

Vers l'amélioration de l'intelligence collective dans un environnement virtuel

Tristan Lannuzel
CESI-LINEACT
Nanterre, France
tlannuzel@cesi.fr

Beatrice Biancardi
CESI-LINEACT
Nanterre, France
bbiancardi@cesi.fr

Mukesh Barange
CESI-LINEACT
Nanterre, France
mbarange@cesi.fr

Stéphanie Buisine
CESI-LINEACT
Nanterre, France
sbuisine@cesi.fr

ABSTRACT

L'intelligence collective est une mesure prédictive de la capacité d'un groupe à accomplir une grande variété de tâches. C'est un indicateur important à prendre en compte pour le fonctionnement efficace d'un groupe. Plusieurs études ont examiné la fiabilité de cet indicateur dans divers environnements, notamment en condition de face-à-face, à travers une communication à distance, et même dans un jeu vidéo en ligne. Cependant, peu d'études se sont intéressées à l'applicabilité de ce concept à la collaboration en réalité virtuelle et, par conséquent, l'influence que ce médium peut avoir sur la dynamique de groupe. À travers le cadre théorique du Système de Mémoire Transactive pour l'Intelligence Collective, l'objectif de ce travail est triple : (1) comprendre comment l'intelligence collective influence le comportement d'un groupe (c.-à-d. les signaux verbaux et non verbaux) dans un environnement virtuel immersif, (2) utiliser ces signaux pour développer une interaction pouvant améliorer la dynamique de groupe en réalité virtuelle, et (3) appliquer ces résultats à une plateforme immersive à vocation pédagogique améliorant la collaboration et l'apprentissage en groupe. Ce travail aura des implications sur les connaissances théoriques concernant l'intelligence collective, ainsi que sur les possibilités offertes par un environnement immersif dans un contexte éducatif.

KEYWORDS

Intelligence collective – Réalité virtuelle - Interaction multimodale
– Éducation – Apprentissage – Système de mémoire transactive

1 INTRODUCTION

Au fil de la dernière décennie, les progrès technologiques ont ouvert de nouvelles perspectives pour l'éducation, notamment à travers les possibilités immersives proposées par la réalité virtuelle (RV). De plus, l'intérêt croissant de la communauté scientifique pour l'étude de l'intelligence collective (IC) offre également des opportunités stimulantes pour améliorer l'efficacité et l'engagement dans le processus d'apprentissage. Dans ce contexte, nous visons à mieux comprendre les dynamiques de l'IC dans un environnement immersif afin de concevoir une interaction favorisant une meilleure collaboration et une prise de décision collective plus efficace. Cet article présentera d'abord brièvement l'état de l'art lié à l'étude de l'IC, puis nous discuterons du cadre théorique utilisé pour orienter notre étude : le Système de Mémoire Transactive (TMS) pour l'Intelligence Collective (TMS-CI). Enfin, nous donnerons un aperçu de la direction de recherche que ce travail prendra.

1.1 Une mesure objective de l'intelligence collective

Dans une étude visant à comprendre les déterminants de la performance des groupes, Woolley et ses collègues [22] ont établi une analogie entre l'intelligence individuelle et l'IC d'un groupe. Ils ont appliqué la définition opérationnelle de l'intelligence individuelle générale, couramment utilisée en psychologie, désignée par le facteur 'g', qui prédit la performance individuelle dans diverses tâches. L'équipe de Woolley a identifié un seul facteur, le *c-factor*, par le biais d'une analyse factorielle de la performance d'un groupe sur plusieurs tâches, expliquant plus de 40% de la variance de la performance entre différents groupes [22]. Les auteurs soulignent l'importance de la composition du groupe, révélant une forte corrélation avec la sensibilité sociale moyenne des membres du groupe et la proportion de femmes dans le groupe. Ils démontrent également une corrélation faible entre le *c-factor* et l'intelligence individuelle des membres du groupe. Concernant les processus collaboratifs du groupe, les auteurs mettent l'accent sur l'importance de la distribution du temps de parole entre les membres du groupe sur sa performance réalisée. Plusieurs études ont ainsi confirmé la fiabilité de ce facteur dans différents environnements, notamment en conditions de face-à-face, par écrans interposés [8] ou à travers un jeu vidéo en ligne [14]. Sur cette base, ils ont développé un test objectif de mesures comportementales, le Test de l'Intelligence Collective (TCI), disponible en ligne sur la plateforme POGS¹ (*Platform for Online Group Studies*)[7].

Dans une méta-analyse récente [18] comprenant 22 études utilisant le TCI avec 1356 groupes, les auteurs ont révélé une forte corrélation entre les processus collaboratifs en groupe et l'IC. Plus précisément, ils ont identifié trois prédicteurs résultant de l'interaction entre les membres du groupe : *Effort collectif* (c.-à-d. la somme des efforts individuels pour toutes les tâches), *Utilisation adaptée des compétences* (la capacité du groupe à aligner les compétences et les contributions des membres sur le travail de la tâche), et la *Stratégie* (l'utilisation d'une stratégie adaptée à l'exécution de la tâche). Ces indices ont montré une relation forte avec l'IC, démontrant un potentiel prédictif significatif pendant l'interaction de groupe. D'autres recherches ont révélé une connexion entre l'IC et la structure d'un groupe, en mettant en avant l'impact de la hiérarchie et de l'équilibre entre hommes et femmes sur la synchronisation vocale [6, 19], ainsi que l'importance de la diversité cognitive et ethnique [2, 6]. De plus, des auteurs [1] ont également montré une relation forte entre le *c-factor* d'un groupe et sa vitesse d'apprentissage. Il est donc important de prendre en compte simultanément l'aspect structurel (c.-à-d. la composition initiale) et le fonctionnement du groupe (les processus) dans la compréhension

¹<https://github.com/CCI-MIT/POGS>

de l'IC afin de pouvoir l'utiliser de façon appropriée dans un cadre éducatif.

Par ailleurs, il est essentiel de noter certains aspects critiques concernant le *c-factor*, notamment l'importance de la tâche dans l'émergence de l'IC. Dans [10], par exemple, les auteurs soulignent le rôle important de la structure de la tâche (c.-à-d. l'objectif clairement défini ou non) dans l'émergence de l'IC. Dans le même ordre d'idées, plusieurs études [3, 9] révèlent une corrélation entre l'intelligence individuelle et collective selon le type de mécanisme cognitif utilisé pour résoudre la tâche. Reconnaître les objectifs du groupe comme crucial dans l'émergence de l'IC souligne la nécessité d'une approche nuancée, en prenant en compte les caractéristiques de la tâche pour une compréhension complète de l'IC.

Ces diverses contributions empiriques fournissent plusieurs éléments nous permettant de comprendre à la fois les variables favorisant l'émergence de l'IC et les mécanismes expliquant une collaboration efficace au sein d'un groupe. Dans la section suivante, nous allons brièvement décrire les cadres théoriques de l'IC et plus particulièrement le TMS-CI. Nous discuterons finalement du choix de s'orienter vers ce courant théorique.

1.2 Cadre du Système de Mémoire Transactive pour l'Intelligence Collective (TMS-CI)

Le concept du "Système de Mémoire Transactive" (TMS) a été initialement introduit par [20] pour comprendre comment les couples coordonnent leurs actions afin résoudre un problème. Repris ensuite par [17] pour les groupes, ce concept décrit une compréhension distribuée, parmi les membres du groupe, des compétences et des connaissances mutuelles. Cette "méta-mémoire" permet de savoir, pour chaque membre du groupe, "qui sait quoi" et de qui récupérer des informations pour une coordination efficace. Dans d'autres travaux, [15] a démontré l'importance de trois dimensions dans l'émergence d'un système de mémoire transactive efficace : la *Coordination* (c.-à-d. la fluidité et l'efficacité des actions de groupe), la *Crédibilité* (la confiance associée à la connaissance mutuelle des membres), et la *Spécialisation* (l'expertise des membres du groupe dans différents aspects d'une tâche). Ces trois dimensions ont depuis été mesurées à l'aide d'un questionnaire de type Likert de 15 items (cinq items pour chaque dimension), qui est largement utilisé dans l'étude du TMS [16]. De plus, une étude récente [4] a montré des corrélations entre ces trois dimensions et les mesures de comportements non verbaux dans une tâche de groupe. Plusieurs indices, notamment l'orientation de la tête, l'arrangement spatial des membres du groupe, le nombre de tours de parole ou leurs durées moyennes, sont apparus comme des facteurs potentiellement explicatifs des différentes dimensions du modèle TMS.

S'appuyant sur les fondements théoriques du modèle TMS, Gupta et ses collègues [12] partent du postulat qu'un système intelligent se caractérise par trois composantes fondamentales : la mémoire, l'attention et les processus de raisonnement. Dans cette perspective, ils ont étendu la version originale du TMS au TMS-CI, tel qu'illustré dans la Figure 1, en avançant que trois systèmes socio-cognitifs distincts émergent au sein des membres du groupe : les Systèmes de Mémoire Transactive (TMS) pour coordonner les connaissances et compétences limitées et distribuées ; les Systèmes d'Attention Transactive (TAS) pour gérer l'attention limitée des

membres ; et les Systèmes de Raisonnement Transactifs (TRS) pour coordonner efficacement les objectifs collectifs tout en satisfaisant les diverses motivations des membres. Les processus inter-membres qui constituent ces systèmes sont considérés comme transactifs, car chaque collaborateur apporte un ensemble spécifique de ressources cognitives, qu'ils combinent et échangent avec d'autres collaborateurs pour améliorer leur capacité collective afin de poursuivre des objectifs mutuellement bénéfiques [12].

Enfin, les auteurs postulent que l'émergence et l'adaptation mutuelle de ces sous-systèmes fournissent le cadre nécessaire au développement de l'IC, permettant au groupe de s'adapter à la complexité de l'environnement auquel il est confronté. Plus précisément, de cette adaptation entre ces sous-systèmes résulte deux fonctions assurant le fonctionnement global du TMS-CI : (1) une fonction de *production*, permettant l'utilisation efficace des ressources du groupe pour atteindre les objectifs individuels et collectifs, et (2) une fonction de *maintenance*, assurant le bon fonctionnement global à travers, par exemple, le maintien de la motivation ou la résolution des conflits. Selon ce cadre théorique, la fonction de production serait assurée par le bon fonctionnement du TMS et du TAS, car ils travaillent en parallèle pour coordonner les apports des membres du groupe, optimisant ainsi l'utilisation de leurs connaissances et de leurs compétences. La fonction de maintenance, gérée par le TRS, constitue le fondement de la motivation et assure le bon fonctionnement du groupe en organisant les objectifs individuels et collectifs [12].

Le choix de ce modèle repose sur l'idée qu'il définit l'IC comme un état émergent, résultant à la fois de l'interaction entre les modules socio-cognitifs des membres d'un groupe, mais également des composants cognitifs transactifs du TMS-CI. D'autres modèles se sont intéressés à ce concept, expliquant plus précisément le partage des connaissances au sein d'un groupe. Par exemple, la théorie du Modèle Mental Partagé [5] s'intéresse davantage à la structure des connaissances partagées entre les membres d'un groupe. Ce modèle, similaire au modèle TMS, offre des perspectives intéressantes sur le fonctionnement d'un groupe concernant les connaissances distribuées, mais n'explique pas comment l'IC émerge au sein du groupe d'un point de vue interactionnel. L'utilisation du modèle TMS-CI permet une vision plus dynamique et fonctionnelle à travers le comportement des modules transactifs. Dans la même idée, le modèle *Input-Mediator-Output-Input* (IMOI) [13] propose une structure simple pour comprendre le fonctionnement des équipes. Il suggère que l'effet des *inputs*, tels que les compétences des membres ou les facteurs contextuels, est médié par des processus internes (*mediators*), comme la coordination et la communication, pour produire des *outputs*, tels que la performance de l'équipe. Ce modèle a l'avantage de prendre en compte la composante temporelle et cyclique de l'expérience d'un groupe, offrant ainsi une vision "dynamique" de son développement. Ces choix théoriques nous donnent des perspectives intéressantes quant à la compréhension de l'IC. Ils permettent un focus sur les processus interactionnels, essentiel pour l'objectif de ce travail.

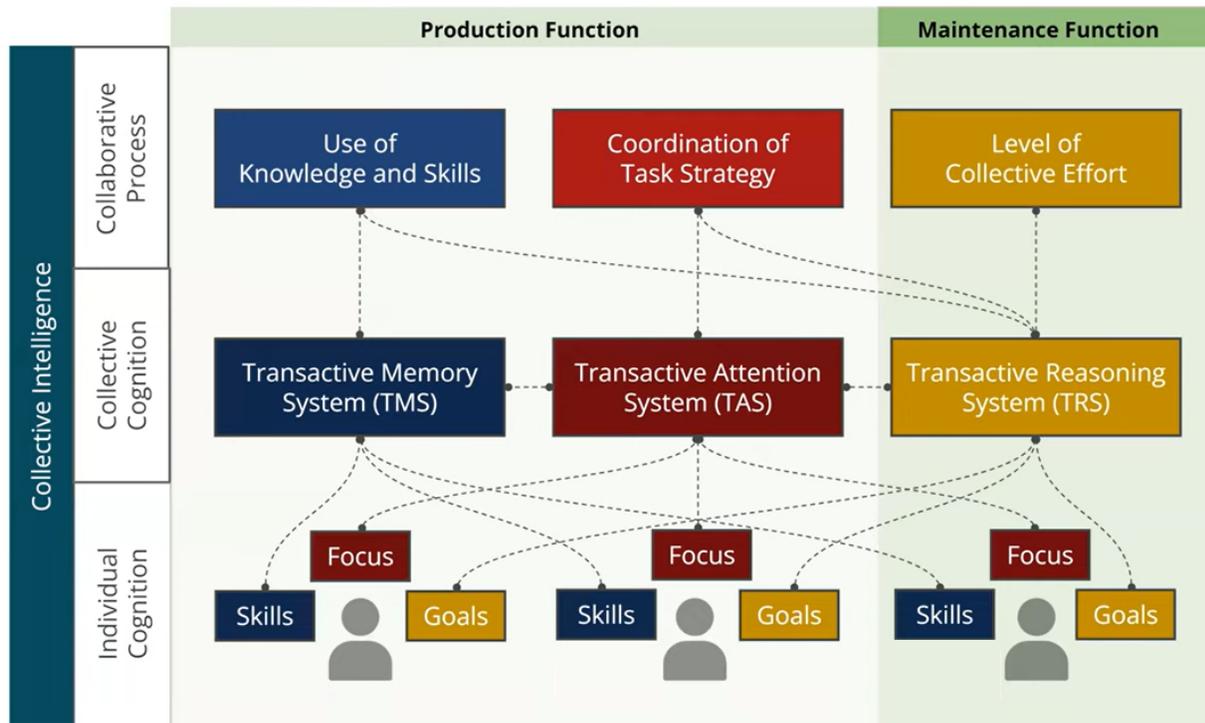


Figure 1: Diagramme illustrant les composantes du TMS-CI. Chaque membre du groupe possède une cognition individuelle, composée de compétences (*Skills*), focalisation attentionnelle (*Focus*) et objectifs ou motivations personnels (*Goals*). L'IC émerge de ces différentes composantes individuelles, formant le TMS, le TAS et le TRS. Les processus de collaboration, placés selon la nature de leurs rôles dans les fonctions de production et de maintenance, sont alors observés comme des indices diagnostiques et observables (c.-à-d. *Collective effort*, *Skill use* et *Strategy*) du système transactif. Tirée de [12].

2 ORIENTATION DE LA RECHERCHE ET MÉTHODOLOGIE ENVISAGÉE

L'orientation que va prendre ce travail de recherche, illustrée par la Figure 2, se concentrera à la fois sur les cadres théoriques du TMS-CI et du IMOI ainsi que les indicateurs du processus de groupe associés aux comportements verbaux et non verbaux observés. Dans ce contexte et compte tenu de l'état de l'art décrit précédemment, ce travail vise à répondre aux questions de recherche suivantes :

Q1 : Le potentiel d'un groupe, tel que mesuré par le *c-factor*, est-il cohérent entre les différents environnements utilisés pour les tâches de groupe, y compris ceux immersifs en RV ?

Q2 : Les indices comportementaux de l'IC, identifiés dans les recherches précédentes, sont-ils observables dans les environnements de RV ? Si ce n'est pas le cas, comment s'articulent-ils dans un environnement immersif en RV ?

Q3 : L'analyse de ces indices, dans un contexte de RV, peut-elle conduire à des améliorations de la performance du groupe et de l'apprentissage ? Si oui, comment exploiter de façon adaptée ces indices ?

Pour la suite de ce travail, nous prévoyons les études suivantes pour répondre aux questions présentées ci-dessus.

2.1 Adaptation du TCI en français

Une étape préliminaire de notre travail consistera à développer une adaptation en français du TCI afin de l'appliquer à travers la plateforme POGS à une population française. Cette étape est nécessaire pour vérifier la consistance du *c-factor* à une population française pour ainsi l'appliquer dans un environnement virtuel immersif. De plus, le but de cette adaptation sera d'élargir la visibilité scientifique et l'applicabilité du test à une population francophone.

2.2 Mesure des indices comportementaux dans la RV

L'étude suivante consistera à développer une tâche expérimentale pour tester le potentiel d'un groupe, mesuré par le *c-factor*, dans un environnement de RV. L'objectif de cette étude concernant les indices comportementaux de l'IC sera double : (1) observer la présence (ou non) des indices comportementaux décrits dans la littérature de l'IC dans un environnement immersif et (2) identifier d'autres indices pouvant expliquer la dynamique de groupe en temps réel. Cette étude et les variables comportementales qui

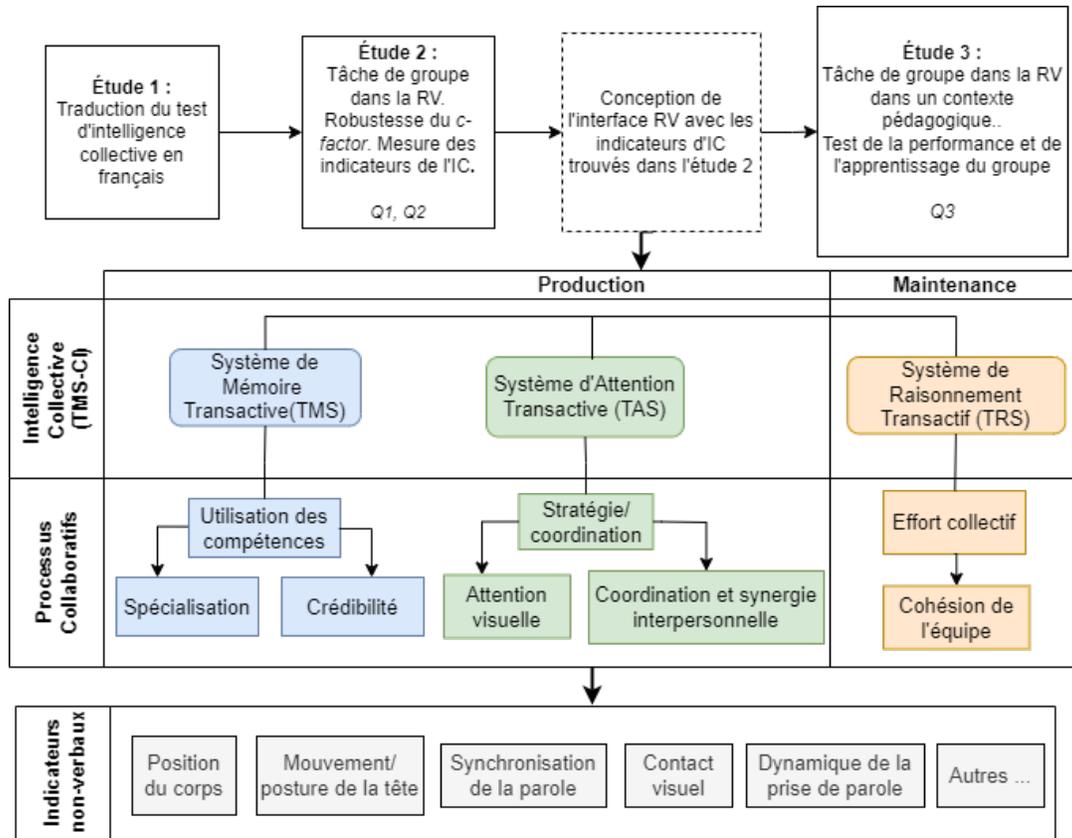


Figure 2: Diagramme illustrant l'orientation de la recherche et les études envisagées. En haut, une série d'études seront menées dans le cadre de ce travail. Chaque étude est liée aux questions mentionnées ci-dessus (Q1, Q2 et Q3). En bas, une représentation des processus collaboratifs qui seront pris en compte dans le développement de l'interaction en RV (dans la perspective du modèle TMS-CI). Les processus et indicateurs non verbaux présentés ici ne sont pas exhaustifs et seront affinés par la suite, notamment par les résultats de l'étude 2 et de l'analyse de l'état de l'art sur les processus collaboratifs.

y seront mesurées reposeront sur l'opérationnalisation des indicateurs des processus de collaboration décrits dans [18] (c.-à-d. l'effort collectif, l'utilisation des compétences et la stratégie), la synchronisation vocale [19], la distribution du temps de parole [22], ainsi que sur les indices non verbaux décrits dans [4]. Une analyse plus approfondie de la littérature concernant les comportements observables dans le cadre d'une collaboration en groupe pourra alimenter le système en variable prise en compte.

De plus, comme abordé brièvement dans l'introduction, le type de tâche utilisé dans la mesure de l'IC a une importance toute particulière. En effet, l'émergence de l'IC est conditionnée par le type de tâche réalisée par le groupe [3, 9]. La conception de la tâche à utiliser pour cette étude sera également un aspect méthodologique essentiel à prendre en compte dans le protocole mis en place.

2.3 Utilisation d'indices dans la conception d'une interaction en RV

Cette étude consistera à exploiter les indices observés dans l'étude précédente. L'objectif serait d'utiliser ces indices pour mettre en place un système qui réponde aux besoins des deux fonctions du

TMS-CI (production et maintenance) permettant ainsi de maintenir l'efficacité du système. La forme que prendra le système mis en place et son contenu (assistant virtuel, messages, nudges, etc.) reste à définir. Cet aspect est crucial et peut s'avérer particulièrement difficile à mettre en œuvre. Par exemple, [11] a cherché à introduire un retour d'information sur l'effort de chaque individu dans une tâche de groupe. Les résultats ont montré un impact négatif sur la performance du groupe, soulignant l'importance de la manière dont l'intervention du système est réalisée. Il est donc important de prendre en compte la forme d'intervention, le moment opportun pour le groupe, ainsi que la forme que l'entrée ou le retour d'information devrait idéalement prendre [23].

Finalement, l'objectif principal de ce système sera d'améliorer la performance générale et d'apprentissage des groupes. Nous avons pour objectif de mettre en place une étude longitudinale, en lien avec les étudiants présents dans notre école, permettant de prendre en compte l'aspect temporel du développement de l'IC, en accord avec les principes décrits à travers les cadres théoriques du modèle IMOI et du TMS-CI. Pour tester le développement de l'interaction, nous prévoyons d'utiliser le système dans un contexte pédagogique.

Ainsi, le support utilisé pour la tâche à réaliser sera en lien avec des éléments appris par des étudiants durant leurs parcours scolaires.

3 CONCLUSION

Cet article décrit la direction que prendra notre recherche, sur la base de l'état de l'art étudié depuis le début de ce travail. Comme indiqué au début de l'introduction, son but vise à une compréhension plus poussée de l'IC d'un groupe dans un environnement immersif. À travers cet objectif, nous avons pour ambition de développer une interaction qui améliorera la performance de groupe et l'apprentissage dans un environnement de RV.

L'utilisation du *c-factor* comme base théorique de ce travail permet de comprendre un aspect important dans l'IC : elle est fortement influencée par les conditions de départ de la composition du groupe [21]. Cette perspective nous montre qu'il est essentiel de prendre en compte les caractéristiques des membres d'un groupe afin de pouvoir améliorer le plus efficacement possible ces performances. De plus, cette vision, quelque peu 'déterministe', du potentiel d'un groupe apporte également des éléments comportementaux pouvant être utilisés à l'avantage du collectif pour l'améliorer, notamment au niveau des processus de groupe (p. ex. la distribution du temps de parole ou la synchronisation vocale). Ces deux types de facteurs interagissent de manière complémentaire et synergique dans le processus d'apprentissage du groupe [21], où l'IC, telle que définie par Woolley et son équipe, fournit le potentiel de base d'un groupe, alors que la qualité des interactions favorise le fonctionnement efficace d'un groupe au niveau du partage et du traitement d'information. Dans cette optique, l'utilisation du modèle TMS-CI nous permet d'entrevoir la possibilité d'une intervention basée sur le traitement de l'information cadrée sur les fonctions de production et de maintenance, ainsi que sur les modules transactifs de mémoire, d'attention et de raisonnement. De plus, la perspective du modèle IMOI nous donne l'avantage d'une prise en compte de l'aspect temporel et itératif dans le développement de l'IC.

Enfin, les résultats de nos études futures affineront l'orientation de ce travail, tant sur le plan théorique que pratique. Les mesures d'indices verbaux et non verbaux caractéristiques l'émergence de l'IC, ainsi que leurs exploitations, auront pour objectif de rendre pertinente l'utilisation de la RV pour améliorer la dynamique des membres du groupe dans un cadre pédagogique. Ainsi, les conclusions générales que nous obtiendrons à travers les trois études décrites plus haut permettront une compréhension plus poussée de la dynamique de groupe dans le cadre d'une résolution de tâche. Cela donnera ainsi de nouveaux éléments empiriques dans l'étude de l'IC, dans la compréhension du comportement de groupe en RV et, pour conclure, dans le domaine de la formation par le biais d'un environnement immersif.

REMERCIEMENTS

Ce travail est financé par le projet NEXUS dans le cadre de l'appel à projet DEFFINUM.

REFERENCES

- [1] Ishani Aggarwal and Anita Williams Woolley. 2019. Team Creativity, Cognition, and Cognitive Style Diversity. 65, 4 (2019), 1586–1599. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2017.3001>

- [2] Ishani Aggarwal, Anita Williams Woolley, Christopher F Chabris, and Thomas W Malone. 2015. Cognitive Diversity, Collective Intelligence, and Learning in Teams. (2015).
- [3] Jordan B Barlow. 2023. Collective Intelligence and Its Relationship to Collective Individual Intelligence in Virtual Teams. (2023).
- [4] Beatrice Biancardi, Maurizio Mancini, Brian Ravenet, and Giovanna Varni. 2023. Modelling the "Transactive Memory System" in Multimodal Multiparty Interactions. (2023). <https://doi.org/10.1007/s12193-023-00426-5>
- [5] Janis A. Cannon-Bowers, Eduardo Salas, and Sharolyn Converse. 1993. Shared Mental Models in Expert Team Decision Making. In *Individual and Group Decision Making: Current Issues*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 221–246.
- [6] Prerna Chikersal, Maria Tomprou, Young Ji Kim, Anita Williams Woolley, and Laura Dabbish. 2017. Deep Structures of Collaboration: Physiological Correlates of Collective Intelligence and Group Satisfaction. In *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing (New York, NY, USA) (CSCW '17)*. Association for Computing Machinery, 873–888. <https://doi.org/10.1145/2998181.2998250>
- [7] David Engel, Anita Williams Woolley, Ishani Aggarwal, Christopher F Chabris, Masamichi Takahashi, Keiichi Nemoto, Carolin Kaiser, Young Ji Kim, and Thomas W Malone. 2015. Collective intelligence in computer-mediated collaboration emerges in different contexts and cultures. In *Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems*. 3769–3778.
- [8] David Engel, Anita Williams Woolley, Lisa X. Jing, Christopher F. Chabris, and Thomas W. Malone. 2014. Reading the Mind in the Eyes or Reading between the Lines? Theory of Mind Predicts Collective Intelligence Equally Well Online and Face-To-Face. 9, 12 (2014), e115212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115212>
- [9] Henner Gimpel, Stefanie Lahmer, Moritz Wöhl, and Valerie Graf-Drasch. 2023. Digital Facilitation of Group Work to Gain Predictable Performance. (2023). <https://doi.org/10.1007/s10726-023-09856-8>
- [10] Valerie Graf-Drasch, Henner Gimpel, Jordan B. Barlow, and Alan R. Dennis. 2022. Task Structure as a Boundary Condition for Collective Intelligence. 75, 3 (2022), 739–761. <https://doi.org/10.1111/peps.12489>
- [11] Pranav Gupta, Young Ji Kim, Ella Glikson, and Anita Williams Woolley. 2019. Digitally Nudging Team Processes to Enhance Collective Intelligence. (2019).
- [12] Pranav Gupta and Anita Williams Woolley. 2021. Articulating the Role of Artificial Intelligence in Collective Intelligence: A Transactive Systems Framework. 65, 1 (2021), 670–674. <https://doi.org/10.1177/1071181321651354c>
- [13] Daniel R. Ilgen, John R. Hollenbeck, Michael Johnson, and Dustin Jundt. 2005. Teams in Organizations: From Input-Process-Output Models to IMOI Models. *Annual Review of Psychology* 56, 1 (Feb. 2005), 517–543. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070250>
- [14] Young Ji Kim, David Engel, Anita Williams Woolley, Jeffrey Yu-Ting Lin, Naomi McArthur, and Thomas W. Malone. 2017. What Makes a Strong Team?: Using Collective Intelligence to Predict Team Performance in League of Legends. In *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing (Portland Oregon USA)*. ACM, 2316–2329. <https://doi.org/10.1145/2998181.2998185>
- [15] Kyle Lewis. 2003. Measuring Transactive Memory Systems in the Field: Scale Development and Validation. 88 (2003), 587–604. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.4.587>
- [16] Estelle Michinov and Nicolas Michinov. 2013. Travail collaboratif et mémoire transactive : revue critique et perspectives de recherche. 76, 1 (2013), 1–26. <https://doi.org/10.3917/th.761.0001>
- [17] Yuqing Ren and Linda Argote. 2011. Transactive memory systems 1985–2010: An integrative framework of key dimensions, antecedents, and consequences. *Academy of Management Annals* 5, 1 (2011), 189–229.
- [18] Christoph Riedl, Young Ji Kim, Pranav Gupta, Thomas W. Malone, and Anita Williams Woolley. 2021. Quantifying Collective Intelligence in Human Groups. 118, 21 (2021), e2005737118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005737118>
- [19] Maria Tomprou, Young Ji Kim, Prerna Chikersal, Anita Williams Woolley, and Laura A. Dabbish. 2021. Speaking out of Turn: How Video Conferencing Reduces Vocal Synchrony and Collective Intelligence. 16, 3 (2021), e0247655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247655>
- [20] Daniel M Wegner. 1987. Transactive memory: A contemporary analysis of the group mind. In *Theories of group behavior*. Springer, 185–208.
- [21] Anita Williams Woolley and Ishani Aggarwal. 2017-01-01. *Collective Intelligence and Group Learning*. Oxford University Press, 490–504. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190263362.013.46>
- [22] Anita Williams Woolley, Christopher F. Chabris, Alex Pentland, Nada Hashmi, and Thomas W. Malone. 2010. Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups. 330, 6004 (2010), 686–688. <https://doi.org/10.1126/science.1193147>
- [23] Michelle Zhao, Fade R. Eadeh, Thuy-Ngoc Nguyen, Pranav Gupta, Henny Admoni, Cleotilde Gonzalez, and Anita Williams Woolley. 2023. Teaching Agents to Understand Teamwork: Evaluating and Predicting Collective Intelligence as a Latent Variable via Hidden Markov Models. 139 (2023), 107524. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107524>