

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Lois de commandes asymptotiquement robustes pour les très grands systèmes connectés

Référence : **TIS-DTIS-2026-34**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2026

Date limite de candidature : Juin 2026

Mots clés

coordination multi-agent, automatique, mathématiques appliquées, véhicules autonomes

Profil et compétences recherchées

Ecole d'ingénieur ou Master 2 Recherche avec spécialisation en automatique, maths appliquées / Engineering school or Master with specialization in control systems, applied mathematics

Automatique, maths appliquées, Matlab, Simulink / Control theory, applied maths, Matlab, Simulink

Bon niveau rédactionnel et bon niveau d'anglais / Good level in scientific writing and english

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La miniaturisation des drones et des satellites ainsi que leur déploiement en grand nombre sont en train de changer leurs champs d'applications civils et militaires. Une grande population d'agents fait émerger de nouveaux comportements de (sous-)groupes avec des capacités dépassant celles d'un nombre limité d'agents. Ces comportements peuvent être bénéfiques pour la société (couverture internet satellitaire) mais peuvent aussi engendrer des dangers (saturation des défenses). Il est alors nécessaire d'être capable d'analyser et de prédire le comportement de tels systèmes ainsi que de pouvoir les contrôler efficacement. Pour cela, il est nécessaire d'augmenter le niveau de représentativité pour la modélisation et le contrôle: Les interactions modélisées entre agents et/ou les commandes distribuées appliquées doivent être représentatives des systèmes d'intérêts (drones, satellites, foules) et de leurs capacités de perception (contraintes de champs de vue, de profondeur), de communication (connexité) et d'actionnement (parcimonie). Les lois de commande doivent être soigneusement conçues pour respecter ces contraintes et **aussi garantir un comportement approprié quand on passe à la limite d'un grand nombre d'éléments**.

Ce sujet de thèse s'intéresse donc aux défis posés par une augmentation drastique du nombre d'éléments dans les dynamiques collectives à des fins d'optimisation (mission à réaliser, contrôle) et d'évaluation. L'objectif est de répondre à la question suivante : comment les lois de commande, les incertitudes et les garanties connues pour les ensembles à nombre raisonnable d'éléments passent-elles à l'échelle quand les systèmes deviennent très grands ?

Les travaux visent particulièrement à étendre des résultats précédents [Col1] [MME] où des lois de commande bio-inspirées ont été analysées et passées à la limite pour un très grand nombre d'éléments. Ces lois ne garantissaient pas une distance d'évitement minimale et ne considéraient pas des contraintes de perception. En s'inspirant des travaux présentés dans [RestrepoTAC2023], [RestrepoAUT2021], [SekerciogluNOLCOS2025] où a été étudiée la commande distribuée des systèmes multi-agents qui sont soumis à des contraintes inter-agents (champ-de-vue, connectivité, évitement de collisions), nous rechercherons des algorithmes appliqués à la coordination de différents systèmes robustes à des modélisations de plus en plus complexes (essaims de véhicules terrestres, de drones et de satellites). La considération de différents modèles servira en particulier pour analyser leur utilité et pertinence pendant le passage à l'échelle.

Un autre aspect du sujet portera sur la modélisation et la gestion des retards de communication, l'étude de leur impact sur la réalisation des missions d'intérêt et la préservation de l'intégrité du groupe. Complémentaires à ces travaux d'analyse seront les recherches pour le développement des algorithmes de coopération qui sont robustes aux retards de communication.

Les retards apparaissent dans la quasi-totalité des systèmes pratiques pour diverses raisons : la vitesse de transmission d'informations est limitée, un temps de traitement est requis par le capteur pour obtenir le signal mesuré, un temps de calcul est nécessaire à la génération des entrées de

commande et un temps d'exécution minimal est nécessaire à l'application des entrées.... Ces délais sont fréquemment une source d'instabilité, même pour des valeurs faibles. Leur impact est d'autant plus accentué dans des scénarios où plusieurs agents doivent coopérer en échangeant régulièrement des informations via un réseau de communication. S'ils ne sont pas correctement analysés ou atténués, les retards de communication peuvent détériorer les performances du groupe et mettre en péril la mission.

Un point de départ est d'exploiter des résultats précédents sur l'analyse et la commande des systèmes à retards, cf. [NunoTAC2024], [NunoSCL2020]. Ces outils méthodologiques s'appuient sur la construction des fonctions de Lyapunov-Krasovskii et des fonctionnelles Lyapunov-Razumikhin permettant d'établir les propriétés de stabilité et de robustesse du système multi-agent malgré les retards de communication, constants ou temps-variants. Un challenge particulier sera d'analyser l'impact des retards en présence des contraintes inhérentes à la dynamique d'un essaim.

Bibliographie :

- [Col1] Maupoux, A., Dufour, G., & Hérisse, B. (2024). Collisionless drone swarm dynamics through optical flow based control using general communication graphs. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 1-22.
- [MME] Axel Maupoux. Modélisation, analyse mathématique et simulation numérique de grandes flottes de drones autonomes.. Mathématiques [math]. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2023. Français. ([NNT : 2023TOU30303](#)). ([tel-04639007](#))
- [RestrepoTAC2023] E. Restrepo-Ochoa, A. Loria, I. Sarras, J. Marzat, "Robust Consensus of High-Order Systems under Output Constraints: Application to Rendezvous of Underactuated UAVs", IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 68, no. 1, pp. 329-342 2023.
- [RestrepoAUT2021] E. Restrepo-Ochoa, A. Loria, I. Sarras, J. Marzat, "Edge-based Strict Lyapunov Functions for Consensus with Connectivity Preservation over Directed Graphs", Automatica, Volume 132, 109812, 2021.
- [RestrepoCSL2021] E. Restrepo, A. Loria, I. Sarras and J. Marzat, "Leader-Follower Consensus of Unicycles With Communication Range Constraints via Smooth Time-Invariant Feedback," IEEE Control Systems Letters, vol. 5, no. 2, pp. 737-742, 2021.
- [RestrepoJC2020] E. Restrepo-Ochoa, A. Loria, I. Sarras, J. Marzat, "Stability and Robustness of edge-agreement-based Consensus Protocols for undirected Proximity Graphs", International Journal of Control, 95(2), 526–534, 2020.
- [SekerciogluIJC2024] P. Sekercioglu, I. Sarras, A. Loria, E. Panteley, J. Marzat, "Leader-follower and leaderless bipartite formation-consensus over undirected coopetition networks and under proximity and collision-avoidance constraints", International Journal of Control, 98(3), 642–656, 2024.
- [SekerciogluNOLCOS2025] P. Sekercioglu, I. Sarras, A. Loria, J. Marzat, "Formation Control of Flying Spacecraft over Signed Networks with Inter-Satellite Constraints", 13th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems, 2025.
- [NunoTAC2024] E. Nuno, I. Sarras, H. Yin, B. Jayawardhana, "Consensus of Euler-Lagrange Agents With Internal Model Disturbance Rejection and Interconnection Delays", IEEE Trans. on Aut. Control, 69 (6), pp. 4066 – 4071, 2024.
- [NunoSCL2020] E. Nuño, I. Sarras, A. Loria, M. Maghenem, E. Cruz-Zavala, E. Panteley, "Strict Lyapunov–Krasovskii Functionals for undirected networks of Euler–Lagrange systems with time-varying delays", Systems & Control Letters, Vol 135, pp.104579, 2020.

Collaborations envisagées

Université de Gualajara, Laboratoire des Signaux & Systèmes (L2S, CNRS)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Ioannis SARRAS

Tél. : 01 80 38 6665

Email : ioannis.sarras@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Bruno HERISSE

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Tél. : 01 80 38 6693

Email : bruno.herisse@onera.fr

Co-directeur de thèse

Nom : Guillaume DUFOUR

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Tél. : 05 62 25 28 64

Email : guillaume.dufour@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>