

Titre de la thèse : Optimisation multicritère sous incertitude pour la planification adaptative des ressources des services d'incendie et de secours

Laboratoire d'accueil : Institut FEMTO-ST – Département Informatique DISC – Belfort, équipe AIMOS

Spécialité du doctorat préparé : Informatique

Mots-clefs : optimisation multicritère, recherche opérationnelle, apprentissage par renforcement, jumeau numérique, simulation à événements discrets, IA explicable, sécurité civile, SDIS

Descriptif détaillé de la thèse :

Les Services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) doivent assurer en permanence une couverture opérationnelle de leur territoire malgré une demande variable et difficilement prévisible, des contraintes réglementaires fortes et des ressources humaines et matérielles limitées. Les choix de positionnement des véhicules, d'affectation des personnels et d'engagement sur intervention ont des effets en cascade sur la disponibilité future des centres de secours. Les outils actuels restent majoritairement fondés sur des règles locales, des tableaux de bord et l'expertise métier, avec peu de capacités d'anticipation globale.

Le projet ANR OPTIMOPS vise à concevoir un jumeau numérique paramétrable du fonctionnement quotidien des SDIS, couplé à un optimiseur multicritère capable de recommander, en quasi temps réel, des allocations de ressources adaptées aux risques anticipés et aux contraintes locales. La thèse contribuera au cœur scientifique du projet : conception et calibration du simulateur, optimisation multicritère sous incertitude, comparaison entre méthodes de recherche opérationnelle et apprentissage par renforcement, puis explicabilité et validation des recommandations. Elle s'appuiera sur des données historiques de plusieurs SDIS et sur les prévisions produites par la [plateforme PredictOps](#).

Le problème d'optimisation considéré est un problème décisionnel séquentiel de grande dimension, intégrant les centres de secours, les véhicules, les personnels, leurs compétences et l'évolution temporelle de la demande. Plusieurs objectifs seront traités simultanément au travers des indicateurs CPIO : couverture territoriale, coût, qualité de service, fatigue des agents, équité entre centres, délais et adaptabilité. Certaines exigences – délais réglementaires, niveaux minimaux de couverture ou règles de repos – devront être modélisées comme des contraintes non négociables.

Le travail de thèse sera réparti en quatre étapes :

Première étape : Modélisation et simulation. Après une étude bibliographique sur la simulation des services d'urgence, les jumeaux numériques organisationnels et l'optimisation des ressources, le ou la doctorante contribuera à la formalisation d'un modèle de données unifié pour plusieurs SDIS et à la conception/calibration d'un simulateur à événements discrets. Le simulateur devra reproduire les appels, l'engagement des véhicules et personnels, les règles opérationnelles et les principaux indicateurs de performance ; sa fidélité sera évaluée par backtesting sur des données historiques.

Deuxième étape : Optimisation multicritère sous incertitude. Le travail portera sur la formulation mathématique du problème d'allocation et de repositionnement des ressources avec contraintes réglementaires. Des approches exactes et approchées seront développées et comparées :

programmation linéaire en nombres entiers, décomposition, méthodes multicritères d'aide à la décision et métaheuristiques de type NSGA-III. Le simulateur sera utilisé comme oracle pour évaluer les solutions et construire des fronts de Pareto interprétables.

Troisième étape : Apprentissage par renforcement et robustesse. Des méthodes d'apprentissage par renforcement sous contraintes, notamment de type PPO-Lagrangian, seront étudiées pour apprendre des politiques adaptatives face à la stochasticité des interventions et aux incertitudes des prévisions. Un benchmark reproductible comparera méthodes de recherche opérationnelle et RL sur des instances synthétiques puis sur des données historiques de plusieurs SDIS, en mesurant qualité des fronts de Pareto, amélioration du service, temps de calcul et nombre d'évaluations du simulateur.

Quatrième étape : Explicabilité, frugalité et validation terrain. Les recommandations seront accompagnées d'outils d'explication (importance des facteurs, scénarios contrefactuels, visualisation interactive des compromis). La thèse contribuera également à l'évaluation de la frugalité des modèles et à leur validation sur des postes standards de centre opérationnel, puis aux expérimentations menées avec au moins deux SDIS. Les développements scientifiques seront conçus pour être reproductibles, documentés et publiés en open source lorsque cela est compatible avec le cadre industriel du projet.

Cette thèse s'inscrit dans le projet ANR OPTIMOPS (Coupling Prediction and Optimisation for Adaptive and Frugal Emergency Response Planning), porté conjointement par FEMTO-ST/UMLP et l'entreprise SAD Marketing. Le projet est prévu sur 36 mois à partir de janvier 2027 et vise un transfert des résultats vers des outils opérationnels pour les services de secours.

Références bibliographiques :

S. Cerna Ñahuis, Prédiction des interventions et optimisation des ressources..., thèse de doctorat, Université de Franche-Comté (FEMTO-ST), 2022.

DOI [10.70675/87fcaaa0z6250z48fazbf5bz1e418d8f7cd6](https://doi.org/10.70675/87fcaaa0z6250z48fazbf5bz1e418d8f7cd6)

M. Corbeau, Optimisation multicritères explicable d'un plan d'intervention..., thèse de doctorat, Université de Toulouse (IRIT), 2026.

DOI [10.70675/958a78dez4cb0z4835za02azb8a6d14d3c66](https://doi.org/10.70675/958a78dez4cb0z4835za02azb8a6d14d3c66)

E. Aboueljine et al., A review on simulation models applied to EMS operations, *Computers & Industrial Engineering*, 66(4):734–750, 2013.

C. Hayes et al., A practical guide to multi-objective reinforcement learning and planning, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 36(1):26, 2022.

J. Achiam et al., Constrained Policy Optimization, *ICML*, pp. 22–31, 2017.

K. Deb, H. Jain, NSGA-III: Reference-Point-Based Nondominated Sorting, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18(4):577–601, 2014.

A. Arrieta et al., Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges, *Information Fusion*, 58:82–115, 2020.

Profil demandé :

Le candidat ou la candidate devra être titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en informatique, recherche opérationnelle, mathématiques appliquées, intelligence artificielle ou domaine proche. Une solide formation en optimisation combinatoire et/ou en apprentissage automatique est attendue. Des connaissances en programmation linéaire en nombres entiers, optimisation multicritère, simulation ou apprentissage par renforcement seront particulièrement appréciées. Une bonne maîtrise de Python est indispensable ; C++ et l'utilisation de solveurs d'optimisation (CPLEX, Gurobi ou équivalent) constituent un atout. Le poste requiert autonomie, rigueur scientifique, goût pour l'expérimentation et capacité à travailler avec des chercheurs, des ingénieurs et des experts métiers des SDIS. Un bon niveau d'anglais scientifique écrit et oral est attendu.

Financement : ANR OPTIMOPS – Coupling Prediction and Optimisation for Adaptive and Frugal Emergency Response Planning

Contrat doctoral de 36 mois financé dans le cadre du projet ANR OPTIMOPS. La rémunération suivra la grille réglementaire des contrats doctoraux en vigueur à la date de prise de fonction.

Dossier à envoyer avant le **30 septembre 2026** aux encadrants FEMTO-ST listés ci-dessous.

Le dossier doit comporter a minima :

- un CV détaillé ;
- une copie de la carte d'identité ou du passeport ;
- les relevés de notes de Master 1 et Master 2 (ou de la dernière formation suivie) ;
- une lettre de motivation précisant l'intérêt pour la thèse, l'optimisation/l'IA et le domaine de la sécurité civile ;
- si possible, les coordonnées d'une ou deux personnes de référence.

Début du contrat : janvier 2027

Direction / codirection de la thèse :

Institut FEMTO-ST – Département DISC – Belfort

Karine Deschinkel – Professeure, HDR, responsable WP2 OPTIMOPS

karine.deschinkel@umlp.fr

Christophe Guyeux – Professeur, coordination scientifique et co-encadrement de la thèse

christophe.guyeux@umlp.fr

Frédéric Lassabe – Maître de conférences, responsable WP1 et WP3 OPTIMOPS

frederic.lassabe@umlp.fr

Partenaire industriel : SAD Marketing / PredictOps

PhD title: Multi-objective optimisation under uncertainty for adaptive planning of fire and rescue resources
Host laboratory: FEMTO-ST Institute – DISC Computer Science Department – Belfort, AIMOS team
Speciality of PhD: Computer Science
Keywords: multi-objective optimisation, operations research, reinforcement learning, digital twin, discrete-event simulation, explainable AI, civil security, fire and rescue services
Job description: French Departmental Fire and Rescue Services (SDIS) must continuously maintain operational coverage despite variable and uncertain demand, strong regulatory constraints, and limited human and material resources. Decisions concerning vehicle positioning, staff assignment and dispatch may have cascading effects on the future availability of neighbouring fire stations. Current planning practices still rely heavily on local rules, dashboards and operational expertise, with limited capability for global anticipation. The ANR OPTIMOPS project aims to design a parameterisable digital twin of day-to-day SDIS operations coupled with a multi-objective optimiser able to recommend, in near real time, resource allocations adapted to anticipated risks and local constraints. The PhD will contribute to the scientific core of the project: simulator design and calibration, multi-objective optimisation under uncertainty, comparison of operations-research methods and reinforcement learning, and finally explainability and validation of recommendations. The work will rely on historical data from several SDIS and on forecasts provided by the PredictOps platform. The optimisation problem is a large-scale sequential decision problem involving fire stations, vehicles, staff, skills and the temporal evolution of demand. Several objectives will be addressed simultaneously through the CPIO indicators: territorial coverage, cost, service quality, staff fatigue, equity across stations, response delay and adaptability. Some requirements – regulatory response times, minimum coverage levels or rest rules – will be handled as hard constraints. The PhD work will be structured in four stages: First stage: Modelling and simulation. Following a literature review on emergency-service simulation, organisational digital twins and resource optimisation, the PhD candidate will contribute to a unified multi-SDIS data model and to the design/calibration of a discrete-event simulator. The simulator will reproduce calls, vehicle and staff dispatch, operational rules and performance indicators, and will be assessed by historical backtesting. Second stage: Multi-objective optimisation under uncertainty. The work will formalise the resource allocation and repositioning problem with regulatory constraints. Exact and approximate approaches will be developed and compared, including mixed-integer linear programming, decomposition, multi-criteria decision-making and NSGA-III-type metaheuristics. The simulator will act as an oracle to evaluate candidate solutions and construct interpretable Pareto fronts. Third stage: Reinforcement learning and robustness. Constrained reinforcement-learning methods, in particular PPO-Lagrangian-type approaches, will be investigated to learn adaptive

policies under stochastic intervention demand and forecast uncertainty. A reproducible benchmark will compare operations research and RL on synthetic instances and historical data from several SDIS, using metrics such as Pareto-front quality, service improvement, computation time and simulator-evaluation budget.

Fourth stage: Explainability, frugality and field validation. Recommendations will be complemented with explanation tools (feature attribution, counterfactual scenarios and interactive visualisation of trade-offs). The PhD will also contribute to the evaluation of computational frugality on standard emergency-operation-centre hardware and to field experiments with at least two SDIS. Scientific developments will be designed for reproducibility, documentation and open-source dissemination whenever compatible with the industrial framework of the project.

This PhD is part of the ANR OPTIMOPS project (Coupling Prediction and Optimisation for Adaptive and Frugal Emergency Response Planning), jointly conducted by FEMTO-ST/UMLP and the company SAD Marketing. The project is planned for 36 months starting in January 2027 and targets the transfer of research results towards operational decision-support tools for emergency services.

Bibliography:

S. Cerna Ñahuis, Prédiction des interventions et optimisation des ressources..., thèse de doctorat, Université de Franche-Comté (FEMTO-ST), 2022.

M. Corbeau, Optimisation multicritères explicable d'un plan d'intervention..., thèse de doctorat, Université de Toulouse (IRIT), 2026.

E. Aboueljinnane et al., A review on simulation models applied to EMS operations, *Computers & Industrial Engineering*, 66(4):734–750, 2013.

C. Hayes et al., A practical guide to multi-objective reinforcement learning and planning, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 36(1):26, 2022.

J. Achiam et al., Constrained Policy Optimization, *ICML*, pp. 22–31, 2017.

K. Deb, H. Jain, NSGA-III: Reference-Point-Based Nondominated Sorting, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18(4):577–601, 2014.

A. Arrieta et al., Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges, *Information Fusion*, 58:82–115, 2020.

Applicant profile:

Applicants should hold a Master's degree or engineering degree in Computer Science, Operations Research, Applied Mathematics, Artificial Intelligence or a closely related field. A strong background in combinatorial optimisation and/or machine learning is expected. Knowledge of mixed-integer linear programming, multi-objective optimisation, simulation or reinforcement learning will be highly valued. Strong Python programming skills are required; C++ and experience with optimisation solvers such as CPLEX, Gurobi or equivalent are assets. The position requires autonomy, scientific rigour, interest in experimentation, and the ability to work with researchers, engineers and operational experts from fire and rescue services. Good written and spoken scientific English is expected.

Financing Institution: ANR OPTIMOPS – Coupling Prediction and Optimisation for Adaptive and Frugal Emergency Response Planning

36-month doctoral contract funded by the ANR OPTIMOPS project. Salary will follow the regulatory French doctoral-contract scale in force at the start date.

Application deadline: September 30, 2026.

Application file:

Applications should be sent to the FEMTO-ST supervisors listed below and should include at least:

- a detailed CV;
- a copy of an identity card or passport;
- academic transcripts from the first and second years of the Master's programme (or most recent degree);
- a motivation letter explaining the candidate's interest in the PhD topic, optimisation/AI and civil security;
- if possible, contact details for one or two referees.

Start date: January 2027

Thesis Supervisor(s):

FEMTO-ST Institute – DISC – Belfort

Karine Deschinkel – Full Professor, HDR, OPTIMOPS WP2 lead

karine.deschinkel@uml.fr

Christophe Guyeux – Full Professor, scientific coordination and PhD co-supervision

christophe.guyeux@uml.fr

Frédéric Lassabe – Associate Professor, OPTIMOPS WP1 and WP3 lead

frederic.lassabe@uml.fr

Industrial partner: SAD Marketing / PredictOps