

MICEM - Mesure de l'Impact de la Collaboration sur l'Érosion des Mécanismes décisionnels dans les écosystèmes hybrides

Directeur de thèse: Christophe Hurter (1)

Encadrante de thèse: Bertille Somon (2)

Laboratoires d'accueil: (1) ENAC, Equipe OPTIM, axe IA, Université de Toulouse (50%; employeur); (2) ONERA, Département Traitement de l'Information et Systèmes, Unité Ingénierie Cognitive et Neurosciences Appliquée, Base Aérienne 701, 13660 Salon de Provence (50%)

Court résumé du sujet :

Ce sujet se positionne dans le contexte du contrôle aérien où des opérateurs experts collaborent afin de prendre des décisions complexes en environnement incertain. Ces prises de décision sont médiées par des outils d'IA qui peuvent être identiques (prise de décision conjointe contrôleur-contrôleur) ou différents (prise de décision conjointe pilote-contrôleur), et les opérateurs sont susceptibles d'être colocalisés ou délocalisés. Sur la base de modèles et mesures issus de la métacognition, de la prise de décision et de l'action jointe, nous souhaitons identifier des marqueurs psychophysiologiques (comportement et cérébraux) pour objectiver la qualité de la collaboration, identifier les mécanismes mis à mal par la décision conjointe (humain-humain et humain-IA) et détecter une éventuelle dégradation des capacités décisionnelles des opérateurs.

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

La thèse sera répartie dans deux laboratoires.

- (1) Le groupe Visual Intelligence à l'ENAC : Le groupe Visual Intelligence étudie comment l'informatique visuelle et l'IA centrée sur l'humain peuvent améliorer la compréhension, la prise de décision et la collaboration dans des domaines complexes, avec un fort accent sur les contextes aéronautiques.
- (2) L'unité Ingénierie Cognitive et Neurosciences Appliquées de l'ONERA : L'unité ICNA de l'ONERA est composée d'une quinzaine de chercheurs et ingénieurs permanents avec des profils variés (psychologie, neurosciences, mathématiques, traitement du signal). L'équipe étudie les mécanismes sensorimoteurs et cognitifs impliqués dans les interactions humain-machine et humain-humain à différents niveaux d'analyse (subjectif, comportemental, physiologique et modélisation) et d'applicabilité (allant de la recherche fondamentale en neuroscience jusqu'à la recherche appliquée en ergonomie).

Description de la proposition de doctorat (3p. max)

Le contexte principal de cette thèse est la prise de décision conjointe humain-humain, médiée par un système d'IA, et la modification qu'elle engendre sur les processus décisionnels à court et long terme dans le contexte aéronautique. Nous souhaitons identifier des marqueurs, notamment psychophysiologiques, permettant d'objectiver la qualité de la collaboration humain-humain ou humain.s-IA et de la détérioration des capacités de prise de décision d'opérateurs experts (i.e., contrôleurs aériens) ainsi que les processus cognitifs mis à mal par les collaborations humain.s-IA.

Deux cas d'usage sont envisagés:

- Le **premier cas d'usage** porte sur la collaboration entre des contrôleurs aériens, colocalisés ou non, qui partagent les mêmes compétences, procédures et buts, et dont l'interaction peut être médiée par un système d'IA faisant des propositions identiques aux deux opérateurs. Ce cas d'usage est susceptible d'être classiquement rencontré lors de négociations de transfert d'avions entre deux secteurs aériens. La passation d'avion est un événement critique qui repose sur une coordination accrue des deux contrôleurs sous contraintes puisque des règles de vitesse, d'altitude ou de séquençement rentrent en jeu.
- Le **deuxième cas d'usage** porte sur la collaboration pilote-contrôleur, délocalisés, qui ne partagent pas les mêmes buts et dont l'interaction peut être médiée par un ou plusieurs systèmes d'IA différents (e.g., celui de l'avion et celui de contrôle). Dans ce cas, le pilote et le contrôleur vont avoir tendance à maximiser chacun un but, et possèdent tous deux des informations différentes pour leur prise de décision respective. Ce cas d'usage correspond à la gestion du séquençement à l'atterrissage, avec des risques et une pression temporelle qui peuvent être maximisés.

Problématique et objectifs:

Nous prenons en permanence, dans notre quotidien, un ensemble de décisions ayant des conséquences variables : allant du choix de la couleur de nos vêtements, au fait de traverser la route au feu rouge dans le brouillard. Dans de nombreux domaines à haut risque, tels que l'aéronautique ou la médecine, ces décisions peuvent s'avérer vitales mais, elles sont bien souvent prises de manière conjointe avec d'autres agents. Dans les dernières années, ces agents ont pris la forme d'outils d'aide à la décision et d'agents autonomes qui assistent les opérateurs dans la gestion de systèmes complexes (Marmolejo-Ramos et al., 2025). Bien que les bénéfices de ces systèmes ne soient pas remis en cause, les effets délétères engendrés par leur utilisation sur la collaboration ne peuvent pas être négligés (Parasuraman & Manzey, 2010). De nombreux questionnements associés aux conséquences de la prise de décision conjointe humain-humain et médiée par l'IA émergent alors. Dans cette thèse, nous proposons d'**identifier des marqueurs ou indexes rendant compte de la qualité de la collaboration** au travers de la dégradation des mécanismes sous-tendant la prise de décision conjointe, de leur dynamique et leurs corrélats neurofonctionnels. Pour cela, nous souhaitons utiliser des modèles issus des neurosciences cognitives pour caractériser l'impact de la prise de décision conjointe, et médiée par IA sur les mécanismes sous-tendant cette prise de décision. La plus-value de notre approche réside dans l'utilisation de modèles de prise de décision (métacognition, accumulation d'évidences) qui ont une valeur explicative relativement aux processus cognitifs sous-jacents et des marqueurs que l'on peut extraire. Nous souhaitons par ailleurs ancrer ces recherches dans le domaine de l'aéronautique et du contrôle aérien.

Etat de l'art:

De nombreuses études de sciences cognitives ont permis d'identifier un ensemble de facteurs nécessaires à la collaboration (Vinton et al., 2024) et à l'interprétation des intentions d'un autre agent (Manera et al., 2011; Pacherie, 2008) lors d'actions conjointes avec ceux-ci, allant même jusqu'à introduire ces marqueurs d'intentions à des agents artificiels afin d'en améliorer la collaboration avec l'humain (Le Guillou et al., 2023). L'intégration d'un autre agent (ses buts, ses intentions) modifie inévitablement les processus cognitifs quotidiens. Bien que certaines recherches définissent ces intentions via des schémas moteurs en environnement colocalisé (Vesper et al., 2017), les environnements aéronautiques complexes ne reposent pas toujours sur des actions conjointes directes. Par ailleurs, de nombreuses situations réelles ont pour difficulté centrale non pas l'identification d'une erreur manifeste motrice, mais la capacité à appréhender une situation ambiguë, risquée et incertaine.

Il existe des modèles et des outils permettant de caractériser les mécanismes spécifiques associés à la prise de décision individuelle dans lesquels l'incertitude et la confiance décisionnelle sont des éléments centraux et mesurables (Fleming, 2024). Ils postulent que lorsqu'un opérateur est amené à prendre une

décision en environnement incertain, il accumule des preuves en faveur des différentes alternatives possibles jusqu'à atteindre, pour l'une, un seuil décisionnel qui déclenche une réponse (Ratcliff et al., 2016). Ces modèles dits d'accumulation d'évidence offrent une dimension explicative sur les mécanismes sous-tendant les processus décisionnels (Lerche & Voss, 2020) ainsi que des signatures cérébrales objectives et robustes associées (Desender et al., 2025; Pereira et al., 2021). Ils permettent donc de mieux comprendre les besoins informationnels de l'opérateur pour réduire l'incertitude et décider en toute confiance. Cependant, ces modèles d'accumulation d'évidence manquent cruellement d'applicabilité puisqu'ils ont été majoritairement appliqués à des tâches simples, à choix binaire (oui/non, droite/gauche, etc.), dans un environnement contrôlé (Boag et al., 2023). Bien que des travaux existent sur des tâches complexes, ou impliquant des processus cognitifs multiples (mémoire, stimuli multiples, conduite), de nombreuses limites persistent pour les environnements opérationnels : les prises de décision impliquant des étapes multiples, séquentielles ou parallèles, avec la nécessité d'une intégration multisensorielle (stimuli multimodaux) sur des périodes longues (plusieurs secondes à minima) restent plus difficiles à modéliser (Palada et al., 2016) et leur modélisation est régulièrement remise en cause (Li & Ma, 2020). Il est donc nécessaire de mieux comprendre comment ces modèles peuvent être généralisés à des situations plus complexes, pour exploiter leur capacité à rendre compte des processus latents à la prise de décision ainsi que les signatures cérébrales associées.

Une seconde ouverture de ces modèles concerne la prise de décision conjointe. Les recherches portant sur l'impact de la présence d'un autre agent (humain ou artificiel) dans la médiation des mécanismes de prise de décision sont assez limitées (Mathieu et al., soumis; Parker & Ramsey, 2024). La compréhension du rôle des opérateurs au sein d'une équipe hybride humain.s-IA a attiré beaucoup d'attention, notamment dans le domaine de l'*Human-Autonomy Teaming* (Lyons et al., 2021). Plusieurs études ont démontré que les caractéristiques des systèmes d'IA (telles que leur explicabilité, leur transparence, le partage de leur modèle mental ou de leurs buts) pouvaient modifier la façon dont l'opérateur prend des décisions de manière individuelle, ou conjointe alors que d'autres ont mis en évidence l'impact de l'utilisation d'outils d'IA sur un plus long terme, sur différents processus cognitifs, allant jusqu'à parler de "dette cognitive" (Watts, 2025). Notamment, un très fort intérêt a été porté à l'impact de l'IA générative sur les capacités d'apprentissage (Chen et al., 2025) ou de raisonnement (Sun & Zhou, 2024). De même, plusieurs chercheurs ont suggéré la possibilité d'une érosion du sens d'agentivité dans la prise de décision du fait notamment d'un biais d'automatisation (Cummings, 2017) et de la surconfiance envers eux (Parasuraman et al., 1993). Certaines études vont même jusqu'à proposer des marqueurs d'une diminution de l'activité cérébrale associée à l'utilisation d'outils d'IA pour certaines tâches cognitives (Kosmyrna et al., 2025). Bien que ces résultats restent à confirmer (Stankovic et al., 2026), l'idée d'obtenir des indexes qui rendraient compte de la qualité de collaboration humain-humain ou humain.s-IA et dont la dynamique permettrait de mesurer la qualité du maintien en compétence au fur et à mesure de ces collaborations semble séduisante.

Nous proposons donc dans cette thèse d'utiliser les modèles de prise de décision en environnement complexe et incertain afin d'extraire des marqueurs comportementaux et physiologiques (EEG) qui pourraient : (1) rendre compte de la qualité de la collaboration humain-humain ou médiée par l'IA; et (2) de l'évolution de cette collaboration et de son impact sur la qualité de prise de décision.

Questions de recherche:

Les questions de recherche abordées dans cette thèse sont multiples:

- Quels sont les mécanismes sous-tendant la prise de décision en environnement complexe, incertain et dynamique comme le contrôle aérien? Les signatures issues des modèles d'accumulation d'évidence et de mesures d'activité cérébrale sont-elles généralisables à ce cadre opérationnel?
- Comment évoluent ces mécanismes et signatures cérébrales lors de prises de décisions conjointes avec un autre humain et/ou médiée par un système d'IA? Quels sont les mécanismes modulés par la prise de décision conjointe: la vitesse d'accumulation? la confiance décisionnelle? autre?
- Comment ces mécanismes et le processus décisionnel global évoluent et s'érodent au cours du temps? Quelles sont les caractéristiques de la collaboration qui ont le plus d'impact sur cette évolution?

Fondements théoriques:

Au niveau théorique, ce projet s'appuie sur des domaines de recherche et théories complémentaires:

- Le domaine de la métacognition au travers de la confiance décisionnelle et de la prise de décision en environnement incertain : les modèles d'accumulation d'évidences et réduction d'incertitude seront des outils à la fois d'explication et de mesure (Ratcliff, 1978; Ratcliff et al., 2016).
- Le domaine de la prise de décision conjointe, sur la base des théories de l'action conjointe pour les interactions humain-humain (Pacherie, 2011) et humain-système (Clodic et al., 2017).
- La collaboration humain-système et les facteurs influençant cette collaboration en environnement complexe (McNeese et al., 2018): notamment l'explicabilité des systèmes dans le domaine aéronautique (**Degas et al., 2022**) et son impact sur la prise de décision.

Approche et méthodes:

Ce projet de thèse possède une forte dimension opérationnelle, nous utiliserons donc des environnements de plus en plus écologiques comme proposé dans (**Berberian et al., 2017**) ou **Chikhi et al. (soumis)**.

Les 6 premiers mois de la thèse seront dédiés à la définition du cadre opérationnel au travers d'une revue de la littérature sur les tâches de collaboration dans le contrôle aérien (e.g. analyses de tâches existantes, projet **DIALOG**¹, **CODA**², **TRUSTY**³) et l'appropriation des modèles de prise de décision individuelle et conjointe (e.g. drift diffusion models, race models). Il conviendra ensuite de définir les limites actuelles des modèles de prise de décision pour concevoir des paradigmes expérimentaux appropriés. Une première expérience de prise de décision conjointe pourra être réalisée à la fin de cette première année, et pourrait se baser idéalement sur un protocole déjà existant dans le PEPR, pour pouvoir favoriser les synergies avec d'autres partenaires. Sur la base de ces résultats, des cas d'usage opérationnels plus précis pourront être définis au cours de la seconde année. Une ou plusieurs études expérimentales pourront se dérouler sur des jeux sérieux permettant une certaine représentativité de l'environnement écologique des contrôleurs aériens tout en conservant un contrôle sur les paramètres expérimentaux. Une à deux expérimentations seront réalisées dans la lignée des cas d'usages définis plus haut soit sur des populations classiques, soit sur des populations expertes (contrôleurs aériens en formation à l'ENAC) : collaboration contrôleur-contrôleur médiée par une IA, et collaboration contrôleur-pilote médiée par une ou plusieurs IA. Suite à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus, une dernière étude sur simulateur de contrôle aérien (avec possibilité de démonstrateur des indexes de collaboration identifiés dans les études précédentes) pourra être réalisée pendant la troisième année. Elle permettra d'appliquer les résultats plus théoriques à un cas d'usage opérationnel. Enfin, la seconde partie de la troisième année sera dédiée à la rédaction du manuscrit de thèse.

Pour chacune des expérimentations, une démarche scientifique (définition du protocole, obtention d'un avis éthique, préparation du matériel, réalisation expérimentale, analyses et interprétation des résultats) sera suivie. La diffusion des résultats est prévue tout au long de la thèse auprès de la communauté scientifique (articles, conférences), plus spécifiquement aux partenaires du PEPR **eNSEMBLE** lorsque possible (lors des journées du PEPR ou des journées inter PEPR), et au grand public (la nuit des chercheurs, ma thèse en 180 secondes, etc.).

Evaluation des contributions:

Les contributions théoriques de cette thèse seront évaluées sur :

- (1) l'amélioration de la compréhension des mécanismes de prise de décision conjointe en environnement complexe et sur le long terme via leur adéquation avec les modèles définis;
- (2) les réflexions éthiques posées par cet impact sur la collaboration humain.s-systèmes (notamment par rapport à la dégradation des mécanismes décisionnels);

Les contributions méthodologiques de cette thèse seront évaluées sur :

- (1) leurs capacités à mesurer de manière dynamique les mécanismes décisionnels des opérateurs en environnement complexe et incertain via des mesures comportementales et physiologiques;
- (2) la capacité de ces mesures à rendre compte de l'évolution de ces mécanismes lors de collaborations humain-humain, médiée ou non par l'IA;
- (3) la capacité de ces mesures à rendre compte des évolutions à long terme de la prise de décision.

¹DIALOG [doi : 10.3030/101166886](https://doi.org/10.3030/101166886); ²CODA [doi : 10.3030/101114765](https://doi.org/10.3030/101114765); ³TRUSTY [doi : 10.3030/101114838](https://doi.org/10.3030/101114838)

Nature de la collaboration numérique (1 page max)

Les cas d'usage a priori définis dans cette thèse portent sur la collaboration contrôleur-contrôleur et contrôleur-pilote dans le contexte du contrôle aérien. De manière intéressante, ces deux cas d'usage définissent deux types de collaboration bien distinctes. Dans les deux cas, la collaboration à une fonctionne identique puisque l'objectif est de réaliser une prise de décision conjointe entre les deux opérateurs experts. Cette prise de décision sera systématiquement synchrone puisque la communication entre les opérateurs se fera en temps réel. Néanmoins, cette communication pourra être médiée, ou non, par une IA. Les groupes seront de taille restreinte : seuls deux opérateurs sont pour le moment envisagés. Néanmoins plusieurs éléments d'intérêt à ces collaborations existent:

- Définition des buts : Une différence majeure entre les deux cas d'usage définis a priori dans ce projet réside dans l'alignement des buts et de l'expertise des opérateurs en collaboration. En effet, dans le premier cas d'usage, les deux collaborateurs ont a priori les mêmes expertises, procédures et formations, ce qui devrait les amener à définir de manière plus efficiente des buts communs et à aligner leurs objectifs et valeurs dans ce contexte. D'autre part, le second scénario porte sur la collaboration de deux opérateurs experts, mais dont les objectifs généraux sont distincts, voire opposés. Par ailleurs, bien que tous deux experts, leurs expertises ne reposent pas sur les mêmes acquis ni les mêmes compétences. Cette problématique peut donc moduler de manière différente les mécanismes de prise de décision conjointe et leurs marqueurs. Ici la généralisabilité des modèles et indexes identifiés pourra être testée. Cette problématique fait écho aux projets HUCAI, ACENCO et PreCog du PEPR.
- Médiation via l'IA : Dans la même lignée que la définition des buts, les deux cas d'usage reposent sur des médiations via des IA différentes. Les outils d'aide à la décision pour les contrôleurs aériens sont identiques au sein d'un même centre. Les informations fournies aux opérateurs lors de leur collaboration seront donc identiques, via la même IA, et auront un contenu informationnel similaire et un niveau d'incertitude contextuelle vis-à-vis de la décision équivalent. D'un autre côté, la collaboration contrôleur-pilote et leurs prises de décision pourront être médiées par des outils d'IA (aide à la décision, assistance) différents (i.e., celles du contrôleur et celles à bord de l'avion) qui n'auront pas les mêmes caractéristiques en termes de transparence, explicabilité ou fiabilité. Ces différences mèneront donc à des niveaux de risque et d'incertitude associés à la décision et la confiance décisionnelle variable pour les opérateurs en collaboration.
- Espace de localisation des opérateurs : Du fait de leur environnement opérationnel et de la coordination nécessaire entre les secteurs aériens, les contrôleurs peuvent être amenés à collaborer de manière colocalisée (un ensemble de demandes et décisions passent par la coordination directe avec un autre contrôleur) ou délocalisée (certaines demandes nécessitent de contacter des opérateurs qui ne sont pas du même centre, ou sur le même secteur). A l'inverse, la collaboration pilote-contrôleur se fait systématiquement de manière délocalisée avec un opérateur à bord de l'appareil tandis que le pilote est au sol. Ces espaces sont importants puisqu'ils vont avoir un effet à la fois sur le contenu informationnel disponible pour chacun, mais aussi car la coordination sur la prise de décision ne pourra se faire que sur des marqueurs explicites et explicités par les opérateurs. En effet un grand nombre de marqueurs de la collaboration ou de l'action conjointe sont des retours perceptifs basés sur des mouvements ou des intentions motrices. Les marqueurs développés dans cette thèse devront donc être applicables aux deux types de collaborations.
- Échelle temporelle : Les échelles temporelles envisagées dans cette thèse reposent à la fois sur le court et le moyen terme. En effet, le premier niveau d'évaluation des marqueurs de la prise de décision collaboratives portera sur des tâches dont la prise de décision sera soit rapide, de l'ordre de quelques secondes (comme actuellement modélisé dans la littérature), soit un peu plus longues puisque nous souhaitons adapter les modèles et marqueurs actuels à des décision plus complexes (séquentielles, multimodales, etc.). Enfin l'un des objectifs secondaires de cette thèse est aussi d'évaluer l'impact de la collaboration sur l'érosion des processus décisionnels à long terme. Cette seconde échelle (par exemple sur plusieurs jours ou plusieurs semaines) pourra aussi être introduite.

Contribution à la collaboration numérique : Résultats attendus et impact (1 page max)

Les contributions visées par cette thèse sont :

- Empiriques : Modélisation de la prise de décision des opérateurs experts en environnement opérationnel, analyse de résultats.
- Théoriques : La généralisation des modèles de prise de décision à des contextes complexes (collaboration, environnement opérationnel, stimuli complexes, etc) permettra de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la prise de décision conjointe ainsi que le rôle de nombreux paramètres sur la confiance décisionnelle et la minimisation des risques associés à cette prise de décision.
- Méthodologiques : De nouveaux indexes de mesures de la collaboration basés sur le contexte opérationnel (e.g., explicabilité du système d'IA), des mesures comportementales (e.g., mesure de l'accumulation d'évidence) et des mesures physiologiques (activité EEG) sont prévus. L'identification des paramètres modulant cette prise de décision collaborative pourra aussi permettre de définir des recommandations pour le développement des outils d'IA et des procédures opérationnelles.

Résultats attendus :

Ces travaux de thèse auront comme première contribution attendue le développement d'indices permettant (1) de rendre compte de la qualité de la collaboration via la modification des mécanismes de prise de décision collaborative en environnement complexe, basés notamment sur des modèles de neurosciences cognitives et (2) de mesurer le maintien en compétence des opérateurs experts sur le long terme. Ceci implique notamment d'adapter les modèles existants et permettant d'évaluer l'incertitude liée à la prise de décision à des contextes plus complexes et des prises de décision multiples et collaboratives. Le développement de ces modèles et des mesures/indexes associés se fera dans un premier temps sur la base de modèles simples préexistants (modèles de diffusion, d'accumulation d'évidences) mais pourra être complété par l'intégration d'éléments plus poussés comme des statistiques bayésiennes ou l'apprentissage par renforcement pour rendre compte de l'impact sur le long terme. Un apport additionnel de ces indexes repose sur une démarche multi niveaux (contextuel, comportemental et physiologique) permettant d'obtenir une vision intégrée de la prise de décision.

Outre ces résultats méthodologiques, une meilleure compréhension des mécanismes de prise de décision conjointe et des facteurs les modulant sur le court et long terme pourra mener à la définition de recommandations ainsi qu'à des réflexions éthiques sur l'impact des outils d'IA dans l'érosion de la prise de décision collaborative.

Globalement, ces travaux viseront à favoriser des interactions plus éthiques et agentives, à approfondir la compréhension des mécanismes décisionnels médiés par ces technologies, et à améliorer leur intégration.

En résumé, ce projet vise à augmenter nos connaissances concernant ces deux aspects:

- **Définition d'index**: Indexe de collaboration, index de maintien en compétence, qualité de collaboration (**PC5**)
- Modèle de **collaboration**: Améliorer nos connaissances sur la collaboration Humain - Humain au travers d'un proxy de type IA (**PC3**)

Positionnement dans le programme eNSEMBLE (½ page max)

Le projet de thèse s'inscrit pleinement dans le **PC5 TRANSVERSE**, particulièrement le thème 1 (« Méthodes et outils pour mesurer l'impact de la collaboration ») puisqu'il vise à proposer un index qui mesure la qualité de la collaboration humain-humain (médiée ou non par un agent IA) et son impact. Le sujet aborde également le thème 2 du PC5 (« Aspects éthiques, juridiques et philosophiques de la collaboration ») en traitant les enjeux éthiques d'autonomie décisionnelle et des conséquences de cette collaboration sur la prise de décision des opérateurs à court et long terme. Au-delà de leur portée empirique, les résultats alimenteront la réflexion philosophique et éthique sur le niveau d'assistance que l'IA doit apporter à la collaboration humain-humain et les mécanismes décisionnels touchés.

De plus, ce sujet traite une problématique proche de celle de la thèse [HUCAI](#) (« Human Collaboration enhanced by AI ») du PC5, dans laquelle les chercheurs ont pour objectif de développer des modèles et mesures rendant compte de l'alignement des buts, préférences et valeurs entre des robots et plusieurs humains. Ces questions sont d'ailleurs abordées sous divers prismes dans plusieurs projets du PEPR eNSEMBLE, tels que l'impact des agents artificiels sur le sens d'agentivité (projets [ACENCO](#) et [PreCog](#)), les processus émotionnels (thèse de Mathilde Yousefi), la capacité d'apprentissage, ou encore la responsabilité des opérateurs humains lors de ces collaborations.

Par sa dimension transversale, le projet fait également fortement écho à des thématiques traitées dans le **PC3 MATCHING**, notamment l'impact des systèmes intelligents sur l'expertise et le maintien des compétences. En proposant des indicateurs objectifs de la qualité de la prise de décision collective, la thèse permettrait d'évaluer dans quelle mesure la délégation à un agent artificiel influence sur le long terme les compétences décisionnelles, contribuant ainsi directement aux ambitions du PC3.

Enfin, la présente thèse est complémentaire au projet PreCog, qui explore les mécanismes cognitifs de l'action conjointe ainsi que la construction de modèles mentaux dans des environnements collaboratifs hybrides (agents humains et artificiels). Ce projet vise notamment à mieux comprendre et améliorer la prédictibilité des partenaires et l'agentivité au sein de l'interaction. La thèse proposée ici cherche à objectiver ces mécanismes par le développement d'un index de la qualité de la collaboration en contexte hybride.

Bibliographie

- Berberian, B., Somon, B., Sahai, A., & Gouraud, J. (2017). The out-of-the-loop Brain : A neuroergonomic approach of the human automation interaction. *Annual Reviews in Control*, 44, 303-315. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2017.09.010>
- Boag, R. J., Strickland, L., Heathcote, A., Neal, A., Palada, H., & Loft, S. (2023). Evidence accumulation modelling in the wild: Understanding safety-critical decisions. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(2), 175-188. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.11.009>
- Chen, Y., Wang, Y., Wüstenberg, T., Kizilcec, R. F., Fan, Y., Li, Y., Lu, B., Yuan, M., Zhang, J., Zhang, Z., Geldsetzer, P., Chen, S., & Bärnighausen, T. (2025). Effects of generative artificial intelligence on cognitive effort and task performance : Study protocol for a randomized controlled experiment among college students. *Trials*, 26(1), 244. <https://doi.org/10.1186/s13063-025-08950-3>
- Chikhi, S., Berberian, B., Migliorini, Y., & Somon, B. (submitted) From HTA to AI : Modelling controllers' intent through human-centric approach to support Human-Agent Teaming in ATM. *European Association for Aviation Psychology (EAAP)*. September 21-24, 2026.
- Clodic, A., Pacherie, E., Alami, R., & Chatila, R. (2017). Key Elements for Human-Robot Joint Action. In R. Hakli & J. Seibt (Éds.), *Sociality and Normativity for Robots* (p. 159-177). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53133-5_8
- Cummings, M. L. (2017). Automation Bias in Intelligent Time Critical Decision Support Systems. In D. Harris, *Decision Making in Aviation* (1^{re} éd., p. 289-294). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315095080-17>
- Degas, A., Islam, M. R., Hurter, S., Barua, S., Rahman, H., Poudel, M., Ruscio, D., Ahmed, M. U., Begum, S., Rahman, M. A., Bonelli, C., Cartocci, G., Di Flumeri, G., Borghini, G., Babiloni, F., & Aricó, P. (2022). A Survey on Artificial Intelligence (AI) and eXplainable AI in Air Traffic Management : Current Trends and Development with Future Research Trajectory. *Applied Sciences*, 12(3), 1295. <https://doi.org/10.3390/app12031295>
- Desender, K., Smet, A., Erdil, D., Gunay, E. M., Visser, Y. F., Le Denmat, P., & Van Marcke, H. (2025). Common neural choice signals reflect accumulated evidence, not confidence. *Cerebral Cortex*, 35(8), bhaf257. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaf257>
- Fleming, S. M. (2024). Metacognition and Confidence : A Review and Synthesis. *Annual Review of Psychology*, 75(1), 241-268. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-022423-032425>
- Kosmyna, N., Hauptmann, E., Yuan, Y. T., Situ, J., Liao, X.-H., Beresnitzky, A. V., Braunstein, I., & Maes, P. (2025). *Your Brain on ChatGPT : Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task* (ArXiv:2506.08872). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.08872>
- Le Guillou, M., Prévot, L., & Berberian, B. (2023). Trusting Artificial Agents : Communication Trumps Performance. In N. Agmon, *Proceedings of the 2023 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- Lerche, V., & Voss, A. (2020). When accuracy rates and mean response times lead to false conclusions : A simulation study based on the diffusion model. *The Quantitative Methods for Psychology*, 16(2), 107-119. <https://doi.org/10.20982/tqmp.16.2.p107>
- Li, H.-H., & Ma, W. J. (2020). Confidence reports in decision-making with multiple alternatives violate the Bayesian confidence hypothesis. *Nature Communications*, 11(1), 2004. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15581-6>
- Lyons, J. B., Sycara, K., Lewis, M., & Capiola, A. (2021). Human-Autonomy Teaming : Definitions, Debates, and Directions. *Frontiers in Psychology*, 12, 589585. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.589585>
- Manera, V., Becchio, C., Cavallo, A., Sartori, L., & Castiello, U. (2011). Cooperation or competition? Discriminating between social intentions by observing prehensile movements. *Experimental Brain Research*, 211(3-4), 547-556. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2649-4>
- Marmolejo-Ramos, F., Marrone, R., Korolkiewicz, M., Gabriel, F., Siemens, G., Joksimovic, S., Yamada, Y., Mori, Y., Rahwan, T., Sahakyan, M., Sonna, B., Meirmanov, A., Bolatov, A., Som, B., Ndukaihe, I., Arinze, N. C., Kundrát, J., Skanderová, L., Ngo, V.-G., ... Tejada, J. (2025). Factors influencing trust in algorithmic decision-making : An indirect scenario-based experiment. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1465605. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1465605>
- Mathieu, L., Mazoyer, P., De Grancey, F., Sarrazin, J.C., Somon, B., & Drougard, N. (submitted) Identification of Trust Determinants during Human-Systems Interaction. *Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. September 15-17, 2026
- McNeese, N. J., Demir, M., Cooke, N. J., & Myers, C. (2018). Teaming With a Synthetic Teammate : Insights into Human-Autonomy Teaming. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60(2), 262-273. <https://doi.org/10.1177/0018720817743223>
- Pacherie, E. (2008). The phenomenology of action : A conceptual framework. *Cognition*, 107(1), 179-217. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.09.003>
- Pacherie, E. (2011). Framing Joint Action. *Review of Philosophy and Psychology*, 2(2), 173-192. <https://doi.org/10.1007/s13164-011-0052-5>
- Palada, H., Neal, A., Vuckovic, A., Martin, R., Samuels, K., & Heathcote, A. (2016). Evidence accumulation in a complex task : Making choices about concurrent multiattribute stimuli under time pressure. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 22(1), 1-23. <https://doi.org/10.1037/xap0000074>

- Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and Bias in Human Use of Automation : An Attentional Integration. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 52(3), 381-410. <https://doi.org/10.1177/0018720810376055>
- Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L. (1993). Performance Consequences of Automation-Induced « Complacency ». *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(1), 1-23. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0301_1
- Parker, S., & Ramsey, R. (2024). What can evidence accumulation modelling tell us about human social cognition? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 77(3), 639-655. <https://doi.org/10.1177/17470218231176950>
- Pereira, M., Megevand, P., Tan, M. X., Chang, W., Wang, S., Rezai, A., Seeck, M., Corniola, M., Momjian, S., Bernasconi, F., Blanke, O., & Faivre, N. (2021). Evidence accumulation relates to perceptual consciousness and monitoring. *Nature Communications*, 12(1), 3261. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23540-y>
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85(2), 59-108. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.85.2.59>
- Ratcliff, R., Smith, P. L., Brown, S. D., & McKoon, G. (2016). Diffusion Decision Model : Current Issues and History. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(4), 260-281. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.01.007>
- Stankovic, M., Hirche, E., Kollatzsch, S., & Doetsch, J. N. (2026). *Comment on: Your Brain on ChatGPT: Accumulation of Cognitive Debt When Using an AI Assistant for Essay Writing Tasks* (Version 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2601.00856>
- Sun, L., & Zhou, L. (2024). Does Generative Artificial Intelligence Improve the Academic Achievement of College Students? A Meta-Analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 62(7), 1676-1713. <https://doi.org/10.1177/07356331241277937>
- Vesper, C., Abramova, E., Bütepage, J., Ciardo, F., Crossey, B., Effenberg, A., Hristova, D., Karlinsky, A., McEllin, L., Nijssen, S. R. R., Schmitz, L., & Wahn, B. (2017). Joint Action : Mental Representations, Shared Information and General Mechanisms for Coordinating with Others. *Frontiers in Psychology*, 07. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.02039>
- Vinton, L. C., Preston, C., de la Rosa, S., Mackie, G., Tipper, S. P., & Barraclough, N. E. (2024). Four fundamental dimensions underlie the perception of human actions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 86(2), 536-558. <https://doi.org/10.3758/s13414-023-02709-1>
- Watts, K. J. (2025). Paying the Cognitive Debt : An Experiential Learning Framework for Integrating AI in Social Work Education. *Education Sciences*, 15(10), 1304. <https://doi.org/10.3390/educsci15101304>