



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



**Institut de Formation en Masso–Kinésithérapie
Pour Déficients de la Vue**

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie
Présenté pour l'obtention du
Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie
par
LEBRE Olivier

**Efficacité de la thérapie miroir versus l'exosquelette Arméo® dans la
récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur chez le
patient hémiplegique : étude expérimentale et résultats préliminaires**

Efficiency of mirror therapy versus the Arméo® exoskeleton in the
functional recovery of the upper limb in hemiplegic patients: experimental
study and preliminary results

Directeur de mémoire
CHEVRIER Eric

2023
Session 1

Membres du jury

BENSAFI Mustafa

PARMENTIER Hélène



Président
FLEURY Frédéric

Vice-président CA
REVEL Didier

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. MAURIN Jean-Christophe

U.F.R de Médecine Lyon-Sud Charles Mérieux
Directrice
Pr BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques et
Biologiques
Directeur
Pr VINCIGUERRA Christine

Département de Formation et
Centre de Recherche en Biologie Humaine
Directeur
Pr SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Dr LUAUTE Jacques

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CEM)
Pr COCHAT Pierre



Institut de Formation en Masso–Kinésithérapie Pour Déficients de la Vue

Directrice CRP IFMKDV
Nathalie RIVAUX

Responsable Pédagogique IFMKDV
Isabelle ALLEGRE

Référents d'années
Sigolène LARIVIERE
Laurence EUVERTE
Chantal CHAFFRINGEON

Référent stage
Cédric CARRE ASK et Cycle 1
Chantal CHAFFRINGEON Cycle 2

Secrétariat Pédagogique
Patricia CONTINO
Manon TAM IM

CHARTRE ANTI-PLAGIAT DE LA DRDJSCS AUVERGNE-RHONE-ALPES

La Direction Régionale et Départementale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du préfet de région les diplômes paramédicaux et du travail social.

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.

Elles concernent l'ensemble des candidats devant fournir un travail écrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme d'État, qu'il s'agisse de formation initiale ou de parcours VAE.

La présente chartre définit les règles à respecter par tout candidat, dans l'ensemble des écrits servant de support aux épreuves de certification du diplôme préparé (mémoire, travail de fin d'études, livret2).

Il est rappelé que « le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou des idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité, par des guillemets appropriés et par une indication bibliographique convenable »⁸.

La contrefaçon (le plagiat est, en droit, une contrefaçon) **est un délit** au sens des articles L. 335-2 et L. 335-3 du code de la propriété intellectuelle.

Article 1 :

Le candidat au diplôme s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté ; 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 2 :

Le plagiaire s'expose à des procédures disciplinaires. De plus, en application du Code de l'éducation⁹ et du Code de la propriété intellectuelle¹⁰, il s'expose également à des poursuites et peines pénales.

Article 3 :

Tout candidat s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, cette chartre dûment signée qui vaut engagement :

Je soussigné(e) LEBRE Delphine

atteste avoir pris connaissance de la chartre anti-plagiat élaborée par la DRDJSCS Auvergne-Rhone-Alpes et de m'y être conformé(e)

Je certifie avoir rédigé personnellement le contenu du livret/mémoire fourni en vue de l'obtention du diplôme suivant : Diplôme d'Etat de masseur kinésithérapeute.

Fait à LYON Le 16/04/2023 Signature


Zér **Plagiat**

Remerciements :

A monsieur CHEVRIER Eric,

Pour avoir dirigé ce mémoire durant ces années. Merci pour votre investissement, votre disponibilité et vos précieux conseils tout au long de la rédaction. De votre temps et de votre disponibilité ainsi que votre enthousiasme et votre patience qui peut être m'orienteront un jour vers de la recherche.

A monsieur BENSAFI Mustafa et madame PARMENTIER Hélène,

Pour la lecture de ce mémoire, leurs présences durant la soutenance ainsi que pour leurs expertises et leurs évaluations.

A toute l'équipe de l'IFMK-DV et professeurs que nous avons eus,

Pour leurs accompagnements et leurs transmissions durant ces cinq années de formation.

A mes tuteurs et tutrices,

Philippe FIER, Sylvie OLIVERO, Jean SQUID, Adrian NOTARI BROCH, Stéphanie MUNIER, Lucas PIGNON, Clémence GARRONE, Emilie CARON, Yoann KEUNDJIAN et Yoann COSTANTINI,

Pour leur patience, leur bienveillance et leur pédagogie dont ils ont fait preuve durant mon encadrement et la transmission de leurs connaissances gage de la réussite de chacune de mes années.

A ma promotion et mes padawans,

Pour cette aventure que nous avons partagé ensemble tout au long de ces cinq années. Pour tous ces moments passés à vos côtés.

A ma mère,

Merci d'être là pour moi et d'avoir toujours cru en moi. Les mots ne seront jamais assez forts pour te remercier de tout l'amour que tu me donnes.

A ma famille

Merci pour votre présence, votre soutien depuis toutes ces années.

A mes amis,

Merci d'être à mes côtés, ils se reconnaîtront.

A Juliette,

Tant de choses à te dire mais tellement pas beaucoup de place pour le faire, simplement merci pour ces 5 années.

A Florence,

Pour avoir été la muse de ce mémoire.

Aux disparus,

A mon père Daniel, mon oncle Jean-Louis et ma Princesse Mélanie, des personnes parties trop tôt.

Liste des acronymes

ACFA : Arythmie Cardiaque à Fibrillation Auriculaire
ACSOS : Agression Cérébrale Secondaire d'Origine Systémique
AIT : Accident Ischémique Transitoire
ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé
AVC : Accident Vasculaire Cérébral
CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
CPP : Comité de Protection des Personnes
FMA-UL : Fugl Meyer Assessment Upper Limb (score Fugl Meyer Membre supérieur)
GDLB : Ganglions De La Base
HAS : Haute Autorité de Santé
HIC : Hémorragie Intracérébrale
HLH : Hémianopsie Latérale Homonyme
IC : Infarctus Cérébral
INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
IRMf : Imagerie à Résonance Magnétique Fonctionnelle
MAS : Modified Ashworth Scale (Echelle d'Ashworth modifiée)
MBI : Modified Barthel Index (Index de Barthel modifié)
MMSE : Mini Mental State Examination
NSU : Négligence spatiale unilatérale
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
RIPH : Recherche Impliquant la Personne Humaine
SDRC ; Syndrome Dououreux Régional Complexe
SFNV : Société Française Neuro Vasculaire
SNC : Système Nerveux Central
SNP : Système Nerveux Périphérique
UNV : Unité Neuro Vasculaire

Table des matières :

1	<i>Introduction</i>	1
1.1	Situation d'appel	1
1.2	Le système nerveux.....	1
1.2.1	Anatomie descriptive du système nerveux central.....	2
1.2.2	Anatomie vasculaire du système nerveux central	4
1.2.3	Les sous-systèmes du système nerveux et voies motrices	7
1.2.4	Neurones miroirs.....	9
1.3	L'accident vasculaire cérébral (AVC).....	10
1.3.1	Définition.....	10
1.3.2	Épidémiologie et facteurs de risques.....	11
1.3.3	Physiopathologie de l'AVC	12
1.4	Prise en soin de l'AVC.....	13
1.4.1	Prise en soin globale.....	14
1.4.2	Traitements de l'AVC.....	15
1.4.3	Autres traitements	15
1.5	AVC & Kinésithérapie	15
1.6	Rééducation fonctionnelle, réadaptation, réinsertion	16
1.7	Thérapie miroir & Exosquelette.....	17
1.7.1	Définitions	17
2	<i>Problématique</i>	18
3	<i>Matériels et méthodes</i>	19
3.1	Plan de l'essai	19
3.1.1	Description du type d'essai	19
3.1.2	Matériels	20
3.2	Participants	20
3.2.1	Critères d'éligibilité	20
3.2.2	Lieu et structure de recueil des données.....	21
3.3	Intervention	21
3.3.1	Groupe Thérapie miroir	22
3.3.2	Thérapie par assistance robotique Arméo®.....	23
3.3.3	Temps préparatoire pré séance	25
3.4	Critères de jugement.....	27
3.4.1	Critère de jugement principal	27
3.4.2	Critères de jugement secondaires	27
3.5	Taille de l'échantillon	27
4	<i>Analyse de données - statistiques</i>	29

4.1	Population	29
4.2	Mécanisme d'assignation secrète et mise en œuvre.....	29
4.3	Aveugle.....	29
4.4	Méthode statistique.....	30
4.4.1	Description des variables	30
4.4.2	Statistiques descriptives.....	30
4.4.3	Statistiques inférentielles.....	30
5	Résultats.....	32
5.1	Flux de participants.....	32
5.2	Risque de perte de suivi.....	32
5.3	Recrutement	33
5.4	Éléments juridiques.....	33
5.5	Données de l'étude	35
5.6	Effectifs analysés.....	36
5.6.1	Critères de jugements et estimations.....	36
5.6.2	Représentations graphiques des données recueillies.....	38
5.7	Résultats attendus	39
6	Discussion	39
6.1	Résultats attendus	39
6.2	Limitations (validité interne).....	41
6.2.1	Biais de sélection.....	41
6.2.2	Biais de classement.....	42
6.3	Généralisation (validité externe)	42
6.4	Interprétation.....	43
7	Conclusion.....	43
8	Bibliographie.....	45

Tableaux des figures :

Figure 1.	Arborescence du système nerveux.(Thibault, 2018)	2
Figure 2.	Subdivisions du système nerveux central (Thibault, 2018)	3
Figure 3.	Vue latérale du cerveau, scissures et sillons (Thibault, 2018)t.....	4
Figure 4.	Artères cervicales destinées à l'encéphale (Thibault, 2018).....	5
Figure 5.	Les artères carotides et vertébrales (Thibault, 2018)	6
Figure 6.	Vue ventrale du polygone de Willis (Thibault, 2018).....	7
Figure 7 :	Signes de l'AVC (France AVC, 2021)	14
Figure 8 :	Parcours de soin d'un patient post AVC (France AVC, 2021).....	14
Figure 8 :	Diagramme de flux des participants	33
Figure 10 :	Présentation graphique de la comparaison intergroupe du score FMA-UL entre T0 et T2 pour le groupe Arméo.....	39

Tables des tableaux :

Tableau I : Critères d'éligibilité.....	20
Tableau II : Récapitulatif Groupe Thérapie miroir	23
Tableau III: Récapitulatif Groupe Arméo	25
Tableau IV : Données descriptives des participants.....	35
Tableau V : Description moyenne des variables d'intérêt Groupe TM.....	36
Tableau VI : Description moyenne des variables d'intérêt Groupe Arméo®	36
Tableau VII : Résultats comparaison de moyennes intergroupes : Groupe TM / Groupe Arméo Test de Mann-Whitney	37
Tableau VIII ; Résultats comparaisons de moyennes intra-groupes : Groupe TM / Groupe Arméo Test ANOVA de Friedman	37

Résumé

Contexte : La thérapie miroir et la rééducation assistée par la robotique Arméo[®] ont toutes les deux prouvées leur efficacité pour améliorer la fonction motrice des membres supérieurs chez les patients atteints d'AVC subaigu en s'appuyant sur les réseaux de neurones miroirs.

Objectif : Cette étude cherche à démontrer l'efficacité de la thérapie miroir versus l'exosquelette Arméo[®] dans la récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur.

Méthode : La conception de l'étude était une étude monocentrique, prospective, randomisée, en groupes parallèles comparant deux interventions guidées par un thérapeute (séances d'une heure, 5 x/semaine, 8 semaines). Nous avons identifié 40 patients potentiels atteints d'hémiplégie subaigu, post-AVC, des membres supérieurs traités dans le centre hospitalier. Les patients ont été recrutés sur une période de deux ans en France. Un système d'attribution en ligne en aveugle a été utilisé pour répartir au hasard 24 patients éligibles en 2 groupes : (1) thérapie miroir + temps préparatoire préséance (contrôle, N = 20) ; (2) exosquelette Arméo[®] + temps préparatoire préséance (thérapie robotique, N=20). Résultat principal : évaluation de Fugl-Meyer pour les membres supérieurs. Critères de jugement secondaires : score d'Ashworth modifié pour la spasticité ; index de Barthel modifié pour l'évaluation fonctionnelle (les évaluateurs étaient en aveugle). Critères évalués en 3 mesures sur une durée de 2 mois.

Résultats : Nous utiliserons des tests appropriés pour traiter nos résultats. Nous présenterons nos résultats en nous appuyant sur nos hypothèses de départ et sur la littérature antérieure à notre étude.

Discussion et conclusion : La mise en œuvre de ce protocole d'étude permettra d'évaluer l'efficacité de la thérapie miroir versus l'exosquelette Arméo[®] en tant qu'intervention visant à améliorer la récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur.

Mots clés : thérapie miroir, AVC, neurones miroirs, thérapie assistée par la robotique,

Abstract

Background: The efficiency of mirror therapy and Armeo[®] robot-assisted therapy was demonstrated to improve upper limb motor function recovery for patients with a subacute stroke by using mirror neuron networks.

Objective: This study wants to prove mirror therapy efficiency versus Armeo[®] exoskeleton on the upper limb motor function recovery.

Method: The design of this study was a monocentric, preliminary, randomized study with parallel groups comparing two interventions realized by a physiotherapist (sessions for 1 hour, 5 times a week, for 8 weeks). 40 potential patients were identified with a subacute hemiplegia, post stroke, in a hospital centre. Patients were enrolled for 2 years. An online random system has blindly allocated 24 patients in 2 groups: (1) mirror therapy + preparatory workout time (N=20); (2) Armeo[®] exoskeleton + preparatory workout time (N=20). The principal outcome was Fugl Meyer Assessment for upper limb. The secondary outcomes were modified Ashworth Scale for spasticity and modified Barthel Index for functional assessment (the assessors were blinded). The outcomes were evaluated 3 times over a period of two months.

Results: We will use appropriate tests to process results. The results will be submitted on the basis of hypothesis and previous literature.

Conclusion: The protocol implementation has permitted to measure the mirror therapy efficiency versus Armeo[®] exoskeleton to improve upper limb motor function recovery.

Key words: mirror therapy, stroke, mirror neurons, robot-assisted therapy, upper limb

1 Introduction

1.1 Situation d'appel

La genèse de ce mémoire d'initiation à la recherche voit ses prémices à la suite de mon premier stage de formation en kinésithérapie en cabinet libéral. J'ai eu la chance de rencontrer une patiente qui m'a fortement marqué et qui allait aboutir à une double révélation pour moi : faire de la kinésithérapie mon métier et le faire si possible dans le domaine de la neurologie. C'est avec cette personne que j'ai été confronté à la pathologie de l'accident vasculaire cérébral (AVC) et au monde de l'hémiplégie. En structure hospitalière, j'ai pu constater l'importance mais également la complexité que représente la prise en soin de ce type de pathologie dont les conséquences sont plus ou moins lourdes selon les atteintes. De mes expériences ont découlé un questionnement sur les moyens pouvant être mis en place pour encourager et potentiellement augmenter le niveau de récupération motrice d'un membre atteint. A travers l'un de ces stages, j'ai pu découvrir différentes techniques comme la thérapie miroir et l'exosquelette qui sont deux approches faisant appel aux neurones miroirs du cortex cérébral.

A travers ce mémoire, je souhaite donc m'intéresser à l'apport que pourrait représenter ces deux approches dans une rééducation fonctionnelle de personnes atteintes d'AVC.

1.2 Le système nerveux

L'ensemble des informations exposées dans cette partie proviennent exclusivement de l'ouvrage Neurosciences (**Purves et al., 2019**). Dans un souci de facilitation de la lecture, nous ne citerons plus systématiquement cette référence.

Le système nerveux est l'un des 11 systèmes composant le corps humain. Il se subdivise en un système nerveux central (SNC) et un système nerveux périphérique (SNP).

Le SNC est situé dans l'axe du squelette (névraxe), protégé par des structures osseuses (crâne et rachis), tissus conjonctifs (méninges). Il comprend l'encéphale (cerveau, cervelet et tronc cérébral) ainsi que la moelle épinière. Il aura un rôle majeur dans l'intégration des informations sensitives, sensorielles et dans l'élaboration des réponses motrices.

LE SNP relie le SNC aux récepteurs (afférents) et aux effecteurs (efférents) par l'intermédiaire de nerfs. Ce SNP inclut des sous-systèmes formant le système somatique (mouvement volontaire), le système végétatif (autonome) lui-même divisé en orthosympathique / parasymphathique.

Pour ce mémoire, nous nous intéresserons exclusivement au SNC.

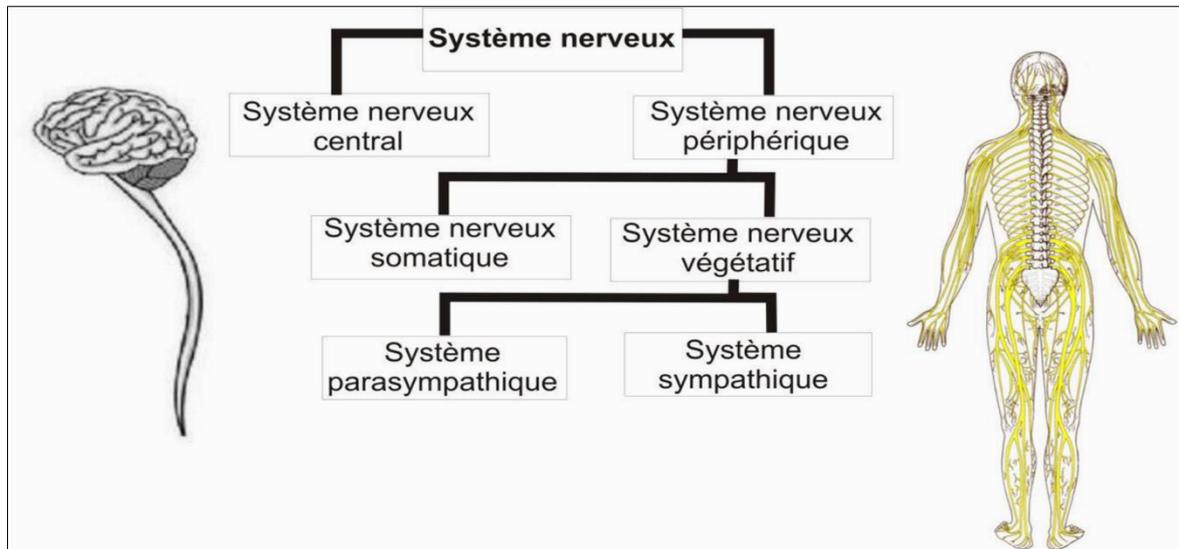


Figure 1. Arborescence du système nerveux.(Thibault, 2018)

1.2.1 Anatomie descriptive du système nerveux central

Le SNC, comme nous l'avons vu précédemment, est constitué de l'encéphale, du tronc cérébral et de la moelle épinière.

La moelle épinière qui représente la partie inférieure du névraxe, elle est située entièrement à l'intérieur du rachis. C'est un long cordon aplati d'avant en arrière qui débute au-dessus de l'émergence de la première racine cervicale, environ au niveau du trou occipital et son rôle est triple :

- circuit descendant relayant les informations motrices vers les muscles,
- circuit ascendant véhiculant les informations sensorielles vers le cerveau,
- centre de coordination de certains réflexes.

Le tronc cérébral regroupe de bas en haut ; le bulbe rachidien, le pont de Varole et le mésencéphale. Dans le tronc cérébral se trouvent :

- Des noyaux impliqués dans une multitude de fonctions importantes parmi lesquelles le contrôle du rythme cardiaque, de la respiration, de la pression artérielle.

- Une voie de passage pour plusieurs faisceaux importants qui transmettent les informations sensorielles, ou qui acheminent les commandes motrices émanant du mésencéphale ou du cerveau vers les motoneurones.

- Les noyaux des nerfs crâniens, certains sont des noyaux de relais qui reçoivent leurs afférences des ganglions crâniens sensitifs, d'autres rassemblent les neurones dont les axones forment les nerfs crâniens moteurs.

Le cervelet qui s'étend sur la majeure partie postérieure du tronc cérébral et a un rôle capital dans la coordination et la planification des mouvements, dans les apprentissages moteurs.

Le diencephale qui est situé au centre du cerveau et inclue plusieurs sous-structures :

- le thalamus
- l'hypothalamus (situé sous le thalamus)

Les hémisphères cérébraux qui sont séparés par le sillon inter hémisphérique. Ils sont recouverts sur toute leur étendue d'une écorce, le cortex, plissée à 6 couches, et ces plis forment des circonvolutions ou gyrus séparées par des sillons ou sulcus dont les plus profonds prennent le nom de scissures (sillon central ou de Rolando, de Sylvius [ou sillon latéral] et sillon pariéto-occipital). Le tracé des circonvolutions varie selon les individus, mais il existe des repères relativement constants qui permettent de diviser chaque hémisphère en quatre lobes (frontal, pariétal, temporal et occipital) qui doivent leur nom aux os du crâne qui les recouvrent.

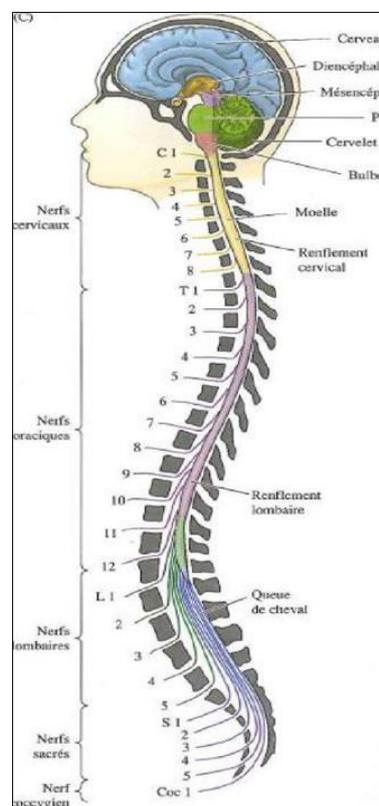


Figure 2. Subdivisions du système nerveux central (Thibault, 2018)

Le cerveau est la partie la plus développée du SNC, constitué de deux hémisphères dont les surfaces sont profondément creusées par des rainures peu profondes (scissures et sillons) délimitant des circonvolutions. On retrouve en partie supérieure la scissure centrale qui est la plus profonde divisant le cerveau en 2 hémisphères gauche et droite. Puis en latéral on retrouve la scissure de Rolando délimitant le lobe frontal du pariétal, la scissure de Sylvius délimitant le lobe temporal du lobe frontal et le sillon pariéto-occipital délimitant le lobe pariétal du lobe occipital.

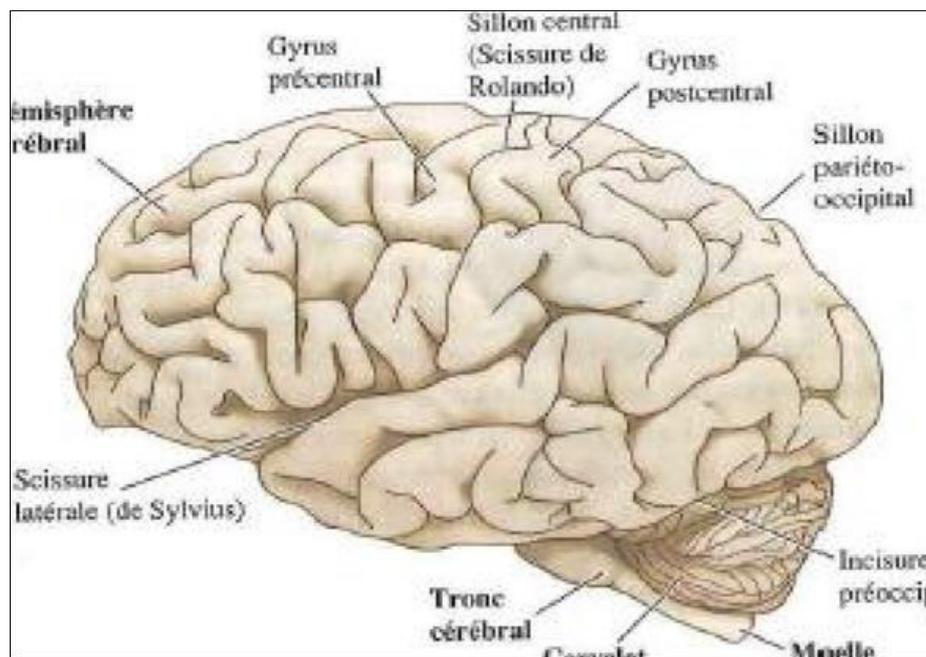


Figure 3. Vue latérale du cerveau, scissures et sillons (Thibault, 2018)

1.2.2 Anatomie vasculaire du système nerveux central

Le SNC est sous la dépendance de l'apport sanguin car il a une relative intolérance au bas débit sanguin tout comme la réduction des apports en oxygène, c'est le cas des accidents vasculaires cérébraux (AVC). Pour la compréhension de ce mémoire, seul le réseau artériel sera décrit

A la sortie du cœur, l'aorte va former une crosse où l'on retrouve de gauche à droite :

- L'artère sous-clavière gauche se divisant en artère vertébrale gauche
- L'artère carotide primitive gauche
- Le tronc brachio-céphalique droit se divisant en artère sous-clavière droite et artère carotide primitive droite.

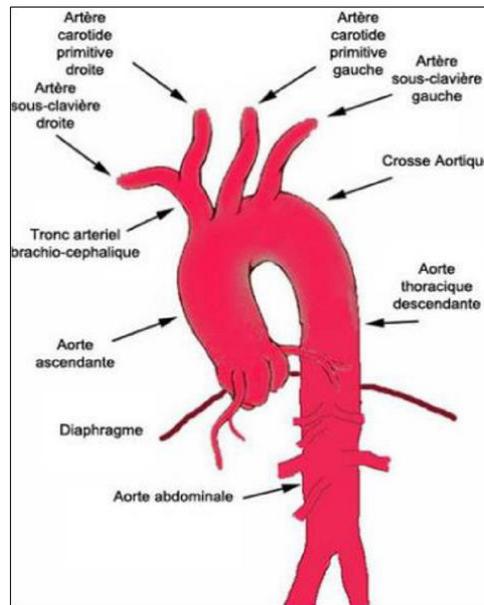


Figure 4. Artères cervicales destinées à l'encéphale (Thibault, 2018)

L'encéphale reçoit donc le sang de quatre artères issues de la crosse aortique :

- Les artères carotides primitives gauche et droite en antérieur
- Les artères vertébrales gauche et droite en postérieur

Les artères carotides primitives montent latéralement dans le cou et se divisent en :

- Artères carotides internes gauche et droite
- Artères carotides externes gauche et droite

L'artère carotide interne entre dans la boîte crânienne pour atteindre le chiasma optique et se divise en 3 :

- Artère cérébrale antérieure passant par la scissure interhémisphérique et se ramifiant à la face médiale des lobes frontaux et pariétaux pour irriguer le cortex moteur et sensitif des membres inférieurs. Les 2 artères cérébrales antérieures communiquent par le biais d'une anastomose transversale appelée artère communicante antérieure.
- Artère cérébrale moyenne entrant dans la scissure de Sylvius et se ramifiant en plusieurs branches pour irriguer la surface latérale des lobes frontaux, pariétaux et temporaux pour le cortex moteur et sensitif de tous le corps sauf les membres inférieurs.
- Artère cérébrale postérieure allant vers l'arrière pour irriguer principalement le lobe occipital.

Les artères carotides externes vont irriguer une partie des méninges, le crâne, les tissus mous extracrâniens et faciaux.

Les artères vertébrales vont irriguer les territoires vasculaires cérébraux postérieurs comme la moelle épinière, le bulbe rachidien, une partie du cervelet, une partie des méninges postérieurs. Ensuite elles vont pénétrer par le trou occipital et fusionner en avant du tronc cérébral pour former le tronc basilaire à hauteur du pont de Varole en irriguant le reste du tronc cérébral, le reste du cervelet, la partie postérieure du cerveau.

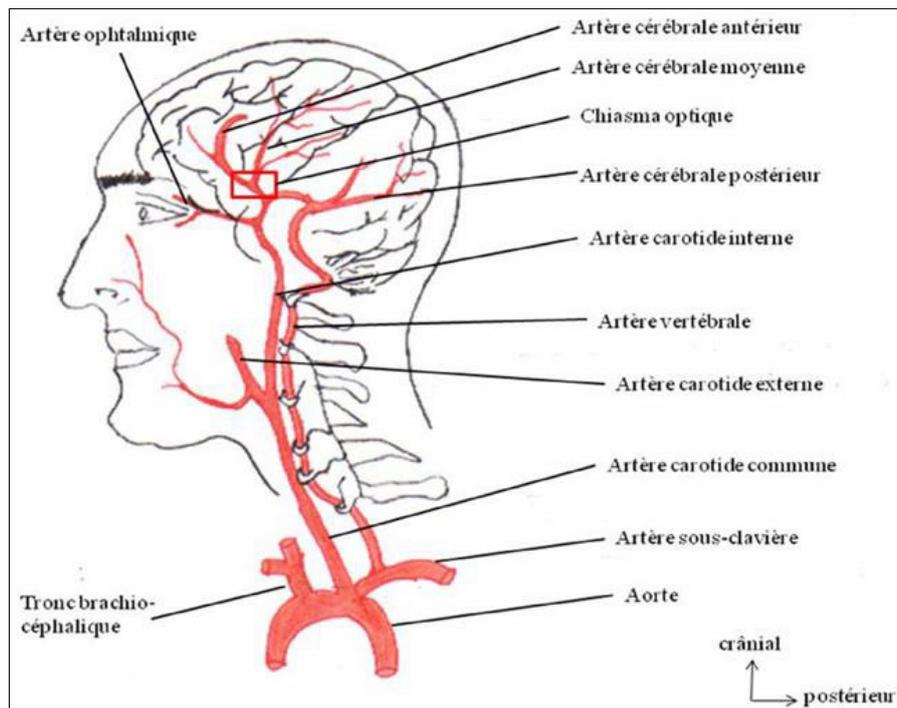


Figure 5. Les artères carotides et vertébrales (Thibault, 2018)

Autre élément important au niveau vasculaire, le polygone de Willis. C'est le centre du réseau vasculaire issu de la fusion des deux artères carotides internes et du tronc basilaire, entourant le chiasma optique. C'est un cercle anastomotique qui contribue à assurer une circulation sanguine cérébrale en cas d'oblitération de l'un de ses troncs carotidiens ou vertébraux-d'origine physiologique ou pathologique.

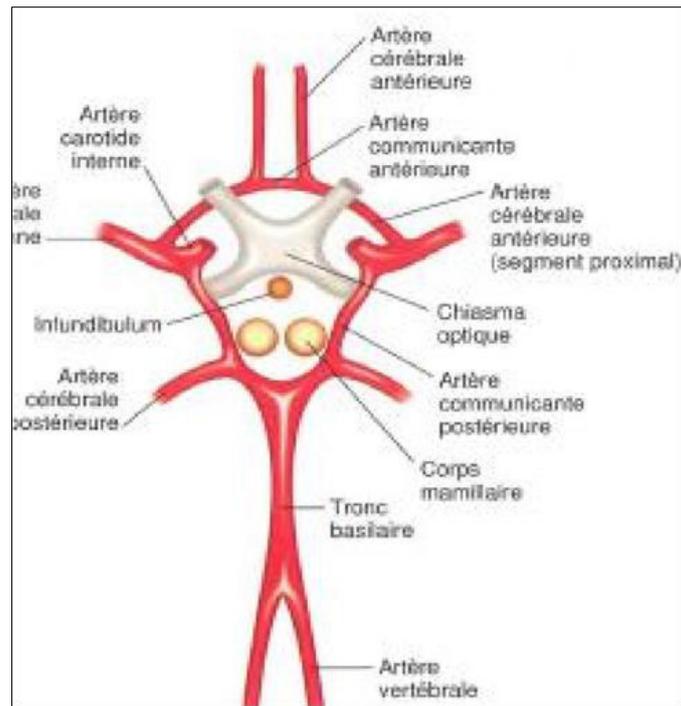


Figure 6. Vue ventrale du polygone de Willis (Thibault, 2018)

1.2.3 Les sous-systèmes du système nerveux et voies motrices

Dans le système nerveux, les neurones qui interviennent dans le contrôle du mouvement- se divisent en 4 sous-systèmes :

- La substance grise de la moelle épinière et du tronc cérébral
- Les neurones moteurs supra segmentaires du tronc cérébral et du cortex (neurones pyramidaux des voies descendantes)
- Le cervelet (servomécanisme) qui détecte les différences entre le mouvement souhaité et le mouvement effectivement réalisé mais qui ne sera pas traité pour ce mémoire
- Les ganglions de la base (GdlB) qui suppriment les mouvements non désirés et préparent les neurones moteurs centraux en vue du démarrage du mouvement(initiation)

La voie motrice ou faisceau pyramidal est une voie descendante appelée voie cortico-spinale reliant le cortex cérébral à la moelle épinière. Elle représente donc les axones moteurs cortico spinaux qui transmettent la commande motrice du cortex cérébral jusqu'au motoneurones. Il est dit pyramidal car il participe aux pyramides bulbaires (substances blanches striées sur les face ventrale et médiale du bulbe rachidien), il est assimilé au contrôle de la motricité volontaire.

Il est composé des axones issus de la couche 5 du cortex moteur, du cortex prémoteur, de l'aire motrice supplémentaire et du cortex cingulaire moteur. On peut donc représenter le faisceau pyramidal comme un neurone moteur ayant une origine corticale (soma) et donc l'axone va « descendre » le long du tronc cérébral et de la moelle épinière pour atteindre un étage médullaire précis où il fera synapse avec les interneurons et les motoneurons alphas qui eux-mêmes feront synapse avec la plaque motrice de chaque muscle effecteur qu'ils contrôlent. Ce qui nous intéresse donc dans ce mémoire est le début du faisceau pyramidal à la genèse de la commande motrice.

Les GdlB sont un ensemble de noyaux situés dans les profondeurs des hémisphères cérébraux comprenant : le noyau caudé, le noyau lenticulaire, la substance noire et le noyau sous thalamique. Le noyau lenticulaire se divise en deux parties ; le putamen et le globus pallidus La substance noire est composée de 2 parties, la pars compacta et la pars reticulata Enfin on nomme le striatum comme étant la réunion du noyau caudé et du putamen

Toutes ces structures constituent une boucle sous corticale reliant les aires corticales aux neurones moteurs du cortex moteur primaire et aux neurones moteurs du tronc cérébral.

La boucle cortico-striato-corticale est très importante car elle permet de sélectionner et de déclencher le mouvement (initiation). Il y a une voie directe activatrice par désinhibition du thalamus quand le cortex moteur envoie une commande activatrice aux GdlB, cela conduit à une double inhibition du thalamus et à une excitation du cortex moteur. Cette désinhibition du cortex moteur sur les GdlB permet normalement aux neurones moteurs corticaux d'envoyer la commande aux interneurons et motoneurons segmentaires déclenchant les mouvements corporels. Il y a une autre voie indirecte inhibitrice du thalamus. Si celui-ci est inhibé, il va faiblement impacter l'activité du cortex moteur et la commande motrice qui en découle pourra être inhibée.

D'une manière générale, les neurones moteurs corticaux se trouvent dans plusieurs aires adjacentes et fortement interconnectées au lobe frontal. Les aires sont conjointement responsables de la planification et du déclenchement des séquences des mouvements volontaires. Le cortex moteur primaire M1 est situé dans le gyrus précentral en avant de la scissure de Rolando et plus en avant on trouvera le cortex prémoteur ainsi que l'aire motrice supplémentaire.

1.2.4 Neurones miroirs

Les neurones miroirs sont des neurones spécifiques qui ont la particularité de s'activer lorsque nous réalisons une action mais également quand nous voyons faire une action. C'est-à-dire qu'il existe un lien de causalité entre une information visuelle et une information motrice telle une déduction logique compliquée réalisée par une architecture cognitive avancée. L'imitation est une part prépondérante de notre apprentissage de la vie dès notre plus jeune âge et elle est en partie possible par l'intermédiaire des neurones miroirs. **(Rizzolatti, 2008; Tofani et al., 2022)**

Chez l'homme, la présence de neurones miroirs a été suggérée par des techniques de neuroimagerie (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle) et de neurophysiologie (électroencéphalographie, potentiels évoqués, stimulation magnétique transcrânienne-TMS) **(Farina et al., 2020)**

Les neurones miroirs sont situés dans la portion antérieure du lobe pariétal inférieur (aire de Broadmann 40), dans le secteur inférieur du gyrus précentral et dans le secteur postérieur du gyrus frontal inférieur du cortex pré moteur (aire de Broca 44). **(Farina et al., 2020; Mathon, 2013)** ces zones cérébrales ont pour rôle de coder l'exécution et la perception de l'action (le gyrus frontal pour les objectifs de l'action et le cortex pariétal pour les moyens de l'action) et cela fournit un levier d'espoir dans les cas de graves altération de la fonction motrice après un AVC **(Abdullahi et al., 2022)**.

Ils sont également présents dans le cortex visuel primaire, le cervelet et dans le système limbique. **(Mathon, 2013)** et le but de la rétroaction visuelle motrice est de restaurer la boucle efférence-afférence qui a été interrompue en raison de la prédominance du système visuel sur les autres modalités. **(Deconinck et al., 2015)**

De plus, les propriétés fonctionnelles des neurones du sulcus temporal supérieur suggèrent que ces neurones fournissent l'entrée visuelle corticale essentielle aux neurones miroirs **(Farina et al., 2020)**

Le mécanisme du miroir est donc composé et soutenu par au moins deux voies anatomiques différentes : la première concerne le miroir sensori-moteur en relation avec l'atteinte et la préhension des mains dans les circuits pariéto-prémoteurs traditionnels ; la seconde est liée au contrôle moteur de la bouche et du visage, est connectée aux structures limbiques et explique

potentiellement la fonction du système MN dans l'empathie et l'interaction sociale. (**Farina et al., 2020; Rizzolatti, 2008**)

Il est connu que l'observation de l'action facilite la voie corticospinale et ce paradigme est déjà utilisé en neuroréhabilitation en tant que pratique mentale visant à améliorer la fonction motrice. (**Deconinck et al., 2015; Pomeroy et al., 2005**)

Ils possèdent un caractère (réaction aux actions du soi ou d'autrui) et une sélectivité (chaque neurone réagit à un geste mais pas à d'autres). (**Mathon, 2013**)

Il a été montré que le système miroir joue un rôle dans l'imitation en codant l'action observée en termes moteurs et permet d'évoquer la possibilité de rééduquer des patients atteints d'AVC via ce système miroir. (**Mathon, 2013**)

D'après Farina et al, il est noté que des potentiels évoqués moteurs sont présents dans les muscles spécifiquement impliqués dans l'action observée (**Fadiga et al., 1995**) appuyée par une étude IRMf (**Gazzola et al., 2007**). Une autre étude suggère le rôle du système de neurone miroir dans l'acquisition de nouvelles compétences motrices (**Buccino et al., 2004; Molenberghs et al., 2010**).

Un mécanisme d'appariement observation/exécution, par lequel l'observation de l'action active des parties cruciales du système moteur, est supposé induire l'apprentissage moteur (**Deconinck et al., 2015**)

1.3 L'accident vasculaire cérébral (AVC)

1.3.1 Définition

Les AVC sont définis par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme « *le développement rapide de signes cliniques localisés ou globaux de dysfonction cérébrale avec des symptômes durant plus de vingt-quatre heures pouvant entraîner la mort, sans autre cause apparente qu'une origine vasculaire* ». Ce terme désigne en fait des affections très hétérogènes : les infarctus cérébraux (IC), représentant 80 à 90 % des AVC, les hémorragies intracérébrales (HIC) dans 10 à 20 % des cas, et les hémorragies méningées qui comptent pour moins de 2 % des AVC. (**Béjot et al., 2009**)

Selon la HAS, « *Un accident vasculaire cérébral est l'arrêt brutal de la circulation sanguine au niveau d'une partie du cerveau. Les AVC peuvent être dus soit à un caillot dans une artère,*

c'est le cas trois fois sur quatre – ce sont les AVC ischémiques – soit à une hémorragie, par lésions des parois du vaisseau – ce sont les AVC hémorragiques.

Certains AVC ischémiques sont transitoires (AIT), les signes régressent spontanément dans les premières heures l'urgence et la prise en charge doivent être identiques car le risque de récurrence précoce (dans les 24h) est élevé. » (HAS, 2013)

Selon l'INSERM, « Parfois nommé « attaque cérébrale », l'accident vasculaire cérébral (AVC) correspond soit à l'obstruction, soit à la rupture d'un vaisseau sanguin dans le cerveau. Il peut survenir à tout âge chez l'adulte. En raison du risque de dommages irréversibles sur le cerveau, il s'agit d'une urgence médicale absolue. » (INSERM, 2019)

1.3.2 Épidémiologie et facteurs de risques

L'AVC touchait 130 000 personnes en 2009 et plus de 150 000 en 2018 en France. C'est une pathologie de la personne âgée avec un âge moyen de 74 ans. Il est un enjeu majeur de santé publique avec l'accélération de création d'Unités Neuro-Vasculaires (UNV) sur l'ensemble du territoire (21 en 2005, 33 en 2007, 77 en février 2009 pour une cible pertinente de 140) et en 2017, d'après la Société Française Neuro Vasculaire (SFNV), il y en avait 135 en 2017. Ce chiffre sera en constante augmentation avec le vieillissement de la population.

Il est la première cause de handicap acquis de l'adulte, la deuxième cause de démence (après la maladie d'Alzheimer) et la troisième cause de mortalité en France.

On estime qu'en 2018 l'AVC est responsable de plus de 29 000 décès en France (SFNV). Selon les sources et la nature de l'AVC, le coût des cas incidents sur 1 an variait entre 7 839 € (AVC ischémique peu sévère) et 41 437 € (AVC hémorragique sévère).**(de Pourville, 2016)**

L'AVC est l'une des principales causes d'invalidité plus ou moins permanente et de mortalité souvent associée à des coûts financiers importants et des souffrances humaines conséquentes occasionnant des difficultés dans les activités de la vie quotidienne, une diminution de la qualité de vie et une augmentation de la dépendance. **(Jan et al., 2019; Madhoun et al., 2020)**

Il existe une inégalité de récupération fonctionnelle motrice entre le membre inférieur (80% des patients récupèrent une marche fonctionnelle) contre 5-20% pour une récupération fonctionnelle complète du membre supérieur **(Jan et al., 2019)**

Les facteurs de risque sont en partie ceux de toutes les maladies cardiovasculaires (hypertension artérielle, diabète, tabac, mauvaise alimentation, sédentarité). Ces facteurs de risque sont accessibles à la prévention, des études ayant montré que le contrôle strict de l'hypertension artérielle et du diabète de type 2 réduit le risque d'AVC mortels et non mortels de 44 % auxquels s'ajoutent l'âge, le sexe et les antécédents familiaux.

1.3.3 Physiopathologie de l'AVC

C'est à la fois une pathologie aiguë, nécessitant une prise en charge en extrême urgence, et une maladie chronique dont les séquelles invalidantes conduisent de nombreux patients à la fréquentation du système de santé sur une longue période.

- **Physiopathologie de l'AVC ischémique**

C'est la conséquence d'une réduction critique du débit sanguin cérébral en aval de l'occlusion partielle ou totale d'une artère cérébrale et dont le système nerveux va rapidement souffrir par la diminution des apports en O₂ et en métabolites. L'homéostasie va s'en trouver brutalement altérée et perturbée ce qui va conduire le phénomène en une souffrance neurale (qui sera la zone thérapeutique) de laquelle en découle deux issues : la nécrose (en quelques heures) ou la reperfusion et de la récupération.

Les étiologies de l'AVC ischémique sont les suivantes :

- L'athérosclérose qui est la plus fréquente, la plaque d'athérome dans le siphon carotidien, dans le bulbe carotidien ou à l'origine des artères vertébrales.
La plaque d'athérome grandit avec le temps, finit par s'ulcérer, entraînant la formation d'un caillot sanguin à son contact, qui se détache et va aller obstruer une artère cérébrale.
- L'embolie d'origine cardiaque, dans 20 à 25% des cas on retrouve les troubles du rythme cardiaque comme l'arythmie cardiaque à fibrillation auriculaire (ACFA), les valvulopathies, infarctus, endocardite infectieuse. C'est un thrombus développé dans l'oreillette gauche qui en se détachant, va migrer dans la circulation systémique et oblitérer une artère cérébrale.
- La dissection artérielle, il s'apparente à un clivage de la paroi de l'artère par un hématome environnant qui va disséquer les couches artérielles. On le retrouve

principalement chez les sujets jeunes avec des étiologies traumatiques, spontanée, idiopathique ou encore dans les maladies de la paroi artérielle.

Selon l'atteinte ischémique, un AVC va présenter plusieurs tableaux cliniques :

- Une atteinte carotidienne présente des déficits moteurs, sensitifs, sensoriels (troubles visuels, HLH), cognitifs (expression, compréhension, mixte), NSU, syndrome dysexécutifs, somnolence, confusion
- Une atteinte vertébro-basilaire présente des déficits moteurs, sensitifs, sensoriels, syndrome cérébelleux, atteinte ou non d'un ou plusieurs nerfs crâniens, locked-in syndrome dans certains cas.
- Une atteinte de l'artère sylvienne superficielle présente une hémiplégie à prédominance brachio-faciale, hémi hypoesthésie controlatérale, HLH, si atteinte hémisphère gauche (aphasie, apraxie), si hémisphère droit (hémiparésie, anosognosie)
- Une atteinte de l'artère sylvienne profonde présente une hémiplégie totale massive et proportionnelle controlatérale à la lésion mais absence de troubles sensitifs et absence d'HLH
- Une atteinte de l'artère cérébrale antérieure présente une hémiparésie à prédominance du membre inférieur, un mutisme initial, syndrome frontal : (aphasie, indifférence, euphorie), grasping, troubles de l'attention

Les autres types de lésions ne seront pas décrites car non nécessaires à la compréhension de ce mémoire.

1.4 Prise en soin de l'AVC

L'AVC est une urgence médicale dont il convient de connaître les symptômes pour pouvoir agir rapidement et bien orienter la personne qui en est atteinte. Des campagnes de prévention ont vu le jour en France depuis de nombreuses années pour sensibiliser la population sur les comportements à adopter face à un AVC : savoir repérer les signes et symptômes comme une déformation de la bouche, une faiblesse musculaire de l'hémicorps, des troubles de la parole et de rapidement composer le 15 (SAMU) car « AVC, agir vite c'est important ».



Figure 7 : Signes de l'AVC (France AVC, 2021)

1.4.1 Prise en soin globale

Une fois prise en soin par une équipe du SAMU et dirigée vers un UNV, il sera réalisé un ensemble de tests et contrôles (scanner, IRM) sur la personne atteinte d'un AVC pour en définir le type. Et selon le temps écoulé depuis la survenue de l'AVC, il pourra être proposé diverses techniques chirurgicales comme la thrombolyse ou la thrombectomie par des neurochirurgiens.

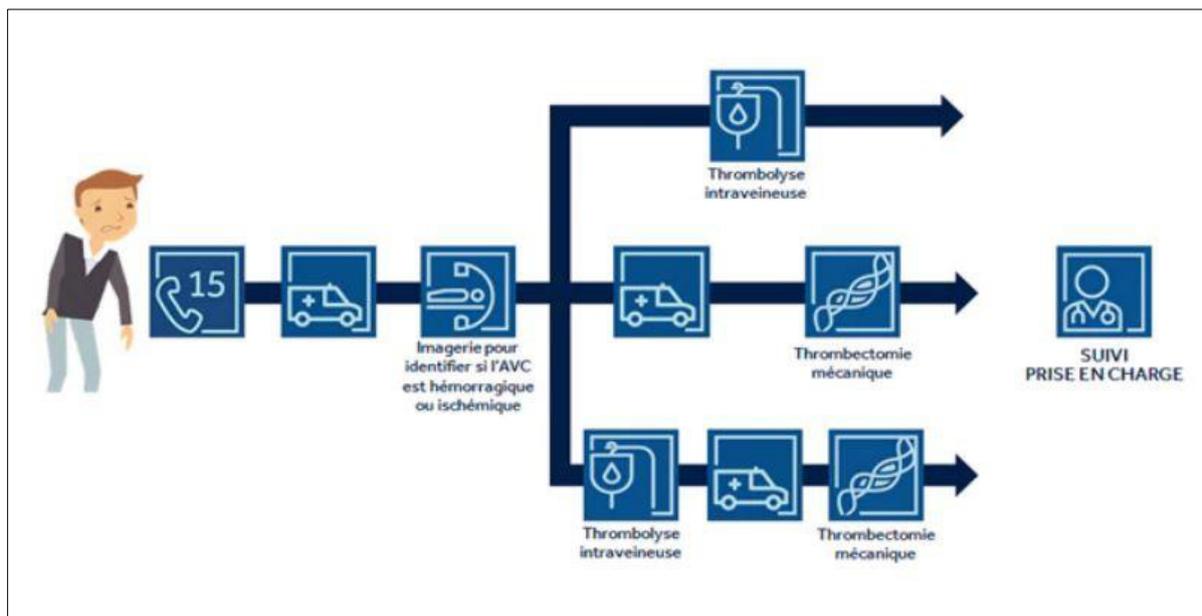


Figure 8 : Parcours de soin d'un patient post AVC (France AVC, 2021)

1.4.2 Traitements de l'AVC

La thrombolyse peut être réalisée si le délai n'excède pas 4H30 depuis la survenue de l'AVC. Elle est réalisable sur les AVC de type ischémique et consiste en l'injection intraveineuse d'un puissant anticoagulant (risque hémorragique à évaluer).

La thrombectomie mécanique peut être réalisée si le délai n'excède pas les 6h00 depuis la survenue de l'AVC. Elle consiste à aller chercher de façon mécanique le thrombus oblitérant une artère.

1.4.3 Autres traitements

Suite à un AVC, il se décline plusieurs phases aigüe (15 jours), subaiguë (de 15 jours à 6 mois) et chronique (au-delà de 6 mois).

En phase aigüe, l'équipe soignante sera vigilante au Agression Cérébrale Secondaire d'Origine Systémique ACSOS, à l'hypertension intracrânienne, elle va lutter contre les complications (déglutition, décubitus, dénutrition) et une prise en soin précoce des rééducateurs.

1.5 AVC & Kinésithérapie

La rééducation de l'AVC s'appuie sur des grands principes : dans les 10-15 premiers jours (phase aigüe), la récupération s'opère par la reperfusion de la zone de pénombre ischémique, par résolution de l'œdème péri-lésionnel et résorption de l'hématome puis va intervenir la plasticité cérébrale (durant la phase subaiguë) qui est la capacité des tissus nerveux à se modifier et à s'adapter. Si la modification de la connectivité neurale est durable dans le temps, elle peut permettre une récupération de la fonction motrice.

Il faut savoir que lors d'une atteinte motrice de l'hémicorps, 80% des patients récupèrent la marche après un AVC mais seulement 14% des patients récupèrent un usage fonctionnel de leur membre supérieur après avoir subi un déficit complet initialement. L'enjeu est plus important car le membre supérieur à un fonctionnement et une représentation corticale (homonculus moteur) beaucoup plus complexe que celle du membre inférieur dont la fonction principale est la marche.

La rééducation de l'AVC présente une récupération spontanée mais se doit d'être précoce, intensive, centrée sur la tâche et / ou la fonction et avoir un impact positif dans son contexte d'apprentissage. (Gueye et al., 2021)

1.6 Rééducation fonctionnelle, réadaptation, réinsertion

Lorsqu'un patient est atteint d'AVC et selon les degrés d'atteinte, divers types de rééducation peuvent être proposées :

- Thérapie manuelle à base de renforcement répétitif : Concept : Bobath, Perfetti, méthode : Brunnström, Kabat, Rood (Grade AE)
- Stimulation cérébrale non invasive : tDCS (stimulation transcrânienne à courant direct) et rTMS (stimulation magnétique transcrânienne répétitive) reposant sur un concept de neuromodulation induit par courant électrique dans la tDCS (excitabilité) et par un courant magnétique dans la rTMS (plasticité). (Grade AE)
- Thérapie par le mouvement induit par la contrainte. Cette technique consiste à limiter ou empêcher l'activité du membre supérieur sain afin de susciter l'activité du membre atteint par la répétition intensive de tâches spécifiques et/ou fonctionnelles. (Grade B)
- Réalité virtuelle. La réalité virtuelle est la création informatique d'un environnement simulé avec lequel le sujet peut interagir par différents moyens : toucher, vision, mouvements. Appliquée au domaine de la rééducation, l'interface de communication sollicite diverses actions motrices ciblées selon des objectifs personnalisés. Les informations sensorielles et les interactions motrices peuvent être modifiées à volonté pour créer ce que l'on appelle « la réalité augmentée ». (Grade AE)
- Imagerie motrice. Cette méthode consiste soit à évoquer et répéter mentalement une expérience motrice déjà vécue dans le passé, soit à évoquer l'image anticipatrice d'une action nouvelle, dans le but d'obtenir la réalisation ou la mémorisation d'un mouvement donné. (Grade B). L'imagerie mentale représente une classe d'exercices dans lesquels une représentation interne d'un mouvement est simulée à plusieurs reprises dans une perspective à la première personne, sans mouvement physique réel, et semble être efficace pour la récupération motrice en réadaptation neurologique et orthopédique. (Tofani et al., 2022)
- Thérapie miroir (Grade B)

- Exosquelette ou aide assistée par la robotique (Grade B)

1.7 Thérapie miroir & Exosquelette

1.7.1 Définitions

La thérapie par le miroir est une technique de rééducation qui implique l'utilisation d'une stimulation visuelle pour créer l'illusion de mouvement du membre affecté (**Abdullahi et al., 2022**)

La Thérapie miroir a été principalement étudiée pour 2 raisons : la première dans le soulagement des douleurs chez les personnes amputées et la seconde dans la récupération post AVC. (**Tofani et al., 2022**)

La thérapie miroir pourrait en effet être plus efficace pour promouvoir la fonction motrice qu'une intervention de contrôle lorsque'il est utilisé en complément d'un traitement conventionnel. (**Deconinck et al., 2015**) De plus, il est rapporté qu'il améliore l'utilisation du membre dans les activités fonctionnelles nécessaires à la vie quotidienne (**Abdullahi et al., 2022**)

À ce jour, le feedback visuel par thérapie miroir permet de traiter diverses douleurs unilatérales et/ou troubles moteurs, y compris le SDRC (**Deconinck et al., 2015; Selles et al., 2008**) et l'hémi-parésie après un AVC à savoir une diminution de la douleur et une amélioration de la fonction motrice (**Deconinck et al., 2015; Sütbeyaz et al., 2007**) et également le feedback visuel par thérapie miroir pourrait favoriser le recrutement des voies motrices ipsilatérales. (**Deconinck et al., 2015; Ezendam et al., 2009**).

Par conséquent, pour aider à renforcer les effets potentiels de la thérapie miroir sur les neurones miroirs, elle est immédiatement suivie d'une pratique mentale avec une pratique de haute intensité comme facilitateur de la récupération de la fonction motrice. (**Abdullahi et al., 2022**)

La rééducation assistée par robotique consiste à réaliser des mouvements contraints par un système électromécanique, couplé ou non à un environnement virtuel. En fonction de la sophistication du robot, le mouvement peut être libre, totalement guidé ou juste assisté.

Ensuite il faut faire la différence entre les robots effecteurs et les exosquelettes. Les premiers ne respectent pas les articulations alors que les seconds permettent d'avoir jusqu'à 7 degrés de

liberté et sont donc de par leur conception bien plus respectueux de la physiologie humaine dans leur utilisation (**Bertani et al., 2017**)

Parmi les exosquelettes que l'on peut citer, on trouve l'In Motion Arm Robot, l'Arméo Spring, l'Arméo Power, le Diego et Amadeo qui sont relativement cités dans les essais cliniques.

Selon Bertani, les robots effecteurs n'améliorent pas la fonction du bras alors que les exosquelettes améliorent la fonction du bras sans cependant améliorer les AVQ. Et selon Esquenazi, une amélioration dans le score moteur ainsi que dans le score de force mais aucun changement dans les AVQ. (**Esquenazi et al., 2021**)

Selon **Frisoli**, les biomarqueurs robotiques seraient un instrument clinique permettant d'être un indice de progression dans la rééducation avec une connotation prédictive. De plus ces marqueurs auraient une forte valeur car très objectifs. (**Frisoli et al., 2022**)

Selon **Bertani**, l'utilisation de l'Arméo[®] permet d'améliorer la clinique et la cinématique et semblerait réduire l'inhibition interhémisphérique comme le laisse suggérer **Calabro** dans le lien entre l'utilisation de l'Arméo[®] dans la réduction de la spasticité par modification des processus synaptiques lié au renforcement des mécanismes d'inhibition réciproque. (**Calabrò et al., 2017**)

Le fait est qu'**il** semble s'accorder sur un consensus général (**Frisoli, Bertani, Esquenazi, Calabro**), que la rééducation assistée par la robotique et par exosquelette se doit d'être spécifique, intensive, avec des répétitions et axés sur les tâches peut avoir un effet sur la récupération après une lésion cérébrale, améliorant une réorganisation positive dans le cortex moteur.

2 Problématique

Parmi les méthodes de rééducation pratiquées en MK, il y a la thérapie miroir et l'exosquelette ou rééducation assistée par la robotique (Grade B) (**HAS, 2020**).

La thérapie miroir, déjà utilisée dans le traitement des douleurs de membres fantômes mais aussi largement appliquée en rééducation neurologique depuis de nombreuses années (**Madhoun et al., 2020; Ramachandran & Rogers-Ramachandran, 1996; Tofani et al., 2022**) est une approche applicable via la potentielle stimulation du système de neurones miroirs tout comme l'utilisation de l'exosquelette.

Après avoir relevé le lien entre informations visuelles et motrices par le biais des neurones miroirs ainsi que leur localisation dans le cortex cérébral et leurs rôles (coder l'exécution, coder la perception de l'action, l'objectif de l'action, moyen de l'action) et ayant un fort rôle dans l'apprentissage par l'imitation, elle semble être une voie à ne pas négliger dans la réhabilitation de patients victimes d'AVC en favorisant l'apprentissage de nouvelles compétences motrices.

Du fait de la localisation des neurones miroirs, nous nous intéresserons plutôt aux aires cérébrales étant irriguées par l'artère cérébrale sylvienne profonde.

D'autre part, à la vue des chiffres dans la récupération des membres inférieurs (>80%) et des membres supérieurs (<20%) et le degré d'invalidité que cela implique dans les activités de la vie quotidienne, le retentissement personnel et moral, nous nous proposons d'étudier le membre supérieur.

Cependant, peu d'études ont comparé l'efficacité de l'une par rapport à l'autre dans la récupération fonctionnelle du membre supérieur chez des patients atteints d'AVC.

A travers ce mémoire de recherche, nous nous proposons donc d'évaluer l'efficacité de la thérapie miroir versus l'exosquelette dans la récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur chez des patients atteints- d'AVC Ischémique de l'artère cérébrale sylvienne profonde.

3 Matériels et méthodes

3.1 Plan de l'essai

3.1.1 Description du type d'essai

Pour mesurer les effets de l'efficacité de la thérapie miroir et de l'exosquelette dans la récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur de patients atteints d'AVC, nous allons constituer 2 groupes pour pouvoir comparer les résultats obtenus dans chacun d'eux. Le premier groupe bénéficiera d'une thérapie miroir associée à un travail préparatoire, le second groupe bénéficiera d'une rééducation assistée par exosquelette Arméo[®] associée lui aussi à un travail préparatoire.

L'étude expérimentale préliminaire de deux groupes parallèles non appariés randomisés recevant chacun un traitement différent pour comparer l'efficacité de la technique de

rééducation. Pour garantir la validité de notre étude, il est primordial que ces 2 groupes ne soient différents que sur le traitement reçu, il s'agit de la notion de causalité.

3.1.2 Matériels

Pour réaliser notre étude, nous aurons besoin que les éléments suivants soient aux normes NF du matériel hospitalier ou en usage au sein du lieu de recherche clinique :

- Fauteuil roulant de transport
- Fauteuil avec accoudoirs salle évaluation,
- Description de la salle d'évaluation,
- Echelle Fugl-Meyer Membre supérieur (Annexes 1)
- Echelle Ashworth Modifiée (Annexes 2)
- Index de Barthel (Annexes 3)
- Cahier CRF patients (case report form)
- Caméra Sony© modèle HDR-PJ220E
- Ordinateur MacBookPro, OSX Yosemite, version 10.10.3, 2,7 GHz intel core i7
- Logiciel Microsoft Pro Edition Mac 2011, version 14.4.7
- Logiciel statistiques XLSTAT 2015 pour Mac
- Boite à miroir Basergo © SPE01C
- Exosquelette Arméo Power©

3.2 Participants

3.2.1 Critères d'éligibilité

Pour notre étude, nous devons recruter un nombre de participants suffisants pour que les résultats obtenus aient une puissance statistique de 80% avec un niveau de confiance de 95%.

Ce nombre de participants sera déterminé par le calcul de notre taille d'échantillon.

Préalablement à cela, il nous faut définir les critères d'éligibilité de notre étude, ceux-ci doivent être les plus représentatifs possible de la population étudiée.

Tableau I : Critères d'éligibilité

Critères d'inclusion	Critères de non-inclusion
<ul style="list-style-type: none"> - Sexe : confondu - Age : 40 ans et plus - AVC unilatéral ischémique artère sylvienne profonde droite en phase subaigu sans incidence sur compréhension et expression de langage. - MMSE ≥ 24 - Score Fugl-Meyer UL < 22 - Score MAS < 3 - lever précoce, EPA sup 3 - pas de patients présentant des comorbidités ou complications médicales - Consentement recueilli et accepté via formulaire de consentement - Consentement vidéo 	<ul style="list-style-type: none"> - blessures orthopédique sur le membre supérieur, subluxation glénohumérale - aphasie, apraxie, - Négligence spatiale unilatérale - pas de déficience visuelle ni de défaut de champ visuel - participation récente à d'autres recherches en réadaptation / rééducation - taux de participation à la recherche $< 80\%$

3.2.2 Lieu et structure de recueil des données

Nous développons ce protocole d'étude dans la perspective d'une mise en place en structure hospitalière.

L'ensemble des données recueillies pour analyse (critères de jugement, données initiales ...) seront récoltées lors de session d'évaluation dans la structure hospitalière pilotant l'étude. Les spécificités de conservation et protection des données seront détaillées dans la fiche de consentement éclairé et signé par les participants avant l'étude.

3.3 Intervention

La durée de l'étude est prévue sur une période de 2 ans pour permettre la faisabilité du recrutement. La participation des patients est conçue sur 8 semaines à raison de 1 heure par jour et de 5 jours par semaine. Chaque séance aura 30 mn de travail préparatoire classique

(mobilisations et étirements) suivi de 30 mn de travail soit avec la thérapie miroir soit avec l'exosquelette Arméo[®].

Notre étude nécessite la constitution de 2 groupes randomisés :

- Un **groupe TM** bénéficiant d'une thérapie miroir et d'un travail préparatoire.
- Un **groupe Arméo[®]** bénéficiant d'une thérapie par assistance robotique et d'un travail préparatoire.

3.3.1 Groupe Thérapie miroir

Intervention : Programme à 2 composantes : thérapie miroir basée sur la tâche + travail préparatoire

Pourquoi ? L'approche de la thérapie combinée est reconnue comme étant favorable dans la récupération des patients.

Quoi ? Une boîte à miroir utilisée est de dimension 38x58x20 cm. Le miroir ne doit être ni trop grand (risque de faire apparaître des scènes ou des objets parasites dans le reflet du miroir) ni trop petit (risque de sortir du champ de reflet du miroir et de rompre l'illusion). (**Giroux, 2016; Sütbeyaz et al., 2007**)

Qui ? L'intervention sera dispensée par un MK diplômé d'état ayant une expertise dans la thérapie Miroir. Sera considéré comme expert un praticien encadrant hebdomadairement de la thérapie miroir depuis au minimum 3 ans et ayant reçu une formation spécifique à la dispense de celle-ci. Il est préconisé que le praticien dispensant l'intervention reste identique tout au long de l'étude, dans le cas contraire il sera nécessaire de le faire figurer.

Comment ? Les séances seront individuelles. Le miroir sera placé entre les deux bras du patient, légèrement décalé du côté pathologique. Il est ensuite recommandé d'opérer une rotation du miroir de 5 à 10° maximum dans le plan sagittal afin de faciliter la perception du reflet et de rester le plus droit possible et permettant l'avancée de la tête pour faciliter la perception du reflet et de maintenir une posture la plus droite possible. Le membre affecté est caché tout au long de l'intervention. Elle comprend la réalisation de : **flexion et extension du coude, rotation ulnaire et radiale, flexion et extension du poignet, inclinaison ulnaire et radiale de poignet, flexion et extension des doigts, abduction et adduction des doigts.** Ces

exercices sont réalisés à l'aide d'objets tel qu'une éponge en mousse, une bouteille d'eau, une baguette en bois, une tasse, des cubes en bois en restant fonctionnel et basé sur la tâche.

Où ? Les séances auront lieu dans une structure hospitalière proposant de la thérapie miroir et disposant du matériel minimum nécessaire.

Quand et combien ? L'intervention sera réalisée sur une période de **8 semaines à raison de 5 séances par semaine d'une durée de 30 mn**

Individualisation et modifications : La rééducation avec la thérapie miroir est une intervention nécessitant d'être personnalisée à la situation de chaque patient afin d'en potentialiser ses effets. Nous laissons donc les praticiens faire appel à leurs « expertises » pour structurer le programme de thérapie miroir mais en respectant les différentes conditions exposées dans cette partie. Une description brève de l'intervention avec les spécificités et difficultés rencontrées par le praticien sera demandée au terme des 8 semaines.

Fidélité à l'intervention : Le nombre de séances réalisées ainsi que leur durée devront être spécifiées afin de pouvoir évaluer l'observance des patients au traitement.

Tableau II : Récapitulatif Groupe Thérapie miroir

Critères	Description
Durée de l'intervention	8 semaines
Nombre de séances	5 séances par semaine sur une période de 8 semaines à raison de 30 mn par jour
Intensité de l'exercice	Elevée
Type d'exercice	
Matériel minimum nécessaire	Boite à miroir

3.3.2 Thérapie par assistance robotique Arméo®

Intervention : Programme à 2 composantes : Rééducation assistée par exosquelette Arméo® + Thérapie manuelle.

Pourquoi ? Le but de cette rééducation est de fournir une thérapie fonctionnelle aux patients qui ont une faiblesse ou une fonction restreinte dans leur membre supérieur. Il a pour but d'aider à retrouver une mobilité active du bras et d'encourager une mobilité des mains. Son objectif est de permettre des répétitions élevées, d'améliorer les amplitudes de mouvements et la coordination sous la forme de nouveaux apprentissages moteurs. Il est également utilisé pour réduire ou minorer le risque dans la perte de mouvement du membre paralysé par inutilisation avec la survenue de spasticité ou contractures musculaire et/ou articulaires.

Quoi ? L'Arméo[®] est constitué d'un exosquelette relié à un logiciel informatique et d'un écran. L'exosquelette va "soutenir" ou "contrôler" le mouvement que le patient souhaite effectuer. Les paramètres individuels peuvent être ajustés ou sélectionnés en fonction de la capacité du patient. Le logiciel contient une bibliothèque d'exercices de mouvement de type jeu pris en charge par un environnement d'entraînement en réalité virtuelle, qui affiche la tâche fonctionnelle avec un retour de performance immédiat. Le système fournit également des évaluations conçues pour évaluer la capacité motrice et la coordination des patients. Des capteurs intégrés enregistrent le mouvement actif du bras qui peut être utilisé pour évaluer et documenter les progrès du patient pendant toutes les séances de thérapie.

Qui ? L'intervention sera dispensée par un MK/Ergothérapeute diplômé d'état ayant une expertise dans la rééducation par assistance robotique Arméo[®]. Sera considéré comme expert un praticien encadrant hebdomadairement de la rééducation robotique Arméo[®] depuis au minimum 1 an et ayant reçu une formation spécifique à la dispense de celle-ci. Il est préconisé que le praticien dispensant l'intervention reste identique tout au long de l'étude, dans le cas contraire il sera nécessaire de le faire figurer.

Comment ? Elle comprend la réalisation de : **flexion et extension du coude, rotation ulnaire et radiale, flexion et extension du poignet, inclinaison ulnaire et radiale de poignet, flexion et extension des doigts, abduction et adduction des doigts**. Chaque exercice a trois niveaux de difficulté : facile, moyen et difficile, avec une progression dans la complexité et les degrés de mouvement de l'activité. Nous aurons pour choix de ne procéder à la rééducation seulement en difficulté moyenne (pour ne pas introduire de biais de comparaison par effet bénéfique d'intensité graduelle dans un groupe par rapport à l'autre).

Chaque exercice consistait en des séances de 3 minutes et les participants répétaient les exercices. Des pauses de repos ont été prévues jusqu'à 3 minutes, comme requis. La durée des exercices a été modifiée en fonction de la tolérance du participant.

Où ? Les séances auront lieu dans une structure hospitalière proposant de la thérapie miroir et disposant du matériel minimum nécessaire.

Quand et combien ? L'intervention sera réalisée sur une période de **8 semaines à raison de 5 séances par semaine d'une durée de 30 mn.**

Individualisation et modifications : La rééducation par assistance robotique Arméo[®] est une intervention nécessitant d'être personnalisée à la situation de chaque patient afin d'en potentialiser ses effets. Nous laissons donc les praticiens faire appel à leurs « expertises » pour structurer le programme de rééducation par assistance robotique Arméo[®] mais en respectant les différentes conditions exposées dans cette partie. Une description brève de l'intervention avec les spécificités et difficultés rencontrées par le praticien sera demandée au terme des 8 semaines.

Fidélité à l'intervention : Le nombre de séances réalisées ainsi que leur durée devront être spécifiées afin de pouvoir évaluer l'observance des patients au traitement.

Tableau III: Récapitulatif Groupe Arméo

Critères	Description
Durée de l'intervention	8 semaines
Nombre de séances	5 séances par semaine sur une période de 8 semaines à raison de 30 mn par jour
Intensité de l'exercice	Elevée
Type d'exercice	
Matériel minimum nécessaire	Exosquelette Arméo [®]

3.3.3 Temps préparatoire pré séance

Intervention : thérapie manuelle précédant la thérapie miroir ou l'exosquelette Arméo[®]

Pourquoi ? D'abord pour conserver l'aspect de la thérapie combinée qui offre plus de chance aux patients mais aussi pour permettre de pouvoir produire les meilleurs résultats des techniques utilisées (réveil musculaire et articulaire, inhibition de la spasticité si présente)

Quoi ? La thérapie manuelle est une technique dispensée par un MK, elle consiste en un ensemble d'exercices de mobilisation articulaire et d'étirements du membre supérieur.

Qui ? L'intervention sera dispensée par un MK diplômé d'état. Il est préconisé que le praticien dispensant l'intervention reste identique tout au long de l'étude, dans le cas contraire il sera nécessaire de le faire figurer.

Comment ? Les séances seront individuelles. Il sera pratiqué des mobilisations à visées purement articulaires de l'ensemble du membre supérieur : scapula, épaule, coude, poignet et doigts. On ne recherchera que l'aspect du travail passif afin de préserver le capital moteur du patient pour l'exercice qui suit. On cherchera également à réaliser des étirements passifs de l'ensemble des muscles du membre supérieur si nécessaire.

Les mobilisations articulaires s'intéresseront à la **flexion et extension du coude, rotation ulnaire et radiale, flexion et extension du poignet, inclinaison ulnaire et radiale de poignet, flexion et extension des doigts, abduction et adduction des doigts.**

Où ? Les séances auront lieu dans une structure hospitalière proposant de la thérapie miroir et disposant du matériel minimum nécessaire.

Quand et combien ? L'intervention sera réalisée sur une période de **8 semaines à raison de 5 séances par semaine d'une durée de 30 mn.**

Individualisation et modifications : Nous laissons donc les praticiens faire appel à leurs « expertises » pour structurer le programme de rééducation de thérapie manuelle mais en respectant les différentes conditions exposées dans cette partie. Une description brève de l'intervention avec les spécificités et difficultés rencontrées par le praticien sera demandée au terme des 8 semaines.

Fidélité à l'intervention : Le nombre de séances réalisées ainsi que leur durée devront être spécifiées afin de pouvoir évaluer l'observance des patients au traitement.

3.4 Critères de jugement

3.4.1 Critère de jugement principal

Le critère de jugement principal sera : le Fugl-Meyer Assessment Upper Limb (FMA-UL) pour le membre supérieur pour **évaluer la récupération motrice et la fonction motrice**.

Le FMA-UL est une mesure primordiale pour évaluer la fonction motrice du membre supérieur après un AVC.

3.4.2 Critères de jugement secondaires

Les critères de jugement secondaire seront **l'évaluation de la spasticité** par l'échelle d'Ashworth modifiée Modified Ashworth Scale (MAS), pour **évaluer les activités de la vie quotidienne** par l'Index de Barthel modifié (MBI).

Le **MBI** est utilisé pour mesurer les activités de la vie quotidienne selon un score maximal de 100 selon 10 items associés à différentes activités comme l'hygiène personnelle, la toilette, l'alimentation, faire ses besoins, monter des escaliers, l'habillage, les transferts. Un score élevé traduit une bonne capacité dans les activités de la vie quotidienne.

Le **MAS** est utilisé pour évaluer la spasticité et le tonus musculaire dont le score varie de 0 à 4. Plus le score est élevé, plus le patient présente de spasticité.

Le recueil de l'ensemble des critères de jugement principaux comme secondaires sera réalisé par un évaluateur n'ayant pas connaissance de l'assignation des patients.

3.5 Taille de l'échantillon

La taille d'échantillon correspond au plus petit nombre de participants nécessaires pour garantir l'observation d'une différence significative entre nos 2 groupes.

Pour calculer notre taille d'échantillon, nous utilisons l'outil « calcul du nombre de sujet pour étude clinique » fourni par le site BiostatGV. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de la thérapie miroir versus l'assistance robotique Arméo[®]. Pour cela il nous faut comparer les moyennes obtenues pour chacun des critères de jugement au sein de chacun des groupes.

Pour déterminer la taille d'échantillon, il sera nécessaire de fournir à l'algorithme de calcul les variables suivantes :

Bien que je n'ai pas trouvé dans la littérature d'étude comparative entre la thérapie miroir versus l'exosquelette Arméo[®]. J'ai donc intégré 2 études traitant le sujet séparément. Les moyennes attendues pour le test de Fugl Meyer (FMA) pour chacun des groupes, en nous appuyant sur l'étude de Madhoun (**Madhoun et al., 2020**) pour la thérapie Miroir et l'étude de Palermo pour l'exosquelette Arméo[®] (**Palermo et al., 2018**).

Pour cela, il nous faut déterminer la moyenne et l'écart type de la variable que nous souhaitons observer dans le cas de notre étude le score obtenu avec le FMA UL. Pour effectuer notre calcul d'échantillon il nous faut d'abord établir différents éléments :

- Le risque de première espèce, qui constitue le risque de rejeter l'hypothèse nulle alors que celle-ci est vraie. Celui-ci est fixé à 5%, $\alpha=0,05$.
- Le risque de seconde espèce, qui constitue le risque d'accepter l'hypothèse nulle alors qu'elle est fautive. Celui-ci est fixé à 20%, $\beta=0,80$.
- La différence attendue sur l'augmentation du score obtenu sur le FMA, qui est calculée en se basant sur les résultats fournis par l'étude de Madhoun pour la thérapie Miroir et l'étude de Palermo pour l'exosquelette Arméo[®] (**Palermo et al., 2018**). Celle-ci est fixée à 12.17 pour Madhoun et 12.4 pour Palermo, il s'agit de la différence observée au bout de huit semaines de traitement.
- L'écart type commun pour le critère que nous souhaitons étudier, qui est fixé à 9.75,

L'écart type commun est calculé via la formule suivante :

- SD_c = écart type commun
- SD = écart type
- n = Moyenne

$$SD_c = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)Q_1^2 + (n_2 - 1)Q_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$SD_c = \sqrt{\frac{(45 - 1)10.7^2 + (31.4 - 1)8.19^2}{45 + 31.4 - 2}}$$

$$SD_c^2 = 95.117$$

$$SD_c = 9.752$$

En utilisant ces différents éléments et en utilisant un logiciel de mesure d'échantillon (<http://biostatgv.sentiweb.fr/>), nous avons pu déterminer que le nombre de sujets nécessaires par groupe est de 18 soit 2 groupes de 9 patients, afin de pouvoir proposer une étude statistique satisfaisante. Cependant les études cliniques comprennent en moyenne entre 12 à 15 sujets et celles sur l'AVC comprennent environ 20 sujets. Nous allons donc établir 2 groupes de 18 personnes et pour limiter le risque de perdus de vue y ajouter 4 participants supplémentaires ce qui nous fera un échantillon de population de 40 participants.

4 Analyse de données - statistiques

4.1 Population

Sachant que nous prenons une population assez large (>40 ans) et que les atteintes peuvent être parfois plus sévères les unes que les autres. Cela pourrait donc engendrer un biais de confusion si les groupes expérimentaux venaient à être hétérogènes et un biais de sélection s'ils ne sont pas représentatif de la population. Afin de fournir une répartition la plus équitable et la plus aléatoire possible des participants au sein de chaque groupe, nous utiliserons un logiciel qui effectuera cette tâche. Pour produire nos groupes, nous utiliserons la solution de randomisation de ATLANSTAT qui propose aussi une interface web IWRS (Interface Web Response System).

4.2 Mécanisme d'assignation secrète et mise en œuvre

L'assignation secrète ainsi que la mise en œuvre du processus de randomisation seront réalisées à l'aide de la solution d'ATLANSTAT. L'enrôlement des participants sera réalisé au sein de la structure hospitalière pilotant l'étude.

4.3 Aveugle

La mise en insu (aveugle) permet entre autres de conserver la comparaison initiale de nos 2 groupes. Dans notre étude la mise en double aveugle (patient et praticien) est rendue impossible

en raison de la spécificité des interventions. Notre étude sera en simple aveugle, l'évaluateur ne sachant pas dans quel bras du traitement se trouve le patient.

4.4 Méthode statistique

Nous souhaitons évaluer si la thérapie miroir permet une meilleure récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur par rapport à la rééducation robotisée Arméo[®].

Trois temps de mesures de nos critères de jugement sont définis pour cette étude. Le premier temps de mesure noté T0 sera réalisé lors de la sélection à l'étude pour le FMA, MAS et MBI. Ces mesures seront renouvelées à 4 semaines T1, à 8 semaines T2.

4.4.1 Description des variables

Les critères de jugements sont ;

- Score FMA-UL c'est une échelle qui est caractérisée par une valeur quantitative continue comprise entre 0 à 66 (module A B C D fonction motrice)
- Score MAS c'est une échelle qui est caractérisée par une valeur quantitative continue comprise entre 0 à 4
- Score MBI c'est une échelle qui est caractérisée par une valeur quantitative continue comprise entre 0 à 100

4.4.2 Statistiques descriptives

Les variables descriptives de la population comme l'âge, le sexe, la latéralité du patient, la durée de l'AVC avant rééducation, seront exprimés en terme de moyenne et écart type et pourcentage d'une part et d'autre part seront illustrés à l'aide de diagrammes de types histogrammes ou de box-plots. Les résultats seront présentés sous forme de tableau.

4.4.3 Statistiques inférentielles

Pour chaque critère de jugement (qui sont 3 variables quantitatives continues) nous présenterons les résultats en termes de distribution, de moyenne, écart-type, minimum-maximum. Le paramètre de position : **la moyenne** et un paramètre de dispersion : **l'écart type** et ceux-ci pour

les 3 temps de mesure. Le calcul de l'écart type nécessite de déterminer **la variance**, qui est un paramètre de dispersion qui peut également être utile pour notre analyse statistique.

Ensuite nous devons pour répondre à notre hypothèse en comparer les différentes moyennes obtenues pour chaque groupe (analyse intergroupes) et dans un second temps au sein d'un même groupe (analyse intra-groupe). Pour cela il nous faut utiliser des tests statistiques de comparaison de moyennes. Dans la suite de cette partie sera décrit la méthode à appliquer pour cette comparaison.

- **Choix du test statistique**

Tout d'abord il nous faut définir nos 2 hypothèse de travail :

Hypothèse H_0 : $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence statistiquement significative entre μ_1 (moyenne de variable 1) et μ_2 (moyenne de variable 2). C'est l'hypothèse que nous cherchons à rejeter.

Hypothèse H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ correspond à l'hypothèse alternative selon laquelle, il existe une différence statistiquement significative entre μ_1 et μ_2 qui n'est pas due au hasard. C'est l'hypothèse que nous cherchons à affirmer.

Pour cela, on fixe le seuil de première espèce $\alpha = 5\%$. p représente la « p-value ». Il faudra donc que $p < 0,05$ pour rejeter H_0 .

Si $p > 0,05$ il faudra vérifier la puissance du test (P) utilisé avant de conclure. Le seuil de seconde espèce est $\beta = 20\%$; il faudra donc que $P = 1 - \beta > 0,8$ (80%) pour que l'on puisse rejeter H_1 .

Si $p > 0,05$ et $P < 0,8$ alors on ne pourra pas conclure directement : on ne pourra ni rejeter, ni accepter H_1 .

L'ensemble des valeurs fournit par nos critères de jugement sont des valeurs quantitatives permettant d'appliquer la méthodologie décrite à l'ensemble des valeurs de nos critères de jugement.

Pour le choix des tests statistiques, il est nécessaire de connaître la distribution des données dans chaque groupe pour chaque critère de jugement afin de déterminer si les variables suivent

une loi normale ou de Gauss. Pour cela, nous utiliserons le test de normalité de Shapiro-Wilk qui a une plus forte puissance que le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov. Si la distribution suit une loi normale, nous pouvons proposer des tests paramétriques, dans notre cas un test de Student. Mais normalement pour des effectifs inférieurs à 30 sujets, il est habituellement demandé de faire des tests non paramétriques. D'après la littérature, nos 3 critères de jugement montrent une certaine variabilité, nous pouvons donc nous attendre à une distribution avec dispersion ou multimodale. Dans ce cas, nous choisirons des tests non paramétriques.

Pour les analyses intergroupes, nous utiliserons le test de Mann et Whitney pour comparer T0 à T1 puis T1 à T2 puis T0 à T2.

Pour les analyses intra-groupe, nous pourrions utiliser la même méthode, en utilisant le test de rang de Wilcoxon car dans cette situation nos temps de mesures sont appariés mais comme nous avons 3 temps de mesure, nous pouvons choisir le test non paramétrique ANOVA de Friedman permettant une comparaison de moyenne pour $n=3$ ($n>2$).

5 Résultats

5.1 Flux de participants

Pour proposer une bonne lecture des critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion, il conviendra de remplir un diagramme de flux comme ci-dessous avec le nombre de participants de l'étude. Ce diagramme proposera un suivi de population tout au long de la représentation de notre étude. Il y sera représenté :

- La population étudiée
- Les participants exclus
- La répartition des participants au sein de chaque groupe.
- Le traitement appliqué.
- Le nombre de participants analysés.

5.2 Risque de perte de suivi

Seront notées les personnes n'ayant pas été gardées au terme de l'étude. Les raisons pourront être multiples :

Tout participant perdu de vue durant la réalisation de l'étude.

Les participants présentant une aggravation de l'état neurologique, cognitif, moteur au cours de l'étude, survenue à cause d'éléments extérieurs au traitement seront exclus.

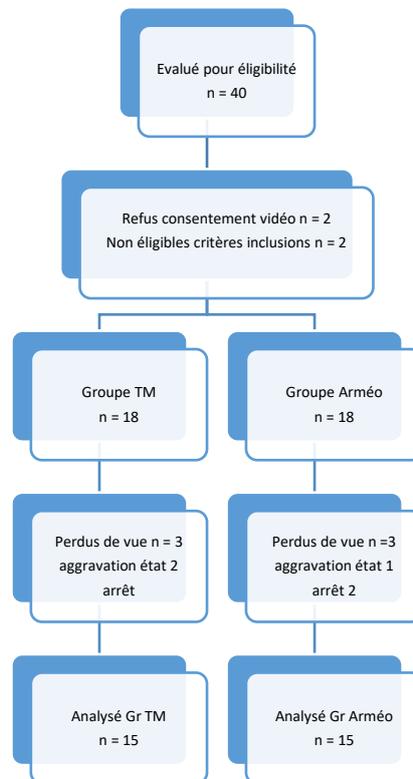


Figure 8 : Diagramme de flux des participants

5.3 Recrutement

Le recrutement sera effectué sur une patientèle hospitalière en unité neuro-vasculaire afin que notre étude puisse être facilement réalisable et qu'elle ne nécessite pas de coûts importants. Cette étude est pensée pour une réalisation sur une période de deux ans, elle permettra ainsi de pouvoir proposer un suivi et une méthode de recueillement d'analyses suffisante mais également de pouvoir intégrer tous les patients nécessaires à l'étude. La date de début de recrutement et de suivi sera mentionnée. Et le recruteur aura à charge de procéder à la randomisation des patients tout en n'étant pas l'évaluateur.

5.4 Éléments juridiques

Avant toute mise en place, notre protocole de rééducation devra être en conformité avec les lois régissant la recherche impliquant des personnes humaines (RIPH) présentées par l'Agence Nationale de la Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM). Il devra donc être en conformité avec la loi Jardé 2022-323 (4 mars 2022) (Décret n° 2022-323, 2022); notre étude

rentrant dans la catégorie « recherche à risque et contrainte minimale » mentionnées au 2° de l'article L. 1121-1 et de l'article L 1123-7 du code de la santé publique. Elle forme « une recherche qui vient évaluer les soins courants » et ne pourra être mise en œuvre qu'après avis favorable du Comité de Protection des Personnes (CPP), mais ne nécessite pas l'autorisation de l'ANSM (juste une information). Le consentement libre et éclairé des patients sera recueilli avant leur intégration à l'étude, mais leur répartition dans l'un des différents groupes ne leur sera pas révélée. (Comités de protection des personnes (CPP) | Agence régionale de santé Ile-de-France, 2023)

Avant le début de l'étude, une demande d'enregistrement sera effectuée auprès de l'ANSM afin d'obtenir un numéro « RCB » qui permet de référencer les recherches impliquant des personnes humaines de catégorie 2.

Une fois l'enregistrement effectué, les documents cités dans l'arrêté du 2 décembre 2016 seront transmis au CPP :

Le protocole de la recherche tel que défini à l'article R. 1123-20 du code de la santé publique, daté et comportant un numéro de version.

Le résumé du protocole.

Le document d'information destiné aux personnes qui se prêtent à la recherche prévue à l'article L. 1122-1 du code de la santé publique.

Le cahier observationnel de l'étude.

La liste des investigateurs.

L'origine et la nature des données nominatives recueillies.

La déclaration de conformité à une méthodologie homologuée de référence par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) (Santé & Santé, 2021).

Un dossier administratif contenant les informations suivantes :

Un courrier de demande d'avis, daté et signé

Le formulaire de demande d'avis, daté et signé, conformément à l'annexe 1 du présent arrêté

Le document additionnel à la demande d'avis au comité de protection des personnes, décrit en annexe 2 du présent arrêté, daté et signé, accompagné, le cas échéant, des supports susceptibles d'être utilisés en vue du recrutement des personnes

Un dossier sur la recherche contenant les informations suivantes :

Le protocole de la recherche tel que défini à l'article R. 1123-20 du code de la santé publique, daté et comportant un numéro de version

Le résumé du protocole rédigé en français, daté et comportant un numéro de version

Le cas échéant, la brochure pour l'investigateur mentionnée à l'article R. 1123-20 du code de la santé publique, datée et comportant un numéro de version, lorsque la recherche porte sur un produit autre que ceux mentionnés à l'article L. 5311-1 du code de la santé publique ;

Si la brochure pour l'investigateur appartient à un tiers, l'autorisation du tiers délivrée au promoteur pour l'utiliser

Le document d'information destiné aux personnes qui se prêtent à la recherche, sauf lorsque les exigences méthodologiques de la recherche ne sont pas compatibles avec le recueil du consentement et que l'information est collective conformément à l'article L. 1122-1-4

Le formulaire de recueil du consentement des personnes se prêtant à la recherche ou d'autorisation dans les cas prévus à l'article L. 1122-2 du code de la santé publique sauf lorsqu'il est fait application de l'article L. 1122-1-4

La copie de l'attestation d'assurance prévue à l'article L. 1121-10 du code de la santé publique
Une justification de l'adéquation des moyens humains, matériels et techniques au projet de recherche et de leur compatibilité avec les impératifs de sécurité des personnes qui s'y prêtent, sauf si le lieu bénéficie de l'autorisation mentionnée à l'article L. 1121-13 du code de la santé publique

Le curriculum vitae du ou des investigateurs

Le cas échéant, la nature de la décision finale de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé, mentionnée à l'article L. 1123-8 du code de la santé publique, si cette décision est disponible

5.5 Données de l'étude

Lors de la sélection des participants et avec l'aide des critères d'inclusion, non inclusion et d'exclusion, nous allons constituer un échantillon que nous randomiserons plus tard. Cela va nous amener en premier lieu à présenter un tableau récapitulatif des données descriptives relatives à la population étudiée. Il permettra également de mettre en valeur l'homogénéité des deux groupes d'études et ainsi de contrôler les biais de sélection.

Tableau IV : Données descriptives des participants

Paramètres	Groupe TM n=15	Groupe Arméo n = 15	p value
Sexe (H/F)	x/x %	x/x %	
Latéralité (G/D)	x/x %	x/x %	
Âge (années)	moy ±SD	moy ±SD	
FMA UL	moy ±SD	moy ±SD	
MAS	moy ±SD	moy ±SD	
MBI	moy ±SD	moy ±SD	

FMA-UL: Fugl-Meyer Assessment Upper Limb; MAS: Modified Ashworth Scale; MBI: Modified Barthel Index

5.6 Effectifs analysés

5.6.1 Critères de jugements et estimations

Les deux tableaux suivants compileront les données obtenues pour les deux groupes (TM et Arméo). Pour chaque groupe, on déterminera la moyenne et l'écart-type de chaque variable étudiée et une colonne p value sera calculée en fonctions des résultats obtenus et facilitera l'interprétation de l'étude.

Tableau V : Description moyenne des variables d'intérêt Groupe TM

TM	T0	T1	T2
Outcomes	Prétest	Après 4 semaines	Après 8 semaines
FMA-UL	moy ±SD	moy ±SD	moy ±SD
MAS	moy ±SD	moy ±SD	moy ±SD
MBI	moy ±SD	moy ±SD	moy ±SD

Tableau VI : Description moyenne des variables d'intérêt Groupe Arméo[©]

Arméo	T0	T1	T2
Outcomes	Prétest	Après 4 semaines	Après 8 semaines
FMA-UL	moy ±SD	moy ±SD	moy ±SD
MAS	moy ±SD	moy ±SD	moy ±SD
MBI	moy ±SD	moy ±SD	moy ±SD

Pour présenter les résultats de l'études entre les 2 groupes, nous présenterons les données comme suit :

- Si H0 est validée, cela implique que nous présenterons seulement les données de l'intergroupe.
- Si H1 est validée, cela implique une différence significative en intergroupe et donc une analyse en intragroupe sera présentée.

Analyse des distributions des résultats :

Variable FMA-UL : A T0, le test de Shapiro-Wilk nous montre une distribution des données qui ne suit pas une loi Normale, $p > 0,05$, cela également à T1 et T2.

Variable MAS : A T0, le test de Shapiro-Wilk nous montre une distribution des données qui ne suit pas une loi Normale, $p > 0,05$, cela également à T1 et T2.

Variable MBI : A T0, le test de Shapiro-Wilk nous montre une distribution des données qui ne suit pas une loi Normale, $p > 0,05$, cela également à T1 et T2.

Nous utiliserons ainsi des tests statistiques non paramétriques, le test de Mann-Whitney pour la comparaison intergroupe et le test Anova de Friedman pour les comparaisons de moyennes intra-groupe.

Tableau VII : Résultats comparaison de moyennes intergroupes : Groupe TM / Groupe Arméo
Test de Mann-Whitney

Outcomes	T0/T1 Après 4 semaines		T0/T2 Après 8 semaines		T1/T2 Entre 4 et 8 semaines	
	T0/T1 TM	T0/T1 Arméo	T0/T2 TM	T0/T2 Arméo	T1/T2 TM	T1/T2 Arméo
FMA-UL	p value	p value	p value	p value	p value	p value
MAS	p value	p value	p value	p value	p value	p value
MBI	p value	p value	p value	p value	p value	p value

Tableau VIII ; Résultats comparaisons de moyennes intra-groupes : Groupe TM / Groupe Arméo
Test ANOVA de Friedman

Outcomes	T0 Prétest			T1 Après 4 semaines			T2 Après 8 semaines		
	FMA-UL	MAS	MBI	FMA-UL	MAS	MBI	FMA-UL	MAS	MBI
TM	p value	p value	p value	p value	p value	p value	p value	p value	p value
Arméo	p value	p value	p value	p value	p value	p value	p value	p value	p value

5.6.2 Représentations graphiques des données recueillies

Nous représenterons l'ensemble des données sous la forme de graphiques (box plots ou boîte à moustaches). Dans un premier graphique, nous présenterons l'évolution du score de Fugl-Meyer pour les deux groupes sur les différents temps de mesure (T0 à T2). Nous pourrions en faire de même avec le score d'Ashworth modifié et l'index de Barthel.

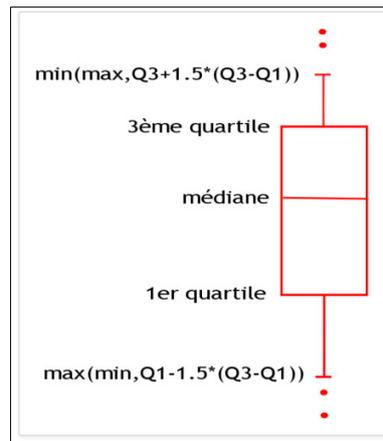


Figure 9 : Exemple de box-plot

Un box-plot est un graphique simple composé d'un rectangle duquel deux droites sortent afin de représenter certains éléments des données.

- La valeur centrale du graphique est la médiane (il existe autant de valeur supérieures qu'inférieures à cette valeur dans l'échantillon).
- Les bords du rectangle sont les quartiles (Pour le bord inférieur, un quart des observations ont des valeurs plus petites et trois quart ont des valeurs plus grandes, le bord supérieur suit le même raisonnement).
- Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1.5 fois l'espace interquartile (la distance entre le 1er et le 3ème quartile).

On peut remarquer que 50% des observations se trouvent à l'intérieur de la boîte.

Exemple : score de Fugl-Meyer pour les deux groupes sur les différents temps de mesure (T0 à T2).

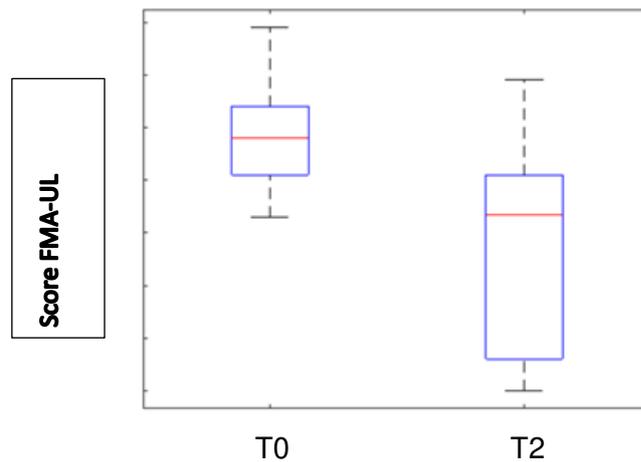


Figure 10 : Présentation graphique de la comparaison intergroupe du score FMA-UL entre T0 et T2 pour le groupe Arméo.

5.7 Résultats attendus

Bien que nous n'ayons pas pu mener cette étude, pour une raison de manque de temps et d'acceptation de notre lettre d'intention, nous serons dans l'impossibilité de présenter des données réelles. Cependant, nous envisageons de potentiels résultats de la manière suivante :

Il n'y avait pas de différence significative entre le groupe TM et le groupe Arméo[®] pour les caractéristiques initiales (Tableau IV).

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre le groupe TM et le groupe Arméo[®] sur le MAS.

Les résultats montrent une augmentation significative du FMA-UL et du MBI sur les 2 groupes.

Les résultats montrent une différence significative en faveur du groupe Arméo à T1 qui ne se maintient pas dans le temps.

6 Discussion

6.1 Résultats attendus

Cette étude préliminaire a examiné si la TM versus la rééducation assistée par la robotique Arméo[®] affecte la fonction motrice des membres supérieurs, la spasticité et les activités de la

vie quotidienne chez les patients victimes d'un AVC subaigu- avec des déficiences modérées à sévères.

L'existence des neurones miroirs dans les circuits de l'apprentissage a été démontré depuis longtemps (**Rizzolatti, 2008**) et leur présence chez l'homme ont été suggéré par neuro-imagerie (**Farina et al., 2020**). En activant une zone cérébrale pourvue de neurones miroirs par thérapie miroir (**Farina et al., 2020; Mathon, 2013**), on suppose qu'elle est un levier à la récupération fonctionnelle motrice après un AVC (**Abdullahi et al., 2022; Thieme et al., 2018**). On suppose également un effet de la boucle de rétroaction visuelle dans la restauration de la boucle efférence afférence (**Deconinck et al., 2015**). L'apprentissage de nouvelles compétences motrices via les neurones miroirs est suggérée par plusieurs études (**Buccino et al., 2004; Molenberghs et al., 2010**).

L'utilisation de la thérapie miroir est efficace dans la récupération du membre supérieur chez les patients atteints d'AVC (**Abdullahi et al., 2022; Tofani et al., 2022**) et semble favoriser le recrutement des voies ipsilatérales (**Ezendam et al., 2009**) et une amélioration de la fonction motrice (**Sütbeyaz et al., 2007**).

Le développement des technologies et notamment de l'assistance robotisée ont permis l'émergence de nouvelles techniques s'approchant de plus en plus de la physiologie articulaire humaine (**Bertani et al., 2017**). D'après Bertani, l'Arméo semble permettre une amélioration clinique et cinématique réduisant l'inhibition inter hémisphérique et par conséquent une diminution de la spasticité (**Calabrò et al., 2017**).

Notre étude n'étant pas représentée dans la littérature en l'absence de sources similaires à ce protocole, il est difficile de pouvoir discuter des résultats sans éléments à comparer.

Cependant, selon Schrader et al qui ont étudié la thérapie miroir robotisée RMT vs TM seule, il existerait des preuves initiales que la RMT bilatérale maximise les effets de la TM par l'intermédiaire des entrées somatosensorielles simultanées produisant une amélioration de la fonction motrice sur le FMA-UL (**Schrader et al., 2022**). D'autres études ont pu montrer que les entrées proprioceptives passives produisent des modifications neurales observable par IRMf- dans le cortex ventral prémoteur et pariétal controlesionnel avec influence positive sur la récupération (**Dechaumont-Palacin et al., 2008**).

Selon Cecchi et al, l'âge serait négativement associé à la récupération du MS sur une rééducation conventionnelle mais sans impact sur la thérapie robotique (**Cecchi et al., 2021**).

Cela pourrait avoir une incidence sur les résultats et qui justifierai une étude par stratification selon l'âge pour analyser les données en sous-groupes.

Selon Hung et al, dans une étude comparative entre thérapies combinées toxine botulique et RT / TM / TC, il ressortirait que les résultats sur le FMA UL entre TR et TM ne soient pas significatifs (**Hung et al., 2022**), l'analyse sur le MAS serait quant à elle biaisée car influencée par l'injection de toxine botulique.

6.2 Limitations (validité interne)

La validité interne permet de s'assurer que le résultat obtenu n'est pas dû à un biais, au hasard ou à un manque de puissance donc que la méthode utilisée pour l'obtenir est adéquate pour répondre à la question.

Un biais est une erreur systématique lors d'une analyse statistique liée à la méthodologie de l'étude. Cela entraîne alors des erreurs dans l'estimation des paramètres s'ils ne sont pas maîtrisés et pouvant jusqu'à aller remettre en cause l'étude. Cependant ne pas confondre un biais avec une erreur aléatoire (fluctuation d'échantillonnage qui débouche sur une imprécision) ou avec une erreur dans une conclusion statistique (risque alpha et risque bêta ou manque de puissance) (**LEPCAM, 2023**).

Plusieurs auteurs ont listé les divers biais que l'on peut rencontrer en evidence based practice. (**Higgins et al., 2011; Sackett & Rosenberg, 1995**)

6.2.1 Biais de sélection

Un biais de sélection est une erreur systématique dans une étude mettant en cause les méthodes de choix des participants, dans notre cas pour une étude comparative, ce biais existe si nos groupes formés ne sont pas comparables d'emblée.

Pour contrôler ce biais, nous avons donc élaboré des critères d'inclusion et non inclusions assez restrictives pour nous prémunir contre le risque de biais de recrutement. Nous avons également réalisé une randomisation de nos participants avec le logiciel ATLANSTAT pour nous prémunir du biais d'allocation et avoir ainsi une homogénéité de nos groupes à comparer. De plus nous avons réalisé un recrutement exhaustif (+30%).

Pour limiter le risque d'attrition, il est prévu un suivi et des relances pour limiter les sorties et perdus de vue. Également, les participants seront analysés en ITT.

Nous pouvons donc estimer que notre protocole permet un contrôle satisfaisant du biais de sélection

6.2.2 Biais de classement

Afin de limiter ce biais, nous avons standardisé notre protocole de mesure avec des critères de jugements établis avec des tests reproductibles. (Reproductibilité intra observateur et inter observateur). D'autres part, les évaluateurs ne procéderont qu'exclusivement aux évaluations des participants, le recruteur n'aura en charge que l'accueil, explications et randomisation des sujets. Seuls les MK seront affectés de manière permanente à l'un des deux groupes d'études sans en changer car formation spécifique.

6.3 Généralisation (validité externe)

Pour garantir un niveau de généralisation satisfaisant, nous nous sommes appuyés sur les études de Madhoun (**Madhoun et al., 2020**) et Palermo (**Palermo et al., 2018**) portant sur une étude proche de la nôtre avec le même critère de jugement principal. Bien que les 2 études ne comparent pas les 2 techniques de notre étude, elles possèdent un groupe témoin. D'autres part, nous avons pris des études présentant les mêmes augmentations entre les phases prétest et post test.

Nous avons donc établi notre échantillon en nous appuyant sur la littérature et sur les informations concernant la population la plus exposée au risque d'apparition de la pathologie étudiée. Cependant, nous avons aussi choisi de ne prendre que des personnes présentant des atteintes cérébrales droite pour ne pas avoir de souci de compréhension. Il faudrait réaliser cette étude pour voir si des résultats concordants ou non peuvent en résulter.

Au niveau de la pratique, bien que l'étude soit réalisée en milieu hospitalier pour des raisons de coûts (rééducation robotique), selon les résultats obtenus dans le cas où les deux techniques ne présenteraient pas de différence significative, cela pourrait être généralisé au milieu libéral pour un coût abordable et amortissable (matériel et formation).

6.4 Interprétation

Si notre hypothèse de départ venait à être infirmée, alors il n'y aurait aucune différence significative entre le TM et l'Arméo ce qui permettrait à efficacité équivalente de pouvoir étendre son utilisation à l'ensemble de la profession de masseur-kinésithérapeute avec un investissement beaucoup plus faible que pour s'équiper d'un Arméo. Elle pourrait également être infirmée si l'Arméo se révélait avoir une différence significative et un meilleur effet qui indiquerait que les institutions seraient les récipiendaires légitimes de cette patientèle pour ne pas minorer les chances des patients en les orientant vers le milieu libéral lors du parcours de soin.

Si notre hypothèse venait à être affirmée pour une meilleure efficacité de la TM vs l'Arméo, alors cela pourrait permettre la mise en place d'une plus grande palette de choix dans les techniques thérapeutiques bénéfiques pour ce type de pathologies et de maximiser les chances de récupérations des patients.

Il faut cependant garder à l'esprit que ce ne seraient aussi que des résultats préliminaires et qu'il conviendrait de les confronter à d'autres études similaires pour en renforcer le degré de preuve.

7 Conclusion

Ce mémoire de fin d'étude propose un protocole de rééducation permettant d'évaluer comparativement l'efficacité d'un traitement par Thérapie miroir versus Thérapie robotique Arméo[®] auprès de patients victimes d'AVC dans la récupération fonctionnelle motrice du membre supérieur. Il permettra de venir étoffer l'ensemble des connaissances sur cette pathologie dont les études comparatives entre ces deux techniques ne sont pas très abondantes.

Tout d'abord nous avons exposé brièvement les aspects anatomo-physiologiques du système nerveux et de l'AVC en y intégrant une problématique issue d'une veille scientifique de plus d'un an sur les différentes techniques de l'étude. L'élaboration du protocole a été fait pour répondre à la problématique, Enfin, nous terminons notre travail dans une analyse autocritique de cette étude et des perspectives de poursuites voire d'amélioration de ce protocole.

Personnellement, ce travail de mémoire d'initiation de mémoire de recherche m'a permis d'approfondir mes connaissances dans les deux techniques pour les avoir utilisés lors de mes

différents stages de formation en environnement hospitalier. Bien que complexe de prime abord, il a suscité une curiosité naissante pour une pratique basée sur les preuves et que mener un tel projet présente beaucoup de difficulté sous plusieurs aspects. Bien que ne me destinant pas à officier dans la recherche durant les premières années professionnelles, ce travail aura eu le don de me perfectionner dans la lecture critique d'articles et pourra donc me servir pendant longtemps pour parfaire mes techniques de travail en suivant les avancées de la recherche scientifique dans le domaine neurologique principalement mais aussi d'une manière générale.

8 Bibliographie

- Abdullahi, A., Wong, T. W. L., & Ng, S. S. M. (2022). Rehabilitation of Severe Impairment in Motor Function after Stroke : Suggestions for Harnessing the Potentials of Mirror Neurons and the Mentalizing Systems to Stimulate Recovery. *Brain Sciences*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/brainsci12101311>
- Béjot, Y., Touzé, E., Jacquin, A., Giroud, M., & Mas, J.-L. (2009). Épidémiologie des accidents vasculaires cérébraux. *médecine/sciences*, 25(8-9), 727-732. <https://doi.org/10.1051/medsci/2009258-9727>
- Bertani, R., Melegari, C., De Cola, M. C., Bramanti, A., Bramanti, P., & Calabrò, R. S. (2017). Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients : A systematic review with meta-analysis. *Neurological Sciences: Official Journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, 38(9), 1561-1569. <https://doi.org/10.1007/s10072-017-2995-5>
- Buccino, G., Binkofski, F., & Riggio, L. (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain and Language*, 89(2), 370-376. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00356-0](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00356-0)
- Calabrò, R. S., Naro, A., Russo, M., Milardi, D., Leo, A., Filoni, S., Trincherà, A., & Bramanti, P. (2017). Is two better than one? Muscle vibration plus robotic rehabilitation to improve upper limb spasticity and function: A pilot randomized controlled trial. *PloS One*, 12(10), e0185936. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185936>
- Cecchi, F., Germanotta, M., Macchi, C., Montesano, A., Galeri, S., Diverio, M., Falsini, C., Martini, M., Mosca, R., Langone, E., Papadopoulou, D., Carrozza, M. C., & Aprile, I.

(2021). Age is negatively associated with upper limb recovery after conventional but not robotic rehabilitation in patients with stroke : A secondary analysis of a randomized-controlled trial. *Journal of Neurology*, 268(2), 474-483.

<https://doi.org/10.1007/s00415-020-10143-8>

Comités de protection des personnes (CPP) | Agence régionale de santé Ile-de-France. (2023, avril 7). <https://www.iledefrance.ars.sante.fr/comites-de-protection-des-personnes-cpp>

Dechaumont-Palacin, S., Marque, P., De Boissezon, X., Castel-Lacanal, E., Carel, C., Berry, I., Pastor, J., Albucher, J. F., Chollet, F., & Loubinoux, I. (2008). Neural correlates of proprioceptive integration in the contralesional hemisphere of very impaired patients shortly after a subcortical stroke : An fMRI study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(2), 154-165. <https://doi.org/10.1177/1545968307307118>

Deconinck, F. J., Smorenburg, A. R., Benham, A., Ledebt, A., Feltham, M. G., & Savelsbergh, G. J. (2015). *Réflexions sur la thérapie du miroir : Une revue systématique de l'effet de la rétroaction visuelle du miroir sur le cerveau* . . <https://doi.org/10.1177/1545968314546134>

de Pourville, G. (2016). Coût de la prise en charge des accidents vasculaires cérébraux en France. *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements*, 8(2), 161-168.

[https://doi.org/10.1016/S1878-6480\(16\)30330-5](https://doi.org/10.1016/S1878-6480(16)30330-5)

Esquenazi, A., Lee, S., Watanabe, T., Nastaskin, A., McKee, C., O'Neill, J., Scheponik, K., & May, J. (2021). A Comparison of the Armeo to Tabletop-assisted Therapy Exercises as Supplemental Interventions in Acute Stroke Rehabilitation : A Randomized Single Blind Study. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 13(1), 30-37. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12397>

- Ezendam, D., Bongers, R. M., & Jannink, M. J. A. (2009). Systematic review of the effectiveness of mirror therapy in upper extremity function. *Disability and Rehabilitation*, 31(26), 2135-2149. <https://doi.org/10.3109/09638280902887768>
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation : A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73(6), 2608-2611. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.73.6.2608>
- Farina, E., Borgnis, F., & Pozzo, T. (2020). Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders. *Journal of Neuroscience Research*, 98(6), 1070-1094. <https://doi.org/10.1002/jnr.24579>
- France AVC, I. (2021, mars 4). Les symptômes, la survenue brutale AVC. *France AVC IdF*. <https://franceavc-idf.fr/lavc/les-symptomes-la-survenue-brutale/>
- Frisoli, A., Barsotti, M., Sotgiu, E., Lamola, G., Procopio, C., & Chisari, C. (2022). A randomized clinical control study on the efficacy of three-dimensional upper limb robotic exoskeleton training in chronic stroke. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 19(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00991-y>
- Gazzola, V., van der Worp, H., Mulder, T., Wicker, B., Rizzolatti, G., & Keysers, C. (2007). Aphasics born without hands mirror the goal of hand actions with their feet. *Current Biology: CB*, 17(14), 1235-1240. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.045>
- Giroux, P. (2016, novembre 9). Installation du patient Thérapie Miroir [Informations médicales]. *Therapiemiroir.com*. <https://therapiemiroir.com/fiche-pratique-tm-1-installation-du-patient/>
- Gueye, T., Dedkova, M., Rogalewicz, V., Grunerova-Lippertova, M., & Angerova, Y. (2021). Early post-stroke rehabilitation for upper limb motor function using virtual reality and exoskeleton : Equally efficient in older patients. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 55(1), Article 1. <https://doi.org/10.5603/PJNNS.a2020.0096>

HAS. (s. d.). *Accident vasculaire cérébral (AVC)*. Haute Autorité de Santé. Consulté 26 juillet 2022, à l'adresse https://www.has-sante.fr/jcms/r_1501300/fr/accident-vasculaire-cerebral-avc

Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savovic, J., Schulz, K. F., Weeks, L., Sterne, J. A. C., Cochrane Bias Methods Group, & Cochrane Statistical Methods Group. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *343*, d5928. <https://doi.org/10.1136/bmj.d5928>

Hung, J.-W., Yen, C.-L., Chang, K.-C., Chiang, W.-C., Chuang, I.-C., Pong, Y.-P., Wu, W.-C., & Wu, C.-Y. (2022). A Pilot Randomized Controlled Trial of Botulinum Toxin Treatment Combined with Robot-Assisted Therapy, Mirror Therapy, or Active Control Treatment in Patients with Spasticity Following Stroke. *Toxins*, *14*(6), 415. <https://doi.org/10.3390/toxins14060415>

INSERM. (2019). *Accident vasculaire cérébral (AVC) · Inserm, La science pour la santé*. Inserm. <https://www.inserm.fr/dossier/accident-vasculaire-cerebral-avc/>

Jan, S., Arsh, A., Darain, H., & Gul, S. (2019). A randomized control trial comparing the effects of motor relearning programme and mirror therapy for improving upper limb motor functions in stroke patients. *J Pak Med Assoc*, *69*(09), 4. <https://jpma.org.pk/PdfDownload/9304>

Décret n° 2022-323, 2022-323 (2022).

<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045300029#:~:text=%C2%AB%20Une%20m%C3%Aame%20personne%20peut%20%C3%AAtre,il%20n'est%20pas%20membre.>

LEPCAM. (2023, avril 20). *Critique les résultats d'une étude—LEPCAM*. <https://lepcam.fr/index.php/les-etapes/critique/>

- Madhoun, H. Y., Tan, B., Feng, Y., Zhou, Y., Zhou, C., & Yu, L. (2020). Task-based mirror therapy enhances the upper limb motor function in subacute stroke patients : A randomized control trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3). <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.20.06070-0>
- Mathon, B. (2013). Les neurones miroirs : De l'anatomie aux implications physiopathologiques et thérapeutiques. *Revue Neurologique*, 169(4), 285-290. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2012.10.008>
- Molenberghs, P., Brander, C., Mattingley, J. B., & Cunnington, R. (2010). The role of the superior temporal sulcus and the mirror neuron system in imitation. *Human Brain Mapping*, 31(9), 1316-1326. <https://doi.org/10.1002/hbm.20938>
- Palermo, E., Hayes, D. R., Russo, E. F., Calabrò, R. S., Pacilli, A., & Filoni, S. (2018). Translational effects of robot-mediated therapy in subacute stroke patients : An experimental evaluation of upper limb motor recovery. *PeerJ*, 6, e5544. <https://doi.org/10.7717/peerj.5544>
- Pomeroy, V. M., Clark, C. A., Miller, J. S. G., Baron, J.-C., Markus, H. S., & Tallis, R. C. (2005). The potential for utilizing the « mirror neurone system » to enhance recovery of the severely affected upper limb early after stroke : A review and hypothesis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 19(1), 4-13. <https://doi.org/10.1177/1545968304274351>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W., LaMantia, A.-S., & White, L. (2019). *Neurosciences*. De Boeck Supérieur.
- Ramachandran, V. S., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings. Biological Sciences*, 263(1369), 377-386. <https://doi.org/10.1098/rspb.1996.0058>

Rizzolatti, G. (2008). L'imitation est un processus très avancé, propre à l'homme. *Science de la conscience*, 29, 22-25.

Sackett, D. L., & Rosenberg, W. M. (1995). The need for evidence-based medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 88(11), 620-624.

<https://doi.org/10.1177/014107689508801105>

Santé, M. des S. et de la, & Santé, M. des S. et de la. (2021, janvier 16). *Recherches impliquant la personne humaine*. Ministère des Solidarités et de la Santé.

<https://solidarites-sante.gouv.fr/systeme-de-sante-et-medico-social/recherche-et-innovation/recherches-impliquant-la-personne-humaine/>

Schrader, M., Sterr, A., Kettlitz, R., Wohlmeiner, A., Buschfort, R., Dohle, C., & Bamborschke, S. (2022). The effect of mirror therapy can be improved by simultaneous robotic assistance. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 40(3), 185-194. <https://doi.org/10.3233/RNN-221263>

Selles, R. W., Schreuders, T. A. R., & Stam, H. J. (2008). Mirror therapy in patients with causalgia (complex regional pain syndrome type II) following peripheral nerve injury : Two cases. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40(4), 312-314.

<https://doi.org/10.2340/16501977-0158>

Sütbeyaz, S., Yavuzer, G., Sezer, N., & Koseoglu, B. F. (2007). Mirror therapy enhances lower-extremity motor recovery and motor functioning after stroke : A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(5), 555-559.

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.02.034>

Thibault, S. (2018). *Chapitre IV : Neuro-anatomie descriptive du Système nerveux central*.

Thieme, H., Morkisch, N., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J., Borgetto, B., & Dohle, C. (2018). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *The Cochrane*

Database of Systematic Reviews, 7(7), CD008449.

<https://doi.org/10.1002/14651858.CD008449.pub3>

Tofani, M., Santecchia, L., Conte, A., Berardi, A., Galeoto, G., Sogos, C., Petrarca, M., Panuccio, F., & Castelli, E. (2022). Effects of Mirror Neurons-Based Rehabilitation Techniques in Hand Injuries : A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), Article 9.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19095526>

Annexes

Table des annexes :

Annexe 1 : Evaluation de Fugl Meyer Membre Supérieur

Annexe 2 : Score d'Ashworth Modifié

Annexe 3 : Index de Barthel Modifié

Annexe 1

Protocole Sous échelle motrice du membre supérieur du Fugl Meyer Assessment (FMA-UL)

Position de départ :

Certains items exigent que le patient réalise la position de départ et son maintien de manière indépendante. Pour d'autres, le thérapeute peut aider le patient à réaliser la position de départ. Si le patient a besoin de l'aide du thérapeute, il est recommandé de guider le mouvement et d'attendre environ 3 secondes dans la position pour voir si le patient est capable de la maintenir de manière indépendante. Toutes les tâches motrices de la FMA-UE devraient être effectuées comme des unités distinctes avec une pause de 3 secondes entre chaque tâche sauf pour la tâche flexion et extension des doigts.

Matériel : chaise, marteau réflexe, crayon, carte, petit pot genre Tipp-Ex, balle, bandeau et chronomètre

Toutes les épreuves (excepté 1 et 5) sont faites d'abord avec le membre supérieur le moins affecté.

1. Activité réflexe

L'activité réflexe est testée avec un marteau à réflexes. Elle permet d'examiner la possibilité d'obtenir le réflexe de manière répétée. Un réflexe « acceptable » est déterminé soit visuellement ou par palpation du mouvement musculaire réflexe.

1.1. Fléchisseurs :

Biceps brachial : la main du patient repose sur sa cuisse.

Fléchisseurs des doigts : la main du patient repose sur sa cuisse, l'avant-bras est en supination.

1.2. Extenseurs :

Triceps brachial : le bras est en abduction, le coude tombe passivement en flexion.

Cotation :

0 = absence des réflexes^{[1][2]}_[SÉP]

2 = présence des réflexes (fléchisseurs et/ou extenseurs)^{[1][2]}_[SÉP]

Pour les fléchisseurs, on cote 2 si le réflexe du biceps ou celui des fléchisseurs des doigts est présent.

2. Synergies de flexion et d'extension

2.1. Flexion (main à l'oreille) :

Position de départ : Mains à plat sur les cuisses.

Consigne : « Placez votre main saine près de votre oreille de la façon suivante (le petit doigt

placé sur le lobe de l'oreille). Essayez maintenant de faire le même mouvement avec votre main atteinte ».

Cotation :

0 = mouvement non effectué^[SEP]

1 = partiellement effectué^[SEP]

2 = complètement effectué^[SEP]

L'évaluation se fait par rapport à la position finale et ne considère pas la trajectoire du mouvement.

Composantes du mouvement à évaluer :

- Rétropulsion de l'épaule
- Élévation de l'épaule^[SEP]
- Abduction de l'épaule^[SEP]
- Rotation externe
- Flexion du coude^[SEP]
- Supination de l'avant-bras

Commentaires : L'abduction ne doit pas être compensée par l'inclinaison du tronc. Il est important que toutes les composantes de mouvement soient réalisées jusqu'à la fin de course (épaule et coude) ; les doigts se trouvent en légère flexion.

2.2. Extension (main vers le genou sain) :

Position de départ : Membre supérieur en synergie complète de flexion. Si le patient ne peut prendre seul cette position, placez passivement le membre.

Consigne : « Placez maintenant votre main saine sur le côté du genou opposé. Essayez à présent de faire le même mouvement avec votre main atteinte ».

Composantes du mouvement à évaluer :

- Adduction et rotation interne de l'épaule
- Extension du coude^[SEP]
- Pronation de l'avant-bras

Cotation :

0 = mouvement non effectué

1 = partiellement effectué^[SEP]

2 = complètement effectué

La capacité de faire la pronation est évaluée par la position observée à la fin du mouvement ; l'amplitude complète n'est pas exigée. L'évaluation se fait par rapport à la position finale, ne considérant pas la trajectoire du mouvement.

Commentaires : Les genoux doivent être écartés pour que le membre supérieur puisse bouger en extension et adduction complète. Le patient doit poser la paume de sa main sur le genou

controlatéral. Le mouvement doit être actif. Si le patient ne peut pas effectuer la position de départ, l'examineur peut placer le bras dans la position exigée. Par contre, il doit s'assurer que le patient ne laisse pas tomber son bras.

3. Mouvements combinant les synergies de flexion et d'extension

3.1. Main au niveau lombaire :

Consigne : « Mettez votre main saine dans votre dos de la façon suivante. Faites le même mouvement avec le côté atteint ».

Cotation :

0 = le geste ne peut être effectué^[SEP]

1 = la main va plus loin que l'épine iliaque antéro-supérieure

2 = le geste est exécuté complètement

Un score de 0 est donné si le patient n'arrive pas jusqu'au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure ou si le patient va plus loin que l'épine iliaque antéro-supérieure mais en s'aidant par des mouvements compensatoires.

Commentaires : Le patient doit s'asseoir sur le bord de la chaise avant de réaliser le mouvement. Sa position doit être bien alignée afin d'éviter des mouvements compensatoires. L'examineur peut par un guidage manuel faciliter la position redressée. La main touche le dos avec sa face dorsale.

3.2. Flexion de l'épaule de 0° à 90°

Consigne : « Maintenant levez votre bras sain en avant jusqu'à l'horizontale sans plier le coude, l'avant-bras en mi-pronation/supination. Faites le même mouvement avec le côté atteint ».

Cotation :

0 = Abduction et flexion du coude initiée dès le début du mouvement^[SEP]

1 = Abduction et flexion du coude initiée plus tard ou amplitude incomplète (en comparaison avec l'amplitude passivement disponible)^[SEP]

2 = le geste est effectué complètement

Commentaires : L'examineur peut aider le patient à positionner son bras latéralement le long du corps, l'épaule en position neutre, le coude en extension, l'avant-bras en position intermédiaire par rapport à la pro-supination.

3.3. Coude 90°, pro-supination

Consigne : « Votre coude étant plié, tournez votre main saine vers le haut puis vers le bas. Faites le même mouvement avec votre côté atteint ».

Cotation :

0 = pas de pro-supination ou le patient est incapable de maintenir activement la position de départ^[SEP]

1 = légère pro-supination avec position correcte de l'épaule et du coude^[SEP]

2 = pro-supination complète en bonne position

Commentaires : Tester l'amplitude passive disponible pour s'assurer que le mouvement actif est effectué dans l'amplitude complète. Aucun support n'est donné au coude. L'épaule est en position neutre.

4. Mouvements volontaires effectués avec peu ou en dehors des synergies

4.1. Épaule en abduction 0°- 90°

Consigne : « Levez votre bras sain de côté. Faites le même mouvement avec votre bras atteint tout en faisant attention de ne pas plier le coude et de ne pas fléchir votre poignet ».

Cotation :

0 = supination et flexion du coude au début^[SEP]

1 = le geste est en partie exécuté sans supination mais avec une flexion de coude

2 = le geste est bien exécuté ou exécuté complètement

Commentaires : L'avant-bras doit rester en pronation, le coude étendu, la paume de la main est orientée vers le bas. Si nécessaire l'examineur peut aider le patient à réaliser la position de départ.

4.2. Épaule flexion 90°-180°

Consigne : « Levez votre bras sain en avant au-dessus de votre tête. Faites le même mouvement avec votre bras atteint tout en veillant à ne pas plier le coude ».

Cotation :

0 = abduction et flexion du coude au tout début du mouvement

1 = abduction et flexion du coude initiée plus tard^[SEP]

2 = le geste est exécuté complètement

Commentaires : Pour démarrer le mouvement, le patient doit amener le bras dans la position de 90° de flexion de l'épaule et 0° d'abduction. Le mouvement testé est réalisé à partir de cette position.

— —

4.3. Coude 0°, pro-supination

Consigne : « Amenez légèrement votre bras sain vers l'avant, le coude tendu. Tournez la main vers le haut puis vers le bas ».

Cotation :

0 = pas de pro-supination ou le patient ne peut amener le bras dans la position de départ requise^[1]_{SÉP}

1 = légère pro-supination avec une bonne position (en gardant la position correcte du coude et de l'épaule) (attention au mouvement compensatoire en rotation de l'épaule)

2 = pro-supination complète en bonne position (en gardant la position correcte du coude et de l'épaule)

Commentaires : L'épaule devra être gardée entre 30° et 90° de flexion lors de la pronation/supination. Le patient doit amener le bras dans la position requise. L'amplitude de pro-supination est testée passivement au préalable. — —

5. Activité réflexe normale

5.1. Bicipital, fléchisseurs des doigts et tricipital : l'activité réflexe est évaluée comme pour le test 1

L'activité réflexe est évaluée comme dans l'épreuve 1.

Cotation :

0 = deux ou trois réflexes sont hyperactifs^[1]_{SÉP}

1 = un réflexe est hyperactif ou deux réflexes sont actifs^[1]_{SÉP}

2 = aucun réflexe hyperactif^[1]_{SÉP} Le sujet n'obtient un maximum de 2 qu'à la condition d'avoir obtenu un score de 6 au test 4.

6. Fonctions du poignet

Le poignet est évalué avec le coude fléchi à 90° et l'épaule en position neutre, puis avec le coude en position neutre et l'épaule légèrement fléchie. L'examineur peut aider le patient pour adopter ces positions et les maintenir.

Position A : Épaule en position neutre, coude en flexion (90°) et avant-bras en pronation complète.

6.1. Stabilité du poignet (15° de flexion dorsale)

Consigne : « Étendez le poignet sain tout en gardant le coude fléchi. Faites le même mouvement avec votre côté atteint ».

Cotation :

0 = pas d'extension^[1]_{SÉP}

1 = extension sans résistance^[1]_{SÉP}

2 = extension contre une résistance légère

Commentaires : Le bras peut au besoin être supporté passivement. L'examineur applique la résistance à condition que le patient soit capable de maintenir la position de 15° de flexion dorsale contre la pesanteur.

6.2. Flexion – extension alternée et répétitive

Consigne : « Pliez et étendez le poignet sain à plusieurs reprises, tout en gardant le coude fléchi. Faites le même mouvement avec votre côté atteint ».

Cotation :

0 = pas de mouvement volontaire^[SEP]

1 = amplitude partielle, mais le mouvement peut être effectué dans les deux directions (flexion dorsale et palmaire)^[SEP]

2 = amplitude complète (à vérifier en comparant l'amplitude active avec l'amplitude passive)
Si le patient a une amplitude diminuée, le score donné sera égal à 2 si le mouvement est réalisé dans l'amplitude disponible.

Commentaires : Le patient doit garder la position de l'avant-bras inchangée. L'examineur n'exerce pas de contrainte.

Position B : Épaule en légère flexion ou abduction, coude en extension et avant-bras en pronation.

6.3. Stabilité du poignet (15° flexion dorsale)

Consigne : « Étendez le poignet sain tout en gardant le coude tendu. Faites le même mouvement avec votre côté atteint ».

Cotation :

0 = pas d'extension^[SEP]

1 = extension sans résistance^[SEP]

2 = extension contre une résistance légère

Commentaire : L'examineur applique la résistance à condition que le patient soit capable de maintenir la position de 15° de flexion dorsale contre la pesanteur.

— —

6.4. Flexion – extension alternée et répétitive

Consigne : « Pliez et étendez le poignet sain à plusieurs reprises, tout en gardant le coude étendu. Faites le même mouvement avec votre côté atteint ».

Cotation :

0 = pas de mouvement volontaire^[SEP]

1 = amplitude partielle, mais le mouvement doit être effectué dans les deux directions (flexion dorsale et palmaire)^{[1][1]}_{SEP}

2 = amplitude complète (à vérifier en comparant l'amplitude active avec l'amplitude passive). Si le patient a une amplitude diminuée, le score est de 2 si le mouvement est réalisé dans l'amplitude disponible.

Commentaires : Les doigts peuvent être légèrement fléchis. Le patient doit garder la position de l'avant-bras inchangée. L'examineur n'exerce pas de contrainte.

6.5. Circumduction du poignet

Consigne : « Faites des cercles avec votre poignet sain tout en gardant le coude tendu. Faites le même mouvement avec votre côté atteint ».

Cotation :

0 = pas de mouvement volontaire^{[1][1]}_{SEP}

1 = amplitude partielle ou mouvement saccadé

2 = amplitude complète

Commentaire : Veiller à la position neutre de l'épaule et l'extension du coude.

7. Fonctions de la main

Évaluation de sept gestes dont cinq différents types de préhension. Cette section de la FMA-UE évalue la capacité du patient à réaliser des mouvements actifs. L'examineur peut, si nécessaire, soutenir le coude en position de flexion de 90° ; par contre, il ne doit pas soutenir le poignet.

Tous les tests de préhension consistent en une composante active (saisir) et en une composante statique (tenir contre résistance). Les deux composantes doivent être clairement distinctes. La position requise doit être maintenue durant la tâche.

Position : Coude en flexion (90°) et avant-bras en position neutre de pro-supination.

7.1. Flexion massive (comparée à la main saine)

Consigne : « Fermez votre main saine pour faire le poing. Faites la même chose du côté atteint ».

Cotation :

0 = pas de flexion^{[1][1]}_{SEP}

1 = flexion partielle

2 = flexion complète

Commentaires : Dans la position de départ, l'avant-bras est en position neutre de pro-supination et si possible en position neutre du poignet. La flexion active des doigts doit se faire

en partant d'une extension complète des doigts. L'examineur peut aider à mettre les doigts en extension complète. Ce test peut être lié au test suivant : l'extension massive des doigts.

— —

7.2. Extension massive

Consigne : « Votre main saine étant d'abord fermée, ouvrez-la complètement en étendant les doigts. Faites le même mouvement du côté atteint ».

Cotation :

0 = pas d'extension^[1]_{SÉP}

1 = relâchement actif de la flexion des doigts

2 = extension complète des doigts

Commentaires : Dans la position de départ l'avant-bras est en position neutre de pro-supination et si possible en position neutre du poignet. L'extension active des doigts doit se faire en partant d'une flexion complète des doigts. L'examineur peut aider à mettre les doigts en flexion complète.

7.3. Prise en crochet

Consigne : « Placez vos doigts de votre main saine de la façon suivante (démontrez la position : MP en extension, IPP et IPD en flexion). Faites le même mouvement du côté atteint ».

Cotation :

0 = ne peut pas prendre la position

1 = maintient sans résistance^[1]_{SÉP}

2 = maintient contre résistance

Commentaires : Le coude doit être maintenu en flexion. L'avant-bras est en position neutre de pro-supination et si possible en position neutre du poignet. Il faut bien expliquer et démontrer la position recherchée. Le patient doit la réaliser activement. La résistance à la flexion est appliquée aux doigts. —

7.4. Pince latérale

Consigne : « Prenez cette carte à jouer entre le pouce et le bord de l'index de votre main saine. Faites la même chose du côté atteint ».

Cotation :

0 = ne peut pas prendre la position^[1]_{SÉP}

1 = maintient sans résistance, le pouce doit rester en position neutre par rapport à la flexion/extension^[1]_{SÉP}

2 = maintient contre résistance, absence de mouvement entre la carte et la main, le pouce doit rester en position neutre par rapport à la flexion/extension.

Commentaires : Le sujet doit faire une adduction réelle du pouce. La carte doit être tenue entre la face latéro palmaire du pouce (en extension) et le métacarpien de l'index. Le poignet est en position neutre et l'avant-bras se trouve en pronation. La résistance doit être appliquée de manière subite, le patient doit être averti. La direction de la résistance est horizontale, et s'éloigne du patient.

7.5. Pince par opposition pouce – index

Consigne : « Prenez ce crayon entre la pulpe du pouce et celle de l'index de la main saine. Faites la même chose du côté atteint ».

Cotation :

0 = ne peut pas prendre la position^{[L][SEP]}

1 = maintient sans résistance^{[L][SEP]}

2 = maintient contre résistance ; il n'y a aucun mouvement entre le crayon et la main

Commentaires : Le patient ne doit utiliser que la pulpe des doigts. La position des autres doigts n'a pas d'importance. Le crayon est présenté verticalement. La direction de la résistance est vers le haut, contre la gravité. Le patient est averti de l'application de la résistance.

7.6. Prise subterminale

Consigne : « Prenez ce pot avec les doigts de votre main saine de la façon suivante (montrez la position). Faites la même chose du côté atteint ».

Cotation :

0 = ne peut prendre la position^{[L][SEP]}

1 = maintient sans résistance^{[L][SEP]}

2 = maintient contre résistance ; il n'y a aucun mouvement entre le pot et la main.

Commentaires : Le patient devrait utiliser le pouce et l'index ; les articulations étant légèrement fléchies. La direction de la résistance est vers le haut, contre la gravité. Le patient est averti de l'application de la résistance. L'objet utilisé est présenté sur la paume de l'évaluateur.

7.7. Prise sphérique

Consigne : « Prenez cette balle avec votre main saine de la façon suivante (Montrez la prise). Faites la même chose du côté atteint ».

Cotation :

0 = ne peut prendre la position ou tient la balle à l'aide d'une rigidité ou d'une spasticité

1 = maintient sans résistance^{[1][1]}_[SEP]

2 = maintient contre résistance ; il n'y a aucun mouvement entre la balle et la main

Commentaires : Le patient doit essayer de saisir activement la balle avec l'avant-bras en pronation, impliquant une extension et une flexion active des doigts. La balle est présentée sur la paume de l'évaluateur. Le patient est averti de l'application de la résistance ; elle est dirigée vers le bas.

8. Coordination/vitesse d'exécution

Consigne : « Vos yeux étant bandés, allez toucher cinq fois votre nez avec l'index de votre main saine, le plus rapidement possible. Faites la même chose du côté atteint ».

À observer : Le tremblement : interprété comme un mouvement oscillatoire durant la trajectoire du geste, du point de départ à la position d'arrivée et la dysmétrie, considérée comme une erreur dans la position d'arrivée.

Cotation :

Tremblement :

0 = tremblement important

1 = tremblement léger^{[1][1]}_[SEP]

2 = pas de tremblement

Dysmétrie :

0 = dysmétrie marquée et non systématique (erreurs aléatoires)^{[1][1]}_[SEP]

1 = dysmétrie légère et systématique (l'erreur est présente à chaque performance)^{[1][1]}_[SEP]

2 = aucune incoordination ; l'index touche avec une précision d'1cm le bout du nez

Vitesse :^{[1][1]}_[SEP]

0 = 6 secondes de moins que du côté sain^{[1][1]}_[SEP]

1 = 2 à 5 secondes de moins que du côté sain^{[1][1]}_[SEP]

2 = moins de 2 secondes de différence avec le côté sain

Commentaires : Le chronométrage commence quand le bras quitte le genou et s'arrête quand l'index touche pour la 5^e fois le nez. Aucun mouvement compensatoire du tronc ou de la tête n'est toléré.

Feuille recueil de données

	0	1	2
1. Activités réflexe			
1.1. Fléchisseurs (bicipital, fléchisseurs des doigts)	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
1.2. Extenseurs (tricipital)	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
2. Synergies de flexion et d'extension			
2.1. Synergie en flexion			
2.1.1. Rétropulsion épaule	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.1.2. Elévation épaule	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.1.3. Abduction épaule	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.1.4. Rotation externe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.1.5. Flexion coude	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.1.6. Supination avant-bras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2. Synergie en extension			
2.2.1. Epaule en adduction/Rotation interne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2.2. Extension du coude	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2.3. Avant-bras en pronation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Mouvement volontaire réalisé en combinant les synergies de flexion et d'extension			
3.1. Main au niveau lombaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.2. Flexion de l'épaule de 0° à 90°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.3. Pro-supination de l'avant-bras, coude fléchi à 90°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Mouvements volontaires effectués avec peu ou en dehors des synergies			
4.1. Epaule en abduction 0° - 90°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.2. Epaule flexion 90° - 180°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.3. Pro-supination, le coude complètement tendu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Activité réflexe normale			
5.1. Bicipital, fléchisseurs des doigts et tricipital	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Fonction du poignet			
6.1. Stabilité du poignet avec le coude fléchi à 90	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.2. Flexion – extension répétée, coude fléchi à 90°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.3. Stabilité du poignet, coude tendu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.4. Flexion – extension répétée, coude tendu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.5. Circumduction du poignet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Fonctions de la main.			
7.1. Flexion massive (comparée à main saine)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7.2. Extension massive	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.3. Prise en crochet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.4. Prise latérale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.5. Prise par opposition pouce – index	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.6. Prise subterminale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.7. Prise sphérique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Coordination / vitesse d'exécution			
Temps pour 5 répétitions	G	D	
8.1. Tremblement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.2. Dymétrie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.3. Vitesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Total membre supérieur		/ 66	

Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Steglind S: The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. Scand J Rehabil Med 1975, 7:13-31.

Annexe 2

Échelle d'Ashworth modifiée (MAS : Modified Asworth Scale)

Préciser lors de la cotation, si l'on se réfère à la MAS (sur 4) c'est-à-dire de 0 à 4 : 0, 1, 1+, 2, 3, 4 ; ou à la MAS (sur 5) c'est-à-dire de 0 à 5 : 0, 1, 2, 3, 4, 5. Les 2 comportent 6 niveaux de cotation - par opposition à la première version d'Ashworth qui n'en comportait que 5 (0, 1, 2, 3, 4). L'une, MAS sur 5, permet la quantification alors que le niveau 1+ ne le permet pas.

MAS (sur 4)	MAS (sur 5)	Descriptif du niveau
0	0	Pas d'hypertonie
1	1	Légère hypertonie avec stretch reflex ou minime résistance en fin de course
1+	2	Hypertonie avec stretch reflex et résistance au cours de la première moitié de la course musculaire autorisée
2	3	Augmentation importante du tonus musculaire durant toute la course musculaire, mais le segment de membre reste facilement mobilisable
3	4	Augmentation considérable du tonus musculaire. Le mouvement passif est difficile
4	5	Hypertonie majeure. Mouvement passif impossible

Références : Ashworth B. et al., 1964 ; Bohannon R.W., 1987

Annexe 3

Index de Barthel modifié (MBI : Modified Barthel Index)

Cet index est fiable, sensible et reproductible, ce qui en fait un outil de référence. Cet indice comporte 10 items (relatant, appareil par appareil les activités de la vie quotidienne), chacun étant coté de 0, 5, 10 ou 15 (pour seulement deux d'entre eux). Le score final correspond à la somme des nombres obtenus par chaque item. Le chiffre 100 équivaut à un score d'indépendance complète. Coter 0 si l'activité est impossible.

Alimentation

10: indépendant. Capable de se servir des instruments nécessaires. Prend ses repas en un temps raisonnable.

5: a besoin d'aide par exemple pour couper.

0: dépendance.

Contrôle sphinctérien

10: continence.

5: fuites occasionnelles.

0: incontinence ou prise en charge personnelle si sonde vésicale à demeure

Anorectal

10: continence. Capable de s'administrer un lavement ou un suppositoire.

5: accidents occasionnels. A besoin d'aide pour un lavement ou un suppositoire si nécessaire.

0: incontinence.

W.C.

10: indépendance.

5: intervention d'une tierce personne.

0: dépendance.

Soins personnels

5: possible sans aide.

0: dépendance complète.

Bain

5: possible sans aide.

0: dépendance complète.

Habillage

10: indépendance (pour boutonner un bouton, fermer une fermeture éclair, lacer ses lacets, mettre des bretelles).

5: a besoin d'aide, mais fait la moitié de la tâche en un temps correct.
0: dépendance complète.

Transfert du lit au fauteuil

15: indépendant, y compris pour faire fonctionner un fauteuil roulant.
10: peut s'asseoir mais doit être installé.
5: capable de s'asseoir, mais nécessite une aide maximale pour le transfert.
0: incapacité totale.

Déplacement

15: marche avec soutien ou pas pour plus de 50 mètres.
10: marche avec aide pour 50 mètres.
5: indépendant pour faire 50 mètres en fauteuil roulant.
0: dépendance complète.

Escalier

10: indépendant, peut se servir de cannes.
5: a besoin d'aide ou de surveillance.
0: incapacité totale

Information générale

L'index doit être utilisé en rapportant ce que le patient fait et non pas ce qu'il doit faire. Le but principal est de révéler le niveau d'indépendance en dehors de toute aide, physique ou verbale, même mineur pour quelque raison que ce soit. L'utilité de porter une surveillance quelconque rend le patient dépendant. La performance d'un patient doit être notée avec la plus grande clarté accessible à tous. L'interrogatoire du patient et de son entourage ainsi que des infirmières se doit être la source principale d'information bien que l'observation et le sens commun sont aussi important. Cependant un examen physique n'est pas utile. Habituellement, l'évaluation après 24 à 48 heures de la première hospitalisation est importante, parfois un délai supérieur s'avère significatif. Un patient dans le coma doit être classé 0, même sans incontinence. Un patient se situant dans une catégorie moyenne, implique une aide à l'effort supérieur à 50 %. L'appel à une aide extérieure, afin d'être indépendant est permis.

Informations appareil par appareil:

Tube digestif (au cours de la semaine) La nécessité d'un lavement par une infirmière rend le patient incontinent. On est incontinent occasionnel si le lavement est nécessaire qu'une fois par semaine. –

Vessie (au cours de la semaine) Incontinent occasionnel s'il y a moins d'une fuite par jour. Un patient porteur d'une sonde vésicale à demeure et qui par ailleurs est autonome pour ces soins particuliers est considéré comme continent.

Toilette personnelle (au cours des 24-48 dernières heures) En référence à l'hygiène personnelle: brossage des dents, adaptation de prothèse dentaire, se coiffer, se raser, se laver le visage. L'exécution peut être améliorée par un tiers.

W.C. Le patient doit être capable d'atteindre les toilettes, de se déshabiller seul, de s'essuyer seul et de s'habiller et quitter les toilettes. –

Nutrition Capable de manger de façon usuelle (pas seulement une nourriture mixée). La nourriture étant préparée et servie par une tierce personne mais sans aide pour la découper. Aide : tierce personne pour découper la nourriture mais le patient se nourrit seul.

Transfert Du lit au fauteuil et inversement: Dépendance : absence d'équilibre assis (incapable de se tenir assis); deux personnes sont nécessaires pour le levé. Aide majeur : aide d'une tierce personne habile et musclée ou deux personnes, peut tout de même tenir assis. Aide mineur : aide d'une tierce personne sans trop de difficulté ou simple surveillance de sécurité.

Déplacements En références aux déplacements à l'intérieur d'une maison ou salle d'hospitalisation. Peut avoir besoin d'une aide. En cas de déambulation en fauteuil roulant, le patient doit pouvoir négocier les tournants et les seuils de porte seul. Aide : par une personne non expérimentée comprenant aussi la surveillance et l'aide morale.

Habillage Doit être capable de choisir des vêtements et de se vêtir quel qu'ils soient avec discernement. Aide à moitié : aide pour se boutonner, fermer une fermeture éclair, mais ne pouvant se vêtir seul.

Escaliers On ne doit bénéficier d'aucune aide à la marche, afin d'être considéré comme indépendant.

Bain Habituellement considéré comme l'activité la plus difficile. On doit pouvoir entrer et sortir du bain seul et se laver seul. Indépendant pour la douche : indépendant signifie sans aucune aide ni contrôle.

Référence : Mahoney F.I., Barthel D.W., 1965