

---

**Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers****Ecole doctorale Sciences des Métiers de l'Ingénieur – ED SMI 432**

**Directeur de thèse : ROUCOULES Lionel**

**Co-encadrantes : YAHIA Esma, KLEMENT Nathalie**

**Laboratoire(s) de recherche : LISPEN <https://lispen.ensam.eu/laboratoire>**

**Spécialité proposée : Génie industriel**

**Titre en Français :**

Spécification d'un système d'aide à la décision en support à un plan de transformation digitale, frugale et soutenable

**Titre en Anglais :**

Specification of a decision support system to support a digital, frugal and sustainable transformation plan

**Mots clés :**

Aide à la décision, supervision, innovation technologique et organisationnelle, autonomie, frugalité, soutenabilité

**Mots clés en anglais :**

Decision support, supervision, technological and organizational innovation, autonomy, frugality, sustainability

**Site(s) de travail :**

Aix-en-Provence et Lille

**Candidatures (CV + lettre de motivation) à envoyer par mail à :**

[Lionel.roucoules@ensam.eu](mailto:Lionel.roucoules@ensam.eu)

[Esma.yahia@ensam.eu](mailto:Esma.yahia@ensam.eu)

[Nathalie.klement@ensam.eu](mailto:Nathalie.klement@ensam.eu)

### 1. Titre :

Spécification d'un système d'aide à la décision en support à un plan de transformation digitale, frugale et soutenable

### 2. Présentation synthétique du projet et de son positionnement :

Les entreprises doivent faire preuve de plus en plus d'agilité pour se conformer aux nouvelles exigences du marché et aux nouvelles contraintes générées par leur environnement socio-économique. Face à ces enjeux, les innovations technologiques et organisationnelles 4.0 offrent l'opportunité de tendre vers des systèmes de production plus réactifs et intelligents avec des logiques d'apprentissage renforcées. Dans ce cadre, les employés seraient en mesure de s'organiser en équipes de plus en plus autogérées. Les managers se verraient quant à eux dotés d'une forme d'intelligence situationnelle assurant leur capacité à s'adapter à des situations variées. D'ailleurs, l'étude présentée par KPMG [KPMG] témoigne que peu d'entreprises ont déployé les innovations 4.0 avec une approche aboutie de l'installation à la mise en place dans le cadre d'un plan stratégique global et coordonné. En effet, la plupart des initiatives lancées sont des investissements réalisés autour d'une technologie isolée (comme la réalité augmentée, l'IA, le jumeau numérique ou l'impression 3D par exemple) ou sans liens formalisés. Elles sont souvent menées selon une logique d'accumulation de démarches locales résultant d'un fonctionnement en silos des entreprises qui manquent d'agilité. Malheureusement, il existe un écart considérable entre les attentes croissantes à l'égard de ces innovations technologiques et organisationnelles et ce qu'elles sont actuellement en mesure de fournir. Cette situation est source de confusion et d'insatisfaction vis-à-vis de la stratégie de l'entreprise et des projections faites autour de l'industrie 4.0. Cet écart et la confusion résultante sont généralement résorbés lorsque :

- **La transformation s'opère au travers d'approches centrées sur la création de valeur**
- **Les leviers de performances considèrent prioritairement la performance opérationnelle et énergétique**

**Le tout dans un contexte où la frugalité technologique et organisationnelle sont privilégiées ainsi que la soutenabilité du travail.**

Il est donc primordial de mettre en œuvre un plan de déploiement, d'identifier et d'aligner les innovations technologiques et organisationnelles cibles vis-à-vis des besoins, impliquant le plus grand nombre de parties prenantes pour tendre vers les résultats escomptés par l'entreprise et pour ancrer ces résultats dans la durée. Devant la difficulté pour les entreprises manufacturières d'établir une stratégie de déploiement des technologies de l'industrie 4.0, il est important de cibler les priorités. Il est à noter que les **problèmes liés à la prise de décision** sont communs et nécessitent d'analyser et développer des concepts pour des situations de prise de décision basée sur des données centrées sur l'humain, en utilisant les différentes technologies de l'industrie 4.0 selon une stratégie organisationnelle choisie.

C'est dans ce contexte que se positionne cette thèse qui vise à **définir l'ensemble des composants du plan de transformation centré sur l'humain et intégrant les dimensions technologiques, organisationnelles afin de définir un système de supervision permettant de renforcer l'aide à la décision 'au juste besoin' pour piloter le système de production selon les leviers de performances identifiés.**

### 3. Présentation détaillée du projet de thèse :

L'enjeu est de définir une démarche pour déployer les technologies de l'industrie 4.0 (comme les objets connectés (IOT) et l'intelligence artificielle, les jumeaux numériques, la robotique, la cobotique, etc.) pour renforcer l'aide à la décision en considérant principalement l'efficacité en termes de frugalité et soutenabilité.

Un premier objectif de recherche sera donc de **déterminer un modèle pour évaluer l'efficacité de frugalité et de soutenabilité vis-à-vis des choix technologiques et organisationnels** à favoriser tout en considérant les facteurs humains comme la motivation, l'engagement, la résistance au changement. Il s'agit spécifiquement ici de définir « **au juste besoin** » une hiérarchie de technologies générique, transposable sur plusieurs systèmes de production sujets à des innovations organisationnelles et de définir les conditions d'adoption qui permettent de les utiliser dans les meilleures conditions par les opérateurs pour atteindre les objectifs visés.

La prise de décision étant le cœur de notre sujet dans ce contexte, un deuxième objectif serait de **définir la démarche à mettre en place pour tirer profit de la conception de systèmes dans lesquels les hommes et les machines travaillent ensemble pour améliorer la rapidité et la qualité de la prise de décision**. Ceci se reposera sur la définition des facteurs clés de succès qui conduisent à une prise de décision plus rapide dans un environnement de production dynamique et collaborative. Ceci pourrait reposer sur des démarches d'acculturation des innovations technologiques et organisationnelles à travers la formation type « learning by doing » [Abele 2017] ou les serious game. Cette compréhension facilitera le contrôle du processus d'intégration d'innovations technologiques et organisationnelles pour en assurer son amélioration et produire des recommandations de pilotage ou de diagnostic pertinentes à tous les niveaux, de l'opérateur jusqu'à la direction générale.

Les propositions faites dans le cadre de ce projet seront validées dans le contexte de l'Evolutionary Learning Factory (ELF) des Arts et Métiers (à Aix-en-Provence et à Lille) selon des scénarios qui porteront sur les systèmes de production intégrant diverses variantes de transformations organisationnelles et numériques. Ce support d'expérimentation ("en laboratoire") plus proche du milieu professionnel présente l'opportunité de pouvoir tester de nouvelles découvertes sans perturber le fonctionnement réel d'une organisation. Il nous semble donc nécessaire de développer un démonstrateur sous forme "d'assistant numérique intelligent" capable d'hybrider les données collectées à partir du processus opérationnel réel avec les connaissances humaines pour faciliter l'analyse des situations pour dresser un état des lieux clair et exhaustif et mesurer les indicateurs de performance en lien avec l'efficacité.

#### 4. Impact scientifique et retombées du projet

Au cours de la première année, les travaux issus de l'état de l'art feront l'objet d'une publication au colloque S.MART ou à la SAGIP... Les travaux développés durant la deuxième année ont vocation à être publiés au sein de conférences internationales s'intéressant aux activités en lien avec les systèmes d'aide à la décision, des sciences de données ainsi que le rôle de l'humain dans le cadre de l'industrie 4.0 comme CIRP Manufacturing Systems, IFAC world congress ou IFIP Advances in Production Management Systems. Enfin, pour la troisième année, les travaux feront l'objet d'une publication dans le cadre d'une revue internationale tel que Computers in Industry, Journal of Manufacturing Systems ou encore Augmented Human Research. La valorisation des résultats de la recherche menée dans le cadre de cette thèse se fera à travers le déploiement d'un démonstrateur à l'ELF (cf. Figure 1) dont les évolutions, les principales fonctionnalités et le modèle économique, par exemple de type "Plateforme As A Service" sont à définir. Au-delà des publications scientifiques, les travaux permettront de créer des jeux de données "académiques" et des protocoles expérimentaux qui pourront être utilisés par la communauté scientifique pour comparer/évaluer les résultats de ces recherches.

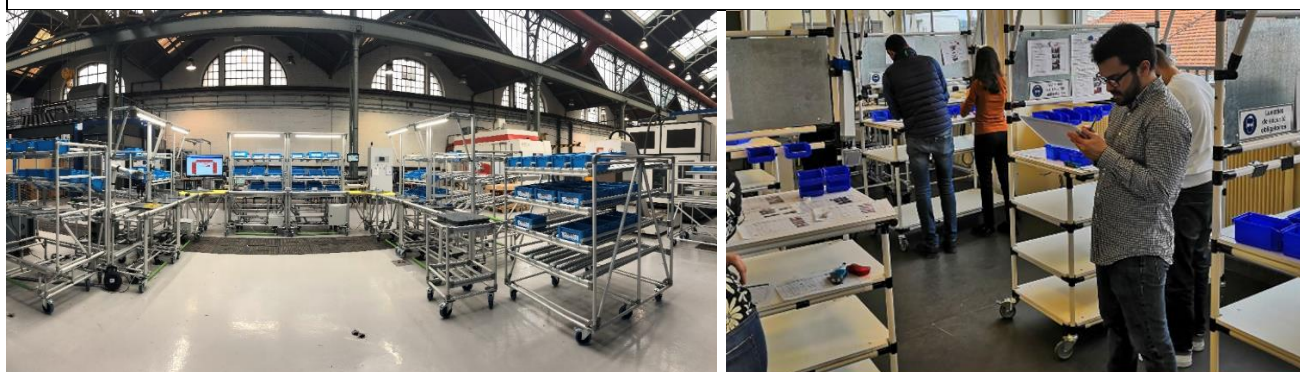


Figure 1. Usine école du campus de Lille et Aix-en-Provence

## 5. English presentation

Companies must be increasingly agile in order to comply with new market requirements and the new constraints generated by their socio-economic environment. Faced with these challenges, I4.0 technological and organizational innovations offer the opportunity to move towards more reactive and intelligent production systems with reinforced learning logics. In this context, employees would be able to organize themselves into increasingly self-managed teams. Managers would have a form of situational intelligence ensuring their ability to adapt to various situations. Moreover, the study presented by KPMG [KPMG] shows that few companies have deployed I4.0 innovations with an "end-to-end" approach as part of a global and coordinated strategic plan. Indeed, most of the initiatives launched are investments made around an isolated technology (such as augmented reality, AI, the digital twin or 3D printing for example) or without formalized links. They are often carried out according to a logic of accumulation of local approaches resulting from the operating in silos of companies that lack agility. Unfortunately, there is a considerable gap between the growing expectations of these technological and organizational innovations and what they are currently able to deliver. This leads to confusion and dissatisfaction with corporate strategy and projections made around Industry 4.0.

The challenge is to define an approach to deploy Industry 4.0 technologies (such as connected objects (IOT) and artificial intelligence, digital twins, robotics, cobotics, etc.) to strengthen decision support by considering mainly efficiency in terms of frugality and sustainability.

A first research objective will therefore be to determine a model to evaluate the efficiency of frugality and sustainability with respect to the technological and organizational choices to be favored while considering human factors such as motivation, commitment, and resistance to change. It is specifically a question here of defining "just in time" a hierarchy of generic technologies that can be transposed to several production systems subject to organizational innovations and of defining the conditions of adoption that will allow them to be used under the best conditions by the operators to achieve the targeted objectives.

Decision-making being the core of our subject in this context, a second objective would be to identify the approach to be implemented to take advantage of the design of systems in which men and machines work together to improve the speed and quality of decision-making. This will be based on the definition of key success factors that lead to faster decision making in a dynamic and collaborative production environment. This could be based on acculturation of technological and organizational innovations through "learning by doing" type training or serious games. This understanding will facilitate the control of the integration process of technological and organizational innovations to ensure its improvement and to produce relevant steering or diagnostic recommendations at all levels, from the operator to the general management.

The proposals made within the framework of this project will be validated in the context of the Evolutive Learning Factory (ELF) of Arts et Métiers (in Aix-en-Provence and Lille) according to scenarios that will focus on production systems integrating various variants of organizational and digital transformations. This experimentation medium ("in the laboratory"), closer to the professional environment, offers the opportunity to test new discoveries without disrupting the actual functioning of an organization. It seems necessary to us to develop a demonstrator in the form of an "intelligent digital assistant" capable of hybridizing the data collected from the real operational process with human knowledge to facilitate the analysis of situations in order to draw up a clear and exhaustive inventory and to measure the performance indicators related to efficiency.

**6. Références bibliographiques sur le sujet publiées par l'équipe d'encadrement de la thèse et/ou par l'unité (ou les unités de recherche) concernée(s) :**

1. Amzil K., Yahia E., Klement N., Roucoules L. (2021) Causality Learning Approach for Supervision in the Context of Industry 4.0. In: Roucoules L., Paredes M., Eynard B., Morer Camo P., Rizzi C. (eds) Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing III. JCM 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4_50)
2. ROUCOULES, Lionel et ANWER, Nabil. Coevolution of digitalisation, organisations and Product Development Cycle. CIRP Annals, 2021, vol. 70, no 2, p. 519-542.
3. Beauville dit Eynaud, A., Klement, N., Roucoules, L. et al. Framework for the design and evaluation of a reconfigurable production system based on movable robot integration. Int J Adv Manuf Technol (2021). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08030-1>
4. Santiago Montoya Zapata, Nathalie Klement, Cristovao Silva, Olivier Gibaru, Meriem Lafou. Collective intelligence application in a kitting picking zone of the automotive industry. The International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering and Advanced Manufacturing (JCM 2022).
5. Kim, L., Yahia, E., Segonds, F., Véron, P., & Mallet, A. (2021). i-Dataquest: A heterogeneous information retrieval tool using data graph for the manufacturing industry. Computers in Industry, 132, 103527.

**7. Références bibliographiques de références sur la thématique publiées dans la littérature ouverte hors de l'unité (ou des unités) de recherche concernée par l'encadrement scientifique de la thèse :**

- [Derigent et al.] - Derigent, W., Cardin, O. & Trentesaux, D. Industry 4.0: contributions of holonic manufacturing control architectures and future challenges. J Intell Manuf 32, 1797–1818 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01532-x>
- [KPMG] - KPMG, «<https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2018/11/a-reality-check-for-c-suite-leaders-on-industry-4-0.html>,» 2018.
- [Abele 2017] Abele E, Chryssolouris G, Sihn W, Metternich J, ElMaraghy H, Seliger G, Sivard G, ElMaraghy W, Hummel V, Tisch M, Seifermann S (2017) Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology 66(2):803–826. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005>.