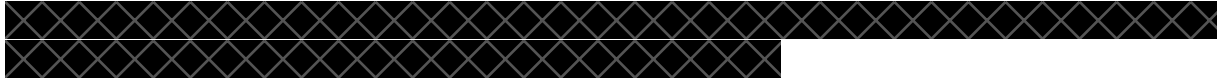


IA médiatrice pour la résolution collaborative et créative de problèmes tangibles en réalité virtuelle



Laboratoire d'accueil : LaBRI et IMN, Bordeaux Neurocampus (où est hébergée l'équipe Mnemosyne)

Court résumé :

Ce projet de thèse vise à étudier la conception d'un agent artificiel médiateur, notamment sa modélisation, ses modes de représentation et ses interactions avec les humains, dans le cadre de la résolution collaborative et créative de problèmes à distance, ainsi qu'à évaluer son rôle au sein de cette collaboration. Nous envisageons un agent conversationnel pouvant intervenir à différents niveaux: facilitation de processus, stimulation créative et régulation socio-cognitive, dans le but d'améliorer la qualité de la solution co-construite tout en préservant l'agentivité des collaborateurs. Le terrain expérimental est un environnement virtuel déjà développé, dans lequel des dyades doivent concevoir un véhicule autonome à partir de cubes modulaires robotiques. La thèse s'appuie sur une approche multidisciplinaire (IA, neurosciences computationnelles, IHM, psychologie cognitive) et vise à produire des modèles computationnels de la médiation, des protocoles d'évaluation expérimentaux et des principes de conception pour des agents médiateurs éthiques et transparents.

Brève description du groupe de recherche / laboratoire d'accueil :

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans une collaboration entre deux équipes aux expertises complémentaires :

- L'équipe **Mnemosyne** (Inria Bordeaux, LaBRI, IMN) positionnée à l'interface de l'intelligence artificielle et des neurosciences computationnelles,
- Et l'équipe **ILDA** (LISN, Université Paris-Saclay, CNRS, Inria), spécialisée en interaction humain-machine (IHM), en particulier dans les environnements immersifs et collaboratifs.

Description de la proposition de doctorat

Contexte et scénario

Le sujet de thèse s'inscrit dans une collaboration entre l'équipe [Mnemosyne](#) (IA et neurosciences computationnelles) et l'équipe [ILDA](#) (interaction humain-machine et environnements immersifs). Nous nous appuierons sur la tâche expérimentale CubeQuest (Le Meudec et al., 2024), elle-même dérivée de la tâche [CreaCube](#) initialement développée en sciences de l'éducation par le laboratoire [LINE](#) afin d'étudier la créativité et la collaboration (Romero et al., 2019). Cette tâche a fait l'objet d'une formalisation computationnelle symbolique dans le cadre d'un partenariat entre le LINE et Mnemosyne, permettant son utilisation comme paradigme expérimental contrôlé pour l'analyse des processus cognitifs en résolution créative de problèmes (Mercier, 2023 ; Alexandre et al., 2022). Elle a été étendue à un environnement numérique immersif dans le cadre de travaux menés avec les équipes Bivvac et ILDA (Le Meudec et al., 2024), permettant d'étudier l'impact de différents espaces de travail (*workspaces*) sur la résolution collaborative de tâches en réalité virtuelle (Le Meudec et al., 2025) dans le cadre d'une thèse co-encadrée par ces équipes et co-financée par une bourse d'accompagnement du PEPR. Dans cet environnement, deux

participants collaborent à distance pour assembler un véhicule autonome fonctionnel à partir de quatre modules cubiques aux propriétés complémentaires (mobilité, perception, énergie, calcul).

Problématique, objectifs et questions de recherche

Si les technologies de collaboration médiatisée par ordinateur ont fait l'objet de décennies de recherche (voir Ba et al., 2016 pour une revue), l'introduction d'agents intelligents comme tiers médiateurs actifs dans des processus créatifs collaboratifs reste largement sous-explorée, en particulier lorsque la tâche est mal définie et que l'environnement est immersif (VR), impliquant des données multimodales et du raisonnement visuo-spatial. Ainsi, les objectifs scientifiques sont les suivants :

- O1 : Établir un modèle computationnel de la médiation dans un processus collaboratif de résolution créative de problème.
- O2 : Identifier et opérationnaliser les fonctions de médiation pertinentes (facilitation, stimulation créative, régulation socio-cognitive)
- O3 : Évaluer expérimentalement l'impact de ces fonctions sur la qualité de la solution co-construite, la dynamique collaborative et l'expérience subjective des participants.
- O4 : Proposer des principes de conception pour des agents médiateurs explicables, éthiques, explicites et préservant l'autonomie des collaborateurs.

En lien avec ces objectifs, la thèse s'articulera ainsi autour des sous-questions suivantes :

- Q1 (cf objectif O1) Comment modéliser, sous un formalisme computationnel, différents types de médiation (facilitation, stimulation créative, régulation socio-cognitive) ?
- Q2.1 (cf O2/O4) Quels sont les rôles et modalités d'intervention pertinentes pour un agent médiateur dans une tâche de résolution collaborative et créative de problème ?
- Q2.2 (cf O2/O4) Comment représenter ces types de médiation vis-à-vis des utilisateurs ? Comment intégrer la médiation dans des contextes où les utilisateurs sont déjà chargés visuellement (VR) et cognitivement (résolution de tâche) ?
- Q3.1 (cf O3/O4) Quel est l'impact de ces formes de médiation sur la qualité des solutions produites, les dynamiques d'interaction, et l'agentivité perçue des participants ?
- Q3.2 (cf O3/O4) Quel est l'impact des explications de l'IA sur la confiance et l'agentivité des utilisateurs ?

Fondements théoriques et bref état de l'art

Les travaux en IHM ont largement documenté l'importance de la présence, de l'incarnation et de la coordination dans les interactions médiées par la réalité virtuelle, montrant que les modalités d'interaction influencent fortement la qualité de la collaboration, en particulier dans des tâches impliquant la manipulation d'artefacts (voir Zhou et al., 2025 pour une revue récente). En parallèle, les dernières avancées en IA générative ont montré des capacités importantes des grands modèles de langue (LLM) en génération d'idées sous forme de recombinaison de connaissances (Gu et al., 2024). Leurs capacités conversationnelles permettent également de médier les interactions humaines (Meng et al., 2025). Cependant, ces modèles souffrent d'une absence d'ancrage sensori-moteur, ce qui restreint leur capacité à raisonner sur des données multimodales et des contraintes physiques (Hayashi et al., 2026). À l'inverse, les humains disposent de compétences solides en raisonnement visuo-spatial, issues de leur expérience du monde physique. Cette asymétrie suggère une forme de complémentarité entre humains et systèmes d'IA, particulièrement pertinente dans des tâches de résolution créative de problèmes tangibles.

Une revue systématique récente (Ba et al., 2026) sur 46 études entre 2014 et 2025, dans le domaine de l'apprentissage collaboratif soutenu par ordinateur (CSCL), montre que les agents intelligents médiateurs en contexte collaboratif remplissent plusieurs fonctions dominantes, parmi lesquelles le scaffolding cognitif (guidage, prompts, reformulation) et la facilitation sociale

(relances, régulation des tours de parole, coordination). En parallèle, d'autres travaux issus de la créativité computationnelle se sont concentrés sur le rôle de l'IA comme co-créateur pour la génération d'idées (e.g. Peng et al., 2026 ou encore Zhou et al., 2026). Ces paradigmes ont rarement été unifiés dans un seul modèle d'agent médiateur, encore moins évalués empiriquement dans une tâche de résolution d'un problème tangible. Une étude d'Aslan et al. (2025) constitue à ce jour l'une des rares contributions empiriques sur la médiation par IA en contexte de résolution créative de problèmes tangibles à visée pédagogique. Si elle apporte des éléments prometteurs sur la faisabilité d'une telle médiation y compris en contexte écologique, elle ne permet pas d'isoler l'effet propre de l'agent, en l'absence de condition de contrôle sans médiation. La thèse proposée comble précisément cette lacune en adoptant un protocole expérimental comparatif systématique et en s'appuyant sur des travaux précédemment réalisés dans un contexte non médié par IA (Le Meudec et al., 2025).

D'autre part, si des agents artificiels peuvent contribuer à structurer les échanges et équilibrer la participation (Dang et al., 2025), les effets peuvent être ambivalents : risques de surcharge cognitive, de dépendance ou de perte d'agentivité (Guo et al., 2025). La question de l'intelligibilité des interventions de l'IA est ainsi centrale : des explications adaptées peuvent améliorer la compréhension des recommandations, favoriser leur acceptation et prévenir la surconfiance (Bansal et al., 2021). Il existe encore peu de travaux proposant simultanément une formalisation computationnelle de la médiation, une prise en compte de l'explicabilité, et une évaluation contrôlée en environnement immersif : la thèse proposée s'inscrit dans cet espace, en mobilisant un paradigme expérimental instrumenté pour étudier de manière systématique le rôle d'agents médiateurs artificiels dans des situations de résolution créative de problème en collaboration.

Approches et méthodes

La thèse adopte une approche combinant modélisation, implémentation et évaluation expérimentale. Nous envisageons le plan d'étude suivant :

Phase 1 : Modélisation et instrumentation

Revue systématique de la littérature sur la résolution collaborative et créative de problème, et la médiation IA en contexte collaboratif, plus spécifiquement en réalité virtuelle. Première formalisation d'un modèle computationnel de l'agent médiateur (couche perceptive multimodale, couche délibérative, couche d'action, explications). Spécification de différents profils d'agents (facilitateur, stimulateur, régulateur). Conception des différents types de représentation pour la médiation et ses explications (textuelles ou vocales, visualisations (ex : mise en évidence de contraintes physiques)) à travers l'interface utilisateur. Développement d'un premier prototype de l'agent médiateur (avec l'appui d'étudiants M2 informatique).

Phase 2 : Études expérimentales

Série d'expériences contrôlées en laboratoire avec des dyades, comparant différentes conditions de médiation, la condition sans agent ayant été étudiée dans Le Meudec (2025) (agent facilitateur seul, agent stimulateur créatif seul, agent régulateur socio-cognitif seul, agent intégré), avec différentes représentations dans l'interface, éventuellement sur différents espaces de travail (partagés, répliqués, séparés).

Phase 3 : Consolidation et valorisation

Raffinement du modèle computationnel et représentation de médiation à partir des données expérimentales. Formulation de principes de conception pour des agents médiateurs éthiques et transparents. Développement d'un démonstrateur intégrant les conclusions de la thèse. Publications et communication des résultats dans les communautés IHM et IA.

Evaluation des contributions

Sur le plan méthodologique, la validité des résultats sera assurée par la reproductibilité du protocole expérimental (paradigme instrumenté, conditions contrôlées), ainsi que par la comparaison systématique de plusieurs configurations d'agents.

Sur le plan empirique, les modèles et fonctions de médiation proposés seront évalués à travers les études expérimentales décrites précédemment, en comparant différentes conditions de médiation à une condition de référence sans agent (Le Meudec et al., 2025). Les effets seront mesurés à l'aide d'indicateurs quantitatifs (qualité des solutions, temps de résolution, diversité des stratégies explorées ; comparaison statistique des effets significatifs des différentes formes de médiation et de leurs modalités de représentation) et qualitatifs (expérience utilisateur, perception de l'agentivité, acceptation de l'agent).

Enfin, sur le plan de la conception, les principes proposés seront discutés au regard des résultats expérimentaux, notamment en ce qui concerne les compromis entre explicabilité, charge cognitive et agentivité. Leur pertinence sera également appréciée au regard de leur transférabilité à d'autres contextes de collaboration médiée par IA, en particulier des contextes écologiques.

Nature de la collaboration numérique

Fonction	Coordination, communication, co-construction de représentations partagées, émergence de créativité collective
Type	Synchrone à distance (session PC ou VR collaborative en temps réel)
Échelle de temps	Sessions courtes (10 à 30 minutes) sans répétition, après une phase de familiarisation préalable (5 min)
Taille du groupe	Deux collaborateurs (dyade)
Espace	Distant et immersif (chaque participant dans son propre espace physique, co-présent dans l'espace virtuel). Nous pourrions examiner les trois types d'espace proposés par Le Meudec et al. (2025) dans le cadre de la collaboration non médiée par IA : partagé, répliqué, ou séparé, afin cette fois-ci d'évaluer l'impact de la médiation par IA sur la collaboration dans chacun de ces contextes.
Modalités	Voix, geste (contrôleurs VR), regard (eye-tracking), manipulation d'objets 3D
Rôle de l'IA	Agent tiers médiateur explicite et visible, intervenant selon trois fonctions complémentaires : facilitation de processus (gestion des tours de parole, synthèse des propositions), stimulation créative (suggestions, reformulations, rupture de fixation), et régulation socio-cognitive (gestion des conflits, équilibrage de la participation). Les interventions sont rendues intelligibles via des mécanismes d'explicabilité adaptés au contexte visuo-spatial de la tâche.

Contribution à la collaboration numérique

La thèse vise à produire des contributions à fort impact à plusieurs niveaux :

Sur le plan théorique et computationnel, la thèse proposera: (i) Le premier modèle formel intégrant trois fonctions de médiation IA (facilitation, stimulation créative, régulation socio-cognitive) dans le contexte de la résolution créative de problème. (ii) Des recommandations sur la façon dont l'agent de médiation doit être représenté et interagir avec les êtres humains.

Sur le plan empirique, le corpus de données multimodales (comportementales, interactionnelles) produit à partir de l'environnement VR constituera une ressource mutualisable pour la communauté eNSEMBLE, en particulier pour les thèses du PC3 et du PC1.

Sur le plan technique et sociétal, le démonstrateur public permettra d'illustrer concrètement les apports de la recherche auprès de publics non-académiques (éducation, formation professionnelle, design). Les principes de conception pour agents médiateurs éthiques pourront par ailleurs alimenter des discussions de normalisation au niveau européen (AI Act, cadres d'évaluation des systèmes IA en contexte collaboratif), si possible en lien avec le PC5.

Positionnement dans le programme eNSEMBLE

Ancrage dans le PC3 MATCHING Le projet de thèse s'inscrit directement dans les objectifs du PC3, dédié aux mécanismes de collaboration médiée entre acteurs humains et artificiels. En particulier, le sujet cible 2 des 4 priorités scientifiques du PC3: (1) modèles computationnels de collaboration facilitée par des agents intelligents et leur application à des études de terrain ; et (2) recherche théorique et appliquée sur la collaboration assistée par l'IA dans les activités créatives et la conception collective. Le PC3 vise notamment à comprendre et concevoir des formes de collaboration hybrides, dans lesquelles des agents artificiels ne se limitent pas à des fonctions d'assistance, mais participent activement à la structuration des interactions. Dans ce cadre, le projet proposé aborde la question du positionnement fonctionnel d'un agent d'intelligence artificielle en tant que médiateur au sein d'une interaction humain-humain. La tâche CubeQuest constitue un cas d'usage original et représentatif de résolution créative de problème tangible dans un environnement virtuel.

Connexions avec les travaux existants du PEPR Ce projet s'appuie explicitement sur les données et modèles issus de la thèse en cours co-financée par une bourse d'accompagnement du PEPR, en étendant l'étude de la collaboration humain-humain à un contexte médié par IA sur la même tâche. Plus généralement, des connexions scientifiques sont envisagées avec le PC1 CATS (collaboration dans des espaces hétérogènes et immersifs), notamment sur les questions de représentation de l'agent dans l'espace VR et de transitions entre espaces de collaboration, ainsi qu'avec d'autres projets du PC3 étudiant la collaboration créative médiée par IA dans des contextes plus écologiques, comme celui du design (eg "Co-Creating with AI: Using AI as a Creative Partner in Design Teams").

Références

- Alexandre, F., **Mercier, C.**, Palaude, A., Romero, M., & **Viéville, T.** (2022). The role of cognitive processes in creative problem solving : A computational approach. *7th annual meeting of the Society for the Neuroscience of Creativity (SfNC 2022)*
<https://inria.hal.science/hal-03659409>
- Aslan, S., Alyuz, N., Li, B., Durham, L. M., Shi, M., Sharma, S., & Nachman, L. (2025). An early investigation of collaborative problem solving in conversational AI-mediated learning environments. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100393.
<https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100393>
- Ba, S., Shi, X., Wu, S., & Lu, G. (2026). Artificial intelligence agents in computer-supported collaborative learning : A systematic literature review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 10, 100579. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2026.100579>
- Bansal, G., Wu, T., Zhou, J., Fok, R., Nushi, B., Kamar, E., Ribeiro, M. T., & Weld, D. (2021). Does the Whole Exceed its Parts? The Effect of AI Explanations on Complementary Team

- Performance. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '21*, 1-16. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445717>
- Dang, B., Huynh, L., Gul, F., Rosé, C., Järvelä, S., & Nguyen, A. (2025). Human–AI collaborative learning in mixed reality : Examining the cognitive and socio-emotional interactions. *British Journal of Educational Technology*, 56(5), 2078-2101. <https://doi.org/10.1111/bjet.13607>
- Eastman, C. M. (1969). Cognitive processes and ill-defined problems : A case study from design. *Proceedings of the 1st international joint conference on Artificial intelligence, IJCAI'69*, 669-690.
- Gibson, J. J. (1986). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press.
- Gu, T., Wang, J., Zhang, Z., & Li, H. (2024, décembre 18). *LLMs can Realize Combinatorial Creativity : Generating Creative Ideas via LLMs for Scientific Research*. arXiv.Org. <https://arxiv.org/abs/2412.14141v2>
- Guo, W., Liang, Z., Wang, C., Li, X., Hu, H., Chen, S., Yu, Q., & Zhao, Q. (2025). Student-AI collaborative creative Problem-Solving : The role of human agency. *Computers & Education*, 239, 105433. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105433>
- Hayashi, S. Y., & Hirata, N. S. T. (2026). *Limits of Imagery Reasoning in Frontier LLM Models* (arXiv:2603.26779). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.26779>
- Le Meudec, J., **Bezerianos, A., Mercier, C.**, & Prouzeau, A. (2024). Learning with immersive technologies : A VR task to study collaborative learning. *IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine*. <https://hal.science/hal-04487309>
- Le Meudec, J., **Bezerianos, A.**, & Prouzeau, A. (2025). Shared, Replicated, or Separated? A Comparative Study of Virtual Workspace Configurations for Collaborative Hands-on Learning. *2025 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 717-727. <https://doi.org/10.1109/ISMAR67309.2025.00081>
- Meng, J., Zhang, R., Qin, J., Lee, Y.-J., & Lee, Y.-C. (2025). AI-mediated social support : The prospect of human–AI collaboration. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 30(4). <https://doi.org/10.1093/jcmc/zmaf013>
- Mercier, C.** (2023). An Ontology to Formalize a Creative Problem Solving Activity. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 15(4), 1891-1904. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2022.3210234>
- Peng, X., Haldar, D., Mackay, W. E., & Koch, J. (2026). DesignTrace : Exploring, Iterating and Tracking Design Alternatives with GenAI. *Proceedings of the 2026 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '26*, 1-22. <https://doi.org/10.1145/3772318.3791036>
- Romero, M., David, D., & Lille, B. (2019). CreaCube, a Playful Activity with Modular Robotics. In M. Gentile, M. Allegra, & H. Söbke (Éds.), *Games and Learning Alliance* (p. 397-405). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7_37
- Simon, H. A., & Newell, A. (1971). Human problem solving : The state of the theory in 1970. *American Psychologist*, 26(2), 145-159. <https://doi.org/10.1037/h0030806>
- Zhou, H., Dong, Y., Inami, M., Sarsenbayeva, Z., & Withana, A. (2025). A Survey on *Methodological Approaches to Collaborative Embodiment in Virtual Reality* (arXiv:2507.18877). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.18877>
- Zhou, Z., Xiao, L., Wang, J., Tong, S., Zhang, W., & Hao, N. (2026). Group-AI Collaboration Enhances Creativity Performance : The Roles of Perspective-Taking and AI Utilisation Strategies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 42(2), e70223. <https://doi.org/10.1002/jcal.70223>