

Dossier de candidature

Contrat doctoral du Cnam (Campagne 2026)

Rendre l'activité physique jouable : Exergaming immersif adaptatif, motivation et effort perçu

Direction de thèse	Théo Combe (MCF Cnam) Jérôme Dupire (MCF HDR Cnam) Pauline Maillot (MCF – STAPS Paris Cité)
Contact	theo.combe@lecnam.net
Statut	Maître de conférences
Affiliation	Conservatoire National des Arts et Métiers (Cnam)
Laboratoire / unité	CEDRIC EA 4629
Ville	Paris
Institution employeur	Cnam
Titre de la proposition	Rendre l'activité physique jouable !

Contexte

L'exergaming désigne l'utilisation du jeu vidéo comme support d'activité physique, avec l'objectif de rendre la pratique plus accessible, ludique et motivante. Défini par le Sénat [17] comme « *le fait d'effectuer une activité physique de manière ludique et motivante en passant par le jeu vidéo* », il constitue une piste pour favoriser l'accès à une activité physique régulière, notamment chez des publics peu enclins à la pratique. Dans cette proposition, l'exergaming est envisagé comme un support d'entraînement au sens large, de la simple mobilisation du corps au renforcement, coordination et à l'endurance [1].

Le projet s'inscrit dans un contexte de sport-santé et d'activité physique adaptée (APA), avec une cible possible d'adultes sédentaires, incluant des personnes âgées, majeures, non-athlètes, souhaitant (re)entrer dans une pratique [12,13]. Dans ce cadre, l'exergaming peut constituer un levier complémentaire pour des publics peu actifs ou réticents à pratiquer.

Les technologies immersives permettent de concevoir des expériences interactives centrées sur le corps, en mobilisant présence, perception et interaction sensorimotrice [5,6]. La réalité mixte offre un compromis particulièrement intéressant pour l'exergaming : elle permet de conserver des repères du monde réel et d'intégrer des objets physiques réels, tout en ajoutant des éléments virtuels pouvant renforcer l'engagement et structurer la pratique. Dans cette proposition thèse, la réalité mixte sera donc privilégiée pour concevoir des situations proches d'une pratique réelle, sûres et reproductibles, tout en évaluant, l'apport d'une version en réalité

virtuelle par rapport au réel. En exergaming, l'effort perçu peut intégrer une composante cognitive (attention, compréhension des règles, traitement des feedbacks), d'autant plus en XR où le dispositif et l'interaction peuvent augmenter la charge mentale ; l'équilibre entre charge physique et charge cognitive constitue donc un enjeu de conception.

Le projet s'appuie sur deux cas d'étude en réalité mixte (public majeur, plutôt peu ou pas actif, non-athlète), centrés sur des exercices de renforcement simples : (A) un exercice de soulevé de charge, type kettlebell où le système de jeu transforme l'action en défi narratif/visuel en modulant objectifs, progression et feedbacks. Et (B) un exercice de poussée, type développé ou presse où l'on compare différentes formes de feedback (visuel et haptique) et d'adaptation du challenge. Ces deux cas permettront d'étudier de manière contrôlée comment le système de jeu, l'adaptation du challenge et les feedbacks influencent motivation, engagement, et régulation de l'effort [1,9].

Les deux cas d'étude ont pour but d'illustrer des mises en scène ludiques concrètes : par exemple, lors de l'exercice de poussée, l'utilisateur peut « pousser une paroi rocheuse » pour laisser passer de petits personnages. Lors de l'exercice de soulevé, l'objet virtuel peut changer d'apparence et de contexte (fragile/précieux, massif, etc.).

Description de la proposition de doctorat

Cette thèse vise à étudier comment concevoir des exergames immersifs orientés mise en activité qui favorisent l'adhérence tout en garantissant une régulation de l'intensité et une pratique sûre. L'enjeu central est de comprendre comment les systèmes de jeu (objectifs, progression, feedbacks) et l'adaptation du challenge influencent la relation entre effort réel (mesures physiologiques) et effort perçu (RPE), et comment cette relation impacte la pratique de l'activités physique [18]. Cette relation est également susceptible d'être influencée par la charge cognitive induite par la tâche et le dispositif, ce qui pose la question d'un équilibre entre challenge physique et challenge cognitif. [3,9,11].

Comme présenté ci-dessus, l'approche reposera sur deux cas d'étude en réalité mixte centrés sur des exercices de renforcement simples : (A) un exercice de soulevé de charge, permettant d'étudier l'effet du système de jeu et de l'adaptation de la difficulté sur l'effort perçu et l'adhérence, (B) un exercice de poussée, plus centré sur l'évaluation de l'apport de feedbacks visuels et haptiques. Les expérimentations compareront des variantes contrôlées du système de jeu, des règles d'adaptation et des feedbacks, en combinant mesures subjectives (RPE, engagement, motivation, compétence) et objectives (performance, qualité du geste, respiration, EDA...). Les résultats viseront à produire des recommandations de conception et un démonstrateur sous forme de séance structurée en réalité mixte, répliquable, adaptée à un public majeur peu actif.

Objectif général

L'objectif de cette thèse est de produire des connaissances et des outils méthodologiques pour guider la conception d'exergames en réalité mixte, en caractérisant les effets de modification de système de jeu, de l'adaptation du challenge et des feedbacks sur (1) l'expérience utilisateur, (2) la relation entre effort réel et effort perçu, et (3) la motivation, l'adhérence et l'engagement, via des évaluations combinant mesures subjectives et objectives.

Question de recherche

Dans des activités physiques en réalité mixte de type exergaming, comment le système de jeu, l'adaptation du challenge, les modalités de feedback et la représentation de soi modulent-ils l'effort perçu, l'engagement, la motivation/adhérence et la qualité d'exécution ?

Sous-questions

- En exergame, comment les objectifs, la progression, les récompenses et la narration influencent-ils la motivation, l'adhérence, et l'effort perçu ?
- Quels effets ont des feedbacks visuels et haptiques sur la qualité du geste, le sentiment de compétence et la charge cognitive ?
- Dans quelle mesure la représentation de soi et la congruence sensorimotrice modèrent-elles les effets du système de jeu, de l'adaptation du challenge et des feedbacks sur motivation/adhérence, engagement, effort perçu et qualité d'exécution ?

Hypothèses

- H1. À effort réel comparable, une structuration en paliers de progression avec feedback de maîtrise augmente la persistance et l'intention de rejouer, et peut abaisser le RPE par rapport à une version "compteur de répétitions" sans progression.
- H2. Un feedback multimodal (notamment haptique de posture/alignement) améliore la qualité du geste et le sentiment de compétence [2,8]
- H3. Des représentations de soi fortement stylisées peuvent renforcer l'immersion ludique et diminuer l'appréhension du jugement, ce qui peut augmenter la persistance et l'intention de réutilisation [4,7,10].

Méthodologie (approche)

La méthodologie reposera sur une démarche itérative de conception, implémentation et évaluation. Des prototypes d'exergaming en réalité mixte (avec comparaison réel virtuelle) permettront de manipuler de manière contrôlée le système de jeu des paramètres d'adaptation du challenge et les modalités de feedback. De manière secondaire, certaines conditions

pourront manipuler la représentation de soi. Les études s'appuieront sur deux cas d'étude (A) et (B) mentionné ci-dessus. Des études expérimentales comparatives seront menées avec contrôle de l'effort réel et mesures objectives et subjectives : questionnaires (RPE, engagement, motivation, compétence, charge cognitive), métriques de performance/qualité d'exécution, et indicateurs physiologiques tel que fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, activité électrodermale EDA, éventuellement SpO₂ et EMG selon faisabilité. La faisabilité technique s'appuie sur des travaux antérieurs du CEDRIC sur l'intégration de signaux physiologiques en contexte de jeu (PLUG [14], AZ66 [15]) et sur l'adaptation de la difficulté (DDA) [16].

Planification et valorisation

Outre les publications et communications, le projet visera un démonstrateur sous la forme d'une séance structurée (ou d'un ensemble d'activités) réalisable avec des outils immersifs. Cette séance intégrera plusieurs exercices (initialement les deux cas proposés) et variantes de système de jeu, d'adaptation du challenge et de feedbacks. Les premiers tests viseront une population saine, majeure (sans limite d'âge), plutôt peu active, non-athlète, avec une perspective d'extension ultérieure vers des publics à besoins spécifiques (p. ex., handicap) selon opportunités et partenariats.

Année 1 : Les premiers mois seront consacrés à une revue de littérature ciblée (exergaming XR, sport-santé, APA, effort perçu/RPE, adaptation du challenge, feedbacks visuel/haptique, représentation de soi) et à l'appropriation des concepts. À la fin de la première année, les questions de recherche et hypothèses seront stabilisées, les protocoles expérimentaux en début de réflexion voir définis, et une première version des deux cas d'étude en réalité mixte (soulevé type kettlebell et poussée type développé/presse) sera implémentée ou en cour d'implémentation.

Année 2 : La deuxième année sera dédiée à l'itération conception, implémentation, évaluation et à la validation progressive des choix de conception. Des études pilotes permettront d'affiner le système de jeu, les règles d'adaptation du challenge et les modalités de feedback, ainsi que la faisabilité des mesures subjectives et physiologiques. L'objectif est d'aboutir à une première étude expérimentale et à une première soumission scientifique (atelier, short paper ou conférence selon les résultats).

Année 3 : La troisième année se concentrera sur les expérimentations principales et la valorisation. Les deux cas d'étude seront finalisés techniquement en réalité mixte, puis évalués via une ou plusieurs études expérimentales. Cette phase visera au minimum une soumission "long paper", ainsi que la réalisation d'un démonstrateur final sous forme de séance en réalité mixte, reproductible et accompagnée de recommandations de conception et du manuscrit de thèse.

Profil du/de la candidat·e

Le projet requiert un profil capable de mener à la fois le développement de prototypes XR et la mise en œuvre d'études expérimentales centrées utilisateur. Le profil privilégié est celui d'un·e candidat·e issu·e de l'informatique (ou domaines proches : IHM, VR/XR, informatique graphique), avec un intérêt marqué pour l'activité physique, le sport-santé ou l'exergaming. Un profil issu des STAPS (ou sciences du mouvement) peut également convenir, à condition de démontrer des compétences solides en développement logiciel et une capacité à prendre en main un environnement XR.

Compétences attendues (ou à acquérir très rapidement) :

- Programmation (idéalement C#, bases en conception logicielle, gestion de versions Git).
- Maîtrise ou forte appétence pour un moteur 3D (Unity, Unreal ou Godot) et outils XR (OpenXR, interactions, tracking).
- Rigueur méthodologique pour concevoir et conduire des études (protocoles, consentement/éthique, analyse quantitative/qualitative).
- Autonomie, capacité d'itération rapide (prototypage–test–amélioration) et bonnes compétences de communication scientifique (écriture, présentation).

Le/la doctorant·e devra être prêt·e à développer et maintenir des prototypes d'exergaming en réalité mixte, à instrumenter l'application pour la collecte de mesures, et à participer à l'organisation d'expérimentations.

Bibliographie

- [1] G. Lampropoulos, T. Anastasiadis, et J. Garzón, « Augmented Reality and Virtual Reality in Exergaming », *Future Internet*, vol. 17, no 8, p. 332, juill. 2025, doi: 10.3390/fi17080332.
- [2] R. Sigrist, G. Rauter, R. Riener, et P. Wolf, « Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review », *Psychon Bull Rev*, vol. 20, no 1, p. 21-53, févr. 2013, doi: 10.3758/s13423-012-0333-8.
- [3] C.-Y. Lin, M.-W. Lu, J. Shen, G.-Y. Zhou, T.-Y. Pan, et P.-H. Han, « Exploring the Impact of a Liquid-Based System on Full-Body Weight Perception in Weighted Exercise within Virtual Reality », in *Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Busan, Republic of Korea: ACM, sept. 2025, p. 1-3. doi: 10.1145/3746058.3758361.
- [4] D. Banakou, R. Groten, et M. Slater, « Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes », *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 110, no 31, p. 12846-12851, juill. 2013, doi: 10.1073/pnas.1306779110.
- [5] M. Slater, « Immersion and the illusion of presence in virtual reality », *British J of Psychology*, vol. 109, no 3, p. 431-433, août 2018, doi: 10.1111/bjop.12305.
- [6] G. Riva, B. K. Wiederhold, et F. Mantovani, « Neuroscience of Virtual Reality: From Virtual Exposure to Embodied Medicine », *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 22, no 1, p. 82-96, janv. 2019, doi: 10.1089/cyber.2017.29099.gri.

- [7] K. Kilteni, R. Groten, et M. Slater, « The Sense of Embodiment in Virtual Reality », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 21, no 4, p. 373-387, nov. 2012, doi: 10.1162/PRES_a_00124.
- [8] M. S. Islam et S. Lim, « Vibrotactile feedback in virtual motor learning: A systematic review », *Applied Ergonomics*, vol. 101, p. 103694, mai 2022, doi: 10.1016/j.apergo.2022.103694.
- [9] Z. Guo, W. Xu, J. Zhang, H. Wang, C.-H. Lo, et H.-N. Liang, « Who's Watching Me?: Exploring the Impact of Audience Familiarity on Player Performance, Experience, and Exertion in Virtual Reality Exergames », in *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, oct. 2023, p. 622-631. doi: 10.1109/ISMAR59233.2023.00077.
- [10] M. Kocur, M. Kloss, C. Schaufler, V. Schwind, et N. Henze, « Investigating the Impact of Customized Avatars and the Proteus Effect during Physical Exercise in Virtual Reality », in *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '25)*, 2025, doi: 10.1145/3706598.3713203.
- [11] N. D. Chernik et al., « Energy expenditure during virtual reality exergaming in adolescents with Autism Spectrum Disorder », *Frontiers in Virtual Reality*, 2025, doi: 10.3389/frvir.2025.1629297.
- [12] France, Code de la santé publique, Article L1172-1 « Prescription d'activité physique adaptée » (créé par la loi n°2016-41 du 26 janvier 2016).
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000031920541/
- [13] Haute Autorité de Santé (HAS), « Synthèse : Prescription d'activité physique / Activité physique adaptée (APA) », 2022. https://www.has-sante.fr/jcms/p_3360252/fr/synthese-prescription-d-activite-physique-activite-physique-adaptee-apa
- [14] A. Topol, J. Dupire et V. Gal, « PLUG: A ZigBee Network for Playing Ubiquitous Games », *Interfaces and Human Computer Interaction / Game and Entertainment Technologies / CGVCVIP*, 2015. https://cedric.cnam.fr/fichiers/art_3340.pdf
- [15] J. Dupire et al., « AZ66: Clues For a Game Design Validation Tool », *IEEE International Games Innovations Conference (ICE-GIC)*, 2009. doi: 10.1109/ICEGIC.2009.5293610.
- [16] T. Constant et G. Levieux, « Dynamic Difficulty Adjustment Impact on Players' Confidence », *CHI '19: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2019. doi: 10.1145/3290605.3300693.
- [17] Sénat, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, « La science dans la mêlée pour une nation sportive », 2025. https://www.senat.fr/rap/r25-121/r25-121_mono.html
- [18] M. S. Mologne et al., « Field-based fitness measures improve via an immersive virtual reality exergaming platform: a randomized controlled trial », *Frontiers in Virtual Reality*, 2024, doi: 10.3389/frvir.2024.1290711.