

*Etat de l'art : Optimisation de la maintenance selon une approche Lean **

Chahida Raddam, Abderrazak Boumane, Oualaid Kamach

Laboratoire des technologies innovantes

Ecole Nationale des Sciences Appliqués

Tanger, Maroc

raddam.chahida@gmail.com, ak.boumane@gmail.com, okamach@yahoo.fr

Résumé— Dans une perspective de développement durable et pérenne, l'optimisation des ressources de l'entreprise suscite un intérêt considérable. Dans ce sens s'inscrit parfaitement l'approche Lean qui a conquis différents secteurs économiques en se positionnant comme un concept inéluctable pour améliorer la performance de l'entreprise.

Par ailleurs, si Lean manufacturing est une approche bien connue et traitée dans divers travaux de recherches, peu de travaux ont fait de l'approche Lean maintenance un axe principal de recherche. En effet, cet article porte sur l'optimisation de la maintenance selon une approche Lean.

Dans ce cadre, et sur la base de la littérature scientifique, nous dressons un état de l'art des principales contributions sur ce sujet. Premièrement, nous présentons une analyse conceptuelle de Lean et de Lean maintenance. Deuxièmement, nous positionnons l'approche Lean maintenance par rapport à Lean Manufacturing et Total Productive Maintenance (TPM). Enfin, nous identifions les caractéristiques spécifiques de l'approche Lean maintenance qu'il faut prendre en considération afin de garantir un déploiement efficace de celle-ci.

Abstract— In a perspective of sustainable and lasting development, the optimization of company's resources has a considerable interest. In this sense, fits perfectly the Lean approach that has won various economic sectors, by positioning as an inevitable concept for improving company's performance.

Furthermore, if the Lean manufacturing approach is a well known and treated in various research works, few studies have made Lean Maintenance a main axis of research. In fact, this paper focuses on the optimization of maintenance according to a Lean approach.

In this context, we develop a literature review of the main contributions on this topic. First, we present a conceptual analysis of Lean and Lean Maintenance. Second, we are positioning the Lean Maintenance approach compared to Lean Manufacturing and Total Productive Maintenance (TPM). Finally, we identify the specific characteristics of the Lean Maintenance approach must be considered in order to ensure effective development of this approach.

Mots-clés— *Lean; Maintenance; Optimisation; Processus; Amélioration continue.*

Key-Words— *Lean; Maintenance; Optimization; Process;*

Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

Xth International Conference on Integrated Design and Production, CPI 2015, December 2-4, 2015, Tangier - Morocco.

Continuous improvement.

I. INTRODUCTION

Nombreux les défis auxquels sont confrontées les entreprises. Face à ces défis, il est impératif pour l'entreprise de réagir rapidement en adoptant une stratégie d'agilité et d'amélioration continue. Dans ce sens, le concept Lean a conquis différents secteurs économiques et la plupart des processus de l'entreprise, en permettant aux industries manufacturières d'augmenter considérablement leurs niveaux de rentabilité et de productivité, mais ca ne peut jamais être atteint sans une fiabilité et disponibilité maximale des équipements à cause de leur impact direct sur la qualité, le coût et la livraison des produits ou des services. Alors les entreprises doivent définir la stratégie de maintenance la plus adéquate permettant d'atteindre la performance requise du système de production.

Par ailleurs, si le Lean manufacturing est une approche bien connue et traitée dans divers travaux de recherches, peu de travaux ont fait de l'approche Lean maintenance un axe principal de recherche. Etant donné que la maintenance est souvent considérée comme une fonction génératrice de coûts, et les managers cherchent souvent à réduire ses dépenses plutôt que à améliorer ses mécanismes de fonctionnement. Mais, la forte évolution des systèmes de production et la croissance de la concurrence mondiale ont généré des changements remarquables qui ont affecté, entre autres, la fonction maintenance en rendant son rôle primordial. Ainsi, elle est devenue une fonction stratégique garnissant la disponibilité et la performance des équipements de production.

En effet, ce travail de recherche porte sur l'optimisation de la maintenance selon une approche Lean. Dans ce cadre, et sur la base de la littérature scientifique, nous dressons un état de l'art des principales contributions sur ce sujet afin de faire une analyse critique et de proposer de nouvelles pistes de réflexion.

Pour atteindre les objectifs de cette recherche, cette étude s'est appuyée sur une analyse systématique de la littérature afin d'explorer les principales publications liées à Lean manufacturing et Lean maintenance.

A partir de l'examen de 40 publications, nous avons constaté que les études de la mise en œuvre de Lean maintenance n'ont cessé de croître depuis 2010. Aussi, nous avons noté que les outils de Lean maintenance proposés n'étaient pas en parallèle avec la mise en œuvre de cette approche.

Les outils de Lean maintenance ont été trouvés dans 11 publications. Aucune de ces publications n'a fourni un ensemble complet d'outils de Lean maintenance, sauf trois publications qui ont proposé un modèle des outils Lean global qui peut être appliqué aux processus de la maintenance. Cependant, un travail de fond s'avère indispensable en particulier dans l'identification des caractéristiques spécifiques des processus de la maintenance qui permettent l'implémentation réussie d'un système Lean maintenance au sein de l'entreprise.

En premier lieu, une analyse conceptuelle de Lean maintenance sera traitée d'une manière approfondie. En deuxième lieu, nous positionnons l'approche Lean maintenance parmi les autres approches d'optimisation et d'amélioration de la performance notamment Lean Manufacturing et Total Productive Maintenance (TPM).

Enfin, nous mettons en évidence les caractéristiques spécifiques des processus de la maintenance qui permettent l'élaboration d'un cadre global de référence pour une implémentation réussie d'un système Lean maintenance au sein de l'entreprise.

II. L'ÉVOLUTION DU CONCEPT LEAN

Le concept Lean a été introduit par la société Toyota au cours des années 1950. Elle a réalisé une étude de benchmarking du concept de flux de production de Ford, et après la compréhension et l'exploitation du concept, elle a pu développer Toyota Production System (TPS) qui est la base de ce qu'on appelle Lean Manufacturing, Lean Enterprise,...etc [25].

Cependant, Toyota n'a pas inventé le terme Lean. Un groupe de recherche à Massachusetts Institute of Technology (MIT) dirigé par James P. Womack qui l'a inventé, et il a publié un livre en 1990 intitulé *The Machine that changed the world*, dans lequel le terme Lean Manufacturing a été formalisé pour la première fois.

Lean est une démarche systématique qui vise à éliminer toute source de gaspillage dans tous les domaines de la production, y compris la relation client (vente, livraison, facturation, service après vente,...), la conception des produits, les flux de production, la maintenance, l'ingénierie,

l'assurance qualité, etc. « Son objectif est d'accroître la productivité en réduisant les moyens mis en œuvre (Ressources humaines, machines, temps, espace, stock...) en répondant aux attentes des clients » [14] par un service de meilleure qualité.

L'approche Lean agit sur trois sources d'inefficacité des processus [17]:

- **Les gaspillages** : tout ce qui ajoute des coûts et n'apporte pas de valeur pour le client.
- **La variabilité** : tout écart dans la qualité d'un produit ou d'un service par rapport à un niveau standard.
- **La flexibilité** : tout obstacle qui empêche de répondre à l'évolution de la demande.

A. Les principes et les outils de Lean

Après avoir défini le concept Lean, nous présentons ses principes fondamentaux [14].

- Spécifiez la valeur : la valeur devrait être définie pour les produits et les services tout en respectant les désirs des clients.
- Identifier la chaîne de valeur: la chaîne de valeur est une série d'activités, des opérations et des processus qui constituent la production à partir de la commande à la livraison du produit au client y compris les activités à valeur ajoutée et à non-valeur ajoutée.
- Travailler en flux continu : après la cartographie de la chaîne de valeur, le produit doit s'écouler en continu à travers les activités créatrices de la valeur.
- Créer un système tendu (ou tiré) : au lieu de la prévision, le système tendu répond aux demandes et aux besoins réels du client, ce qui permet de diminuer les gaspillages.
- Viser la perfection: le concept induit la réduction du nombre d'étapes de production, la quantité de temps et d'informations tout en rendant le produit plus proche des attentes du client.

Par ailleurs, de point de vue opérationnel, l'approche Lean s'appuie sur une panoplie d'outils permettant de concrétiser l'objectif du "Juste-à-temps" et une culture collective de l'amélioration continue. Parmi ces outils prédéfinis nous citons:

- 5 S : il a pour objectif le débarras, le rangement et le nettoyage de l'atelier, ainsi qu'une bonne tenue des postes de travail, condition préalable à l'établissement du Lean.
- SMED (Single Minute Exchange Die) : son objectif est de passer rapidement de la production d'une série à une autre en un minimum de temps et d'efforts.
- Kanban : fiche d'autorisation de réapprovisionner permettant de mettre en place le flux tiré.

- TPM (Total Productive Maintenance): démarche pour atteindre la performance globale par un travail collaboratif des équipes de Production et de Maintenance,...

B. Système de production Lean

Le but d'un système opérationnel LEAN est de créer la valeur ajoutée pour le client avec le maximum de flexibilité, le minimum de variabilité et de gaspillage. Dans ce sens Liker a proposé un modèle des systèmes de production Lean qui s'appuie à parts égales sur 2 piliers : Jidoka et Juste à temps [21].

Le pilier Jidoka a pour objectif de rendre visible les problèmes de qualité. L'objectif du pilier Juste à temps est de répondre aux besoins des clients juste à l'instant prévu en optimisant les ressources utilisées. Représenté par les piliers Jidoka et Juste à temps, le système opérationnel a pour objectif de créer la valeur ajoutée pour le client d'une manière flexible, avec le minimum de variabilité et de gaspillage tout au long de la chaîne de valeur. Le système de management représente les processus de l'entreprise garantissant le bon fonctionnement du système opérationnel afin de réaliser les performances escomptées. La culture Lean est représentée par un état d'esprit et un ensemble de comportements [17] dont la finalité est de créer un environnement d'amélioration continue.

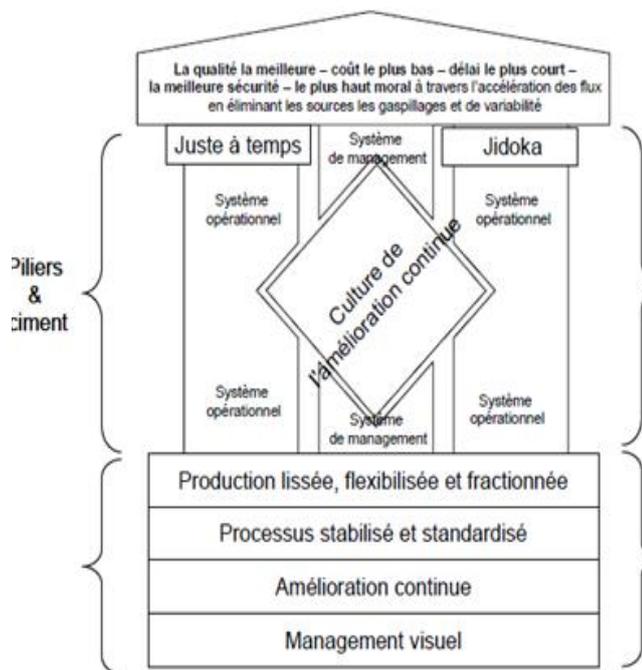


Fig. 1. Modèle des systèmes de production Lean [21].

C. Résultats de l'implantation du système Lean

La réussite d'un système Lean dépend en grande partie de la dimension humaine [17], il met l'accent sur le rôle des employés. Egalement, il a un effet direct sur la culture d'une

entreprise. Après l'instauration de l'approche Lean, des améliorations peuvent être observées sur plusieurs niveaux : la façon du travail des employés, la relation entre les employés et la direction, la capacité de travail en équipe, les réactions aux changements, ... etc.

Les entreprises qui ont mis en œuvre le système Lean ont montré qu'il a une influence globale sur l'entreprise en raison des changements positifs sur multiples facettes [25] :

- Encourager l'engagement de toute la société vers l'amélioration continue.
- Mettre l'accent sur les besoins et les attentes des clients.
- Motiver les employés.
- Réduire les délais, les coûts et les stocks.
- Améliorer la qualité des produits et des services.
- Améliorer la relation de la direction avec ses employés.
- Encourager le travail en équipe et la productivité efficace.
- Avoir plus d'espace et un environnement plus propre.

En revanche, le système Lean a également des impacts négatifs sur les employés et les conditions de travail. Plusieurs travaux de recherche ([19] ; [3] ; [31]), ont traité cette problématique en termes de stress, de charge mentale et de surcharge de travail. Alors, il s'avère inéluctable de prendre en considération ces conséquences négatives lors de la conception et de la mise en place d'un système Lean.

Après avoir passé en revue le système Lean (concept, principes et outils, structure du système, impact), nous allons par la suite traiter le Lean maintenance.

III. ANALYSE DU CONCEPT « LEAN MAINTENANCE »

La fonction maintenance a souvent été négligée car fréquemment perçue comme une source de dépenses. Mais, la croissance de la concurrence mondiale a généré des changements remarquables dans le fonctionnement des entreprises, ces changements ont affecté la fonction maintenance en rendant son rôle plus crucial dans la réussite des entreprises. Aujourd'hui, le processus de la maintenance des machines occupe une place importante pour les organisations à cause de son impact direct sur la qualité, le coût et la livraison des produits ou des services ([1] ; [2] ; [5]).

Le coût des activités de maintenance peut varier de 15% à 70% des coûts totaux de production ([18] ; [37]). En moyenne ce coût représente, 28% du coût total des produits finis [5].

Aux États-Unis, le coût estimatif de la maintenance a augmenté de 200 milliards de \$ en 1979 à \$ 600 milliards en 1989 [35]. Les équipements industriels sont de plus en plus automatisés et technologiquement complexe, par conséquent, les coûts de maintenance sont censés d'être encore plus élevés à l'avenir.

En effet, l'entreprise est amenée à définir la stratégie de maintenance la plus adéquate permettant d'atteindre la performance requise du système de production.

Dans ce contexte, on a intégré les objectifs de Lean, paradigme de recherche de la performance par excellence, avec les objectifs de la maintenance afin de formaliser un nouveau concept « Lean maintenance ».

A. La définition de Lean maintenance

Depuis l'apparition du concept Lean Maintenance dans la dernière décennie du XXème siècle [29], plusieurs définitions ont été proposées.

Lean Maintenance est la combinaison de Lean et de la maintenance permettant d'associer les démarches, les méthodes et les outils de chacune. Alors, si le Lean s'attaque davantage à la vitesse des processus et à tout ce qui peut la freiner, la maintenance s'intéresse essentiellement au maintien d'un bien dans un état lui permettant d'assurer sa fonction requise et de garantir sa disponibilité pour la production. Il est principalement l'application des principes du Lean dans le domaine de la maintenance et de réparation [23].

Cette vision est également partagée par Hawkins, qui a indiqué que Lean maintenance est l'application de la philosophie Lean, outils et techniques, à la fonction maintenance, il consiste à éliminer les pertes de temps, à améliorer le rendement et la qualité. Le Lean Maintenance contribue pour fournir des produits de meilleure qualité et à faible coût dans le plus court délai [6].

L'objectif de Lean maintenance est ne pas de minimiser le budget de maintenance, mais il s'agit d'augmenter la rentabilité grâce à l'efficacité, la fiabilité et la satisfaction du client. Ainsi, il n'est pas nécessairement pour minimiser les « inputs » ou maximiser les « outputs », mais d'optimiser leur impact combiné sur les résultats. Les « outputs » comprennent l'amélioration de la qualité, les coûts et le respect des dates de livraison, tout en améliorant les conditions de sécurité, de santé ainsi que l'environnement de travail en général [34]. Ce point de vue est soutenu par (Ghayebloo, 2010) qui a affirmé que le but principal de la Lean maintenance est d'éliminer toutes formes de gaspillages dans le processus de maintenance sans tenir compte des problèmes de fiabilité [12].

Les objectifs, déjà cités, de Lean maintenance, doivent s'aligner avec les objectifs de l'entreprise elle-même. En effet, le rôle de la haute direction est crucial pour le succès de l'implantation de Lean Maintenance.

Par ailleurs, pour Levitt Lean maintenance est considéré comme une prestation efficace de service de maintenance aux clients avec moins de gaspillage possible, et avec un minimum d'inputs (travail, effort de gestion, maintenance, pièces de rechange, énergie ...) [20].

Dans un sens plus large, le Lean maintenance est un système couvrant toute la théorie de maintenance et les techniques existantes jusqu'à présent, il vise l'élimination des différents gaspillages identifiés dans les processus de la maintenance [15].

B. Les principes de Lean maintenance

La connaissance des principes de Lean maintenance est une étape préalable pour intégrer l'approche lean dans les processus de maintenance. Ces principes peuvent également être intéressants pour les organisations qui souhaitent commencer la transformation Lean à partir du service de maintenance.

Les principes de Lean maintenance illustrés par la figure 2 sont issus des principes de Lean Manufacturing ([35],[29]).

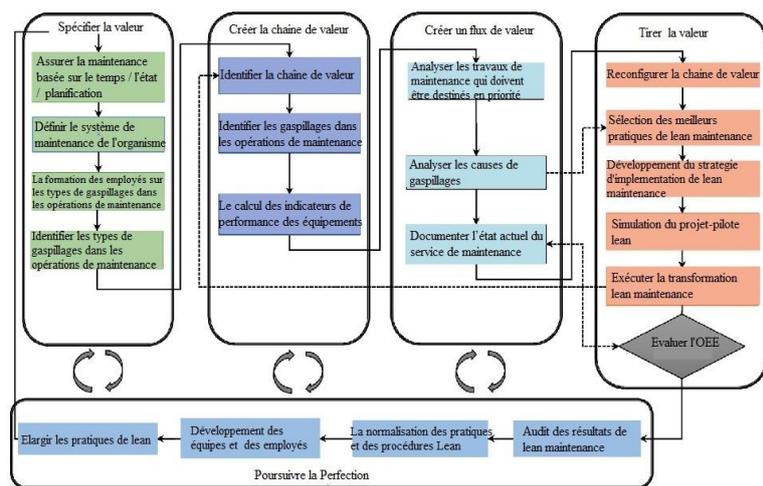


Fig. 2. Carte des principes de Lean maintenance [35]

- Étape 1: Spécifier la valeur

Définir la valeur du point de vue client. Exprimer l'activité qui peut créer de la valeur et qui répond aux besoins réels du client à un coût prédéfini et à un moment précis (la planification de la maintenance, les stratégies et les équipes de maintenance). Cette étape définit également la formation des employés aux gaspillages liés aux Lean maintenance. Les opérateurs de production et les équipements de production représentent le client interne de la fonction maintenance.

- Etape 2: Créer la chaîne de valeur

Identifier la chaîne de valeur, ou l'ensemble des actions requises pour un produit spécifique. Créez la carte de la situation actuelle et de l'état futur de la chaîne de valeur, ensuite, identifier et classer les gaspillages dans la situation actuelle, et les éliminer! Cette étape se termine par le calcul des indicateurs de performance des équipements tels que la disponibilité, taux de rendement global (OEE), et le temps moyen de bon fonctionnement (MTBF).

- **Étape 3: Créer un flux de valeur**

Effectuez les étapes restantes dans le flux de valeur. Éliminer les obstacles fonctionnels, les interruptions et les détours. Il s'agit enfin de réaliser l'analyse des causes de gaspillages puis l'analyse des travaux de maintenance qui doivent être destinés en priorité aux équipements clés qui affectent la qualité du produit. Cette étape évalue l'état actuel du service de maintenance.

- **Étape 4: Tirer la valeur**

Cette étape consiste à confirmer que l'équipement crée la valeur grâce à tous les processus de maintenance. L'exécution des principes de Lean a lieu dans cette étape. Il s'agit dans cette étape de reconfigurer la chaîne de valeur ou concevoir la future cartographie de la chaîne de valeur, sélectionner les meilleures pratiques de Lean maintenance, élaborer la stratégie de transformation Lean maintenance et évaluer l'OEE.

- **Étape 5: Poursuivre la Perfection**

Cette étape consiste à poursuivre l'élimination des gaspillages du processus de maintenance afin d'accomplir les tâches de maintenance sont effectuées correctement la première fois et à chaque fois. Cela pourrait être réalisé par la normalisation des pratiques et des procédures Lean, le développement des équipes et des employés et l'élargissement des pratiques Lean maintenance.

C. *Lean maintenance versus Lean manufacturing*

Lean maintenance est ni une partie, ni un dérivé de lean manufacturing. Il est plutôt une condition préalable au succès d'un environnement lean manufacturing qui fournit une approche globale à la fonction maintenance [29].

Les coûts engendrés par les temps d'arrêt dans un environnement lean manufacturing sont cinq à trente fois plus que dans tout autre environnement de fabrication puisque ces temps perdus entraînent directement des clients perdus [9]. Alors une usine de fabrication avec des intentions de mise en œuvre de lean manufacturing devrait commencer avec quelques préparations essentielles. L'une des préparations les plus importantes est la configuration de la fonction maintenance pour faciliter lean maintenance d'abord et lean manufacturing ensuite [34].

Les arrêts et les réparations non planifiés, interrompent le processus de production ce qui affecte la qualité, le coût et la livraison des produits ou des services. Lean Maintenance n'est pas un concept indépendant de Lean manufacturing, il est en fait un élément essentiel pour un environnement Lean Manufacturing réussi qui nécessite une fiabilité maximale des équipements.

Les principes fondamentaux et les outils qui ont été développés dans le cadre de lean manufacturing ont été

introduits dans lean maintenance. Cependant, l'environnement de la maintenance est sensiblement différent de celui de la production. Pour cette raison l'approche lean maintenance ne peut pas être une image à l'identique d'une approche lean manufacturing. Parmi les points qui font la différence entre ces deux approches, nous citons [26]:

- Le plan de production est élaboré selon des prévisions de ventes et de commandes fermes. Donc un calendrier précis des travaux peut être établi. Cependant, les travaux de maintenance de type corrective sont déclenchés suite à la défaillance qui se manifeste d'une façon aléatoire. Dans ce cadre, le JIT (juste-à-temps) est sensiblement limité.
- La perspective d'être «productif sans gaspillage» est différent entre les processus de production et ceux de la maintenance. Dans la production être «productif sans gaspillage» implique un travail journalier dans la gestion des processus de production. Mais pour la maintenance, cet objectif est inscrit dans un horizon temporel différent (ne pas les remplacer trop tôt, et en même temps ne pas subir la défaillance).
- L'amélioration des processus de production peut être fait grâce à l'enregistrement et en agissant sur des informations opérationnelles dynamique, mais la maintenance des équipements nécessite des données autres que celles de fonctionnement dynamique. Elle nécessite également des données statiques (type d'équipement, l'emplacement, l'âge, taux de panne..) afin de prévoir les dépenses.

D. *Lean maintenance versus TPM*

Lean maintenance est un concept de maintenance avancée pour faire face aux problèmes de gaspillage et au manque des techniques efficaces dans le domaine de maintenance [15]. Dans cette optique, dans un environnement de haute technologie qui évolue rapidement, la méthodologie TPM "traditionnelle" doit être adaptée afin de rester un moyen viable d'amélioration et fournir les meilleurs résultats [33].

La TPM "traditionnelle" est un ensemble de programmes participatifs visant à accroître l'efficacité des équipements (productivité - qualité - sécurité), à minimiser le coût du cycle de vie et les pertes liées à l'équipement et à maximiser l'efficacité et l'efficience. Pourtant, la TPM "traditionnelle" n'a pas pris en considération l'ensemble des gaspillages liés à l'équipement que nous allons lister dans la partie IV. A. il a traité seulement l'ensemble de pertes liées à l'équipement

Waeyenbergh et Pintelon (2002) ont identifié les six catégories de pertes dans TPM: (1) les pertes reliés aux pannes; (2) les pertes reliés à la Mise en place et l'ajustement; (3) les pertes reliés aux micro-arrêts / ralentissements; (4) les pertes de vitesse réduite; (5) les pertes reliés aux défauts / retouches; (6) des pertes reliés aux démarrages [38].

En revanche, la TPM moderne est principalement lié à la valeur générée par l'équipement. Désormais, elle se concentre sur l'ensemble du processus de production afin d'assurer que l'équipement fait partie d'une série de valeur ajoutée, et qu'il contribue «efficacement» à l'objectif principal de la génération de la valeur [8]. En effet, la TPM selon cette vision doit mettre l'accent sur la valeur ajoutée de chaque équipement au sein du processus de production.

D'un autre côté, Lean maintenance met le concept de flux de valeur au cœur de la gestion de la maintenance des équipements. Ce qui correspond parfaitement aux besoins du décideur notamment en termes d'évaluation et de maîtrise des coûts de la maintenance. En effet, l'augmentation du temps d'arrêt en raison des activités de maintenance sans valeur ajoutée peut augmenter considérablement les coûts de maintenance [36]. D'où l'intérêt d'éliminer tout moment inutile entre l'arrêt de la machine et la fin des travaux de réparation.

Sans une vision globale du processus de maintenance fournie par la cartographie de la chaîne de valeur, les moyens destinés à l'amélioration des performances risquent d'être consommés sans priorité et sans optimisation (déployer la TPM sur des machines dont la capacité est très supérieure au besoin...). Egalement, les ressources qui nécessitent un traitement rapide et approprié restent dans leur état de sous-performance, ce qui représente une perte d'opportunité.

Par ailleurs, l'auto-maintenance qui est un pilier essentiel pour le déploiement de la TPM pose un risque de vouloir en faire trop et d'avoir des retours d'informations fausses : par exemple, des micro-pannes répétitives non remontée par l'opérateur peuvent générer des pannes compliquées.

Dans ce cadre, Lean maintenance est considéré plus qu'une évolution ou actualisation de la philosophie TPM [36]. C'est une approche globale axée sur la participation de tous et l'amélioration constante par la mise en place des solutions visant la gestion sans gaspillage, la création de valeur pour les clients et les parties prenantes et l'amélioration du taux de rendement global (*Overall Equipment Effectiveness*).

Par contre R. Smith postule que la TPM est la Lean maintenance, Autrement dit la TPM est le fondement de Lean maintenance, et sans ce soubassement la structure est vouée à l'échec [29]. Dans le même ordre d'idée, Oskar Olofsson pense la ressemblance entre la démarche TPM et Lean maintenance notamment au niveau des objectifs [28].

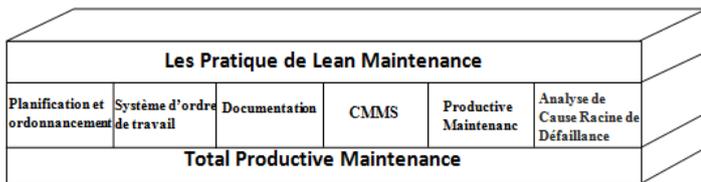


Fig. 3. Lean maintenance et la TPM [29]

C'est pourquoi certaines études ont inventé des termes relativement nouveaux comme TPM maigre ([11] ; [22]).

TPM est également un outil reconnu et éprouvé de lean production [39]. Cela signifie que quand un système de production est en train de changer de non-Lean à Lean, le système de maintenance doit être évolués de non planifiée de l'entretien planifié, puis à la maintenance préventive et finalement à TPM comme l'a expliqué [24].

IV. IMPLANTATION DE LEAN MAINTENANCE

Lean maintenance est une approche qui vise à identifier, à éliminer les sources de gaspillages et à offrir de réelles améliorations à la ligne de production. Cependant, la problématique de la mise en place de cette approche n'a pas pris la considération nécessaire, alors un travail de fond reste à réaliser. Dans ce cadre, nous allons focaliser notre attention sur deux aspects : la mise en évidence des diverses sources de gaspillage et le présentation des outils les plus adaptés au processus de la maintenance.

A. Les types de gaspillages :

Selon Anderson, les opérations peuvent mobiliser jusqu'à 25% de la main d'œuvre disponible, et dans certains usines, environ 60% du travail gaspillé dans la maintenance viennent des activités sans valeur pour la production de l'usine ou la performance globale de l'entreprise [10].

Pour identifier les sources de gaspillage, il est nécessaire de comprendre les divers types de gaspillages présents dans les opérations de maintenance :

- La sur-maintenance : ce type de gaspillage apparait si les opérations de maintenance préventive sont effectuées plus que nécessaire. Les procédures de maintenance prévisionnelle inutiles sont considérées parmi des gaspillages!
- L'attente : l'attente des outils, pièces, documentation,...est inutile et sans valeur ajoutée, c'est à éliminer ou à réduire dans la mesure du possible.
- Le transport : les outils stockés loin du travail, les tâches à porté de main qui utilise couramment des pièces répétitives qui n'ont pas été pré-assemblées, la documentation qui doit être disponible...etc. Chaque activité nécessitant le transport est considérée sans valeur par rapport au processus de maintenance.
- La panne : Lors d'une panne, les réparations sont généralement menées pour revenir à la productivité dès que possible. Pour réduire les pertes, il vaut mieux intervenir dans un temps masqué hors production.
- La gestion des stocks : Le stock typique de maintenance se compose généralement de 65 % de matériel nécessaire et de 35 % de consommable et de pièces de rechange rarement utilisés [32]. Un effort substantif doit se faire sur la gestion du stock pour éliminer les gaspillages.
- Le mouvement : Le mouvement et les déplacements de personnes qui ne sont pas utiles dans l'opération de

maintenance. Ils peuvent être causés par une mauvaise ergonomie du poste de travail.

- Les défauts : Les causes des défauts dans le processus de la maintenance sont nombreuses, dont on distingue :
 - l'insuffisance de la formation des intervenants,
 - les procédures inefficaces,
 - le manque d'outils appropriés pour faire les interventions,
 - les techniques de stockage et de manutention incorrectes des pièces de rechange,
 - les méthodes d'installation inadéquates des équipements.

La mise en place d'une démarche Lean maintenance permettra d'économiser le temps de maintenance qui sera dédié à d'autres améliorations et de réduire les défauts qui causent des arrêts de production. Par conséquent, l'entreprise sera capable de diminuer les coûts et d'avoir un système productif flexible et durable sur le long terme.

B. Les outils de Lean maintenance :

La démarche d'amélioration Lean maintenance utilise les outils de lean manufacturing dans un cadre approprié spécifiquement adapté à leur application à la maintenance. Nous présentons certains outils que nous jugeons appropriés à cette démarche.

Le succès de la Lean maintenance dépend de l'application de chaque outil. Chaque outil fournit certains avantages au sein du processus de maintenance. Par conséquent, la performance de tout le service de maintenance peut être améliorée.

- 5S : Ils sont un préalable incontournable à l'introduction de Lean maintenance [27].
- Travail visuel : Il constitue le support de l'animation quotidienne du progrès au niveau de l'unité de travail. Il s'agit d'avoir une attitude positive vis à vis des problèmes, considérés par tous comme une opportunité d'amélioration ([7] ; [27]) .
- Cartographie de la chaîne de valeur : Outil nécessaire au début de la mise en œuvre de Lean maintenance. Il permet de fournir une perspective globale et de mettre en évidence les sources de gaspillage. Lorsque tous les participants sont consultés dans la cartographie de la chaîne de valeur et le scénario est développé, il ya souvent un consensus que les méthodes actuelles ne sont pas optimales. Ainsi, plusieurs améliorations deviennent visibles. Cela est particulièrement important lorsque le processus traverse plusieurs activités telles que les achats, la maintenance, la production et l'ingénierie,...
- Travail standard : Le travail standard a pour objectif de définir la meilleure façon de réaliser une opération [7] Il doit garantir simultanément :

- la sécurité de l'opérateur, le meilleur niveau de qualité, dès la première opération, sans recourir au contrôle et aux retouches,
- un mode opératoire facile (ergonomie) et économique,
- le délai, c'est à dire d'être capable de livrer au processus suivant la pièce ou l'ensemble au moment prévu.

- Planification et ordonnancement : La planification et l'ordonnancement font partie des activités les plus importantes pour augmenter l'efficacité dans une organisation de maintenance. Pour cela, les techniciens de maintenance doivent communiquer et coopérer efficacement avec le planificateur, le responsable de gestion du travail et les équipes de production et d'exploitation.
- MRO magasin (Maintenance, Repair and Operations) : Les entreprises s'orientent vers une culture de TPM proactive caractérisée par un travail planifié, il est nécessaire pour la maintenance de commander le matériel et de le recevoir dans un JIT scenario, avant que la panne se produise. En outre, une meilleure organisation de stockage des pièces de rechange permet d'éliminer la répétition de l'inventaire et de calculer les quantités économiques à commander et les niveaux de stockage maximum et minimum appropriés. Elle permet également l'identification du stock désuet qui peut être retourné au vendeur ou mis au rebut [29].
- Kaizen : Kaizen peut être utilisé pour l'amélioration de la fiabilité. Cette méthode d'amélioration continue commence généralement avec une analyse simplifiée de mode et des effets de défaillance où les modes de défaillance sont répertoriés et hiérarchisés en fonction de la criticité. L'équipe analyse les modes de défaillance prioritaires afin de déterminer les causes et proposer les meilleures solutions, après la mise en œuvre de ces solutions, les résultats sont contrôlés pour vérifier leur efficacité. L'équipe peut aussi mettre en place des plans pour étendre les solutions à des équipements similaires dans d'autres secteurs de l'usine, ainsi que l'exécution des tâches de «gestion de configuration», tels que la mise à jour des schémas et des enregistrements de GMAO [6].
- Jidoka : La maintenance doit respecter la philosophie Jidoka qui postule que la qualité doit être construite a priori. Les équipements sont censés produire de la qualité sinon ils doivent être arrêtés et réglés immédiatement.
- Just In Time (JIT) : Les pièces de rechange et les matériels sont utilisés au moment de leur besoin afin d'éviter les stocks inutiles et réduire ainsi le coût de stockage. Sans une gestion basée sur le JIT, le coût de stockage peut atteindre une valeur importante, jusqu'à 20% de la valeur totale des stocks pour certaines organisations.

- Analyse des modes de défaillance, de leurs effets (AMDE) : c'est un ensemble systématique des activités qui identifie et évalue les modes de défaillance potentiels d'un système. Il prévoit des actions qui peuvent éliminer ou réduire les chances de panne survenant.
- La maintenance autonome : La Maintenance autonome ou indépendante est généralement effectuée par les opérateurs des machines. Elle se réfère à la maintenance répétitive telle que la nettoyage des équipements et la lubrification...etc. A cet égard les responsables de la maintenance et de la production doivent collaborer pour établir la politique adéquate.
- Le taux de rendement global des équipements (OEE) : elle constitue un indicateur clé de performance de l'équipement notamment dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue et également dans le cadre de la TPM.
- GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) : Un système efficace de gestion informatisée de la maintenance est essentiel à chaque étape du processus d'implémentation d'une démarche Lean Maintenance. C'est un outil précieux de pilotage de la maintenance qui permet notamment la gestion des stocks et des achats, la planification et l'ordonnancement des activités de maintenance ainsi que la maîtrise des coûts.
- La documentation : Les documents et les manuels techniques doivent être précis, pertinente et à jour pour le maintien d'un environnement sans gaspillage. La documentation technique est une source pertinente d'informations qui aide à la prise en charge des équipements depuis leur mise en service. Ainsi, un système efficace de gestion informatisée de la maintenance (GMAO) est indispensable.

Bien que ces outils de Lean puissent avoir un impact significatif sur l'efficacité des processus de maintenance d'une entreprise, il y a plusieurs conditions préalables pour réussir leur mise en place [3] :

- L'engagement de la direction : La direction doit orienter l'ensemble de l'entreprise vers l'approche Lean. Un tel engagement implique la mise à disposition des ressources nécessaires pour la bonne conduite de la démarche.
- La participation de personnel : Sans l'implication des employés, tout changement durable semble être hors de portée. Les employés constituent le facteur le plus

importants dans toute démarche de Lean maintenance.

Conclusion et Perspective

Dans cet article, nous nous sommes intéressés à la question d'optimisation de la maintenance selon une approche Lean. Le travail s'est focalisé sur l'analyse du concept Lean d'une manière générale et sur le concept Lean maintenance en particulier.

En premier lieu, nous avons mis l'accent sur le concept Lean qui a été formalisé sur la base de Toyota Production System (TPS). Il vise l'optimisation et l'amélioration des performances par l'action sur les sources de gaspillage et d'inefficacité des processus de l'entreprise, tout en respectant un ensemble de principes fondamentaux et en utilisant une panoplie d'outils prédéfinis.

En second lieu, nous avons traité le concept de Lean maintenance qui intègre à la fois les objectifs Lean et les objectifs de la maintenance. Ainsi, Lean maintenance vise à identifier et à éliminer les sources de gaspillage dans toutes les activités de la maintenance afin de fournir une réelle amélioration du système de production. Nous avons également présenté les principales sources de gaspillage dans les opérations de maintenance et les outils de Lean dont le déploiement doit être spécifique au contexte de la maintenance (processus de support).

En troisième lieu, nous avons positionné Lean maintenance par rapport aux approches Total Productive Maintenance et Lean manufacturing. Cette étude nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques spécifiques d'un système Lean maintenance et par la suite de développer les éléments nécessaires pour élaborer un cadre global de référence garantissant une implémentation réussie de ce système. Dans ce sens, nous avons également insisté sur l'importance de la dimension humaine pour la réussite de la démarche Lean maintenance.

En général, le changement des activités de la maintenance en Lean pourrait prendre du temps. Néanmoins, l'engagement et l'implication directe d'une gestion organisationnelle ainsi que la formation des employés et le développement de l'esprit d'équipe peut être un catalyseur pour accélérer et réussir le processus de transformation.

En perspective, nous envisageons de traiter les questions de déploiement de la démarche Lean maintenance dans les différents secteurs industriels afin de tester sa validité et sa fiabilité : comment réussir la conception et l'implantation de cette démarche sur le plan technique, économique et humaine ? Comment gérer le changement?...etc.

Bibliographie

- [1] Ahmed et al., 2004; Ahmed,S., Hassan,M., Taha, Z., 2004,'*State of implementation of TPM in SMIs*, a survey study in Malaysia, Journal of Quality in Maintenance Engineering', Vol.10 n° 2, p. 93-106
- [2] Ahuja and Khamba, 2008; Ahuja I.P.S., Khamba, J.S., 2008, 'Total productive maintenance: Literature review and directions, International Journal of Quality and Reliability Maagement', Vol.25 n° 7, p. 709-756.
- [3] Barbara Lyonnet, '*Identification des incontournables à la démarche Lean*', 2010
- [4] Berggren, C., 1992. 'Alternatives to Lean Production: Work Organization in the Swedish Auto Industry'. ILR Press, Ithaca, New York, p. 286.
- [5] Blanchard, B.S. 1997, '*An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment*', Journal of Quality in Maintenance Engineering', Vol.3 n° 2, p. 69-80.
- [6] Bruce Hawkins, "*The many faces of Lean Maintenance*",Live Cycle Engineering, Inc – Maintenance & Management, Plant Engineering 2005, pp. 5533-5550.
- [7] C. Davies, R.M. Greenough. Measuring the effectiveness of lean thinking activities within maintenance, Available from: http://www.plantmaintenance.com/articles/Lean_Maintenance.pdf , 2010
- [8] Carillo Scodaniibbiio,"World-Class TPM - How to calculate Overall Equipment Effectiveness (OEE)", January 2009
- [9] Cooper. H , "*Lean maintenance maximizes cost savings*", 2004 Manufacturing Engineering, Vol. 133, No. 6.
- [10] Deryk Anderson, '*Reducing the cost of preventive maintenance* ', 2003. Disponible sur : <http://www.plant-maintenance.com/articles/PMCOSTReduction.pdf>
- [11] Georgescu, D. (2010). The maintenance management for lean organization. *Economia. Seria Management*, 13, 437–446.
- [12] Ghayebloo, S. 2010, Methodology and theory: Determining maintenance system requirements by viewpoint of reliability and lean thinking: A MODM approach, Emerald Group Publishing Ltd.
- [13] James P.Womack, Daniel T. Jones , Daniel Roos, «*The Machine that changed the world* », Simon & Schuster, Inc., USA,1991.
- [14] James P. Womack et Daniel T. Jones, « *Lean Thinking*», 1996.
- [15] Jianxin Huang, Yaqin Bian, Wensheng Cai, 2012, '*Weapon Equipment Lean Maintenance*'.
- [16] Joao polo pinto, « *Lean Maintenance*», 2013.
- [17] John Drew, McCallum B., S. Roggenhofer, « *Objectifs Lean* », Eyrolles 2004.
- [18] K. Fraser, Facilities management: the strategic selection of a maintenance system, *Journal of Facilities Management*, 12(2014) 18-37.
- [19] Klein, J., March–April 1989. 'The human costs of manufacturing reform'. *Harvard Business Review*, 60–66.
- [20] Levitt, J., «*Lean Maintenance*», 2008.
- [21] Liker, J.,« *The Toyota Way* », McGraw-Hill, 2006.
- [22] McCarthy, D., & Rich, N. (2004). *Lean TPM*. Oxford: Elsevier.
- [23] Milad Jahanbakhsh, Neda Moghaddam ,Hossein Mansour Samaie, "*Lean maintenance (case study: Teen Dairy Industry Co.)*",International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 2013.
- [24] Moayed, F.A., Shell, R.L., (2009), Comparison and evaluation of maintenance operations in lean versus non-lean production systems, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 15 Iss: 3 pp. 285 – 296
- [25] Mohammad Reza Enaghani. Mohammad Reza Arashpour, Morteza Karimi, « *The Relationship between Lean and TPM* », 2009.
- [26] Nazim Baluch, Che Sobry Abdullah, Shahimi Mohtar, 2012, '*TPM and lean maintenance – a critical review*', interdisciplinary journal of contemporary research in business, Vol.4 n° 2, p. 252-257.
- [27] Okhovat, M.A., Ariffin, M.K.A.M., Nehzati, T., Hosseini, S.A., Development of world class manufacturing framework by using six-sigma,total productive maintenance and lean, *Scientific Research and Essays*. 7(2012) 4230-4241.
- [28] Oskar Olofsson ,"*TPM / Lean Maintenance*", 2011. Disponible sur : <http://world-class-manufacturing.com/de/tpm.html>
- [29] Ricky smith, Bruce Hawkins, «*Lean Maintenance : reduce costs, improve quality, and increase market share*», Elsevier, 2004.
- [30] Ricky Smith , 'What Is Lean Maintenance, Elements that need to be in place for success, *Maintenance Technology*. (2004) 15-21.
- [31] Tajri, Cherkaoui A. 'Rôle de l'ergonomie cognitive dans la conception et l'implémentation réussie d'unTotal Lean Environment ' , CPI, Oujda, 2011.
- [32] Terrence d'Hanlon, '*Lean Maintenance Lubrication-Focused* ', 2002. Disponible sur : <http://www.machinerylubrication.com/Read/406/lean-maintenance-lubrication>
- [33] Thomas R. Pomorski, "*Total Productive Maintenance (TPM) Concepts and Literature Review*",Brooks Automation, Inc., 30 avril 2004.
- [34] Timothy C. Kister, Bruce Hawkins "*Maintenance Planning and Scheduling*", 2006. Disponible sur : <http://www.maintenancetechnology.com/2004/10/what-is-lean-maintenance>
- [35] Sherif Mostafaa, Jantane Dumrakk, Hassan Soltanc "*Lean maintenance roadmap*" , 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015,4-6 February 2015, Bali Indonesia
- [36] Soundararajan Kannan , Yanzhen Li, Naveed Ahmed, Zeid El-Akkad, "*Developing a maintenance value stream map*",2007, Proc. of Institute of Industrial Engineers, Technical Societies and Divisions Lean Conference.
- [37] S.K. Pinjala, L. Pintelon, A. Vereecke, An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies, *International Journal of Production Economics*. 104(2006) 214-229.
- [38] Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77, 299–313. doi:10.1016/S0925-5273(01) 00156-6
- [39] Yingling, J.C., Detty, R.B. & Sottile Jr., J. 2000, "*Lean manufacturing principles and their applicability to the mining industry*", *Mineral Resources Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 215-238