

## Assister l'humain par un transfert de compétences au robot en agriculture verticale téléopérée

### Entreprise et responsable industriel de la thèse

Farm3, Verrières de Joux (25) & Paris

Romain SCHMITT, Président Farm3, [romain.schmitt@farmcube.eu](mailto:romain.schmitt@farmcube.eu)

### Laboratoires partenaires et encadrement de la thèse

Equipe AUCTUS, Inria Bordeaux Sud-Ouest, Talence (33)

David DANEY, Chargé de Recherche Inria, HDR, directeur de l'équipe AUCTUS, [david.daney@inria.fr](mailto:david.daney@inria.fr)

Equipe RoBioSS, Institut Pprime - CNRS, Université de Poitiers (86)

Margot VULLIEZ, Maîtresse de Conférences, équipe RoBioSS, [margot.vulliez@univ-poitiers.fr](mailto:margot.vulliez@univ-poitiers.fr)

### Contexte et objectifs du projet

La société Farm3 développe *Le Cube*, une ferme de culture verticale robotisée et basée sur une technologie innovante à ultrasons (Fig.1). Ce nouveau mode de culture, dite *culture en ultraponie* [Brevet n° FR2001534], dans un espace fermé et contrôlé, assure un niveau d'oxygénation optimal et fournit la bonne quantité d'eau et de nutriments aux plantes. Le Cube favorise ainsi une production locale et de qualité d'espèces variées, en réduisant drastiquement les ressources en eau requises pour leur culture. Pour conserver le climat de croissance idéal pour les plantes, il est important de limiter la présence humaine dans le Cube. Cependant, certaines actions sur les plantes (éclaircir les semis, retirer les feuilles abimées, polliniser les fleurs...), pendant la croissance ou au moment de la récolte, demandent une expertise importante de l'ouvrier agricole. La téléopération est une solution qui permettrait, en ce sens, de préserver les compétences et le savoir-faire de l'humain sur ces gestes spécialisés, sans polluer l'environnement sensible de culture. Un bras robotique et un préhenseur, dédiés à la culture maraîchère en ultraponie, ont été conçus et intégrés au Cube pour réaliser ces opérations agricoles. Ils seront pilotés par l'agriculteur depuis l'extérieur du Cube, grâce à une interface de téléopération et un écran tactile, augmentée de suffisamment d'informations visuelles et haptiques sur les plantes et l'environnement pour pouvoir réaliser la tâche à distance.



Figure 1. L'innovation de Farm3, un Cube robotisé pour une culture verticale en ultraponie raisonnée

Si la ferme à ultrasons est extrêmement prometteuse pour favoriser une agriculture locale, verte et maîtrisée, plusieurs verrous restent à lever pour développer une robotisation intelligente du Cube, qui favoriserait les conditions de culture des plantes tout en facilitant le contrôle à distance par l'opérateur :

1. Semi-automatisation – La robotisation du Cube doit mener à l'automatisation d'un certain nombre de tâches simples (par exemple, saisir et placer les godets sur la grille de culture) permettant à l'opérateur de se concentrer sur la réalisation des gestes experts.

2. Interaction – L'ouvrier agricole doit pouvoir téléopérer le robot afin de manipuler finement les plantes cultivées dans le Cube. L'interaction à distance peut se faire par l'intermédiaire d'une interface visuelle et haptique, qui transmet les informations nécessaires à la réalisation de la tâche, à la perception de l'environnement, et à la compréhension de l'autonomie du robot.
3. Expertise – Des solutions d'assistance robotisée doivent consolider l'expertise de l'ouvrier. D'une part, les tâches simples ou répétitives seront transférées au robot. D'autre part, des informations pertinentes orienteront les gestes experts (guidages liés à l'environnement et à la tâche).

Pour répondre aux enjeux d'une agriculture verticale robotisée et centrée sur l'expertise de l'humain, le projet de thèse vise à développer des **solutions d'assistance et de partage de la tâche en téléopération haptique**. Les objectifs de la thèse sont : développer les compétences en manipulation du robot pour les opérations agricoles afin qu'il soit un meilleur collaborateur de l'humain ; faciliter l'interaction humain-robot à distance par un échange d'informations et d'aides liées à la tâche et à l'environnement ; partager l'activité agricole en tâches téléopérées par l'humain et actions réalisées en autonomie par le robot.

### Déroulement et méthodologie des travaux de thèse

Les travaux seront structurés autour d'une nouvelle approche de contrôle, conceptualisée en Fig. 2, réalisant un couplage haut-niveau et évolutif entre le robot téléopéré et l'interface visuo-haptique de pilotage.



Figure 2. Schéma de contrôle pour l'assistance, un couplage évolutif entre le robot et l'interface de téléopération.

La thèse se décline en quatre axes de recherche interdépendants :

- Axe 1 – Comprendre et modéliser les tâches de culture verticale pour contrôler le robot

Le robot présent dans le Cube doit pouvoir réaliser l'ensemble des opérations utiles pour le maraîchage en ultraponie, qu'elles soient téléopérées par l'ouvrier ou complètement automatisées. Le premier axe d'étude est donc d'assurer que le robot possède des compétences en manipulation suffisantes pour les besoins de cette activité maraîchère, dans l'environnement contraint du Cube.

Nous proposerons une description générique d'une tâche qui puisse retranscrire chacune des opérations agricoles, de manière synthétique et adaptable. Cette description sera paramétrée pour ajuster rapidement le geste expert aux changements perçus dans l'environnement. Les caractéristiques des tâches visées seront ensuite identifiées par analyse de démonstrations humaines pour construire les primitives de manipulation génériques mises en jeu en agriculture verticale. Ces primitives de manipulation permettront, d'une part, d'identifier les performances requises pour le robot (précision, capacité en efforts, moyens de perception), et d'autre part, de former les objectifs de contrôle encodant les actions autonomes du robot.

- Axe 2 – Partager l'autonomie en téléopération entre le robot et l'expert humain

Pour préserver l'attention de l'ouvrier sur les gestes experts, il convient de l'assister dans ses opérations. Nous développerons dans cet axe de recherche une approche d'assistance en autonomie partagée, afin de distribuer l'activité agricole entre l'expert humain (actions téléopérées) et le robot téléopéré (actions automatisées). Deux niveaux d'autonomie seront envisagés : une autonomie importante du robot et un rôle

de supervision de l'humain sur les opérations relativement simples ; une téléopération complète par l'opérateur, en position d'autorité, des gestes experts, à fort savoir-faire ou sensibles pour la plante.

Une approche de contrôle partagé sera développée pour ajuster le comportement du robot, en fonction de sa perception de l'environnement et des consignes de l'opérateur. Des guidages haptiques et visuels retranscriront les actions autonomes du robot et les contraintes détectées dans l'environnement distant.

- Axe 3 – Transférer les compétences de l'humain au robot par apprentissage

La stratégie d'assistance en autonomie partagée que nous souhaitons mettre en œuvre dépend de la prise d'autonomie du robot. Nous cherchons dans ce troisième axe d'étude à développer l'expérience en manipulation agricole du robot par son interaction avec l'opérateur humain. Un schéma d'apprentissage en ligne permettra un transfert continu de compétences de l'ouvrier agricole au robot téléopéré. Le robot expérimenté fournirait alors une meilleure assistance à l'humain en prenant en charge un plus grand nombre d'actions et en guidant l'humain vers des trajectoires cibles plus pertinentes.

Nous utiliserons pour l'apprentissage les données d'interaction recueillies au niveau de l'interface haptique (mouvements et forces appliqués) en lien avec les états et les données sensorielles du robot dans l'environnement distant. Des techniques d'apprentissage par démonstration seront alors employées pour construire les modèles de tâche unifié (mouvements et efforts d'interactions) de nouveaux gestes agricoles.

- Axe 4 – Intégrer la cellule de téléopération en autonomie partagée dans le Cube de culture

Le dernier axe du projet de thèse est transversal et vise à valider les approches proposées dans le cadre de la culture verticale téléopérée. Cet axe permettra d'implémenter au sein du Cube les développements clefs effectués en laboratoire et d'assurer le fonctionnement des briques techniques une fois intégrées en situation réelle. Le/la doctorant-e participera activement à la mise en œuvre de la cellule de téléopération dans les locaux expérimentaux de Farm3, que ce soit pour l'installation du matériel robotique ou pour la mise en œuvre logicielle des schémas de contrôle ou des capteurs du Cube.

### Moyens et lieux de la thèse

Le/la doctorant-e sera principalement hébergé-e dans les locaux de l'équipe RoBioSS à l'Institut Pprime, pendant environ 60% de son temps. Il travaillera en étroite collaboration avec les membres d'AUCTUS et le bureau R&D de Farm3 sur les développements scientifiques. Des réunions de projet seront organisées de manière régulière. Le/la doctorant-e se rendra pour plusieurs séjours chez Farm3 (environ 40% du temps sur la thèse) où il intégrera les progrès sur le Cube robotisé de la plateforme d'essai de l'entreprise (Axe 4).

Le projet de recherche s'appuiera sur le matériel des deux plateformes expérimentales de RoBioSS : la plateforme technologique [DextRobUP](#), pour la manipulation dextre et la robotique collaborative, et la plateforme de mesure du mouvement [HuMaNS](#). L'utilisation du matériel de mesure du mouvement permettra une analyse dynamique précise des tâches de culture verticale réalisées par les agronomes. Une cellule de téléopération dédiée sera installée au laboratoire et reproduira en partie l'environnement du Cube de culture (étagères, godets, plantes, caméra 3D...) afin de valider les développements par des essais réalistes. Les contrôleurs avancés, disponibles chez AUCTUS, structureront le schéma de commande en autonomie partagée et permettront une intégration plus rapide des compétences agricoles du robot, des contraintes liées à la tâche et à l'environnement, et des guidages haptiques.

### Compétences recherchées

Modélisation & Contrôle Robotique, Programmation (C++, Python), Haptique, Machine Learning, Vision

Merci de transmettre votre **candidature** par email aux trois responsables de la thèse : CV, lettre de motivation, UE/notes de Master, résumé du stage de M2 ou PFE.