

## Offre de thèse de doctorat

### intégration des drones pour supporter l'agilité des systèmes de production dans le contexte d'industrie 4.0

La performance industrielle d'aujourd'hui est très dépendante de l'agilité des processus et des ressources de production, y compris les ressources humaines. Ceci en raison des contraintes de personnalisation très fortes de ses produits. Par exemple, dans le domaine maritime, des navires de toute taille et tout domaine sont proposés avec des options très variées, dépendamment des secteurs clients (militaire, transport, loisir ...) et des caractéristiques des marchés régionaux cibles. De plus, la phase de montage comporte beaucoup d'activités manuelles et des interactions très fortes avec les équipements de chantier. Le domaine maritime est donc un cas concret où le paradigme de l'industrie 4.0 (et 5.0) qui pose

En général, trois niveaux de production sont généralement distingués en fonction du taux de personnalisation des composants produit : Production de série ; personnalisation de masse ; produit unitaire. Quand le client choisit son modèle produit (i.e. bateau) et les options souhaitées, la commande personnalisée est associée à une architecture produit qui doit être réalisée par une gamme de production/assemblage spécifique. La variété de commandes et la complexité du système entraîne donc un besoin de gestion temps réel de plusieurs processus. Ceci implique aussi le besoin de manipuler plusieurs ressources et composants / sous-systèmes. Beaucoup de challenges tant sur le plan technologique qu'organisationnel sont alors à résoudre.

L'agilité des systèmes de production renvoie à la capacité d'(auto-) reconfiguration rapide et facile de ces systèmes dans un environnement aux changements fréquents et souvent imprévisibles, à travers une meilleure interaction des ressources. Pour ce faire, les nouveaux systèmes de production sous l'égide de l'industrie 4.0 adoptent des architectures modulaires et interchangeables. Le besoin de répondre aux aléas du quotidien étant plus fort en milieu de chantiers maritimes ou aéronautiques où les activités d'assemblage sont (re-)planifiées des fois en temps réel.

Une réponse à ces contraintes de personnalisation au niveau commercial est de s'appuyer sur des solutions innovantes garantissant plus de flexibilité de la chaîne de transport interne au système de production pour pouvoir accompagner des changements rapides de gammes. En milieu de chantier naval ou aéronautique, cette agilité peut être étendue à la fourniture des composants et équipement mobiles (souvent unitaires ou en faible quantité) à la bonne station et au bon moment dans le chantier.

Les principales solutions proposées dans la littérature de l'industrie 4.0 sont les convoyeurs, les véhicules guidés automatisés (Automated Guided Vehicle, AGV), et les robots mobiles autonomes (Autonomous Mobile Robot, AMR). Les convoyeurs étant les moins avantageuses en termes de flexibilité. Plus récemment, les drones volants commencent à voir des applications en milieu industriel et en particulier le contrôle qualité par les techniques de vision.

On suppose que ces applications peuvent être étendues au transport en milieu industriel et chantier de construction maritime ou aéronautique en raison de l'avantage spatial de la zone de

fonctionnement. Cependant, le déploiement de cette perspective reste très contraint par des problématiques technologiques, organisationnelles et opérationnelles. Il s'agit sur le plan technologique de la capacité de porter des charges différentes en état stable et avoir un niveau d'autonomie acceptable. Sur le plan organisationnel, on peut citer toutes les contraintes de collaboration avec les autres robots et opérateurs ainsi que la sécurité en milieu de travail. Sur le niveau opérationnel, on retrouve le besoin d'optimiser le fonctionnement des drones en cohérence avec le planning général des ressources de production.

Ceci conduit à des verrous scientifiques difficiles qui nécessitent une collaboration active entre les acteurs de la robotique et du génie industriel. Chaque domaine fournit des exigences qui doivent être prisent en compte mutuellement pour fournir une solution holistique. Concrètement, les verrous scientifiques qui seront traités par ce projet de thèse sont :

- Interopérabilité sémantique et technique pour la traduction de la stratégie de transport agile (vue système de production) vers la stratégie de contrôle de drone en milieu industriel (vue robotique). En effet, la planification des processus et ressources de production ou d'exécution des commandes (i.e. les systèmes d'information ERP/MES/MPM) définissent la trajectoire souhaitée du robot dans un référentiel sémantique différent du référentiel de calcul des lois de commande. De plus, en rajoutant le besoin d'interaction avec les autres ressources mobiles (i.e. AGV), la problématique d'interopérabilité devient plus complexe.
- Collaboration homme-machine et gestion des risques en milieu industriel. L'intégration du drone en atelier ou chantier renvoie à des contraintes de sécurité et d'harmonisation entre les tâches du drone, les tâches des opérateurs, et celles des autres ressources afin de réduire le risque d'accident. Les algorithmes d'intelligence artificielle pour le contrôle du drone doivent intégrer une perception correcte de la situation du travail et les différents cas de danger particuliers, y compris les interactions avec les autres robots mobiles.
- Considération des problématiques d'autonomie et de charge utile dans la stratégie de pilotage de production. La performance du système de production dépend de la flexibilité de la chaîne de transport, elle-même dépendante des caractéristiques et efficacité des ressources. L'ordonnancement des tâches de production et les tâches logistiques doivent se faire en prenant comme critère la maximisation la capacité fonctionnelle du drone en choisissant les trajectoires et séquences optimales par rapport à l'autonomie. Techniquement, cette stratégie peut être améliorée en implantant des stations de charge supplémentaires un peu partout dans l'atelier pour maximiser la flexibilité du drone.

L'objectif de ce projet est de travailler sur une solution innovante et complète pour l'introduction des drones comme moyen de transport interne au système de production et/ou chantier naval ou aéronautique dans une perspective d'agilité. L'originalité est de s'appuyer sur une approche pluridisciplinaire qui combine d'une façon intelligente des solutions du génie industriel et des avancées techniques de la robotique.

Concrètement, le Framework d'intégration des drones dans les systèmes de production afin d'améliorer sa capacité de production et flexibilité est composé de trois modules :

- Un module de pilotage de la production qui intègre des algorithmes d'ordonnancement des tâches et d'optimisation des trajectoires de transport. Ces algorithmes prennent en compte les

contraintes techniques de la ressource de transport (autonomie, capacités de charge, etc.) et sécurité du lieu de travail (interactions avec les autres ressources).

- Un module de contrôle du drone pour exécuter les commandes issues du module de pilotage. Il s'agit de développer/configurer les lois de commandes nécessaires pour garantir la stabilité et la précision du drone pour différents types de trajectoires et charges possibles.
- Un module d'interopérabilité associé à un modèle de situation de travail interactive avec la considération des facteurs risque. Ce modèle reposera sur une approche ingénierie système pour la définition des interfaces et flux échangés entre le « système drone » et les autres ressources/composants du système de production.

Compte tenu de la complexité du projet, il sera réalisé en deux phases : Une phase de démonstration sur la plateforme expérimentale FESTO du laboratoire LS2N. Puis, une phase de test en condition industrielle intégrant les spécificités du processus de production cible.

Ce travail de thèse est cofinancé par l'institut Carnot et l'école centrale de Nantes. Il sera encadré par des chercheurs de l'équipe CPS3 (spécialité génie industriel) et des chercheurs de l'équipe ARMEN (robotique) du laboratoire des sciences du numérique de Nantes S2N).

## **Profil recherché**

### **Diplôme requis :**

Ingénieur ou master en génie industriel, automatique, robotique ou informatique industrielle

### **Compétences techniques :**

- Un bon niveau de conceptualisation pour aborder les problématiques de modélisation
- Comprendre les problématiques d'actualité de l'industrie 4.0 et les technologies associées.
- Passionné(e) par les nouvelles technologies de la robotique
- La connaissance d'un langage de programmation est un plus.

**Envoi des candidatures** [farouk.belkadi@ls2n.fr](mailto:farouk.belkadi@ls2n.fr) ; [abdelhamid.chriette@ls2n.fr](mailto:abdelhamid.chriette@ls2n.fr)