



Projet TERAPACE (TEléexercice par la Réalité Augmentée des PAralysies CERébrales) : Conception et évaluation d'un exergame en réalité augmentée pour la rééducation cognitivo-motrice d'enfants et d'adolescents atteints de Paralyse Cérébrale (PC) ou de Lésions Cérébrales Acquises (LCA)

Maxime BALLOUFAUD
Laboratoire HAVAE (UR20217)
Université de Limoges



Pr Anaick PERROCHON
Dr Arnaud BOUJUT

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

Paralysie Cérébrale (PC) et Lésions Cérébrales Acquises (LCA)



1ère cause de handicap
moteur chez l'enfant

(Rosebaum et al., 2017)



Troubles associés :

- Communication
- Neurovisuels
- Cognition

(Pereira et al., 2018)
(Belmonti et al., 2015)
(Ego et al., 2015)

Des programmes non adaptés à 100% aux besoins spécifiques des enfants

L'accès aux soins de réadaptation / rééducation difficile

Démotivation des jeunes à suivre leurs programmes

(Novak et al., 2020)
(Cornec et al., 2022)
(Cacioppo et al., 2021)



La Réalité Augmentée



Evoluer dans un environnement réel
avec intégration d'objets virtuels →
Sécurisant et immersif
(Geerse et al., 2020)

Absence de cybersickness
(Lauer et al., 2021)

Ludique et motivant
(Lino et al., 2021; Tobaiqui et al., 2023)

**Possibilité de télééducation ludique
et personnalisée ++**

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

La Réalité Augmentée pour la rééducation des enfants PC / LCA

RA → Contextualisation de la marche dans des pathologies neurologiques (Geerse et al., 2020; Janssen et al., 2020) incluant la paralysie cérébrale (Guinet et al., 2021)



(Guinet et al., 2021 2022)

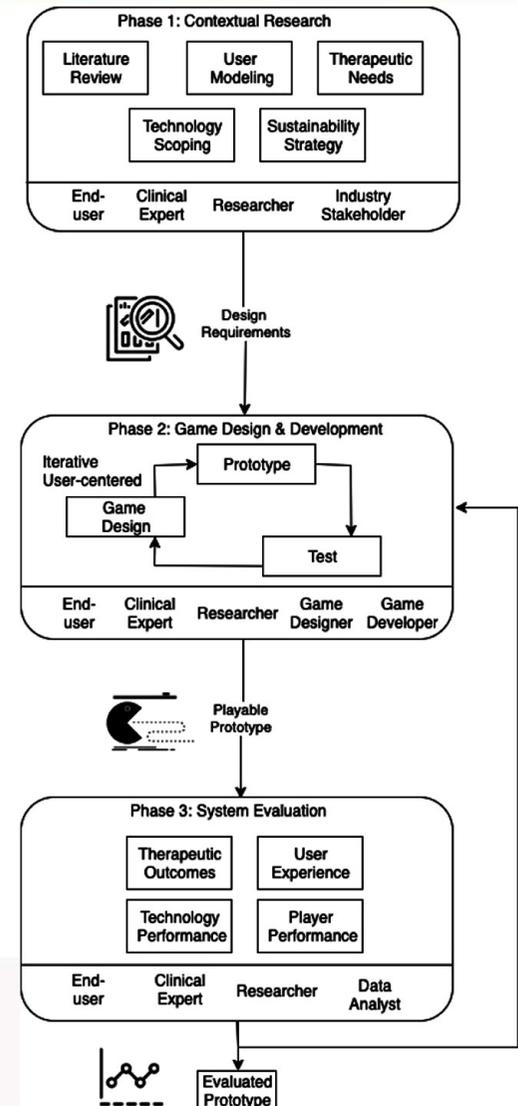
Pas de programme de rééducation cognitivo-moteur en RA que ce soit ou non avec une projection à domicile pour ces enfants

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

La conception d'un exergame

Le cadre de conception MIDE (Multidisciplinary Iterative Design of Exergames) (Li et al., 2020) :

1. Recherche contextuelle → Comprendre les besoins des utilisateurs et des thérapeutes
2. Conception et développement → Collaboration entre les thérapeutes et les utilisateurs pour cocréer et personnaliser le contenu du jeu
3. Evaluation du dispositif



Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

Une étape essentielle dans le développement d'outils technologiques innovants

Evaluation : Expérience utilisateur (utilisabilité, acceptation, émotions, motivation...)



- Faisabilité du projet
- Viabilité de la technologie
- L'adhésion de l'utilisateur

(Iosa et al., 2022)
(Eisapour et al., 2018)

Conception interactive et participative (Co-Design) :
L'utilisateur au cœur du développement / équipe pluridisciplinaire



(Tao et al., 2021)
(Li et al., 2020)

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

Les premières étapes du projet TERAPACE



Développer un dispositif de RA pour la rééducation cognitivo-motrice d'enfants et d'adolescents atteints de PC ou LCA



Évaluer l'expérience utilisateur de notre dispositif de RA auprès de jeunes au développement typique

Évaluer l'expérience utilisateur (utilisabilité, acceptation, motivation, fatigue) de notre dispositif pour la rééducation cognitivo-motrice des enfants et adolescents atteints de PC ou LCA



Évaluer la faisabilité d'un déploiement à domicile auprès de l'entourage d'enfants et d'adolescents atteints de PC ou LCA

Développement technologique

Conception du dispositif



Les jeux de santé RA et RV visent à combiner les avantages d'un jeu amusant et motivant avec des approches cliniquement fondées (Tao et al., 2021)

- Tâches répétitives
- Tâches évolutives
- Tâches orientées vers un objectif
- Travail cognitivo-moteur

(Foscan et al., 2024)
(Kilcioglu et al., 2023)
(Demers et al., 2021)

- Retours d'informations visuels et auditifs
- Difficulté graduée et progressive
- Individualisation

(Sanpablo et al., 2022)
(Tao et al., 2021)
(Guinet et al., 2021)

Conception du dispositif



Plug and Play → Intervention minimale du joueur

Casque Microsoft Hololens 2

Tablette

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion



AR Corsi

Le jeu de Corsi permet de travailler la mémoire à court terme et les problèmes d'orientation



But : mémoriser une séquence de blocs, qui vont s'allumer, puis la restituer en se déplaçant dans l'environnement

Condition Classique



Condition Agent virtuel



Condition Avancée



(Corsi et al., 1972)
(Meilinger et al. 2011)
(Piccardi et al., 2014)
(Perrochon et al., 2018)

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion



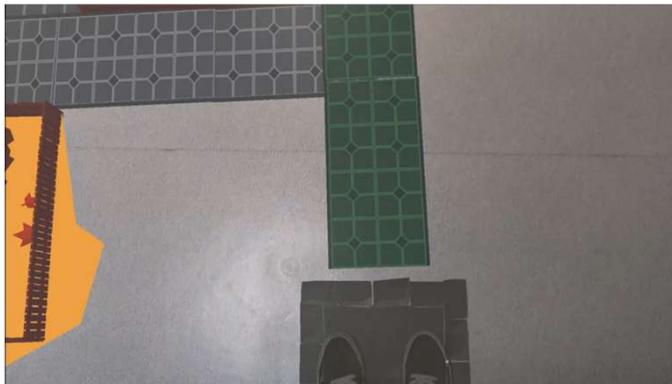
AR Zoo

Le jeu du Zoo permet de travailler la planification



But : Planifier un itinéraire spécifique en se déplaçant dans l'environnement

Condition Classique



Condition Agent virtuel



Condition Avancée

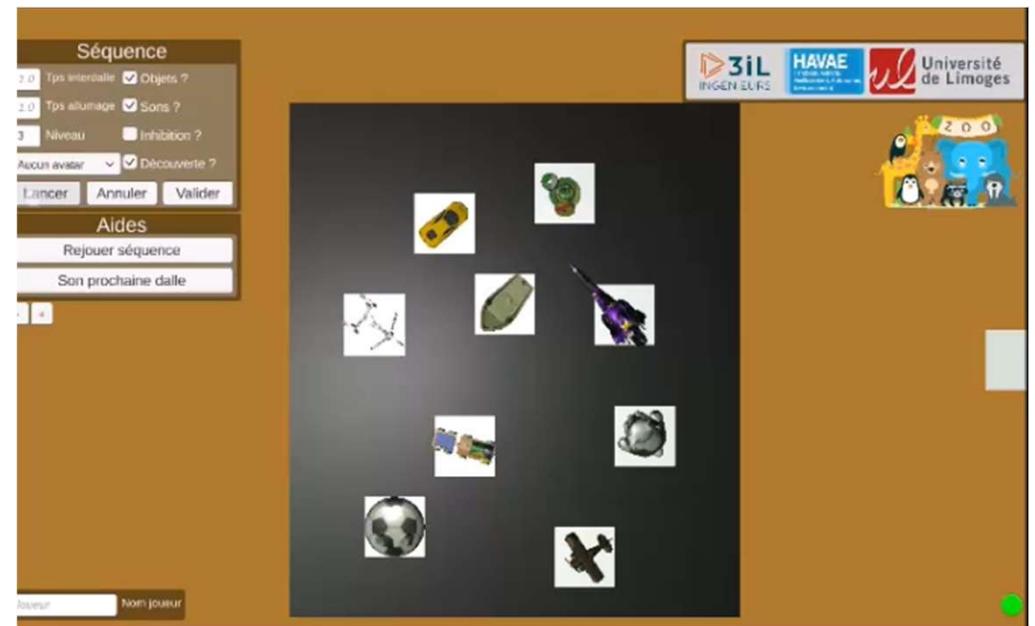
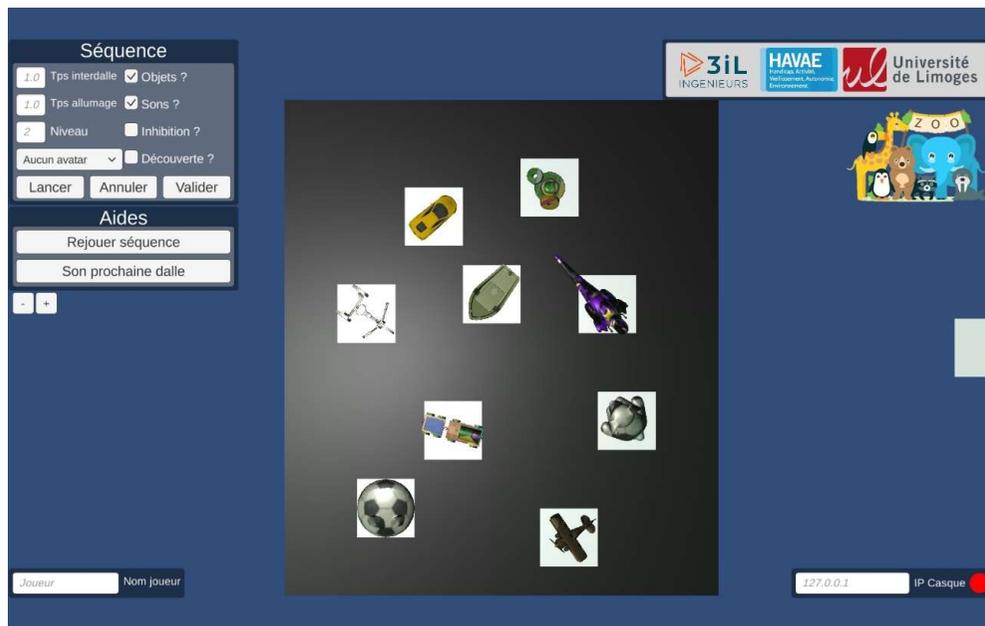


(Oosterman et al., 2013)
(Ballhausen et al., 2017)
(Romundstad et al., 2022)

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion



Tablette





**Évaluation de l'expérience utilisateur
(utilisabilité, acceptation, motivation, fatigue)
de notre dispositif pour la rééducation
cognitivo-motrice des enfants et adolescents
atteints de PC ou LCA**



Objectifs et Hypothèses

Objectif principal: Evaluer l'expérience utilisateur (UX) d'un exergame en RA pour des enfants et adolescents PC / LCA

Objectif secondaire: Comparer s'il existe des différences dans les résultats UX entre les deux jeux AR

Hypothèses:

Hypothèse principale : Le dispositif en RA est facilement utilisable par les enfants. Nous nous attendons à ce que l'interface utilisateur, l'acceptation, la motivation et les émotions soient positives. Nous supposons que les séances à base de RA n'entraînent significativement pas de fatigue physique et/mentale excessive par rapport à une évaluation en début de séance

Hypothèse secondaire : Pas de différences significatives dans les résultats d'UX entre les deux jeux

Critères d'inclusions et de non-inclusions



30 jeunes → Centre Hospitalier Esquirol / IEM Couzeix (Novembre 2023 / Novembre 2024)



PC / LCA

10-16 ans

Comprendre et suivre des instructions simples

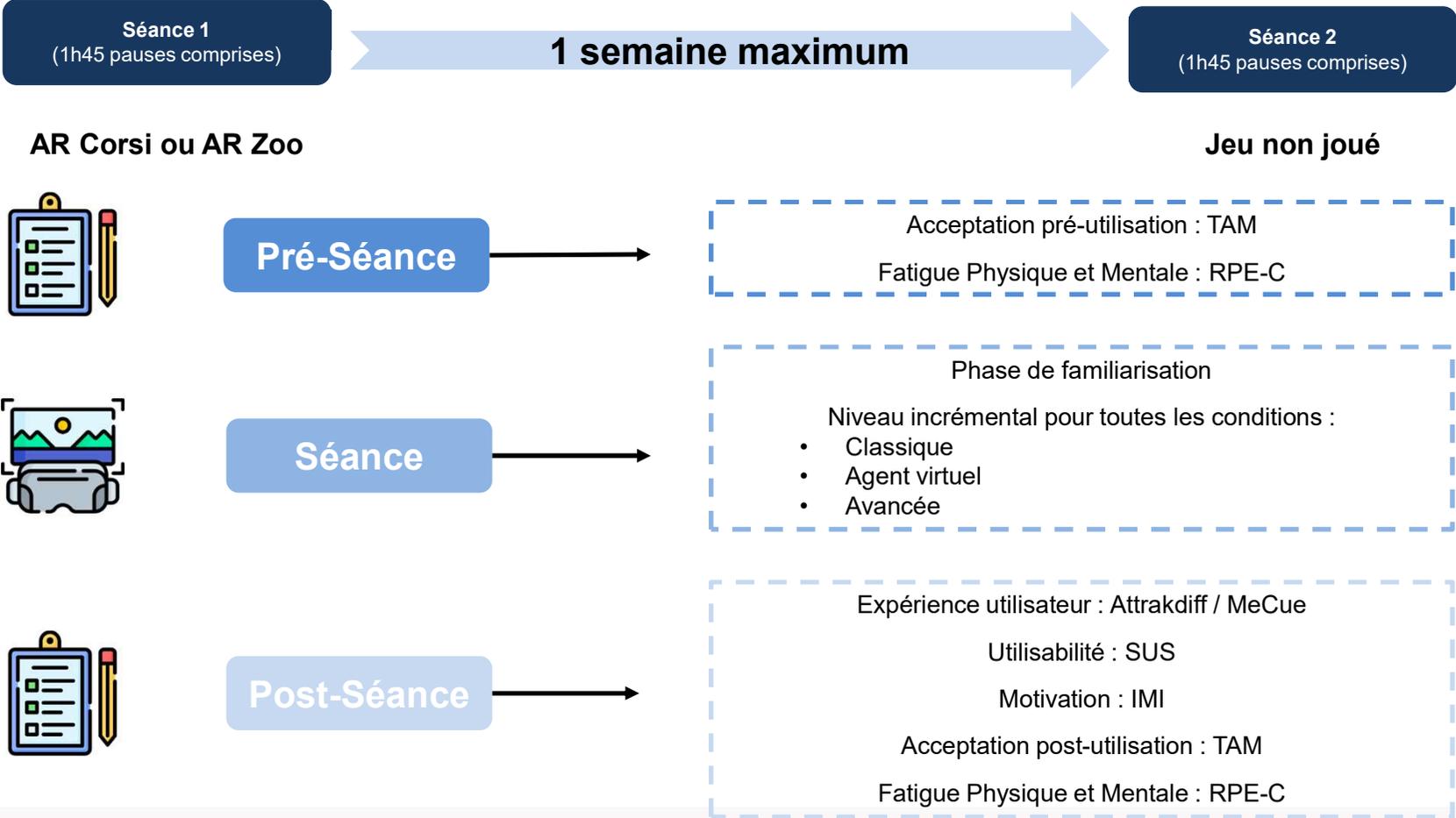


Score de motricité > 3 Gross Motor Function Classification System (GMFCS)

Epilepsie photosensible

Déficiência visuelle ou auditive non normale ou non corrigée

Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion



Résultats

N = 29 → 8 Filles / 21 Garçons
Age moyen : 11,8 ± 1,6 ans
12 PC / 17 LCA



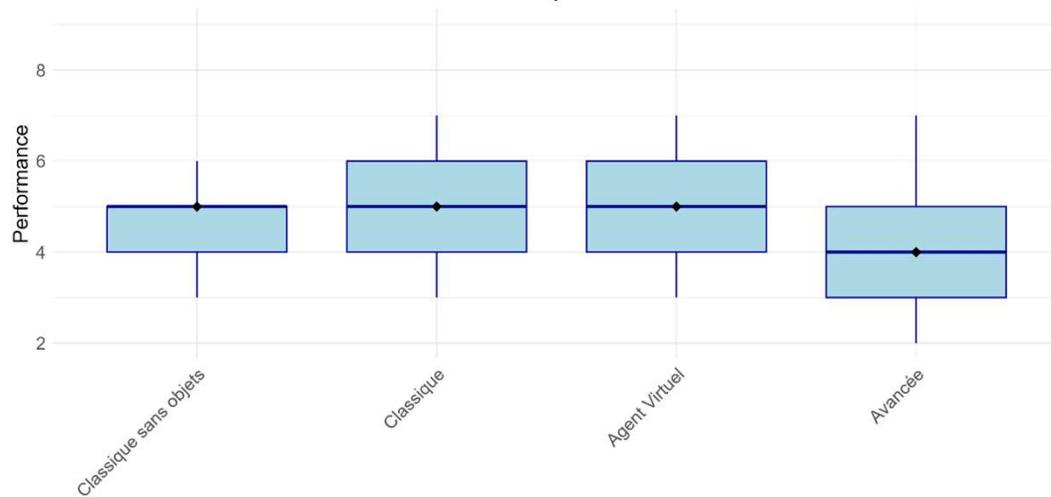
- **Handicap moteur : 16 / 29** (1 Diplégie, 5 Hémiplégie, 10 Motricité fine)
- **Fatigabilité : 22 / 29**
- Douleurs : 8 / 29
- Déficience intellectuelle : 1 / 29
- Ralentissement : 7 / 29
- **Trouble cognitif : 25 / 29** (20 Tb attentionnels, 8 Tb mnésiques, 19 Tb exécutif, 5 Tb praxiques)
- Troubles sensoriels : 12/29

Résultats

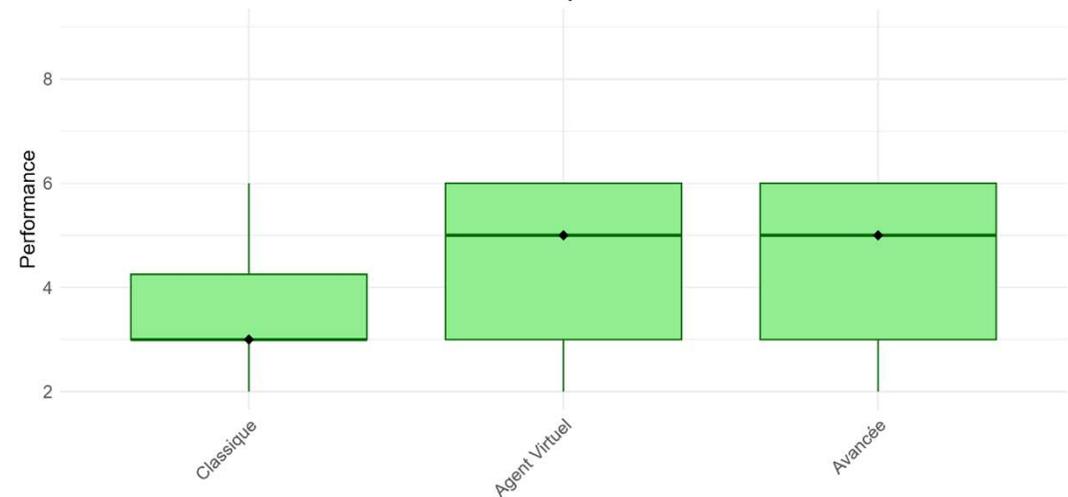
Durée de jeu :

- AR Corsi 33.4 ± 6.7 minutes
- AR Zoo 43 ± 13.7 minutes

Performance pour AR Corsi



Performance pour AR Zoo



Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

Résultats

	AR Corsi	AR Zoo	Comparaison Jeux
Attrakdiff [-3 ; 3]			
Attractivité globale	2.16 ± 1.14	2.23 ± 1.03	NS
Identité	1.4 ± 1.0	1.31 ± 0.82	NS
Qualité pragmatique	1.53 ± 0.86	1.39 ± 1.07	NS
Stimulation	1.51 ± 0.95	1.22 ± 0.63	NS
MeCue [1 ; 7]	5.89 ± 1.2***	5.78 ± 0.9***	NS
SUS [0 ; 100]	78.8 ± 13.4	78.2 ± 12.8	NS
IMI			
Compétence perçue	5.71***	5.93***	NS
Importance de l'effort	4.83*	4.99**	NS
Intérêt/plaisir	6.31***	6.29***	NS
Pression/tension	2.22***	2.32***	NS

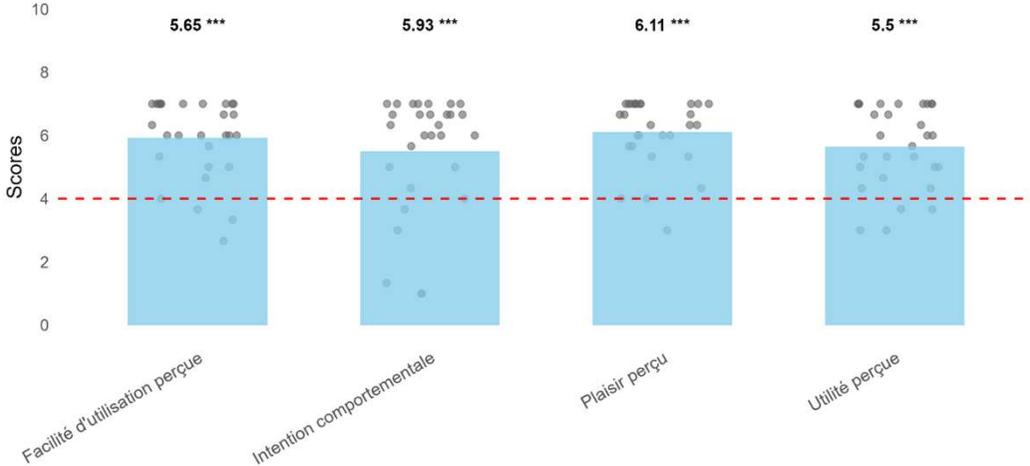


Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

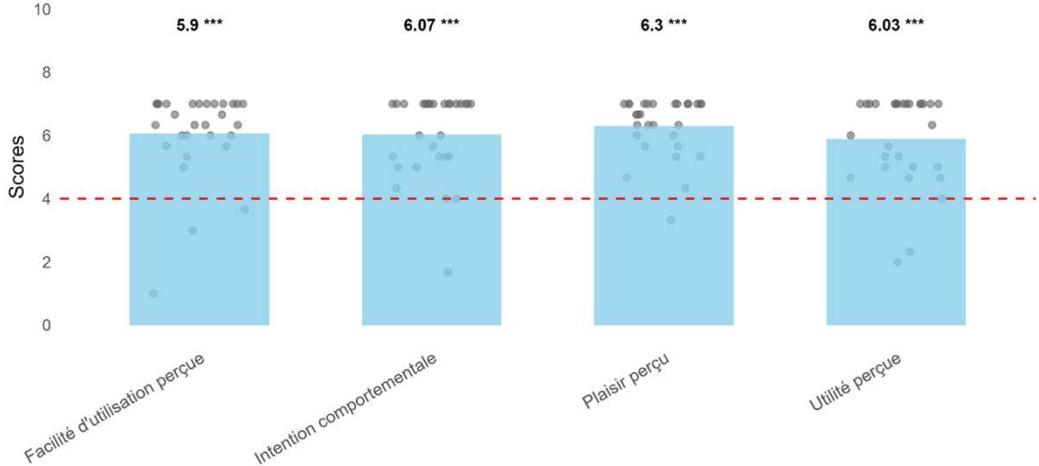
Acceptation



Variables TAM (Pre-test) - AR Corsi

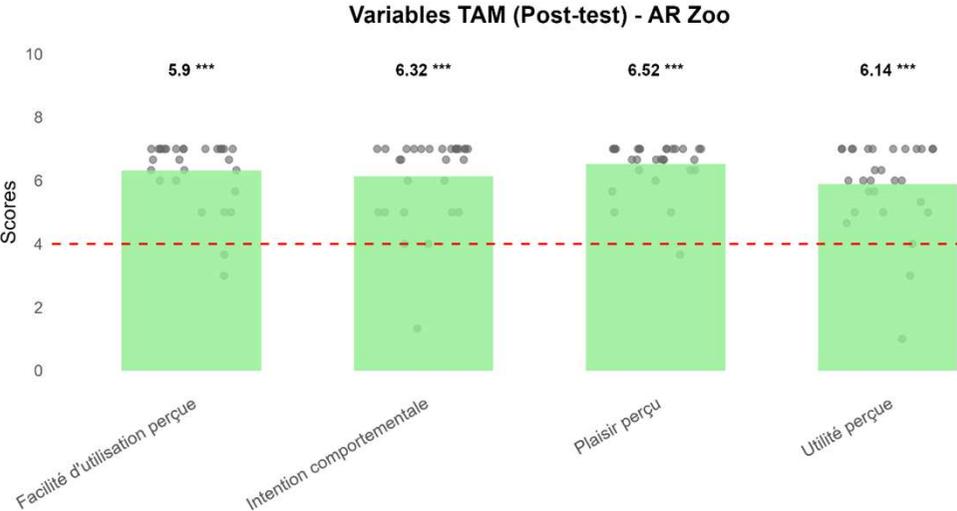
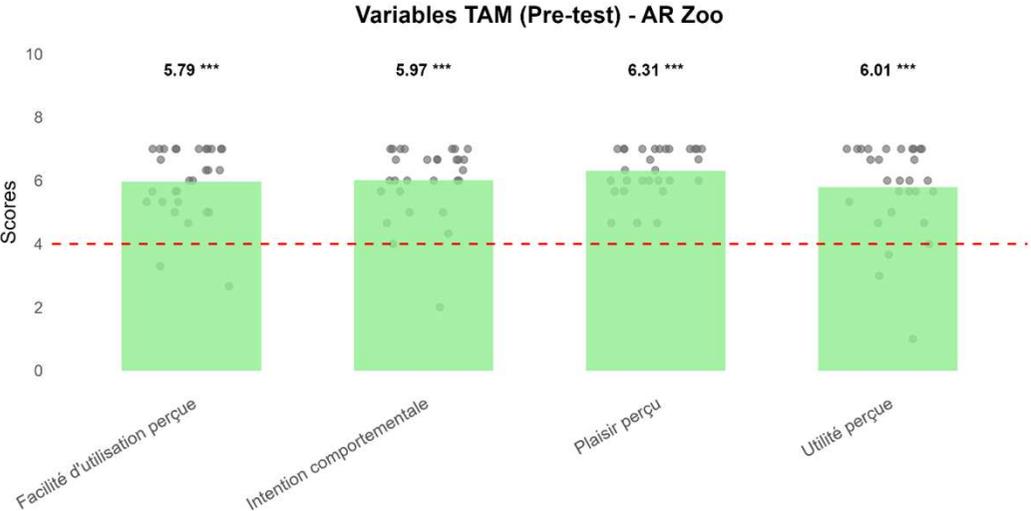


Variables TAM (Post-test) - AR Corsi



Contexte – Développement technologique – Etude – Conclusion

Acceptation



Fatigue physique et mentale



	AR Corsi		AR Zoo	
	Avant utilisation	Après utilisation	Avant utilisation	Après utilisation
Fatigue				
Physique, RPE-C [6 ; 20]	7.68 ± 2.69	8.2 ± 2.86	8.14 ± 2.83	9.06 ± 3.03
Mentale, RPE-C [6 ; 20]	8.2 ± 2.6	9.4 ± 3.24	7.9 ± 2.73	9.48 ± 3.65

Effet pré - post :

- Fatigue Physique ($p < 0.01$)
- Fatigue Mentale ($p < 0.001$)

Discussion



- Notion d'effort cible : Compromis intensité de la rééducation / respect de la fatigue
- Durée de jeu ??
- Fatigue physique : ↑ Niveau de Difficulté = + de rotations (↑ Champ de vision) (Belmonti et al., 2015)
- Fatigue mentale : Coût cognitif élevé lié à l'activation simultanée de plusieurs fonctions **exécutives** (Castilla et al., 2022 ; Del Lucchese et al., 2021 ; Kronovsek et al., 2021 ; Persson et al., 2007)

Bonne expérience utilisateur : Apporter des modifications + Développer d'autres jeux avec différents modes d'interaction
(Lauer et al., 2021)

Pas de différences entre les jeux :
Maintien d'une même boucle centrale dans les deux jeux + des variantes (Tao et al., 2021)

Conclusion



Les perspectives

- Evaluer l'efficacité de notre dispositif sur les fonctions cognitivo-motrice de ces jeunes lors d'un programme de rééducation sur plusieurs semaines
- Etude qualitative avec l'entourage des enfants (parents et thérapeutes) sur l'utilisation de la RA au domicile
- Analyses des trajectoires → Les stratégies cognitives lors de la navigation spatiale



Key messages



- La réalité augmentée immersive est un outil complémentaire à la réadaptation / rééducation conventionnelle :
 - Ludique et motivant → Engagement +++
 - Adaptée aux capacités de chaque enfant
 - Mode sans échec → Valorisation de l'enfant et consolidation de son estime de soi
 - Travail simultanément les fonctions motrices et cognitives (navigation spatiale)
- Impliquer l'enfant dans son parcours de soins :
 - Co-conception
 - Participation
 - Autonomie

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

