

### **Titre : Déploiement incrémental de Jumeau Numérique pour la production d'épurateurs de Biogaz**

**Encadrement :**

Lilia GZARA, Aicha SEKHARI SEKLOULI,  
Sébastien HENRY

**Etablissement :** INSA Lyon

**Laboratoire :** laboratoire [DISP](#)

**Financement :** contrat doctoral

**Période de thèse :** 10/2024 – 09/2027

**Profil recherché :**

M2 ou ingénieur en génie industriel, automatique ou génie mécanique ayant des compétences en ingénierie système (MBSE, SYSML) et en conception / pilotage de systèmes industriels. Seront également appréciées les connaissances suivantes : systèmes ERP – MES – PLM, problématiques de l'industrie 4.0 (et des technologies associées), méthodes d'apprentissage automatique (machine learning) et programmation informatique. Le ou la candidat(e) devra faire preuve de curiosité et d'autonomie et avoir une bonne maîtrise de l'anglais scientifique ainsi qu'une forte appétence pour l'industrie.

### **Contexte**

La production de biogaz représente aujourd'hui un vecteur important pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le biométhane est extrait de déchets organiques et permet de répondre à une demande grandissante de gaz au niveau européen. Ce gaz, 100% renouvelable, peut être injecté dans le réseau de gaz naturel ou utilisé en tant que BioGNV (Gaz Naturel Véhicule). Cependant l'exploitation de ce gisement est restée artisanale, malgré une demande croissante au niveau national et international pour permettre aux acteurs et aux états d'atteindre les enjeux de réduction d'émissions de GES. Pour répondre aux besoins de marché, l'entreprise PRODEVAL, leader européen et mondial dans la construction d'épurateurs de biogaz, et l'entreprise AVENTECH s'associent pour concevoir et construire une nouvelle ligne d'assemblage à Valence (département de la Drôme). Cette ligne sera pilote pour la standardisation des produits et l'augmentation du volume de production. Elle sera automatisée et connectée pour faciliter son pilotage. Par ailleurs, une partie de la fabrication sera délocalisée chez des sous-traitants suivant les spécialités et le montage final du produit se fera sur les sites clients.

Ce passage à l'échelle, adossé à la complexité des produits et à la répartition de la chaîne de création de valeurs entre plusieurs partenaires, fera évoluer le système de production d'épurateurs de Biogaz vers un système complexe et interconnecté et induit de nouveaux défis en matière de pilotage des flux physiques / flux d'information et de résilience.

Le jumeau numérique (JN, Digital Twin ou DT) pourrait être une réponse pour relever ces défis. Un JN se définit comme un objet numérique rattaché à un système physique (produit, machine, usine...) et qui en est la réplique. Il est susceptible de faciliter sa conception, sa réalisation, son utilisation, sa maintenance ou son recyclage comme le décrivent [Grievies, Vickers et al. 2017]. En phase d'utilisation, le JN est capable de se synchroniser en temps réel avec son jumeau physique, de simuler et prédire son comportement afin de proposer un pilotage et un contrôle du système physique au plus proche de la réalité [Negri et al., 2017 ; Kritzinger et al., 2018]. Dans le contexte de l'entreprise PRODEVAL, le JN permettrait de modéliser de manière réaliste le nouveau système de production, évaluer ses performances, prédire ses comportements, détecter les perturbations éventuelles et anticiper leurs effets. Un JN peut être vu comme un système de systèmes afin de couvrir divers systèmes physiques et d'offrir une réplique numérique répondant à divers usages. Il est constitué d'une part, d'un ensemble de modèles (des systèmes physiques, des données, des informations et des connaissances s'y rapportant)

dont les éléments sont connectés et fédérés et, d'autre part, d'un ensemble d'outils (de simulation, de prédiction et d'optimisation) s'appuyant sur les modèles.

## **Objectifs de la thèse**

Le travail de thèse se déroulera en collaboration entre le laboratoire DISP, l'entreprise PRODEVAL et l'entreprise AVENTECH. Il vise à concevoir et déployer un jumeau numérique du système de production. Ce JN devrait prendre en compte les spécificités des process de fabrication de biogaz, assurer la continuité numérique sur l'ensemble du système de production et permettre un suivi temps réel des performances et de la viabilité du système dans un contexte de production étendue aux partenaires.

Par ailleurs, le JN cible devrait être un appui à des processus de prise de décision situés à divers niveaux hiérarchiques (machine, cellule de fabrication, ligne de fabrication, atelier, site, entreprise). L'objectif est de tirer profit des connaissances métiers capitalisées dans le JN pour améliorer la prise de décision. Vu le contexte de nouvelle ligne d'assemblage, ce jumeau numérique est associé à un système physique qui est en cours de création. Il sera donc développé, testé et validé à fur et à mesure de la maturation du système physique. Le JN et le système physique doivent interagir et communiquer afin d'assurer la synchronisation entre les deux systèmes et ce dans les deux sens : (1) du système physique vers le JN parce que le système physique évolue dans le temps et l'espace et donc sa représentation numérique se doit d'être adaptée ; (2) du JN vers le système physique parce que le JN influence la conception du système physique en détectant, grâce aux données remontées dans le JN, des dysfonctionnements dans le système physique ou de nouveaux besoins menant à la reconfiguration du système physique.

Pour répondre à ces exigences, le principal verrou à lever est le suivant :

### ***Comment construire, tester et valider le jumeau numérique d'un système de production en cours de création ?***

3 questions de recherches adjacentes sont associées à ce verrou :

- Comment aligner et rendre interopérables des modèles, des données, des informations et des connaissances de natures hétérogènes et rattachés à des niveaux de décisions différents ?
- Comment évaluer l'alignement ou la synchronisation entre le JN et le système physique ?
- Comment assurer la reconfiguration dynamique du JN face aux désalignements qui peuvent apparaître au fil des itérations de conception du système physique ?

Le doctorant travaillera sur la mise en œuvre de nouvelles méthodes, modèles, algorithmes et architectures logicielles pour les jumeaux numériques des systèmes de production de biogaz.

Les objectifs majeurs de la thèse sont :

- Définir les modèles permettant de représenter le système de production de biogaz à différents niveaux hiérarchiques.
- Développer des approches d'alignement de modèles et de synchronisation JN/système physique.
- Définir une méthodologie de déploiement de JN permettant d'intégrer de manière incrémentale de nouveaux besoins provenant du système physique tout en assurant la cohérence avec les éléments déjà déployés.
- Définir une architecture reconfigurable de JN à base de composants pour assurer une gestion dynamique des changements ayant lieu dans le système physique.

Des approches de type ingénierie système basées sur les modèles (MBSE ou Model Based System Engineering) et sur les données (DDSE ou Data-Driven Systems Engineering) [Lindblad et al., 2018] couplées aux approches SBCE (Set-Based Concurrent Engineering) [Sobek et al., 1999] et les méthodes de développement agile seront considérées pour répondre à ces objectifs. Les modèles de référence de type RAMI4.0 [DIN 2016] seront également considérés.

Les travaux s'articuleront autour de travaux de recherche connexes antérieurs menés au laboratoire DISP : un cadre conceptuel pour le développement de JN [Pestyna, 2024], un JN cognitif pour la sécurité des systèmes IoT [Smati et al., 2024].

## Programme de travail

T0 à T0+12 mois : Mener une analyse du domaine selon une approche descendante (revue de la littérature en lien avec le sujet) et une approche ascendante (études de terrain menées chez PRODEVAL / AVENTECH) et élaborer une première proposition conceptuelle (définition des modèles, approches, architectures)

T0+12 à T0+30 : Développement itératif de la proposition conceptuelle et du prototype logiciel du jumeau numérique qui permettra de tester la proposition conceptuelle. Une veille scientifique (revue de littérature) sera maintenue tout au long de cette étape.

T0+30 à T0+36 : Validation finale de la proposition / prototype et rédaction du manuscrit.

Le doctorant travaillera en étroite collaboration avec les équipes de PRODEVAL et AVENTECH et avec trois autres doctorants impliqués dans le même projet de collaboration entre le DISP et ces deux partenaires industriels. Des périodes d'immersion dans le terrain industriel (à Valence) sont prévues.

## Candidature

Les candidatures doivent être envoyées par e-mail à Lilia Gzara ([lilia.gzara@insa-lyon.fr](mailto:lilia.gzara@insa-lyon.fr)), Aicha Sekhari Seklouli ([aicha.sekhari@univ-lyon2.fr](mailto:aicha.sekhari@univ-lyon2.fr)) et Sébastien Henry ([sebastien.henry@univ-lyon1.fr](mailto:sebastien.henry@univ-lyon1.fr)), avant le 7 juillet 2024.

Le sujet de l'email devra mentionner le titre de la thèse.

Le dossier de candidature (fichier zip) inclura :

- Curriculum Vitae détaillé
- Lettre de motivation précisant l'adéquation du profil avec le sujet de thèse
- Relevés de notes et classement des trois dernières années
- références ou lettres de recommandations

Les entretiens de sélection auront lieu durant le mois de juillet 2024.

## References

[Kritzinger et al., 2018] Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

[Grieves et al. 2017] Grieves M., Vickers J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Kahlen, J., Flumerfelt, S., Alves, A. (eds) Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4).

[Negri et al., 2017] Negri E., Berardi S., Fumagalli L., Macchi M. (2020). MES-integrated digital twin frameworks. Journal of Manufacturing Systems, 56, 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.007>

[Lindblad et al., 2018] Lindblad L., Witzmann M., Vanden Bussche S. (2018). Data-Driven Systems Engineering. Turning MBSE into Industrial Reality. In International Systems & Concurrent Engineering for Space Applications Workshop (SECESA).

[Sobek et al., 1999] Sobek II Durward K., Ward Allen C., Liker Jeffrey K. (1999). Toyota's principles of set-based concurrent engineering. Sloan Management Review 40(2): 67.

[DIN 2016] Deutsches Institut für Normung. 2016. "DIN SPEC 91345: 2016-04 Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) English Translation."

[Pystina et al., 2022] Pystina X., Gzara L., Cheutet V., Sekhari A. (2022). A conceptual framework elements for Digital Twin deployment in production systems domain. 12th International Conference on Information Society and Technology, Mar 2022, Kopaonik, Croatia. pp.39-44. (<https://hal.science/hal-03878395>)

[Smato et al., 2024] Smati M., Laval J., Cheutet V. et Danjou C. (2024). Enhancing Data Integrity with CSDT: A solution to Predict Data Disturbance in IoT Systems". In Proceedings of PLM'24. Bangkok (Thailand)