

SID (Socially Interactive Doppelgängers) : Doppelgängers socio-affectifs pour consolider les dynamiques de groupe en apprentissage hybride

Nom(s) du/des encadrant(s)

Jean-Yves DIDIER, HDR (IBISC, Université Evry Paris-Saclay), Amine CHELLALI (IBISC, Université Evry Paris-Saclay), Beatrice BIANCARDI (CESI LINEACT, Nanterre), Mukesh BARANGE (CESI LINEACT, Nanterre)

Laboratoires d'accueil

La doctorante sera inscrite à l'école doctorale ED STIC de l'Université Paris-Saclay mais elle travaillera entre les deux sites des laboratoires d'accueil (IBISC et LINEACT), selon les besoins pendant les différentes étapes du projet.

Court résumé

Le projet de thèse SID (Socially Interactive Doppelgängers) étudie comment tirer parti d'agents socialement interactifs pour remplacer les utilisateurs humains non disponibles à certaines séances dans des environnements virtuels d'apprentissage collaboratif. L'objectif est de préserver la continuité pédagogique et les dynamiques socio-affectives de groupe, essentielles pour la coordination, la cohésion et la performance collective. Inspiré du concept de doppelgänger (double virtuel), le projet vise à modéliser les comportements techniques et socio-affectifs spécifiques des utilisateurs qu'ils représentent. Un modèle d'interaction humain-agents sera développé et évalué en suivant une approche interdisciplinaire, mêlant informatique, analyse des signaux sociaux et sciences humaines et sociales. Deux cas d'usage industriels serviront de terrain d'expérimentation : la fabrication additive métallique, à travers le jumeau numérique développé au CESI, et les processus de montage industriel, via les installations du Centre d'Innovation d'Évry. Ces contextes, dans lesquels deux apprenants coopèrent sous la supervision d'un expert, exigent une coordination étroite et une communication constante, offrant ainsi des scénarios idéaux pour tester le modèle des SID. Le nouveau paradigme d'interaction humain-agents proposé pourra avoir des retombées dans la conception d'environnements d'apprentissage collaboratif dans différents contextes (industriel, médical, éducation) où la présence d'experts et autres membres n'est pas toujours possible.

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

Le laboratoire IBISC (Informatique, Bioinformatique, Systèmes Complexes - EA 4526) est un laboratoire de l'Université Évry Paris-Saclay qui développe des recherches pluridisciplinaires à l'interface des sciences du numérique, de la biologie et des systèmes complexes. Il est structuré en quatre équipes de recherche :

- AROBAS – IA, apprentissage automatique et bioinformatique ;
- COSMO – Modélisation, simulation et analyse de systèmes complexes ;
- IRA2 – Interactions humain-machine, réalité virtuelle et augmentée, et systèmes robotiques ;
- SIAM – Automatique et modélisation des systèmes dynamiques.

Les recherches d'IBISC portent sur le développement de formalismes, de méthodes et d'outils pour identifier, concevoir, modéliser, simuler, optimiser et valider des systèmes complexes. Ces activités sont et s'articulent autour de deux axes de recherche :

- Axe STIC & Smart Systems portant sur les systèmes autonomes, les systèmes ouverts et sûrs, et les interactions homme-machine.
- Axe STIC & Vivant incluant la biologie computationnelle, le traitement d'images biomédicales et l'assistance à la personne.

Des axes transverses tels que la médecine personnalisée, l'IA et la mobilité intelligente renforcent l'interdisciplinarité du laboratoire.

CESI LINEACT (UR 7527), Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires, anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, ainsi que le maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale ; elle met l'humain, ses besoins et ses usages, au centre de ses problématiques et aborde l'angle technologique au travers de ces apports.

Sa recherche est organisée selon deux équipes scientifiques interdisciplinaires et deux domaines applicatifs.

- L'équipe "Apprendre et Innover" relève principalement des Sciences cognitives, Sciences sociales et Sciences de gestion, Sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Les principaux objectifs scientifiques visés sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage, de créativité et d'innovation.
- L'équipe "Ingénierie et Outils Numériques" relève principalement des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et le pilotage de composants, systèmes et processus complexes et des interactions Humains-systèmes dans des systèmes cyber-physiques et jumeaux numériques.

Ces deux équipes développent et croisent leurs recherches dans les domaines applicatifs de l'Industrie du Futur, de la Ville du Futur et des services numériques, soutenues par des plateformes de recherche, comme celle de Nanterre dédiée à l'Usine et au Bâtiment du Futur.

Description de la proposition de doctorat

Objectif, contexte et problématique

Le projet de thèse SID (Socially Interactive Doppelgängers) vise à développer un modèle d'interaction humain-agents en environnement d'apprentissage collaboratif immersif, permettant de remplacer les utilisateurs humains non disponibles à certaines séances, dans l'objectif de préserver les dynamiques du groupe.

Parmi leurs nombreuses applications, les agents socialement interactifs (Lugrin, 2021), permettent aux utilisateurs de pouvoir prolonger leurs entraînements en l'absence de partenaires humains dans différents contextes. On les trouve par exemple dans des simulations d'entretiens d'embauche avec un recruteur virtuel (Ben Youssef et al., 2015), des entraînements de prise de parole devant une audience virtuelle (Chollet et al., 2015) ou des situations d'apprentissage avec un tuteur (Dai et al., 2022) ou un camarade virtuel (Cassel, 2020). Si la plupart de ces travaux se focalisent sur des relations dyadiques, depuis quelques années on observe un intérêt croissant pour la modélisation d'interactions humain-agent en groupe (par ex., Kantharaju et al., 2019, Beinema et al., 2021, Biancardi et al., 2021) qui permettrait de simuler encore plus de contextes sociaux (ex., réunions de travail, tâches collaboratives). Cependant, ces travaux se focalisent souvent sur des situations génériques (Kantharaju et al., 2019) ou sur des tâches de prise de décision abstraites comme le desert survival task (Kim et al., 2020).

Certains aspects restent donc encore peu explorés, comme l'application à des contextes collaboratifs réels, mais aussi la prise en compte de l'évolution des comportements et des dynamiques sociales au cours de séances répétées.

Ces deux aspects (contexte réel et séances répétées) sont au cœur du développement des environnements virtuels d'apprentissage de gestes techniques (EVAGT). Dans ce contexte, les travaux de recherche de l'équipe IRA2 se sont focalisés récemment sur l'importance des interactions collaboratives et interpersonnelles entre le formateur et l'apprenant pendant les séances d'apprentissage des gestes techniques dans le domaine médical (Lebrun et al., 2025, Simon et al. 2024).

Ces travaux ont montré l'importance de feedback multimodaux intégrés à l'environnement, mais ils ne se sont pas intéressés au potentiel des agents socialement interactifs pour cela. De plus, ils ont surtout étudié des interactions dyadiques (duo expert-apprenant). En effet, simuler virtuellement une situation d'apprentissage sur plusieurs séances répétées avec trois ou plus utilisateurs comporte des difficultés supplémentaires, notamment le besoin de présence synchrone des mêmes membres du groupe à chaque séance.

Maintenir cette présence est cruciale pour le développement des états émergents du groupe, des processus collectifs plus complexes que ceux caractérisant les interactions dyadiques (Kozlowski, 2015). Les états émergents sont le résultat des interactions affectives, comportementales et cognitives entre les membres du groupe (Kozlowski et al., 2006). C'est ce qui permet aux membres d'un groupe de coordonner leurs actions et d'atteindre leurs objectifs (Marks et al., 2001). Certains états émergents reflètent les interactions

socio-affectives entre les membres du groupe, comme la cohésion, qui décrit la tendance des membres du groupe à partager un lien ou à vouloir travailler ensemble (Casey-Campbell et Martens, 2009). La cohésion est associée à la performance collective et la collaboration (Beal et al., 2003).

Le projet de thèse SID (Socially Interactive Doppelgängers) s'adresse aux enjeux identifiés ci-dessus en étudiant **comment tirer parti d'agents socialement interactifs pour remplacer les utilisateurs humains non disponibles à certaines séances dans des EVAGT collaboratifs**. Nous proposons une approche originale, où les comportements de ces agents sont modélisés pour reproduire les spécificités des humains qu'ils représentent quand ceux-ci ne sont pas disponibles.

Cette approche s'inspire du concept de « doppelgänger » (de l'allemand : *doppel*, «double», e *gänger*, «qui passe»,) utilisé pour désigner le double, le sosie d'une personne.

L'idée de développer des doppelgängers virtuels simulant des utilisateurs spécifiques est aujourd'hui objet de recherche dans un nombre croissant de domaines et applications.

Par exemple, les doppelgängers ont été étudiés comme représentation fidèle de l'utilisateur pour renforcer le sentiment de présence en réalité virtuelle (Gorisse et al., 2019) et une étude récente a évalué le potentiel d'agents virtuels reproduisant l'apparence et la voix d'un utilisateur ne pouvant pas participer à une réunion en visioconférence (Leong et al., 2024).

Si ces travaux se focalisent plutôt sur une représentation fidèle de l'apparence que des comportements spécifiques de leurs homologues humains, ce dernier aspect est étudié dans le domaine des jeux vidéo. Différents modèles d'apprentissage profond ont été proposés pour remplacer les joueurs déconnectés dans les matchs en ligne par des agents qui reproduisent leurs comportements de jeu (Pfau et al., 2020, Chapa Mata et al., 2025). A notre connaissance, il n'existe pas de travaux proposant un doppelgänger intégrant les comportements socio-affectifs spécifiques de l'utilisateur.

Dans ce projet, **nous visons à reproduire non seulement les connaissances techniques liées à la tâche, mais également et surtout les comportements socio-affectifs spécifiques à l'humain que le doppelgänger représente**. Nous allons donc utiliser le terme «Socially Interactive Doppelgänger» (SID). Lors de séances répétées, si certains membres du groupe sont absents ou indisponibles, ils pourront être remplacés ponctuellement par ces SID. Nous faisons l'hypothèse que l'utilisation de ces SID permettra d'éviter la rupture des dynamiques socio-affectives précédemment développées dans le groupe. En conséquence, les performances collectives et individuelles seront aussi préservées.

Plusieurs cas d'usages sont envisagés. Les deux laboratoires d'accueil disposent de plateformes expérimentales et d'un réseau de partenaires industriels. Les prototypes existants disponibles à LINEACT et IBISC fournissent un point de départ pour les travaux de la thèse, et un cas d'usage spécifique sera ensuite sélectionné selon les besoins identifiés lors des premières étapes de la thèse. Le prototype sera enrichi et adapté pour développer le scénario longitudinal utilisé pour l'entraînement et le test du modèle des SID.

Les cas d'usage envisagés concernent des formations où deux opérateurs travaillent ensemble de façon synchrone sous la supervision d'un expert, ce qui est le cas pour la fabrication additive métallique (FAM) ou les processus de montage industriel.

- Dans le premier cas, les actions des opérateurs étant effectuées dans un environnement confiné et à haut risque, chaque action doit être étroitement synchronisée grâce à des confirmations verbales, des indications gestuelles et des annotations partagées. Une communication constante entre les apprenants et les experts est donc nécessaire pour éviter les erreurs et garantir la sécurité. Dans ce contexte, nous nous appuyons sur le jumeau numérique de l'unité de FAM, développé dans le cadre du projet JENII au LINEACT. Ce jumeau numérique, intégré à plusieurs cursus de spécialisation en FAM du CESI, constitue une plateforme idéale et évolutive pour la thèse démontrant comment l'approche SID peut renforcer la collaboration, la coordination et l'apprentissage réflexif dans la formation industrielle hybride. De plus, cela facilitera l'intégration des résultats de la thèse dans le programme pédagogique de CESI.
- Dans le cas de montage industriel, ce processus étant réalisé dans un espace de travail restreint, les actions des opérateurs doivent être coordonnées pour éviter les interférences, ce qui implique une communication constante. L'environnement virtuel de formation permet donc à deux apprenants de s'entraîner aux gestes techniques, guidés par l'expert. Dans ce cadre, le Campus des Métiers et des Qualifications d'Excellence Industrie du Futur Île-de-France, son lieu totem le Centre d'Innovation d'Evry tous deux portés par l'Université d'Evry Paris-Saclay offrent un large réseau de partenaires

industriels et un lieu de formation et d'expérimentation pour ce travail de thèse. Le Centre possède une ligne d'assemblage réelle de scooters électriques et de sèche-linges disposant de son jumeau numérique ce qui offre la possibilité d'un cas d'usage industriel concret.

Questions de recherche

Ce projet de thèse a pour objectif de développer un modèle d'interaction humain-agents permettant de remplacer les utilisateurs humains non disponibles à certaines séances, dans l'objectif de préserver les dynamiques du groupe et permettre une continuité dans l'apprentissage.

Nous nous intéressons aux questions de recherche suivantes :

- QR1) Quels comportements multimodaux permettent de discriminer les différents profils utilisateurs dans un contexte d'interaction entre apprenants et expert ?
- QR2) Comment modéliser les comportements de Socially Interactive Doppelgängers en prenant en compte, à partir de leur homologue humain :
 - QR2a) Leur rôle (expert vs apprenti) ?
 - QR2b) Les comportements socio-affectifs identifiés lors de QR1 ?
- QR3) Quel est l'impact de l'utilisation des SID pour remplacer leurs homologues humains sur la collaboration du groupe, la performance du groupe et les compétences individuelles ?

Approche et méthodes

Dans le cas d'usage décrit précédemment, l'interaction se compose de plusieurs séances *humain-humain* d'acquisition des compétences, alternées à des séances d'entraînement *hybrides* (chaque apprenant interagit avec deux SID représentant le deuxième apprenant et l'expert). Le nombre des séances humain-humain et hybrides sera défini pendant la thèse après une recherche bibliographique sur des études longitudinales existantes des dynamiques de groupe.

Planning prévisionnel du déroulement de la thèse :

	1 ^{ère} année		2 ^{ème} année		3 ^{ème} année	
Etat de l'art						
Conception et développement scénario						
Etude 1 (exploratoire)						
Modèle des SID						
Etude 2 (longitudinale)						
Etude 3 (évaluation)						
Stage M2						
Publications						
Rédaction de la thèse						

L'état de l'art scientifique sur les domaines des environnements virtuels d'apprentissage collaboratif, les modèles d'agents socialement interactifs et les indices multimodaux caractérisant les interactions de groupes, sera le point d'entrée du projet et la veille bibliographique se prolongera sur la totalité de la durée de la thèse.

Les trois livrables principaux du projet seront :

- 1) Les spécifications des paramètres multimodaux permettant de différencier différents profils de comportements d'apprenti et expert ;
- 2) Le développement d'un scénario d'apprentissage collaboratif immersif longitudinal facilitant l'émergence et la mesure de ces comportements ;
- 3) Le modèle de comportement adaptatif des SID (apprenti et expert)

Trois grandes études structureront les contributions scientifiques du projet:

- 1) Étude 1 : une étude exploratoire pour répondre à QR1. Le prototype du scénario sera utilisé pour collecter des interactions de groupes apprenants-expert. En se basant sur la littérature et les données collectées, l'objectif de l'étude est de définir un ensemble d'indices comportementaux (par ex., regard, tours de paroles, gestes) caractérisant différents profils utilisateurs. Les résultats de cette première étude seront pris en compte pour adapter les caractéristiques du scénario afin de faciliter la collecte des indices pertinents, ainsi que pour spécifier les paramètres multimodaux du modèle des SID.

- 2) Étude 2 : étude longitudinale alternant sessions humain-humain et sessions hybrides, où l'apprenant s'entraîne avec les SID de l'autre apprenant et de l'expert. Les comportements des SID seront affinés au fur et à mesure entre les séances humain-humain grâce au modèle adaptatif. Cette étude sera intégrée dans le programme pédagogique des apprentis de CESI Ecole d'ingénieurs au long d'un semestre. Des séances avec les partenaires du Centre d'Innovation d'Evry pourront aussi être envisagées.
- 3) Étude 3 : évaluation du modèle. L'impact du modèle sur la collaboration et la performance de groupe et individuelle, ainsi que sur la perception des SID et l'expérience utilisateur, sera évalué à travers une dernière interaction en comparaison avec des groupes de contrôle qui ont suivi les entraînements hybrides sans le modèle des SID. La collaboration sera mesurée à travers des mesures objectives, à partir de métriques identifiées par des travaux de l'équipe du LINEACT (Biancardi et al., 2024), dont certains en cours sur l'intelligence collective (Lannuzel, 2025), et subjectives, en utilisant des questionnaires d'auto-évaluation (une review ici: Roberts et al., 2022). Les retours des experts seront aussi collectés à travers des entretiens. Nous prévoyons également d'inclure des métriques complémentaires proposées entre-temps par les projets en cours du PEPR eSEMBLE.

Ces travaux seront valorisés sous forme de publications dans des conférences et revues internationales (IEEE VR, ISMAR, IVA, AAMAS, CHI, TOCHI, TAC, etc.)

Deux stages de M2 sont planifiés en complément sur la partie développement du scénario en VR et la finalisation du modèle de l'agent. Ces stages pourront être financés par des bourses du PEPR eSEMBLE et/ou des financements internes.

Nature de la collaboration numérique

Dans ce projet, la collaboration est étudiée dans le contexte d'apprentissage collaboratif d'une tâche technique (comme par exemple dans la fabrication additive métallique ou dans les processus de montage industriel).

Contrairement aux interactions dyadiques, les interactions au sein d'un groupe sont plus complexes, car elles comprennent à la fois des interactions individuelles et des interactions multiples (Moreland, 2010). Afin de pouvoir analyser de façon détaillée ces relations complexes et les indices verbaux et non-verbaux qui les caractérisent, nous nous focaliserons dans un premier temps sur des groupes de 3 personnes (deux apprenants et un expert), qui est le minimum pour déclencher l'émergence de ces dynamiques.

Dans le contexte étudié, ces groupes apprenants-expert interagissent de façon synchrone, pendant des séances immersives de 30 minutes maximum, dans un espace co-localisé. Deux configurations du même groupe sont analysées: quand les 3 participants humains (deux apprenants et l'expert) interagissent pendant les séances d'acquisition des compétences techniques; quand chaque apprenant interagit avec les SID de l'apprenant et de l'expert pendant les séances d'entraînement.

Contribution à la collaboration numérique : Résultats attendus et impact

La thèse vise plusieurs contributions :

- Théorique: à travers l'analyse des comportements multimodaux caractérisant les interactions de groupe pendant la tâche collaborative, la thèse contribuera à produire des connaissances sur les indices pertinents pour discriminer différents profils dans le groupe, en complément à la littérature existante;
- Technique: le scénario d'apprentissage collaboratif de gestes techniques sur plusieurs séances de travail, développé pour tester le modèle des SID, sera mis à disposition de la communauté scientifique et pourra être utilisé pour étudier d'autres questions de recherche relative à la collaboration humain-humain et en groupe hybride;
- En IHM: la thèse vise à proposer un nouveau paradigme d'interaction humain-agents dans un contexte d'apprentissage. Par rapport aux scénarios classiques, où les agents sont présents dès le début et tout au long de l'interaction, dans le paradigme proposé le rôle de ces derniers est de remplacer temporairement un membre du groupe spécifique. L'évaluation du modèle pourrait avoir des retombées dans la conception d'environnements virtuels d'apprentissage dans différents contextes (industriel, médical, éducation) où la présence d'experts et autres membres n'est pas toujours possible. Par exemple, un cas d'usage

supplémentaire est celui de la formation interprofessionnelle dans le cadre médical. En effet, une équipe chirurgicale est constituée de plusieurs professionnels de santé (ex. anesthésiste, chirurgien, infirmier, ...) ayant des compétences différentes mais complémentaires. Ils doivent apprendre à travailler en équipe. Un environnement virtuel collaboratif leur permettra d'acquérir des compétences techniques (gestes médicaux) ainsi que des compétences collectives et interprofessionnelles, telles que la planification, la communication, la prise de décision collective, ou encore la résolution de problèmes. Nos collaborations récentes avec le Centre Hospitalier Sud Francilien ainsi que le Centre de simulation de la Faculté de Médecine de l'Université Paris-Saclay (LabForSIMS), permettront une continuité des travaux de la thèse et de tester le transfert du modèle SID à d'autres terrains d'observation.

- En informatique : une autre contribution cruciale de la thèse est le développement d'un modèle computationnel de génération de comportements en prenant en compte le rôle de l'agent et des paramètres socio-affectifs appris à partir d'utilisateurs spécifiques. Une force du modèle est la prise en compte de la dynamique de l'interaction à plusieurs échelles (intra- et inter-séances).

Les contributions envisagées seront renforcées par une attention particulière à l'application des pratiques des sciences ouvertes. Le scénario et le modèle des SID seront rendus accessibles à la communauté scientifique (à travers des plateformes comme GitHub/GitLab), les protocoles expérimentaux pré-enregistrés sur OSF, et des démonstrations seront planifiées lors d'événements grand public (Fête de la Science) et pour les partenaires industriels de CESI et de l'Université d'Evry.

Positionnement dans le programme eSEMBLE

Le projet SID (Socially Interactive Doppelgängers) s'inscrit dans les objectifs du programme eSEMBLE car il vise à faciliter la collaboration numérique grâce à une approche originale et interdisciplinaire pour maintenir l'identité et les dynamiques du groupe en absence de certains de ses membres.

En priorité, le projet touche à plusieurs thématiques du Projet Ciblé 3 MATCHING. Il se positionne comme pont entre

- le thème 2 : en proposant un système multimodal d'interaction humain-agents individualisé et contextualisé, avec un focus sur la modélisation de la diversité des utilisateurs ;
- le thème 3 : en étudiant l'impact de l'utilisation prolongée du système proposé sur l'expertise individuelle, la collaboration et la performance de groupe.

Le projet aborde aussi de façon transversale le Projet Ciblé 1 CATS, pour ce qui concerne la conception et développement d'un espace de collaboration favorisant l'émergence et facilitant la détection des signaux multimodaux spécifiques aux différents profils utilisateurs.

Interdisciplinarité

L'équipe d'encadrement est composée de chercheurs avec des compétences interdisciplinaires, ce qui garantit que la doctorante ne sera jamais isolée ni thématiquement ni disciplinairement.

Les co-encadrants ont des expertises complémentaires qui permettront d'accompagner la doctorante pendant le déroulement des différentes phases de la thèse.

L'équipe de CESI LINEACT contribuera en priorité à la modélisation de l'interaction humain-agent. Beatrice BIANCARDI contribuera avec son expérience dans l'analyse des signaux sociaux appliquée aux interactions de groupes (Biancardi et al., 2024) et dans la conception de modèles adaptatifs d'interaction humain-agent (Biancardi et al., 2021) s'appuyant sur les sciences humaines et sociales ; Mukesh BARANGE possède une expertise dans le développement de modèles d'interaction humain-agent appliqués aux contextes pédagogique et de formation industrielle (Barange et al. 2017, Barange et al. 2022), ainsi qu'à l'exploration des dimensions dialogiques de l'interaction (Malik et al. 2021).

L'équipe du laboratoire IBISC contribuera en priorité au développement de l'environnement multimodal d'apprentissage. Amine CHELLALI a une expertise pluriannuelle dans le domaine de l'apprentissage longitudinal des gestes techniques en réalité virtuelle (Chellali et al. 2016, Ricca et al. 2021) et de la collaboration humain-humain dans les environnements immersifs à travers l'étude de la communication spatiale (Chellali et al. 2013, Gamelin et al. 2021), et de la communication multimodale (Simon et al. 2023, Simon et al. 2024,

Lebrun et al. 2025) dans les environnements collaboratifs; Jean-Yves DIDIER a une expertise sur les architectures logicielles pour les réalités immersives ainsi que celles pour garantir l'interopérabilité entre les composants d'un jumeau numérique (Lacheroy et al. 2025), les cas d'usage industriel pour les réalités immersives (Laouénan et al. 2025), sur des systèmes multi-agents impliquant suivi de procédures par le biais de la mesure de l'activité de l'utilisateur. Par ailleurs, il a travaillé sur la reconnaissance du geste et de l'affect d'un opérateur dans le cadre d'interactions humain-robot (Ajili et al. 2019).

Ces compétences sont cruciales pour l'étude de la collaboration qui est intrinsèquement interdisciplinaire.

Références

Ajili, I., Mallem, M., & Didier, J. Y. (2019). Human motions and emotions recognition inspired by LMA qualities. *The Visual Computer*, 35(10), 1411-1426.

Barange, M., Saunier, J., & Pauchet, A. (2017). Pedagogical agents as team members: Impact of proactive and pedagogical behavior on the user. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (pp. 791-800).

Barange, M., Rasendrasoa, S., Bouabdelli, M., Saunier, J., & Pauchet, A. (2022). Impact of adaptive multimodal empathic behavior on the user interaction. In *Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents* (pp. 1-8).

Beal, D. J., Cohen, R. R., Burke, M. J., & McLendon, C. L. (2003). Cohesion and performance in groups: a meta-analytic clarification of construct relations. *Journal of applied psychology*, 88(6), 989.

Ben Youssef, A., Chollet, M., Jones, H., Sabouret, N., Pelachaud, C., & Ochs, M. (2015). Towards a socially adaptive virtual agent. In *Intelligent Virtual Agents: 15th International Conference, IVA 2015, Delft, The Netherlands, August 26-28, 2015, Proceedings 15* (pp. 3-16). Springer International Publishing.

Beinema, T., Davison, D., Reidsma, D., Banos, O., Bruijnes, M., Donval, B., ... & op den Akker, H. (2021, September). Agents united: An open platform for multi-agent conversational systems. In *Proceedings of the 21st ACM international conference on intelligent virtual agents* (pp. 17-24).

Biancardi, B., Mancini, M., Ravenet, B., & Varni, G. (2024). Modelling the "transactive memory system" in multimodal multiparty interactions. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 18(1), 103-117.

Biancardi, B., O'Toole, P., Giaccaglia, I., Ravenet, B., Pitt, I., Mancini, M., & Varni, G. (2021, September). How ECA vs human leaders affect the perception of transactive memory system (TMS) in a team. In *2021 9th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)* (pp. 1-8). IEEE.

Biancardi, B., Dermouche, S., & Pelachaud, C. (2021). Adaptation mechanisms in human-agent interaction: Effects on user's impressions and engagement. *Frontiers in Computer Science*, 3, 696682.

Bird, J. J., Faria, D. R., Ekárt, A., Premebida, C., & Ayrosa, P. P. (2020). LSTM and GPT-2 synthetic speech transfer learning for speaker recognition to overcome data scarcity. *arXiv preprint arXiv:2007.00659*.

Casey-Campbell, M., & Martens, M. L. (2009). Sticking it all together: A critical assessment of the group cohesion-performance literature. *International Journal of Management Reviews*, 11(2), 223-246.

Cassell, J. (2022). Socially interactive agents as peers. In *The Handbook on Socially Interactive Agents: 20 years of Research on Embodied Conversational Agents, Intelligent Virtual Agents, and Social Robotics Volume 2: Interactivity, Platforms, Application* (pp. 331-366).

Chapa Mata, A., Nimi, H., & Chacón, J. C. (2025). Synthetic User Generation in Games: Cloning Player Behavior with Transformer Models. *Information*, 16(4), 329.

Chellali, A., Milleville-Pennel, I., & Dumas, C. (2013). Influence of contextual objects on spatial interactions and viewpoints sharing in virtual environments. *Virtual Reality*, 17(1), 1-15.

Chellali, A., Mentis, H., Miller, A., Ahn, W., Arikatla, V. S., Sankaranarayanan, G., ... & Cao, C. G. (2016). Achieving interface and environment fidelity in the Virtual Basic Laparoscopic Surgical Trainer. *International journal of human-computer studies*, 96, 22-37.

- Chollet, M., Wörtwein, T., Morency, L. P., Shapiro, A., & Scherer, S. (2015, September). Exploring feedback strategies to improve public speaking: an interactive virtual audience framework. In *Proceedings of the 2015 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing* (pp. 1143-1154).
- Dai, L., Jung, M. M., Postma, M., & Louwerse, M. M. (2022). A systematic review of pedagogical agent research: Similarities, differences and unexplored aspects. *Computers & Education*, 190, 104607.
- Gamelin, G., **Chellali, A.**, Cheikh, S., Ricca, A., Dumas, C., & Otmame, S. (2021). Point-cloud avatars to improve spatial communication in immersive collaborative virtual environments. *Personal and Ubiquitous Computing*, 25(3), 467-484.
- Gorisse, G., Christmann, O., Houzangbe, S., & Richir, S. (2019). From robot to virtual doppelganger: Impact of visual fidelity of avatars controlled in third-person perspective on embodiment and behavior in immersive virtual environments. *Frontiers in Robotics and AI*, 6, 8.
- Kantharaju, R. B., Pease, A., Reidsma, D., Pelachaud, C., Snaith, M., Bruijnes, M., ... & op den Akker, H. (2019, July). Integrating argumentation with social conversation between multiple virtual coaches. In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents* (pp. 203-205).
- Kim, K., de Melo, C. M., Norouzi, N., Bruder, G., & Welch, G. F. (2020, March). Reducing task load with an embodied intelligent virtual assistant for improved performance in collaborative decision making. In *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 529-538). IEEE.
- Kozlowski, S. W. (2015). Advancing research on team process dynamics: Theoretical, methodological, and measurement considerations. *Organizational Psychology Review*, 5(4), 270-299.
- Kozlowski, S. W., & Ilgen, D. R. (2006). Enhancing the effectiveness of work groups and teams. *Psychological science in the public interest*, 7(3), 77-124.
- Lacheroy, T., Belfadel, A., & **Didier, J. Y.** (2025, March). XRTwin4Industry: A Comprehensive Framework for Standardisation and Interoperability in XR-Enabled Industrial Digital Twins. In *Workshop Digital Twins Ecosystems and Applications (DIGITA), 23rd International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*.
- Lannuzel, T. (2025, March). [DC] Exploring Behavioral Dynamics to Enhance Collective Intelligence in Virtual Environments. In *2025 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 1556-1557). IEEE.
- Laouénan, G., **Didier, J. Y.**, & Dossou, P. E. (2025, March). Performance and ergonomics of automated versus manual validation for AR-supervised industrial operations. In *2025 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 135-145). IEEE.
- Lebrun, F., Simon, C., Boukezzi, A., Otmame, S., & **Chellali, A.** (2025). Mentor-Guided Learning in Immersive Virtual Environments: The Impact of Visual and Haptic Feedback on Skill Acquisition. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31 (05), pp. 3547-3557
- Leong, J., Tang, J., Cutrell, E., Junuzovic, S., Baribault, G. P., & Inkpen, K. (2024). Dittos: Personalized, Embodied Agents That Participate in Meetings When You Are Unavailable. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 8(CSCW2), 1-28.
- Lugrin, B. (2021). Introduction to socially interactive agents. In *The Handbook on Socially Interactive Agents: 20 Years of Research on Embodied Conversational Agents, Intelligent Virtual Agents, and Social Robotics Volume 1: Methods, Behavior, Cognition* (pp. 1-20).
- Malik, U., **Barange, M.**, Saunier, J., & Pauchet, A. (2021). A novel focus encoding scheme for addressee detection in multiparty interaction using machine learning algorithms. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 15(2), 175-188.
- Marks, M. A., Mathieu, J. E., & Zaccaro, S. J. (2001). A temporally based framework and taxonomy of team processes. *Academy of management review*, 26(3), 356-376.
- Moreland RL (2010) Are dyads really groups? *Small Group Res* 41(2):251–267
- Pfau, J., Smeddinck, J. D., Bikas, I., & Malaka, R. (2020, April). Bot or not? user perceptions of player substitution with deep player behavior models. In *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-10).
- Ricca, A., **Chellali, A.**, & Otrnane, S. (2021). The influence of hand visualization in tool-based motor-skills training, a longitudinal study. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 103-112). IEEE.

Roberts, A. P., Webster, L. V., Salmon, P. M., Flin, R., Salas, E., Cooke, N. J., ... & Stanton, N. A. (2022). State of science: models and methods for understanding and enhancing teams and teamwork in complex sociotechnical systems. *Ergonomics*, 65(2), 161-187.

Salas, E., Grossman, R., Hughes, A. M., & Coultas, C. W. (2015). Measuring team cohesion: Observations from the science. *Human factors*, 57(3), 365-374.

Simon, C., Hacene, M. B., Otmane, S., & **Chellali, A.** (2023). Study of communication modalities to support teaching tool manipulation skills in a shared immersive environment. *Computers & Graphics*, 117, 31-41.

Simon, C., Boukli-Hacene, M., Lebrun, F., Otmane, S., & **Chellali, A.** (2024). Impact of Multimodal Instructions for Tool Manipulation Skills on Performance and User Experience in an Immersive Environment. In *2024 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 670-680). IEEE.