



Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système, CNRS UMR 5218  
351 cours de la Libération, building A31, 33405 Talence cedex, France

## Call for applications PhD position

### Toward robust estimation and control algorithms hybridizing uncertain dynamic models and reinforcement learning

#### Supervision:

Christophe COMBASTEL, Jérôme CIESLAK  
[christophe.combastel@u-bordeaux.fr](mailto:christophe.combastel@u-bordeaux.fr), [jerome.cieslak@u-bordeaux.fr](mailto:jerome.cieslak@u-bordeaux.fr)

#### Laboratory:

IMS (CNRS UMR 5218) / Control systems / ARIA team

#### Context:

The combination of reinforcement learning [1] and deep learning is now able to obtain significant average efficiency levels when performing an ever-increasing range of complex tasks which are difficult to model based on a sole a priori knowledge. However, these solutions remain vulnerable to low levels of noise/perturbations and dependent on the setup of large training databases. The overall computational (and energetical) cost is often huge, making these techniques not always well suited to embedded applications, especially those for which **safety** (passivation<sup>1</sup> of non-intentional faults), **security** (passivation of intentional attacks) and **frugality** regarding online computational resources are required. In this context, **hybridizing learning techniques with model-based approaches** looks desirable to take more explainable knowledge into account in order to enhance the satisfaction of strict verification/certification requirements while still improving online efficiency.

The design of **robust control** laws and the computation of **reachable sets** for **continuous/hybrid dynamics** under specified uncertainties (bounded, Gaussian, mixed) present attractive features to this purpose. Indeed, these approaches rely on the knowledge of a dynamic model to ensure the **satisfaction of safety-related properties** (e.g. stability, maintaining the system in a safe operational domain), including in the "worst cases" among the specified scenarios. However, the obtained guarantee remains conditioned to the validity of the available models, and the counterpart to an increased robustness is often a lower efficiency under the more common operational conditions (normal operation with system close to a nominal behavior).

Reinforcement learning appears as a good candidate to significantly improve the terms of such trade-offs. By placing safety/security and frugality at the heart of its objectives, this PhD thesis proposal aims at developing advanced methods and algorithms focusing on the **hybridization** (see Fig. 1) between control systems **verified/robust model-based techniques** and AI-based **reinforcement learning**.

---

<sup>1</sup> Passivation: here, maintaining the influence of anomalies below an acceptable level of risk.

## Goal/methods:

This PhD thesis aims at developing methods and algorithms for robustly verifying properties in **perception and control loops** incorporating/integrating reinforcement learning [1]. This **learning** will aim at improving dynamic performances in **changing and poorly known environments**, taking control systems model-based **robust and/or set membership** techniques [4,5] as baseline. A close integration (**hybridization**) of so-called "model-based" and "model-free" approaches will be studied, while taking special care to maintain the ability to **verify safety/security properties** [2,3] as required e.g. for certification purposes. In this context, a particular attention will be paid on proposing perception and control architectures relying on the complementarity (Fig. 1) between i) and ii) :

**i) Uncertain dynamic modelling and robust/resilient design** to different types of disturbances and anomalies (faults, attacks), in order to guarantee the satisfaction of given performance objectives (e.g. stability, accuracy, safety) with best coverage.

**ii) Integration of neural networks** resulting from training on data sets first exploited off-line, before a verification of algorithms properties (notably those related to robustness) with on-line perspectives.

## Targeted application fields:

Guided by embedded applications for which safety and frugality (less computational resources, energy mitigation) play a central role, the developed hybrid solutions could, depending on the profile and experience of the selected candidate, concern future estimation and control algorithms for more autonomous, sustainable and resilient vehicles (e.g. aircraft, aerial/UAV or marine/ASV drones), collaborative robots, or health applications (e.g. anesthesia dosing, blood glucose regulation).

## Profile:

The candidate will preferably have an Engineering/M2 Research Master's degree in Control Systems, while remaining open to Applied Mathematics and Computer Science (verification, learning, AI):

- A strong mathematical background related to modelling and control/observation of dynamic systems is required (e.g. robust/predictive/optimal control, uncertain dynamic models, estimation/filtering, constrained optimization),
- Additional skills/knowledge in verification with continuous/hybrid domains and/or in the principle and implementation of learning algorithms are highly welcome,
- A confirmed level of programming practice in at least one object language (notably: Matlab, Python) and a good practice of English (written and oral) are also required.

## More information:

- Funding: 3 years grant from the French Ministry of higher education and research (MESR),
- Gross annual salary: between 25k€ and 27k€, according to the progression defined in the Decree of 26/12/2022 (see Art. 1), that is, net salary starting from ≈1650 € per month with social insurance included,
- Additional remuneration through teaching missions may be studied,
- Tuitions fees for doctoral students: ≈400€/year,
- Information on studies, daily life and campus life at University of Bordeaux can be found [here](#).

## How to apply?

Send CV (including academic results) + Cover letter + Transcripts (last 2 years) + Certificate of achievement or Master's diploma (or other equivalence to the French M2r Master's degree) + any Recommendation(s) letter(s), by **June 23, 2023**, to: [christophe.combastel@u-bordeaux.fr](mailto:christophe.combastel@u-bordeaux.fr) and [jerome.cieslak@u-bordeaux.fr](mailto:jerome.cieslak@u-bordeaux.fr)

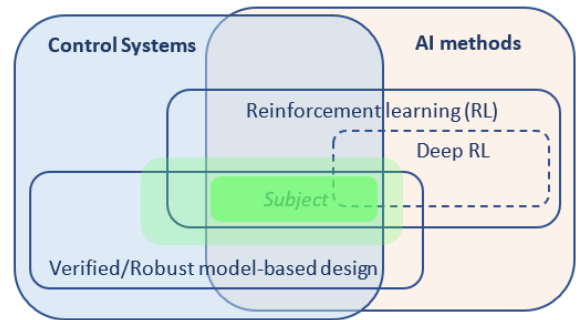


Fig. 1 : Positioning of the expected work (highlighted in green)



Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système, CNRS UMR 5218  
351 cours de la Libération, building A31, 33405 Talence cedex, France

## Appel à candidatures Sujet de thèse

### Vers des algorithmes de commande et d'estimation robustes associant modèles dynamiques incertains et apprentissage par renforcement

#### Encadrement :

Christophe COMBASTEL (directeur), Jérôme CIESLAK (co-directeur)  
[christophe.combastel@u-bordeaux.fr](mailto:christophe.combastel@u-bordeaux.fr), [jerome.cieslak@u-bordeaux.fr](mailto:jerome.cieslak@u-bordeaux.fr)

#### Laboratoire :

IMS (CNRS UMR 5218) / groupe Automatique / équipe ARIA

#### Contexte :

Les techniques d'apprentissage profond et par renforcement [1] permettent désormais d'obtenir des performances moyennes remarquables pour accomplir certaines tâches complexes difficilement modélisables. Pour autant, les solutions obtenues restent vulnérables à de faibles niveaux de bruits/perturbations ou à des déviations par rapport aux données d'apprentissage. Les ressources de calculs (et énergétiques) utilisées s'avèrent parfois colossales et les techniques peu adaptées à des applications embarquées où **sécurité** (passivation<sup>2</sup> de défauts non intentionnels), **sûreté** (passivation d'attaques intentionnelles) et **frugalité** des ressources de calculs en ligne sont de mise. Dans ce contexte, une **hybridation de techniques d'apprentissage avec des approches à base de modèles** s'avère souhaitable pour tenir compte de connaissances explicables favorisant la vérification/certification, tout en améliorant les performances en ligne.

La synthèse de lois de **commande robuste** et la mise en œuvre de **calculs d'ensembles atteignables** pour des **dynamiques continues/hybrides** en réponse à des incertitudes spécifiées (bornées, gaussiennes, mixtes) trouvent là un champ d'application privilégié. Ces approches s'appuient sur la connaissance d'un modèle dynamique pour assurer/prouver la **satisfaction de propriétés de sécurité** (ex : stabilité, maintien du système dans un domaine opérationnel sûr), y compris dans les « pires cas » parmi les scénarios spécifiés. La forme de garantie ainsi obtenue reste néanmoins conditionnée à la validité des modèles utilisés, et une robustesse accrue a souvent pour contrepartie une moindre performance dans les situations opérationnelles les plus courantes (système proche des conditions nominales).

L'apprentissage par renforcement apparaît comme une voie prometteuse pour améliorer significativement les termes de ces compromis. En plaçant sécurité/sûreté et frugalité au cœur de ses objectifs, le sujet proposé s'intéresse tout particulièrement à l'**hybridation** (voir Fig. 1) de techniques de **vérification et synthèse robuste à base de modèles issues de l'Automatique**, avec des techniques neuronales d'**apprentissage par renforcement**.

---

<sup>2</sup> Passivation : ici, maintien de l'influence des anomalies à un niveau de risque acceptable.

## Objectifs/méthodes :

Ce travail de thèse vise à développer une méthodologie et des algorithmes pour vérifier de manière robuste des propriétés de sécurité/sûreté dans des **boucles de perception et de commande intégrant de l'apprentissage** par renforcement [1]. Cet apprentissage aura pour objectif d'améliorer les performances dynamiques dans des **environnements changeants et mal connus**, en prenant comme référence des techniques **robustes/ensemblistes** [4,5] à base de modèles incertains de l'Automatique. Une mise en œuvre conjointe et aussi intégrée que possible (**hybridation**) d'approches dites « à base de modèle » et « sans modèle » sera étudiée, tout en veillant à préserver la possibilité de **vérifier des propriétés de sécurité/sûreté** [2,3] utiles en vue de certifications. Il s'agira notamment de proposer des architectures de perception et de commande reposant sur une complémentarité (Fig. 1) entre *i*) et *ii*) :

**i) Modélisation dynamique incertaine et synthèse robuste/résiliente** à différents types de perturbations et anomalies (défauts, attaques), afin de garantir la couverture de tests de conformité à des objectifs de performance donnés (ex : stabilité, précision, consommation).

**ii) L'intégration de réseaux de neurones** issus d'un apprentissage sur des jeux de données d'abord exploités hors ligne, avant une vérification de propriétés (notamment celles liées à la robustesse) des algorithmes ensuite implémentés en ligne.

## Domaines applicatifs visés :

Guidée par des visées applicatives embarquées où sécurité et frugalité (moindres ressources de calculs, moindre consommation énergétique) jouent un rôle prépondérant, l'hybridation envisagée entre Automatique et IA pourra, selon le profil et l'expérience du(de la) candidat(e) retenu(e), concerner de futurs algorithmes d'estimation et de contrôle pour des véhicules plus autonomes, durables et résilients (ex: avions, drones aériens ou marins), des robots collaboratifs, ou pour des applications en santé (ex : dosages lors d'anesthésies, régulation de la glycémie).

## Profil recherché :

Le(la) candidat(e) recruté(e) aura préférentiellement un profil d'Ingénieur/Master M2 Recherche en Automatique tout en restant ouvert aux Mathématiques appliquées et à l'Informatique (vérification, apprentissage, IA) :

- Une base mathématique solide en lien avec la modélisation et la commande/observation de systèmes dynamiques est demandée (par exemple : commande robuste/prédictive/optimale, modèles dynamiques incertains, estimation/filtrage, optimisation sous contraintes),
- Des compétences/connaissances complémentaires en vérification sur des domaines continus/hybrides et/ou sur le principe et la mise en œuvre d'algorithmes d'apprentissage seront accueillies très favorablement,
- Un niveau de pratique confirmé de programmation dans au moins un langage objet (notamment : Matlab, Python) et une bonne maîtrise de l'anglais technique (écrit et oral) sont également requis.

## Informations complémentaires :

- Financement : MESR (3 ans),
- Salaire annuel brut : entre 25k€ et 27k€, selon la progression définie à l'Art. 1 de l'Arrêté du 26/12/2022,
- Complément de rémunération envisageable dans le cadre de missions d'enseignement,
- Guide de l'étudiant à l'Université de Bordeaux (études, vie quotidienne, campus) : [édition 2022-2023](#).

## Candidature :

Adresser CV + Lettre de motivation + Relevés de notes (2 dernières années : niveaux M1, M2) + Attestation de réussite au Master (ou du diplôme conférant le grade de Master) + Lettre(s) de recommandation(s) éventuelle(s) d'ici le **23 Juin 2023** à : [christophe.combastel@u-bordeaux.fr](mailto:christophe.combastel@u-bordeaux.fr) et [jerome.cieslak@u-bordeaux.fr](mailto:jerome.cieslak@u-bordeaux.fr)

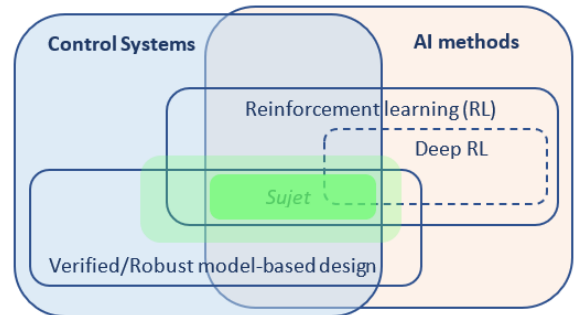


Fig. 1 : Positionnement : périmètre/cœur du sujet (en vert clair/foncé)

## References

- [1] R. S. Sutton and A. G. Barto, Reinforcement Learning: An introduction (2<sup>nd</sup> edition), MIT Press, Nov. 2018.
- [2] M. Fazlyab, M. Morari and G. J. Pappas, Safety Verification and Robustness Analysis of Neural Networks via Quadratic Constraints and Semidefinite Programming, in *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 67, no. 1, pp. 1-15, Jan. 2022.
- [3] E. Goubault, S. Putot, RINO : Robust INner and Outer Approximated Reachability of Neural Networks Controlled Systems, In : *Computer Aided Verification (CAV 2022)*, Springer LNCS volume 13371, 2022.
- [4] G. Hu, J. Guo, Z. Guo, J. Cieslak and D. Henry, "ADP-Based Intelligent Tracking Algorithm for Reentry Vehicles Subjected to Model and State Uncertainties," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 4, pp. 6047-6055, April 2023.
- [5] C. Combastel, Functional sets with typed symbols: Mixed Polynotopes for hybrid nonlinear reachability and filtering, *Automatica*, Vol. 143, 110457, July 2022.