

Co-conception d'un jeu collaboratif multimodal pour le développement des compétences spatiales chez les élèves du primaire

Alain Sénécaïl ¹, Mireille Bétrancourt ¹, Gaëlle Molinari ¹, Éric Sanchez ¹, Fatou-Maty Diouf ¹.
I.TECFA – FPSE, Université de Genève.

Résumé. Le projet Deep Space a pour objectif la conception d'un EIAH visant à développer les compétences spatiales des élèves à l'école primaire. Une technologie particulièrement pertinente est la réalité virtuelle (sur ordinateur ou immersive), parce qu'elle permet de représenter des espaces à large échelle et possède des potentiels pédagogiques, technologiques et sociaux bien documentés. Pour autant, les recherches avec des élèves d'école primaire sont rares. L'approche pédagogique choisie est un format collaboratif basé sur le jeu, dont l'efficacité pour engager les élèves dans le raisonnement et la résolution de problèmes a été démontrée. Cependant, ces environnements sont exigeants en termes d'orchestration par les enseignants, notamment pour garantir une participation équitable des élèves. Cet article décrit les fondements théoriques sur lesquels s'appuie la conception du dispositif mixte (numérique et physique) et la méthode de recherche orientée conception mise en œuvre.

- 1 **Mots-clés :** cognition spatiale, réalité virtuelle, apprentissage collaboratif, jeu, recherche orientée par la conception

Abstract. The Deep Space project aims to create a Technology-Enhanced Learning Environment (TELE) to help primary school students develop their spatial skills. Virtual reality (VR), whether computer-based or immersive, is particularly useful because it allows students to explore large spaces and offers many benefits for learning and interaction. Yet, studies involving primary school students remain rare. The project uses a collaborative, game-based approach, which has proven effective in helping students think and solve problems. These tools, however, can be challenging for teachers to manage, especially to ensure all students participate equally. This article explains the ideas behind the design of the mixed (digital and physical) system and the research method used to develop it.

Keywords: spatial cognition, virtual reality, collaborative learning, game-based learning, design-based research

Introduction

La cognition spatiale, définie comme la capacité à se représenter et raisonner sur l'espace [1], est corrélée à la réussite scolaire dans des domaines comme les sciences, les mathématiques, la géographie, l'ingénierie [2]. Elle joue également un rôle central dans la résolution de problèmes complexes, le raisonnement inférentiel et la compréhension abstraite [3]. Pourtant, les recherches soulignent des inégalités précoces d'acquisition, ce qui peut impacter les trajectoires scolaires des élèves [4]. Cependant, peu d'études portent sur l'entraînement des compétences spatiales à l'école primaire dans l'objectif de réduire ces inégalités et de favoriser leur transfert dans les tâches scolaires [2]. C'est pourquoi cette recherche s'intéresse au développement, chez les élèves âgés entre 7 et 10 ans, de compétences en lien avec le macro-espace, comme la navigation, le repérage et la prise de perspectives visuo-spatiale.

Dans ce contexte, le projet DEEP Space vise à concevoir un dispositif multimodal (numérique et physique) pour soutenir le développement équitable de ces compétences spatiales chez les élèves. La réalité virtuelle (qu'elle soit sur ordinateur ou immersive) s'avère ici particulièrement pertinente, car elle permet de représenter des espaces à large échelle. Ses potentiels pédagogiques, technologiques et sociaux sont en outre bien documentés [5, 6].

Plus spécifiquement, un dispositif basé sur le jeu, collaboratif et multimodal, soutenu par des technologies immersives, pourrait constituer un levier pour favoriser l'apprentissage des compétences spatiales tout en contribuant à réduire les inégalités d'accès et d'engagement. Toutefois, de tels environnements pédagogiques posent des défis notables en matière d'orchestration : mobiliser les élèves, maintenir une dynamique collaborative et assurer une participation équilibrée ne vont pas de soi [7].

Le projet s'articule ainsi autour de quatre dimensions clés : les propriétés de l'environnement virtuel, la dynamique de collaboration entre élèves, les stratégies d'orchestration déployées par les enseignants, et les compétences spatiales ciblées.

Quelles sont alors les caractéristiques d'un environnement d'apprentissage multimodal et collaboratif — combinant réalité virtuelle, supports physiques et mécaniques de jeu — permettant de développer de manière équitable les compétences spatiales liées au macro-espace chez les élèves du primaire, et quelle méthodologie adopter pour le concevoir et l'orchestrer efficacement en contexte scolaire ?

1 Cognition spatiale, réalité virtuelle et jeu collaboratif

1.1 Réalité virtuelle et cognition spatiale

La réalité virtuelle (RV), qu'elle soit immersive ou non, permet la simulation d'environnements à grande échelle, offrant des situations d'apprentissage engageantes qui mobilisent les compétences de repérage, d'orientation et de navigation [5]. Ces environnements sollicitent la co-construction de cartes cognitives, encodées selon plusieurs

cadres de référence utilisés en parallèle (égocentré, allocentré, intrinsèque) [8]. La représentation ne se limite pas au mental : elle s'instancie aussi à travers des registres verbaux (ex. : vocabulaire spatial) et graphiques (ex. : cartes), abordés à l'école primaire mais pas nécessairement acquise.

Des études montrent que la VR peut renforcer les apprentissages spatiaux dans les disciplines STEM [9], en particulier chez les apprenants avec des compétences spatiales faibles [10]. Toutefois, d'autres recherches révèlent des effets mitigés voire négatifs sur les performances, selon le design de l'activité ou la population ciblée [11]. Peu de travaux concernent les élèves de primaire, à l'exception du projet SPAGEO qui a permis d'élaborer et tester des séquences didactiques utilisant la VR pour des enfants de 7 à 10 ans, avec des effets encourageants [12].



Fig.1. Mise en œuvre d'une séquence didactique dans le cadre du projet Spageo [12]

1.2 Jeu collaboratif et cognition spatiale

Les jeux éducatifs numériques allient motivation intrinsèque et espace virtuel propice à l'apprentissage, la pratique, l'erreur et le développement. De nombreuses études soulignent l'intérêt de ces jeux éducatifs, notamment en enseignement primaire [10, 13] et dans des contextes collaboratifs [14]. L'apprentissage collaboratif consiste à engager les élèves dans un effort conjoint de partage d'informations, de coordination et de collaboration pour résoudre une tâche commune. L'étude menée par Tversky et Hard [15] montre qu'en travaillant ensemble, les enfants sont plus enclins à adopter les perspectives de leurs pairs, en considérant les relations spatiales non seulement à partir de leurs propres expériences, mais aussi de celles des autres. Cette prise de perspective, un élément clé de l'interaction sociale efficace, s'étend au-delà des actions physiques à la compréhension et à l'interprétation de l'environnement. Viana et al. [16] démontrent que les enfants réussissent mieux les tâches de transformation spatiale lorsqu'ils les résolvent avec un partenaire plutôt que seuls. Plus précisément, c'est la théorie de l'esprit que ce projet vise à entraîner. En effet, définie comme la capacité à attribuer des

états et des processus mentaux et émotionnels à soi-même et aux autres, était un meilleur prédicteur de la performance spatiale des élèves en conditions dyadiques que leur âge, leur sexe et leur performance spatiale en situations individuelles [16].

1.3 Équité, genre et orchestration pédagogique

Les inégalités de performance en cognition spatiale, souvent observées dès le jeune âge, touchent en particulier les filles, qui sont statistiquement moins exposées à certaines activités spatiales dans leurs environnements familiaux ou scolaires [4]. Ces écarts ne sont ni biologiquement déterminés, ni inévitables, mais largement liés à des facteurs sociaux, culturels et pédagogiques. Dans cette perspective, il semble essentiel de concevoir des environnements d'apprentissage qui soient explicitement pensés pour réduire ces inégalités. Cela implique d'intégrer, dès la phase de conception, des mécanismes d'équité structurelle [17], tels que :

- des rôles favorisant une participation équilibrée ;
- des tâches interdépendantes valorisant des compétences variées ;
- et des dispositifs de reconnaissance des contributions, visibles et explicites, pour renforcer l'engagement de tous les profils d'élèves.

En parallèle, ces environnements d'apprentissage collaboratifs exigent une orchestration pédagogique fine : les enseignants doivent pouvoir gérer les transitions entre supports, réguler les interactions au sein des groupes, et mobiliser les ressources au bon moment selon les objectifs visés [7]. L'orchestration ne se réduit pas à un ajustement en aval : elle doit être intégrée dès les premières étapes du design, en tenant compte de la planification pédagogique, de l'animation en classe et de la participation des enseignants à la co-conception, en lien avec les choix technologiques et didactiques.

2 Méthode : recherche orientée par la conception

Le projet adopte une approche de recherche orientée par la conception, inscrite dans une perspective pragmatique, collaborative et itérative. Cette démarche associe enseignants du primaire, chercheurs en sciences de l'éducation et en technologies éducatives, ainsi qu'une développeuse. Les enseignants ne sont pas considérés comme des sujets d'étude, mais bien comme des partenaires à part entière du processus de conception et de la recherche.

Le processus repose sur un cycle itératif structuré à deux niveaux interdépendants :

- un premier niveau centré sur la co-conception du jeu : il comprend l'identification des besoins, la définition des compétences spatiales visées, l'élaboration des scénarios, et les premiers choix technico-pédagogiques ;
- un deuxième niveau, en continuité, qui permet l'itération et la mise à l'épreuve des conjectures et prototypes dans les contextes réels d'usage. C'est à ce niveau que s'affinent les questions de recherche, les indicateurs d'évaluation et les analyses empiriques.

Ce modèle n'est pas séquentiel : les dimensions théoriques, méthodologiques et empiriques interagissent dès les premières phases. Les conjectures et objectifs évoluent en fonction des échanges et expérimentations.

Les ateliers de co-design sont donc envisagés comme des moments fondateurs du processus. Ils permettent de reconfigurer les problématiques, de faire émerger des pistes de conception réalistes, et de mettre à l'épreuve les modèles théoriques en situation. Cette approche systémique vise ainsi à renforcer les allers-retours entre recherche et pratique, en tenant compte des contraintes institutionnelles, pédagogiques et techniques.

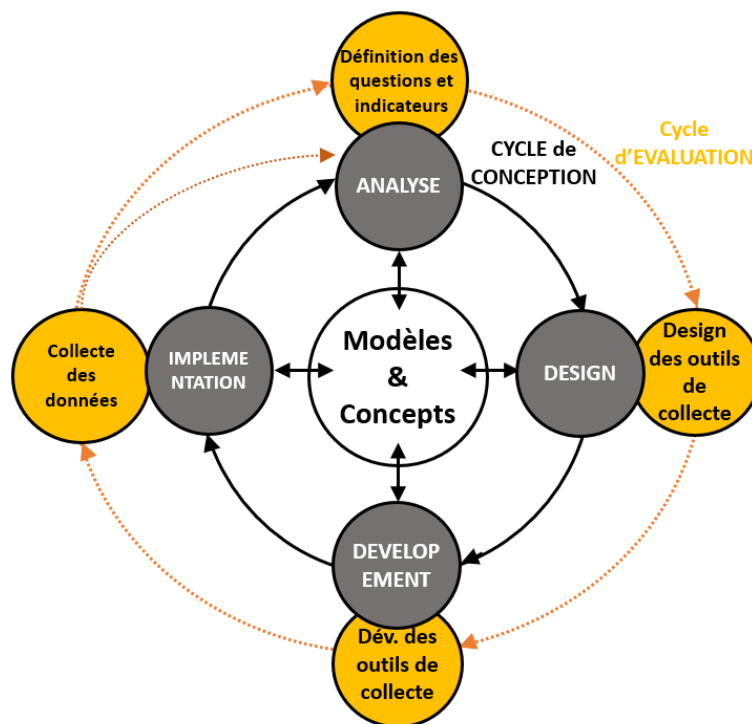


Fig.2. Le cycle de recherche orientée par la conception, adopté dans le projet (adapté de [18])

3 Prototype initial et perspectives

Deux premières journées de co-design, sous forme de Game Jam, ont réuni six enseignants du primaire, un développeur et des chercheurs en éducation (Fig. 3). Cette collaboration a permis de poser les fondements d'un prototype de jeu coopératif basé sur une aventure narrative : sauver une ville médiévale d'une malédiction en explorant ses lieux à la recherche d'artéfacts.



Fig.3. Séances de co-conception entre enseignants, chercheurs et développeur

Le jeu mobilise trois supports complémentaires :

- un plateau physique avec cartes, repères et objets tangibles (Fig. 4) ;
- une tablette numérique donnant accès à des cartes, indices et fiches de mission ;
- un casque de réalité virtuelle permettant l'exploration immersive de certains lieux.



Fig.4. Prototype du plateau de jeu

Par petits groupes, les joueurs explorent, coopèrent et résolvent des énigmes spatiales, en construisant une carte interactive évolutive, nourrie d'indices physiques (cartes, photos) et d'environnements numériques (plans, vues immersives). Ce processus soutient le passage d'un cadre égocentré (local, subjectif) à un cadre allocentré (global, partagé) de l'espace.

Le gameplay repose sur trois mécaniques principales :

- exploration multimodale : alternance entre immersion, cartes et supports textuels, stimulant la prise de perspective ;
- collaboration interdépendante : chaque joueur dispose d'informations partielles à partager ;
- validation dynamique : progression basée sur des feedbacks en temps réel et un système de points valorisant les stratégies collectives.

Ce prototype tente ainsi de répondre à une problématique complexe : comment concevoir un environnement hybride et orchestrable, capable de développer équitablement les compétences spatiales liées au macro-espace en contexte scolaire.

Cette première phase de co-design a permis de faire émerger des mécaniques de jeu cohérentes avec les objectifs d'apprentissage et les contraintes d'orchestration, illustrant l'intérêt d'une co-conception étroite avec les enseignants. Toutefois, la nature itérative de la démarche DBR, bien qu'indispensable, s'est révélée exigeante en termes de coordination, de temporalité et d'engagement des acteurs. Ces tensions invitent alors à repenser certains formats de collaboration pour en assurer la pérennité. Elles confirment aussi la pertinence d'une approche DBR, qui articule ajustements progressifs du prototype et production de connaissances transférables. Les prochaines phases viseront à stabiliser le dispositif, à tester sa robustesse en contexte réel et à analyser ses effets sur les apprentissages spatiaux et les pratiques enseignantes.

References

1. Tversky, B. (2005). Visuospatial reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 209–249). Cambridge University Press.
2. Lowrie, T., & Jorgensen, R. (2018). Equity and spatial reasoning: Reducing the mathematical achievement gap in gender and social disadvantage. *Mathematics Education Research*, 30, 65–75. <https://doi.org/10.1007/s13394-017-0213-7>
3. Delahaye, M., Lemoine, P., Cartwright, S., et al. (2015). Learning aptitude, spatial orientation and cognitive flexibility tested in a virtual labyrinth after virtual stress induction. *BMC Psychology*, 3(22), 1–11.
4. Levine, S. C., Foley, A., Lourenco, S., Ehrlich, S., & Ratliff, K. (2016). Sex differences in spatial cognition: Advancing the conversation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 7(2), 127–155. <https://doi.org/10.1002/wcs.1380>
5. Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 1–22.
6. Makransky, G., & Petersen, G. B. (2023). The theory of immersive collaborative learning (TICOL). *Educational Psychology Review*, 35(4), 103.
7. Olsen, J. K., Rummel, N., & Alevan, V. (2021). Designing for the co-orchestration of social transitions between individual, small-group, and whole-class learning in the classroom. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31, 24–56. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00228-w>
8. Tamborello, F. P., Sun, Y., & Wang, H. (2012). Spatial reasoning with multiple intrinsic frames of reference. *Experimental Psychology*, 59(3).
9. Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E., & Killingsworth, S. S. (2016). Digital games, design, and learning: A systematic review and meta-analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79–122.
10. Newcombe, N. S., Hegarty, M., & Uttal, D. (2023). Building a cognitive science of human variation: Individual differences in spatial navigation. *Topics in Cognitive Science*, 15(1), 6–14. <https://doi.org/10.1111/tops.12626>
11. Parong, J. (2021). Multimedia learning in virtual and mixed reality. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3rd ed., pp. 498–509). Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/9781108894333.051>
12. Bénard-Linh Quang, S., Berney, S., Matri, S., Coutat-Gousseau, S., & Diouf, F.-M. (2024). Les enjeux des connaissances spatiales pour la conception d'un environnement virtuel pour l'enseignement de la géométrie au primaire. In N. Duroisin & N. Loye (Eds.), *Évaluation*

des apprentissages et technologies numériques : évolution, nouveautés et défis actuels (pp. 59–100). Peter Lang. <https://doi.org/10.3726/b21721>

13. Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32(1), 77–112.
14. Jeong, H., Hmelo-Silver, C. E., & Jo, K. (2019). Ten years of computer-supported collaborative learning: A meta-analysis of CSCL in STEM education during 2005–2014. *Educational research review*, 28, 100284.
15. Tversky, B., & Hard, B. M. (2009). Embodied and disembodied cognition: Spatial perspective-taking. *Cognition*, 110(1), 124–129.
16. Viana, K. M., Zambrana, I. M., Karevold, E. B., & Pons, F. (2016). Beyond conceptual knowledge: The impact of children's theory of mind on dyadic spatial tasks. *Frontiers in Psychology*, 7, 1635.
17. Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational researcher*, 38(5), 365–379.
18. Prior, E., Mandran, N., Monnier, S., Jaccard, D. (2025). co.LAB: A Web Platform Dedicated to the Design and Evaluation of Learning Games. In: Leahy, M., Reffay, C. (eds) *Digitally Transformed Education: Are We There Yet?*. OCCE 2024. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 734. Springer, Cham.