

Intégration d'indicateurs Lean dans la stratégie d'entreprise pour le pilotage des performances

HECTOR CORTES, JOANNA DAABOUL, JULIEN LE DUIGOU, BENOIT EYNARD

Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne
Département de Génie des Systèmes Mécaniques, Laboratoire Roberval - UMR CNRS 7337
France

{hector.cortes; joanna.daaboul; julien.le-duigou; benoit.eynard}@utc.fr

Résumé – Une approche Lean des systèmes de production permet un déploiement de l'excellence opérationnelle pour un pilotage efficient de la performance industrielle. Les méthodes Lean classiques mises en œuvre dans les systèmes manufacturiers révèlent certaines limites. Ces limites portent notamment sur le manque d'alignement entre les objectifs des activités et le pilotage stratégique d'entreprise; la difficulté d'élaborer d'une justification quantifiable de la performance future des processus à mettre en œuvre et l'absence d'une méthode pour mesurer le leanness avec des indicateurs multiples. Cet article propose une méthode, le Framework Lean & Six-Sigma (FLSS), pour justifier et pérenniser l'implémentation du Lean. Elle est inspirée de la méthode DMAIC désormais bien connu dans l'approche Six-Sigma. De plus, cette méthode nécessite l'intégration d'un système d'information (MES – Manufacturing Execution System) pour alimenter le FLSS avec des données de production en temps réel.

Abstract –Lean approach allows implementation of operational excellence and performance management in manufacturing systems. Traditional implementations of Lean approach reveal some weakness. They are a lack of alignment between Lean objectives and strategic management of company; a lack of justified measurements for futures Lean implementations and a lack of evaluation method for leanness based on multiple indicators. The paper presents an approach, the Framework Lean & Six-Sigma (FLSS), in order to evaluate, justify and enable future Lean implementations. This approach is DMAIC-based. Besides, the framework needs an information system (MES – Manufacturing Execution System) to monitor the manufacturing data.

Mots clés – Système de Production, Amélioration Continue, Indicateur de Performances, MES, Système d'Information

Keywords – Manufacturing System, Lean Management, KPI, MES, Information System

1 INTRODUCTION

La production manufacturière définie comme une transformation des matières et de l'information en produits pour satisfaire les besoins humains, est une des premières activités d'une nation pour créer de la richesse [Chrysolouris 2005]. Néanmoins pour atteindre cet objectif il faut se doter de systèmes robustes aux changements et aux aléas de production. Rappelons que ces systèmes se développant dans un cadre de marchés volatiles, les entreprises subissent directement les effets de la globalisation et la virtualisation [Tyagi et al., 2015], les produits sont poussés par les modes éphémères et doivent intégrer une demande de plus en plus forte de services d'accompagnement.

L'approche Lean est une démarche qui s'appuie sur l'idée de "Faire plus avec moins" [Womack et Jones, 1996], c'est-à-dire optimiser l'allocation des ressources. Il a mis fin dans les années 70 au modèle de production en masse de Henry Ford (Ford Production System) qui avait comme résultats la rigidité dans la chaîne de production et la déshumanisation du travail [Friedmann, 1936], notamment au détriment de la polyvalence et

capacités intellectuelles des opérateurs. Le mot "Lean" fut utilisé la première fois dans les années 90 pour partager la philosophie de travail et les bonnes pratiques développée dans le Toyota Production System dans le livre "*The Machine that Changed the World*" [Womack et al., 1990].

L'objectif principal du Lean est de réduire les gaspillages dans la production et créer de la valeur ajoutée [Murman et al., 2002], toujours en respectant le niveau de qualité attendu par le client [Phillips, 2000]. Un gaspillage est un événement qui ne produit pas de la valeur ajoutée, et que le client n'est pas prêt à payer [Sarkar, 2007; Womack et Jones, 2009]. Ils existent trois groupes de gaspillages: Muda, Muri et Mura, ces termes japonais font référence aux tâches à non-valeur ajoutée, aux surcharges et aux irrégularités respectivement [Womack et Jones, 2009]. Ohno [1988] a listé sept gaspillages à non-valeur ajoutée. Liker [2004] ajoute plus tard un huitième reposant sur la créativité inexploitée, voir Tableau 1.

Tableau 1. Définition et exemples des Mudras [Ray et al. 2006]

Non-valeurs ajoutées	Définition
Superproduction	Produire au-delà quantité commandé par le client
Temps d'attentes	Attentes inutiles (i.e. pannes...)
Transports et manutention inutiles	Déplacements non nécessaires
Usinages inutiles ou mal faits	Fabriquer de la sur-qualité où sous-qualité, en dehors de l'attendu par le client
Stocks excédentaires	Stocker des quantités supérieures au stock de sécurité
Gestes inutiles	Faire des gestes non nécessaires dans les processus
Production de pièces défectueuses	Fabriquer des produits non BPC (Bon du Premier Coup)
Créativité inexploitée	Ne pas donner les moyens pour que les employés soient capables d'apporter la plus forte des valeurs ajoutées, l'intelligence humaine

Parmi ces gaspillages, la surproduction est considérée par Ohno [1988] comme la plus problématique, puisqu'elle est précurseur du restant des gaspillages. La surproduction génère des stocks excédentaires et cet excédent de stocks nuit inévitablement à l'amélioration continue [Liker, 2004].

Le Lean devient nécessaire pour améliorer la création de la valeur ajoutée et éliminer les gaspillages [Cheng et Weng, 2009]. Les pionniers du Lean développaient plusieurs outils et techniques qui permettent aujourd'hui d'éliminer les gaspillages et rendre Lean un système de production [Monden, 1998]. Aujourd'hui, le Lean est déployé dans la majorité des industries de production et est reconnu comme une méthode effective dans la poursuite de l'excellence opérationnelle [Slomp et al., 2009; Sarwar et Haider, 2008; Doolen et Hacker, 2005; Melton 2005; Sriparavast, 1997].

Cependant le Lean est souvent appliqué sans un outil fiable permettant la collecte et l'analyse de toutes les données de production en temps réel. Il est nécessaire d'aider aux prises de décisions opérationnelles afin qu'elles soient alignées avec le pilotage stratégique d'entreprise. L'objectif de cet article est de décrire une ébauche de solution pour combler ce manque. Nous nous proposons d'étudier comment les systèmes d'information pourront identifier, mesurer et intégrer les indicateurs de performances issus de la démarche Lean pour aider au pilotage stratégique et permettre de justifier la mise en place d'une démarche Lean. Cet article se décompose en deux parties principales : une revue des travaux de recherche dans le domaine de l'amélioration continue et la description de notre proposition.

2 ETAT DE L'ART

Dans plusieurs secteurs d'activités, il existe une réticence réelle au déploiement du Lean dans les systèmes de production même si les gains ont déjà été largement démontrés. Par exemple, plus de 60% des entreprises qui ont implémenté une démarche Lean dans leur système de production ont expérimentés une réduction du lead time; une réduction où maîtrise des coûts; et une augmentation du part de marché [Struebing, 1997]. Le

scepticisme des décideurs vient du fait qu'ils ne possèdent pas de système adapté pour mesurer de façon quantitative les gains d'une démarche pour rendre Lean un système de production, et de la résistance au changement des personnes et de l'organisation [Spear et Bowen, 1999 ; Prajogo et McDermott, 2005].

Les décideurs ne sont pas rassurés pour le déploiement de cette démarche. Les succès d'autres entreprises dans cette transformation Lean ne suffisent pas à motiver un investissement pouvant être considéré comme aventureux et injustifié. Les décideurs ont besoin de quantifier les gains pour accepter de rendre un système Lean [Detty et Yingling, 2000]. De plus, il n'est pas envisageable de piloter un projet Lean sans être capable de mesurer sa performance [Behrouzi et Wong, 2011].

Donc les entreprises durant le déploiement d'un projet Lean demandent une justification des gains par rapports aux coûts d'investissement pour changer de modèle de production. Mais aujourd'hui il n'existe pas d'outils suffisamment complets et polyvalents pour mesurer les indicateurs Lean.

Les travaux de recherche sur la mesure d'indicateurs de performance comme justification d'un déploiement Lean se partagent en 3 catégories qui peuvent servir comme support aux décideurs :

1. La définition des indicateurs Lean [Wahab et al., 2013; Shah et Ward, 2007; Diego et Rivera, 2007]
2. La mesure du niveau d'implémentation du Lean et des performances associées [Susilawati et al. 2015; Elnadi et Shehab, 2014; Hosseini Nasab et al., 2012; Vinodh et al., 2011; Bayou et Korvin, 2008; Wan et Chen, 2008].
3. L'aide à la décision et la validation des futures implémentations [Roessler et al., 2014; Salleh et al., 2012; Cuatrecasas-Arbos et al., 2011; Al-Aomar, 2011; Marvel et Standridge, 2009; Abdulmalek et Rajgopal, 2007].

2.1 La définition des indicateurs Lean

La définition des indicateurs de performance (KPIs - Key Performance Indicators) du Lean ou d'autres types d'indicateurs nécessite un alignement avec les objectifs stratégiques d'entreprise et une mise en cohérence avec l'environnement concurrentiel et la nature du marché [Ahmad et Dhafr, 2002]. Par exemple, une entreprise, qui fabrique des produits rapidement mis à disposition des consommateurs, aura besoin de concentrer sa performance autour des délais. Les KPIs doivent refléter les mesures de performance propres à une organisation et faciliter le suivi de l'alignement avec les objectifs internes ou externes pour justifier d'un niveau donnée de cette performance [Ahmad et Dhafr, 2002; Fitz – Gibbon, 1990].

Les KPI's au niveau stratégique de toute type d'organisation peuvent être groupés dans cinq catégories : les coûts, la qualité, la flexibilité, les délais et l'inventaire [Corbett, 1998]. La Table 2 reprend les principaux indicateurs du Lean.

Tableau 2. Indicateurs du Lean [Diego et Rivera 2007]

Objectifs Lean	Indicateurs de performance
Elimination des gaspillages	WIP (Work In Process)
	Processus excessif
	Surproduction
	Temps des réglages
	Temps d'arrêts des machines (OEE)

	Temps d'attentes
	Taux de Rendement Synthétique (TRS)
	Transports et manutention inutiles
	Gestes inutiles
	Inventaire
	Utilisation de l'espace (surface)
Amélioration continue	# d'idées / employé – année
	% d'idées d'amélioration implémentées
	Gâche
	Bons du Premier Coup (BPC) (RFT)
Flux tiré	Taille de lot
	Temps de traitement de l'ordre de production
	Lead Time
	Processus en flux tiré
	Valeur en flux tiré
Equipes polyvalentes	Autocontrôles
	Activités pour le travail en équipe
	Cross Training
	Sous-utilisation des compétences
	% d'employés polyvalents
Systèmes d'information	Fréquence de l'information
	% de procédures documentées
	Fréquence de mise à jour des dashboards

Srinivasaraghavan et Allanda [2006] présentent les caractéristiques que tout indicateur Lean devrait satisfaire :

- ❖ être mesurable et aligné avec les stratégies de l'entreprise et celle du client ;
- ❖ faciliter le pilotage et l'évaluation de la performance ;
- ❖ aider à la compréhension de l'état des processus actuels et aussi consolider la prise de décision en regard des futures implémentations ;
- ❖ intégrer en temps réel et façon réaliste les indicateurs.

Le fait de vouloir concentrer les efforts uniquement sur les résultats mesurés va plus causer du tort que de bénéfices. Les indicateurs tous seuls n'expliquent pas une bonne ou mauvaise performance. Les décisions basées uniquement sur les chiffres, ratios et pourcentages peuvent être nuisibles pour l'entreprise à long terme [Zairi, 1994]. Plusieurs organisations utilisent seulement certains indicateurs pour mesurer la performance, tandis que ça représente une portion de la performance entière, ces indicateurs "incomplets" peuvent mener des actions inadéquates. Pinter [1995] parle d'une optimisation globale comme le fait de trouver un ensemble d'indicateurs pour optimiser une fonction cible. Par exemple, selon Hopp et Spearman [2000], un système de production peut être évalué par trois indicateurs Lean : la cadence, le temps de cycle et le WIP (work-in-process). L'évaluation d'un système de production comprend plusieurs indicateurs corrélés. Pourtant c'est très difficile voire même impossible de mesurer ces indicateurs avec des méthodes stochastiques [Al-Aomar, 2011]. C'est pour cette raison que les paramètres de production évoluent par tâtonnement dans une démarche de type Lean, cela entraîne des résultats inattendus, des dépenses d'énergie, puis des changements coûteux [Al-Aomar, 2011].

Il existe un manque assez net dans la bibliographie sur une méthode favorisant l'alignement des indicateurs Lean, notamment, entre ceux des niveaux opérationnels et les KPIs de niveau stratégique.

Dans la section suivante une vue de l'ensemble des méthodes pour mesurer le niveau d'implémentation Lean et des performances associées.

2.2 Mesure du niveau d'implémentation Lean et des performances associées

Plusieurs méthodes et modèles sont proposés dans la bibliographie pour mesurer le niveau d'implémentation Lean et des performances associées. Cette mesure est nommé « leanness ». Vinodh et Chintha [2011] définissent le leanness comme le degré d'adoption et d'implémentation de la philosophie Lean dans une organisation. Les approches proposées pour mesurer le leanness peuvent être classées sous 3 types :

- Enquêtes/sondages
- Benchmarkings
- Modèles Fuzzy (logique floue)

Les approches par enquêtes sont proposées par certains auteurs comme un outil de mesure de la performance Lean. Cet outil s'appuie sur des techniques qualitatives [Fullerton et al., 2014; Moori et al., 2013; Agus et Iteng 2013; Devi et al., 2013; Kumar et Naidu, 2012; Bashin, 2012; Lila 2012; Taj et Morosan 2011; Karim et al., 2011; Eswaramoorthi et al, 2010; Nordin et al., 2010; Ferdousi et Ahmed 2009; Oliveira et Pinto, 2008; Taj, 2006; Taj, 2005; Yasin et al., 2004; Fullerton et al., 2003; Soriano-Meir et Forrester, 2002]. Néanmoins les réponses à ces enquêtes sont souvent subjectives, donc les résultats dépendent des individus interrogés, ainsi que les enquêtes prédéfinis ne sont pas accommodées à tous les systèmes de production [Wan et Chen, 2005]. Par exemple, Fullerton et Wempe [2008] proposent de tenir compte de la relation entre la performance Lean et la performance financière pour évaluer le leanness.

Le benchmarking est aussi proposé comme outil pour mesurer le leanness par plusieurs chercheurs [Gurumurthy et Kodali, 2009; Wan et Chen, 2008; Deros et al., 2006]. Cependant il est difficile d'avoir un système de production approprié comme modèle de référence et encore plus d'accéder à l'historique de données. Donc cette méthode n'est pas pertinente, sauf pour l'approche self-benchmarking à partir de l'historique de données propre à l'entreprise comme propose Behrouzi et Wong [2011]. Toutefois, les systèmes de production ne sont pas uniques, c'est pour cela que les benchmarking doivent être faits "sur mesure" pour les différents types de secteurs industriels et de natures de fabrication.

La méthode fuzzy est une théorie mathématique qui permet de modéliser les données qualitatives et quantitatives grâce aux numéros fuzzy [Zadeh, 1999; Zadeh, 2004; Klir et Yuan, 1995]. L'application de cette méthode dans les systèmes manufacturiers est décrite par Behrouzi et Wong [2011]. Dans le domaine du Lean, plusieurs applications ont été proposées : Ko [2010] l'utilisa pour éliminer les risques dans le suivi la production et les imprécisions des quantités produites; Gien et al. [2003] pour évaluer le niveau attendu de qualité dans la conception des systèmes de production; Yavuz [2010] pour les modèles de planification en juste-à-temps et pour le Lean manufacturing; et Chan et al. [1997] pour choisir une alternative à une opération planifiée. Les modèles fuzzy permettent d'avoir la performance de chaque indicateur Lean séparément, et cela permet aux managers d'analyser l'efficacité des stratégies dans la production ainsi que d'identifier les potentielles opportunités d'amélioration

[Behrouzi et Wong, 2011]. Cependant les outils Lean ont un impact indirect soit positif soit négatif sur de nombreux paramètres de production. Ces approches ne peuvent donc pas évaluer l'impact d'une nouvelle implémentation sur le reste des indicateurs.

En conséquence, les décideurs ont besoin d'un système d'aide à la décision pour prendre en compte l'ensemble des scénarios et des indicateurs Lean dans leurs choix stratégiques.

2.3 Système d'aide à la décision pour l'amélioration continue

L'implémentation classique du Lean n'est pas capable de démontrer que les changements dans le système de production atteindront un objectif de performance mesurable avant le déploiement, car cette méthode renferme plusieurs déficiences [Marvel et Standridge, 2009]. En synthèse, le Lean ne peut difficilement pas répondre aux aspects suivants :

- ⇓ Prendre en compte des irrégularités et aléas (la demande client et les arrêts machines), ainsi que les défaillances structurelles de production (multiples familles de produits avec différents planning de fabrication) [Maas et Standridge, 2005].
- ⇓ Analyser globalement des données pour rendre compréhensible la nature du système manufacturier.
- ⇓ Evaluer les interactions des composantes du système de production.
- ⇓ Aider à la validation du modèle futur avant l'implémentation pour éliminer les tâtonnements.
- ⇓ Identifier plusieurs scénarios et donc alternatives pour le modèle futur.

La simulation peut faire face à ces manques, Adams, et al. [1999] montrent comment la simulation peut contribuer dans une démarche d'implémentation Lean afin :

- ↑ d'identifier les problèmes de production et dans les processus opérationnels.
- ↑ de former les collaborateurs sur la manière de travailler.
- ↑ d'ordonner les différentes voies d'amélioration.
- ↑ de documenter les processus.
- ↑ de prévoir l'impact des améliorations avant l'implémentation.

L'approche Lean a besoin d'outils de simulation [Diamond et al., 2002]. Abdulmalek et Rajgopal [2007] proposent un modèle de simulation pour comparer "l'avant" et "l'après" de différents scénarios avec une VSM (Value Stream Mapping); Cuatrecasas-Arbo et al. [2011] proposent un outil de simulation visuel qui permet de définir les paramètres du système de production et d'évaluer les effets des changements futurs tout au long des processus. Al-Aomar [2011] offre une approche innovante par simulation à événements discrets pour développer une VSM dynamique intégrant de multiples indicateurs Lean.

En résumé, il manque une méthode basée sur des simulations à partir des données de production à temps réel qui permettra d'ordonner les futures implémentations d'amélioration par rapport aux gains sur le gap entre "modèle futur" et "modèle actuel" et par rapport aux indicateurs stratégiques de l'entreprise. Dans la section suivante une synthèse des manques et des valeurs ajoutées du Lean est présentée.

2.4 Discussion

Bien qu'ils existent beaucoup de travaux sur le déploiement du Lean dans les systèmes de production ou dans les services, l'évaluation du leanness n'est pas assez développée dans une approche holistique et avec une méthode de mesure standardisée [Bayou et Korvin, 2008]. Même si la plupart des entreprises ont réussi à mettre en oeuvre les concepts Lean, plus de 90% reconnaissent qu'ils ne sont pas capables de mesurer l'amélioration de la performance [Bhasin, 2011]. Ce problème est dû à deux faits: (a) les objectifs du Lean sont définis trop approximativement, et (b) les mesures ne sont pas unifiées dans une approche holistique [Elnadi et Shehab, 2014]. L'intégration de la mesure du leanness avec l'ensemble des KPIs est le facteur clé de succès pour l'implémentation Lean [Goland et al., 1998]. En conclusion, les manques identifiés sont :

1. Dans la définition des indicateurs de performance: besoin d'un modèle pour l'alignement des indicateurs.
2. Dans la mesure du niveau d'implémentation Lean et des performances associées : nécessité d'avoir de mesure unifiée dans une approche holistique.
3. Dans l'aide à la prise de décision et pour la validation des futures implémentations: besoin de simulation intégrant des indicateurs multiples et avec un alignement ascendant et descendant.

Dans cet article une solution est explorée pour les manques 1 et 2 mentionnés ci-dessus. Cette solution consiste en l'intégration d'un Framework Lean & Six-Sigma avec un système MES pour:

- ♣ Définir les KPIs,
- ♣ Mesurer les Pis,
- ♣ Aligner les KPIs et Pis,
- ♣ Détecter les possibles points d'amélioration et proposer les outils Lean les plus adaptés,
- ♣ Accompagner l'implémentation,
- ♣ Contrôler le leanness et la performance de la démarche Lean.

La méthode Six-Sigma est utilisée dans notre approche car elle permet de définir la robustesse nécessaire aux calculs d'indicateurs fournis par le MES et parce que le DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) est un outil de la méthode Six-Sigma qui répond à la structure fonctionnelle du framework proposé. La méthode Six-Sigma fut inventée par Motorola dans 1986. L'utilisation de cette méthode permet à Motorola de gagner la Malcom Baldrige National Quality award en 1988 [Tennant, 2001]. Le DMAIC est une méthode composée de cinq étapes [Kumar et Sosnoski, 2009; De Feo et al., 2005], voir Figure 2. L'application du Lean dans les systèmes de production repose aussi sur cinq étapes principales [Thomas et al., 2009; Shah et Ward, 2007; Dahlgaard et Dahlgaard-Park, 2006; Bendell, 2006; Mason-Jones et al., 2000; Womack and Jones, 1996], voir Figure 1.

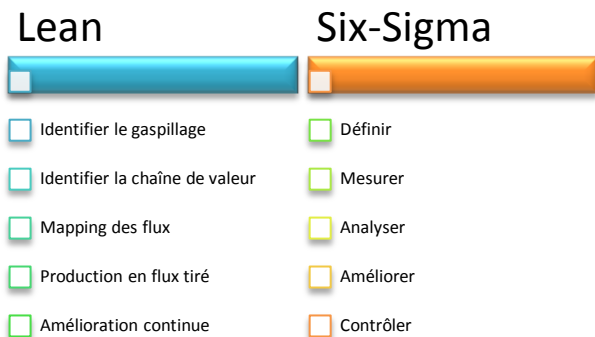


Figure 1. Etapes Lean & Six-Sigma

Bien que la plupart des entreprises soient équipées au niveau managérial d'un ERP (Enterprise Resource Planning) comme système d'information, les spécialistes des systèmes d'information n'ont pas prêté assez d'attention à l'optimisation des processus opérationnels [Holst, 2001]. Les MES (Manufacturing Execution System) peuvent répondre à ce manque [MESA 1997a]:

Le MES fournit de l'information qui permet d'optimiser les processus de fabrication depuis le lancement des ordres de production jusqu'à la livraison des produits finis. Le MES est capable de reproduire les activités telles qu'elles se déroulent grâce à l'information acquise et consolidée en temps réel, tandis qu'un ERP n'en est pas capable. Sa capacité à répondre rapidement aux événements imprévus et de réduire les opérations à non-valeur ajoutée, permet d'atteindre de manière optimale le programme de production. Le MES fournit des informations sur les activités critiques dans les processus manufacturiers de façon bidirectionnelle avec les autres systèmes d'information.

En résumé, un MES est un système informatisé et intégré online qui comporte les méthodes et outils utilisés pour optimiser la production [McClellan, 1997]. Il représente l'interface entre la couche de connectique des automates et l'ERP [Ricken et Vogel-Heuser, 2010]. Cette interface peut comprendre 11 fonctionnalités définies par le MESA [1997b] - voir Figure 2.

2.5 Systèmes d'information et Lean

Certains travaux de recherche ont déjà fait la liaison entre le Lean manufacturing et les ERP [Goddard, 2003]. Les ERP permettent de lancer les ordres de production (planification de la production) et la gestion des stocks de fabrication dans une échelle de temps à la journée. Tandis que les MES ajoutent une granularité plus fine, une échelle de temps à la minute, ayant

comme objectif la traçabilité et le suivi des ressources allouées à la production via l'ERP. Le MES est en mesure de fournir les données pour l'analyse et l'évaluation des différentes tâches et flux associés au planning de production prévu par l'ERP [McClellan, 2001]. Il permet d'identifier les tâches à valeur non ajoutée ainsi que les anomalies récurrentes à la production. Des actions d'amélioration continue facilitent le suivi des performances aussi bien que la consolidation des paramètres de l'ERP pour lancer des ordres de fabrication sur une nouvelle ligne de production plus performante. Les dernières générations MES sont assez flexibles pour s'accommoder avec la philosophie d'amélioration continue. Ils proposent des systèmes fiables qui fournissent l'information dont chaque profil d'utilisateur a besoin, dans le bon format, au bon moment et au bon endroit [Hicks, 2007].

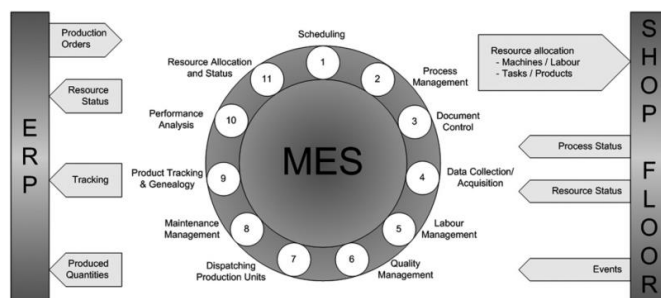


Figure 2. Fonctionnalités d'un MES [Saenz de Ugarte et al. 2009]

La convergence des processus opérationnels et des flux d'information fournis en temps réel par un MES permet de mieux s'adapter aux besoins d'une démarche Lean que la gestion et le suivi de production par lots typique d'un ERP. Les fournisseurs des solutions MES utilisent déjà le bénéfice du binôme Lean et MES [Cottyn et al., 2011]. De plus en plus de fournisseurs MES introduisent dans leurs portfolio certains outils supports de la démarche Lean [Siemens, 2007; GE Fanuc, 2009]. Néanmoins, il n'existe pas de module intégré Lean dans un MES permettant l'amélioration des processus opérationnels. Il existe un manque effectif dans le support offert par les MES aux démarches Lean [Cottyn et al., 2011].

Une méthode pour aligner les performances associées à la démarche Lean avec les objectifs stratégiques d'entreprise via le MES est détaillée dans le paragraphe suivant.

3 ALIGNEMENT VIA LE MES

Le Framework Lean & Six-Sigma est présenté dans la Figure 3.

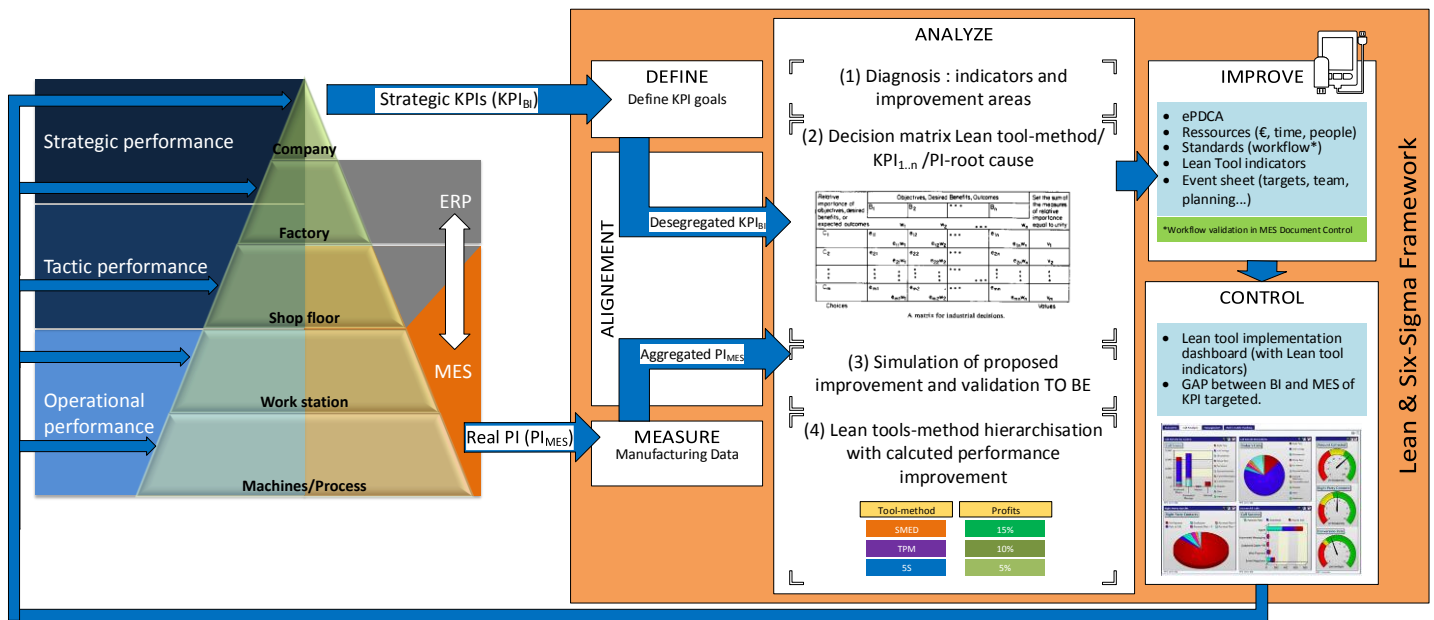


Figure 3. Framework Lean & Six-Sigma (FLSS)

3.1 Définition des KPIs

Le niveau stratégique de chaque entreprise possède certains objectifs qu'il faut d'abord traduire en KPIs. Pour cela il faut interroger les différents niveaux de l'entreprise : entreprise, usines, ateliers et postes de travail. Les KPIs seront répertoriés selon leur nature et le support apporté aux aspects fondamentaux du Lean.

Plusieurs études se sont intéressées à la définition des modèles d'évaluation et de qualification des indicateurs de performance mesurables pour estimer le niveau de déploiement du Lean. Mais le plus adapté est celui de Pakdil et Leonard [2014]. Ce modèle intègre les estimations qualitatives et quantitatives et il utilise une méthode d'évaluation couvrant l'ensemble du système de production et pas seulement certains secteurs. Le tableau 3 présente les indicateurs fondamentaux qui reprennent l'ensemble des performances mesurables dans la plupart des entreprises manufacturières et qui correspondent aux champs d'intervention du Lean i.e. les gaspillages.

Tableau 3 : Aspects Lean et les gaspillages [Pakdil et Leonard, 2014]

Aspects Lean	Gaspillages
Quantitative	
Efficacité du temps	Temps d'attentes
Qualité	Production des pièces défectueuses
Process	Usinages inutiles ou mal faits
Cost	
Ressources humaines	Gestes inutiles / créativité inexploitée
Délais	Transports et manutentions inutiles
Client	
Inventaire	Stocks excédentaires / superproduction
Qualitative	
Qualité	Production des pièces défectueuses
Client	
Process	Usinages inutiles ou mal faits
Ressources humaines	Gestes inutiles / créativité inexploitée
Délais	Transports et manutentions inutiles

Ces KPIs changent au cours du temps, notamment en fonction des nouvelles demandes du marché. Ce point va aussi permettre de bien définir quels peuvent être les indicateurs directement liés aux performances du système de production, et ceux qui dépendent d'autres paramètres que ceux de production en eux-même. Une méthode de type AHP (Analytical Hierarchy Process) permettra de pondérer l'impact de chaque groupe d'indicateurs de performance sur la performance globale. Cette méthode nécessite des questionnaires adressés à toutes les composantes managériales du système de production, qui donnera lieu à l'alignement avec la stratégie d'entreprise.

3.2 Mesure des PIs

Le FLSS consolide les informations nécessaires et les compile dans le MES. Cette opération doit faciliter l'alignement du système d'indicateurs de performance retenu en cohérence avec la supervision des opérations et processus de production.

3.3 Alignement entre PIs et KPIs

Une méthode doit être proposée pour l'alignement de toutes les composantes productives du système manufacturier. Chaque niveau répond à la même structure de KPIs : efficacité du temps, qualité, ressources humaines, délais, coût, inventaire, process et client. De plus, tous les indicateurs doivent pouvoir être agrégés et désagrégés selon le besoin. Mais c'est au niveau des postes de travail ou de l'îlot de fabrication que le MES va récupérer les données et paramètres du suivi de production. Le Tableau 4 présente un exemple de mesure de l'efficacité des temps opérationnels.

Tableau 4 : Exemple KPIs pour efficacité du temps

Aspect Lean	# KPI	KPIs	MES
Efficacité du temps	T1	Moyenne changement	X
	T2	Temp de changement/total temps de production	X
	T3	Moyennes Lead Time par unité	X
	T4	Temps cycle	X
	T5	Takt time	X
	T6	Takt time/Temps cycle	X
	T7	Temps total d'arrêt/ temps total	X

		fonctionnement	
	T8	Temps total en arrêt non planifiés ou urgences / temps total de la maintenance	X

Tout d'abord, il faut déterminer quels sont les KPIs qui peuvent être fournis par le MES et lesquels seront fournis pas d'autres systèmes d'informations (ERP, GMAO, ...) - voir Tableau 4. Les objectifs sur ces KPIs vont d'abord être déterminés à partir des objectifs managériaux dérivés de la stratégie d'entreprise comme les bornes « the best » et « the worst ». Il s'agit de la valeur optimale et de la plus mauvaise que pourrait atteindre l'indicateur de performance.

3.4 Détection des points d'amélioration possibles

Le MES va également fournir des données et paramètres pour évaluer le niveau de performance de chaque KPI par rapport aux deux bornes telles que définies via la méthode fuzzy. Ensuite, la pondération AHP permettra de déterminer quels sont les KPIs prioritaires à améliorer et quels sont les unités et secteurs de production correspondants. Une matrice de décision aidera au choix de l'outil le plus adapté pour réduire les gaspillages associés aux indicateurs. Elle permet de trouver les défaillances et défauts dans les processus opérationnels. Une simulation statique pourrait montrer les multiples scénarios sur le modèle futur d'une hypothèse d'implémentation grâce au calcul du gain sur le KPI(s) concerné(s).

3.5 Soutien à l'implémentation

Une fois que l'outil a été choisi, le soutien à l'implémentation commence avec la définition des objectifs, par exemple: mise en œuvre de ePDCA (PDCA électronique), suivi des ressources réelles allouées, validation du workflow documentaires (nouveaux standards), construction d'indicateurs spécifiques à l'implémentation, etc.

3.6 Evaluation du leanness et suivi des performances associées

Des tableaux de bord permettront d'avoir une vue sur les indicateurs de performance associés aux processus, un chiffrage des gains motivés par le déploiement Lean, ainsi qu'une évaluation du leanness. Toutes ces informations seront transmises aux différents niveaux de décision de l'entreprise, pour faciliter le pilotage des performances face aux possibles dérives du système de production.

4 CONCLUSION

La méthode proposée dans cet article permet de créer un outil qui facilitera le suivi et la supervision des transformations d'un système de production en regard des objectifs d'excellence opérationnelle de l'entreprise. Ainsi, il sera possible pour les décideurs de valider le déploiement d'une démarche Lean et outils associés grâce à une vue du modèle futur du système de production et d'un accompagnement de l'implémentation.

Les prochaines étapes de nos travaux se focaliseront sur la définition de la méthode d'alignement des indicateurs Lean avec les objectifs stratégiques d'entreprise, ainsi que sur la caractérisation de la mesure unifiée du leanness associée à une méthode de simulation qui facilitera la prise de décision et la validation des outils à implémenter.

5 REFERENCES

- Abdulmalek, F.A., Rajgopal, J., (2007), Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), pp. 223–236.
- Adams, M., Componation, P., Czarnecki, H., Schroer, B.J. (1999), Simulation as a tool for continuous process improvement. *Winter Simulation Conference*. Phoenix, Arizona.
- Agus A, Iteng R., (2013), Lean production and business performance: the moderating effect of the length of lean adoption. *Journal of Economics, Business and Management*; 1(4), pp. 324–328.
- Ahmad, M.M., Dhafir, N., (2002), Establishing and improving manufacturing performance measures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3-4), pp. 171–176.
- Al-Aomar, R., (2011), Handling multi-lean measures with simulation and simulated annealing. *Journal of the Franklin Institute*, 348(7), pp. 1506–1522.
- Bayou, M., De Korvin, A., (2008), "Measuring the leanness of manufacturing systems—a case study of Ford Motor Company and General Motors", *Journal of Engineering and Technology Management*, 25(4), pp. 287-304.
- Behrouzi, F., Wong, K.Y., (2011), Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach. *Procedia Computer Science*, 3, pp. 388–395.
- Bendell, T., (2006), A Review and Comparison of Six Sigma and the Lean Organizations. *The TQM Magazine*, 18(3), pp. 255–262.
- Bhasin, S., (2012), Performance of Lean in large organisations. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), pp. 349–357.
- Bhasin, S., (2011), Measuring the Leanness of an organisation, *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(1), pp. 55-74.
- Chan FTS, Kazerooni A, Abhary K., (1997), A fuzzy approach to operation selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*; 10(4), pp. 345–56.
- Chen, Y.L., Weng, C.H., (2009), Mining fuzzy association rules from questionnaire data. *Knowledge-Based Systems*, 22, pp. 46–56
- Chryssolouris, G., (2005), *Manufacturing systems: Theory and practice*, 2nd Edition. New York: Springer.
- Corbett, M.L., (1998), Benchmarking manufacturing performance in Australia and New Zealand. *Benchmarking for Quality Management & Technology*; 5(4):271–82.
- Cottyn, J., Van Landeghem, H., Stockman, K., Derammelaere, S., (2011), A method to align a manufacturing execution system with Lean objectives. *International Journal of Production Research*, 49(14), pp. 4397–4413.
- Cuatrecasas-Arbos, L., Fortuny-Santos, J., Vintro-Sanchez, C., (2011), The Operations-Time Chart: A graphical tool to evaluate the performance of production systems – From batch-and-queue to lean manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), pp. 663–675.
- Dahlgard, J. J., and Dahlgard-Park, S. M., (2006), "Lean Production, Six Sigma Quality, TQM and Company Culture." *The TQM Magazine*, 18(3), pp. 253–281.
- De Feo, Joseph A.; Barnard, William (2005), *JURAN Institute's Six Sigma Breakthrough and Beyond - Quality Performance Breakthrough Methods*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. ISBN 0-07-059881-9.

- Deros, B.M., Yusof, S.M., Salleh, A.M., (2006), A benchmarking implementation framework for automotive manufacturing SMEs, *International Journal of Benchmarking*, 13, pp. 396-430.
- Detty, R.B., Yingling, J.C., (2000), Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study. *International Journal of Production Research*, 38(2), pp. 429-445.
- Devi ND, Khaba S, Dan PK., (2013) A study on application of lean manufacturing methodologies in Indian electronics manufacturing industry. *Research Journal of Engineering Sciences*; 2(5), pp. 11-14.
- Diamond, R., Harrell C.R., Henrikson J.O., Nordgren W.B., Pegden C.D., Rohrer M.W., Waller A.P., Law A.M.. (2002), The current and future status of simulation software (panel). *Winter Simulation Conference* Piscataway, N. J.
- Diego Fernando, M.D., Rivera Cadavid, L. (2007), Lean manufacturing measurement: the relationship between lean activities and lean metrics. *Estudios Gerenciales*, 23(105), pp. 69-83.
- Doolen, T.L., Hacker, M.E., (2005), A review of lean assessment in organisation: an exploratory study of lean practice by electronics manufacturer. *Journal of Manufacturing Systems*; 24, pp. 55-67.
- Elnadi, M., & Shehab, E., (2014), A Conceptual Model for Evaluating Product-service Systems Leanness in UK Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*, 22, pp. 281-286.
- Eswaramoorthi M, Kathiresan GR, Prasad PSS, Mohanram PV., (2011), A survey on lean practices in Indian machine tool industries. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 52(9); pp. 1091-1101.
- Ferdousi F, Ahmed A., (2009), An investigation of manufacturing performance improvement through lean production: a study on Bangladeshi garment firms. *International Journal of Business and Management*; 4(9), pp. 106-116.
- Fitz-Gibbon C.T., (1990), Performance Indicators, Bera Dialogues, Routledge.
- Friedmann, G., (1936), Problèmes humains du machinisme industriel. Gallimard, Paris.
- Fullerton, R. R., Kennedy, F. A., Widener, S. K., (2014), Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. *Journal of Operations Management*. 32(7-8)
- Fullerton, R.R., Wempe, W.F., (2008), Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance, *International Journal of Operations and Production Management*, 29, pp. 214-240.
- Fullerton, R.R., Mc Watters, C.S., Fawson, C., (2003), An examination of the relationship between JIT and financial performance, *International Journal of Operations and Production Management*, 21, pp. 383-404.
- GE FANUC, Intelligent Platform, (2009), Lean production with work process [online]. ISA. Available from: http://www.graymattersystems.com/Docs/Products/Proficy_workflow/lean_production_work_process_wp_gft738a.pdf [Accessed 20 February 2009].
- Gien D, Jacqmart S, Seklouli A, Barad M., (2013), An approach based on fuzzy sets for manufacturing system design. *International Journal of Production Research*; 41(2), pp. 315-335.
- Goddard, R.W., (2003), The role of information technology in the Lean enterprise. IE 780S: Lean Manufacturing, Spring, IMfgE at Wichita State University.
- Goland, A., Hall, J., Devereaux, C., (1998), First national Toyota, *The McKinsey Quarterly*, 4, pp. 59-66.
- Gurumurthy, A., Kodali, R., (2009), Application of benchmarking for assessing the lean manufacturing implementation, *International Journal of Benchmarking*, 16, 274-308.
- Hicks B.J., (2007), Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*; 27(4), pp. 233-249.
- Holst, L., (2001), Integrating discrete-event simulation into the manufacturing system development process. Lund University, Department of Mechanical Engineering, Division of Robotics.
- Hopp, W., Spearman, M., (2000), in: *Factory Physics*, McGraw-Hill/Irwin.
- Hosseini Nasab, H., Aliheidari bioki, T., Khademi Zare, H. (2012). Finding a probabilistic approach to analyze lean manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 29-30, pp. 73-81.
- Karim MA, Aljuhani M, Duplock R, Yarlagadda P., (2011), Implementation of lean manufacturing in Saudi manufacturing organisations: an empirical study. *Advanced Materials Research – International Conference on Materials and Products Manufacturing Technology (MPMT)*; 339:250-3.
- Klir GJ, Yuan B., (1995), Fuzzy sets and fuzzy logic. New Jersey: Prentice Hall.
- Ko CH., (2010), Application of lean production system in the construction industry: an empirical study. *Journal of Engineering and Applied Sciences*; 5(2), pp. 71-77.
- Kumar, S., M. Sosnoski, (2009), Using DMAIC Six Sigma to Systematically Improve Shopfloor Production Quality and Costs. *International Journal of Productivity and Performance Management* 58(3), pp. 254-273.
- Kumar CSC, Naidu NVR., (2012), A survey on awareness of lean manufacturing concepts in Indian garment manufacturing industries. *International conference on challenges and opportunities in mechanical engineering, industrial engineering and management studies (ICCOMIM)*. p. 783-5.
- Liker, J.K., (2004), *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's greatest Manufacturers*. McGraw-Hill, New York.
- Lila B., (2012), A survey on implementation of the lean manufacturing in automotive manufacturers in the Eastern Region of Thailand. *The 2nd International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*. 49:43-8.
- Maas, S. & Standridge, C. R. (2005), Applying simulation to iterative manufacturing cell design. *Winter Simulation Conference*, Orlando, Florida.
- Marvel, J.H., Standridge, C.R. (2009), Simulation-enhanced lean design process. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2(1), pp. 90-113.
- Mason-Jones, R., Naylor, B., Towill, D.R., (2000), Lean, Agile or Leagile? Matching your Supply Chain to the Marketplace, *International Journal of Production Research* 38(17): pp. 4061-4070.
- McClellan, M., (1997), *Applying Manufacturing Execution*

- Systems, St. Lucie Press, Florida
- McClellan, M., 2001. Introduction to manufacturing execution systems Baltimore , Maryland. *MES conference & Exposition*, pp.1–12.
- Melton, T., (2005), The benefits of lean manufacturing; what lean thinking has to offer the process industries. *Transaction of IChemE A: Chemical Engineering Research and Design*; 83(6):662–673.
- MESA, (1997a), White Paper #06: MES Explained: A High Level Vision for Executives [online]. MESA International. Available from: <http://www.mesa.org/knowledge-base/details.php?i=53> [Accessed 5 October 2007].
- MESA, (1997b), White Paper #02: MES Functionalities and MRP to MES Data Flow Possibilities [online]. MESA International. Available from: <http://www.mesa.org/knowledge-base/details.php?id=49> [Accessed 5 October 2007].
- Monden, Y., (1998), *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-Time*, Institute of Industrial Engineers, Norcross.
- Moori RG, Pescarmona A, Kimura H., (2013), Lean manufacturing and business performance in Brazilian firms. *Journal of Operations and Supply Chain Management* 6(1), pp. 91–105.
- Murman, E., et. al., (2002), *Lean Enterprise Value: Insights from MIT's Lean Aerospace Initiative*. New York: Palgrave.
- Nordin N, Deros BM, Wahab DA., (2010), A survey on lean manufacturing implementation in Malaysian automotive industry. *International Journal of Innovation, Management and Technology*; 1(4), pp. 374–380.
- Ohno, T., (1988), *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland.
- Oliveira CSD, Pinto EB., (2008), Lean manufacturing paradigm in the foundry industry. *Estudos Tecnológicos*; 4(3): pp. 218–230.
- Pakdil, F., Leonard, K.M., 2014. Criteria for a lean organisation: development of a lean assessment tool. *International Journal of Production Research*, 52(15), pp. 4587–4607.
- Phillips, T., (2000), *Lean manufacturing: building the lean machine*.
- Pinter, J.D., (1995), in: *Global Optimization in Action*, Kluwer.
- Prajogo, D.I., McDermott, C.M., (2005), The relationship between total quality management practices and organizational culture. *International Journal on Operations and Production Management* 25(11), pp. 1101–1122.
- Ray B., Ripley P., Neal D. (2006) Lean manufacturing - a systematic approach to improving productivity in the precast concrete Industry. *PCI Journal*; 51(1), pp. 62-71.
- Ricken, M., & Vogel-Heuser, B., (2010), Modeling of Manufacturing Execution Systems: an Interdisciplinary Challenge. IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Bilbao, Spain.
- Roessler, M. P., Metternich, J., Abele, E., & Tools, M. (2014). Learning to See Clear: Quantification and Multidimensional Assessment of Value Stream Mapping Alternatives Considering Variability, *Business and Management Research*, 3(2). pp. 93
- Saenz de Ugarte, B., Artiba, a., & Pellerin, R., (2009), Manufacturing execution system – a literature review. *Production Planning & Control*, 20(6), pp. 525–539.
- Salleh, N. A. M., Kasolang, S., & Jaffar, A. (2012). Simulation of Integrated Total Quality Management (TQM) with Lean Manufacturing (LM) Practices in Forming Process Using Delmia Quest. *Procedia Engineering*, 41, pp. 1702–1707.
- Sarkar, D., (2007), Lean for service organizations and offices: A holistic approach for achieving operational excellence and improvements, Asq Press.
- Sarwar, M., Haider, J., (2008), Introducing lean, not mean, to improve productivity in a cutting tool manufacturing company. *18th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM)*. p. 508–15.
- Shah, R., and Ward, P. T., (2007), Defining and Developing Measures of Lean Production. *Journal of Operations Management* 25: pp. 785–805.
- Siemens, Industry Solutions, (2007), Plant IT integration for collaborative manufacturing. Available from: <http://www.it-solutions.siemens.com/b2b/it/en/us/Documents/whitepapers/Plant-IT-Integration-WP.pdf> [Accessed 12 January 2009].
- Slomp, J., Bokhorst, J.A.C., Germs, R., (2009), A lean production control system for highvariety/low-volume environments: a case study implementation. *Production Planning and Control*; 20(7), pp. 586–95.
- Soriano-Meier, H., Forrester, P.L., (2002), A model for evaluating the degree of leanness of manufacturing firms. *Integrated Manufacturing Systems*, 13 (2), pp. 104–109.
- Spear, S., Bowen, H.K., (1999), Decoding the DNA of the Toyota production system. *Harvard Business Review*, 77(5), pp. 96–106.
- Srinivasaraghavan, J., Allanda, V., (2006), Application of mahalanobis distance as a lean assessment metric, *International Journal of Manufacturing Technology*, 29, 1159-1168.
- Sriparavast, L., (1997), An empirical study of just-in-time and total quality management principles implementation in manufacturing firms in the USA. *Journal of Operations and Production Management*; 17(12), pp. 1215–32.
- Struebing, L., (1997), Kaizen pays off for manufacturers. *Quality Progress*, 30(4), 16.
- Susilawati, A., Tan, J., Bell, D., & Sarwar, M., (2015). Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Systems*, 34, pp. 1–11.
- Taj S, Morosan C., (2011), The impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*; 22(2), pp. 223–240.
- Taj, S., (2006) Lean manufacturing performance in China: assessment of 65 manufacturing plants, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19, pp. 217-234.
- Taj, S., (2005), Applying lean assessment tools in Chinese hi-tech industries. *Management Decision*; 43(4), pp. 628–43.
- Tennant, G., (2001), *SIX SIGMA: SPC and TQM in Manufacturing and Services*. Gower Publishing, Ltd. p. 6. ISBN 0-566-08374-4.
- Thomas, A., R. Barton, Chuke-Okafor, C. (2009), Applying Lean Six Sigma in a Small Engineering Company – A Model for Change. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), pp. 113–129.
- Tyagi, S., Cai, X., Yang, K., Chambers, T., (2015), Lean tools and methods to support efficient knowledge creation. *International Journal of Information Management*, 35(2), pp.

- Vinodh, S., Chinth, S. K., (2011), Leanness assessment using multi- grade fuzzy approach, *International Journal of Production Research*, 49(2), pp. 431-445.
- Vinodh, S., Prakash, N. H., & Selvan, K. E. (2011). Evaluation of leanness using fuzzy association rules mining, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57, pp. 343–352.
- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, 11, pp. 1292–1298.
- Wan, H., & Chen, F., (2008), A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. *International Journal of Production Research*, 46(23), pp. 6567–6584.
- Wan, H., Chen, F., (2005), Quantifying Leanness and Agility of Manufacturing System, *Conference on Industrial Engineering Research*, Atlanta, GA.
- Womack, J.P., Jones, D.T., Ross, D., (1990), The machine that changed the world. Rawson Associates, Macmillan Publishing Company, New York.
- Womack, J.P, Jones, D.T. (1996), *Lean Thinking*. Free Press, New-York.
- Womack, J.P., Jones, D.T., (2009), *System Lean : Penser l'entreprise au plus juste*. 3ème édition, Pearson Education, Paris.
- Yasin, M.M., Wafa, M., and Small, M.H, (2004), Benchmarking JIT: an analysis of JIT implementations in the manufacturing service and public sectors, *International Journal of Benchmarking*, 11, pp. 74-92.
- Yavuz M., (2010), Fuzziness in JIT and lean production systems: in production engineering and management under fuzziness. *Production Engineering and Management under Fuzziness - Studies in Fuzziness and Soft Computing*; 252, pp. 59–75.
- Zadeh LA., (1999), From computing with numbers to computing with words: from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. *IEEE Transaction on Circuit Systems*, 45(1), pp. 105–19.
- Zadeh LA., (2004), Precisiated natural language (PNL). *AI Magazine*; 25(3).
- Zairi, M., (1994), Benchmarking the best tool for measuring competitiveness. *Benchmarking for Quality Management & Technology*; 1(1), pp. 11–24.