Appel à projets SESEP 2023

Transfert Applicatif des résultats de la recherche dans la rééducation motrice de l'enfant

Rapport intermédiaire

Projet : jeux sérieux visant à améliorer le contrôle moteur d'enfants paralysés cérébraux - MyoHero Kid

Rappel du projet

La paralysie cérébrale, principal handicap moteur de l'enfant, touche chaque jour quatre nouveau-nés en France, soit environ 125 000 personnes au total par an. Elle résulte de lésions irréversibles du cerveau survenant pendant la grossesse ou autour de la naissance. Ces lésions entraînent des troubles moteurs variables, allant d'une simple difficulté à marcher à une paralysie complète. Comme les cellules cérébrales ne se régénèrent pas, le handicap est permanent. Malgré d'importants progrès scientifiques en prévention et en rééducation, la prise en charge reste un enjeu majeur. L'intensification des soins permet d'améliorer les troubles moteurs, mais leur mise en œuvre demeure souvent complexe. Du fait de la nécessité d'un matériel spécialisé, de protocoles intensifs difficilement transposables en pratique clinique courante, et d'un suivi parfois insuffisant après la phase de rééducation. Dans ce contexte, les jeux de rééducation apparaissent comme une solution prometteuse : ils favorisent la répétition des exercices, peuvent être réalisés en autonomie et stimulent la motivation éléments essentiels à l'intensification et à l'efficacité de la rééducation.

Le projet **Myohero Kid** vise à intensifier la rééducation des enfants en la rendant ludique

: Les enfants jouent tout en réalisant leurs exercices, sans accroître la pénibilité. Le jeu est contrôlé par la contraction musculaire, une méthode adaptée même aux enfants aux mouvements limités. Grâce aux capteurs sans fil et légers, les séances peuvent se dérouler hors des salles techniques favorisant une rééducation plus écologique, continue et adaptée au cadre de vie du patient stimulant la motivation. Le projet testera l'acceptabilité et la satisfaction des enfants à participer à MyoHeroKids selon les types de jeux proposés (solo, multijoueur, compétitifs ou coopératifs) afin d'optimiser l'engagement et l'efficacité de la rééducation.

Résumé grand public

Le projet **MyoHero** a beaucoup progressé ces derniers mois. Après de nombreux essais pour mieux capter les signaux des muscles et rendre le jeu plus réaliste pour le patient, MyoHero s'est associé à la startup **Myodev**, qui crée des jeux permettant de suivre (feedback) et de renforcer les muscles de façon ludique.

Ces derniers mois ont également été riches en collaborations avec les services de rééducation, les équipes de recherche et le tiers-lieu d'innovation **JINNOV**. Ces échanges ont abouti au dépôt officiel de l'application MyoHero à l'Agence pour la Protection des Programmes. Enfin, L'application sera prochainement intégrée à **Myocare**, la plateforme de rééducation commercialisée par Myodev.

Le projet s'articule désormais autour de **deux études complémentaires** :

- une **étude d'acceptabilité**, destinée à évaluer l'intérêt et l'expérience des enfants lors d'une séance de jeu avec MyoHero ou l'on compare différentes modalités de jeu pour déterminer les types de jeu les plus adaptés à être utilisé par la suite.
- une **étude interventionnelle**, visant à mesurer l'efficacité du dispositif sur la rééducation des troubles moteurs tout en évaluant la satisfaction et le niveau d'immersion des patients au fil des séances lors d'un protocole de rééducation de deux semaines.

A ce jour, l'étude d'acceptabilité est en cours de recrutement de patients (octobre 2025). Les deux tiers des patients sont déjà inclus et la fin des inclusions est prévue pour fin octobre.

L'étude interventionnelle nécessite des démarches éthico-administratives plus conséquentes et notamment un accord par le comité national de protection des personnes. Le dossier est en cours et sera soumis à ce comité à la fin de l'année.

L'étude de satisfaction évalue un premier jeu de rythme relativement simple. Le participant doit contracter au bon moment un muscle en suivant un élément visuel sur l'écran au rythme avec la musique. Le jeu est réalisé dans plusieurs conditions : seul ou

à plusieurs (en coopération ou en compétition). Les premiers résultats montrent que malgré l'absence de différence significative entre les conditions, les participants semblent trouver le jeu en coopération moins intéressant et préfèrent le jeu en compétition.

Dans cette étude nous avons aussi évalué un jeu plus complexe ou l'activité musculaire permet de déplacer un personnage pour attraper des objets virtuels (Figure 2). Ce jeu réalisé uniquement seul est comparé au premier jeu de rythme réalisé seul également. Le jeu le plus complexe est perçu comme moins plaisant et plus frustrant par les participants.

Il faut noter que les patients apprécient ces jeux interactifs et estiment qu'ils seraient intéressants à intégrer dans leur routine de soin. Néanmoins, certains freins ont été mis en évidence comme le manque de personnalisation et la difficulté opérationnelle a utilisé ce genre d'outil en routine de soin. Le partenariat avec l'entreprise Myodev permettra de faciliter l'implantation, le suivi et l'évolution des jeux de rééducation alimentés par l'activité musculaire.

Résumé scientifique

Contexte stratégie scientifique

L'étude initiale prévue en deux temps, une phase d'essai et une phase de suivi pour évaluer l'acceptabilité a été séparé en deux études. Plusieurs projets de recherche sont réalisés dans le service et notamment un projet interventionnel utilisant MyoHero pourra améliorer la sélectivité motrice. Afin de mutualiser des ressources dans l'écriture du protocole et la validation éthico-administrative deux études distinctes ont été mis en place ; 1) une étude d'acceptabilité sur une session de jeu pour comparer différents mécanismes de jeu. 2) une étude d'acceptabilité inscrite dans l'étude interventionnelle qui vise à améliorer la sélectivité de différents groupes musculaires

Au début du projet nous utilisions les capteurs d'électromyographie de surface Delsys Trigno pour interagir avec les jeux MyoHero. Ces capteurs sont utilisés en routine clinique pour leur fiabilité dans le cadre des analyses quantifiées de marche sur notre plateau technique spécialisés. La communication avec ces capteurs via une API les rendait facile à utiliser pour une preuve de concept mais difficile à déployer. Nous avons ensuite essayé de développer des capteurs open-source pour faciliter la dissémination de la solution. Le développement nécessaire et les couts pour valider et certifiée ce type de capteurs requiert des investissements financiers très importants, dépassant les ressources actuellement disponibles pour notre équipe de recherche. Lors du concours d'innovation Réadapt'athon 2023, j'ai eu l'occasion d'encadrer la jeune startup Myodev qui voulait développer ce type de technologie et nous avons étudié la possibilité de

collaborer. Le tiers lieu d'expérimentation JINNOV a récompensé l'entreprise Myodev ce qui valorise notre collaboration. L'application Myohero initialement développé au CHU de Rennes a été déposé à l'agence de protection des programmes et est en cours d'intégration par Myodev. L'application Myohero sera utilisée via Myodev dans l'étude interventionnelle. Le retard dans le projet s'explique par cette étape de collaboration qui a pris beaucoup de temps notamment pour les conventions administratives entre les structures.

Pour éviter de perdre trop de temps, l'étude de satisfaction a été réalisé avec les capteurs Delsys Trigno. Pour faciliter l'interopérabilité des systèmes, une application tierce a été développés pour transformer le signal de contraction musculaire (EMG) issus de ces capteurs en interface utilisateur pour simuler des touches de clavier à partir du signal EMG Figure 1.

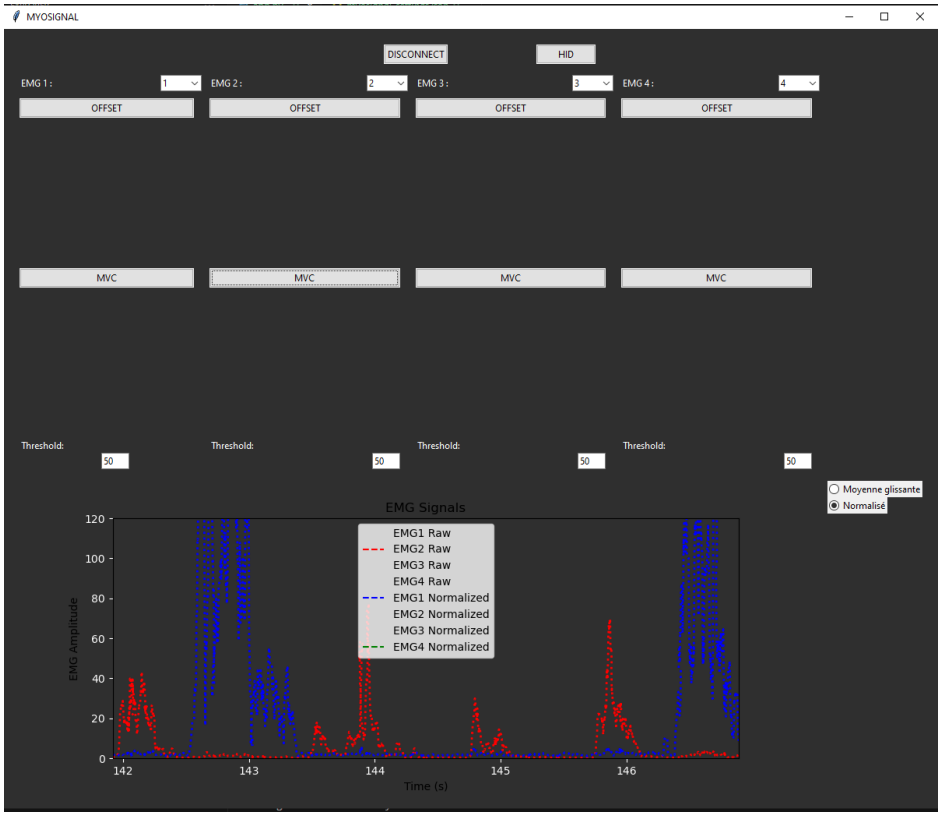

Figure 1. Application de simulation du périphérique d'interface utilisateur alimenté par l'électromyographie. Mise en application pour un joueur pour les muscles du tibial antérieur(rouge) et du gastrocnémien latéral (bleu).

La suite va présenter le protocole de l'étude de satisfaction, l'étude interventionnelle sera présentée dans le rapport final.

Etude 1 : satisfaction

Rationnel

La rééducation est un processus thérapeutique global et pluridisciplinaire visant à restaurer ou améliorer les capacités fonctionnelles des patients souffrant de diverses pathologies neurologiques, orthopédiques ou chroniques. Toutefois, ce processus peut

être perçu comme long et monotone, notamment chez les enfants, pour qui la motivation et l'adhésion au traitement sont souvent des enjeux majeurs. L'intégration de jeux de rééducation permet de rendre les séances plus attrayante et interactive, en stimulant l'engagement, en réduisant la perception d'effort et en facilitant la continuité du traitement. Les jeux multi-joueurs introduisent en outre une dimension sociale bénéfique, favorisant le plaisir et la coopération. Selon le type de jeu (coopératif ou compétitif), différents leviers psychologiques sont mobilisés : empathie, entraide ou motivation personnelle.

L'usage de l'électromyographie de surface (EMG) dans ces dispositifs permet de capter en temps réel l'activité musculaire du patient et d'adapter les exercices selon son niveau, renforçant ainsi la personnalisation et la précision du suivi thérapeutique.

Le jeu **MyoHero**, développé au CHU de Rennes, s'inscrit dans cette logique d'innovation. Basé sur le contrôle du jeu par contraction musculaire, il répond aux principes de la neuroréééducation (répétition, feedback, progression et interaction sociale). Conçu pour des sessions seul ou à plusieurs, il vise à intensifier la prise en charge et à accroître la motivation par le plaisir de jeu. L'étude menée cherche à évaluer la satisfaction des enfants lors d'une séance de MyoHero et à identifier leur modalité préférée. L'hypothèse principale est que les participants présenteront une forte satisfaction et une préférence pour le mode collaboratif, où l'expérience ludique et le sentiment d'immersion favorisent une implication optimale dans la rééducation.

Méthode

Cette étude prospective monocentrique vise à évaluer la satisfaction, la motivation et l'expérience de jeu d'enfants participant à une séance de rééducation ludique avec **MyoHero**. Elle concerne des patients mineurs pris en charge dans le service de Médecine Physique et de Réadaptation de l'Enfant (MPRE). Les critères d'inclusion exigent des enfants âgés de **7 ans et plus**, présentant des contractions musculaires palpables au niveau du **tibial antérieur** et du **triceps sural**, et dont les représentants légaux ne s'opposent pas à leur participation. Les enfants souffrant de douleurs lors des mouvements de la cheville ou dont les représentants refusent la participation sont exclus.

Le recrutement s'effectue parmi les patients déjà suivis dans le service. Chaque participant réalise une **séance unique de 30 minutes**, durant laquelle il teste plusieurs conditions de jeu afin de déterminer ses préférences. Le dispositif **MyoHero** utilise des capteurs d'électromyographie (EMG) placés sur la peau, permettant d'enregistrer les contractions musculaires du tibial antérieur et du gastrocnémien latéral. Avant le jeu, une **évaluation de la contraction maximale volontaire** est effectuée pour normaliser le signal EMG.

Deux types de jeux sont proposés Figure 2 :

- un **jeu de rythme**, où le patient alterne les contractions musculaires pour suivre un tempo musical ;
- un **jeu de plateforme**, où il contrôle un avatar qui saute ou change de direction selon le muscle activé.

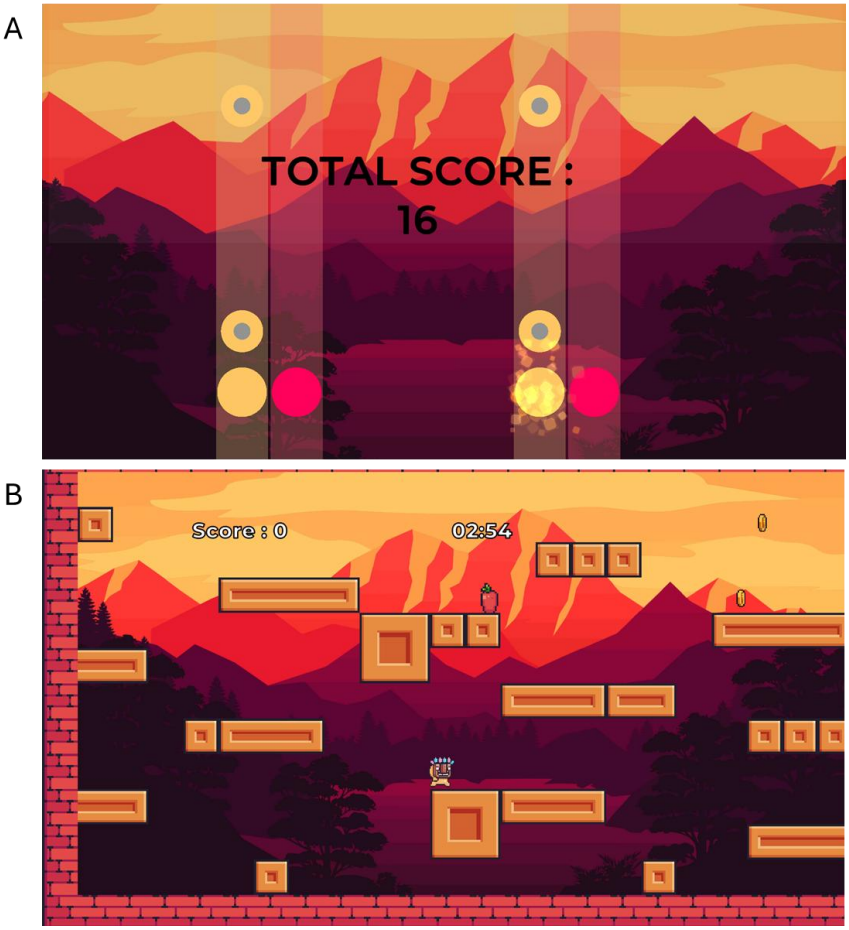

Figure 2. Jeux myohero. Jeu de rythme (coopératif) (A). Jeu de plateforme (B)

Les patients expérimentent quatre conditions : jeux seul (rythme et plateforme) et jeux en **binôme** (rythme coopératif ou compétitif). À la fin de chaque condition, ils évaluent leur **motivation intrinsèque (IMI)**. L'immersion dans le jeu ou état de **flow** est mesuré avec l'échelle Flow Observational Grid pendant le jeu par un opérateur **(FOG)**. En fin de séance, sont administrés : un questionnaire de satisfaction et d'utilisabilité (SUS), le questionnaire d'acceptabilité des technologies (mTAM). Avant la session de jeu, une mesure de la personnalité via le **BFI** (Big Five Inventory) explore l'influence de traits dispositionnels sur l'expérience de jeu. L'ordre des conditions varie selon les disponibilités des participants, assurant une flexibilité compatible avec le planning de rééducation Figure 3.

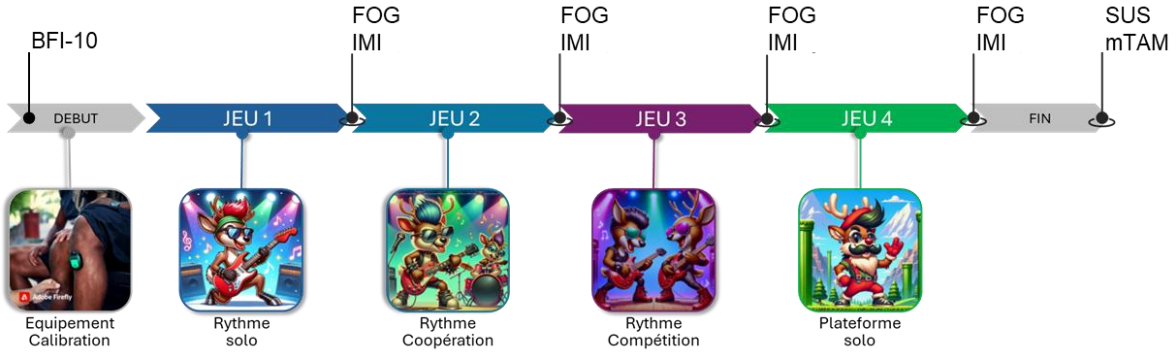

Figure 3. Protocole d'évaluation pour un participant.

Une analyse descriptive est réalisée des scores de personnalité, d'utilisabilité et d'acceptation des technologies.
La comparaison des modalités de jeu (rythme solo, rythme collaboratif, rythme compétitif) sera effectuée à l'aide d'une **ANOVA à mesures répétées**, après vérification des conditions de normalité (test de Shapiro-Wilk) et de sphéricité (test de Mauchly). En cas de violation des conditions, un **test de Friedman** sera utilisé.
Pour les comparaisons entre les deux types de jeu (rythme / plateforme), un **test de Wilcoxon pour données appariées** sera réalisé.
Les analyses porteront sur les scores FOG, IMI leurs sous-composantes. Une **correction de Bonferroni** sera appliquée en cas de comparaisons multiples.

Résultats

L'étude prévoit d'inclure **30 participants**. À ce jour, **22 enfants ont été recrutés** et **12** d'entre eux ont déjà été analysés. Ce rapport intermédiaire présentera leurs premiers résultats.

Les résultats du score globale et des sous-scores du BFI-10, SUS et mTAM sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Echelle de comportement, acceptabilité et acceptation des technologies. Moyenne et écart type

BFI-10 (/5)	3,9(0,6)	**mTAM (/7)**	4,5(1,3)
Ouverture d'esprit (/5)	4,3(0,7)	Attitude (/7)	4,9(1,6)
Conscienciosité (/5)	3,2(0,9)	Compatibilité (/7)	3,7(1,5)
Extraversion (/5)	4,0(0,8)	Facilitateurs (/7)	4,4(1,4)
Agréabilité (/5)	4,8(0,3)	Habitude (/7)	4,1(1,4)
Névrosisme (/5)	3,0(1,4)	Intention (/7)	3,6(2,0)
		Facilité d'utilisation perçue (/7)	5,5(1,2)
		Utilité perçue (/7)	4,6(1,5)
SUS (/100)	68,5(17,1)	Norme subjective (/7)	4,9(0,9)

Les sous scores du FOG et l'IMI sont présentés respectivement dans Figure 4 et Figure 5.

Pour le FOG, aucun score ou sous score de montre de différence significative entre les mécaniques de jeu (Rythme vs. Plateforme) ou les modes de jeu (Solo / Coopération / Compétition). On observe une tendance à l'augmentation de la concentration pour les jeux multi-joueurs (3±0 en solo et 3,2±0,4 en multijoueur), une augmentation du plaisir à jouer en mode compétitif (0,5±0,7 en compétition et 0,3±0,4 en solo) et une diminution de la frustration en coopération (0,5±0,8 en coopération et 0,7±0,8 en solo).

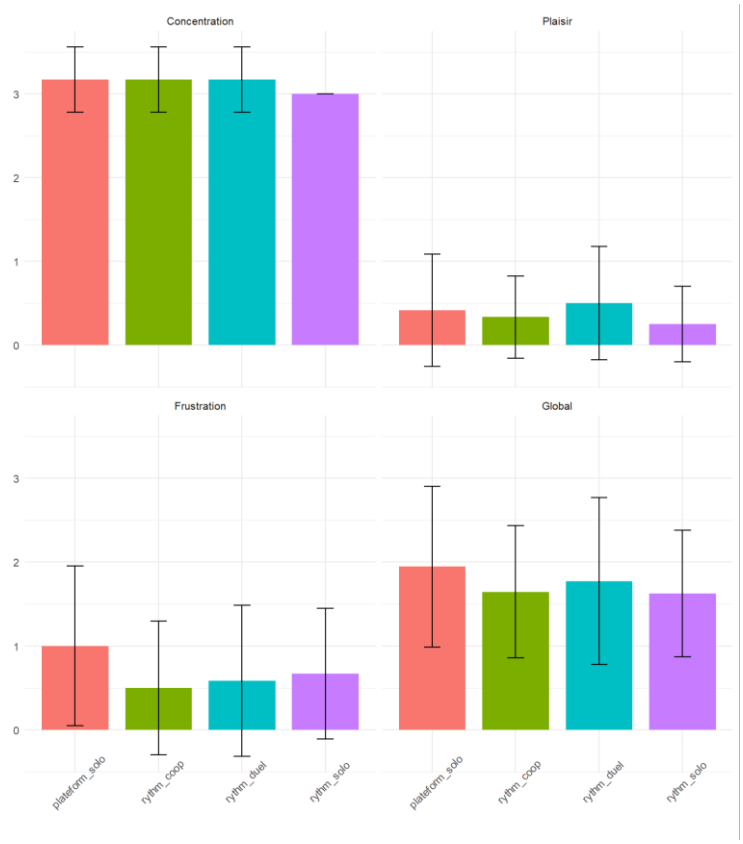

Figure 4: Flow observational grid. Moyenne et écart type, pour les 4 jeux évalués.

Pour la motivation intrinsèque, on observe des différences significatives seulement entre le jeu de rythme et le jeu de plateforme ($p<0.01$, diff : -0,7). L'intérêt est moins important pour le jeu de plateforme ($p<0.05$, diff : -0,8). Le sentiment de compétence est moins important pour le jeu de plateforme ($p<0.01$, diff : -2,1). La perception du choix est réduite ($p<0.05$, diff : -0,35). La pression est augmentée avec le jeu de plateforme ($p<0.05$, diff : 0,6). La comparaison des modes de jeu (Solo / Coopération / Compétition) montre une tendance entre les jeux multi-joueurs qui va dans le sens d'une diminution de la perception de choix ($p=0.13$, diff : -0,2) et une diminution de l'intérêt ($p=0,12$, diff : -0,23) pour le jeu coopératif.

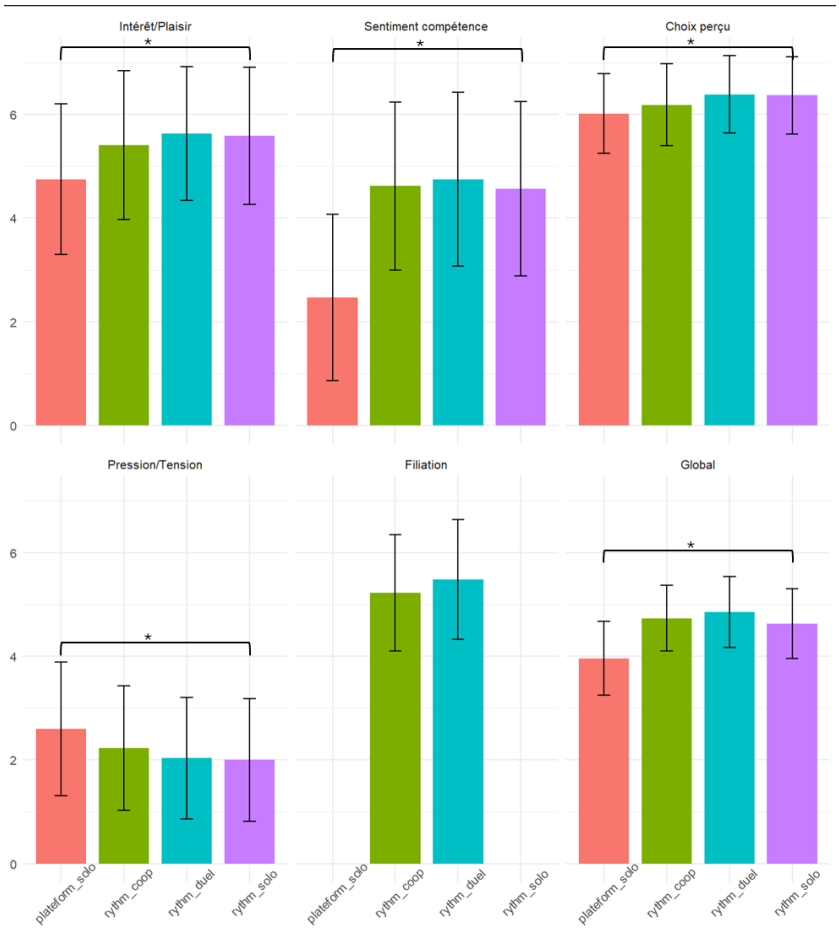

Figure 5. Intrinsic Motivation Inventory. Moyenne et écart type des 4 jeux évalués.

Discussion

Les comparaisons entre les différents jeux montrent des différences significatives pour la motivation intrinsèque (IMI) mais pas pour l'état de Flow (FOG). Le FOG est moins sensible pour ce genre de comparaison car il est composé uniquement de 3 items quottés par une opérateur externe. A l'inverse, l'IMI est composé de 22 questions remplis par le patient. On peut aussi raisonnablement penser que l'état de concentration de frustration ou de plaisir mesuré pendant le jeu par le FOG ne varie pas beaucoup entre les conditions. En revanche, la motivation intrinsèque auto-évalué à posteriori par l'IMI peut varier en particulier en fonction de la réussite au jeu. Le jeu de rythme est facilement accessible alors que le jeu de plateforme est plus punitif d'une mauvaise coordination musculaire. De plus, l'apprentissage du jeu est presque immédiat avec le jeu de rythme alors qu'il faut un temps d'apprentissage plus important pour le jeu de plateforme pour coordonner l'activité musculaire avec les bonnes actions de jeu. Une évaluation après plusieurs sessions de jeu améliorerait surement la perception du jeu de plateforme. On peut imaginer qu'une utilisation répétée du jeu de rythme entraine une forme de lassitude avec une courbe d'apprentissage trop rapide ou la performance stagne assez rapidement. A l'inverse, une courbe d'apprentissage plus lente permettrait d'améliorer et d'entretenir une meilleure motivation durant un

protocole de plusieurs jours/semaines. L'étude interventionnelle tentera de réponse à cette question.

L'analyse de l'acceptance donne néanmoins certains éléments de réponses. La solution est perçue comme facile à utiliser ce qui renforce le sentiment d'utilité pour la rééducation qui est élevé et l'attitude qui traduit l'acceptation et l'intention d'usage à court terme. Ces résultats vont dans le sens de l'échelle d'utilisabilité (SUS) qui montre que la solution est acceptable pour les participants.

En effet, la solution est perfectible. La faible compatibilité signale un décalage avec les routines de rééducation (installation EMG chronophage, contraintes de binôme, plannings déjà saturés). La cohérence clinique entre les objectifs thérapeutique et les mécaniques de jeu est partiel. Une intention d'usage faible, malgré une utilité et une facilité perçues élevées, traduit des barrières pratiques (temps, fatigue, besoin de supervision) qui freinent la projection d'un usage futur. Le bénéfice à long terme reste peu tangible après une seule séance, et les normes/contraintes organisationnelles (disponibilités des pairs, parents, soignants) limitent l'adoption régulière. Ensemble, ces freins suggèrent d'agir sur la friction opérationnelle, l'alignement clinique et la planification concrète pour convertir l'intérêt en intention.

Le partenariat industriel avec Myodev vise à lever les frictions en fournissant un capteur rapidement installable, simple d'usage et doté de préréglages par patient. Cette collaboration ancre l'outil dans la pratique clinique grâce à une bibliothèque d'exercices alignés sur la MPR, des protocoles paramétrables (durée, répétitions, seuils EMG) et une progression standardisée. Pour renforcer l'intention d'usage, des jeux à objectifs courts, un feedback clair et une personnalisation étendue favoriseront l'engagement en séance et, in fine, l'efficacité de la rééducation.

Etat d'avancement du projet

Tableau d'avancement

	Etude 1 satisfaction	Etude 2 interventionnelle
Protocole	✅ finalisé, validé	⏳ en cours de correction
Validation éthique	Comité d'éthique local : ✅	Comité de protection des personnes : 📅
Inclusion	22 / 30	
Analyse donnée	Préliminaire (12/22)	
Valorisation		
Communication	SOFAMEA 2026	

Risque et obstacles à la progression

Pour étude 1, les inclusions termineront au plus tard à la fin de l'année et au mieux mi-novembre. La mise en forme des données et leur analyse devrait être terminé pour la fin de l'année. L'écriture de l'article se fera sur le premier trimestre 2026. Un médecin du service fait actuellement une thèse de sciences sur ce projet et aura la charge de l'écrire l'article.

Pour l'étude 2, le protocole doit être envoyé au Comité de Protection des personnes avant la fin de l'année pour un début d'inclusion en mai/juin 2026. L'inclusion doit durer 12 mois mais on peut être exposé à des difficultés de recrutement des patients qui porteront la durée d'inclusion à 24 mois. L'analyse durera 6 mois car elle inclut l'analyse de signaux d'électroencéphalographie réalisé en collaboration avec l'INRIA par un post-doctorant pour lequel nous avons déjà un financement.

Il existe un risque avec le partenariat industriel comme avec n'importe quelle entreprise. La fin de leur activité limiterait la dissémination de la solution dans le service de SMR pédiatrique mais les premiers jeux sont développés et la propriété du CHU de Rennes et la solution a été développé dans une idée de versatilité. L'application python de communication avec les capteurs Delsys permet d'utiliser les jeux avec ces capteurs. Il serait assez simple de développer d'autres connexions avec des capteurs existants sur le marché. En revanche, on perdrait l'interface utilisateur qui gère les données patients, leur progression et les données de personnalisation des jeux. Ces risques restent limités car le CHU de Rennes est un des partenaires de l'entreprise Myodev et nous

répondons actuellement à d’autres appel à projet nationaux pour pérenniser cette collaboration.

La stratégie de recherche du projet Myohero a pris un virage depuis l’attribution du prix par le SESEP. Cette décision a été motivé pour assurer la pérennité du projet et améliorer son implantation clinique. Le porteur du projet et l’équipe du CHU de Rennes souhaite renouveler leurs remerciements envers les membres du SESEP pour leur soutien.