

Une approche d'intégration de la méthode SMED dans la conception des systèmes de production

Rabih SLIM

CSIP-ICube – INSA Strasbourg
24 bd de la Victoire
670 84 Strasbourg – France
rabih.slim@insa-strasbourg.fr

Rémy HOUSSIN

CSIP-ICube – Université de
Strasbourg
24 bd de la Victoire
670 84 Strasbourg – France
remy.houssin@insa-strasbourg.fr

Amadou COULIBALY

CSIP-ICube – INSA Strasbourg
24 bd de la Victoire
670 84 Strasbourg – France
amadou.coulibaly@insa-strasbourg.fr

Résumé — *Les nouvelles générations des usines (Industrie 4.0) requièrent de plus en plus de flexibilité pour répondre à la très grande variété de demandes des clients. Cela nécessite un changement continu du processus de production. Le Lean est utilisé pour améliorer les systèmes de production existants. Peu de travaux expliquent comment le concepteur peut intégrer les fonctionnalités du Lean dès les phases de conception. Dans cet article nous proposons une approche systématique pour intégrer la méthode SMED, une méthode de Lean, dans la phase de conception initiale du système de production, basée sur la méthode du « 5 pourquoi ». La méthode (SMED) vise à réduire le temps d'un changement de série en minimisant le temps de réglage.*

Une intégration des fonctionnalités du SMED dans les phases de la conception permettrait d'améliorer les performances du système de production et de le rendre plus efficace et optimisé avec un minimum de réglage.

Une étude de cas est présentée à la fin de cet article pour illustrer la faisabilité de la méthode proposée. En étudiant les causes du bouchage d'une buse d'imprimante 3D, nous proposons une nouvelle conception de système d'alimentation en fil de matière.

Mots-clés : *Lean, Méthode conception, SMED, système de production.*

I. INTRODUCTION

L'un des principes de l'usine intelligente (Industrie 4.0) est d'associer les futurs utilisateurs, la gestion de l'entreprise et les concepteurs (produit, processus, ingénierie) à une réflexion structurée et approfondie pour décrire un modèle d'industrialisation visant à définir dès que possible le meilleur compromis possible entre les exigences d'un marché, les contraintes de service et les objectifs de Lean en matière de performance industrielle [1]. Selon Taiichi Ohno, le père du Lean, le seul moyen efficace était de produire ce qui est nécessaire en réduisant les intrants [2]. Dans ce contexte, les chercheurs étudient les possibilités de proposer de nouvelles méthodes et de nouveaux outils pour aider à concevoir un système de production efficace, sans qu'il ne soit nécessaire de l'améliorer continuellement via le Lean. De nombreuses études, mentionnées dans la littérature, tentent d'intégrer certaines disciplines, de nouveaux concepts et critères au début de la phase de conception d'un système de production afin de satisfaire les besoins des clients et des utilisateurs afin de réduire les modifications en ajoutant des procédures supplémentaires au processus de production dans le but

d'augmenter son efficacité. Ainsi, on pourrait citer les travaux relatifs aux Design for Cost, Design for maintenance, Design for safety, Design for setting-up etc. [3]. Par exemple, Sun. X [4] a développé une approche pour aider les concepteurs à intégrer les facteurs humains et ergonomiques dès les premières phases de conception. Sun. G [5] propose une approche systématique pour élucider les effets de différentes qualités de matériaux et dimensions structurelles sur la rentabilité par rapport à la résistance à l'impact, en prenant l'exemple de la structure à double paroi à double chapeau. De plus, Baptista A.J [6] apportent une approche novatrice et holistique, le Lean Design-for-X (LDfX), afin d'évaluer les performances de conception d'un produit complexe. Un indice métrique (LDfX) dont la valeur est comprise entre 0 et 100%, et un tableau de bord original ont été créés pour un support décisionnel cohérent pour la comparaison de différents concepts ou produits de conception, intégrant différents domaines "X".

Notre objectif dans cette étude est de proposer une approche systématique pour intégrer les fonctionnalités de la méthode SMED dès la phase de conception en se basant sur la méthode de résolution de problème « les cinq pourquoi ? » pour pouvoir convertir les tâches internes du SMED en tâches externes.

Après l'introduction, nous présentons un état de l'art sur la méthode SMED, sa définition, ses étapes. La troisième section présente notre approche pour intégrer les étapes SMED dans la phase de conception initiale du système de production. Un exemple a été traité sur le débouchage de la buse d'une imprimante « 3D ». Dans la dernière section, nous discutons notre proposition avant de conclure.

II. ETAT DE L'ART

A. Positionnement des travaux

L'industrie 4.0 est le cadre général de nos travaux. Elle est en train de façonner l'avenir de l'industrie. Elle insiste sur l'importance d'intégrer toutes les données et connaissances dans les systèmes de production via un système d'information, facilitant ainsi la prise de décision et la gestion des flux dans les usines. En raison de cette situation novatrice, il est essentiel de vérifier si elle est intégrable efficacement pour les systèmes existants ? Mais aussi de bien comprendre comment les systèmes de production doivent être conçus avec d'énormes exigences à prendre en compte pour satisfaire les besoins et

faire face à la compétitivité industrielle. Tout d'abord, il conviendrait de définir la fabrication en un système de systèmes (SoS) contenant un ensemble de sous-systèmes (systèmes de qualité, de traitement, de planification et de contrôle et de maintenance) [7]. Ainsi, selon Bellgran et Sëafsten[8], un système de production est alors considéré comme faisant partie du système de fabrication. Ce sont les types de systèmes de production les plus courants mentionnés dans la littérature :

1. Lignes de production dédiées (DML).
2. Systèmes de production flexibles (FMS).
3. Système de production reconfigurable (RMS).
4. Système de production agile.

Les lignes de production dédiées (DML) et les systèmes de production flexibles (FMS) ne répondent pas aux attentes en raison de leurs procédures de mise en œuvre. Les DML sont productives mais s'adaptent difficilement pour les nouveaux produits. Les FMS sont généralement peu productifs, coûteux et difficiles à entretenir. Les industries s'orientent de plus en plus vers des systèmes de production reconfigurables (RMS) pour obtenir à la fois les fonctionnalités variables des systèmes de production flexibles (FMS) et la capacité évolutive des lignes de production dédiées (DML) [9]. Par conséquent, la

solution résidant dans la conception d'un nouveau système de production, offrant une flexibilité et des fonctionnalités évolutives, reste d'après Bhargav et al. assez long à réaliser [10]. Dans nos travaux nous proposons de rendre les système (FMS) plus productive en minimisant dès leur phase de conception le temps de fonctionnement et d'utilisation sans valeur ajoutée et sans exiger par la suite l'application du Lean. Le tableau 1 ci-dessous présente notre étude de l'intégration du Lean au début de la phase de conception d'un système de production, en suivant l'évolution des paradigmes de fabrication. Nous pensons que l'intégration des fonctionnalités de la méthode SMED dès les premières phases de la conception peuvent garantir une personnalisation de masse en se basant sur les nouvelles technologies de l'usine du futur (I4.0). Or actuellement la méthode SMED est souvent utilisée pour améliorer le temps de réglage de machines et de systèmes existants. Il porte sur l'application des serrages fonctionnels et la transformation des opérations de réglages internes en opération externes (merci d'ajouter ici une référence). Nous allons plus loin dans l'intégration de cette méthode dans la phase de conception en appliquant son principe sur l'ensemble des opérations fonctionnelles et autres du système à concevoir.

| | | Notre étude | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--|
| DML | FMS | RMS et FMS | |
| Production de masse | Personnalisation de masse | Personnalisation de masse | |
| Faible coût | Coût élevé | Variété de produits | |
| Produit commun | Famille de produits | Produit unique | |
| Ligne de montage mobile | Machine-outil à commande numérique | Fabrication additive I4.0 | |
| Philosophie d'amélioration continue et application des outils de Lean | Philosophie d'amélioration continue et application des outils de Lean | système basé sur l'intégration de Lean au début de la phase de conception | |

Tableau 1. LA POSITION DE NOTRE ETUDE SUIVANT L'EVOLUTION DES PARAGIDMES DE FABRICATION

B. SMED et conception

La flexibilité est à la base des systèmes de production d'Industrie 4.0 pour permettre une individualisation des produits [11]. Selon El Maraghy [12], il existe 10 classifications pour un système de production flexible. Parmi ces 10, nous nous intéressons à 3 types :

1. Flexibilité de la machine : Les différentes opérations sont effectuées sans changer la configuration de la machine.
2. Flexibilité du processus : Tous les types de pièces pouvant être produites sans nécessiter des modifications majeures.
3. Flexibilité de la production : toutes les pièces pouvant être produites sans ajout des équipements importants.

L'intégration de la méthode SMED dans les premières phases de la conception améliorera la flexibilité des systèmes de production en termes de machine, processus et production.

Les objectifs conceptuels du Lean sont l'élimination parfaite des gaspillages qui sont classés en trois catégories :

1. Muri : surcharge physique, pénibilité, stress mental, etc.
2. Mura : irrégularité, uniformité, etc.
3. Muda : surproduction, temps d'attente, transport, stockage, mouvement et production de pièces défectueuses [13].

Dans un contexte où il est devenu essentiel de répondre rapidement aux aléas, la production est planifiée via un flux tiré, permettant de rythmer la production en fonction de la demande du client. Comme indiqué précédemment, le besoin de personnalisation des produits nécessiterait certaines modifications du système de production afin de répondre aux exigences de la production telles que les petites séries et les exécutions en une seule pièce, les délais les plus courts, le juste à temps (JIT), et des livraisons juste-à-séquence (JIS) et zéro défaut dans des cycles de vie de produit toujours plus courts [14], ce qui signifie plus d'agilité et plus de complexité. La Figure. 1. présente l'évolution du type de production.



Figure 1. DE LOT A JIT

La flexibilité d'un produit à l'autre est assurée par un processus de changement qui doit être aussi efficace que possible pour pouvoir répondre aux objectifs de demande du client et aux objectifs de productivité [15]. En principe, Lean accorde une

attention particulière à la réduction du temps de production et de configuration, afin de réduire le temps d'un changement de série pour les changements d'outillage. En 1985, Shigeo Shingo introduisit sa méthodologie connue sous le nom de changement de matrice(s) en une seule minute (SMED), offrait un moyen rapide et efficace de convertir un processus de fabrication en cas de changement de produit [16]. SMED fait appel à une méthodologie, certaines techniques et des outils permettant d'effectuer un basculement rapide et efficace, influençant d'une manière positive la flexibilité des systèmes et des machines existantes [17]. Il suppose que le temps d'un changement de série doit avoir lieu dans un temps exprimé par un chiffre (moins de 10 minutes). Il a été défini comme « le temps total écoulé depuis la dernière unité de production bonne à la vitesse et efficacité normales de l'opération précédente jusqu'à la première unité de production bonne à une vitesse et efficacité normales » [18], fig.2.



Figure 2. STRUCTURE DU CHANGEMENT (révisé de [15])

Lors des phases du changement, on peut distinguer deux types d'opérations :

- Internes : elles correspondent à des opérations qui se font lorsque la machine est en arrêt, donc hors production.
- Externes : elles correspondent à des opérations qui se font lorsque la machine en fonctionnement, donc en production.

La conversion des opérations internes en opérations externes est le principe de base de SMED.

Le temps d'un changement de série comprend les étapes suivantes :

1. Préparation et vérification de l'environnement, des machines, de l'outillage et du matériel : pour garantir le fonctionnement et les performances du système.
2. Démontage et Assemblage de pièces et d'outils : cette étape inclut le démontage de pièces et d'outils usagés de la série précédente et l'assemblage de pièces et d'outils de la série suivante.
3. Centrage, positionnement et réglage : cette étape inclut toutes les opérations de centrage et de positionnement des outils, ainsi que le paramétrage des différents paramètres (température, pression, intensité, etc.).
4. Tests et ajustements : Des produits sont fabriqués pour déterminer si les réglages nécessitent un réajustement [19].

La réduction du temps d'un changement de série permet de minimiser les temps d'arrêt et maintenir le fonctionnement optimal des machines. Pour atteindre ces objectifs, la méthode SMED est basée sur quatre étapes conceptuelles selon Shingo (1985) [20], fig. 3.

Au stade préliminaire, les opérations sont identifiées, observées et analysées. Les tâches élémentaires seraient identifiées. Un standard pour toutes les tâches doit être créée afin d'identifier le début et la fin de chaque tâche. Dans la deuxième étape, toutes les tâches sont répertoriées afin de séparer la configuration interne de la configuration externe. Dans la troisième étape, les

tâches internes sont analysées pour définir comment les convertir en externe. Que peut faire l'opérateur pendant le fonctionnement de la machine ? Que peut-il préparer ? Que peut-il faire en parallèle ? Dans la dernière étape, le système sera amélioré en éliminant les tâches inutiles (par exemple, rechercher des défauts et des perturbations, etc.), en simplifiant d'autres tâches (réfléchir à de nouvelles idées, en automatisant certaines tâches, etc.) et en combinant d'autres (s'exécutant en parallèle) [21] [22] [23]. Ces étapes de la méthode SMED sont nécessaires pour améliorer un système existant. Intégrer ces étapes pendant les phases de la conception permet d'optimiser le système dès sa conception et de supprimer les contraintes imposées par le système lui-même.

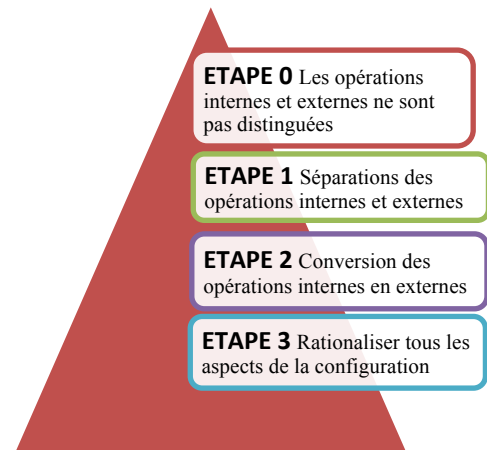


Figure 3 LES ETAPES CONCEPTUELLES DU SMED

III. UN CADRE STRUCTUREL POUR INTEGRER LA METHODE SMED DES LES PREMIERES PHASES DE LA CONCEPTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION

Une conception de système de production peut être décrite comme une transformation d'entrée en sortie Figure 4. En entrée, il s'agit de toutes les spécifications du produit et des exigences dont le concepteur a besoin pour concevoir un produit performant (système). En sortie, il s'agit d'un prototype de produit qui peut être testé par le concepteur et les utilisateurs avant la production en série. L'objectif du concepteur est de concevoir un système capable de satisfaire les besoins de l'utilisateur et du client.



Figure 4. TRANSFORMATION D'ENTREE EN SORTI

En se basant sur certaines études, la méthode conception des systèmes de production développée par Pahl & al. (2007) comporte quatre phases :

1. Phase d'initialisation.
2. Phase préliminaire.
3. Phase de conception architecturale.
4. Phase détaillée [3].

Une phase d'initialisation définit le problème de conception ; il consiste en spécifier toutes les informations nécessaires pour

alimenter le processus de conception [24]. A partir du cahier des charges, le concept de solution principale est choisi pour être développé. Lorsque les exigences sont obtenues, la hiérarchie des fonctions peut être développée à l'aide de l'Analyse Fonctionnelle (AF) avec les contraintes de la configuration de fonction et des liens entre les sous-fonction.

En phase 3, les concepteurs définissent la configuration physique du système de production. Enfin, dans la conception détaillée, la conception repose sur une description technique complète du système de production. On spécifie et décompose chaque fonction jusqu'à la fonction élémentaire qui peut être réalisée par une opération élémentaire comme proposé par Sun [4]. L'analyse de fonction peut être conduite comme suit :

1. Définir la fonction principale du produit.
2. Décomposer la fonction principale en sous-fonctions jusqu'aux fonctions élémentaires.
3. Décomposer chaque fonction élémentaire par des nombres des opérations à faire par le système et son utilisateur.
4. Développer l'ordre et la hiérarchie des fonctions et des sous-fonctions en prenant en compte l'étape 3.
5. Analyser l'arbre de fonction.

Sun, X et al. [25] ont analysées les tâches en tâches techniques, exécutées par le produit (le système) et en tâches sociotechniques qui sont exécutées par l'utilisateur, afin d'intégrer le comportement de l'utilisateur dans la conception, en analysant les interactions entre le système et l'utilisateur. Ce qui ramène à choisir des solutions plus efficaces dès la conception. En se basant sur l'analyse et les propositions de Sun [25], on s'intéresse dans cet article à classifier les tâches en

internes ou externes afin de minimiser les nombres des tâches internes dès la conception. Figure 5.

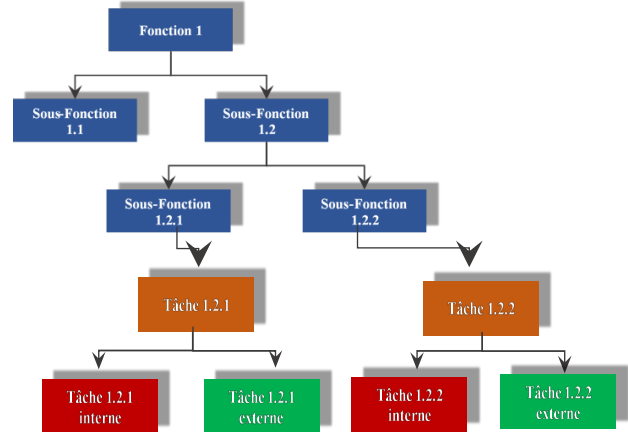


Figure 5. DECOMPOSITION DES FONCTIONS

Nous cherchons ensuite à convertir les opérations internes en opération externes en utilisant la méthode du 5 pourquoi, qui est une méthode utilisée dans le domaine de la gestion de la qualité [26]. Le but des cinq pourquoi est de déterminer la cause d'un problème en posant plusieurs fois la question « Pourquoi ? » au problème, ce qui mène à transformer la cause du problème précédent en nouveau problème grâce à la question « Pourquoi ? » pour proposer des solutions à la cause racine identifiée et par conséquent à transformer les opérations internes en externes. Tab.2.

| | 1) Pourquoi ? | 2) Pourquoi ? | 3) Pourquoi ? | 4) Pourquoi ? | 5) Pourquoi ? |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| Description des tâches | Les tâches sont internes | Temps de realization long | Phase de préparation | Les préparations ne sont pas effectuées avant l'arrêt de machine ✓ | ⋮ ⋮ ⋮ |
| | | intervention humaine | MUDA ne sont pas éliminés | Quelques tâches ne sont pas automatisées ✓ | |
| | | Ils exigent l'arrêt de système | Les outils ne sont pas prêts à être utilisés | Temps d'attente ✓ | |
| | | | Les outils sont loins des machines | ⋮ | |

Tableau 2. LES CINQ POURQUOI DE LA CONVERSION DES TACHES INTERNES EN EXTERNES

Sur cette base, nous cherchons à intégrer les étapes SMED au processus de conception d'un système de production. Figure 6 La première étape de SMED est prise en compte dans la phase d'initialisation ou préliminaire Dans la phase préliminaire, la séparation des opérations internes et externes doit être définie. Dans la phase architecturale, nous définissons les opérations internes et externes et cherchons à convertir les opérations définies comme internes en opérations externes en utilisant la méthode du 5 pourquoi. A ce stade le concepteur utilise les solutions connues et disponibles qui répondent à la fonction demandée mais qui nécessiteront par la suite des opérations internes. Enfin, dans la dernière phase, nous rationalisons le système en appliquant certaines modifications et reconfigurations nécessaires pour optimiser la version finale du

système de production avant le prototype. Certaines tâches seront éliminées, d'autres seront automatisées et d'autres seront exécutées en parallèle. Des contradictions peuvent apparaître en utilisant les solutions connues. Pour éliminer ces contradictions il faut proposer des solutions inventives. La méthode de résolution des problèmes techniques TRIZ pourrait être utile pour résoudre les contradictions qui pourraient apparaître (ce point fait partie de nos travaux en cours). A chaque étape de la conception, nous testons le système pour mesurer son efficacité et nous assurons qu'il n'a pas par la suite besoin d'appliquer le Lean. Pendant ces étapes, le système doit être testé en simulant par réalité virtuelle (ou autre) dans le but d'optimiser autant que possible la version du système avant sa fabrication.

IV. UNE ETUDE DE CAS D'UNE IMPRIMANTE 3D

Le laboratoire Fablab à l'INSA de Strasbourg comporte 6 imprimantes 3D qui sont utilisés en parallèle pour des missions différentes afin de fabriquer un ou plusieurs prototypes. Ces imprimantes 3D sont en ligne avec d'autres machines (découpeuse Laser, machine de stratoconception, ...). Sur cette plateforme, on fabrique des produits composés de plusieurs composants réalisés en utilisant plusieurs matières premières et assemblés et finalisés par la suite. Par conséquent on peut assimiler ce Fablab à un système de production. Dans le cas de la technologie FDM (Modélisation par dépôt en fusion), un problème récurrent survient qui est le bouchage de la buse d'impression. La matière continue d'entrer mais ne peut pas ressortir et cela jusqu'à la fin du programme ce qui peut entraîner d'autres problèmes à savoir le blocage de la matière lors de l'acheminement de celle-ci. A titre d'exemple, la machine d'impression 3D utilisée ne détecte pas lorsque la buse est bouchée, autres machines détectent ce phénomène. Mais dans les deux cas, ce problème de maintenance nécessite un nettoyage périodique et un chargement de la buse trop souvent. Nous cherchons, dans cet exemple, la reconception des systèmes d'alimentation en fil de l'imprimante 3D et non pas une solution qui permet de faciliter le nettoyage ou le remplacement de à l'arrêt de la buse. Dans cette étude, nous essayons d'optimiser le temps d'arrêt de l'imprimante pour nettoyer la buse. Afin de gagner un maximum de temps, plusieurs solutions sont possibles. En se basant sur l'application classique de SMED, il serait possible premièrement que la machine puisse signaler dès le moment où la buse commence à se boucher grâce à l'intégration d'un capteur afin de prévenir l'utilisateur le plus rapidement possible. La deuxième est l'ajout d'un système de nettoyage automatique. Ces deux solutions rendent la machines plus complexes, moins fiable et plus chère. En appliquant notre méthode nous proposons de modifier la machine en reconcevant la système d'alimentation afin de permettre que les deux buses soient montées et indépendantes l'une de l'autre. Lorsqu'une buse est bouchée, le système permet d'utiliser l'autre buse. Ce qui permettrait aux deux buses d'extruder en alternance et donc de pouvoir remplacer le travail

de la buse bouchée qui sera soit changé soit nettoyé (temps masqué). Pour cela, nous avons utilisé la méthode 5 Pourquoi afin de chercher la racine du problème Tab 3.

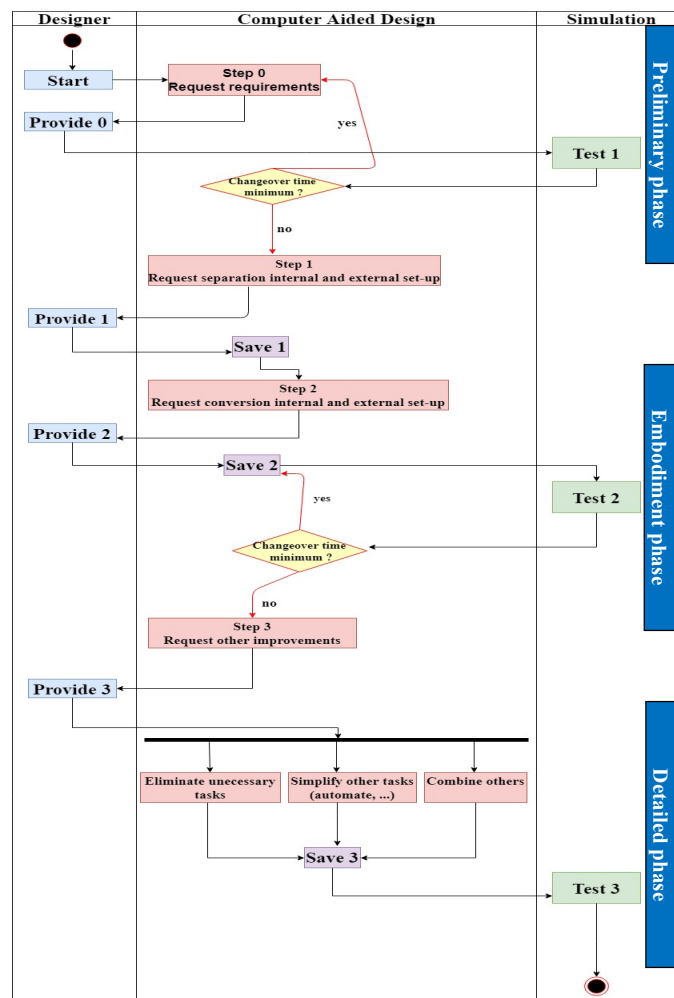


Figure 6. CADRE POUR INTEGRER SMED EN CONCEPTION

| | 1) Pourquoi ? | 2) Pourquoi ? | 3) Pourquoi ? | 4) Pourquoi ? | 5) Pourquoi ? |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| Description du débouchement de buse | Pourquoi on ne peut pas nettoyer la buse sans arrêter l'impression | Il existe une seule buse | L'imprimante et le logiciel Cura ne permet pas l'utilisation de deux buses à la fois | Les buses ne sont pas indépendantes l'une de l'autre ✓ | |
| | | Source de chaleur dangereux pour l'utilisateur. | | | |
| | | Pas de nettoyage automatique. ✓ | | | |
| | | | ⋮ | | |
| | | | | | |

Tableau 3. LES CINQ POURQUOI DU DEBOUCHEMENT DE BUSE

V. CONCLUSION ET TRAVAUX

La méthode SMED est un outil de Lean qui convient aux systèmes de production existants. Dans cette étude, nous appliquons SMED dans la conception des systèmes. Nous

proposons une approche systématique pouvant aider les concepteurs à optimiser la performance des systèmes de production non seulement en phase d'utilisation grâce à l'application du Lean mais par l'intégration des fonctionnalités du Lean dès les premières phases de conception dans le but de

concevoir un système respectant l'objectif de l'industrie 4.0. Cette approche, basé sur la méthode du « cinq pourquoi ? », vise à examiner les étapes de la méthode SMED au début de la phase de conception afin convertir les opérations internes en opérations externes ; nous avons visé à classer les tâches en internes et externes le plus tôt possible dans la phase de conception du système. Ce qui nous permet de trouver des solutions techniques et donc de minimiser les tâches internes qui exigent l'arrêt de système. Un exemple est présenté à la fin de cet article pour illustrer la faisabilité de la méthode proposée en étudiant les causes du débouchement du buse d'une imprimante 3D en se basant sur la méthode du « 5 pourquoi ». Nos travaux futurs seraient concentrés sur l'amélioration de notre méthode en développant un algorithme permettant aux utilisateurs de logiciels d'appliquer la méthode SMED et des autres méthodes et outils de Lean pendant les phases de conception. Mais aussi résoudre les problèmes de contradictions résultant de la conversion des opérations internes en opérations externes.

VI. RÉFÉRENCES

1. FONTANILLE, O., CHARLES, C., & Fr, C. O. « Pratique du LEAN. Réduire les pertes en conception, production et industrialisation ». (Dunod, Ed.). Paris. (2010).
2. BLACK, J., & JOHN, R. "Production Library of Congress Cataloging-in-Publication Data". (I. Industrial Press, Ed.) (First Edit). New York, NY 10018. (2008).
3. PAHL, G., and W. BEITZ. "Engineering Design: A Systematic Approach". Springer (2013).
4. SUN, X., HOUSSIN, R., RENAUD, J., & GARDONI, M. "Towards a human factors and ergonomics integration framework in the early product design phase: Function-Task-Behaviour". *International Journal of Production Research*, 7543, 1–13. (2018).
5. SUN, G., DENG, M., ZHENG, G., & LI, Q. "Thin-Walled Structures Design for cost performance of crashworthy structures made of high strength steel. Thin Walled Structures". 1–15. (2018).
6. BAPTISTA, A. J., PEIXOTO, D., FERREIRA, A. D., & PEREIRA, J. P. "Lean Design-for-X methodology : Integrating Modular Design , Structural Optimization and Ecodesign in a machine tool case study". *Procedia CIRP*, 69(May), 722–727. (2018).
7. THOMAS L. NORTON. "The New Science of Management Decision: The Ford Distinguished Lectures" V3, Volume 3 de Ford distinguished Lectures. Literary Licensing, LLC. (2012).
8. BELLGRAN. M. SÄFSTEN. K "Production Development. Design and Operation of Production Systems". Springer-Verlag London. (2010).
9. AZAB, A., & NADERI, B. "Modelling the problem of production scheduling for reconfigurable manufacturing systems". *Procedia CIRP*, 33, 76–80. (2015).
10. BHARGAV, A., SRIDHAR, C. & KUMAR, M. "Study of Production Scheduling Problem for Reconfigurable Manufacturing System (RMS)". *ScienceDirect: Proceedings*, 4(8), 7406–7412. (2017).
11. ROGALSKI. S. "Flexibility Measurement in Production Systems" Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (2011).
12. EIMARAGHY, HODA A. "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms" *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 261-76 Springer (2011).
13. KATAYAMA, H. "Legend and Future Horizon of Lean Concept and Technology". *Procedia Manufacturing*, 1093–1101. (2017).
14. KARSTEN HERR "Quick Changeover Concepts Applied. Dramatically Reduce Set-Up Time and increase Production flexibility with SMED". Taylor & Francis Group, Ed. CRC Press. 6000 FL 33487-2742. (2014).
15. KARAM, A, CRISTINA, V. "A SMED project Costing models for capacity optimization in Industry between used capacity and Iorga operational Value added". *Procedia Manufacturing*, 22, 886–892. (2018)..
16. BRITO, M., RAMOS, A. L., CARNEIRO, P., & GONCALVES, M. A. "Combining SMED methodology and ergonomics for reduction of setup in a International turning and production area SMED". *Procedia Manufacturing*, 13, 1112–1119. (2017).
17. YASH. D, S. NAGENDRA, "Single Minute Exchange of Dies: Literature Review" *International Journal of Lean Thinking*, 3(2) 27-37. (2012).
18. HENRY, J. R. "Achieving Lean Changeover. Putting SMED to work putting SMED to work". Taylor & Francis Group. FL 33487-2742. (2013).
19. LECONTE. T « La pratique du SMED Obtenir des gains importants avec le changement d'outillage rapide » (Groupe Eyr). 75240 Paris Cedex (2008).
20. SHINGO, S. "A Revolution in Manufacturing : The SMED System. Zero Quality Control Source Inspection and the Poka-Yoke System" (Cambridge MA: Productivity Press). (1985).
21. MCINTOSH. R. I, CULLEY. S.J, MILEHAM A.R. & OWEN. G.W. "A critical evaluation of Shingo's 'SMED' methodology" *International Journal of Production Research*, 38:11, 2377-2395. (2000).
22. BRAGLIA. M. FROSOLINI .M & M. GALLO "Enhancing SMED: Changeover Out of Machine Evaluation Technique to implement the duplication strategy" *Production Planning & Control*. (2016)
23. ROSA, C., SILVA, F. J. G., FERREIRA, L. P., & CAMPILHO, R. "SMED Methodology : reduction of setup for Steel Wire-Rope assembly lines in Conference the automotive industry". *Procedia Manufacturing*, 13, 1034–1042. (2017).
24. BENAMA, Y. « Formalisation de la démarche de conception d'un système de production mobile intégration des concepts de mobilité et de reconfigurabilité ». (2016).
25. SUN, X., HOUSSIN, R., RENAUD, J., & GARDONI, M. "Integrating user information into design process to solve contradictions in product usage". *Procedia CIRP*, 39, 166-172. (2016).
26. BENTALEB, S. « Les « 5 Pourquoi ? », outil d ' aide à la résolution de problème Les « 5 Pourquoi ? » », 33(0). (2018).