combining Synergies</b> (a) Hand to lumbar spine /2	a) No specific hand action performed = 0  Hand must pass anterior superior iliac spine = 1  Action is performed faultlessly = 2
			b) Shoulder flexion to 90° elbow at 0° /2  b) Arm is immediately abducted or elbow flexes at start of motion = 0  Abduction or elbow flexion occurs in later phase of motion = 1  Faultless motion = 2
			c) Pronation/supination of forearm with elbow at 90° and shoulder at 0° /2  c) Correct position of shoulder and elbow cannot be attained, and/or pronation or supination cannot be performed at all = 0  Active pronation or supination can be performed even within a limited range of motion, and at the same time the shoulder and elbow are correctly positioned. = 1 Complete pronation and supination with correct positions at elbow and shoulder = 2

	/6	<b>V. Movement Out of Synergy</b> (a) Shoulder abduction to 90° elbow at 0° and forearm pronated /2	(a) Initial elbow flexion occurs or any deviation from pronated forearm occurs = 0  Motion can be performed partly, or if during motion, elbow is flexed or forearm cannot be kept in pronation = 1  Faultless motion = 2
		(b) Shoulder flexion to 90° elbow at 0° /2	(b) Initial flexion of elbow or shoulder abduction occurs = 0  Elbow flexion or shoulder abduction occurs during shoulder flexion = 1  Faultless motion = 2
		(c) Pronation/supination of forearm with elbow at 90° and shoulder at 0° /2	(c) Supination and pronation cannot be performed at all or elbow and shoulder position cannot be attained = 0  Elbow and shoulder properly positioned and pronation and supination performed in a limited range = 1  Faultless motion = 2
	/2	<b>VI. Normal Reflex Activity</b> Biceps and/or finger flexors and triceps /2  (This component is included only if the patient has a score of 6 for component V)	At least 2 of the 3 phasic reflexes are markedly hyperactive = 0  One reflex markedly hyperactive or at least 2 reflexes are lively = 1  No more than one reflex is lively and none are hyperactive = 2
Wrist	/10	<b>VII.</b> (a) ° /2	(a) Patient cannot dorsiflex wrist to required 15° = 0  Dorsiflexion is accomplished, but no resistance is taken = 1  Position can be maintained with some (slight) resistance = 2
		(b) Flexion/extension, elbow at 90°, shoulder at 0° /2	(b) Volitional movement does not occur = 0  Patient cannot actively move the wrist joint throughout the total ROM = 1  Faultless, smooth movement = 2
		(c) Stability, elbow at 0°, shoulder at 30° /2	(c) Patient cannot dorsiflex wrist to required 15° = 0  Dorsiflexion is accomplished, but no resistance is taken = 1  Position can be maintained with some (slight) resistance = 2
		(d) Flexion/extension, elbow at 0°, shoulder at 30° /2 (e) Circumduction /2	(d) Volitional movement does not occur = 0  Patient cannot actively move the wrist joint throughout the total ROM = 1  Faultless, smooth movement = 2

			(e) Cannot be performed = 0 Jerky motion or incomplete circumduction = 1 Complete motion with smoothness = 2
Hand	/14	<b>VIII.</b> (a) Finger mass flexion /2	a) No flexion occurs = 0 Some flexion, but not full motion = 1 Complete active flexion (compared with unaffected hand) = 2
		(b) Finger mass extension /2	(b) No extension occurs = 0 Patient can release an active mass flexion grasp = 1 Full active extension = 2
		(c) Grasp #1—MP joints extended and PIPS & DIPS are flexed. Grasp is tested against resistance /2	(c) Required position cannot be acquired = 0 Grasp is weak = 1 Grasp can be maintained against relatively great resistance = 2
		(d) Grasp #2—Patient is instructed to adduct thumb, 1st carpometacarpophalangeal and interphalangeal joint at 0° /2	(d-g) Function cannot be performed = 0 Scrap of paper interposed between the thumb and index finger can be kept in place, but not against a slight tug = 1 Paper is held firmly against a tug = 2
		(e) Grasp #3—Patient opposes the thumb pad against the pad of index finger. A pencil is interposed /2	
		(f) Grasp #4—The pateint should grasp a cylinder- shaped object (small can), the volar surface of the 1st and 2nd finger against each othe /2	
		(g) Grasp #5—A spherical grasp /2	
	/6	<b>X Coordination/Speed—Finger-to-nose (five repetitions in rapid succession)</b> (a) Tremor /2	a) Marked tremor = 0 Slight tremor = 1 No tremor = 2
		(b) Dysmetria /2	(b) Pronounced or unsystematic dysmetria = 0 Slight or systematic dysmetria = 1 No dysmetria = 2
		(c) Speed /2	c) Activity is more than 6 seconds longer than unaffected hand = 0 2 to 5 seconds longer than unaffected hand = 1 Less than 2 seconds difference = 2
<b>/66</b>		<b>Total Upper Extremity Motor Score</b>	

## II-INDICE DE BARTHEL

### Indice de BARTHEL

Etiquette

Date : 14 / 01 / 2004 .

Examineur : S. MICHAÏLE .

Alimentation	10	Indépendant
	5	Avec aide (pour couper)
	0	Impossible
Toilette	10	Peut se baigner seul
	5	Se rase, se peigne, se lave le visage
	0	Impossible
Habillage	10	Indépendant
	5	Avec aide modérée
	0	Impossible
Vessie	10	Parfaitement contrôlée
	5	Problèmes occasionnels
	0	Problèmes constants
Selles	10	Parfaitement contrôlées
	5	Problèmes occasionnels
	0	Problèmes constants
Utilisation des WC	10	Indépendant
	5	Aide partielle
	0	Totalement dépendant
Transferts Lit - Chaise	15	Indépendant
	10	Aide minimale ou surveillance
	5	Peut s'asseoir mais doit être installé
0	Impossible	
Déambulation	15	Indépendant sur 50 m.
	10	Avec aide sur 50 m.
	5	50 m. en fauteuil roulant
0	Impossible	
Escaliers	10	Indépendant
	5	Aide ou surveillance atténuée
	0	Impossible

Total : \_\_\_\_\_ / 100.

Nom :

Latéralité :

Coté lésé :

date                      J0                      J+45

Score /100

Commentaire :

### III-FRENCHAY ARM TEST

Le malade est impliqué dans cinq tâches successives, uni ou bi-manuelles. Ce test mesure l'approche et la préhension de façon simple et reproductible. Mais il n'est utilisable que pour des patients ayant une bonne récupération de la commande volontaire. L'examineur note simplement le nombre d'épreuves réalisées avec succès (de 0/5 à 5/5).

Date :

Nom :

Latéralité :

Coté lésé :

Descriptif	Score	
	J0	J45
Stabiliser une règle pendant que l'autre main tire un trait		
Prendre et lâcher un demi-cylindre d'un demi-pouce		
Porter un verre à moitié rempli d'eau à la bouche et boire dedans		
Retirer et replacer une pince à linge sur un bâton de 10 mm de diamètre		
Se peigner les cheveux		
Score total /5	/5	/5

## IV- BOX AND BLOCK TEST

Nom :

Latéralité :

Coté lésé :

date	J0		J+45	
	droite	gauche	droite	gauche
Score /min				

Commentaire :

## V-NINE HOLE PEG

Ce test a été validé pour la SEP, et de manière générale n'est utilisable que pour les personnes ayant des déficits partiels modérés. Il n'est pas indiqué à la phase initiale de récupération des lésions graves du SNC.

### Matériel

9 chevilles en bois de 9 mm de diamètre et 32 mm de long ; cadre en bois de 9 trous (10 mm de diamètre, 15 mm de profondeur) espacés de 15 mm l'un de l'autre en trois rangées de 3 trous. Couvercle à proximité du cadre, avec un plateau de 100 mm de côté.

### Réalisation

Patient assis à table, on lui demande de placer les chevilles dans les trous. L'examineur chronomètre le temps du démarrage à la fin de la tâche, mais peut arrêter à 50 secondes et enregistre le nombre de pions mis en place dans les trous.

### Résultats

Le nombre de secondes nécessaires pour mettre en place l'ensemble des chevilles dans les trous ou le nombre de chevilles mises en place en 50 secondes.

La normale est de 18 secondes pour les neuf chevilles.

Nom :

Latéralité :

Coté lésé :

date	J0		J+45	
	droite	gauche	droite	gauche
Score /sec				

Commentaires :

## VI- FORCE DE PRÉHENSION

Nom :

Latéralité :

Coté lésé :

date	J0		J+45	
	droite	gauche	droite	gauche
Valeur 1				
Valeur 2				
Valeur 3				
Moyenne (kg)				

Commentaire :

## ANNEXE VI : Les tableaux des statistiques descriptives

**Tableau I : Données sur le sexe et l'âge des participants.**

	Groupe CV n= 5	Groupe RV n= 5
Nombre de femmes	<b>2</b>	<b>2</b>
Nombre d'hommes	<b>3</b>	<b>3</b>
Age minimum (ans)	<b>69</b>	<b>67</b>
Age maximum (ans)	<b>81</b>	<b>80</b>
Moyenne d'âge (ans)	<b>76</b>	<b>74.6</b>
Écart moyen d'âge intergroupe (en %)		
Écart type d'âge au sein de chaque groupe		

**Tableau II. Caractéristiques cliniques des patients**

Sujet	Protocole	Sexe	Age (ans)	Type d'AVC	Côté parétique	Délai post-lésionnel (mois)	Spasticité du membre supérieur
2	RV	F	79	hémorragique	G	3	1+: fléchisseurs coude, poignet et doigts. pronateurs de l'avant bras
3	RV	M	74	ischémique	G	6	2: fléchisseurs coude, poignet et doigts. pronateurs de l'avant bras
5	RV	M	67	ischémique	G	36	1+: fléchisseurs coude, poignet et doigts. pronateurs de l'avant bras
8	RV	F	73	ischémique	G	3	2: fléchisseurs coude, poignet et doigts pronateurs de l'avant bras
9	RV	M	80	ischémique	G	1	1+: fléchisseurs du coude , poignet et des doigts
1	CV	F	78	ischémique	G	3	1+: fléchisseurs coude, poignet et doigts pronateurs de l'avant bras
4	CV	M	71	ischémique	G	36	2: fléchisseurs du coude, poignet doigts
6	CV	F	81	ischémique	G	2	1+: fléchisseurs coude, poignet et doigts pronateurs de l'avant bras
7	CV	M	69	ischémique	G	6	1+: fléchisseurs coude, poignet et doigts pronateurs de l'avant bras
10	CV	M	81	ischémique	G	1	1+: fléchisseurs du coude, poignet doigts

**Tableau III : Données sur le sexe et l'âge des participants.**

	Groupe CV	Groupe RV
	n= 5	n= 5
Nombre de femmes	<b>2</b>	<b>2</b>
Nombre d'hommes	<b>3</b>	<b>3</b>
Age minimum (ans)	<b>69</b>	<b>67</b>
Age maximum (ans)	<b>81</b>	<b>80</b>
Moyenne d'âge (ans)	<b>76</b>	<b>74.6</b>
Écart moyen d'âge intergroupe (en %)		
Écart type d'âge au sein de chaque groupe		

**Tableau IV : statistiques descriptives de la FM-MS**

	CV		RV	
	J0	J45	J0	J45
<b>Moyenne</b>	47.40000	52.20000	42.20000	53.40000
<b>Écart-type</b>	5.792236	5.191339	5.792236	5.191339
<b>Minimum</b>	26	34	19	37
<b>Maximum</b>	56	64	53	65
<b>Étendue</b>	30	30	34	28

**Tableau V :** Caractéristiques des scores de l'Indice de Barthel en fonction des traitements de J0 à J45.

	CV		RV	
	J0	J45	J0	J45
<b>Moyenne</b>	67.00000	72.00000	64.00000	72.00000
<b>Écart-type</b>	9.937303	9.096703	9.937303	9.096703
<b>Minimum</b>	30	40	25	35
<b>Maximum</b>	80	90	80	90
<b>Étendue</b>	50	50	55	55

**Tableau VI :** Caractéristiques des scores sur le Frenchay Arm Test en fonction des traitements de J0 à J45.

	CV		RV	
	J0	J45	J0	J45
<b>Temps (jours)</b>	J0	J45	J0	J45
<b>Moyenne</b>	4.200000	4.200000	4.000000	4.600000
<b>Écart-type</b>	0.346410	0.316228	0.346410	0.316228
<b>Minimum</b>	3	4	3	4
<b>Maximum</b>	5	5	5	5
<b>Étendue</b>	2	1	2	1

**Tableau VII : Performance moyenne sur l'échelle Nine Hole Peg des deux traitements de J0 à J45.**

	CV		RV	
	J0	J45	J0	J45
<b>Moyenne</b>	30.05667	28.85667	35.69667	24.95667
<b>Écart-type</b>	5.643819	3.016650	5.643819	3.016650
<b>Minimum</b>	26.01	25.03	27.54	18.37
<b>Maximum</b>	32.07	32.17	51.13	31.27

**Tableau VIII : Caractéristiques des scores moyens sur la Box and Block Test en fonction des traitements de J0 à J45.**

	CV		RV	
	J0	J45	J0	J45
<b>Moyenne</b>	20.80000	26.20000	17	31.40000
<b>Écart-type</b>	6.099180			6.127805
<b>Minimum</b>	0	10	0	16
<b>Maximum</b>	36	38	31	54
<b>Étendue</b>	36	28	31	38

**Tableau IV : Caractéristiques des scores moyens de la force de préhension en fonction des traitements de J0 à J45.**

	CV		RV	
	J0	J45	J0	J45
<b>Moyenne</b>	22.40000	23.60000	22.8000	29.80000
<b>Écart-type</b>	5.962382	5.839521	5.962382	5.839521
<b>Minimum</b>	6	9	5	15
<b>Maximum</b>	35	36	15	51
<b>Étendue</b>	29	27	10	36

## ANNEXE VII: Voie pyramidale

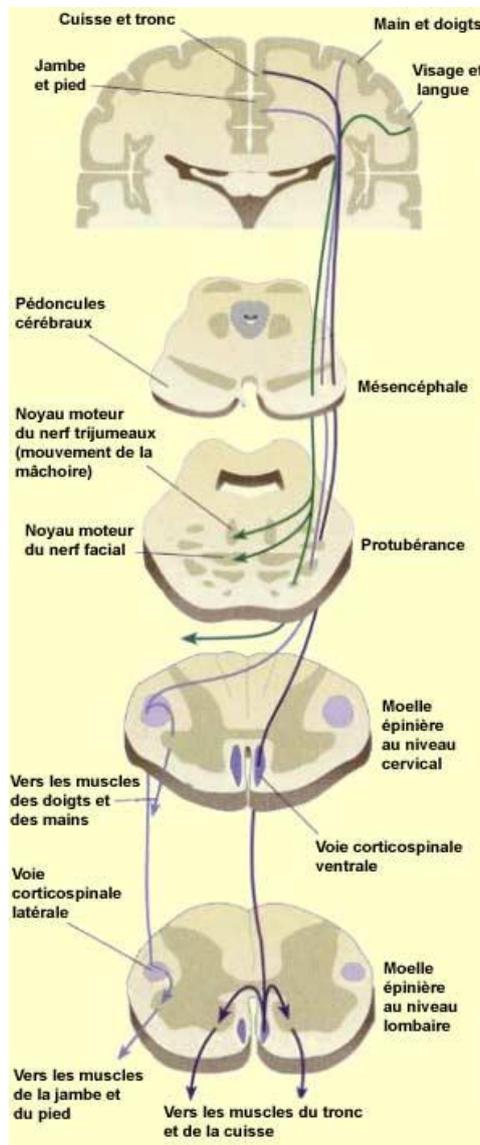


Figure 1 : Voie pyramidale

