

**Titre : Amélioration des performances des entreprises dans la transition vers l'industrie du futur :
Application de la conception inventive au processus de conception de système de formation**

Directeur(s) de Thèse : Bertrand Rose, PU Université de Strasbourg, François Marmier, MCF HDR Université de Strasbourg

Encadrant(s) de Thèse : Ivana Rasovska, MCF Université de Strasbourg, Sébastien Dubois, Ingénieur de recherche INSA de Strasbourg

Unité(s) d'Accueil(s) : Icube UMR 7357 équipe CSIP

Établissement de rattachement : Université de Strasbourg

Collaboration(s) (s'il y a lieu) : Bosch Rexroth et notamment les sites de Rodez (France) et de Ulm (Allemagne) en charge de développement des systèmes et plates-formes pédagogiques

Rattachement à un programme (s'il y a lieu) :

Résumé (1500 caractères au maximum) :

Dans le contexte actuel de l'industrie du futur, de nouvelles technologies, de nouveaux modèles sociétaux et environnementaux, de nouvelles générations d'hommes doivent régulièrement être prises en compte dans les processus industriels afin de garantir les performances des entreprises. L'évolution des processus remet en question les modèles existants et les compétences nécessaires. Le cahier de charge de ces processus évolue ainsi constamment et nécessite une adaptation et la montée en compétences des acteurs de ces processus.

Il s'agit alors de travailler sur le processus de conception d'un système de formation permettant de répondre aux spécifications de chaque entreprise et d'accompagner ses acteurs humains dans les évolutions prévues. Ce processus de conception se doit d'être dynamique et flexible et d'intégrer à la fois les contraintes liées aux nouvelles technologies ainsi que celles liées aux hommes et aux moyens innovants de formation tels que l'usine-école, jumeau virtuel, plate-forme des outils d'aide à la décision.

Les verrous scientifiques à aborder dans le cadre de cette thèse sont :

- La capacité à gérer ces données hétéroclites (dimension humaine vs. matérielle et données qualitatives vs. quantitatives) – l'apport scientifique est attendu dans la modélisation et la méthodologie.

- L'approche réflexive devant permettre d'évaluer à la fois le résultat du processus que le processus lui-même – l'apport scientifique est attendu dans la mise en place de tableau de bord avec des indicateurs de performance.

L'originalité de ce processus repose sur sa dimension dynamique et flexible à plusieurs niveaux et s'appuiera sur des démarches de conception inventive éprouvées, l'une des thématiques centrales de l'équipe.

Descriptif du sujet (en complément, au format Word ou pdf)

1. Contexte industriel

Les entreprises doivent répondre aux défis stratégiques, organisationnels, humains et technologiques de l'industrie du futur. L'Usine du futur représente pour les entreprises une réelle opportunité d'évolution voire de transformation de leur business model en lien étroit avec la modernisation de leur outil industriel par le numérique. L'enjeu majeur est d'avoir une industrie plus intelligente et plus connectée afin qu'elle soit plus compétitive, plus réactive aux besoins de ses clients, plus sûre pour ses employés et plus respectueuse de son environnement. Les défis de cette transformation numérique reposent en partie sur la technologie mais surtout sur les hommes. L'augmentation de la part des processus digitalisés les problématiques relatives à la gestion de données complexes de plus en plus nombreuses et complexes [11]. En conséquence, le risque de réaliser des erreurs de pilotage suivi de pertes de performance est de plus en plus important. A cela s'ajoute l'intégration des nouvelles technologies, l'évolution constante et de plus en plus rapide du contexte et du cadre législatif. Les métiers vont ainsi évoluer et le personnel va devoir développer de nouvelles compétences dans de nombreux domaines pour accompagner les développements technologiques des entreprises [1]. Selon l'APEC (Avec le concours du Programme d'Investissements d'Avenir), « la transformation numérique renvoie à l'intégration des nouvelles technologies digitales au cœur même des activités des entreprises, mais aussi à une nouvelle organisation de l'espace de la production et de son mode de fonctionnement. Près de 6 cadres sur 10 des secteurs de l'industrie et de la construction disent déjà percevoir les effets de la transformation numérique dans leur travail au quotidien. Près de la moitié des cadres estime que cette transformation modifiera le contenu de leur activité et des compétences associées. Pour cela, ils sont nombreux à solliciter un accompagnement. » (<https://corporate.apec.fr/>), [7], [8].

2. Objectifs scientifiques et propositions

Dans ce contexte industriel on cherche à développer un processus de conception d'un système de formation nécessaire pour répondre aux besoins de l'environnement socio-professionnel en termes de compétences adaptées à l'évolution des métiers. Il doit répondre au cahier de charge de chaque entreprise spécifique en fonction de son niveau de performance actuel et recherché et de sa volonté d'accompagner les acteurs humains dans l'évolution souhaitée. Le processus de conception d'un tel système se doit donc d'être :

- dynamique pour intégrer les nouvelles technologies en constante évolution (cahier de charge des processus industriel change continuellement et doit refléter au plus proche la situation actuelle dans l'industrie et la volonté ou pas de l'entreprise d'intégrer ces technologies),
- agile afin d'accompagner l'évolution des modèles d'organisation et de pilotage existants,
- flexible pour développer des solutions pour différentes entreprises, à différents niveaux de formation et être liées aux particularités des acteurs humains devant monter en compétence [2],

Le système développé issu du processus devra être adaptatif pour intégrer différentes méthodes et moyens innovants de formation, développés au sein de l'équipe, tels que l'Usine école de l'Industrie du futur à l'IUT de Haguenau [1], le jumeau virtuel développé dans le projet Ergonom.io [9], la plate-forme des outils d'aide à la décision développé dans le cadre du projet Virtfac [10].

Les verrous scientifiques à aborder dans le cadre de cette thèse sont :

- La capacité à gérer ces données hétéroclites (dimension humaine vs. dimension matérielle et données qualitatives vs. données quantitatives) : l'apport scientifique attendu sera dans la modélisation et la méthodologie du processus de conception basée sur la méthode TRIZ et plus précisément sur la théorie des contraintes.
- L'approche réflexive devant permettre d'évaluer à la fois le résultat du processus et le processus lui-même : l'apport scientifique attendu sera dans la mise en place de tableau de bord avec des indicateurs de performance basés sur le réseau de paramètres issu du modèle cité ci-dessus.

Dans cette thèse un processus de conception de système de formation sera développé. Ce processus de conception s'appuiera sur une méthodologie basée sur les démarches de conception inventive éprouvées.

3. Méthodologie : Exploitation des apports de la conception inventive

Nous nous appuyons sur les résultats issus de l'outil de Diagnostic Stratégie et Compétences "Industrie du futur" proposé aux entreprises afin de faire une évaluation de leur niveau de performance pour une transition réussie et priorisée vers l'industrie du futur en intégrant nécessairement l'aspect humain [3]. L'outil permet à la fois d'évaluer le niveau de maturité actuel des entreprises et de visualiser l'écart entre celui-ci et le niveau de maturité à atteindre. Cette première évaluation définit le cahier de charge et permettra d'élaborer une stratégie de transformation aux entreprises avec en perspective les métiers impactés et les compétences à développer.

La méthodologie de conception de système de formation passera d'abord par les phases d'analyse et de modélisation du contexte évoqué y compris la collecte des objectifs et spécifications. Ensuite les moyens seront étudiés et pour accompagner à la fois la conception et l'évaluation du processus de conception de système de formation, nous allons nous servir de méthodes développées dans le cadre de la conception inventive. L'intérêt de cette proposition repose principalement sur l'exploitation d'une représentation des relations entre les paramètres de conception du système et les critères du cahier des charges. Cette représentation et l'identification des relations d'influence entre l'ensemble de ces données devrait permettre à la fois de piloter la conception du système de montée en compétences, et d'en évaluer l'efficacité.

Le système de contradictions de la TRIZ [4] a été éprouvé et est reconnu comme un modèle permettant de formuler le problème clé à résoudre en phase de conception et d'accompagner la recherche de solutions inventives. Ce modèle repose sur l'identification des relations d'influence entre les paramètres de conception et les critères de performance à satisfaire. Ce modèle a été généralisé de manière à pouvoir intégrer dans ce modèle un ensemble plus exhaustif de critères de performance. La prise en compte des relations d'influences a en outre permis de proposer un réseau de paramètres donnant une représentation graphique de ces influences et permettant de mettre en évidence le problème prioritaire à résoudre [5].

Ce réseau de paramètres peut être vu comme un instantané d'un système, et des configurations de ce système favorisant la satisfaction des fonctions du système. Ainsi, ce réseau peut permettre également de faire des choix de conception en accord avec des critères de cahier des charges à satisfaire, comme cela a déjà été illustré dans [6]. L'idée, dans le cadre de cette thèse est donc de construire un tel réseau de paramètres, et de s'en servir à la fois comme outil d'évaluation, et outil de conception de système de formation.

La nature des livrables attendues dans la thèse :

- Processus de conception de Système de formation,
- Modèle d'évaluation du processus de conception et de son résultat,
- Application sur un cas industriel.

4. Cas d'application et collaboration recherchée durant la thèse

Plusieurs niveaux de collaboration avec des industriels et de valorisation des recherches scientifiques issues du laboratoire sont attendus dans le cadre de cette thèse.

Dans un premier temps, les directeurs de la thèse participent au projet IDEX DSC 4.0 de l'Unistra (Diagnostic Stratégie Compétence Industrie du futur). Le réseau d'industriels développé dans ce projet est concerné par la transition 4.0. Chaque entreprise ayant un cahier des charges de transition différent, elles offrent un panel large d'application et de validation des concepts et outils développés durant la thèse [6].

Du côté industriel, les directeurs de thèse collaborent depuis plusieurs années avec l'entreprise Bosch Rexroth et notamment les sites de Rodez (France) et de Ulm (Allemagne) qui développent des systèmes pédagogiques. Ils ont fabriqué l'usine école 4.0 qui a été conçue et est actuellement exploitée par l'IUT de Haguenau. Cette usine-école Flextory (Flexible Factory) évolue régulièrement à l'image des entreprises. Parallèlement au

développement de l'usine-école, les projets de recherche Ergonom.io et Virtfac ont permis de développer le jumeau numérique de Flextory ainsi que de mettre en place une plate-forme des systèmes d'aide à la décision. Les résultats issus de ces projets de recherche seront directement intégrés et appliqués dans le cadre de la thèse.

5. Inscription de la thèse dans les activités de l'équipe CSIP

L'équipe CSIP s'intéresse aux nouveaux modes de conception de produit/systèmes/services afin de permettre aux entreprises d'évoluer et de rester compétitive. Ce sujet considère l'approche de conception inventive qui est une marque de fabrique originale de l'équipe. Il a pour domaine d'application la conception d'un système pédagogique dédié de production de produits manufacturés dans le contexte de l'industrie du futur intégrant naturellement une interconnexion avec des systèmes d'information. Ceux-ci font partie des domaines d'application privilégiés de l'équipe.

Trois des quatre problématiques fédérant les activités de recherche de l'équipe sont adressées par ce sujet :

- La gestion des connaissances et compétences et leur exploitation;
- La modélisation du processus de conception en y intégrant son amélioration continue et sa robustesse;
- La prise en compte du cycle de vie produit/système.

6. Références

- [1] Marmier François, Ivana Rasovska, Lorène Dubreuil, Bertrand Rose. « Implementing Industrie 4.0 in Learning Factory: the case of the University of Strasbourg », 11th Conference on Learning Factories - CLF 2021. June-July 2021.
- [2] Marmier François, Ioana Filipas Deniaud, Ivana Rasovska, Jean-Louis Michalak. « Towards a proactive vision of the training for the 4.0 Industry: From the required skills diagnostic to the training of employees », 17th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. June 2021.
- [3] Deniaud, I., Marmier, F., & Michalak, J. L. Méthodologie et outil de diagnostic 4.0: définir sa stratégie de transition 4.0 pour le management de la chaîne logistique, *Logistique & Management*, 28(1), 4-17, 2020.
- [4] Altshuller, G. S. (1984), *Creativity as an Exact Science*, New York, Gordon and Breach.
- [5] Dubois S, Chibane H, De Guio R. Comparison between experimentation and multiphysics modelling to identify priority contradiction. *Proceedings of the Design Society*. 2023; 3:1017-1026.
- [6] Dubois, S., Maranzana, N., Gartiser, N. & De Guio, R. (2017), A global approach to manage the performance of the problem solving process in innovative design. *International Journal of Interactive Design and Manufacturing - Ijidem*, 11, 351-363.
- [7] M. Caliş Duman et B. Akdemir, « A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance », *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 167, p. 120615, juin 2021.
- [8] S. Fareri, G. Fantoni, F. Chiarello, E. Coli, et A. Binda, « Estimating Industry 4.0 impact on job profiles and skills using text mining », *Comput. Ind.*, vol. 118, p. 103222, juin 2020.
- [9] G Arbelaez Garces, B Rose, T Blandet, I Rasovska, Q Misslin, *Ergonom. io: A Virtual Reality tool for Ergonomic Assessment of Industrial Workplaces*, 2023 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, Juin 2023.
- [10] M. Schlecht. *Redesigning production systems by their digital shadow*. Thesis in Civil Engineering. Université de Strasbourg, 2023. English.
- [11] J. Chapelin, B. Rose, A. Voisin, B. Lung, *Digital continuity to improve the performance of the Industry 4.0*, IFAC MIM2022, NANTES, France, mai 2022.