

Appel à candidatures pour Doctorant

De la simulation multi-échelles de systèmes de production agile à la définition d'un système de Jumeaux Numériques

Encadrement :

V. Cheutet, L. Gzara et Y. Paredes Astudillo

Etablissement : INSA Lyon

Laboratoire: laboratoire DISP

Profil recherché :

Master (ou équivalent) en Génie Industriel

Financement: projet RIAAD (en collaboration avec SKF aerospace)

Période : 3 ans à partir de janvier 2026

Mots-clés: Simulation de flux et de poste, Jumeau Numérique, analyse de données hétérogènes, cohérence inter-modèle, vérification & validation

Description du sujet :

Le projet RIAAD (Ré-Inventons l'Articulation et la Liaison pour l'Aérostructure de Demain, piloté par SKF Aerospace) vise à être en capacité et capabilité de préparer ses solutions produits, ses usines et sa supply-chain à « l'avion de demain ». Dans ce projet, le DISP intervient principalement sur les phases de modélisation et conception du système de production à venir, avec un objectif final de proposer un environnement piloté par un systèmes de jumeaux numériques.

La quatrième révolution industrielle, basée sur le développement du numérique à toutes les échelles industrielles, est en marche. Ainsi, le concept d'industrie du futur (ou industrie 4.0) se déploie de plus en plus au sein du tissu industriel, avec en point d'orgue le concept de Jumeau Numérique (JN). Pouvant se voir comme une extension des notions de maquette numérique et d'Usine Numérique [1] qui existent uniquement au début du cycle de vie de ces systèmes physiques, le JN d'un système de production se définit comme une réplique numérique fidèle et interconnectée du système physique, permettant d'en améliorer le pilotage et la reconfiguration au cours du temps [2]. Un des éléments fondamentaux d'un JN est la brique comportementale du système qui permet d'avoir, outre une vision détaillée et fiable du système physique dans l'espace numérique (i.e. un tableau de bord), une brique complète et autonome simulant et émulant le comportement du système physique dans l'espace numérique. Cette brique, réputée comme représentative du système physique, peut cependant s'affranchir du monde physique pour, entre autres, explorer des scénarios avant d'implémenter les modifications (ce qui permet de réduire drastiquement les coûts) et pour anticiper les performances (en allant plus vite dans le monde numérique que dans le monde physique).

Dans le cas d'un système de production, la simulation est un des outils les plus utilisés comme brique comportementale dans un JN [3]. On retrouve une multitude de simulations possibles, souvent regroupées en deux grandes familles :

- La simulation à base d'événements, constituée d'éléments qui réagissent à certains événements : simulation de flux, simulation de contrôle (GRAFCET par exemple), réalité virtuelle, etc.
- La simulation prescriptive, qui décrit le comportement des systèmes de production en fonction du temps, c'est-à-dire que la réalisation d'une action se fait à un instant donné : analyse de l'implantation, programmation hors ligne de MOCN ou de robots, simulation ergonomique, simulation basée sur agents, etc.

La simulation à base d'événements discrets est adaptée au type d'études où l'on analyse des relations dépendantes du temps, tandis que les simulations prescriptives sont adaptées à l'analyse de systèmes où le temps est un élément clé d'entrée. En aéronautique, une vision en 6 niveaux décisionnels existe et pour chaque niveau on peut définir un ou plusieurs types de simulation [4].

Une phase critique dans un projet de conception et déploiement de JN d'un système de production est alors de développer de multiples modèles de simulation qui soient fiables et fidèles au système physique présent et une prévision réaliste du système du futur, et répondant aux besoins des différentes décisions qui seront dans le scope du JN (avec les bons horizons de temps et périmètres fonctionnels).

Dans le projet RIAAD, un ensemble de modèles de simulation de flux permettront de modéliser et simuler les systèmes de production afin de valider les performances intrinsèques du système d'une part et d'évaluer les impacts sur les principaux indicateurs de performances de chaque proposition d'amélioration du système ou de changement de plan de production d'autre part. De plus, compte tenu des travaux centrés sur le développement de nouveaux produits dans RIAAD, il est important d'anticiper la faisabilité des propositions d'un point de vue production, et de fait, il est fondamental de proposer des modèles de simulation au niveau poste de travail

permettant de tester et valider entre autres les temps opératoires, l'ergonomie des postes, l'organisation et méthodes de travail, les interactions homme-machine, la gestion des outillages autour du poste ainsi que la logistique interne. Ces simulations au niveau des postes doivent d'une part interagir avec celles de lignes, au sein du système, et d'autre part, donner des pistes d'amélioration dans la conception et la fabricabilité des composants, permettant ainsi une boucle complète conception / fabrication / production le plus en amont possible dans le cycle de vie du produit.

L'enjeu de cette partie du projet est de posséder un environnement numérique permettant à la fois d'identifier et de qualifier les opportunités et les risques liés à la phase de production au plus tôt dans la phase de conception des nouveaux produits. Cette identification et qualification (surtout en termes de sensibilité des indicateurs de performance) prendra en compte les incertitudes inhérentes à l'avancement du projet, à la projection sur l'environnement, etc... De fait de la nature intrinsèque et complexe du site de production, cet environnement doit être composé de plusieurs simulations spécifiques et interconnectées, permettant de répondre à des périmètres (de l'opération à au système complet) et des horizons de temps (de l'opérationnel au stratégique) différents et ainsi appréhender une grande diversité de décisions (pilotage, reconfiguration, investissement, (re-)affectation de postes de travail, etc.). Ce point-là correspond au verrou scientifique majeur du projet. Enfin, cet environnement servira de base à un jumeau numérique permettant le pilotage de la ligne à venir.

Missions :

Le projet de thèse s'articulera autour des missions suivantes.

1. Concevoir un ensemble de simulations multi-niveau hétérogène.

Cet ensemble permet de faire le lien entre les différents niveaux de décision propres à un ~~une ligne de~~ système de production (stratégique et tactique principalement) dans une phase de conception. Pour chaque niveau décisionnel et tenant compte des incertitudes existantes au niveau du projet, plusieurs paradigmes de simulation seront envisagés : simulation de flux, simulation par agents, voire une hybridation dans ces approches.

- Verrou scientifique 1 : comment construire et assurer en continu la cohérence de différents modèles de simulation ayant des horizons de décisions différents et s'auto-alimentant ?

On s'appuie ici sur les travaux en Usine Numérique et sur la simulation hybride qui vont permettre d'en assurer la cohérence.

- Verrou scientifique 2 : comment intégrer la diversité (ergonomie, compétences, expérience, etc.) et l'évolutivité (apprentissage, fatigue, etc.) des opérateurs humains au sein d'une simulation ?

On s'appuie ici sur les travaux sur l'humain dans la simulation qui vont permettre d'intégrer la diversité et l'évolutivité. Une simulation reposant sur la situation par agents pourrait être envisagée.

2. Valider les simulations numériques.

Si cette étape passe généralement par une forte expertise des différentes parties prenantes, il est aussi possible d'explorer des validations intrinsèques propres à la structure même des modèles créés pour assurer une bonne fiabilité et une bonne confiance dans ces modèles.

- Verrou scientifique 3 : dans un environnement fortement incertain et dynamique, comment assurer une validation de chaque modèle de simulation ?

On s'appuie sur les travaux déjà existant en validation de simulation qui vont permettre la validation de chaque modèle

3. Proposition conceptuelle et architecturale pour la transformation des simulations multi-niveau hétérogène en un JN

Une fois l'ensemble de ces modèles de simulation créé pour concevoir le système de production, le paradigme Jumeau Numérique permet de les utiliser dans la phase d'exploitation comme outil d'aide à la décision et à la prospective en cas de tension et perturbations dans le système.

- Verrou scientifique 4 : quelle est la meilleure architecture de jumeau numérique dans ce contexte, permettant un flux de données entrant pertinent et une aide à la décision cohérente avec les besoins de pilotage ?

On s'appuie sur les travaux sur les architectures de JN qui vont permettre de définir l'architecture adéquate.

Références :

- [1] M. Ayadi, R. Costa Affonso, V. Cheutet, M. Haddar. Info Sim: Prototyping an information system for Digital Factory management. Concurrent Engineering: Research and Applications, 2015, 23 (4), pp.355 - 364. <10.1177/1063293X15591610>
- [2] X. Pystina. Systèmes de Jumeau Numérique pour les systèmes de production : application sur le manufacturing lab, thèse INSA Lyon, 2024
- [3] F. Abdoune, V. Cheutet, M. Nouri et O. Cardin. "Digital Twin for decision-support : an insight into the integration of simulation models into Digital Twin architecture". In : Proceedings of SOHOMA'23. Annecy (France), 2023.
- [4] V. Cheutet, S. Lamouri, T. Paviot, R. Derroisne. Consistency Manangement of simulation information in Digital Factory. In : Proceedings of MOSIM'10, Hammamet (Tunisie), 2010.

Déposez votre candidature avant le 30/11/2025, par mail à vincent.cheutet@insa-lyon.fr , lilia.gzara@insa-lyon.fr et yenny.paredes-astudillo@insa-lyon.fr , en précisant la référence de l'offre (DISP-2026A) et en joignant un dossier composé du CV, une lettre de motivation et vos notes de master