

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

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU

**DIPLÔME D'ETAT DE
MASSEUR-KINESITHEREPEUTE**

Juin 2015

**INTERET D'UNE ASSOCIATION ENTRE REALITE VIRTUELLE ET
REEDUCATION CONVENTIONNELLE EN VUE D'AMELIORER
L'EQUILIBRE STATIQUE ET DYNAMIQUE DE PATIENTS POST-AVC :
ETUDE PILOTE, PROSPECTIVE ET CONTROLEE**

HINNEKENS ELODIE

Résumé :

Objectif : Evaluer l'intérêt d'un protocole d'entraînement intensif au transfert d'appui associant réalité virtuelle et rééducation conventionnelle sur l'amélioration de l'équilibre en phase chronique de l'AVC. **Méthode :** Il s'agit d'une étude pilote, prospective, contrôlée, randomisée, ouverte et multicentrique. Six patients ont été recrutés et ont été répartis aléatoirement en deux groupes. Tous les patients ont bénéficié d'un entraînement intensif au transfert d'appui 3 fois par semaine pendant 4 semaines. Les patients du groupe expérimental effectuaient des exercices de réalité virtuelle ainsi que des exercices de rééducation conventionnelle, alors que les patients du groupe témoin n'effectuaient que des exercices de rééducation conventionnelle. Une évaluation a été réalisée à J0 (début du protocole) et à J28 (fin du protocole). Le critère d'évaluation principal était l'échelle de Berg. Les critères d'évaluation secondaires étaient le test Timed Up and Go (TUG) et le pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique (PAMIP). **Résultats :** L'analyse intragroupe révèle une progression significative des deux groupes sur l'échelle de Berg et sur le TUG. Seul le groupe expérimental a significativement amélioré son PAMIP. L'analyse intergroupe ne révèle aucune différence entre la progression du groupe expérimental et celle du groupe témoin. **Conclusion :** L'association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle semble permettre une amélioration de l'équilibre au moins équivalente à la rééducation conventionnelle seule. Toutefois, la faible taille de l'échantillon ne permet pas de généraliser les résultats. Par ailleurs, les patients ont exprimé un attrait particulier pour la réalité virtuelle.

Abstract :

Objective: To assess the benefit of an intensive weight-bearing training protocol combining virtual reality and conventional rehabilitation on improving balance in the chronic phase of stroke. **Method:** This is a pilot study, prospective, controlled, randomized, opened and multi-centered. Six patients were enrolled and randomly assigned to one of the two groups. All patients received intensive weight-bearing training 3 times a week during 4 weeks. Patients belonging to the experimental group were performing virtual reality exercises and conventional rehabilitation exercises, while patients belonging to the control group were performing conventional rehabilitation exercises only. An evaluation was performed on day 0 (beginning of the protocol) and day 28 (end of protocol). The primary endpoint was the Berg Balance Scale (BBS). The secondary endpoints were the Timed Up and Go test (TUG) and the percentage of support of the paretic lower limb (PSPLL). **Results:** The intragroup analysis revealed that both groups significantly improved their performances on BBS and TUG. Only the experimental group significantly improved its PSPLL. The intergroup analysis did not reveal any difference between the progression of the experimental group and the control group one. **Conclusion:** The association between virtual reality and conventional rehabilitation seems to show an improvement in balance at least equivalent, compared to conventional therapy alone. However, the small sample size does not allow to generalize the results. On the other hand, patients expressed a special attraction for virtual reality.

Mots clés :

- Accident vasculaire cérébral
- Phase chronique
- Equilibre
- Rééducation
- Réalité virtuelle

Key words :

- Stroke
- Chronic phase
- Balance
- Rehabilitation
- Virtual reality

SOMMAIRE

1	Introduction.....	1
2	Matériel et méthode.....	6
2.1	Population étudiée.....	6
2.2	Mise en place multicentrique du protocole.....	7
2.3	Matériel utilisé.....	7
2.4	Interventions.....	7
2.4.1	Les exercices de rééducation avec réalité virtuelle.....	8
2.4.2	Les exercices de rééducation conventionnelle.....	8
2.5	Justification du protocole.....	9
2.6	Paramètres mesurés.....	11
2.6.1	Echelle de Berg.....	11
2.6.2	Timed Up and Go.....	12
2.6.3	Pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique.....	12
2.7	Analyse statistique.....	12
3	Résultats.....	13
3.1	Groupes étudiés.....	13
3.2	Echelle de Berg.....	14
3.2.1	Analyse de la progression dans le groupe expérimental.....	14
3.2.2	Analyse de la progression dans le groupe témoin.....	14
3.2.3	Analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin	14
3.3	Timed up and go.....	15
3.3.1	Analyse de la progression dans le groupe expérimental.....	15
3.3.2	Analyse de la progression dans le groupe témoin.....	15
3.3.3	Analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin	15
3.4	Pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique.....	16
3.4.1	Analyse de la progression dans le groupe expérimental.....	16
3.4.2	Analyse de la progression dans le groupe témoin.....	16
3.4.3	Analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin	16
3.5	Synthèse des résultats.....	17

4	Discussion	18
4.1	Interprétation des résultats en lien avec la littérature et les observations réalisées durant la mise en place de l'étude	18
4.2	Limites méthodologiques, biais et difficultés rencontrées	22
4.3	Pistes pour de futures recherches	22
4.4	Apports personnels de ce travail	24
5	Conclusion	25
6	Bibliographie	26
7	Annexes	

1 Introduction

L'accident vasculaire cérébral (AVC) est, selon la définition internationale de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « un déficit brutal d'une fonction cérébrale focale sans autre cause apparente qu'une cause vasculaire ». Il survient du fait d'une interruption de l'irrigation, privant une partie du cerveau de tout apport en oxygène, et entraînant la perte de voies neuronales dans le territoire concerné. Une lésion située sur le trajet de la voie pyramidale (cortico-spinale) implique une perte de la commande motrice de l'hémicorps controlatéral, appelée hémiplégie (ou hémiparésie si cette perte est incomplète). Elle est souvent associée à une hyperactivité musculaire, et selon la localisation de la lésion, peut aussi être combinée à des troubles sensitifs, sensoriels, cognitifs et/ou psychologiques.

L'AVC représente aujourd'hui une priorité de santé publique en France, puisqu'il est la première cause de handicap acquis de l'adulte, la deuxième cause de démence et la troisième cause de mortalité. Près de 130 000 nouveaux patients en sont atteints tous les ans (Fery-Lemonnier, 2009). La prévalence des antécédents d'AVC est estimée à 1,2%, et celle des séquelles à 0,8%. Parmi ces séquelles, les troubles de l'équilibre sont le plus souvent rapportés, présents dans la moitié des cas (De Peretti, Grimaud, Tuppin, Chin & Wolmant, 2012).

Parmi toutes les séquelles possibles après un AVC, l'altération du contrôle postural est l'un des facteurs ayant le plus d'impact sur l'indépendance fonctionnelle (Geurts, De Haart, Van Nes & Duysens, 2005). En effet, biomécaniquement, le mouvement volontaire engendre une modification de la répartition des masses et un déplacement du centre de gravité, associé à une inertie (Bouisset & Do, 2008). Or, l'équilibre est d'autant plus instable que la projection verticale du centre de gravité (CG) s'éloigne du centre des pressions (CP), barycentre résultant de l'ensemble des forces verticales exercées sur le sol via les appuis plantaires. En outre, l'équilibre est d'autant plus stable que le corps est capable de retrouver sa position initiale (Kerlizin, Dietrich & Vieilledent, 2009). Ainsi, le mouvement volontaire constitue une perturbation posturale d'origine intrinsèque (Bouisset & Do 2008), et la préservation de l'équilibre d'un individu est donc une condition à la réalisation de tout acte fonctionnel. C'est notamment un prérequis à la marche, qui implique un déplacement continu du CG, et peut être alors considérée comme un éternel déséquilibre devant être géré par le corps humain : selon Do, Honeine & Schieppatti (2012), « au cours de la marche, le centre de gravité oscille latéralement et verticalement tout en avançant ».

Le contrôle postural suppose l'intégrité des différents organes responsables de l'équilibre : les entrées sensorielles (vision, récepteurs vestibulaires, proprioception, récepteurs cutanés, et récepteurs gravitaires), les réseaux neuronaux intégrateurs et effecteurs responsables du contrôle de la posture, et les éléments myo-articulaires permettant une réponse motrice adéquate. Chez le sujet sain, ces éléments permettent, face à une perturbation posturale d'origine intrinsèque, une régulation automatique grâce à la mise en place d'ajustements posturaux anticipateurs, simultanés et consécutifs (Bouisset & Do, 2008). Cette fine régulation intervient en permanence : même en statique, le corps oscille continuellement à cause des phénomènes internes (Kerlizin & al., 2009). Suite à un AVC, les différents organes responsables de l'équilibre peuvent être affectés. Les troubles sensitifs, la faiblesse musculaire et la spasticité du côté parétique peuvent donc contribuer à perturber le contrôle postural (Tyson, Hanley, Chillala, Selley & Tallys, 2006), tout comme d'autres déficits plus spécifiques du type d'AVC, tels que l'héminégligence et autres troubles visuo-spatiaux (Geurts & al., 2005).

L'équilibre du sujet sain en station debout peut être défini comme la combinaison de trois facteurs : la capacité à maintenir la station bipodale avec un minimum d'oscillations posturales, la symétrie des appuis, et la capacité dynamique à adopter une posture ou à réaliser un mouvement sans tomber (Nichols, 1997). Ainsi, dans le cadre de la rééducation de l'équilibre, les objectifs après un AVC sont la capacité à contrôler la position du CP, la récupération de la symétrie des appuis en statique, et la sollicitation des ajustements posturaux dans différentes situations (Kollen & al., 2009). En outre, l'asymétrie d'appui en statique semble corrélée à un contrôle déficitaire de la position du CP, ainsi qu'à une asymétrie des paramètres spatio-temporels de la marche (Mansfield, Hendrickson, Patterson, Inness, & McIlroy, 2013). L'entraînement au transfert d'appui, qui correspond à un déplacement des centres de gravité et de pression dans les plans sagittal et frontal, permet de cibler ces trois objectifs.

Après un AVC et en cas de mort neuronale péri-lésionnelle, la récupération est possible grâce aux mécanismes de plasticité cérébrale. En effet, l'imagerie fonctionnelle a mis en évidence la capacité des neurones adultes à réorganiser leurs connexions synaptiques de telle sorte qu'un neurone puisse assurer le contrôle d'une fonction perdue qui ne lui était pas propre avant l'AVC (Gauthier, Taub, Perkins, Ortmann, Mark & Uswatte, 2008). Si la récupération se fait principalement dans les premières semaines après la lésion, elle peut également avoir lieu des mois, voire des années plus tard (Carr & Shepherd, 2011). Aussi, bien que cette récupération plus tardive puisse être spontanée, la

rééducation après AVC a montré son intérêt dans de nombreux travaux (Carey et al., 2002 ; Schaechter, 2004 ; Gauthier & al., 2008). En particulier, on définit trois principes favorisant les phénomènes de plasticité cérébrale : la répétition, l'intensité, et la rééducation orientée vers la tâche (Carr & Shepherd, 2011). L'application de ces principes à l'entraînement d'une tâche spécifique a fait preuve de son efficacité dans toutes les phases suivant un AVC (Veerbeek & al., 2014). Notre étude s'est intéressée à une prise en charge en phase chronique, qui peut être située par un délai post-lésionnel supérieur à 3 mois (Haute Autorité de Santé [HAS], 2012).

Les stratégies thérapeutiques actuelles permettant d'amener le sujet à l'entraînement spécifique d'une tâche sont variées. Elles ont récemment accueilli la réalité virtuelle, définie par la HAS (2012) comme la « création informatique d'un environnement simulé avec lequel le sujet peut interagir par différents moyens : toucher, vision, mouvements ». La réalité virtuelle permet entre autres la présence d'un biofeedback, dont l'intérêt est suggéré dans le cadre de la rééducation après un AVC, notamment par stimulation des phénomènes de plasticité cérébrale (You & al., 2005 ; Kiper et al., 2010 ; Mao, Chen, Li & Huang, 2014). En outre, la réalité virtuelle respecte les principes du réapprentissage moteur, puisqu'elle permet la réalisation d'une tâche orientée, en intensité, et avec de nombreuses répétitions. De plus, elle offre la possibilité de s'entraîner avec de nombreux exercices ludiques et motivants, qui mobilisent l'attention du patient par la connaissance permanente d'un score associée à un paramétrage fin du niveau de difficulté (Sveistrup, 2004).

Enfin, l'utilisation de la réalité virtuelle pourrait permettre aux masseurs-kinésithérapeutes (MK) de respecter plus facilement le principe d'intensité. La HAS (2012) définit la rééducation intensive comme « la réalisation d'une activité ciblée de rééducation avec un nombre élevé (non prédéfini) de répétitions ou dans des conditions qui en augmentent la charge en comparaison avec l'intensité habituellement proposée », mais souligne comme limite à son application un facteur financier, correspondant au temps pouvant être accordé par chaque thérapeute. En effet, l'hémiplégie étant généralement une pathologie globale nécessitant le traitement de plus d'une fonction, il semble difficile pour un même professionnel de mettre en place des programmes intensifs pour chaque tâche nécessitant un entraînement spécifique. Or, selon certains auteurs, l'utilisation de plateformes informatisées pourrait ne nécessiter qu'une implication partielle de la part du MK, impliquant un moindre coût et une meilleure faisabilité (Lloréns, Noé, Colomer & Alcaniz, 2014).

Dans le cadre de la rééducation de l'équilibre, l'usage de plateformes informatisées, outils de réalité virtuelle, permet de mettre en place des exercices de transfert d'appui à travers une interface incitant le sujet à déplacer ses centres de gravité et de pression dans toutes les directions dans un contexte ludique et motivant. De nombreuses études suggèrent leur efficacité, notamment en phase chronique (Kim, Jang, Kim, Jung & You, 2009 ; Cho, Lee & Song, 2012 ; Mao & al., 2014 ; McEwen, Taillon-Hobson, Bilodeau, Sveistrup & Finestone, 2014). Cependant, l'intérêt de la réalité virtuelle sur l'amélioration du contrôle postural après un AVC semble discuté dans les revues systématiques et les méta-analyses récentes. Selon Barclay-Goddard, Stevenson, Poluha, Moffat & Taback (2004), l'utilisation de plateformes informatisées procurant un feedback permet d'améliorer la symétrie d'appui, mais ne permet pas d'améliorer l'équilibre fonctionnel. D'après Laver, George, Thomas, Deutsch & Crotty (2012), la réalité virtuelle semble permettre une rééducation efficace, mais les modalités selon lesquelles elle devrait être appliquée sont encore mal connues. Lohse, Hilderman, Cheung, Tatla & Van der Loos (2014) témoignent également de son efficacité, mais soulignent l'absence de précision concernant les programmes de « rééducation conventionnelle » auxquels la réalité virtuelle est comparée dans les études. Enfin, selon Veerbeek & al. (2014), si l'entraînement avec biofeedback semble permettre une réduction des oscillations posturales, c'est également le cas de l'entraînement à la position debout sans feedback mais associée à d'autres tâches, et leur étude ne propose aucune comparaison entre l'efficacité de ces deux techniques.

La littérature actuelle suggère donc l'efficacité de la réalité virtuelle en tant que moyen de rééducation du contrôle postural après un AVC, mais sa supériorité par rapport à la rééducation conventionnelle ne semble pas établie. En outre, la rééducation conventionnelle, dont l'efficacité est également suggérée dans l'étude de Veerbeek & al. (2014), présente elle aussi différents avantages. Bien que le feedback y soit moins facilement accessible, elle permet d'associer facilement aux exercices de transfert d'appui des mouvements du tronc et des membres supérieurs. Cet élément ne peut être négligé, puisque la plupart des gestes de la vie quotidienne implique des rotations autour de l'axe corporel (Gagey & Weber, 2004). De plus, si elle désigne l'ensemble des moyens de rééducation de l'équilibre ne faisant pas appel à la réalité virtuelle, la rééducation conventionnelle permet également la mise en place adéquate d'exercices musculaires d'intensité croissante, jugés nécessaires et optimaux pour l'amélioration de l'équilibre après un AVC (Carr & Shepherd, 2011).

En ce sens, il nous est apparu que les plateformes informatisées permettant un travail du transfert d'appui avec biofeedback devraient s'associer à la rééducation conventionnelle de l'équilibre, dans le but de faire profiter aux patients des avantages de chaque technique. Plusieurs études ont mis en place une telle association (Kim & al, 2009 ; Cho & al., 2012 ; Mc Ewen & al., 2014), mais le groupe expérimental bénéficiant de réalité virtuelle avait alors plus de temps de rééducation que le groupe témoin bénéficiant de rééducation conventionnelle seule. Nous avons souhaité, dans cette étude, évaluer l'intérêt d'un traitement spécifique de la tâche de transfert d'appui associant réalité virtuelle et rééducation conventionnelle sur l'amélioration de l'équilibre chez des patients à plus de 3 mois post-AVC, en le comparant avec un programme de rééducation conventionnelle seule de même durée. Nous avons également voulu nous appliquer à bien définir le programme témoin de rééducation conventionnelle seule auquel notre protocole expérimental serait comparé, de manière à éviter les biais exposés par la méta-analyse de Lohse et al. (2014).

Hypothèse : les patients bénéficiant d'entraînement intensif au transfert d'appui par association de réalité virtuelle et de rééducation conventionnelle vont davantage améliorer leur équilibre statique et dynamique comparativement aux patients bénéficiant d'entraînement de même durée avec rééducation conventionnelle seule.

2 Matériel et méthode

Il s'agit d'une étude pilote, prospective, contrôlée, randomisée, ouverte, et multicentrique.

2.1 Population étudiée

Six patients ont été recrutés, en hôpital de jour et en cabinet libéral, d'octobre 2014 à mars 2015. Ils consultaient pour séquelles d'AVC impliquant des troubles de l'équilibre. Les patients ayant intégré l'étude ont signé un formulaire de consentement éclairé pour participer à l'étude (annexe I). Ils ont ensuite été répartis de manière aléatoire en deux groupes de manière à constituer un groupe expérimental et un groupe témoin (annexe II).

Les critères d'inclusion requis pour participer à l'étude étaient :

- D'être majeur, et de présenter des séquelles faisant suite à une lésion hémisphérique isolée d'origine vasculaire survenue plus de 3 mois auparavant. Ces critères sont présents dans la plupart des études utilisées pour construire le protocole. Aussi, un délai de 3 mois peut être désigné pour situer la phase chronique d'un AVC (HAS, 2012),
- De présenter un score supérieur à 21/56 sur l'échelle de Berg, témoignant d'un équilibre moyen à bon (Blum & Korner-Bitensky, 2008), ainsi qu'un score inférieur à 46/56 : ce score maximal est établi pour minimiser un éventuel effet plafond,
- D'être capable de marcher 10 mètres et d'effectuer un demi-tour seul, avec ou sans aide technique. Cette condition est nécessaire à la réalisation du test Timed Up and Go (Hafsteinsdottir, Rensink & Schuurmans, 2014),
- D'être capable de tenir debout seul et sans aide technique pendant plus de 2 minutes. Cette condition est nécessaire à la mesure du pourcentage d'appui sur chaque membre inférieur.

Les critères de non-inclusion ne permettant pas de participer à l'étude étaient :

- De présenter des troubles visuels ou auditifs non corrigés, ou des troubles cognitifs associés, ne permettant pas l'interaction avec le matériel,
- D'utiliser un pacemaker, contre-indiqué à l'utilisation du matériel,
- D'avoir subi une lésion nerveuse centrale ou périphérique antérieure, ou d'avoir subi un traumatisme antérieur des membres inférieurs, conditions établies afin de juger l'AVC comme étant la cause majeure des troubles d'équilibre.

2.2 Mise en place multicentrique du protocole

Un document apportant des précisions sur les exercices à réaliser et sur les précautions à prendre lors des évaluations a été établi pour être remis aux MK acceptant de participer à l'étude (annexe III). Un rendez-vous était également prévu en complément. Dans le cadre de notre étude, nous avons nous-mêmes mis en œuvre le protocole pour deux patients en hôpital de jour, et avons pu ensuite solliciter un MK ayant mis en œuvre le protocole pour quatre patients, en cabinet libéral. Les évaluations étaient effectuées par le MK ayant mis en œuvre le protocole.

2.3 Matériel utilisé

Nous avons utilisé, dans le cadre du protocole expérimental, la plateforme Biorescue® (Annexe IV), récemment développée par une compagnie française, en association avec le logiciel Sycomore®. Ces outils visent à adapter les exercices aux capacités de chaque patient : le logiciel utilisé permet de réaliser une mesure des limites de stabilité du patient (capacité à déplacer le CP le plus loin possible dans toutes les directions) avant chaque séance de manière à lui proposer des exercices réalisables et à éviter l'échec répété (Annexe V). Les exercices étaient visualisables sur un écran de 15 pouces situé à environ 50 cm des yeux du patient en position debout, et incitaient le patient à réaliser des exercices de transfert d'appui (fig. 1). Le score et le temps restant pour la réalisation de l'exercice apparaissaient à l'écran.

2.4 Interventions

Tous les patients ont bénéficié de trois séances de kinésithérapie par semaine pendant quatre semaines, à raison de 45 minutes par séance. Les patients du groupe témoin ont bénéficié pour chaque séance de 45 minutes de rééducation conventionnelle seule, alors que les patients du groupe expérimental ont bénéficié de séances constituées pour moitié de réalité virtuelle, et pour moitié de rééducation conventionnelle. Dans les deux types de protocole, les mêmes exercices étaient réalisés à chaque séance, mais pouvaient toutefois progresser en difficulté de manière à s'adapter à l'évolution du patient. L'utilisation d'une aide technique était permise. Chaque séance était divisée en 15 minutes de travail du transfert d'appui dans le plan frontal, 15 minutes dans le plan sagittal, et 15 minutes dans les deux plans (fig. 2). Des temps de pause étaient proposés en fonction de la fatigue du patient.

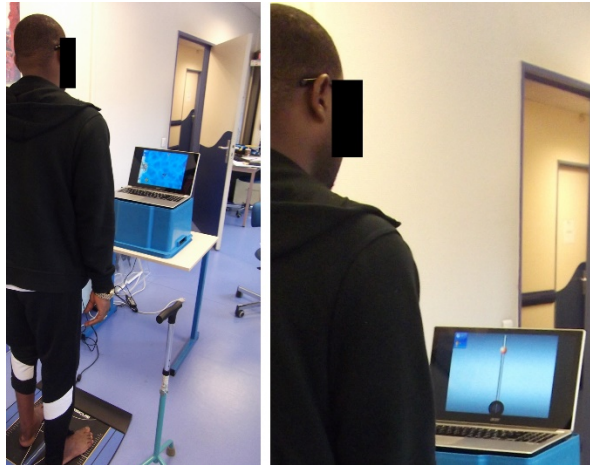


Figure 1 : Utilisation de la plateforme Biorescue®

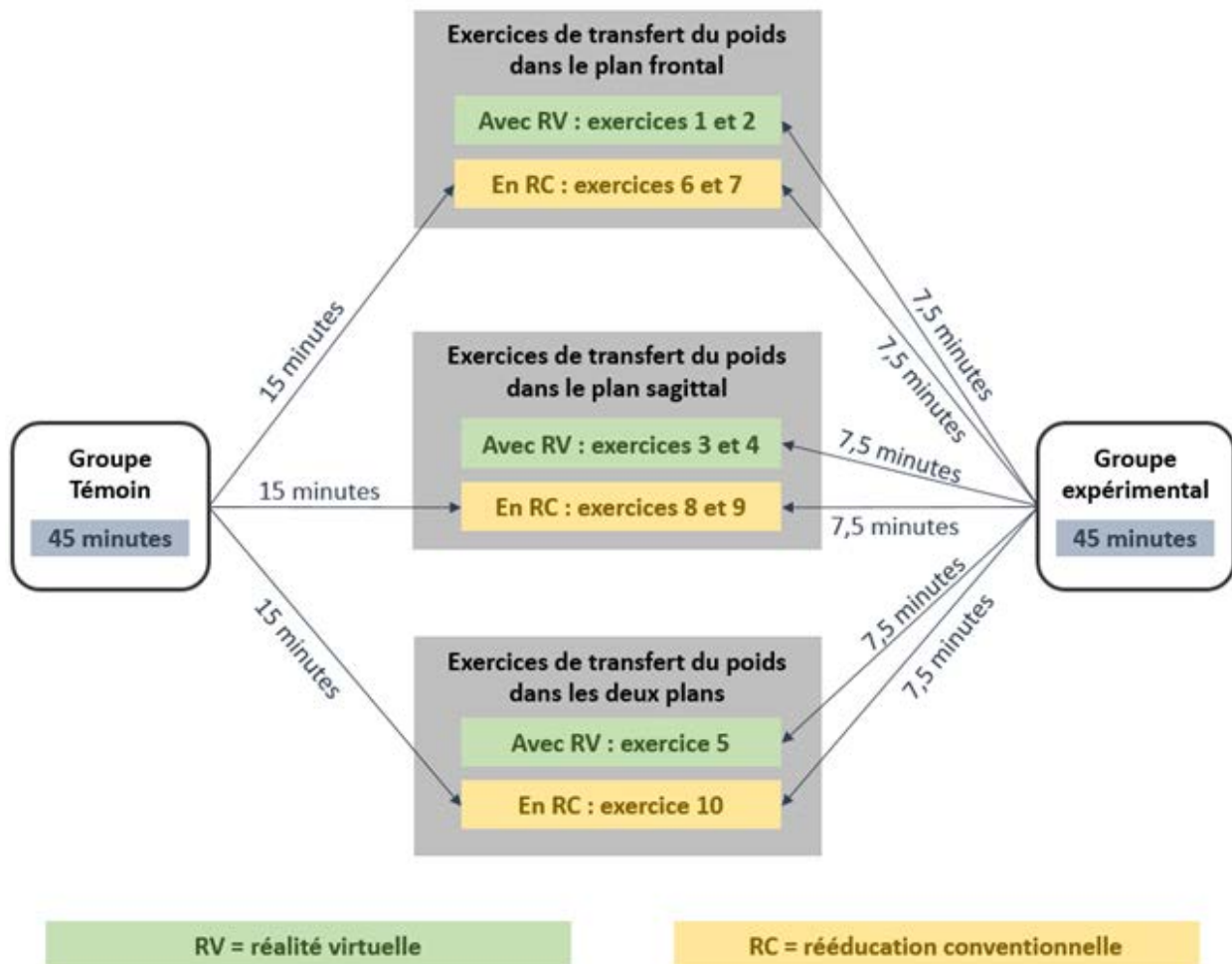


Figure 2 : Déroulement d'une séance de 45 minutes pour chaque groupe

Pendant toute la durée du protocole, la prise en charge kinésithérapique des patients a été poursuivie pour le membre supérieur, et pour les troubles de sensibilité superficielle du membre inférieur. Aucun travail de force des membres inférieurs ou en position debout n'a été réalisé en plus du protocole.

2.4.1 Les exercices de rééducation avec réalité virtuelle

Les exercices de transfert d'appui avec réalité virtuelle n'ont été utilisés que pour le groupe expérimental, pendant la moitié de chaque séance. Au fil des séances, la difficulté évoluait d'une part grâce à une nouvelle mesure des limites de stabilité du patient, et d'autre part par augmentation de la vitesse du transfert d'appui ou par augmentation du temps de maintien de l'appui maximal sur le membre inférieur parétique. Le polygone de sustentation ne devait pas être modifié, et la stratégie du pas n'était pas permise, le sujet devant s'équilibrer préférentiellement avec une stratégie de cheville. Dans le cadre de cette étude, tous les exercices ont été réalisés sous la surveillance d'un MK pouvant apporter des consignes et des corrections. Cinq exercices ont été réalisés à chaque séance :

- Exercice 1 : Déplacement et stabilisation du côté parétique, plan frontal (fig. 3),
- Exercice 2 : Déplacement d'une tortue par transfert du poids dans le plan frontal (fig. 4),
- Exercice 3 : Déplacement et stabilisation en avant ou en arrière, plan sagittal (fig. 5),
- Exercice 4 : Déplacement d'un avion par transfert du poids dans le plan sagittal (fig. 6),
- Exercice 5 : Tableau à effacer par déplacement d'une éponge, par transfert du poids dans les plans frontal et sagittal (fig. 7).

2.4.2 Les exercices de rééducation conventionnelle

Les exercices de transfert d'appui avec rééducation conventionnelle ont été utilisés pour le groupe expérimental pendant la moitié de chaque séance, et pour le groupe témoin pendant la totalité de chaque séance. Au fil des séances, la difficulté augmentait par éloignement des cibles à toucher par le membre supérieur, par diminution du polygone de sustentation, ou par la réalisation des exercices yeux fermés. Ils étaient constitués d'exercices de tâche orientée avec modification du polygone de sustentation, mouvements du tronc et utilisation associée des membres supérieurs. L'utilisation de la stratégie du pas y était permise. Le MK était présent durant toutes les séances pour sécuriser le patient et lui donner des consignes sur la bonne réalisation des mouvements. Cinq exercices étaient réalisés à chaque séance :

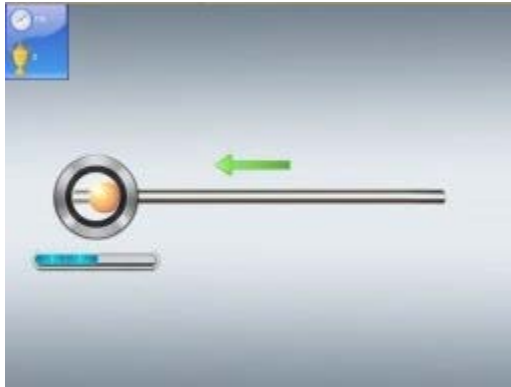


Figure 3 : Stabilisation du côté parétique (plan frontal)



Figure 4 : Déplacement d'une tortue (plan frontal)



Figure 5 : Stabilisation en avant ou en arrière (plan sagittal)

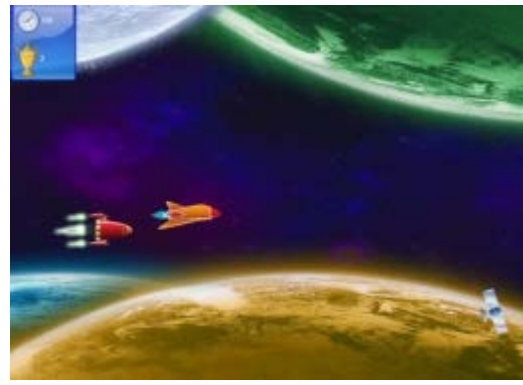


Figure 6 : Déplacement d'un avion (plan sagittal)



Figure 7 : Tableau à effacer par déplacement d'une éponge (plans frontal et sagittal)

- Exercice 6 : Transfert d'objets dans le plan frontal (fig. 8),
- Exercice 7 : Atteinte de cibles controlatérales avec rotations du tronc, plan frontal (fig. 9),
- Exercice 8 : Transfert d'objets dans le plan sagittal (fig. 10),
- Exercice 9 : Séries de montées sur pointes de pieds ou sur talons, plan sagittal (fig. 11),
- Exercice 10 : Séries de steps, plans frontal et sagittal (fig. 12).

2.5 Justification du protocole

Le temps de rééducation a été fixé de manière à offrir un programme le plus intense possible, tout en considérant les contraintes organisationnelles. Veerbeek et al. (2014) considèrent en effet l'intensité comme un facteur clé de la rééducation après un AVC. Les contraintes propres aux structures ayant permis la mise en place de l'étude nous ont imposé de limiter la durée du protocole à douze séances de 45 minutes. Les principes de répétition et de tâche orientée ont également été respectés, chaque exercice ayant été effectué avec un but précis, et un grand nombre de fois. Veerbeek et al. (2014) soulignent toutefois que chaque répétition ne doit pas être exactement identique à la précédente, et qu'il est recommandé d'y introduire des variations. Aussi, chaque exercice a été adapté de manière à respecter une progression dans la difficulté au fil des séances.

Chaque séance était constituée de trois temps de travail : 15 minutes de travail du transfert d'appui dans le plan frontal, 15 minutes dans le plan sagittal, et 15 minutes dans les deux plans. Cette division avait pour principal intérêt de réduire au maximum les différences de procédure entre les groupes expérimental et témoin. En outre, si le travail du transfert du poids dans le plan frontal pour améliorer la symétrie d'appui, l'équilibre et la marche a fait ses preuves (Aruin, Rao, Sharma & Chaudhuri, 2012), Mansfield et al. (2013) soulignent également l'intérêt du travail du transfert d'appui dans le plan antéro-postérieur pour améliorer les paramètres spatio-temporels de la marche.

Le protocole contenait des exercices de déstabilisations intrinsèques de manière à solliciter tous les types d'ajustements posturaux (Bouisset et Do, 2008). Ceci nous a permis de nous placer dans un objectif fonctionnel, les déstabilisations intrinsèques étant constamment associées aux mouvements de vie quotidienne. Aussi, ces déstabilisations ont dû être gérées à vitesse contrôlée par le patient en rééducation conventionnelle, alors que leur vitesse était imposée en réalité virtuelle (le nombre d'obstacles à éviter étant un critère utilisé pour augmenter la difficulté des exercices).



Figure 8 : Transfert d'objets
(plan frontal)

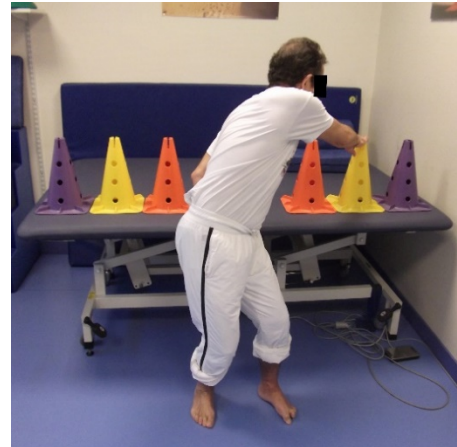


Figure 9 : Atteinte de cibles controlatérales
(plan frontal)



Figure 10 : Transfert d'objets
(plan sagittal)



Figure 11 : Séries de montées pointes ou talons
(plan sagittal)



Figure 12 : Séries de steps (plans frontal et sagittal)

L'association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle avait pour but de faire profiter aux patients des avantages spécifiques de chaque type de rééducation (fig. 13).

Les exercices de réalité virtuelle étaient constitués, pour le travail de chaque plan, d'exercices principalement orientés vers le feedback consistant au déplacement et en la stabilisation d'une bille le long d'un axe (fig. 3, 5), suivis d'exercices plus ludiques (fig. 4, 6, 7). Ceci avait pour but de permettre aux patients de prendre pleinement conscience de leur transfert d'appui dans un plan donné, avant d'exercer un exercice plus motivant dans ce même plan, impliquant parcours, obstacles et scores. Le feedback permet aux patients d'avoir un retour d'informations en temps réel sur leur état d'équilibre pour le contrôler, et semble ainsi stimuler la réorganisation des circuits sensori-moteurs et améliorer le contrôle postural (Mao et al., 2014). De plus, la connaissance du score est un facteur clé de l'engagement des patients dans leur rééducation après un AVC, et augmente leur motivation et leur assurance (MacDonald, Kayes & Bright, 2013). Aussi, le niveau de difficulté des exercices a été paramétré chaque semaine en fonction des limites de stabilité du patient. Ceci avait pour but de lui conférer des exercices réalisables le mettant dans une situation de réussite. Selon Maxwell, Masters, Kerr & Weedon (2001), chez le sujet sain, l'échec répété dans le cadre de l'apprentissage semblerait favoriser la demande attentionnelle à la réalisation d'un exercice à long terme, tandis que la réussite continue permettrait une meilleure automatisation de la tâche. Enfin, Barclay-Goddard et al. (2004) soulignent que l'utilisation d'un feedback permettrait d'améliorer les performances instantanées, mais pourrait dégrader l'apprentissage à long terme si cette utilisation est constante. Les patients du groupe expérimental ont donc effectué, à chaque séance, leurs exercices de réalité virtuelle avant d'effectuer leurs exercices de rééducation conventionnelle, dans le but de faciliter la réalisation de la tâche dans un premier temps, puis de permettre un entraînement en milieu réel dans un second temps.

Les exercices de rééducation conventionnelle ont été choisis de manière à ajouter au protocole des éléments importants de la rééducation de l'équilibre qui n'étaient pas accessibles avec l'outil de réalité virtuelle utilisé. Nous avons inclus, pour le travail de chaque plan, des exercices associés à l'utilisation des membres supérieurs (fig. 8, 9, 10), suivis d'exercices musculaires en charge (fig. 11, 12). Au fil des séances, tous les exercices ont augmenté en difficulté en diminuant le polygone de sustentation ou en privant le sujet d'informations visuelles. L'entraînement à des tâches telles que la saisie d'objets ou l'atteinte de cibles entraînant des transferts d'appui dans les plans antéro-postérieur ou médio-latéral permet d'améliorer le contrôle postural après un AVC (McCombes Waller &

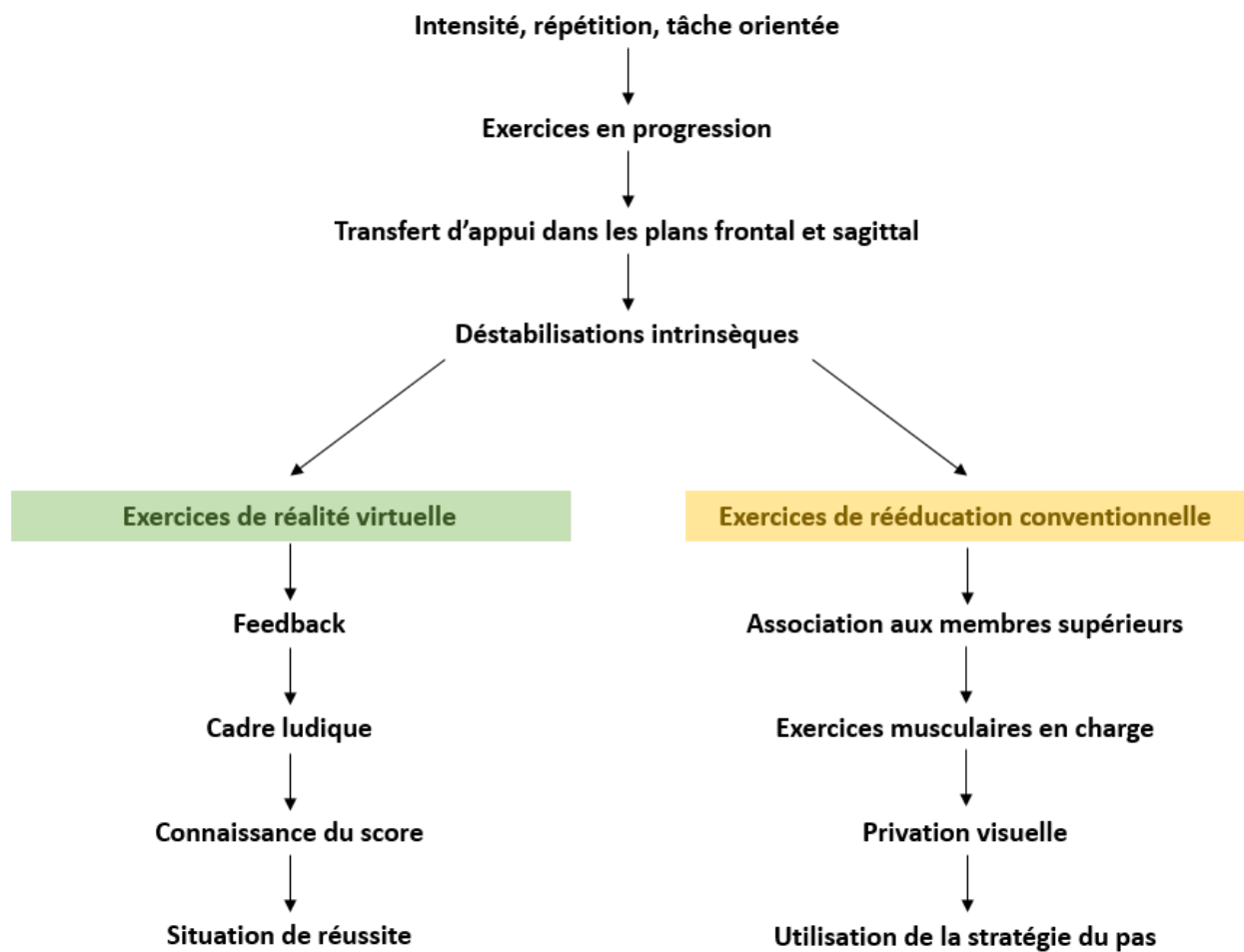


Figure 13 : Points clés retrouvés dans le protocole expérimental

Prettyman, 2012). Les exercices musculaires, réalisés à vitesse croissante au fil des séances pour en augmenter le nombre de séries, sont un moyen optimal de récupération de l'équilibre après un AVC, tout comme la réalisation d'exercices avec une base d'appui resserrée (Carr & Shepherd, 2011). La réalisation d'exercices yeux fermés a fait preuve de son efficacité, et semble forcer les patients à compenser la privation visuelle en utilisant leurs autres entrées sensorielles, telles que les systèmes sensitifs et vestibulaires (Bonan & al., 2004). Enfin, l'utilisation de la stratégie du pas face à un déséquilibre était permise voire encouragée durant les séances. Selon Geurts & al. (2005), les réactions d'équilibration consistant en une augmentation de la surface d'appui sont les réponses automatiques normales à une perturbation, et ne doivent pas être négligées dans le cadre de la prévention des chutes.

2.6 Paramètres mesurés

Chaque paramètre a été évalué au début (J0) et à la fin (J28) de la mise en place du protocole. Les évaluateurs avaient connaissance du groupe auquel appartenait le patient : l'évaluation ne s'est donc pas faite en aveugle. Le critère d'évaluation principal de l'étude était l'échelle de Berg. Les critères d'évaluation secondaires étaient le test Timed Up and Go et la mesure du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique. Une fiche de données complémentaires à recueillir était également remplie à J0 (annexe VI).

2.6.1 Echelle de Berg

Le critère de jugement principal de l'étude a été le score obtenu sur l'échelle de Berg, pour évaluer l'équilibre statique et dynamique (annexe VII). Une revue systématique récente lui suggère de très bonnes propriétés psychométriques dans le cadre de son utilisation chez des patients souffrant de séquelles d'AVC (Blum & Korner-Bitensky, 2008). En particulier, la cohérence interne, la fiabilité intra-opérateur et la fiabilité inter-opérateur sont jugées excellentes. L'échelle de Berg est également valide, fortement corrélée à d'autres échelles d'équilibre et d'indépendance dans les activités de la vie quotidienne, discriminative et sensible aux changements. Toutefois, des effets plancher et plafond peuvent être retrouvés. Les auteurs concluent donc sur son efficacité et la recommandent pour évaluer les changements dans l'équilibre après un AVC, mais conseillent de l'utiliser en association avec d'autres mesures pour pallier aux éventuels effets plancher et plafond.

2.6.2 *Timed Up and Go*

Le test Timed Up and Go permet d'évaluer la mobilité fonctionnelle. Dans le cadre de son utilisation chez les sujets marchant après un AVC, il dispose d'excellentes fiabilités inter-opérateur et intra-opérateur. Il est valide, et permet de détecter de petits changements à court terme (Hafsteinsdottir et al., 2013). Selon les auteurs, la procédure précise est toutefois rarement décrite, et certains éléments peuvent être à l'origine de biais s'ils ne sont pas reproduits entre deux évaluations. Nous avons donc défini des modalités précises pour minimiser la présence de biais (annexe VIII).

2.6.3 *Pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique*

La différence de pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique entre J0 et J28 permet d'évaluer l'augmentation de l'implication de ce membre dans la station debout. Selon Kamphuis, Kam, Geurts et Weerdesteyn (2013), l'influence de l'asymétrie d'appui sur l'équilibre fonctionnel des sujets post-AVC est discutée dans la littérature. Cependant, un lien est établi entre l'importance de cette asymétrie et l'augmentation des oscillations posturales. De plus, Mansfield et al. (2013) suggèrent que cette asymétrie soit corrélée à une asymétrie des paramètres spatio-temporels de la marche. Des modalités ont été définies pour assurer la reproductibilité de la mesure (annexe IX).

2.7 **Analyse statistique**

Les données ont été recueillies entre J0 et J28. Pour chaque critère de jugement et pour chaque patient, la différence entre les mesures de début et de fin de protocole a été calculée. Ces résultats ont d'abord été étudiés à l'aide de statistiques descriptives : les moyennes et écarts-types ont donc été calculés pour chaque variable.

Pour chaque critère de jugement, l'analyse de la progression au sein de chaque groupe a été réalisée à l'aide d'un test t de Student unilatéral sur séries appariées. L'analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin a ensuite été réalisée à l'aide d'un test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants. Le seuil de significativité a été défini tel que $\alpha=5\%$. Le test de Student étant un test paramétrique, son utilisation n'est permise que si la distribution à analyser est normale. Devant la faible taille des échantillons liée aux contraintes organisationnelles de l'étude, nous n'avons pas pu tester la normalité de la distribution. Nous avons donc posé l'hypothèse que la distribution des données était normale pour poursuivre les calculs.

3 Résultats

3.1 Groupes étudiés

Des données complémentaires concernant l'âge, le sexe, le type d'AVC, le délai post-lésionnel et le côté parétique ont été recueillies à J0 de la prise en charge pour chaque patient (tab. I). Les troubles moteurs, sensitifs, cognitifs et douloureux ont également été répertoriés (annexe X).

Tableau I : données complémentaires recueillies à J0 de la prise en charge

	Patient	Age (années)	Sexe	Type AVC	Délai post AVC (jours)	Côté lésionnel
Groupe expérimental	A	30	Masculin	Ischémique	254	Droit
	B	69	Masculin	Ischémique	864	Droit
	C	67	Féminin	Ischémique	226	Droit
	Moyenne ± écart-type ou proportions	55,3 ± 17,9	Hommes : 66%	Ischémique : 100%	448 ± 294,4	Droit : 100%
Groupe témoin	D	57	Masculin	Ischémique	91	Droit
	E	55	Masculin	Ischémique	199	Droit
	F	77	Féminin	Ischémique	1144	Droit
	Moyenne ± écart-type ou proportions	63 ± 9,9	Hommes : 66%	Ischémique : 100%	478 ± 473	Droit : 100%

Dans chaque groupe, il y a 67% d'hommes et 33% de femmes. 100% des patients ont subi un AVC ischémique droit à l'origine d'une atteinte de l'hémicorps gauche (fig. 14).

Dans le groupe expérimental, la moyenne d'âge est de 55,3±17,9 ans, et le délai post-lésionnel est en moyenne de 448±294,4 jours. Dans le groupe témoin, la moyenne d'âge est de 63±9,9 ans, et le délai post-lésionnel est en moyenne de 478±473 jours. Les données quantitatives concernant l'âge et le délai post-AVC semblent donc très dispersées dans chaque groupe (fig. 15).

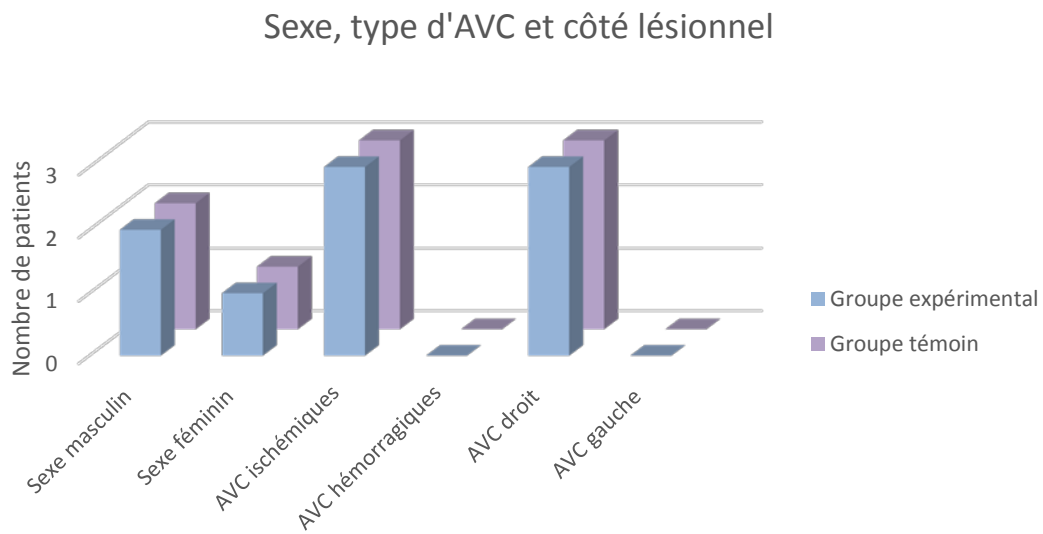


Figure 14 : Répartition des sexes, types d'AVC et côtés lésionnels dans chaque groupe

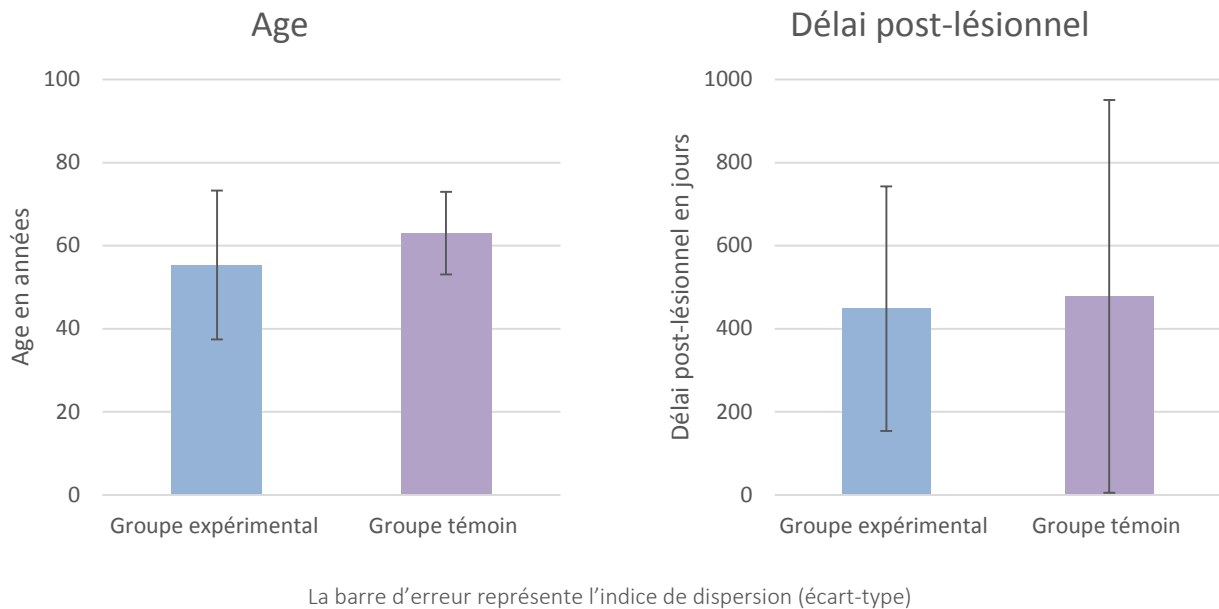


Figure 15 : Moyennes d'âge et du délai post-lésionnel dans chaque groupe

3.2 Echelle de Berg

Les données ont d'abord été étudiées à l'aide de statistiques descriptives (tab. II).

Tableau II : scores obtenus sur l'échelle de Berg

Groupe expérimental				Groupe témoin			
Patient	J0	J28	Progrès	Patient	J0	J28	Progrès
A	36	44	8	D	45	50	5
B	43	47	4	E	39	45	6
C	44	48	4	F	43	45	2
Moyenne ± écart-type	41 ± 3,6	46,3 ± 1,7	5,3 ± 1,9	Moyenne ± écart-type	42,3 ± 2,5	46,7 ± 2,4	4,3 ± 1,7

Entre J0 et J28, le score moyen passe de $41 \pm 3,6$ à $46,3 \pm 1,7$ pour le groupe expérimental, et de $42,3 \pm 2,5$ à $46,7 \pm 2,4$ pour le groupe témoin (fig. 16). La moyenne des progrès entre J0 et J28 est de $5,3 \pm 1,9$ dans le groupe expérimental, et de $4,3 \pm 1,7$ dans le groupe témoin (fig. 17).

Les statistiques inférentielles réalisées sont détaillées en annexe XI.

3.2.1 Analyse de la progression dans le groupe expérimental

Le test t de Student unilatéral sur échantillons appariés met en évidence un score significativement supérieur à J28 par rapport au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ ($t=-4$; $p=0,029$).

3.2.2 Analyse de la progression dans le groupe témoin

Le test t de Student unilatéral sur échantillons appariés met en évidence un score significativement supérieur à J28 par rapport au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ ($t=-3,605$; $p=0,034$).

3.2.3 Analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin

Le test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants ne met pas en évidence de différence significative entre la progression du groupe témoin et la progression du groupe expérimental au risque $\alpha=5\%$ ($t=0,557$; $p=0,607$).

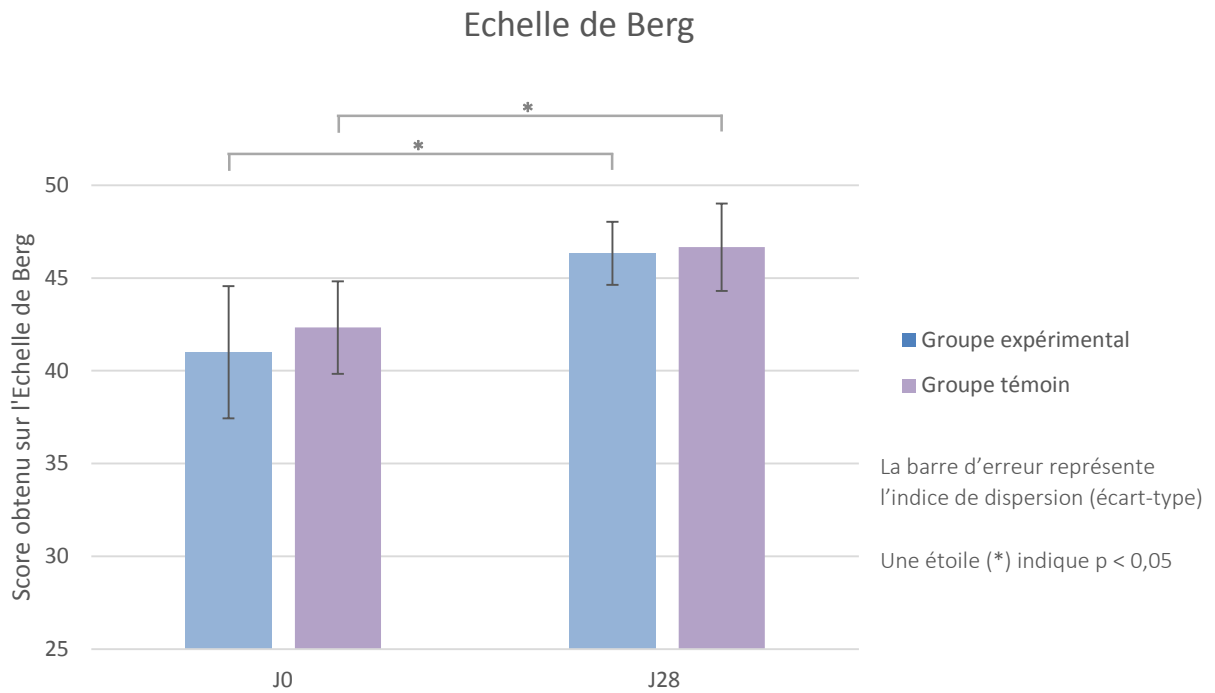


Figure 16 : Scores moyens sur l'échelle de Berg dans les deux groupes avant et après traitement

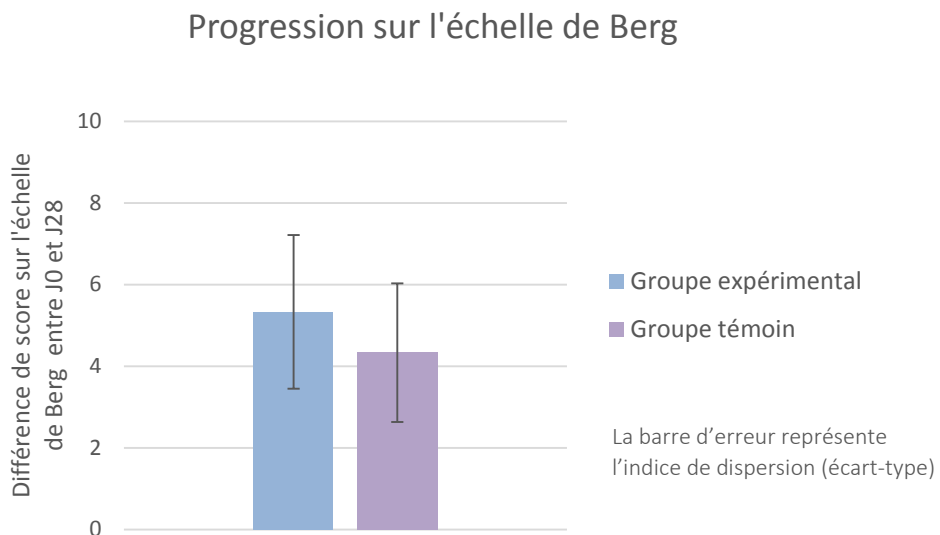


Figure 17 : Progression moyenne sur l'échelle de Berg dans les deux groupes entre J0 et J28

3.3 Timed up and go

Les données ont d'abord été étudiées à l'aide de statistiques descriptives (tab. III).

Tableau III : scores obtenus au test Timed Up and Go

Groupe expérimental				Groupe témoin			
Patient	J0	J28	Progrès	Patient	J0	J28	Progrès
A	44,7	34	10,7	D	19,3	13,8	5,5
B	22,3	17,3	5	E	31,5	26,2	5,3
C	17,9	14,1	3,8	F	26,2	22,4	3,8
Moyenne ± écart-type	28,3 ± 11,7	21,8 ± 8,7	6,5 ± 3	Moyenne ± écart-type	25,7 ± 5	20,8 ± 5,2	4,9 ± 0,6

Entre J0 et J28, le score moyen passe de $28,3 \pm 11,7$ à $21,8 \pm 8,7$ pour le groupe expérimental, et de $25,7 \pm 5$ à $20,8 \pm 5,2$ pour le groupe témoin (fig. 18). La moyenne des progrès entre J0 et J28 est de $6,5 \pm 3$ dans le groupe expérimental, et de $4,9 \pm 0,6$ dans le groupe témoin (fig. 19).

Les statistiques inférentielles réalisées sont détaillées en annexe XII.

3.3.1 Analyse de la progression dans le groupe expérimental

Le test t de Student unilatéral sur échantillons appariés met en évidence un score significativement supérieur à J28 par rapport au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ ($t=3,054$; $p=0,046$).

3.3.2 Analyse de la progression dans le groupe témoin

Le test t de Student unilatéral sur échantillons appariés met en évidence un score significativement supérieur à J28 par rapport au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ ($t=9,072$; $p=0,006$).

3.3.3 Analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin

Le test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants ne met pas en évidence de différence significative entre la progression du groupe témoin et la progression du groupe expérimental au risque $\alpha=5\%$ ($t=-0,744$; $p=0,534$).

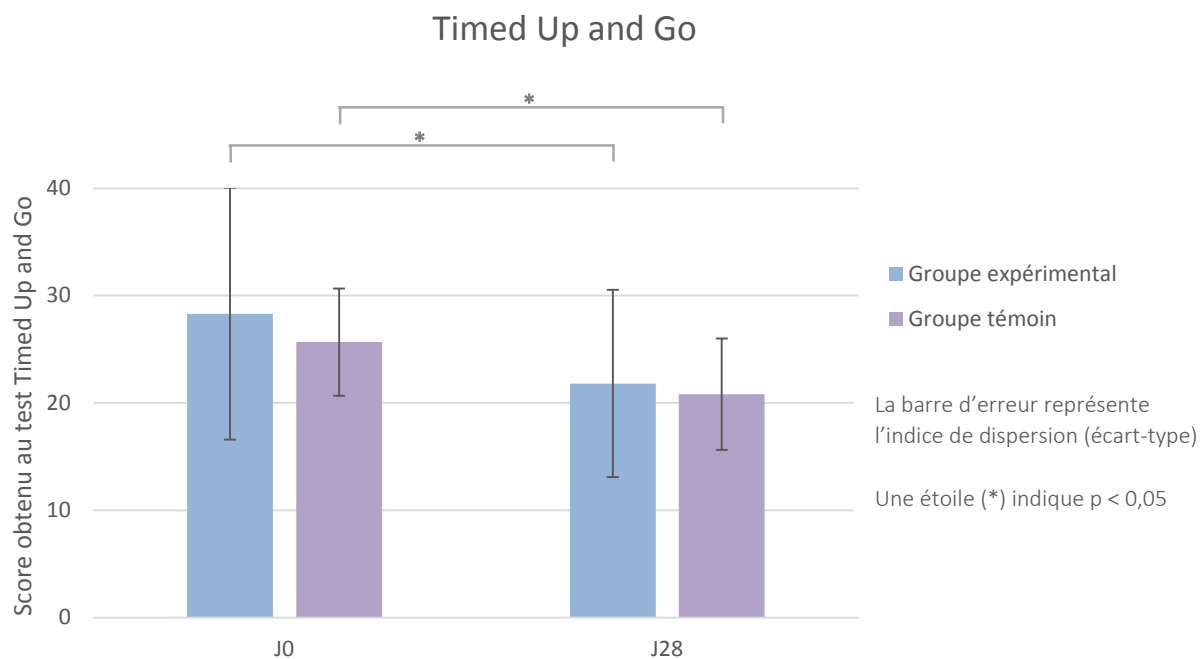


Figure 18 : Scores moyens au test Timed Up and Go dans les deux groupes avant et après traitement

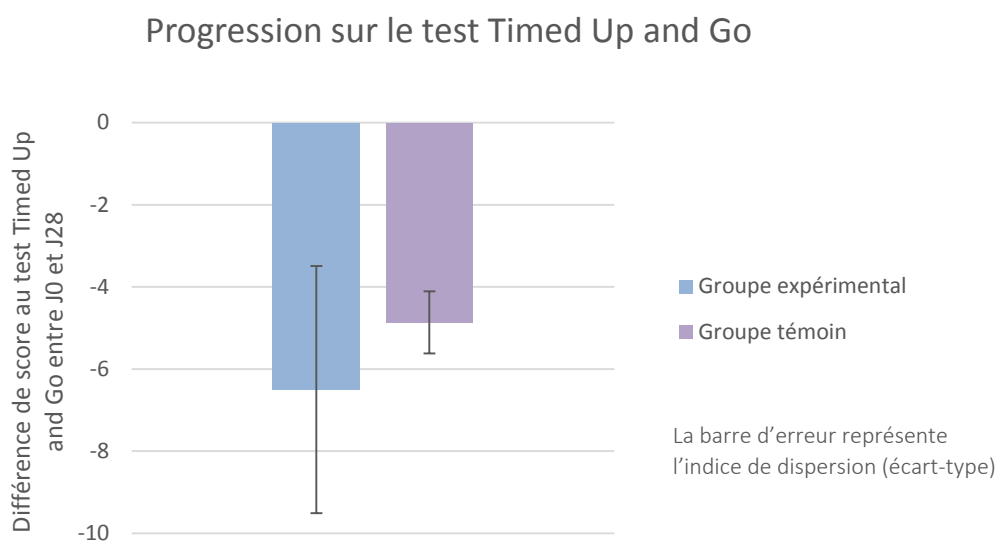


Figure 19 : Progression moyenne sur le test Timed Up and Go dans les deux groupes entre J0 et J28

3.4 Pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique

Les données ont d'abord été étudiées à l'aide de statistiques descriptives (tab. IV).

Tableau IV : valeurs mesurées du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique

Groupe expérimental				Groupe témoin			
Patient	J0	J28	Progrès	Patient	J0	J28	Progrès
A	22	36,3	14,3	D	34,1	49	14,9
B	42,2	48,8	6,6	E	26,6	34	7,4
C	33,9	40,6	6,7	F	34,3	38,3	4
Moyenne ± écart-type	32,7 ± 8,3	41,9 ± 5,2	9,2 ± 3,6	Moyenne ± écart-type	31,7 ± 3,6	40,5 ± 6,3	8,8 ± 4,6

Entre J0 et J28, le score moyen passe de $32,7 \pm 8,3$ à $41,9 \pm 5,2$ pour le groupe expérimental, et de $31,7 \pm 3,6$ à $40,5 \pm 6,3$ pour le groupe témoin (fig. 20). La moyenne des progrès entre J0 et J28 est de $9,2 \pm 3,6$ dans le groupe expérimental, et de $8,8 \pm 4,6$ dans le groupe témoin (fig. 21).

Les statistiques inférentielles réalisées sont détaillées en annexe XIII.

3.4.1 Analyse de la progression dans le groupe expérimental

Le test t de Student unilatéral sur échantillons appariés met en évidence un score significativement supérieur à J28 par rapport au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ ($t=-3,572$; $p=0,035$).

3.4.2 Analyse de la progression dans le groupe témoin

Le test t de Student unilatéral sur échantillons appariés ne met pas en évidence de score significativement supérieur à J28 par rapport au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ ($t=-2,718$; $p=0,056$).

3.4.3 Analyse de la différence de progression entre les groupes expérimental et témoin

Le test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants ne met pas en évidence de différence significative entre la progression du groupe témoin et la progression du groupe expérimental au risque $\alpha=5\%$ ($t=0,102$; $p=0,923$).

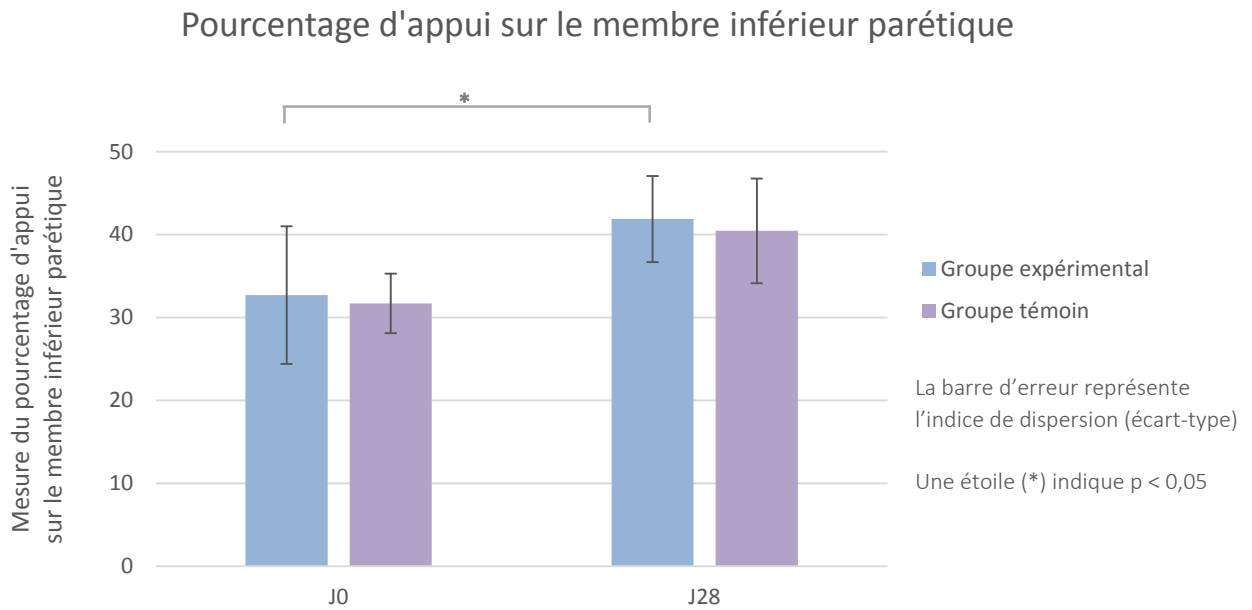


Figure 20 : Mesures moyennes du pourcentage d'appui du membre inférieur parétique dans les deux groupes avant et après traitement

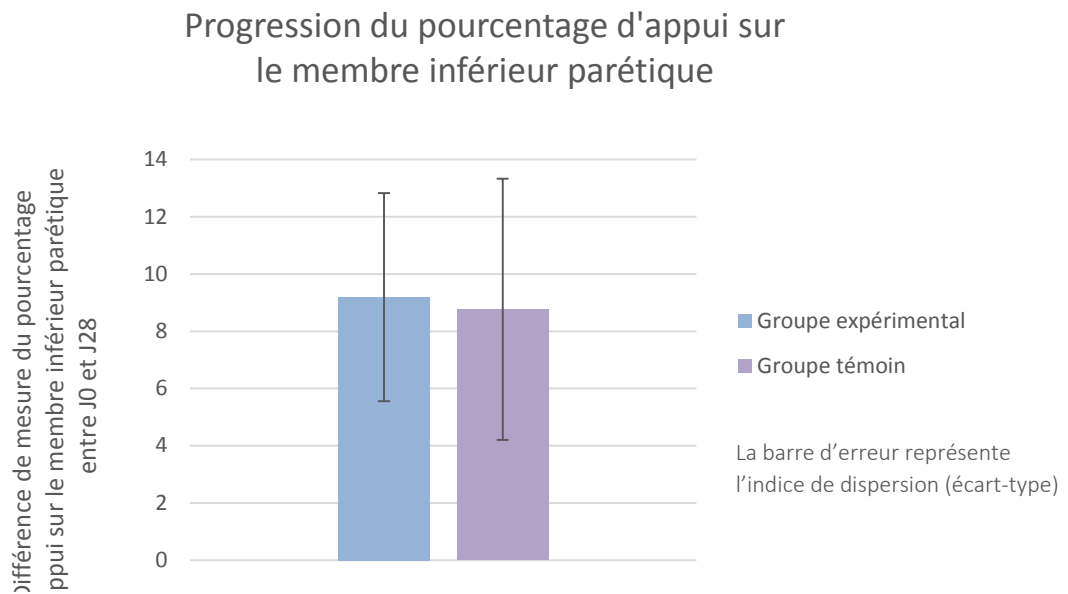


Figure 21 : Progression moyenne du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique dans les deux groupes entre J0 et J28

3.5 Synthèse des résultats

Nous avons rassemblé les résultats obtenus sur les tests t de Student unilatéraux sur séries appariées (tab. V, fig. 22). Puis nous avons rassemblé ceux obtenus sur les tests t de Student bilatéraux sur échantillons indépendants (tab. VI). Une étoile (*) indique une différence significative à $\alpha=5\%$.

Tableau V : analyse intragroupe (progression dans chaque groupe)

		Moyenne \pm écart-type		t	p
		J0	J28		
Berg	Groupe expérimental	41 \pm 3,6	46,3 \pm 1,7	-4	0,029*
	Groupe témoin	42,3 \pm 2,5	46,7 \pm 2,4	-3,605	0,034*
TUG	Groupe expérimental	28,3 \pm 11,7	21,8 \pm 8,7	3,054	0,046*
	Groupe témoin	25,7 \pm 5	20,8 \pm 5,2	9,072	0,006*
PAMIP	Groupe expérimental	32,7 \pm 8,3	41,9 \pm 5,2	-3,572	0,035*
	Groupe témoin	31,7 \pm 3,6	40,5 \pm 6,3	-2,718	0,056

Tableau VI : analyse intergroupe (différence de progression entre les groupes)

	Moyenne \pm écart-type		t	p
	Progression dans le groupe expérimental	Progression dans le groupe témoin		
Berg	5,3 \pm 1,9	4,3 \pm 1,7	0,557	0,607
TUG	6,5 \pm 3	4,9 \pm 0,6	-0,744	0,534
PAMIP	9,2 \pm 3,6	8,8 \pm 4,6	0,102	0,923

Le score à J28 est significativement supérieur au score à J0 au risque $\alpha=5\%$ en ce qui concerne la progression du groupe expérimental sur l'échelle de Berg, sur le test Timed Up and Go et sur la mesure du pourcentage d'appui du membre inférieur parétique ; ainsi qu'en ce qui concerne la progression du groupe témoin sur l'échelle de Berg et sur le test Timed Up and Go.

Il n'y a pas de différence significative entre la progression du groupe expérimental et la progression du groupe témoin, quel que soit le critère de jugement étudié.

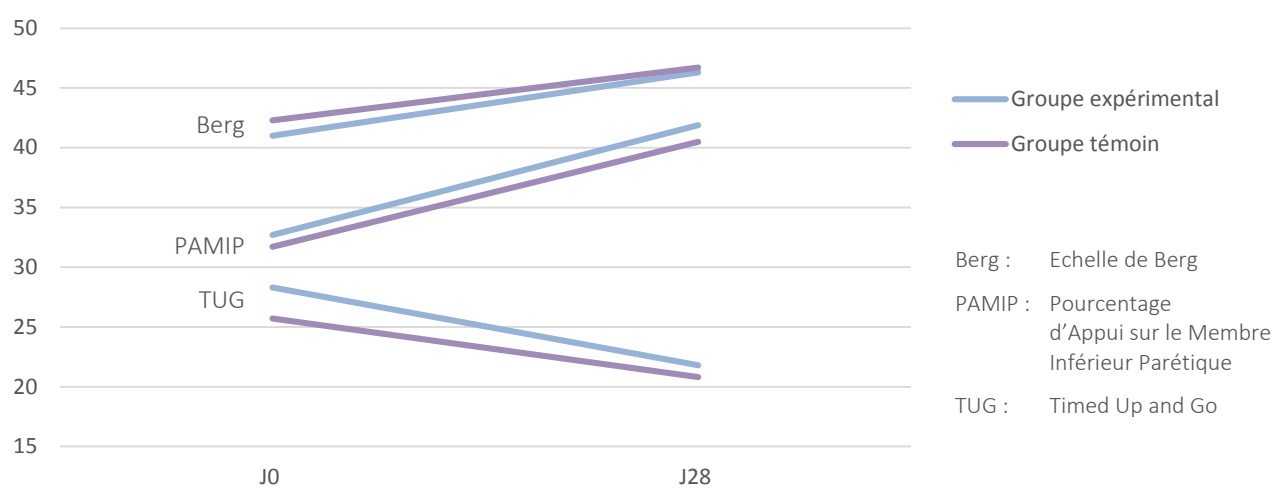


Figure 22 : Progression des moyennes dans chaque groupe et pour chaque critère de jugement

4 Discussion

Dans un premier temps, nous interpréterons les résultats obtenus, en les confrontant, d'une part, avec la littérature, et d'autre part avec nos observations. Cette étape s'intéressera notamment à l'impact de nos interprétations sur la pratique kinésithérapique. Ensuite, nous analyserons notre démarche expérimentale. En effet, certaines limites ont été identifiées, et en particulier, le faible nombre de sujets recrutés qui ne permet pas de généraliser les résultats obtenus. Puis, nous identifierons certaines pistes pour de futures recherches, relevées lors de la construction et de la mise en place de l'étude. Enfin, nous traiterons de l'apport personnel de ce travail, et notamment de son intérêt dans le cadre d'un exercice futur de la profession de masseur-kinésithérapeute.

4.1 Interprétation des résultats en lien avec la littérature et les observations réalisées durant la mise en place de l'étude

Les résultats ne semblent pas confirmer l'hypothèse initiale de l'étude : nous n'observons pas de différence significative entre les progrès effectués dans le groupe expérimental et les progrès effectués dans le groupe témoin, quel que soit le critère de jugement retenu. Toutefois, les deux groupes semblent avoir significativement progressé sur l'échelle de Berg et sur le test Timed Up and Go (TUG). De plus, seuls les patients du groupe expérimental semblent avoir significativement augmenté leur pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique.

L'absence de différence significative entre les progressions des groupes expérimental et témoin ne rejoint pas les résultats obtenus par Kim & al. (2009), Cho & al. (2012) et McEwen & al. (2014), qui proposaient également un protocole expérimental associant rééducation conventionnelle et réalité virtuelle. Cependant, dans ces études, les exercices de réalité virtuelle étaient réalisés en plus des exercices de rééducation conventionnelle dans le groupe expérimental. Le temps de travail total du groupe expérimental était donc supérieur au temps de travail du groupe témoin. Ceci pourrait expliquer la différence entre leurs résultats et ceux obtenus dans notre étude. Ainsi, la réalité virtuelle permettrait l'obtention de meilleurs résultats en étant utilisée en plus de la rééducation conventionnelle, et permettrait l'obtention de résultats équivalents en s'associant à la rééducation conventionnelle dans le cadre d'un programme de même durée. En effet, nos résultats font état d'une progression significative dans chaque groupe sur l'équilibre statique et dynamique (évalué par

l'échelle de Berg), ainsi que sur la mobilité fonctionnelle (évaluée par le TUG). En ce sens, notre étude tend à confirmer l'intérêt de l'entraînement au transfert d'appui dans le cadre de la rééducation de l'équilibre, suggéré par Mansfield et al. (2013). Elle semble également témoigner de l'efficacité d'un programme associant réalité virtuelle et rééducation conventionnelle, malgré sa non-supériorité sur un temps total de rééducation équivalent. En outre, il convient de noter que les critères de jugement utilisés ne permettent pas de connaître l'impact du traitement réalisé sur le risque de chute (Blum & Korner-Bitensky, 2008 ; Hafsteinsdottir et al., 2013).

Dans leur revue systématique, Barclay-Goddard et al. (2004) concluaient que l'utilisation d'un feedback postural engendrait une amélioration significativement supérieure de la symétrie d'appui, mais ne permettait pas d'amélioration significativement supérieure sur l'échelle de Berg. Nos résultats rejoignent en partie ces observations : bien que nous n'ayons relevé aucune différence significative entre les progrès des deux groupes, seule l'association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle semble avoir permis une amélioration significative de la symétrie d'appui. Toutefois, l'impact de la symétrie d'appui sur les performances fonctionnelles est encore discuté dans la littérature. Selon Kamphuis et al. (2013), l'asymétrie d'appui ne semble pas être une cause majeure d'instabilité posturale. Nos résultats confirment ce constat, les patients du groupe témoin ayant vu augmenter significativement leurs performances sur l'échelle de Berg et au test Timed Up and Go sans avoir augmenté significativement leur symétrie d'appui. Ces données doivent cependant être interprétées avec précaution, certains paramètres corrélés à l'asymétrie d'appui n'ayant pas été évalués dans cette étude, notamment les oscillations posturales et les paramètres spatio-temporels de la marche (Kamphuis et al., 2013 ; Mansfield et al., 2013). Notre étude semble donc être en faveur de l'efficacité de l'association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle dans le traitement de la symétrie d'appui, mais ne permet pas de conclure quant à l'impact de l'amélioration de la symétrie d'appui sur les performances fonctionnelles.

La méta-analyse de Lohse et al. (2014) s'était appliquée à évaluer les effets de la réalité virtuelle sur les différentes catégories de la Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé (CIF). Les auteurs attestaient de l'efficacité supérieure de la réalité virtuelle, en comparaison avec la rééducation conventionnelle, sur les fonctions physiologiques, sur l'activité, et sur la participation. Notre étude a envisagé une perspective différente. D'une part, notre hypothèse s'appuyait sur le postulat qu'une association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle

allait permettre aux patients de profiter des avantages des deux types de rééducation. Le protocole ne contenait donc, malgré un temps de travail total de 540 minutes, qu'approximativement 270 minutes d'exercices de réalité virtuelle. Or, les études recrutées par Lohse et al. (2014) proposaient en moyenne 700 minutes d'exercices de réalité virtuelle. Ainsi, la diminution du temps de pratique avec réalité virtuelle pourrait ne pas avoir permis aux patients de profiter pleinement de ses avantages, ce qui réfuterait notre postulat initial. D'autre part, les auteurs avaient mis en évidence un manque de précision quant au contenu des protocoles de rééducation conventionnelle auxquels était comparée la réalité virtuelle dans les études. Aussi, le but de notre étude était justement d'établir un protocole témoin précis, appuyé sur des éléments issus de la littérature récente, et divisé en temps de travail pour minimiser au maximum les différences entre les deux groupes. En ce sens, et au vu de nos résultats, nous pourrions là encore envisager que l'association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle permette d'obtenir d'aussi bons résultats que la rééducation conventionnelle seule, quand elle est étudiée en comparaison avec un programme précis.

Cette supposition pourrait, comme nous l'avons suggéré dans l'introduction, susciter un intérêt de santé publique, relatif au facteur financier limitant la faisabilité du principe d'intensité. Toutefois, si nos résultats suggèrent que la réalité virtuelle pourrait se substituer en partie à la rééducation conventionnelle pour permettre la pratique intensive d'une tâche, il est important de noter que les exercices ont tous été effectués, dans le cadre de notre étude, sous la supervision constante d'un MK. Aussi, si nous pensions initialement que la présence du thérapeute ne serait importante que lors des premières séances afin d'exposer clairement les consignes, l'attention complète du MK nous a finalement semblé fondamentale tout au long du protocole. En effet, ce dernier était souvent amené à corriger des compensations, à surveiller les signes de fatigabilité du patient, à vérifier la position de chaque segment corporel pour éviter qu'il ne se place en position délétère, et à attirer l'attention du patient sur certaines problématiques individuelles telles que le contrôle d'un recurvatum de genou. De plus, l'étude de MacDonald et al. (2013) concernant les facteurs influençant l'engagement des patients dans leur propre rééducation témoignait notamment de l'importance de l'attention et des encouragements du thérapeute. En revanche, Lloréns et al. (2014) ont mis en place un programme constitué d'exercices de réalité virtuelle en centre de rééducation afin de le comparer à sa mise en place à domicile. Ils ont constaté une efficacité équivalente sur l'échelle de Berg, malgré un coût de mise en place du programme en centre 1,8 fois supérieur à celui de sa réalisation à domicile. Cependant, des éléments pouvant justifier selon nous la nécessité de présence d'un MK tels que

l'apparition de douleurs ou d'une fatigue inhabituelle n'ont pas été recueillis. De plus, la méta-analyse de Lohse et al. (2014) soulignait l'absence de précision quant au rôle du thérapeute dans la plupart des études évaluant l'intérêt de la réalité virtuelle. L'état actuel des connaissances ne semble donc pas permettre d'envisager la faisabilité de notre protocole sans surveillance.

En revanche, nos observations tendent à confirmer l'aspect motivationnel que peut apporter la réalité virtuelle à la rééducation de l'équilibre après un AVC. En effet, comme l'avaient suggéré MacDonald et al. (2013), les patients recrutés dans notre étude semblaient particulièrement motivés par les exercices sur plateforme, et nous ont exprimé que la connaissance permanente de leur score les rendait acteurs de leur propre rééducation, en leur donnant envie de se surpasser à chaque séance. De plus, ces constats ont été réalisés dans la plupart des études dont nous avons eu connaissance. Seuls Laver et al. (2004) précisaient que certains patients préféraient une rééducation plus traditionnelle, et suggéraient que le choix d'utiliser la réalité virtuelle soit fait individuellement.

Bien qu'elle soit rarement évoquée, cette notion de spécificité de traitement pour chaque patient nous a également interpellés. En effet, la mise en place d'une étude suppose la construction d'un protocole standardisé, et sous-entend donc l'existence d'objectifs de rééducation communs à tous les patients inclus dans l'étude. Toutefois, lors de la mise en place de notre étude, l'absence de considération des problématiques propres à chacun nous est apparue. Nous avons constaté des difficultés diverses, qui semblaient liées aux troubles sous-jacents de chaque patient. La littérature actuelle fait effectivement état de l'aspect multifactoriel des troubles d'équilibre pouvant survenir après un AVC (Tyson et al., 2006 ; Geurts et al., 2005). Le contrôle postural pourrait être affecté par des troubles perceptifs, moteurs, de commandes ou cognitifs. Aussi, ces éléments semblent encore discutés : si Tyson et al. (2006) concluent que la force, le contrôle et la sensibilité du membre inférieur sont les facteurs principaux à l'origine de troubles d'équilibre, Geurts et al. (2005) semblent confirmer l'impact des troubles sensitifs, mais considérer également celui des troubles d'attention et de l'héminégligence, et rejeter celui des troubles de force et de commande. De fait, bien que leur nature soit encore discutée, l'existence de troubles sous-jacents étant à l'origine des troubles d'équilibre paraît établie, et l'intérêt de la mise en place d'un tel protocole standardisé dans le cadre du traitement d'une problématique multifactorielle peut sembler discutable. Cet aspect suggère la nécessité d'établir des objectifs individuels, en fonction de déficits précis, de restrictions d'activité et de participation, et d'objectifs personnels, à l'aide d'un diagnostic masso-kinésithérapique.

4.2 Limites méthodologiques, biais et difficultés rencontrées

La taille restreinte de l'échantillon ne permet pas d'obtenir de résultats généralisables. Le temps imparti pour la mise en place de l'étude, la durée importante du protocole, la difficulté à rassembler des personnes hémiplegiques pouvant constituer un échantillon homogène ainsi que le refus de certaines structures ont été à l'origine des difficultés de recrutement. Une étude multicentrique a été mise en place pour tenter de pallier à ces limites, mais nous n'avons pu recruter dans le temps imparti qu'un seul masseur-kinésithérapeute intéressé pour participer à l'étude. Aussi, les caractéristiques initiales des patients semblent dispersées, notamment en ce qui concerne leur délai post-lésionnel (fig. 15), ce qui rend également la généralisation des résultats difficile. De plus, les évaluateurs ayant eu connaissance du traitement dont avait bénéficié chaque patient, il ne s'agit pas d'une étude en aveugle. Enfin, l'absence d'un groupe témoin ne recevant aucun traitement, due en partie à des raisons éthiques, ne permet pas de conclure avec certitude quant à l'efficacité des deux types de protocoles, la progression observée pouvant être due à la récupération spontanée.

Il convient de noter que toutes les recommandations bibliographiques n'ont pas pu être respectées. En particulier, le temps de rééducation a dû être limité pour des raisons organisationnelles : Veerbeek et al. (2014) conseillent la pratique du principe d'intensité avec un programme de 17 heures de rééducation, et notre protocole n'a pu être que de 45 minutes par séance pendant 12 séances. De plus, du fait de certaines contraintes organisationnelles relatives aux lieux de prise en charge, nous n'avons pas pu utiliser l'écran de 36 pouces prévu initialement, qui aurait pu permettre une meilleure immersion, mais avons utilisé un écran de 15 pouces.

4.3 Pistes pour de futures recherches

La littérature actuelle fait encore état de plusieurs incertitudes quant à l'intérêt de la réalité virtuelle dans l'amélioration de l'équilibre après un AVC. Cette étude pilote avait deux buts principaux : construire un protocole associant réalité virtuelle et rééducation conventionnelle, et comparer ce protocole à un protocole témoin bien défini et justifié par des éléments de la littérature récente, pour répondre aux biais soulignés par Lohse et al. (2014). Elle devrait être poursuivie afin d'obtenir des résultats généralisables via des effectifs plus importants. Il pourrait également être pertinent de prévoir un protocole plus long respectant un minimum de 17 heures de rééducation (Veerbeeck et al., 2014). De plus, la réalité virtuelle semble permettre d'améliorer la symétrie

d'appui, qui est corrélée, d'après certains auteurs, aux paramètres spatio-temporels de la marche. Il serait donc intéressant de proposer une évaluation de ces paramètres dans le cadre d'une nouvelle mise en place de l'étude. Enfin, nous pourrions considérer l'existence d'un groupe ne bénéficiant que de rééducation avec réalité virtuelle, de manière à confirmer que les avantages de la réalité virtuelle peuvent perdurer en diminuant son temps de pratique par rapport à celui observé dans les études.

En outre, si beaucoup d'études semblent témoigner de l'intérêt de la réalité virtuelle dans le traitement de l'équilibre après un AVC, l'état actuel des connaissances ne semble pas permettre de conclure quant aux modalités permettant un tel intérêt, telles que le temps et la fréquence de travail requis, ou l'importance distincte du travail dans le plan frontal et du travail dans le plan sagittal. De plus, nous avons observé lors de la mise en place de notre étude l'importance de la présence du thérapeute durant les séances, alors son rôle n'est que rarement précisé dans la littérature. Il semble important que les futures recherches évaluant l'intérêt de la réalité virtuelle étudient ces différents facteurs. Cela permettrait notamment de mieux envisager la faisabilité d'une mise en place de ces dispositifs à domicile, en vue de répondre aux considérations de santé publique.

Les facteurs sous-jacents responsables de troubles d'équilibre après un AVC ont été peu étudiés, et semblent mal définis. Il serait intéressant que de futures études clarifient leur impact, et comparent, au sein de sous-populations, l'effet d'une prise en charge des troubles primaires, à l'effet d'exercices de transfert d'appui visant à travailler directement l'équilibre. La recherche pourrait ainsi mieux définir les éléments majeurs à prendre en compte dans un diagnostic masso-kinésithérapique, et préconiser pour chaque cas une prise en charge plus individuelle, ou à l'inverse des exercices fonctionnels quels que soient les déficits sous-jacents.

Enfin, les plateformes informatisées permettant un feedback postural ne représentent qu'un outil de réalité virtuelle. Aussi, de nouveaux outils plus complexes permettant au corps entier d'interagir avec un environnement virtuel ont été développés, mais nous n'avons pas connaissance de publications ayant fait état de leur intérêt dans l'amélioration de l'équilibre après un AVC. L'étude de ces outils pourrait également permettre d'évaluer l'intérêt d'un protocole associant les différents éléments importants de la rééducation de l'équilibre, en incorporant directement à la réalité virtuelle les éléments non-accessibles avec les plateformes informatisées, tels que l'utilisation associée des membres supérieurs et du tronc, et que le travail musculaire d'intensité croissante.

4.4 Apports personnels de ce travail

La mise en place de cette étude a été très enrichissante en termes d'intérêt professionnel. Dans un premier temps, nous avons effectué un travail de documentation sur l'équilibre en neurologie, sujet qui nous intéressait particulièrement. Après avoir cerné une problématique précise en lien avec des questions relevées dans la littérature, nous avons effectué une nouvelle recherche bibliographique pour construire les protocoles expérimental et témoin. L'ensemble de ces recherches a contribué à développer nos connaissances théoriques quant à la biomécanique et à la physiologie de l'équilibre, mais également quant aux objectifs, principes et moyens existant de rééducation de l'équilibre après un AVC.

Par la suite, la construction de notre étude s'est accompagnée de l'acquisition d'une rigueur méthodologique. En particulier, nous avons appris à sélectionner des critères de jugement pertinents en fonction de leurs qualités psychométriques, à discerner les publications les plus fiables pour nous aider à établir un plan de traitement, et à adapter nos plans de traitement aux contraintes organisationnelles de chaque acteur intervenant auprès d'un patient.

Enfin, la mise en place de l'étude nous a amenés à effectuer certaines observations. En particulier, nous avons constaté un paradoxe entre la construction de ce projet d'initiation à la recherche, supposant la création d'un protocole standardisé, et sa mise en place concrète en centre de rééducation, supposant la prise en compte des spécificités de chaque patient. En ce sens, la mise en œuvre de ce projet nous a confirmé qu'une réflexion supplémentaire s'imposait à chaque protocole préétabli. Ces constats, associés à notre formation initiale et clinique, nous ont permis de bien comprendre la notion de diagnostic masso-kinésithérapique, qui nécessite justement de confronter nos connaissances théoriques avec les différentes catégories de la Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé (CIF).

Ainsi, nous avons appris à bâtir un plan de traitement appuyé sur des connaissances issues de la littérature récente, et à remettre en question ce plan de traitement face aux spécificités individuelles, pour être capable, en dehors d'un contexte de recherche, de l'adapter à chaque individu.

5 Conclusion

Nos résultats ne permettent pas de mettre en évidence une efficacité supérieure d'un traitement associant réalité virtuelle et rééducation conventionnelle sur l'équilibre statique et dynamique de sujets post-AVC en phase chronique, en comparaison avec un traitement de même durée constitué uniquement de rééducation conventionnelle. Néanmoins, cette étude tend à confirmer l'intérêt du travail intensif du transfert d'appui dans le cadre de la rééducation du contrôle postural. Nous envisageons que les deux méthodes soient efficaces dans le cadre d'un tel entraînement pour améliorer l'équilibre statique et dynamique, ainsi que la mobilité fonctionnelle. Par ailleurs, seule l'association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle a permis d'améliorer significativement la symétrie d'appui. Cette amélioration n'était toutefois pas significativement différente de celle observée au sein du groupe témoin.

Bien que la faible taille de notre échantillon ne nous permette pas de généraliser nos résultats, nous avons pu constater que le rôle du MK restait primordial pour guider et motiver les patients. Nous avons également observé un engagement particulier des patients, qui ont exprimé une envie continue de se surpasser. L'utilisation de la réalité virtuelle à des fins thérapeutiques semble donc ouvrir la voie à de nouvelles perspectives, notamment en ce qui concerne les facteurs motivationnels de la rééducation chez les patients souffrant de séquelles d'AVC.

Cette étude avait pour but de construire un protocole de rééducation de l'équilibre en vue de répondre à des questions soulevées par la littérature actuelle. Elle devrait être reproduite avec un échantillon de taille plus conséquente de manière à évaluer correctement l'intérêt d'une association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle. Si la réalité virtuelle semble avoir fait preuve de son efficacité en tant que moyen de traitement de l'équilibre dans la phase chronique de l'AVC, les modalités à respecter pour permettre cette efficacité sont encore mal connues. De plus, les troubles sous-jacents à l'origine des troubles d'équilibre sont rarement pris en compte. Il serait intéressant que de futures études précisent les modalités d'utilisation de la réalité virtuelle, et évaluent son intérêt pour chaque sous-population victime de séquelles d'AVC.

6 Bibliographie

- Aruin, A. S., Rao, N., Sharma, A., & Chaudhuri, G. (2012). Compelled body weight shift approach in rehabilitation of individuals with chronic stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 19(6), 556–563. doi :10.1310/tsr1906-556
- Barclay-Goddard, R. E., Stevenson, T. J., Poluha, W., Moffatt, M., & Taback, S. P. (2004). Force platform feedback for standing balance training after stroke (review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2004(4), CD004129. doi :10.1002/14651858.CD004129.pub2
- Blum, L., & Korner-Bitensky, N. (2008). Usefulness of the Berg Balance Scale in stroke rehabilitation: a systematic review. *Physical Therapy*, 88(5), 559–566. doi :10.2522/ptj.20070205
- Bonan, I. V., Yelnik, A. P., Colle, F. M., Michaud, C., Normand, E., Panigot, B., Roth, P., Guichard, J.P., & Vicaut, E. (2004). Reliance on visual information after stroke. Part II: effectiveness of a balance rehabilitation program with visual cue deprivation after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(2), 274–278. doi :10.1016/j.apmr.2003.06.016
- Bouisset, S., & Do, M.-C. (2008). Posture, dynamic stability, and voluntary movement. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 345–362. doi :10.1016/j.neucli.2008.10.001
- Carey, J.R., Kimberley, R.J., Lewis, S.M., Auerbach, E.J., Dorsey, L., Rundquist, P., & Ugurbil, K. (2002). Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke. *Brain : A Journal of Neurology*, 125(4), 773-788. doi :10.1093/brain/awf091
- Carr, J. H., & Shepherd, R. B. (2011). Enhancing physical activity and brain reorganization after stroke. *Neurology Research International*, 2011, 1–7. doi :10.1155/2011/515938

- Cho, K. H., Lee, K. J., & Song, C. H. (2012). Virtual-reality balance training with a video-game system improves dynamic balance in chronic stroke patients. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 228(1), 69–74. doi :10.1620/tjem.228.69
- De Peretti, C., Grimaud, O., Tuppin, P., Chin, F., & Wolmant, F. (2012). Prévalence des accidents vasculaires cérébraux et de leurs séquelles et impact sur les activités de la vie quotidienne : Apports des enquêtes déclaratives Handicap-santé-ménages et Handicap-santé-institution, 2008-2009. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire de l'Institut de Veille Sanitaire*, 1, 1-6. En ligne <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/BEH-Bulletin-epidemiologique-hebdomadaire/Archives/2012/BEH-n-1-2012>
- Do, M.C., Honeine, J.L., & Schieppati, M. (2012). Du maintien postural à l'exécution du mouvement : L'initiation à la marche. In A. Hamaoui & M. Lacour (Eds.), Du contrôle postural à l'exécution du mouvement (pp. 255-262). Paris : De Boeck-Solal.
- Fery-Lemonnier, E. (2009). La prévention et la prise en charge des accidents vasculaires cérébraux en France : Rapport à Madame la ministre de la santé et des sports. En ligne http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/AVC_-_rapport_final_-_vf.pdf.
- Gagey, P.-M. & Weber, B. (2004). Posturologie : Régulation et dérèglements de la station debout (2è ed.). Paris : Masson.
- Gauthier, L.V., Taub, E., Perkins, C., Ortmann, M., Mark, V.W., & Uswatte, G. (2008). Remodeling the brain : plastic structural brain changes produced by different motor therapies after stroke. *Stroke*, 39(5), 1520-1525. doi :10.1161/STROKEAHA.107.502229
- Geurts, A.C.H., De Haart, M., Van Nes, I.J.W., & Duysens, J. (2005). A review of standing balance recovery from stroke. *Gait & Posture*, 22, 267-281. doi :0.1016/j.gaitpost.2004.10.002

- Hafsteinsdóttir, T. B., Rensink, M., & Schuurmans, M. (2014). Clinimetric properties of the timed up and go test for patients with stroke: a systematic review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 21(3), 197–210. doi :10.1310/tsr2103-197
- Haute Autorité de Santé. (2012). Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte, argumentaire scientifique. En ligne http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-11/11irp01_argu_avc_methodes_de_reeducation.pdf
- Kamphuis, J. F., de Kam, D., Geurts, A. C. H., & Weerdesteyn, V. (2013). Is weight-bearing asymmetry associated with postural instability after stroke? A systematic review. *Stroke Research and Treatment*, 2013, 1–13. doi :10.1155/2013/692137
- Kerlirzin, Y., Dietrich, G., & Vieilledent, S. (2009). Le contrôle moteur : organisation et contrôle du mouvement. Paris : Presses Universitaires de France.
- Kim, J.H., Jang, S.H., Kim, C.S., Jung, J.H., & You, J.H. (2009). Use of virtual reality to enhance balance and ambulation in chronic stroke : a double-blind, randomized controlled study. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 88(9), 693-701. doi :10.1097/PHM.0b013e3181b33350
- Kiper, P., Turolla, A., Piron, L. Agostini, M., Baba, A., Rossi, S., & Tonin, P. (2010). Virtual reality for stroke rehabilitation : assessment, training and the effect of virtual therapy. *Medical Rehabilitation*, 14(2), 15-23. En ligne : http://www.researchgate.net/profile/Pawet_Kiper/publication/235664308_Virtual_Reality_for_Stroke_Rehabilitation_Assessment_Training_and_the_Effect_of_Virtual_Therapy/links/00463521e626866dc8000000.pdf
- Kollen, B.J., Lennon, S., Lyons, B., Wheatley-Smith, L., Scheper, M., Buurke, J.H., Halfens, J., Geurts, A.C.H., & Kwakkel, G. (2009). The effectiveness of the Bobath concept in stroke rehabilitation : what is the evidence ?. *Stroke*, 40, e89-e97. doi :10.1161/STROKEAHA.108.533828

- Laver, K. E., George, S., Thomas, S., Deutsch, J. E., & Crotty, M. (2011). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2011(9), CD008349. doi :10.1002/14651858.CD008349.pub2
- Lloréns, R., Noé, E., Colomer, C., & Alcañiz, M. (2014). Effectiveness, usability, and cost-benefit of a virtual reality–based telerehabilitation program for balance recovery after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(3), 418–425.e2. doi :10.1016/j.apmr.2014.10.019
- Lohse, K.R., Hilderman, G.E., Cheung, K.L., Tatia, S., & Van der Loos, H.F.M. (2014). Virtual reality therapy for adults post-stroke : a systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *Plos One*, 9(3), e93318. doi :10.1371/journal.pone.0093318
- MacDonald G.A., Kayes N.M., & Bright F. (2013). Barriers and facilitators to engagement in rehabilitation for people with stroke : a review of the literature. *New Zealand Journal of Physiotherapy*, 41(3), 112-121. En ligne <http://physiotherapy.org.nz/assets/Professional-dev/Journal/2013-November/ML-Roberts-LR.pdf>
- Mansfield, A., Hendrickson, J., Patterson, K.K., Inness, E.L., & McIlroy, W.E. (2013). Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke. *Gait & Posture*, 39(1), 177-181. doi :10.1016/j.gaitpost.2013.06.022
- Mao, Y., Chen, P., Le, L., & Huang, D. (2014). Virtual reality training improves balance function. *Neural regeneration research*, 9(17), 1628-1634. doi :10.4103/1673-5374.141795
- Maxwell, J.P., Masters, R.S.W., Kerr, E., & Weedon, E. (2001) The implicit benefit of learning without errors. *The quaterly journal of experimental psychology*, 54A(4), 1049-1068. doi :10.1080/02724980143000073
- McEwen, D., Taillon-Hobson, A., Bilodeau, M., Sveistrup, H., & Finestone, H. (2014). Virtual reality exercise improves mobility after stroke: an inpatient randomized controlled trial. *Stroke*, 45(6), 1853–1855. doi :10.1161/STROKEAHA.114.005362
- Nichols, S. (1997). Balance retraining after stroke using force platform biofeedback. *Physical Therapy*, 77(5), 553-558.

- Schaechter, J.D. (2004). Motor rehabilitation and brain plasticity after hemiparetic stroke. *Progress in Neurobiology*, 73, 61-72. doi :10.1016/j.pneurobio.2004.04.001
- Sveistrup, H. (2004). Motor rehabilitation using virtual reality. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 1(1), 10. doi :10.1186/1743-0003-1-10
- Tyson, S.F., Hanley, M., Chillala, J., Selley, A., & Tallis, R.C. (2006). Balance disability after stroke. *Physical Therapy*, 86(1), 30-38.
- Veerbeek, J.M., Van Megen, E., Van Peppen, R., Van der Wees, P.J., Hendriks, E., Rietberg, M., & Kwakkel, G. (2014). What is the evidence for physical therapy poststroke ? A systematic review and meta-analysis. *Plos One*, 9(2), e87987. doi :10.1371/journal.pone.0087987
- Waller, S. M., & Prettyman, M. G. (2012). Arm training in standing also improves postural control in participants with chronic stroke. *Gait & Posture*, 36(3), 419–424. doi :10.1016/j.gaitpost.2012.03.025
- You, S. H., Jang, S. H., Kim, Y. H., Hallett, M., Ahn, S. H., Kwon, Y. H., Kim, J. H., & Lee, M. Y. (2005). Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: an experimenter-blind randomized study. *Stroke*, 36(6), 1166–1171. doi :10.1161/01.STR.0000162715.43417.91

7 Annexes

Annexe I	Formulaire de consentement éclairé
Annexe II	Randomisation
Annexe III	Fiche de renseignements donnée aux masseurs-kinésithérapeutes participant à l'étude multicentrique
Annexe IV	Fiche technique et certificat de conformité de la plateforme Biorescue®
Annexe V	Paramétrage du niveau de difficulté des exercices de réalité virtuelle
Annexe VI	Fiche de renseignements complémentaires
Annexe VII	Echelle de Berg
Annexe VIII	Modalités respectées lors du test Timed Up and Go
Annexe IX	Modalités respectées lors de la mesure du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique
Annexe X	Données complémentaires répertoriées pour chaque patient
Annexe XI	Statistiques réalisées sur l'échelle de Berg
Annexe XII	Statistiques réalisées sur le test Timed Up and Go
Annexe XIII	Statistiques réalisées sur la mesure du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique

Annexe I : Formulaire de consentement éclairé

Formulaire de consentement éclairé

Dans le cadre de la réalisation d'un mémoire de fin d'études, nous aimerions réaliser une étude concernant le travail de transfert d'appui. Ce protocole inclura, en plus de 2 séances consacrées à la mesure de vos paramètres d'équilibre, 12 séances de 45 minutes réparties sur 4 semaines.

Nom de l'étude : Intérêt d'une association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle en vue d'améliorer l'équilibre statique et dynamique de patients post-AVC.

Je soussigné(e),

Nom :

Prénom :

Date de naissance :

Déclare avoir pris connaissances des éléments décrits ci-dessous :

- L'objectif et les modalités de déroulement de l'étude peuvent m'être rappelés à tout moment,
- Je peux poser toutes les questions que je souhaite quant à l'étude et dois recevoir des réponses,
- Ma participation à l'étude est libre et volontaire, et je peux, si je le souhaite, arrêter cette participation à tout moment,
- Les données recueillies à mon propos peuvent être de type mesures cliniques ou photographies, mais elles resteront anonymes, et ne seront utilisées qu'à des fins scientifiques.

Aussi, j'ai lu ce formulaire et accepte de participer à l'étude clinique.

Fait à

Le

Signature du (de la) patient(e), précédée de la mention « lu et approuvé »

Annexe II : Randomisation

La randomisation a été prévue avant la mise en place de l'étude grâce à la fonction ALEA d'Excel qui génère un nombre aléatoire compris entre 0 et 1. Les patients potentiels ont été listés par ordre d'arrivée en prévoyant un nombre maximal de 16 patients. Un nombre aléatoire a été attribué à chaque patient. Si ce nombre était supérieur à 0,5, le patient était affecté au groupe expérimental, et si ce nombre était inférieur à 0,5, le patient était affecté au groupe témoin.

Ordre d'arrivée des patients dans l'étude	Nombre aléatoire attribué	Groupe expérimental	Groupe témoin
1	0,059220985	0	1
2	0,95273485	1	0
3	0,633378707	1	0
4	0,310886846	0	1
5	0,759440963	1	0
6	0,431992542	0	1
7	0,349450312	0	1
8	0,058638161	0	1
9	0,875367077	1	0
10	0,720051732	1	0
11	0,386610314	0	1
12	0,652675821	1	0
13	0,333515522	0	1
14	0,546663048	1	0
15	0,765927434	1	0
16	0,0553345	0	1

Ainsi, le premier patient ayant inclus notre étude a été affecté au groupe témoin, tout comme le quatrième et le sixième, alors que le deuxième patient, le troisième patient et le cinquième patient ont été affecté au groupe expérimental.

Annexe III : Fiche de renseignements donnée aux masseurs-kinésithérapeutes participant à l'étude multicentrique

Fiche de renseignements destinée aux masseurs kinésithérapeutes participant à l'étude

Dans le cadre de la réalisation d'un mémoire de fin d'études, nous aimerions mettre en place une étude multicentrique, randomisée et contrôlée. Nous vous remercions d'y participer. Ce document apporte des renseignements quant à la mise en place de l'étude.

Nom de l'étude : Intérêt d'une association entre réalité virtuelle et rééducation conventionnelle en vue d'améliorer l'équilibre statique et dynamique de patients post-AVC.

Recrutement : les critères d'inclusion et de non-inclusion ci-joints doivent être respectés. Si l'un de vos patients correspond à ces critères, les étapes à suivre sont les suivantes :

- Expliquer l'intérêt de l'étude et son déroulement au patient, lui demander s'il est intéressé pour y participer, et lui demander de signer le formulaire de consentement éclairé (annexe I),
- Remplir la fiche de renseignements complémentaires (annexe VI),
- Contacter le responsable de l'étude pour savoir à quel groupe le patient sera attribué,
- Prévoir 14 séances d'une 1 heure pour la mise en œuvre du protocole, dont 2 séances de bilan et 12 séances de rééducation, réparties sur 4 semaines.

Critères d'inclusion	Critère de non-inclusion
<ul style="list-style-type: none">- Majorité- Lésion hémisphérique isolée d'origine vasculaire survenue plus de 3 mois auparavant- Score compris entre 21 et 46 sur l'échelle de Berg- Capacité à marcher 10 mètres et à effectuer un demi-tour seul, avec ou sans aide technique- Capacité à tenir debout seul et sans aide technique pendant plus de 2 minutes	<ul style="list-style-type: none">- Troubles visuels ou auditifs non corrigés, ou troubles cognitifs associés, ne permettant pas l'interaction avec le matériel,- Utilisation d'un pacemaker, contraindiquée à l'utilisation du matériel,- Lésion nerveuse centrale ou périphérique antérieure, ou la présence d'un traumatisme antérieur des membres inférieurs

Réalisation des bilans : au début et à la fin de la mise en place du protocole pour chaque patient

- Echelle de Berg, ci-jointe (annexe VII),
- Test Timed Up and Go, en suivant les modalités ci-jointes (annexe VIII),
- Mesure du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique, en suivant les modalités ci-jointes (annexe IX), et grâce à la fonction « empreintes plantaires » du logiciel Sycomore.

Paramétrage des exercices sur plateforme : les exercices sur plateforme doivent être paramétrés toutes les trois séances, en suivant la procédure ci-jointe de mesure des limites de stabilité (annexe V).

Mise en place du protocole

- Si le patient est assigné au groupe expérimental, sa séance doit être constituée des 10 exercices (environ 4 minutes par exercice, les temps de pause étant adaptés à chaque patient)
- Si le patient est assigné au groupe témoin, sa séance ne doit être constituée que des 5 exercices de rééducation conventionnelle (environ 8 minutes par exercice)

A noter que le choix des exercices de réalité virtuelle ne doit se faire qu'à la première séance, ils sont ensuite préenregistrés dans le logiciel pour permettre de commencer la séance instantanément. Ensuite, ils augmenteront en difficulté grâce à la nouvelle mesure des limites de stabilité du patient, ou en modifiant le temps de stabilisation demandé ou la fréquence des obstacles.

Les exercices de rééducation conventionnelle peuvent augmenter en difficulté en diminuant le polygone de sustentation du patient, en augmentant la distance des cibles ou en proposant leur réalisation yeux fermés. La stratégie du pas est permise et encouragée en cas de déséquilibre.

Détail des exercices de réalité virtuelle

- **Exercice 1 : Déplacement et stabilisation du côté parétique, plan frontal**
Sycomore : Nouveaux exercices Biorescue → exercices avec graphisme simplifié → mouvement gauche (si AVC droit) ou mouvement droit (si AVC gauche)
- **Exercice 2 : Déplacement d'une tortue par transfert du poids dans le plan frontal**
Sycomore : Nouveaux exercices Biorescue → transfert d'appui → Tortue
- **Exercice 3 : Déplacement et stabilisation en avant ou en arrière, plan sagittal**
Sycomore : Nouveaux exercices Biorescue → graphisme simplifié → mouvement haut-bas
- **Exercice 4 : Déplacement d'un avion par transfert du poids dans le plan sagittal**
Sycomore : Nouveaux exercices Biorescue → transfert d'appui → Navette spatiale
- **Exercice 5 : Tableau à effacer par déplacement d'une éponge, par transfert du poids dans les plans frontal et sagittal**
Sycomore : Nouveaux exercices Biorescue → transfert d'appui → Ardoise

Détail des exercices de rééducation conventionnelle

- **Exercice 6 : Transfert d'objets dans le plan frontal**
Le patient se tient debout, dos à un plan situé à hauteur de ses genoux, et sur lequel sont disposés deux cercles (un de chaque côté). Il doit attraper des objets situés dans un cercle avec une main, les transférer dans l'autre main et les reposer dans l'autre cercle. Il réalise ensuite l'exercice dans l'autre sens.
- **Exercice 7 : Atteinte de cibles controlatérales avec rotations du tronc, plan frontal**
Le patient se tient debout devant un plan situé dos à lui, et sur lequel sont disposés des cibles, par exemple sous forme de plots. Il doit aller toucher des cibles situées de plus en plus loin, par séries de 10 où il revient à la position initiale entre chaque mouvement.
- **Exercice 8 : Transfert d'objets dans le plan frontal**
Le patient se tient debout devant un plan sur lequel se trouve un cercle. Il doit attraper des objets situés dans le cercle pour les passer au MK situé derrière lui sans se retourner, en amenant son bras en arrière. Il réalise ensuite l'exercice dans l'autre sens.
- **Exercice 9 : Séries de montées sur les pointes de pieds ou sur les talons, plan sagittal**
Le patient doit alternativement réaliser des séries de pointes de pied, et des séries de montées sur les talons. Le MK insiste notamment sur le dynamisme et sur le contrôle de la descente du talon ou de la pointe.
- **Exercice 10 : Séries de steps, plans frontal et sagittal**
Le patient se tient debout devant un marchepied, et doit effectuer des montées en avant et descentes en arrière. Il commence alternativement avec chaque pied. Le MK insiste sur le transfert du poids du corps sur une jambe avant chaque montée de jambe controlatérale, ainsi que sur le déroulement du pied (talon vers pointe en avant, pointe vers talon en arrière).

Annexe IV : Fiche technique et certificat de conformité de la plateforme Biorescue®



Plateforme baropodométrique (Win GP40)

Taille (longueur/largeur) 610 x 580 mm

Épaisseur 10 mm

Poids 6,6 Kg

Matériaux Composite

Surface active 400 x 400 mm

Capteurs Mousse conductrice (Electrodes PCB)

Taille du capteur 10 x 10 mm

Épaisseur du capteur 4 mm

Nombre de capteurs 1600 (40x40)

Température admissible de 0°C à +60°C

Pression mini/maxi par capteur de 0,4 à 100 N

Durée de vie des capteurs > 1 000 000 activations

Fréquence d'acquisition Jusqu'à 100 images/sec

Type d'interface PC/plate-forme USB

Alimentation Par le câble USB

Système d'exploitation Windows (XP, Vista, Seven)

DECLARATION DE CONFORMITE



(DIRECTIVE 93/42/CEE, ANNEXE VII)

Fabriquant : **RM INGENIERIE**

Avenue de la GINESTE - BP 3351
12033 RODEZ CEDEX 9 FRANCE

Produits : **BIORESCUE, BIOVAL, RM.LAB, RM.SPINE, RM.GAIT,
MOTION POD**

Je soussigné, Pierre FOUCAULT, Directeur Général de la société **RM INGENIERIE** responsable de la mise sur le marché communautaire des dispositifs médicaux cités ci-dessous, assure et déclare conformément au décret 95-296 et à l'annexe VII de la directive 93/42/CE que,

Cette déclaration de conformité couvre les dispositifs médicaux dénommés «**BIORESCUE**» version 4 à 5, «**BIOVAL**» version 1 à 4, «**MOTION POD**» version 1 à 3, «**RM.LAB**» version 1, «**RM.SPINE**» version 4, «**RM.GAIT**» version 1 et n'est valable qu'en relation avec le document de libération du lot correspondant aux produits fabriqués.

Ces dispositifs médicaux, appartenant à la classe I, sont développés conformément à la documentation technique tenue à jour selon l'annexe VII de la directive 93/42/CE, et répondent aux exigences essentielles de l'annexe I de la même directive qui leur sont applicables et selon le code de la santé publique.

Les formulaires d'enregistrement des dispositifs médicaux cités ci-dessus ont été déposés à l'ANSM le 09/09/2014.

Cette déclaration ainsi que la documentation technique des dispositifs médicaux sont tenues à la disposition des autorités nationales pendant une durée de 5 ans à partir de la date de développement de chaque produit.

Rodez, le 09/09/2014

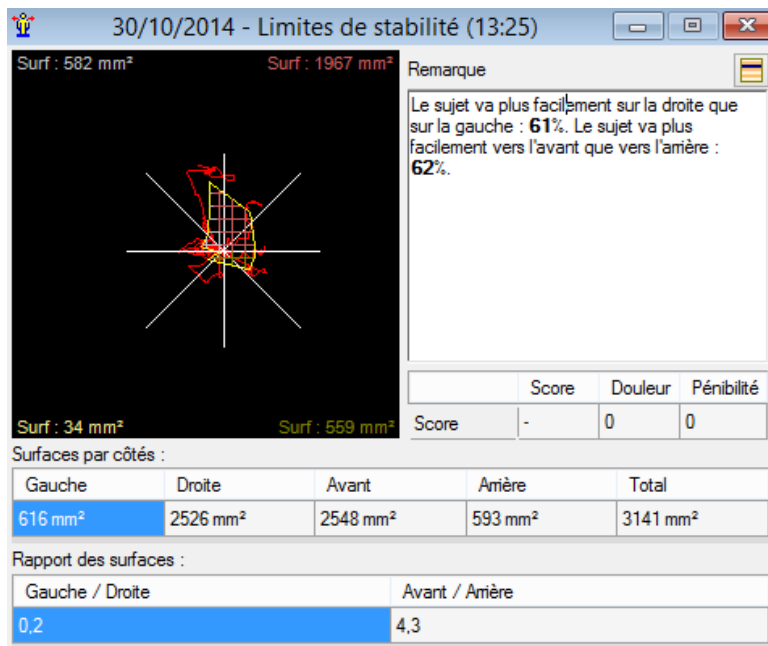
Annexe V : Paramétrage du niveau de difficulté des exercices de réalité virtuelle

Sycomore → Nouvelle analyse Biorescue → Limites de stabilité

La mesure des limites de stabilité du patient est effectuée toutes les 3 séances.

Le patient doit se pencher dans 8 directions, indiquées par une flèche à l'écran. Il devra se stabiliser dans la position la plus éloignée possible de sa position d'origine, dans un ordre aléatoire, vers l'avant, l'avant-droit, la droite, l'arrière-droit, l'arrière, l'arrière-gauche, la gauche, et l'avant-gauche.

Un graphique est obtenu :



Cette mesure doit alors être sélectionnée lors du lancement des exercices :

Exécuter les exercices avec les paramètres des limites de stabilité

bipodales 30/10/2014 (13:25) - Limites de stabilité

monopodales <Par défaut>

assis <Par défaut>

à genoux <Par défaut>

Orientation du patient vers l'avant

Le logiciel va alors définir le cadre de l'exercice en fonction de ces limites, de manière à ce qu'il puisse être couvert en quasi-totalité par le patient, avec une marge de progression.



Zone pouvant être parcourue par le patient

Annexe VI : Fiche de renseignements complémentaires

Fiche de renseignement du patient : données recueillies supplémentaires
--

Nom :

Prénom :

Date de naissance :

Sexe :

Type d'AVC :

Coté parétique :

Délai post-lésionnel :

Troubles sensitifs du membre inférieur (superficiels ou profonds) :

Troubles moteurs du membre inférieur (de force ou de commande) :

Troubles cognitifs associés :

Douleurs :

Autres (limitations articulaires notables, aide technique, appareillage, ...) :

Annexe VII : Echelle d'équilibre de Berg

1. PASSER DE LA POSITION ASSISE À DEBOUT
Instruction : *Veillez vous lever en essayant de ne pas vous aider avec les mains.*
 - (4) Peut se lever sans l'aide de ses mains et garder son équilibre
 - (3) Peut se lever seul avec l'aide des mains
 - (2) Peut se lever en s'aidant de ses mains, après plusieurs tentatives
 - (1) Besoin d'un peu d'aide pour se lever ou garder l'équilibre
 - (0) Besoin d'une aide modérée ou importante pour se lever
2. SE TENIR DEBOUT SANS APPUI
Instruction : *Essayez de rester debout deux minutes sans appui.*
 - (4) Peut rester debout sans danger pendant 2 min
 - (3) Peut tenir debout pendant 2 min sous surveillance
 - (2) Peut tenir debout pendant 30 sec sans appui sous surveillance
 - (1) Doit faire 3 essais pour tenir debout 30 sec sans prendre appui
 - (0) Incapable de rester debout 30 sec sans aide
3. SE TENIR ASSIS, SANS APPUI, PIEDS AU SOL OU SUR UN TABOURET
Instruction : *Asseyez-vous les bras croisés pendant deux minutes.*
 - (4) Peut rester assis(e) 2 min sans danger
 - (3) Peut rester assis(e) 2 min sous surveillance
 - (2) Peut rester assis(e) 30 sec sous surveillance
 - (1) Peut rester assis(e) 10 sec sous surveillance
 - (0) Incapable de rester assis(e) sans appui 10 sec
4. PASSER DE LA POSITION DEBOUT À ASSISE
Instruction : *Veillez vous asseoir.*
 - (4) Peut s'asseoir correctement en s'aidant légèrement des mains
 - (3) Contrôle la descente avec les mains
 - (2) Contrôle la descente avec le derrière des jambes sur la chaise
 - (1) S'assoit sans aide, sans contrôler la descente
 - (0) A besoin d'aide pour s'asseoir
5. TRANSFERTS (arranger les chaises pour un transfert pivot)
Instruction : *Asseyez-vous sur le siège avec accoudoirs et ensuite sans accoudoirs.*
 - (4) Exécute sans difficulté, en s'aidant un peu des mains
 - (3) Exécute sans difficulté, en s'aidant beaucoup des mains
 - (2) Exécute avec des instructions verbales et/ou surveillance
 - (1) A besoin d'être aidé par quelqu'un
 - (0) A besoin de l'aide ou de la surveillance de deux personnes
6. SE TENIR DEBOUT LES YEUX FERMÉS
Instruction : *Fermez les yeux et restez immobile 10 sec*
 - (4) Peut se tenir debout sans appui pendant 10 sec sans danger
 - (3) Peut se tenir debout pendant 10 sec sous surveillance
 - (2) Peut se tenir debout pendant 3 sec
 - (1) Incapable de fermer les yeux plus de 3 sec mais garde l'équilibre
 - (0) A besoin d'aide pour ne pas tomber
7. SE TENIR DEBOUT PIEDS JOINTS
Instruction : *Placez vos pieds ensemble.*
 - (4) Peut joindre les pieds sans aide et rester 1 min sans danger
 - (3) Peut joindre les pieds sans aide et rester 1 min sous surveillance
 - (2) Peut joindre les pieds sans aide et rester debout moins de 30 sec
 - (1) A besoin d'aide pour joindre les pieds mais peut tenir 15 sec
 - (0) A besoin d'aide et ne peut tenir plus de 15 sec
8. DÉPLACEMENT VERS L'AVANT, BRAS ÉTENDU(S)
Instruction : *Levez les bras à 90°, étendez les doigts et allez le plus loin possible vers l'avant.*
 - (4) Peut se pencher sans danger, 25 cm et plus
 - (3) Peut se pencher sans danger, 12 cm et plus, moins que 25 cm
 - (2) Peut se pencher sans danger, 5 cm et plus, moins que 12 cm
 - (1) Peut se pencher mais sous surveillance
 - (0) A besoin d'aide pour ne pas tomber
9. RAMASSER UN OBJET PAR TERRE
Instruction : *Ramasser votre chaussure qui est devant vos pieds.*
 - (4) Peut ramasser sa chaussure facilement et sans danger
 - (3) Peut ramasser sa chaussure mais sous surveillance
 - (2) Ne peut ramasser, s'arrête à 2-5 cm de la chaussure et garde l'équilibre
 - (1) Ne peut ramasser sa chaussure, a besoin de surveillance
 - (0) Ne peut exécuter l'exercice ou a besoin d'aide pour ne pas tomber
10. SE RETOURNER POUR REGARDER PAR-DESSUS L'ÉPAULE GAUCHE ET L'ÉPAULE DROITE
Instruction : *Retournez-vous et regardez directement derrière vous par-dessus votre épaule gauche. Faites le même mouvement à droite.*
 - (4) Se retourne des deux côtés; bon déplacement du poids
 - (3) Se retourne d'un côté seulement, mauvais déplacement du poids de l'autre côté
 - (2) Se tourne de profil seulement en gardant son équilibre
 - (1) A besoin de surveillance
 - (0) A besoin d'aide pour ne pas tomber
11. PIVOTER SUR PLACE (360°)
Instruction : *Faites un tour complet de 360° et arrêtez; puis faites un autre tour complet de l'autre côté.*
 - (4) Peut tourner 360° sans danger de chaque côté, en moins de 4 sec.
 - (3) Peut tourner 360° sans danger d'un seul côté, en moins de 4 sec.
 - (2) Peut tourner 360° sans danger mais lentement
 - (1) A besoin de surveillance ou de directives verbales
 - (0) A besoin d'aide pour ne pas tomber
12. DEBOUT ET SANS SUPPORT, PLACEMENT ALTERNATIF D'UN PIED SUR UNE MARCHE OU TABOURET
Instruction : *Placez en alternance un pied sur la marche ou tabouret. Continuez jusqu'à ce que chaque pied ait touché le tabouret au moins 4 fois.*
 - (4) Peut tenir sans appui, sans danger et toucher 8 fois en 20 sec
 - (3) Peut tenir debout sans appui et toucher 8 fois en plus de 20 sec
 - (2) Peut toucher 4 fois sans aide et sous surveillance
 - (1) Ne peut toucher plus de 2 fois a besoin d'aide
 - (0) Ne peut exécuter l'exercice ou a besoin d'aide pour ne pas tomber
13. SE TENIR DEBOUT SANS APPUI, UN PIED DEVANT L'AUTRE
Instruction : *(faire une démonstration devant le sujet) Placez un pied directement devant l'autre. Si impossible, faites un plus grand pas.*
 - (4) Peut placer un pied directement devant l'autre sans aide et tenir 30 sec
 - (3) Peut faire un grand pas sans aide et tenir la position 30 sec
 - (2) Peut faire un petit pas sans aide et tenir la position 30 sec
14. SE TENIR DEBOUT SUR UNE JAMBE
Instruction : *Tenez debout sur une jambe le plus longtemps possible, sans appui.*
 - (4) Peut lever une jambe sans aide et tenir plus de 10 sec
 - (3) Peut lever une jambe sans aide et tenir de 5 à 10 sec
 - (2) Peut lever une jambe sans aide et tenir 3 sec ou plus
 - (1) Essaie de lever une jambe mais ne peut tenir plus de 3 sec
 - (0) Ne peut exécuter l'exercice ou a besoin d'aide pour ne pas tomber

Annexe VIII : Modalités respectées lors du test Timed Up and Go

Dans le cadre de la réalisation du test Timed Up and Go, l'opérateur doit chronométrer le sujet lorsque celui-ci se lève, marche trois mètres, fait demi-tour, marche de nouveau trois mètres, et se rassoit.

Hafsteinsdottir & Al (2013) soulignent que certains éléments peuvent être à l'origine de biais s'ils ne sont pas reproduits entre deux évaluations, tels que le type et la hauteur de la chaise, le marqueur utilisé au sol, le port de chaussure, l'utilisation permise d'une éventuelle aide technique, l'instruction donnée, et la nature du demi-tour, qui peut se faire du côté parétique ou du côté sain.

Dans le but de minimiser les biais, le test Timed Up and Go a toujours été effectué selon les modalités suivantes dans le cadre de notre étude :

- Le siège n'avait pas d'accoudoirs et faisait une hauteur comprise entre 47 et 53 cm,
- Le marqueur utilisé à 3 mètres était un plot, autour duquel le sujet devait effectuer son demi-tour,
- Le sujet était chaussé et utilisait l'aide technique habituelle,
- Le demi-tour se faisait vers le côté parétique.

La consigne donnée était « vous allez vous lever, aller jusqu'au plot, tourner autour, revenir, et vous rasseoir. Le but est d'aller le plus vite possible, mais vous devez faire attention à ne pas perdre l'équilibre pour autant ». Le test était réalisé une première fois sans chronométrage pour vérifier la bonne compréhension des consignes, et était ensuite répété pour être chronométré.

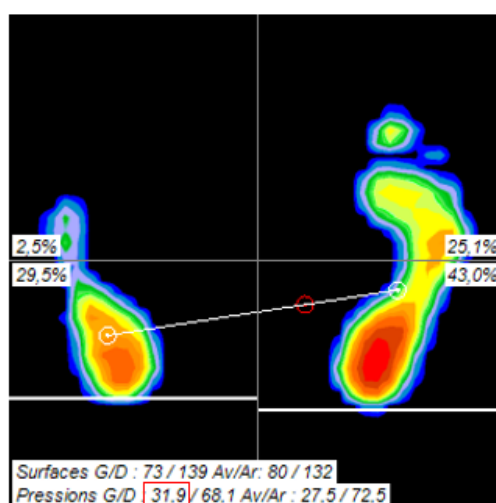
Le résultat obtenu a été arrondi au dixième près.

Annexe IX : Modalités respectées lors de la mesure du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique

Nous avons utilisé la plateforme Biorescue® pour évaluer l'asymétrie d'appui. Les mesures, pour être reproductibles, étaient effectuées selon les modalités suivantes :

- Les pieds du sujet étaient nus, leur bord médial était aligné au repère situé sur la plateforme formant un angle de 30°, et l'apophyse styloïde du 5^{ème} métatarsien devait se trouver au niveau du repère horizontal (figure),
- Le sujet pouvait utiliser son aide technique habituelle pour se positionner, mais devait ensuite la lâcher tout au long de la mesure, pour se tenir bras le long du corps,
- Le sujet ne voyait pas l'écran, et devait fixer un repère situé au fond de la pièce devant lui,
- La pièce était calme.

La plateforme utilisée permettait de connaître le pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique de manière instantanée (*Biorescue* → *empreintes podales*). Un cliché était obtenu :



Pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique

Pour chaque mesure, nous avons enregistré ce cliché à trois reprises, avec 30 secondes d'écart entre chaque enregistrement, et nous avons ensuite effectué une moyenne de ces trois valeurs pour obtenir une valeur moyenne X du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique.

Le résultat obtenu a été arrondi au dixième près.

Annexe X : Données complémentaires répertoriées pour chaque patient

1. Patient A : homme de 30 ans à 8 mois et 12 jours d'un AVC ischémique droit

Sensibilité superficielle du membre inférieur (touche/pic)	Hypoesthésie générale sur tout le membre inférieur gauche, principalement au niveau de la plante du pied
Sensibilité profonde du membre inférieur (tests de kinesthésie)	Déficit de kinesthésie : genou, cheville et orteils
Motricité volontaire du membre inférieur (MRC)	Hanche : Psoas 2, GF 3, MF 2, PF 2, PT 2, adducteurs 4 Genou : quadriceps 3, IJ 3 Pied : tous les intrinsèques et extrinsèques sont cotés à 0
Spasticité du membre inférieur (Ashworth modifié)	Droit fémoral (1+), soléaire (2, clonus épuisable 5 secondes)
Troubles cognitifs associés	Légère héminégligence (bilan neuropsychologique)
Douleurs	Aucune
Autres	Positionnement du pied gauche en équin en position debout Port d'une attelle de type releveur à la marche Marche avec une canne tripode (remplacée par une canne simple à 3 semaines du début du protocole)

2. Patient B : homme de 69 ans à 2 ans, 4 mois et 14 jours d'un AVC ischémique droit

Sensibilité superficielle du membre inférieur (touche/pic)	Aucun trouble
Sensibilité profonde du membre inférieur (tests de kinesthésie)	Déficit de kinesthésie : cheville et orteils
Motricité volontaire du membre inférieur (MRC)	Hanche et genou : motricité normale Pied : releveurs cotés à 3
Spasticité du membre inférieur (Ashworth modifié)	Aucune
Troubles cognitifs associés	Aucun
Douleurs	Aucune
Autres	Port d'une attelle de type releveur à la marche

3. Patient C : femme de 67 ans à 7 mois et 14 jours d'un AVC ischémique droit

Sensibilité superficielle du membre inférieur (touche/pic)	Hypoesthésie de la plante du pied
Sensibilité profonde du membre inférieur (tests de kinesthésie)	Déficit de kinesthésie global du MI gauche
Motricité volontaire du membre inférieur (MRC)	Normale
Spasticité du membre inférieur (Ashworth modifié)	Aucune
Troubles cognitifs associés	Aucun
Douleurs	Aucune
Autres	Utilisation d'un bâton de marche sur moyennes et longues distances

4. Patient D : homme de 57 ans à 3 mois d'un AVC ischémique droit

Sensibilité superficielle du membre inférieur (touche/pic)	Hypoesthésie globale de tout le membre inférieur gauche, peu prononcée à la cuisse mais importante sous le genou Sensation de fourmillement présente de façon aléatoire au MI
Sensibilité profonde du membre inférieur (tests de kinesthésie)	Déficit de kinesthésie : cheville et orteils
Motricité volontaire du membre inférieur (MRC)	Hanche et genou : motricité normale Pied : fibulaires côtés à 4
Spasticité du membre inférieur (Ashworth modifié)	Soléaire (clonus épuisable 6 secondes), gastrocnémiens (clonus épuisable 8 secondes)
Troubles cognitifs associés	Aucun
Douleurs	Aucune
Autres	Marche avec bâton de marche Marche talonnante Sensation de raideur musculaire quasi-constante Griffe des orteils réductible

5. Patient E : homme de 55 ans à 6 mois et 15 jours d'un AVC ischémique droit

Sensibilité superficielle du membre inférieur (touche/pic)	Normale
Sensibilité profonde du membre inférieur (tests de kinesthésie)	Déficit de kinesthésie : hallux et cheville
Motricité volontaire du membre inférieur (MRC)	Hanche et genou : motricité normale Pied : tous les intrinsèques et extrinsèques sont cotés à 4
Spasticité du membre inférieur (Ashworth modifié)	Soléaire (1+), gastrocnémiens (clonus épuisable 5 secondes)
Troubles cognitifs associés	Aucun
Douleurs	Douleurs lombaires de type mécanique cotées à 3/10 en fin de journée
Autres	Marche talonnante

6. Patient F : femme de 77 ans à 3 ans, 1 mois et 20 jours d'un AVC ischémique droit

Sensibilité superficielle du membre inférieur (touche/pic)	Normale
Sensibilité profonde du membre inférieur (tests de kinesthésie)	Normale
Motricité volontaire du membre inférieur (MRC)	Hanche et genou : motricité normale Pied : TA 3, fibulaires 4
Spasticité du membre inférieur (Ashworth modifié)	Aucune
Troubles cognitifs associés	Aucun
Douleurs	Aucune
Autres	Marche avec canne simple Légère griffe des orteils non réductible

Annexe XI : Statistiques réalisées sur l'échelle de Berg

1. Données recueillies

Groupe expérimental				Groupe témoin			
Patient	J0	J28	Progrès	Patient	J0	J28	Progrès
A	36	44	8	D	45	50	5
B	43	47	4	E	39	45	6
C	44	48	4	F	43	45	2
Moyenne ± écart-type	41 ±3,6	46,3 ±1,7	5,3 ±1,9	Moyenne ± écart-type	42,3 ±2,5	46,7 ±2,4	4,3 ±1,7

2. Test t de Student unilatéral sur échantillons appariés pour analyser la progression au sein du groupe expérimental

H0 : il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à J0 et les résultats obtenus à J28, les différences observées sont dues au hasard.

H1 : les résultats obtenus à J28 sont supérieurs aux résultats obtenus à J0.

Test d'égalité des espérances: observations paires

	Variable 1	Variable 2
Moyenne	41	46,3333333
Variance	19	4,33333333
Observations	3	3
Coefficient de corrélation de Pearson	0,99186978	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	-4	
P(T<=t) unilatéral	0,02859548	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,05719096	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

3. Test t de Student unilatéral sur échantillons appariés pour analyser la progression au sein du groupe témoin

H0 : il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à J0 et les résultats obtenus à J28, les différences observées sont dues au hasard.

H1 : les résultats obtenus à J28 sont supérieurs aux résultats obtenus à J0.

Test d'égalité des espérances: observations paires		
	Variable 1	Variable 2
Moyenne	42,3333333	46,6666667
Variance	9,33333333	8,33333333
Observations	3	3
Coefficient de corrélation de Pearson	0,75592895	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	-3,60555128	
P(T<=t) unilatéral	0,03452533	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,06905066	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

4. Test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants pour analyser la différence de progression entre les deux groupes

H0 : il n'y a pas de différence significative entre la progression du groupe expérimental et la progression du groupe témoin. Les différences observées sont dues au hasard.

H1 : La progression du groupe expérimental est significativement différente de celle du groupe témoin.

Test d'égalité des espérances: deux observations de variances différentes		
	Variable 1	Variable 2
Moyenne	5,33333333	4,33333333
Variance	5,33333333	4,33333333
Observations	3	3
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	4	
Statistique t	0,55708601	
P(T<=t) unilatéral	0,30358379	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,13184679	
P(T<=t) bilatéral	0,60716758	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,77644511	

Annexe XII : Statistiques réalisées sur le test Timed Up and Go

1. Données recueillies

Groupe expérimental				Groupe témoin			
Patient	J0	J28	Progrès	Patient	J0	J28	Progrès
A	44,7	34	10,7	D	19,3	13,8	5,5
B	22,3	17,3	5	E	31,5	26,2	5,3
C	17,9	14,1	3,8	F	26,2	22,4	3,8
Moyenne ± écart-type	28,3 ±11,7	21,8 ±8,7	6,5 ±3	Moyenne ± écart-type	25,7 ±5	20,8 ±5,2	4,9 ±0,6

2. Test t de Student unilatéral sur échantillons appariés pour analyser la progression au sein du groupe expérimental

H0 : il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à J0 et les résultats obtenus à J28, les différences observées sont dues au hasard.

H1 : les résultats obtenus à J28 sont supérieurs aux résultats obtenus à J0.

Test d'égalité des espérances: observations pairées

	Variable 1	Variable 2
Moyenne	28,3	21,8
Variance	206,56	114,19
Observations	3	3
Coefficient de corrélation de Pearson	0,99999428	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	3,05396641	
P(T<=t) unilatéral	0,04628582	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,09257164	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

3. Test t de Student unilatéral sur échantillons appariés pour analyser la progression au sein du groupe témoin

H0 : il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à J0 et les résultats obtenus à J28, les différences observées sont dues au hasard.

H1 : les résultats obtenus à J28 sont supérieurs aux résultats obtenus à J0.

Test d'égalité des espérances: observations pairées

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	25,6666667	20,8
Variance	37,4233333	40,36
Observations	3	3
Coefficient de corrélation de Pearson	0,98960634	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	9,07199858	
P(T<=t) unilatéral	0,00596672	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,01193344	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

4. Test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants pour analyser la différence de progression entre les deux groupes

H0 : il n'y a pas de différence significative entre la progression du groupe expérimental et la progression du groupe témoin. Les différences observées sont dues au hasard.

H1 : La progression du groupe expérimental est significativement différente de celle du groupe témoin.

Test d'égalité des espérances: deux observations de variances différentes

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	-6,5	-4,86666667
Variance	13,59	0,86333333
Observations	3	3
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	-0,74413451	
P(T<=t) unilatéral	0,26717295	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,5343459	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

Annexe XIII : Statistiques réalisées sur la mesure du pourcentage d'appui sur le membre inférieur parétique

1. Données recueillies

Groupe expérimental				Groupe témoin			
Patient	J0	J28	Progrès	Patient	J0	J28	Progrès
A	22	36,3	14,3	D	34,1	49	14,9
B	42,2	48,8	6,6	E	26,6	34	7,4
C	33,9	40,6	6,7	F	34,3	38,3	4
Moyenne ± écart-type	32,7 ±8,3	41,9 ±5,2	9,2 ±3,6	Moyenne ± écart-type	31,7 ±3,6	40,5 ±6,3	8,8 ±4,6

2. Test t de Student unilatéral sur échantillons appariés pour analyser la progression au sein du groupe expérimental

H0 : il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à J0 et les résultats obtenus à J28, les différences observées sont dues au hasard.

H1 : les résultats obtenus à J28 sont supérieurs aux résultats obtenus à J0.

Test d'égalité des espérances: observations paires

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	32,7	41,8888889
Variance	103,764444	40,3737037
Observations	3	3
Coefficient de corrélation de Pearson	0,96010994	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	-3,57212926	
P(T<=t) unilatéral	0,03510764	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,07021528	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

3. Test t de Student unilatéral sur échantillons appariés pour analyser la progression au sein du groupe témoin

H0 : il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus à J0 et les résultats obtenus à J28, les différences observées sont dues au hasard.

H1 : les résultats obtenus à J28 sont supérieurs aux résultats obtenus à J0.

Test d'égalité des espérances: observations pairées

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	31,6888889	40,4555556
Variance	19,4325926	59,7348148
Observations	3	3
Coefficient de corrélation de Pearson	0,70368149	
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	2	
Statistique t	-2,71765378	
P(T<=t) unilatéral	0,05646067	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,91998558	
P(T<=t) bilatéral	0,11292133	
Valeur critique de t (bilatéral)	4,30265273	

4. Test t de Student bilatéral sur échantillons indépendants pour analyser la différence de progression entre les deux groupes

H0 : il n'y a pas de différence significative entre la progression du groupe expérimental et la progression du groupe témoin. Les différences observées sont dues au hasard.

H1 : La progression du groupe expérimental est significativement différente de celle du groupe témoin.

Test d'égalité des espérances: deux observations de variances différentes

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Moyenne	9,18888889	8,76666667
Variance	19,8514815	31,2177778
Observations	3	3
Différence hypothétique des moyennes	0	
Degré de liberté	4	
Statistique t	0,10233447	
P(T<=t) unilatéral	0,46170807	
Valeur critique de t (unilatéral)	2,13184679	
P(T<=t) bilatéral	0,92341614	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,77644511	