

**Titre de la thèse :** Optimisation de plans de vols de drone pour la collecte de données agricoles

**Laboratoire d'accueil :** Institut FEMTO-ST – Département Informatique DISC - Belfort

**Spécialité du doctorat préparé :** Informatique

**Mots-clefs :** UAV, WUSN, Energy optimization, Coverage Constraints, Close Enough Traveling Salesman Problem

**Descriptif détaillé de la thèse :**

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la robotique révolutionnent l'industrie agricole. D'un côté, les WSN fournissent des informations précieuses sur l'environnement (telles que la température, les conditions du sol, les images des cultures, etc.). De l'autre, les robots agissent en fonction de ces informations, par exemple pour des tâches de désherbage mécanique, de semis ou de récolte. Les techniques de collecte de données pour l'agriculture doivent cependant encore être améliorées. Dans ce projet, l'utilisation d'un réseau de capteurs sans fil souterrain (WUSN) est envisagée afin de ne pas interférer avec le travail des machines agricoles. La collecte des données enregistrées par ces capteurs est effectuée lors de la tournée d'un drone (UAV) à voilure tournante. Les problèmes posés par ce type de système concernent : l'optimisation des plans de vol de drone pour assurer leur double tâche d'acquisition de données d'un grand nombre de capteurs enterrés et distribués sur une exploitation agricole, et l'optimisation de la structure du réseau de capteurs, en tenant compte de toutes les contraintes. L'objectif est d'optimiser le système global, en particulier la consommation en énergie du drone.

Cette thèse se concentrera sur des méthodes pour l'optimisation hors ligne (avant les vols) du trajet du drone et le placement des nœuds terrestres. Plus précisément, l'objectif est de définir des méthodes à utiliser avant le vol du drone, pour une optimisation multi-objectif visant à : (a) calculer le nombre optimal de capteurs à déployer et leur placement spatial en fonction de leurs contraintes d'acquisition de données et de mesure, et de contraintes agronomiques ; (b) optimiser la communication et le débit de données en tenant compte de leurs contraintes de consommation d'énergie ; (c) définir les plans de vol du drone selon différentes contraintes, priorités dans la tâche de collecte de données, et son autonomie ; (d) recalculer ou améliorer de manière itérative la trajectoire du drone et le placement des nœuds en tenant compte de l'historique des expériences réelles passées.

Le travail de thèse sera réparti en plusieurs étapes :

- **Première étape** : Comprendre les problèmes d'optimisation, les objectifs et les contraintes liés à l'utilisation spécifique des technologies WUSN et UAV dans le domaine de la surveillance environnementale. Pour cette raison, le doctorant effectuera une étude bibliographique.
- **Deuxième étape** : Proposer des modèles et des méthodes de résolution pour déterminer au mieux l'infrastructure du réseau (placement des capteurs, plans de vol des UAV, programmation des temps de réveil des nœuds enterrés) afin d'augmenter la durée de vie du réseau tout en maximisant la collecte d'informations et en respectant les contraintes technologiques.
- **Troisième étape** : Poursuivre l'étude avec le développement de méthodes de résolution hybrides (exactes et approchées - programmation linéaire, recuit simulé, optimisation par colonie de fourmis, algorithme génétique, ...) et l'usage de techniques d'apprentissage par renforcement pour traiter la problématique.

Cette thèse s'inscrit dans un projet ANR [OCOD](#) porté par INRAE Clermont-Ferrand. Ce projet réunit des compétences de 4 laboratoires TSCF, FEMTO-ST, LPCA et Inria-FUN pour traiter des problèmes d'acquisition de données agricoles en milieu naturel pouvant être difficilement accessible, et réalisée via des vecteurs de collecte aériens.

### Références bibliographiques :

Cariou, C.; Moiroux-Arvis L.; Pinet F.; Chanet J.P. Data collection from buried sensor nodes by means of an unmanned aerial vehicle. *Sensors*, 2022, 22, 5926, DOI 10.3390/s22155926

Cariou, C.; Moiroux-Arvis, L.; Pinet, F.; Chanet, J.P. Evolutionary algorithm with geometrical heuristics for solving the Close Enough Traveling Salesman Problem: application to the trajectory planning of an Unmanned Aerial Vehicle. *Algorithms*, 16, 44, 2023, DOI 10.3390/a16010044

Charr, J.C., Deschinkel, K., Haj Mansour, R., Hakem, M: Partial coverage optimization under network connectivity constraints in heterogeneous sensor networks. *Comput. Networks* 210: 108928 (2022)

Di Placido, A. et al. Genetic algorithm for the close-enough traveling salesman problem with application to solar panels diagnostic reconnaissance. *Computers & Operations Research* 145, 2022.

Aigerim B., Taehyun Y. et al. Deep reinforcement learning approach for solving the Traveling Salesman Problem with Drone, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 148, 2023.

### Profil demandé :

Le candidat ou la candidate doit posséder une solide formation en optimisation combinatoire, notamment en programmation linéaire en nombres entiers et en algorithmes d'optimisation sur les graphes. Il ou elle doit avoir obtenu un master, de préférence en recherche opérationnelle ou en mathématiques appliquées, et maîtriser la programmation en C++ et/ou Python.

**Financement :** ANR OCOD Optimization of Data Acquisition via Terrestrial Nodes and Air Means, in Constrained Environment, and Application in Agriculture

Le montant mensuel de rémunération du contrat doctoral est au 1<sup>er</sup> janvier 2025 : 2 200 euros brut /mois

Dossier à envoyer avant **le 15 Mai 2025** aux 3 correspondants de FEMTO-ST listés ci-dessous.

Le **dossier doit comporter** à minima :

- un CV détaillé
- photocopie carte d'identité ou passeport
- les notes de Master 1 et 2 (ou de la dernière formation suivie)
- une lettre précisant la motivation du candidat pour réaliser une thèse et pour faire de la recherche sur le sujet proposé.

Début du contrat : Début Octobre 2025

**Direction / codirection de la thèse :**

**Institut FEMTO-ST - DISC - Belfort**

Jean-Claude Charr

[jean-claude.charr@univ-fcomte.fr](mailto:jean-claude.charr@univ-fcomte.fr)

Mourad Hakem

[mourad.hakem@univ-fcomte.fr](mailto:mourad.hakem@univ-fcomte.fr)

Karine Deschinkel

[karine.deschinkel@univ-fcomte.fr](mailto:karine.deschinkel@univ-fcomte.fr)

**Unité de recherche TSCF "Technologies et Systèmes d'information pour les agrosystèmes - Clermont-Ferrand" , INRAE**

François Pinet

[francois.pinet@inrae.fr](mailto:francois.pinet@inrae.fr)

Christophe Cariou

[christophe.cariou@inrae.fr](mailto:christophe.cariou@inrae.fr)

**PhD title :** Optimization of drone flight plans for the collection of agriculture data

**Host laboratory :** FEMTO-ST, Belfort, France

**Speciality of PhD:** Computer Science

**Keywords :**

UAV, WUSN, Energy optimization, Coverage Constraints, Close Enough Traveling Salesman Problem

**Job description :**

Wireless Sensor Networks (WSNs) and robotics are revolutionizing the agricultural industry. On one hand, WSNs provide valuable environmental information (such as temperature, soil conditions, crop imagery, etc.). On the other hand, robots act based on this information, for instance, for mechanical weeding, seeding, or harvesting tasks. However, data collection techniques for agriculture still need improvement. This project proposes the use of a Wireless Underground Sensor Network (WUSN) to avoid interference with the operation of agricultural machinery. The data recorded by these underground sensors will be collected during the flight of a rotary-wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

This type of system poses several challenges: optimizing drone flight plans to fulfill its dual task of collecting data from a large number of underground sensors scattered across a farm, and optimizing the sensor network structure while accounting for all constraints. The objective is to optimize the overall system, particularly the drone's energy consumption.

This PhD will focus on offline optimization methods (before flights) for the UAV's trajectory and the placement of ground nodes. Specifically, the aim is to develop methods to be used prior to drone deployment for multi-objective optimization, including:

- (a) determining the optimal number and spatial placement of sensors, taking into account measurement and data acquisition constraints, as well as agronomic constraints;
- (b) optimizing communication and data throughput considering energy consumption constraints;
- (c) defining UAV flight plans based on various constraints, data collection priorities, and battery limitations;
- (d) iteratively recalculating or improving the UAV's trajectory and node placement based on the history of past real-world experiments.

The PhD work will be structured in several stages:

**First stage:** Understand the optimization problems, objectives, and constraints related to the specific use of WUSN and UAV technologies in environmental monitoring. For this purpose, the PhD candidate will carry out a literature review.

**Second stage:** Propose models and solution methods to optimally design the network infrastructure (sensor placement, UAV flight planning, and wake-up scheduling of underground nodes) in order to extend the network lifetime while maximizing data collection and meeting technological constraints.

**Third stage:** Continue the study with the development of hybrid solution methods (both exact and approximate — including linear programming, simulated annealing, ant colony optimization, genetic algorithms, etc.), as well as the use of reinforcement learning techniques to address the problem.

This PhD is part of the ANR-funded OCOD project led by INRAE Clermont-Ferrand. The project brings together the expertise of four laboratories — TSCF, FEMTO-ST, LPCA, and Inria-FUN — to tackle challenges related to data acquisition in natural agricultural environments that are difficult to access, using aerial data collection platforms.

**Applicant profile:**

The candidate must have a strong background in combinatorial optimization, particularly in integer linear programming and graph optimization algorithms. They should hold a Master's degree, preferably in operations research or applied mathematics, and have solid programming skills in C++ and/or Python.

**Bibliography :**

Cariou, C.; Moiroux-Arvis L.; Pinet F.; Chanet J.P. Data collection from buried sensor nodes by means of an unmanned aerial vehicle. *Sensors*, 2022, 22, 5926, DOI 10.3390/s22155926

Cariou, C.; Moiroux-Arvis, L.; Pinet, F.; Chanet, J.P. Evolutionary algorithm with geometrical heuristics for solving the Close Enough Traveling Salesman Problem: application to the trajectory planning of an Unmanned Aerial Vehicle. *Algorithms*, 16, 44, 2023, DOI 10.3390/a16010044

Charr, J.C., Deschinkel, K., Haj Mansour, R., Hakem, M: Partial coverage optimization under network connectivity constraints in heterogeneous sensor networks. *Comput. Networks* 210: 108928 (2022)

Di Placido, A. et al. Genetic algorithm for the close-enough traveling salesman problem with application to solar panels diagnostic reconnaissance. *Computers & Operations Research* 145, 2022.

Aigerim B., Taehyun Y. et al. Deep reinforcement learning approach for solving the Traveling Salesman Problem with Drone, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 148, 2023.

**Financing Institution:** This PhD is funded by the ANR OCOD project — Optimization of Data Acquisition via Terrestrial Nodes and Air Means, in Constrained Environment, and Application in Agriculture.

As of January 1st, 2025, the gross monthly salary for the doctoral contract is €2,200.

**Application Deadline:** May 15, 2025

**Start Date:** Early November 2025

**Application File:**

Applications must be sent to the three FEMTO-ST supervisors listed below. The application 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 program (or most recent degree)
- A motivation letter explaining the candidate's interest in pursuing a PhD and conducting research on the proposed topic

**Application deadline :** 15 mai 2025

**Start of contract :** October 2025

**Thesis Supervisor(s) :**

**FEMTO-ST Institute- DISC - Belfort**

Jean-Claude Charr

[jean-claude.charr@univ-fcomte.fr](mailto:jean-claude.charr@univ-fcomte.fr)

Mourad Hakem

[mourad.hakem@univ-fcomte.fr](mailto:mourad.hakem@univ-fcomte.fr)

Karine Deschinkel

[karine.deschinkel@univ-fcomte.fr](mailto:karine.deschinkel@univ-fcomte.fr)

**Research Unit TSCF "Technologies et Systèmes d'information pour les agrosystèmes - Clermont-Ferrand" , INRAE**

François Pinet

[francois.pinet@inrae.fr](mailto:francois.pinet@inrae.fr)

Christophe Cariou

[christophe.cariou@inrae.fr](mailto:christophe.cariou@inrae.fr)