

NEO REEDUC

Réalité mixte interactive pour une rééducation de la motricité finalisée

Séminaire de la Commission ARPEGE
Réalité Virtuelle, Augmentée et Mixte
1^{er} avril 2025

Nicolas Benguigui

Université de Caen Normandie, UFR STAPS, Laboratoire GREYC UMR CNRS UNICAEN



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



Financé par la Région et les fonds FEDER dans le cadre du dispositif « Soutien à l'innovation en collaboration »

INTRODUCTION

- Un point de départ : la motricité finalisée

- Woodworth (1899) :

→ « quand vous attrapez un stylo avec votre main, vous pensez au stylo et non à votre main »

- Gibson (1979) :

→ Couplage perception-action

Kugler & Turvey
(1987)

PERCEPTION

Champ de force
Les paramètres du champ de force contraignent les sorties du système ostéomusculaire

ACTION

Champ de flux
Les changements qui se produisent dans le champ de flux dépendent des actions produites.

INTRODUCTION

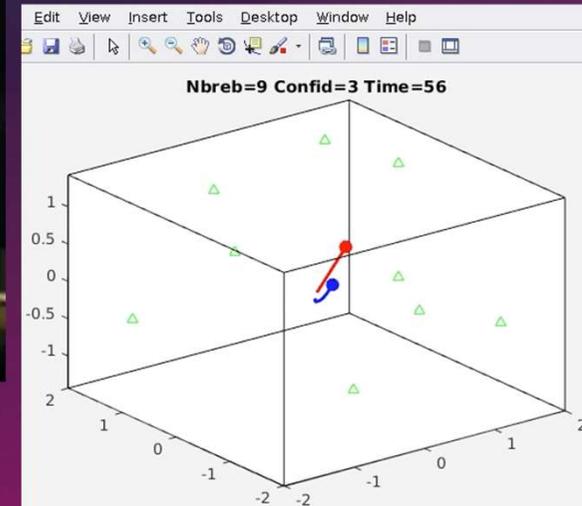
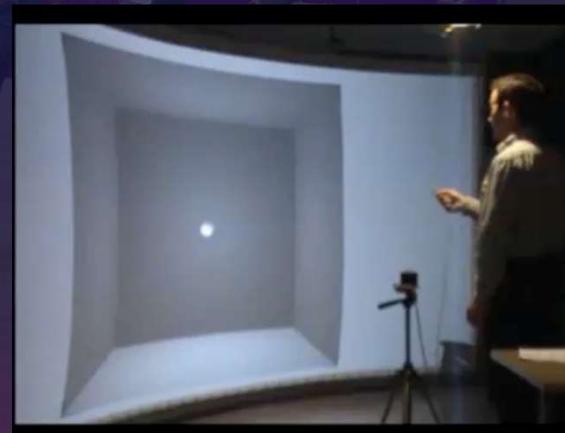
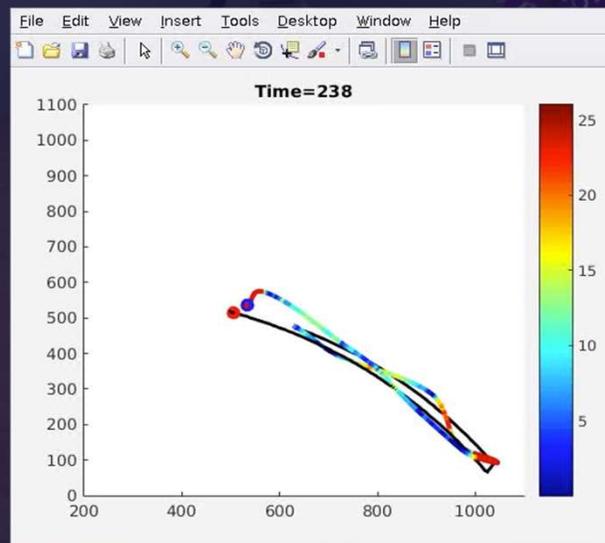
- La motricité finalisée est celle de notre quotidien et aussi celle des sportifs



INTRODUCTION

- La motricité finalisée est celle de notre quotidien et aussi celle des sportifs
- On peut aussi l'étudier à partir de tâches expérimentales

Tâches de poursuite visuo-manuelle 2D-3D



INTRODUCTION

- **Dans le domaine de la rééducation :**

- On rééduque souvent des mouvements pour aller vers des actions finalisées (longue durée et transfert incertain)

- **Intérêt de finaliser davantage la rééducation :**

- Plus de motivation
- Dépassement plus rapide de certaines limitations liées au handicap, au traumatisme
 - en étant **plus centré sur le but** (le stylo) plutôt que sur le moyen (la main)

- **Intérêt des dispositifs immersifs et interactifs (réalité virtuelle, mixte, augmentée)**

- développement de tâches de rééducation finalisées qui impliquent davantage les patients
 - et qui sont aussi mieux contrôlées, plus progressives, plus ludiques

Les dispositifs et équipements de réalité virtuelle utilisés dans la rééducation motrice

Degré d'immersion



non-immersif



semi-immersif



immersif

Type d'interface



Marqueurs réfléchissants multi-caméras



Marqueurs actifs



Vidéo 2D et de profondeur

Nature du développement du dispositif



Jeux vidéo disponibles dans le commerce (Wii; Xbox; PlayStation)



Dispositifs développés spécifiquement pour la rééducation

PREMIÈRE ETAPE : RV-REEDUC

Utilisation de la réalité virtuelle pour la rééducation du membre supérieur chez les enfants atteints de paralysie cérébrale

Nicolas Benguigui, Héloïse Baillet, Simone Burin-Chu, Laure Lejeune, Régis Thouvarecq, Corentin Clément-Guillot et Pascale Leconte

Universités de Caen-Normandie, Rouen-Normandie, Nice Sophia Antipolis

Financement Région Normandie et Fonds FEDER
RIN Emergent 2021-2022

Structures partenaires :

- IEM François-Xavier Falala (Hérouville Saint Clair)
- CMPR La Clairière (Hérouville Saint Clair)
- EPA Helen Keller (Le Havre)

RV-REEDUC

Utilisation de tâches d'interactions perceptivo-motrices en Réalité Virtuelle (RV) pour la rééducation du membre supérieur chez les enfants et les adolescents

Projet financé par



L'équipe scientifique

Pr Nicolas BENGUIGUI (CesamS, EA 4260)
Dr Pascale LECONTE (COMETE, UMR 1075)
Dr Héloïse BAILLET (CesamS, EA 4260)
Mme Simone BURIN-CHU (CesamS, EA 4260)
Dr Laure LEJEUNE (CesamS, EA 4260)
Pr Régis THOUVARECQ (CETAPS, EA 3832)
Dr Corentin CLEMENT-GUILLOTIN (LAMHES, EA 6312)

Structures de rééducation partenaires

7
CMPR La Clairière
IEM François Xavier Falala

Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : les paramètres du mouvement

Un premier prototype par la Société OpenMind Innovation



Quels paramètres faire varier pour mobiliser progressivement le membre supérieur ? (Baillet et al., 2023, Frontiers in Virtual Reality)

Taille du cube d'interaction (1.1, 2.2, 3.3, 4.4 en m pour le côté du cube)

La vitesse de la cible (1.4, 1, 6, 1.8, 2.0 m/s)

Le gain (4.583, 6.111, 9.167, 18.333)

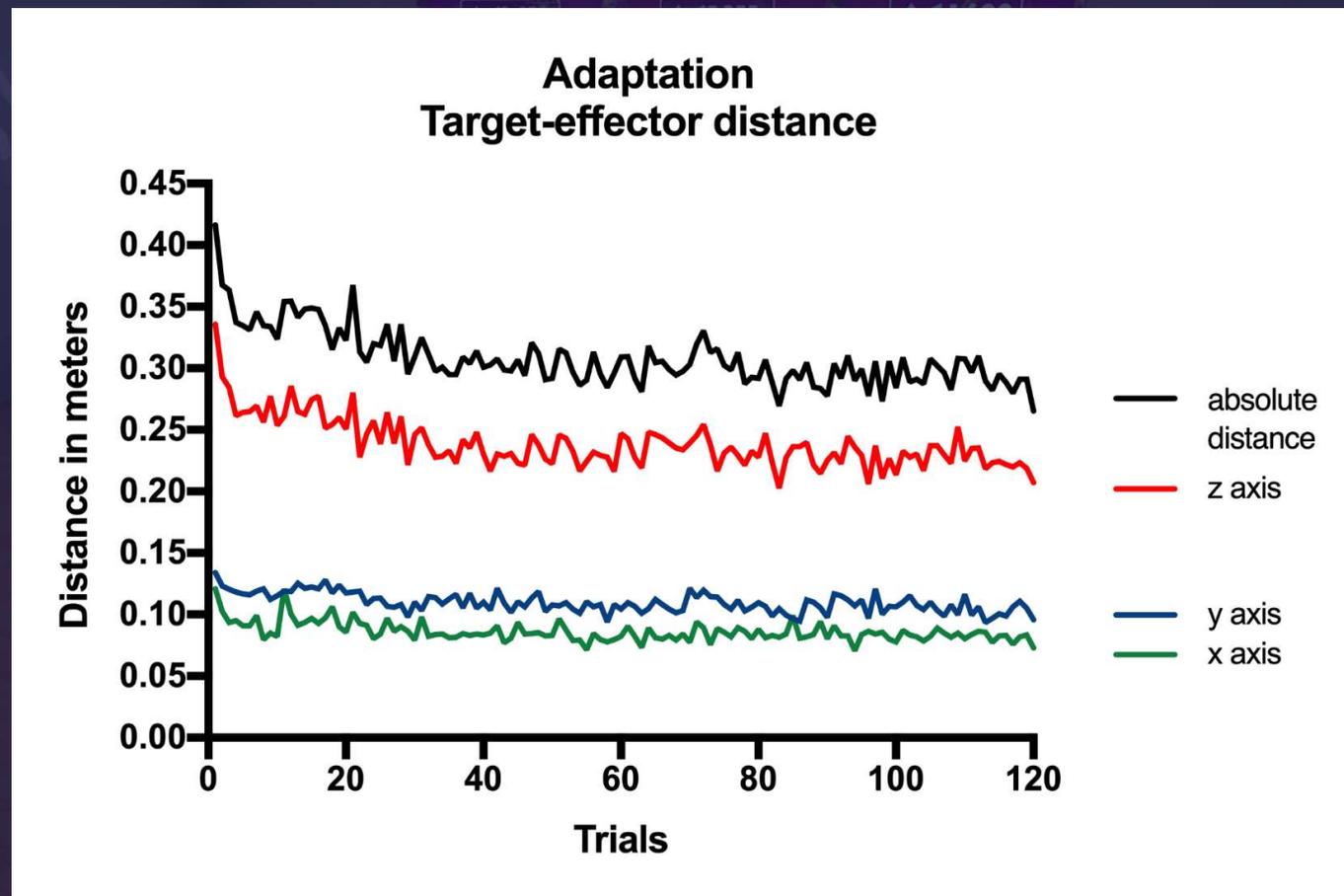
22 participants adultes réalisant 120 essais de 10 s (3 conditions x 4 paramètres x 10 essais)

Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : les paramètres du mouvement

Variables dépendantes

- 1. Distance_Effecteur-Cible : distance moyenne (m) entre la cible et l'effecteur**
2. Coude MAX : angle maximal en degrés mesurée au cours de l'essai
3. Coude_MIN angle minimal en degrés mesurée au cours de l'essai
4. Coude_DIFF : différence en degrés entre l'angle maximal et l'angle minimal
5. Coude_MOY : angle moyen en degré au cours de l'essai
6. Coude_SD : variabilité en degrés de l'angle du coude pendant l'essai
- 7. R2_x : R² entre la position x de la cible (en largeur) et l'angle du coude**
- 8. R2_y : R² entre la position y de la cible (en hauteur) et l'angle du coude**
- 9. R2_z : R² entre la position x de la cible (en profondeur) et l'angle du coude**

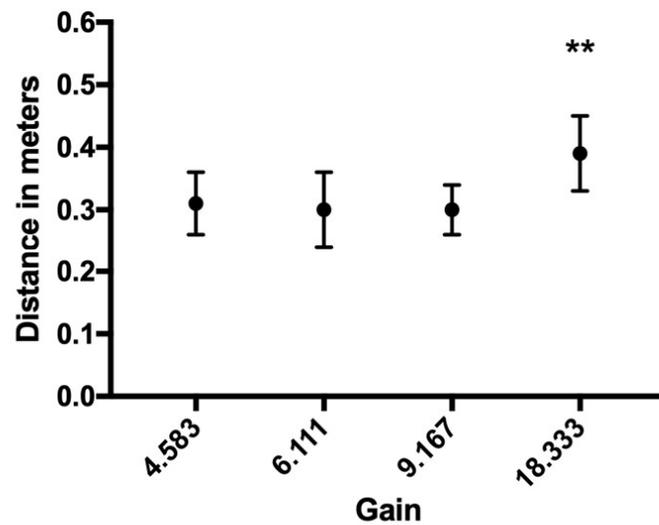
Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : les paramètres du mouvement



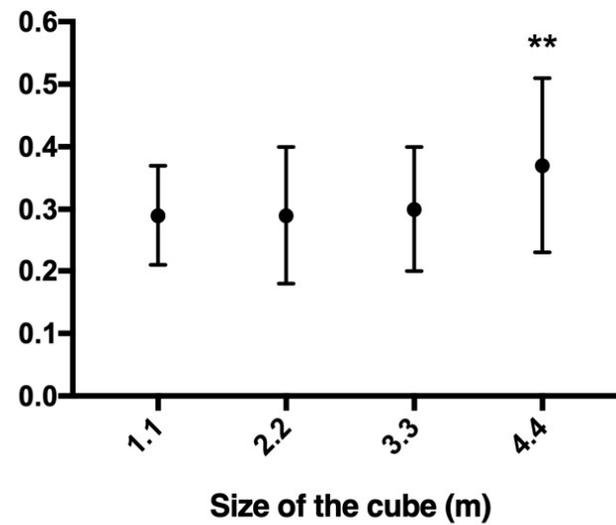
Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : les paramètres du mouvement



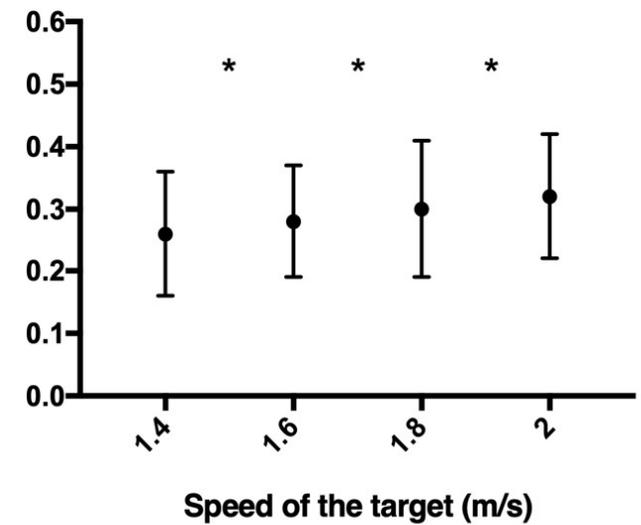
GAIN condition



SIZE condition

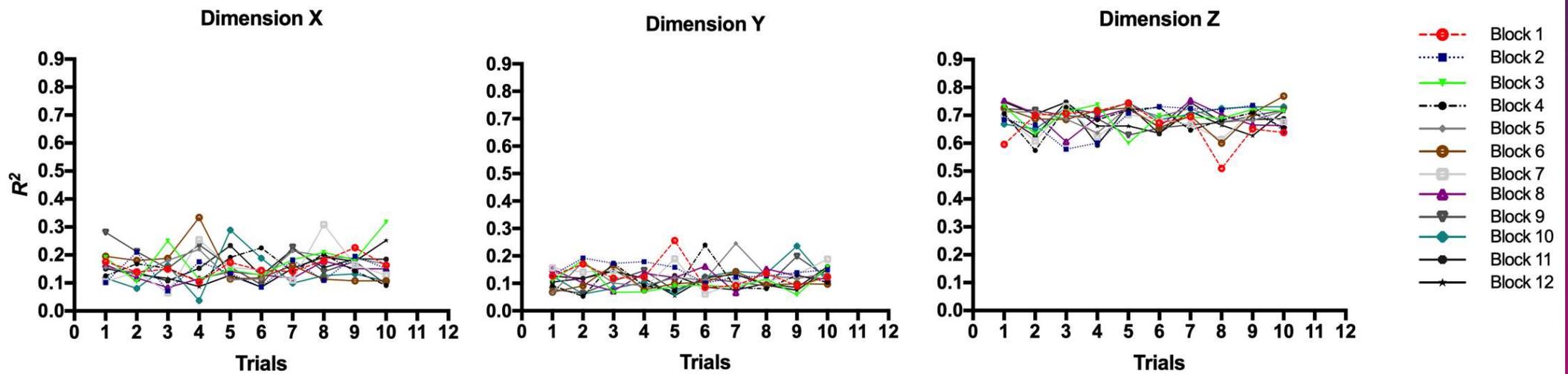


SPEED condition



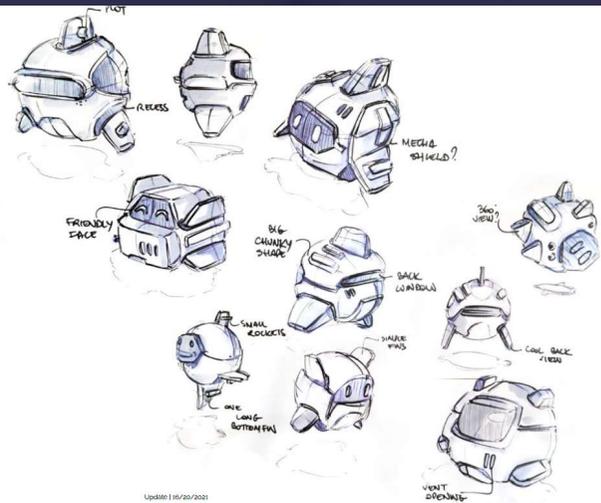
Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : les paramètres du mouvement

Regression elbow angle / target distance
Dimension * Block * Trial



Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : les paramètres du mouvement

EFFECTEUR

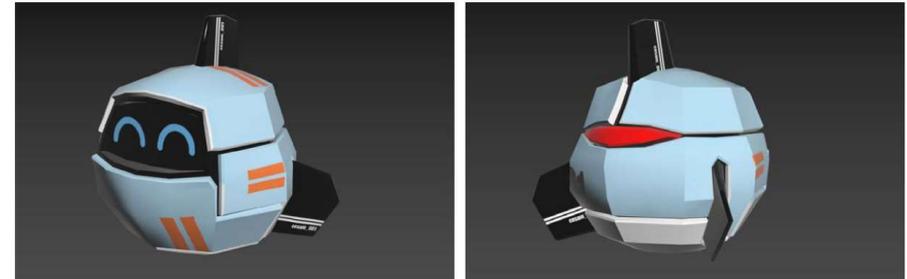


Direction

Attachant
Proche de la sphere
Epais, petit baroudeur

Update | 15/10/2023

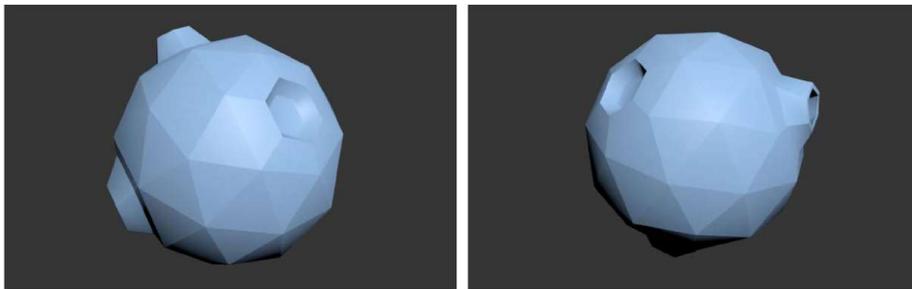
EFFECTEUR



Suite :

Continuer le travail sur les textures et shaders (= "peinture du vaisseau")
Effet comme lumière feu arrière, traînée lumineuse etc...
Travail avec Morgan pour que l'effecteur suive la trajectoire du patient

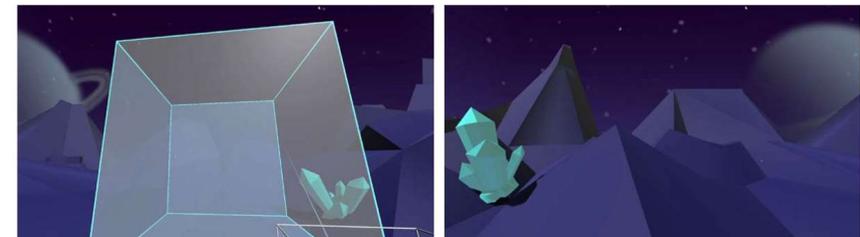
CIBLE



Suite :

Plusieurs cibles sur le meme principe
Randomisation des tailles et des orientations pour un effet plus naturel ?

ENVIRONNEMENT



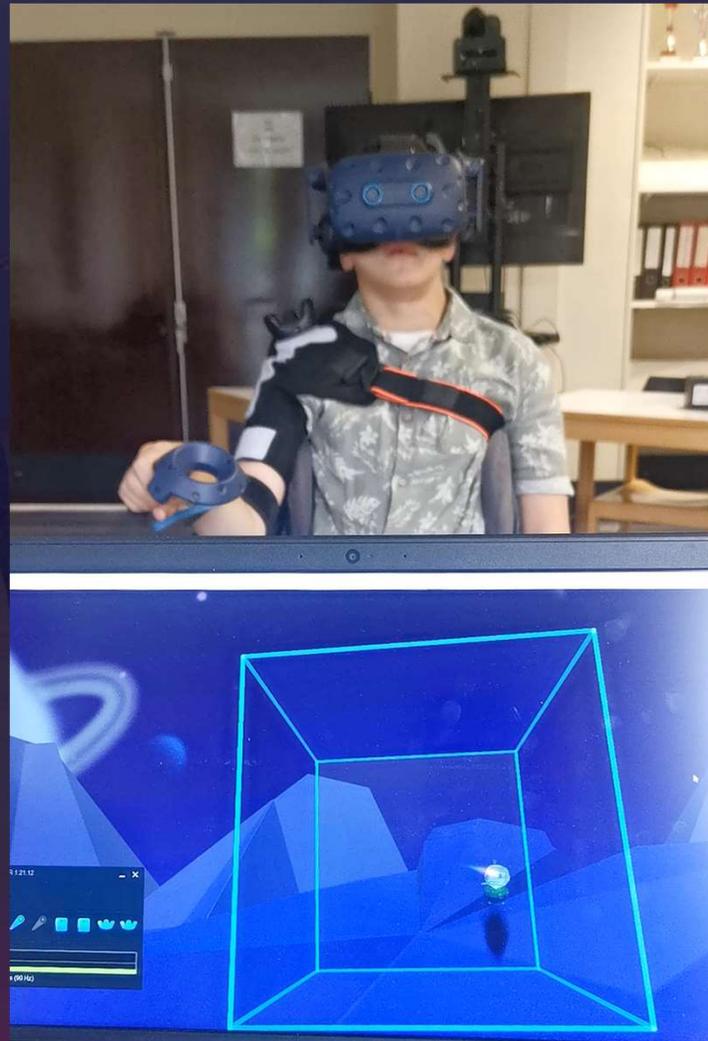
Face de l'utilisateur

Gauche de l'utilisateur

Suite :

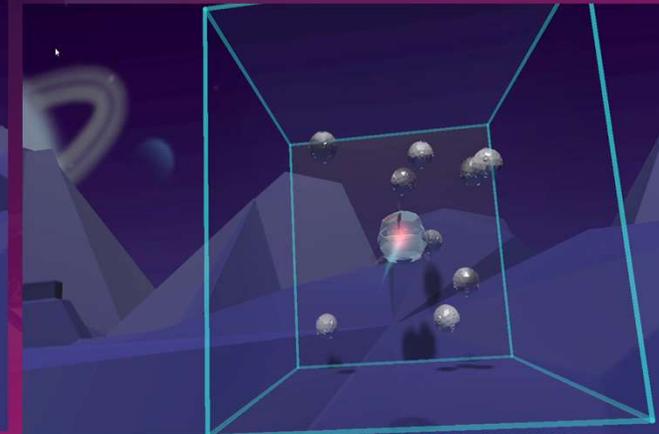
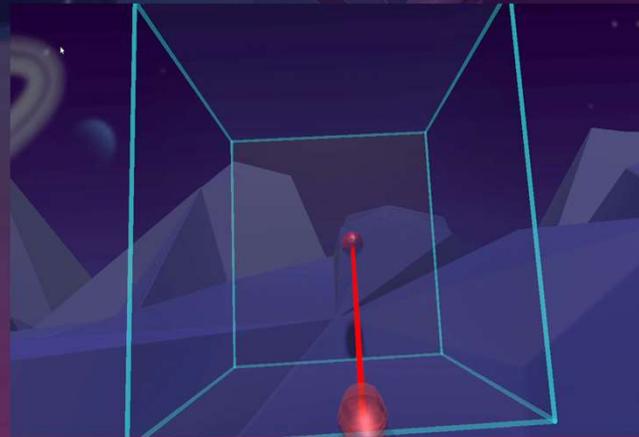
Travailler éclairage
Ajout détails (ciel et terrain)
Travail textures
Ombres projetées dans le bloc

Développement de la tâche de poursuite pour la rééducation : le prototype



PROTOCOLE DE REEDUCATION

- Développer et tester un protocole de rééducation du membre supérieur en réalité virtuelle chez des enfants atteints de **paralysie cérébrale** (Burin-Chu et al., 2023 Clinical Rehabilitation ; Baillet et al., 2024 Developmental Neurorehabilitation)
- Système immersif HTC Vive Pro
- Deux tâches d'interaction visuo-motrices finalisées :
 - poursuite
 - pointage



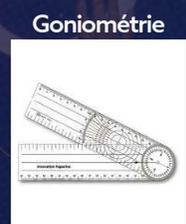
PROTOCOLE RV-REEDUC

Randomisation
(strate : type
de PC)

Groupe
RV
N = 12

Groupe
Contrôle
N = 12

Pré-tests : évaluations fonctionnelles et questionnaires (S1)



1 mois

Protocole de rééducation en RV
- 4 semaines
- 3 séances p/ semaine

Prise en charge habituelle

Post-tests 1 : évaluations fonctionnelles et questionnaires (S6)



3 mois

Prise en charge habituelle

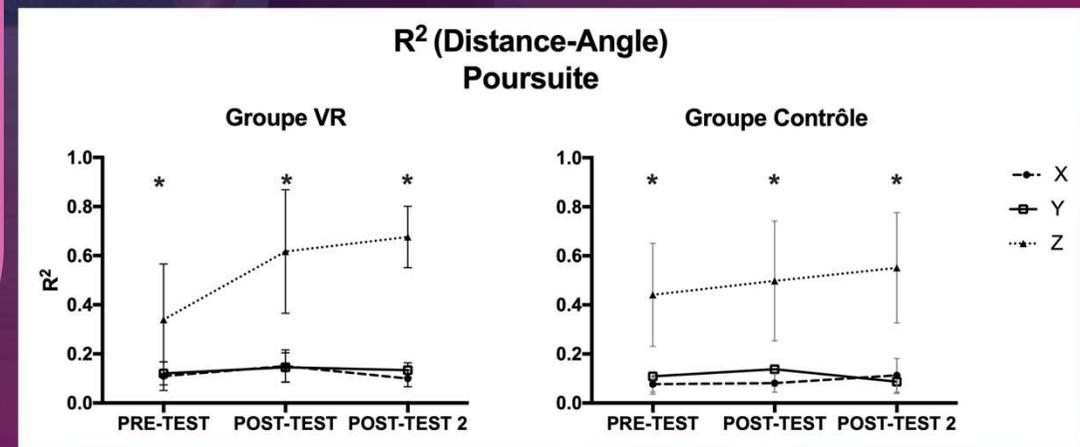
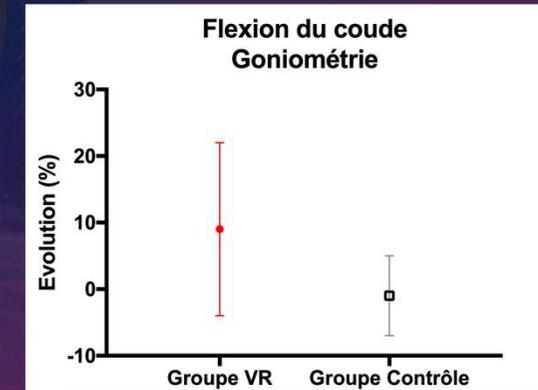
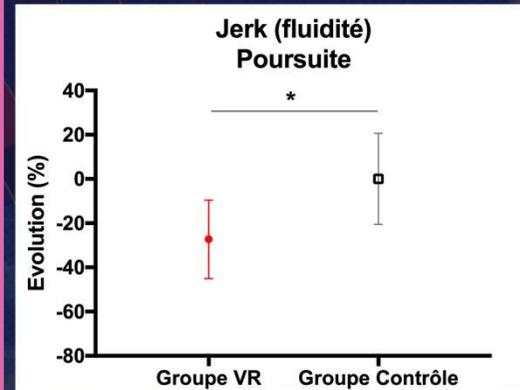
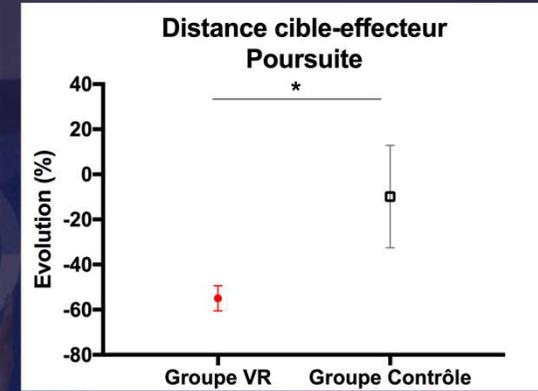
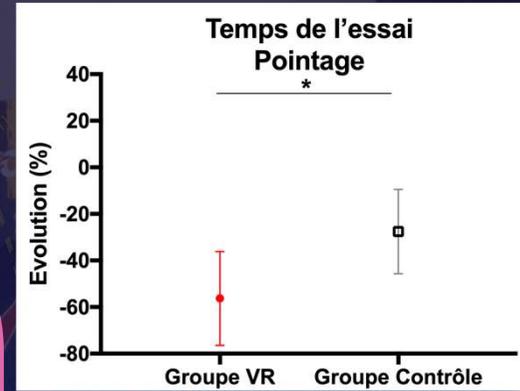
Post-tests 2 : évaluations fonctionnelles et questionnaires (S18)



RÉSULTATS

Amélioration du groupe en rééducation RV

- des **performances des patients** (temps de l'essai et distance cible-effecteur)
- de la **fluidité du mouvement du membre supérieur** (dans les 2 tâches)
- de l'implication du coude dans la dimension de profondeur
- de l'**amplitude articulaire du coude** (mesures goniométriques)
- du score moyen au test MABC pour le membre supérieur



RÉSULTATS

Motivation pour la rééducation

Motivation intrinsèque (IMI)

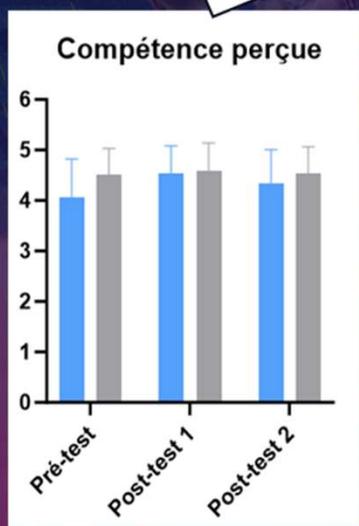
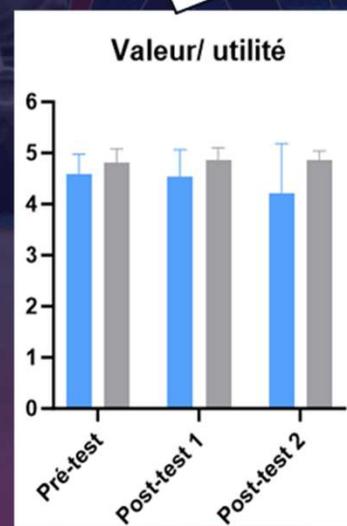
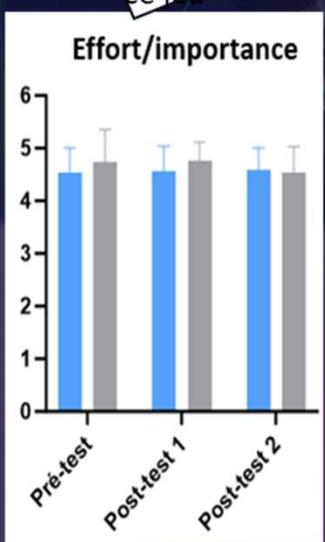
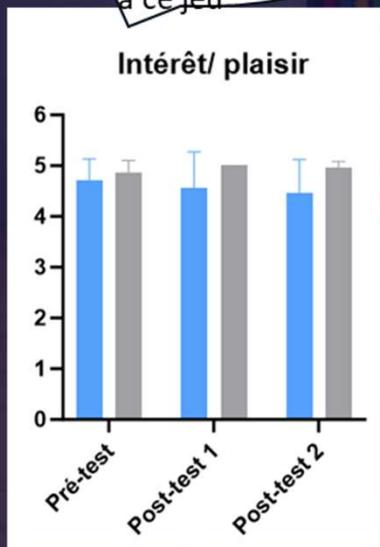


J'ai aimé jouer à ce jeu

J'ai fait de mon mieux pour réussir ce jeu

Je trouve que ce jeu est utile pour ma rééducation

Je trouve que j'ai bien réussi ce jeu



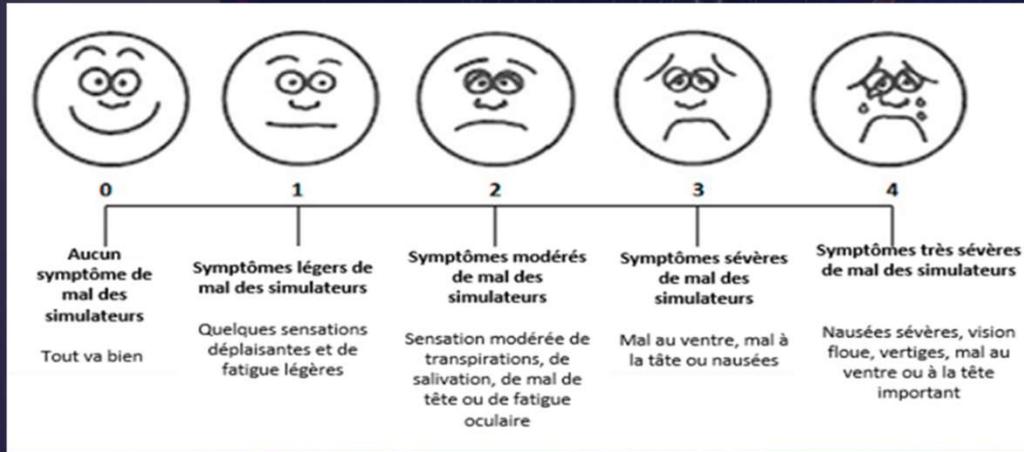
■ Groupe expérimental (RV)
■ Groupe contrôle



RÉSULTATS

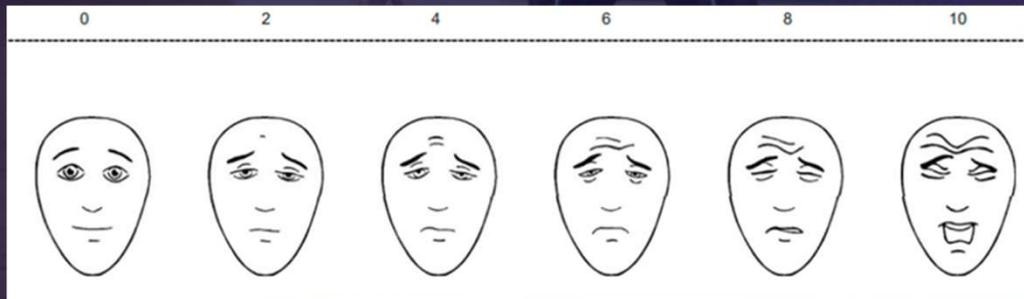
Effets indésirables

Dizziness scale



Pas d'effets indésirables (sensations vertigineuses ou douleurs).

Pain scale score



CONCLUSION / PERSPECTIVES

Résultats très positifs dans l'ensemble

- Volonté d'aller plus loin...
 - En diversifiant les tâches de rééducation et les typologies de patients éligibles
- Contact avec une entreprise (NeoXperiences) et élaboration d'un nouveau projet



2. PROJET NEO-REEDUC

2. PROJET NEO REEDUC

Nicolas Benguigui, Rémi Laillier, Luca Fantin, Héloïse Baillet, Adrien Picot, Corentin Loyer, Youssef Chahir, François Rioult, Laure Lejeune, et Pascale Leconte (Unicaen, Greyc, Comete)

Boris Courté, David Lefrançois, Jeremy Morale, Valentin Renier (NeoXperiences)



Financé par la Région et les fonds FEDER dans le cadre du dispositif « Soutien à l'innovation en collaboration »

Neo-Reeduc : réalité mixte pour une rééducation finalisée des fonctions motrices

- Projet financé par la Région Normandie et les fonds FEDER dans le cadre du dispositif « Soutien à l'innovation en collaboration » 2023-2025

Objectifs :

Développer un ensemble de dispositifs de réalité mixte visant à évaluer et à rééduquer :



Coordinations
visuomotrices



La posture



La locomotion

Les principes :

- Rééducation finalisée
- Co-développement avec les praticiens et les patients
- Vidéo-projection de grande dimension
- Un peu moins immersif mais plus ouvert : interaction avec les thérapeutes, séances collectives, minimisation des risques de mal des simulateurs
- Systèmes de capture du mouvement innovant



PARTENAIRES



Neo Xperiences
immersive playground

Créateur et développeur de solutions interactives et immersives



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

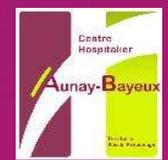
GREYC



Réalisent des activités de recherche dans le domaine des sciences du numérique et des activités physiques



Structures de rééducation



NEO XPERIENCES

Développeur d'aires de jeu immersives et interactives.

NeoXperiences : jeux vidéos de grande dimension pour créer de l'activité physique



Santé et bien-être



Education et sensibilisation



Interactions sociales

Nos Partenaires :



Microsoft for Startups



Jeune Entreprise innovante

Basée en Normandie, en périphérie de Caen



CO-CONCEPTION ET MISE EN OEUVRE

Les structures partenaires au projet Neo-Reeduc

- IEM François-Xavier Falala, Hérouville Saint Clair
- CMPR La clairière, Hérouville Saint Clair
- IMPR du Bois de Lébisey, Hérouville Saint Clair
- CHU de Caen
- SSR d'Aunay sur Odon, CH Aunay-Bayeux

Recueil des besoins


Praticiens




Praticiens + Patients




Patients - utilisateurs

| Pathologie | Bénéfices | Structures |
|------------------------------|--|---|
| Paralysies cérébrales | Gains d'amplitude et de fluidité dans les mouvements | IEM et CMPR Hérouville Saint Clair |
| Lésions cérébrales (AVC, TC) | Objectifs spécifiques aux lésions | CHU de Caen, CH d'Aunay Bayeux, IMPR d'Hérouville-Saint-Clair |
| Maladies neurodégénératives | Contribuer à maintenir leurs fonctions exécutives dans les meilleures conditions | CHU de Caen, CH d'Aunay Bayeux, IMPR d'Hérouville-Saint-Clair |
| Lésions orthopédiques | Mobilisation douce et progressive du membre lésé | CHU de Caen et à l'IMPR d'Hérouville-Saint-Clair. |



C'EST QUOI LE DISPOSITIF ?

Capture du mouvement avec caméra de profondeur, associée à une vidéo projection sur un mur (phase 1) et sur le sol (phase 2).



Mono caméra



Multi caméras

TECHNOLOGIES UTILISÉES

Configuration PC 1 : Pc industriel

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| Processeur | I5 9500 ^E – 3GHz |
| RAM (Go) | 16 |
| Carte graphique | Quadro P2200 |
| OS | Windows 10 entreprise LTSC |
| Unity3D Version | 2021.3.16f1 |

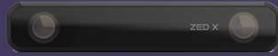
Configuration PC 2: Pc Gamer Zotac

| | |
|-----------------|--------------------------------|
| Processeur | I5 10400 – 2.9GHz |
| RAM | 16 |
| Carte graphique | Nvidia GeForce RTX 3060 – 12Go |
| OS | Windows 10 entreprise LTSC |
| Unity3D Version | 2021.3.16f1 |

Les caméras à tester



Zed 2



Zed X



ORBEC Astra pro



ORBEC Astra pro +



ORBEC Gemini 2



Azure Kinect

| Tech. | Séréoscopie | Tech. | Séréoscopie | Tech. | Structured light | Tech. | Structured light | Tech. | Structured light | Tech. | TOF |
|--------|-------------|--------|-------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------------|
| Dist. | < 20m | Dist. | < 20m | Dist. | < 8m | Dist. | < 8m | Dist. | < 10m | Dist. | < 4m (2.21m - 3.86m ?) |
| Réso D | 1080p | Réso D | 1200p | Réso D | 480p | Réso D | 480p | Réso D | 800p | Réso D | 576p |
| FPS | 100 | FPS | 60 | FPS | 30 | FPS | 30 | FPS | 30 | FPS | 30 |
| Fov D | 120° | Fov D | 120° | Fov D | 73° | Fov D | 73° | Fov D | 90° | Fov D | 100° (120-75) |
| Temp | -10 à 45 °C | Temp | -20 à 55 °C | Temp | 0 à 40 °C | Temp | 0 à 40 °C | Temp | 0 à 40 °C | Temp | 10 à 25 °C |



ORBEC Persee(+)

| | |
|--------|------------------|
| Tech. | Structured light |
| Dist. | < 8m |
| Réso D | 480p |
| FPS | 30 |
| Fov D | 68° |
| Temp | 0 à 40 °C |



Caméra Zed 2 pour le suivi et l'intégration des mouvements des patients pour interagir avec le dispositif

EXERCICES DISPONIBLES

3 types d'interactions:

- Atteinte de cibles
- Postures
- Mobilité



Goal Keeper

But du jeu : Arrêter les ballons lors de séances de tirs aux buts.

Pathologies cibles : Toutes

Objectifs : Augmentation de l'amplitude des mouvements des membres supérieurs.



Squirrel Adventures

But du jeu : Récolter un maximum de fruits sur le parcours en évitant les obstacles

Pathologies cibles : Toutes

Objectifs : Gain en mobilité et cognitivité



Dance Game

- **But du jeu :** Reproduire des postures et gestes en rythme.
- **Pathologies cibles :** Toutes
- **Objectifs :** Fluidité et amplitude de geste.



Shape Game

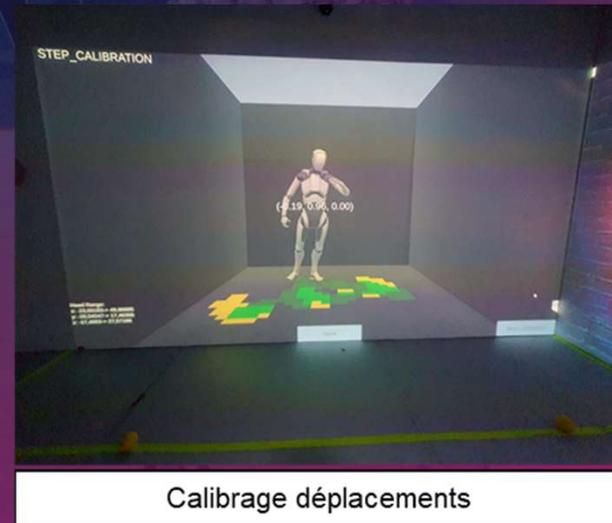
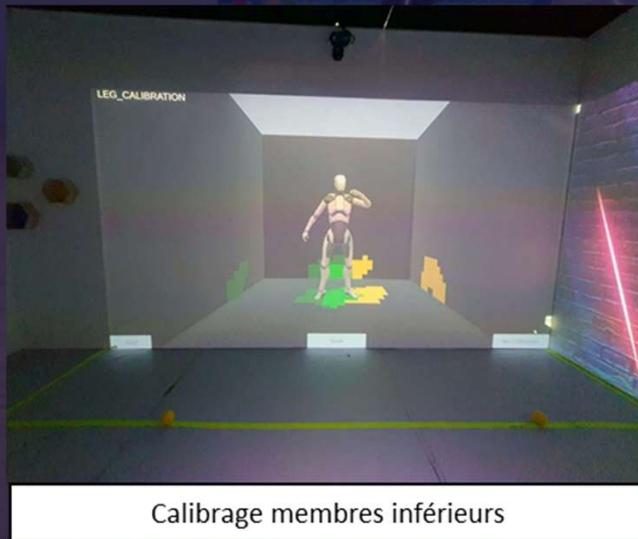
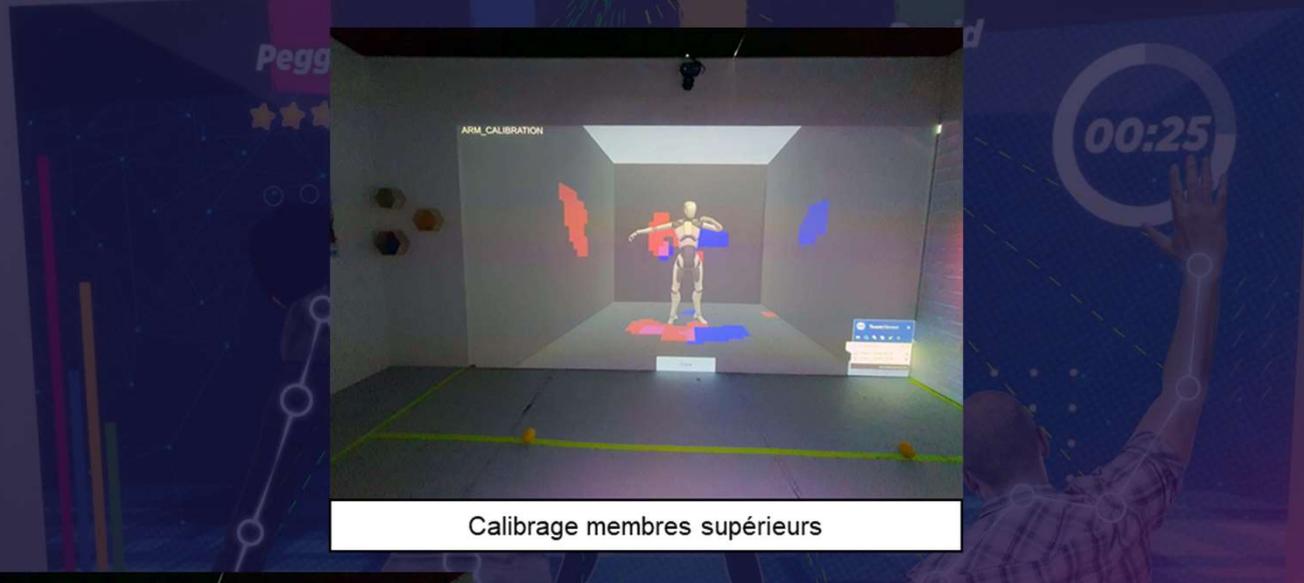
- **But du jeu :** Succession de postures
- **Pathologies cibles :** Toutes
- **Objectifs :** Gain en mobilité et cognitivité. Fluidité et rapidité des gestes.



Shape Game

- **But du jeu :** Succession de postures
- **Pathologies cibles :** Toutes
- **Objectifs :** Gain en mobilité et cognitivité. Fluidité et rapidité des gestes.

EVALUATIONS POUR LA REEDUCATION



PROTOCOLE NEO-RÉÉDUC

Randomisation

Groupe
RM
N = 60

Groupe
Contrôle
N = 60

Pré-tests : évaluations fonctionnelles et questionnaires (S1)

1 mois

Protocole de
rééducation
en RM
- 4 semaines
- 3 séances p/
semaine

Prise en
charge
habituelle

Post-tests 1 : évaluations fonctionnelles et questionnaires
(S6) – Bénéfices ?

3 mois

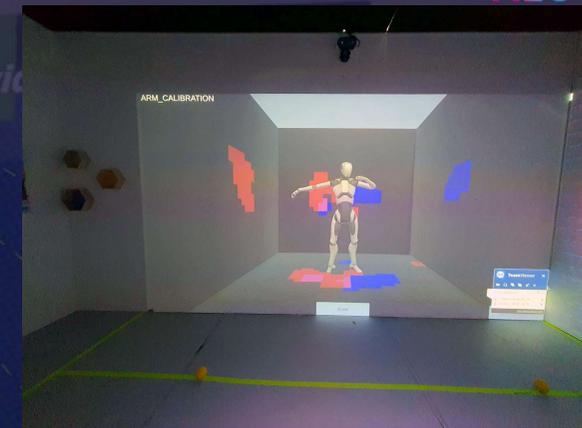
Prise en charge habituelle

Post-tests 2 : évaluations fonctionnelles et questionnaires
(S18) – Maintien ?



EVALUATIONS POUR LA REEDUCATION

| | TOUS LES PATIENTS |
|---|--|
| AMPLITUDES (BRAS, JAMBES, PAS) | Calibrage du dispositif Neo-reeduc comme bilan moteur |
| POSTURE/EQUILIBRE | MiniBest |
| LOCOMOTION | Time Up and Go Test Tests de marche (6 minutes/10 mètres) |
| MOBILITE MEMBRE SUPERIEUR | Mesures goniométriques |
| EVALUATION DOULEUR (1/7J) | Echelle numérique (EN), Echelle visuelle analogique (EVA) |
| SPASTICITÉ | Echelle d'Ashworth |
| ACTIVITES VIE QUOTIDIENNE / QUALITE DE VIE | Echelle MHAVIE |



Calibrage membres supérieurs



Calibrage membres inférieurs



Calibrage déplacements

OBJECTIFS

OBJECTIFS PRINCIPAUX :

1. Tester et valider les dispositifs auprès des patients et des équipes thérapeutiques (Acceptabilité et Expérience utilisateur)
2. Apporter des bénéfices dans la motricité des patients (stabilité posturale, locomotion, mobilité des membres supérieurs) observables dans les tests et transférables vers les activités quotidiennes

POUR RÉSUMER : CARACTÈRES INNOVANTS DU PROJET

1. Co-conception des jeux :

- Répondre aux besoins des patients et des thérapeutes à partir de mouvements finalisés pour la rééducation

2. « Gamification » pour contrôler la progression

- Niveaux de difficultés paramétrables et auto-adaptatifs des exercices

3. Mode multi-utilisateurs possible (jusqu'à 6 joueurs)

- Pour renforcer le côté ludique

4. Perspectives

- Dispositifs de plus petite dimension (télévision, tablette et smartphone)

NEO REEDUC

Réalité mixte interactive pour une rééducation de la motricité finalisée

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

GREYC 


Neo Xperiences
immersive playground

 UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

 RÉGION
NORMANDIE

 UNION EUROPÉENNE

Financé par la Région et les fonds FEDER dans le cadre du dispositif « Soutien à l'innovation en collaboration »

Neo Xperiences

GREYC 