

Proposition de sujet de thèse / PhD thesis proposal – sept 2026 -

- *Title / Titre*

A-PEACH : Autonomous Planning and Execution Aligned with Contingencies from Humans

Intégration d'incertitudes multi-sources dans la génération et l'exécution continue de plans de tâches pour des agents autonomes en interaction avec l'humain.

- *Supervision / Encadrement*

Thierry VIDAL (thierry.vidal@laas.fr), **Arthur BIT-MONNOT** (arthur.bit-monnot@laas.fr)
RIS – LAAS-CNRS, Toulouse (<https://www.laas.fr/en/teams/ris/>)

Description en français (English version below)

- *Contexte scientifique, situation par rapport à l'état de l'art*

Le terme d'agent autonome désigne tout système automatisé agissant dans le monde réel et doté de capacités à la fois d'**interaction avec son environnement**, via des entrées/capteurs (caméra, micro, mais aussi message textuel, données réseau, etc) et des sorties/actionneurs (roues, bras, haut-parleur, ou messages/données), et des **capacités de raisonnement et de prise de décision**, à plusieurs niveaux (navigation, vision, manipulation, séquence d'actions, mission allouée, etc), s'appuyant sur des modèles dédiés de représentation des données et des connaissances.

Cette thèse s'intéresse spécifiquement aux capacités de raisonnement dites « haut-niveau », liées à la **planification des tâches** (parfois appelées actions / activités) devant être menées pour **atteindre ou maintenir des buts ou missions** fixées à l'agent.

Le travail mené étant générique, il peut a priori s'appliquer à divers types d'agents selon les applications visées : services web, bus autonomes, satellites, etc. L'équipe RIS, au sein du département Robotique du LAAS, s'intéresse plus particulièrement aux **robots** (allant des drones aux robots de service à la personne), qui constitueront le cas d'application prioritaire.

Plus particulièrement, il s'agira d'aborder des robots **interagissant avec l'humain**, en considérant les trois niveaux d'interaction possibles, qui posent des problèmes différents :

- (I1) L'humain comme une **variable du monde** extérieur considéré (ex : robots se déplaçant dans une foule)
- (I2) L'humain comme agent externe **interagissant durant l'exécution** du plan (ex : robots effectuant des tâches de manutention ou logistique en coopération avec des agents humains)
- (I3) L'humain comme **agent interagissant durant l'élaboration du plan** de tâches (ex : supervision de tâches de surveillance effectuées par des flottes de robots, ou robots de service en santé capables de prendre en compte en temps-réel les besoins des patients).

On s'intéressera prioritairement au cas d'un **agent unique** en interaction avec son environnement et avec l'humain, mais les problèmes particuliers posés par les **systèmes multi-agents** (flottes de robots) pourront être considérés dans un second temps.

Traditionnellement, un agent autonome se voit assigner un but (ex : aller chercher un objet et le ramener à l'opérateur), le planificateur cherche parmi les actions connues disponibles, un enchaînement logique permettant

de mener de l'état initial à un état satisfaisant le but. Enfin, cette **séquence d'actions** est exécutée par l'agent en utilisant ses capacités de bas-niveaux (capteurs/actionneurs).

Tout cela suppose un environnement **déterministe**. Le monde réel n'est pas aussi prévisible, de nombreuses **incertitudes** obligent à revoir ce paradigme, le plan trouvé s'exécutant rarement comme prévu. Les incertitudes peuvent être temporelles (durées variables), liées aux ressources utilisées (ex : un composant du robot défectueux, un niveau de batterie insuffisant, etc) ou à l'environnement (ex : une route impraticable).

De plus, les incertitudes et aléas proviennent de trois sources principales :

- Les approximations dans les tâches bas-niveau (par exemple, la durée réelle d'une tâche de navigation peut dépasser l'estimation initiale)
- Les informations incomplètes sur l'état du monde (par exemple, une porte fermée non détectée ou un objet manquant dans le stock)
- Les événements imprévus (tels que les pannes matérielles ou les collisions)

Le travail à mener s'appuiera sur l'existence de 5 éléments issus de travaux antérieurs menés par les encadrants et dans l'équipe RIS :

(C1) L'utilisation du **planificateur temporel mono-agent déterministe ARIES**, de type solveur **d'optimisation sous contraintes**, qui est développé dans l'équipe (dans le langage Rust) [Bit-Monnot, 2023], capable de générer et mettre à jour un ordonnancement global des tâches.

(C2) Plusieurs travaux [Van de Vonder et al., 2007] [Bidot et al., 2009] ont étudié les différentes stratégies pour prendre en compte les incertitudes dans une **architecture combinant de manière dynamique planification/ordonnancement de tâches et exécution** du plan produit, en distinguant des approches **proactives** (qui anticipent certaines incertitudes en les modélisant dans le modèle initial afin de produire des plans prédictifs robustes vis-à-vis de ces aléas), **réactives** (qui prévoient l'activation de modules d'adaptation locale du plan ou de replanification en ligne lors d'un événement affectant le plan en cours), et enfin **progressives/continues** (ou la planification s'effectue en ligne en avance de phase par rapport à l'exécution en intégrant les événements observés pour planifier la prochaine étape).

(C3) Le projet HumFleet (anr.fr/Project-ANR-23-CE33-0003), porté par l'équipe RIS du LAAS-CNRS et piloté par Arthur BIT-MONNOT, développe une architecture de **collaboration humain-système** pour la planification des tâches d'une **flotte de robots** hétérogènes opérant dans des environnements industriels (logistique, ateliers de fabrication, etc [Blanchard et al., 2024]). Le système ARIES est utilisé est étendu pour fournir des **explications** sur les décisions prises et les contraintes bloquantes à un opérateur **humain** qui peut intervenir pour modifier le plan, via un protocole basé LLM, ce qui entre dans le cas d'étude (I3) ci-dessus. La planification et l'exécution dans HumFleet restent séquentielles, et la gestion des incertitudes est limitée aux **échecs bas-niveau** de navigation ou manipulation, et purement **réactive** : les écarts et les perturbations nécessitent une replanification d'ARIES là aussi en collaboration avec l'opérateur. Cela présente deux limitations majeures : (a) un risque de remises en question fréquentes et (b) une charge cognitive élevée pour l'opérateur.

(C4) Un travail conséquent, auquel les deux encadrants ont contribué [Morris et al., 2001] [Bit-Monnot & Morris, 2023] , existe sur la prise en compte des **incertitudes temporelles** sous la forme d'intervalles de durées possibles d'activités non contrôlées par l'agent, avec une approche **proactive** permettant de s'assurer de la bonne exécution d'un plan soumis à ces types d'incertitudes. Le modèle générique STNU est de type satisfaction de **contraintes** et donc compatible avec ARIES, et propose des extensions applicables au cadre multi-agent [Sumic et al., 2024].

(C5) Enfin, le contexte des **robots sociaux**, et donc des **interactions robots-humains**, notamment les **incertitudes** sur les objectifs et intentions de ces derniers, sont également abordés par plusieurs travaux en cours dans l'équipe [Shekhar et al., 2024] [Vigné et al., 2024], et dans d'autres équipes avec lesquelles les encadrants disposent de contacts, et avec lesquelles des collaborations sont envisagées : le CRS Lab de l'université d'Örebro (travaux sur les robots proactifs [Grosinger et al., 2019] ou la collecte de données active [Veiga & Renoux, 2023]) ainsi que le CNR-ISTC à Rome (travaux sur la motivation intrinsèque de l'agent [Sartor et al., 2023]). Tous ces travaux s'intéressent à la découverte de buts induits par l'interaction et cherchent à intégrer des capacités **d'apprentissage actif** hybridé avec des méthodes formelles symboliques diverses, en se focalisant sur la prise en compte de l'humain comme source d'incertitude. A contrario, la thèse envisagée ici se focalisera sur des buts fixés mais vise à intégrer les incertitudes provenant de l'humain avec d'autres sources. Pour autant, le thésard aura

l'opportunité d'effectuer des séjours dans l'une ou l'autre de ces équipes pour nourrir son travail de recherche, et participer à la consolidation des collaborations initiées.

- *Objectifs, avec mise en évidence : des verrous, de l'aspect novateur, prospectif, des théories/méthodes/outils envisagés, des apports*

En résumé la thèse, sur la base du système ARIES (C1) utilisé dans le projet HumFleet (C3) aura pour objectifs de

- (O1) **combinaison** la prise en compte de **plusieurs sources d'incertitudes**, celles provenant de l'environnement physique ou de l'agent lui-même avec **celles provenant de l'humain** (I1) et de ses intentions (I2) (C5),
- (O2) ces incertitudes pouvant **impacter plusieurs dimensions** (temporelle (C2), effets des actions, changement d'état), et pouvant être abordées à différentes stades (**proactivement** ou **réactivement**),
- (O3) pour intégrer le tout dans une **architecture décisionnelle dynamique niveau tâche** inspirée par les travaux théoriques précédents (C2).

A titre de comparaison, les MDP (Markov Decision Processes [Beynier & Mouaddib, 2004]), modèles décisionnels classiques en planification sous incertitude, sont focalisés sur une gestion *proactive* des incertitudes liées aux *effets des actions*, et se limitent à des décisions de choix *conditionnel* de poursuite *d'exécution* du plan.

Le principal verrou est donc de pouvoir unifier tous les aspects considérés, ce qui nécessite de distinguer deux niveaux :

Niveau opérationnel (plan courant) : le plan produit par ARIES devra être augmenté par une modélisation des incertitudes pouvant être traitées de manière **proactive et synchrone** :

- intervalles de durées non contrôlables avec des STNUs,
- intégration d'alternatives dans le plan : plans conditionnels (CTP [Tsamardinos et al., 2003]), ou MDPs; macro-activités disposant de plusieurs modalités d'implémentation (en s'inspirant par exemple de modèles de type Hierarchical Task Planning [Cavrel et al., 2024]).

Niveau décisionnel : nous envisageons de concevoir un modèle générique pour représenter l'état courant sous la forme d'**états de croyance** (*belief states*), utilisés par exemple en diagnostic à base de modèles [Cordier et al., 2020]. Ces états peuvent synthétiser divers types d'évolutions possibles du plan : dépassement d'une durée limite, différents états du monde non observables, nouvelle intention humaine détectée, etc. Ce qui permet de modéliser dans une architecture unique les différents types de décision possibles durant l'exécution de plans sous incertitude : **exécution, replanification, diagnostic actif** ou **apprentissage actif**.

- *Profil du candidat souhaité - Compétences attendues*

Compétences techniques :

- Optimisation sous contraintes (CSP, PLNE, SAT), en particulier pour l'ordonnancement
- IA symbolique (représentation des connaissances, planification)
- Programmation C/C++, la connaissance du langage Rust est facultative

Compétences transverses :

- Autonomie et rigueur analytique
- Capacité à formaliser des problèmes réels
- Intérêt pour les systèmes robotiques collaboratifs
- Maîtrise **à l'écrit de l'anglais** et à l'oral du français ou de l'anglais

Description in English

- *Scientific background, comparison with the state of the art*

The term 'autonomous agent' refers to any automated system operating in the real world that is capable of **interacting with its environment** via inputs/sensors (cameras, microphones, as well as text messages, network data, etc.) and outputs/actuators (wheels, arms, loudspeakers, or messages/data), and **reasoning and decision-making capabilities** at multiple levels (navigation, vision, manipulation, sequences of actions, assigned missions, etc.), based on dedicated models for representing data and knowledge.

This thesis focuses on so-called 'high-level' reasoning capabilities, related to **task planning**, where tasks (or actions/activities) are to be carried out to **achieve or maintain goals or missions** assigned to the agent.

As the work carried out is generic, it can in principle be applied to various types of agents depending on the targeted applications: web services, autonomous buses, satellites, etc. The RIS team, within the Robotics Department at LAAS, is particularly interested in **robots** (ranging from drones to personal service robots), which will constitute the priority application area.

More specifically, the focus will be on robots **interacting with humans**, taking into account the three possible levels of interaction, each of which presents different challenges:

- (I1) The human as an **external observed variable** within the environment under consideration (e.g. robots moving through a crowd)
- (I2) Humans as external agents **interacting during the execution** of the plan (e.g. robots performing handling or logistics tasks in cooperation with human agents)
- (I3) Humans as agents **interacting during the design of the task plan** (e.g. supervision of surveillance tasks carried out by a fleet of robots, or healthcare service robots capable of taking patients' needs into account in real time).

We will focus primarily on the case of a **single agent** interacting with its environment and with humans, but the specific challenges posed by **multi-agent systems** (fleet of robots) may be considered at a later stage.

Traditionally, an autonomous agent is assigned a goal (e.g. fetching an object and returning it to the operator); the planner searches among the known available actions for a logical sequence that leads from the initial state to a state satisfying the goal. Finally, this **sequence of actions** is executed by the agent using its low-level capabilities (sensors/actuators).

All the above assumes a **deterministic** environment. The real world is not so predictable; numerous uncertainties necessitate a re-evaluation of this paradigm, as the plan devised rarely plays out as intended. These **uncertainties** may be temporal (varying durations), related to the resources used (e.g. a faulty robot component, insufficient battery power, etc.) or to the environment (e.g. an impracticable road).

Furthermore, uncertainties and contingencies stem from three main sources:

- Approximations in low-level tasks (for example, the actual duration of a navigation task may exceed the initial estimate)
- Incomplete information about the state of the world (for example, an undetected closed door or a missing item in stock)
- Unforeseen events (such as hardware failures or collisions)

The work to be carried out will build on five elements derived from previous work conducted by the supervisors and the RIS team:

(C1) The use of the **deterministic single-agent temporal planner ARIES**, a **constraint-based** optimisation solver developed in the team (in the Rust programming language) [Bit-Monnot, 2023], capable of generating and updating a global task schedule.

(C2) Several studies [Van de Vonder et al., 2007] [Bidot et al., 2009] have studied various strategies for accounting for uncertainties within an **architecture that dynamically combines task planning/scheduling and plan execution**, distinguishing between **proactive** approaches (which anticipate certain uncertainties by modelling

them into the initial model to produce predictive plans that are robust against such contingencies), **reactive** approaches (which provide for local adaptation of the plan or online replanning when an event affects the current state), and finally **progressive/continuous** approaches (where planning is carried out online ahead of the execution by integrating observed events to plan the next step).

(C3) The HumFleet project (anr.fr/Project-ANR-23-CE33-0003), led by the RIS team at LAAS-CNRS and headed by Arthur BIT-MONNOT, is developing a **human-system collaboration** architecture for task planning within a **fleet of heterogeneous robots** operating in industrial environments (logistics, manufacturing workshops, etc. [Blanchard et al., 2024]). The ARIES system is used and extended to provide **explanations** of decisions made and of conflicts to a **human operator**, who can intervene to modify the plan via an LLM-based protocol, which falls within the case study (I3) above. Planning and execution in HumFleet remain sequential, and uncertainty management is limited to **low-level navigation or manipulation failures**, and is purely **reactive**: deviations and disturbances require ARIES to replan, again in collaboration with the operator. This presents two major limitations: (a) a risk of frequent re-evaluation and (b) a high cognitive load for the operator.

(C4) A substantial piece of work, to which both supervisors contributed [Morris et al., 2001] [Bit-Monnot & Morris, 2023], exists on the consideration of **temporal uncertainties** in the form of possible duration intervals for activities not controlled by the agent, with a **proactive** approach to ensure the successful execution of a plan subject to these types of uncertainties. The generic STNU model is a constraint satisfaction model and is therefore compatible with ARIES, and offers extensions applicable to the multi-agent framework [Sumic et al., 2024].

(C5) Finally, the context of **social robots**, and thus **robot-human interactions** —particularly the uncertainties surrounding the humans’ objectives and intentions— is also addressed by several ongoing projects within the team [Shekhar et al., 2024] [Vigné et al., 2024], and in other teams with which the supervisors have contacts, and with which collaborations are being considered: the CRS Lab at Örebro University (work on proactive robots [Grosinger et al., 2019] or active data collection [Veiga & Renoux, 2023]) as well as the CNR-ISTC in Rome (work on the agent’s intrinsic motivation [Sartor et al., 2023]). All this research focuses on the discovery of goals induced by interaction and seeks to integrate **active learning** capabilities combined with various formal symbolic methods, with a focus on considering humans as a source of uncertainty. In contrast, the thesis envisaged here will focus on predefined goals but aims to integrate uncertainties arising from human factors with those from other sources. Nevertheless, the PhD candidate will have the opportunity to undertake visits to these teams as part of his work.

- *Objectives, challenges, innovation aspects, envisioned models/methods/tools, and foreseen contributions*

In summary, the thesis, based on the ARIES system (C1) used in the HumFleet project (C3), will pursue the following objectives:

- (O1) **combine multiple sources of uncertainty** —those arising from the physical environment or the agent itself with those **arising from humans** (I1) and their intentions (I2) (C5),
- (O2) take into account that these uncertainties may impact **several dimensions** (temporal (C2), effects of actions, state changes), and may be addressed at **different stages** (proactively or reactively),
- (O3) integrate all of this into a **dynamic task-level decision-making architecture** inspired by previous theoretical work (C2).

By way of comparison, MDPs (Markov Decision Processes [Beynier & Mouaddib, 2004]), classical decision models in planning under uncertainty, focus on the proactive management of uncertainties related to the effects of actions, and are limited to conditional decisions regarding the execution of the plan.

The main challenge is therefore to unify those three objectives, which requires distinguishing between two levels:

Operational level (model of the current plan): the plan generated by ARIES must be supplemented by a model of uncertainties that can be addressed **proactively** and **synchronously**:

- duration intervals that cannot be controlled, using STNUs,
- integration of alternatives into the plan: conditional plans (CTP [Tsamardinos et al., 2003]), or MDPs; macro-activities with multiple implementation modalities (drawing inspiration, for example, from Hierarchical Task Planning models [Cavrel et al., 2024]).

Decision-making level: we plan to design a generic model to represent the current state in the form of **belief states**, as in, e.g., model-based diagnosis [Cordier et al., 2020]. These states can encapsulate various possible developments in the plan: exceeding a time limit, distinct unobservable world states, a new human intention

detected, etc. This enables the modelling, within a single architecture, of the different types of decisions possible during the execution of plans under uncertainty: **execution, replanning, active diagnosis** or **active learning**.

- *Ideal candidate profile – Required skills*

Technical skills:

- Constraint-based optimisation (CSP, LP, SAT), particularly for scheduling
- Symbolic AI (knowledge representation, planning)
- C/C++ programming; knowledge of the Rust language is optional

Soft skills:

- Independence and analytical rigour
- Ability to formalise real-world problems
- Interest in collaborative robotic systems
- Fluency in written English and spoken French or English

- *Bibliography*

- [Beynier & Mouaddib, 2004] Beynier A., Mouaddib A-I (2004). *Decentralized Markov Decision Processes for Handling Temporal and Resource constraints in a Multiple Robot System*. DARS 2004: 191-200
- [Bidot et al., 2009] Bidot, J., **Vidal, T.**, Laborie, P., and Beck, J. C. (2009). *A theoretic and practical framework for scheduling in a stochastic environment*. J. of Scheduling, 12(3) :315–344.
- [Bit-Monnot, 2023] **Bit-Monnot, A.** (2023). *Experimenting with Lifted Plan-Space Planning as Scheduling : Aries in the 2023 IPC*. In Proceedings of the 2023 International Planning Competition, Prague, Czech Republic
- [Bit-Monnot & Morris, 2023] **Bit-Monnot A.**, Morris P. (2023). *Dynamic Controllability of Temporal Plans in Uncertain and Partially Observable Environments*. J. Artif. Intell. Res. 77: 1311-1369.
- [Blanchard et al., 2024] Blanchard, E., **Bit-Monnot, A.**, Briand, C., Abdeljaouad, M. A., and Milliez, G. (2024). *Planning the tasks of an autonomous mobile robot fleet for internal logistics of production systems*. In APMS (Advances in Production Management Systems), 43rd IFIP International Conference, Chemnitz, Germany.
- [Cavrel et al., 2024] Cavrel, N., Fiorino, H., and Pellier, D. (2024). *Extension de la planification HTN aux problèmes temporels*. In 18èmes Journées d’Intelligence Artificielle Fondamentale / 19èmes Journées Francophones sur la Planification, la Décision et l’Apprentissage pour la conduite de systèmes, JIAF-JFPDA 2024, La Rochelle, France, July 1-3.
- [Cordier et al., 2020] Cordier M-O., Dague P., Pencilé Y., Travé-Massuyès L. (2020). *Diagnosis and Supervision: Model-Based Approaches*. A Guided Tour of Artificial Intelligence Research (1) (I) 2020: 673-706
- [Grosinger et al., 2019] Grosinger J., Pecora F., Saffiotti A. (2019). *Robots that maintain equilibrium: Proactivity by reasoning about user intentions and preferences*. Pattern Recognit. Lett. 118: 85-93.
- [Morris et al., 2001] Morris P.H., Muscettola N., **Vidal T.** (2001). *Dynamic Control Of Plans With Temporal Uncertainty*. IJCAI 2001, Seattle, USA.
- [Sartor et al., 2023] Sartor G., Oddi A., Rasconi R., Santucci V.G. (2023). *Intrinsically Motivated High-Level Planning for Agent Exploration*. AI*IA 2023: 119-133
- [Shekhar et al., 2024] Shekhar S., Favier A., Alami R. (2024). *An Epistemic Human-Aware Task Planner Which Anticipates Human Beliefs and Decisions*. ICSR + AI (2) 2024: 208-222
- [Sumic et al., 2024] Sumic, A., **Vidal, T.**, Micheli, A., and Cimatti, A. (2024). *Introducing interdependent simple temporal networks with uncertainty for multi-agent temporal planning*. In 31st International Symposium on Temporal Representation and Reasoning.
- [Tsamardinos et al., 2003] Tsamardinos, I., **Vidal, T.**, and Pollack, M. E. (2003). *CTP : A new constraint-based formalism for conditional, temporal planning*. Constraints An Int. J., 8(4) :365–388.
- [Van de Vonder et al., 2007] Van de Vonder, S., Demeulemeester E., and Herroelen W. (2007). *A classification of predictive-reactive project scheduling procedures*. Journal of Scheduling, 10(3).
- [Veiga & Renoux, 2023] Veiga T. and Renoux J. (2023). *From Reactive to Active Sensing: A Survey on Information Gathering in Decision-theoretic Planning*. ACM Comput. Surv. 55(13s): 280:1-280:22
- [Vigné et al., 2024] Vigné, A., Sarthou, G., & Clodic, A. (2024). *Semantic shared-Task recognition for Human-Robot Interaction*. 33rd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), 1236-1243.