

Caractérisation et formalisation des contextes de supervision en production discrète en vue de l'analyse des systèmes de supervision Humain-IA

Laboratoire(s) de recherche : *Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques Et Numériques (LISPEN)*

<https://lispem.artsetmetiers.fr/>

Site de travail : *Aix-en-Provence*

Directrice de thèse : *KLEMENT Nathalie* nathalie.klement@ensam.eu

Co-encadrantes : *AMZIL Kenza* kenza.amzil@ensam.eu et *YAHIA Esma* esma.yahia@ensam.eu

Mots clés : Caractérisation, Supervision des systèmes, Collaboration Humain-IA, Systèmes sociotechniques, Aide à la décision, Systèmes de production discrète.

Les situations de supervision en production discrète sont définies par un ensemble de caractéristiques liées aux tâches à réaliser, aux données disponibles, aux acteurs impliqués et aux contraintes organisationnelles [Yang et al., 2022 ; Beauville dit Eynaud et al. 2021]. Ces caractéristiques conditionnent la manière dont les activités de supervision sont mises en œuvre, en particulier dans des environnements intégrant des outils numériques et des systèmes d'intelligence artificielle [Yang et al., 2022].

La description formelle de ces situations pose plusieurs difficultés. Les caractéristiques mobilisées sont de nature hétérogène, certaines étant directement mesurables (par exemple liées aux données ou aux tâches), d'autres étant qualitatives ou dépendantes de facteurs humains et organisationnels [Yahia et al., 2024]. Leur définition n'est pas homogène et leur utilisation dans des situations de supervision concrètes pour caractériser ces situations de supervision reste limitée. En particulier, il n'existe pas de cadre permettant d'identifier ces caractéristiques, de les structurer, de les définir de manière explicite et formelle, et de les instancier de façon systématique. Cette absence de cadre limite la capacité à caractériser les situations de supervision de manière structurée et discriminante, et constitue un obstacle à leur exploitation dans des démarches d'analyse ou de conception de systèmes de supervision.

L'objectif de la thèse est donc d'identifier, définir, et structurer les caractéristiques permettant de décrire les contextes de supervision en production discrète, ainsi que de proposer des règles permettant leur instanciation dans des situations concrètes. Ces caractéristiques visent à décrire de manière explicite les conditions dans lesquelles les activités de supervision sont réalisées, par exemple en termes de complexité des tâches, de qualité des données, de contraintes temporelles ou encore de niveau d'expertise des opérateurs [Salimzadeh & Gadiraju, 2024]. Les objectifs scientifiques associés sont les suivants :

- Identifier et définir les caractéristiques permettant de décrire les contextes de supervision ;
- Structurer ces caractéristiques en dimensions cohérentes (tâches, données, acteurs, organisation) afin de permettre une description organisée et exploitable des contextes de supervision ;
- Formaliser ces caractéristiques afin de préciser leur signification, leur domaine de validité et leur mode de représentation (valeurs numériques, catégories, échelles ordinales, etc.) ;
- Définir des règles d'instanciation permettant d'attribuer des valeurs aux caractéristiques à partir d'informations observables ;
- Identifier et formaliser les relations entre caractéristiques, notamment les dépendances et les conditions d'activation. Par exemple, les caractéristiques liées au niveau de coordination requis pour la tâche de supervision ne peuvent être activées que lorsque le nombre de ressources impliquées dans la situation est supérieur à une.

L'organisation de la thèse repose sur quatre axes correspondant aux principales difficultés identifiées.

1. Identification et définition des caractéristiques de contexte :

Les contextes de supervision reposent sur un grand nombre de variables, issues de différentes dimensions. L'enjeu consiste à identifier et sélectionner un ensemble de caractéristiques pertinentes, non redondantes et suffisamment discriminantes pour décrire des situations variées. Cette étape implique également de proposer des définitions explicites pour limiter les ambiguïtés.

2. Structuration des caractéristiques :

Une fois les caractéristiques identifiées, il est nécessaire de les organiser afin de permettre leur utilisation. L'enjeu consiste à regrouper les caractéristiques en dimensions cohérentes (par exemple liées aux tâches, aux données, aux acteurs ou à l'organisation). Cette structuration doit permettre de passer d'une liste de variables à un modèle de contexte exploitable.

3. Formalisation et instanciation :

Les caractéristiques doivent être formalisées de manière à pouvoir être utilisées dans des situations concrètes. Cette formalisation implique de définir explicitement les indicateurs permettant d'évaluer chaque caractéristique, leurs types, leurs plages de valeurs et leurs interprétations. Des règles d'instanciation devront ensuite être définies pour expliciter la démarche d'attribution des valeurs aux caractéristiques. Par exemple : la qualité des données peut être définie à partir d'indicateurs mesurables (taux de données manquantes, bruit, latence) ; le niveau d'expertise peut être évalué à partir de critères définis (expérience, formation, capacité à résoudre des situations atypiques).

4. Relations et règles d'activation entre caractéristiques :

Les caractéristiques ne sont pas indépendantes et ne sont pas toutes pertinentes dans toutes les situations. L'enjeu consiste à identifier les dépendances entre caractéristiques, définir des règles d'activation conditionnant leur utilisation, formaliser des contraintes assurant la cohérence globale du modèle.

La modélisation des caractéristiques des contextes de supervision proposée vise à rendre explicites les conditions dans lesquelles les activités de supervision sont réalisées. En fournissant une représentation structurée et instanciable de ces situations, elle permet de disposer d'une base commune pour décrire, comparer et analyser des situations de supervision variées. Cette modélisation pourra ainsi être utilisée, dans des travaux ultérieurs, pour étudier l'adéquation entre les modes de supervision et les caractéristiques des situations, en identifiant les configurations pour lesquelles un mode de supervision donné est le plus pertinent. Elle constitue à ce titre un support pour le développement de méthodes d'analyse et de conception de systèmes de supervision adaptés aux contextes, en particulier dans des environnements intégrant des formes de collaboration Humain-IA [Dellermann et al., 2021 ; Passalacqua et al., 2024].

Références bibliographiques :

Amzil, K., Yahia, E., Klement, N., & Roucoules, L. (2021). Causality learning approach for supervision in the context of Industry 4.0. In International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing (pp. 316-322). Cham: Springer International Publishing.

Beauville dit Eynaud, A., Klement, N., Roucoules, L., Gibaru, O., & Durville, L. (2022). Framework for the design and evaluation of a reconfigurable production system based on movable robot integration. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 118(7), 2373-2389.

Yahia, E., Magnani, F., Joblot, L., Passalacqua, M., & Pellerin, R. (2024). Exploring the effects of industry 4.0/5.0 on human factors: a preliminary systematic literature review. IFAC-PapersOnLine, 58(19), 539-544.

Passalacqua, M., Pellerin, R., Yahia, E., Magnani, F., Rosin, F., Joblot, L., & Léger, P. M. (2025). Practice with less AI makes perfect: partially automated AI during training leads to better worker motivation, engagement, and

skill acquisition. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 41(4), 2268-2288.

Yang, J., Lan, X., Yao, Z., Liu, W., Deng, W., & Qu, W. (2022). Research on Production Process Control Method Discrete Manufacturing Digital Workshop. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Compu Network, Electronic and Automation*. IEEE.

Lane, J. N., Leonardi, P. M., Contractor, N. S., & DeChurch, L. A. (2024). Teams in the digital workplace: Technolog role for communication, collaboration, and performance. *Small Group Research*, 55(1), 139–183.

Salimzadeh, S., & Gadiraju, U. (2024). When in doubt! Understanding the role of task characteristics on p decision-making with AI assistance. In *Proceedings of the 32nd ACM Conference on User Modeling, Adaptation & Personalization* (pp. 89–101).

Dellermann, D., Calma, A., Lipusch, N., Weber, T., Weigel, S., & Ebel, P. (2021). The future of human collaboration: A taxonomy of design knowledge for hybrid intelligence systems. *arXiv preprint, arXiv:2105.03354*.

Hollnagel, E. (2017). *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method – Modelling Complex Socio-Techni Systems*. CRC Press.

Candidatures : à envoyer par mail à nathalie.klement@ensam.eu; kenza.amzil@ensam.eu;

esma.yahia@ensam.eu avant le 1^{er} mai 2026 : un CV détaillé, une lettre de motivations, les relevés de notes M1 et M2 et éventuellement des lettres de recommandation

Characterization and Formalization of Supervision Contexts in Discrete Manufacturing for the Analysis of Human–AI Supervision Systems.

Keywords: Characterization, System supervision, Human-AI Collaboration, Sociotechnical Systems, Decision Support, Discrete Manufacturing Systems.

The situations of supervision in discrete manufacturing are defined by a set of characteristics related to the tasks to be performed, the available data, the actors involved, and the organizational constraints [Yang et al., 2022 ; Beauville dit Eynaud et al. 2021]. These characteristics determine how supervision activities are carried out, particularly in environments integrating digital tools and artificial intelligence systems [Yang et al., 2022].

The formal description of these situations raises several difficulties. The characteristics involved are heterogeneous in nature: some are directly measurable (e.g., related to data or tasks), while others are qualitative or depend on human and organizational factors [Yahia et al., 2024]. Their definition is not homogeneous, and their use in concrete supervision situations to characterize such situations remains limited. In particular, there is currently no framework to identify these characteristics, structure them, define them explicitly and formally, and instantiate them in a systematic way. This lack of a framework limits the ability to characterize supervision situations in a structured and discriminative manner and constitutes an obstacle to their use in the analysis or design of supervision systems.

The objective of the PhD is therefore to identify, define, and structure the characteristics that describe supervision contexts in discrete manufacturing, as well as to propose rules enabling their instantiation in concrete situations. These characteristics aim to explicitly describe the conditions under which supervision activities are carried out, for example in terms of task complexity, data quality, temporal constraints, or operator expertise [Salimzadeh & Gadiraju, 2024]. The associated scientific objectives are as follows:

- Identify and define the characteristics that describe supervision contexts;
- Structure these characteristics into coherent dimensions (tasks, data, actors, organization) in order to enable an organized and operational description of supervision contexts;
- Formalize these characteristics to specify their meaning, domain of validity, and representation (numerical values, categories, ordinal scales, etc.);
- Define instantiation rules to assign values to these characteristics based on observable information;
- Identify and formalize the relationships between characteristics, including dependencies and activation conditions. For example, characteristics related to the required level of coordination for a supervision task are only activated when more than one resource is involved in the situation.

The organization of the PhD is structured around four main axes corresponding to the identified challenges.

1. Identification and definition of context characteristics:

Supervision contexts rely on a large number of variables from different dimensions. The objective is to identify and select a set of relevant, non-redundant, and sufficiently discriminative characteristics to describe a wide range of situations. This step also involves providing explicit definitions to reduce ambiguity.

2. Structuring of characteristics:

Once identified, the characteristics must be organized to enable their use. The objective is to group them into coherent dimensions (e.g., related to tasks, data, actors, or organization). This structuring should make it possible to move from a list of variables to an operational context model.

3. Formalization and instantiation:

The characteristics must be formalized so that they can be used in concrete situations. This involves defining explicit indicators to assess each characteristic, along with their types, value ranges, and interpretations.

Instantiation rules must then be defined to specify how values are assigned to characteristics. For example, data quality can be defined using measurable indicators (missing data rate, noise, latency), while the level of expertise can be assessed based on defined criteria (experience, training, ability to handle atypical situations).

4. Relationships and activation rules between characteristics:

Characteristics are neither independent nor relevant in all situations. The objective is to identify dependencies between characteristics, define activation rules governing their use, and formalize constraints ensuring the overall consistency of the model.

The proposed modeling of supervision context characteristics aims to make explicit the conditions under which supervision activities are carried out. By providing a structured and instantiable representation of these situations, it enables a common basis to describe, compare, and analyze a wide range of supervision contexts. This modeling can be used in future work to study the adequacy between supervision modes and situation characteristics, by identifying the configurations for which a given supervision mode is most appropriate. As such, it provides a foundation for the development of analysis and design methods for context-adapted supervision systems, particularly in environments involving forms of Human-AI collaboration [Dellermann et al., 2021; Passalacqua et al., 2024].
