

Contribution à l'amélioration de la performance des équipements de production basée sur les outils lean Manufacturing et lean Maintenance

Sanae Krafess

Doctorante au Laboratoire de Productique, Energie et Développement Durable (LPE2D)
Ecole Supérieure de Technologie
Fès, Maroc
sanae.krafess@usmba.ac.ma

Abdennebi Talbi

Directeur du Laboratoire de Productique, Energie et Développement Durable (LPE2D)
Professeur à l'Ecole Supérieure de Technologie
Fès, Maroc
abdennebi_talbi@yahoo.fr

Abstract— Face à la concurrence et à la conjoncture actuelle du marché extérieur, les entreprises se doivent de mettre en place de nouvelles stratégies pour garantir leurs survies et leurs compétitivités. Dans ce sens, le Lean a conquis la plupart des processus de l'entreprise en ce positionnant comme un concept inéluctable pour améliorer sa performance.

Le but de ce travail est de proposer une nouvelle approche d'amélioration de la performance des équipements de production sur la base des principes de Lean Manufacturing et le Lean Maintenance.

Dans cet article, La démarche proposée est basée sur quatre grandes parties. La première partie concerne l'analyse de l'existant. La deuxième phase concerne la cartographie du processus de production et du processus de maintenance. Dans la troisième partie, les principales sources de gaspillage et des actions d'amélioration sont proposées. La dernière partie est consacrée à une étude de cas industriel.

Keywords—Performance, Flexibilité, Productivité, Lean Manufacturing, Lean Maintenance, Cartographie des processus.

I. INTRODUCTION

Le monde a connu récemment une crise économique qui a affecté plusieurs niveaux des entreprises telles que la baisse des bénéfices et l'augmentation de la compétitivité. Les mutations perpétuelles qu'elles soient de nature économique, technologique ou sociologique, imposent de nouvelles exigences d'efficacité et de performance aux entreprises qui sont appelées à faire les bons choix stratégiques leur permettant de mieux se positionner sur le marché mondial.

Pour faire face à cette situation, les entreprises ont dû chercher des moyens innovants permettant d'augmenter la flexibilité de leurs systèmes de production pour diversifier les produits fabriqués tout en produisant à moindre coût avec un délai et une qualité optimale. Les organisations doivent adopter des stratégies de réduction de gaspillages. Dans le domaine industriel, le concept de réduction des coûts le plus connu est le Lean.

Le Lean est un outil qui se concentre principalement sur les pertes de production dans lesquels la politique de maintenance a un effet direct. Dans cet article, nous étudions une approche basée sur le principe d'intégration des outils du Lean Manufacturing et du Lean Maintenance. Nous proposons également des actions d'amélioration pour optimiser les activités de production et de maintenance et contribuer ainsi à l'amélioration de la performance des équipements de production.

II. PROBLEMATIQUE

Dans le contexte économique actuel, et pour assurer leur pérennité, les entreprises se doivent de mettre en place de nouvelles stratégies afin d'améliorer leur performance. Dans ce sens, nous trouvons dans la littérature, la philosophie d'intégration globale. Dans le cadre de cette approche, plusieurs tentatives ont été proposées comme la totale productive maintenance (TPM) et le système de management intégré (SMI/QSE).

La TPM et le SMI/QSE sont des approches qui agissent sur le pilotage de la performance industrielle. Or, la mise en place d'un système de pilotage de la performance nécessite des actions préliminaires de chasse aux gaspillages.

En effet, pour surmonter la conjoncture concurrentielle et améliorer son niveau de performance industrielle, l'entreprise doit agir sur différents plans. Le premier d'entre eux et le moins coûteux est la chasse aux gaspillages. Dans le domaine industriel, le concept de réduction de gaspillages le plus connu est le Lean.

Le concept Lean a conquis différents secteurs économiques et la plupart des processus de l'entreprise, en ce positionnant comme un concept inévitable pour améliorer la performance de l'entreprise. Le Lean constitue un levier permettant à l'entreprise de favoriser l'amélioration continue de ses processus, de réduire les surcoûts et de satisfaire les besoins croissants et diversifiés de ses clients. Par ailleurs, si le Lean Manufacturing est un concept bien connu des industriels et des chercheurs, le Lean maintenance est moins connu et peu traité par les travaux de recherches. Ainsi, nous

nous sommes inspirés du principe d'intégration globale en l'appliquant sur le Lean Manufacturing et le Lean Maintenance.

La démarche proposée est basée sur quatre grandes parties. La première consiste à faire une analyse de l'existant. En effet, l'analyse de l'existant est un préalable à toute démarche d'amélioration de la performance. La deuxième partie concerne la cartographie du processus de production et du processus de maintenance et la description des activités opérationnelles clés. La troisième partie présente le noyau de cette méthodologie. Dans cette phase, les principales sources de gaspillage sont identifiées et des actions d'amélioration sont proposées. La dernière partie consiste à expérimenter le model dans un cas industriel.

III. LE LEAN

Le terme Lean fait désormais partie du vocabulaire courant des entreprises [1]. Certains l'associent au système de production inventé par Toyota, mais la limitent à la chasse aux gaspillages et à la réduction des coûts. En réalité, le Lean est beaucoup plus que cela.

A. Principe du concept Lean

Les principes du Lean ont été appliqués de manière intensive [2] à la fois dans les petites et moyennes entreprises [3] et dans les grandes entreprises [4]. À l'origine, le système Lean faisait partie du système de production Toyota (TPS). TPS est principalement basé sur deux principes: l'efficacité de la production grâce à l'élimination de tout type de gaspillage et le respect des personnes [5]. Cette approche a été soulevée et soulève encore un certain nombre de questions. La plus fondamentale est: Comment définir l'approche Lean?

Le Lean est une démarche systématique qui tend à éliminer toutes les sources d'inefficacité des chaînes de valeur et à combler l'écart entre la performance réelle et les exigences des clients et des actionnaires. Son objectif est d'optimiser la qualité, les coûts et les délais de livraison, tout en améliorant la sécurité du personnel. Pour atteindre un tel objectif, il convient d'agir sur les trois sources d'inefficacité: les gaspillages, la variabilité et la flexibilité.

Il existe des liens évidents entre, d'une part, les trois objectifs d'amélioration – qualité, coûts et délais – et, d'autre part, les trois sources d'inefficacité. Éliminer les gaspillages permet en effet de réduire les coûts; supprimer la variabilité améliore la qualité et permet de diminuer les gaspillages. Au lieu de se contenter d'optimiser certaines parties ou certains processus de manière individuelle, une démarche Lean cherche à améliorer le système dans sa totalité.

B. Piliers du concept Lean

Liker [6] propose de modéliser les systèmes de production Lean de la manière suivante (figure 1).

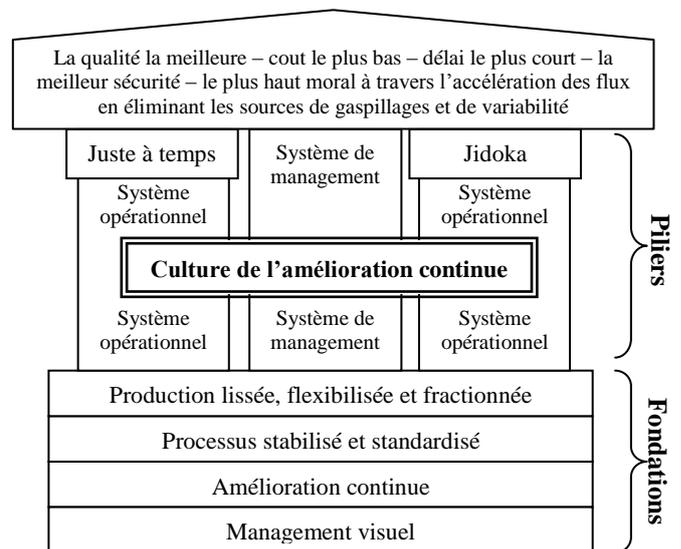


Fig. 2. Modèle des systèmes de production Lean [6]

- L'objectif du pilier Jidoka est de rendre visible les problèmes de qualité.
- L'objectif du pilier Juste à temps est de répondre aux besoins du client, à l'instant prévu et en optimisant les ressources.
- Le Système opérationnel caractérise la façon dont les ressources sont organisées, pour apporter de la valeur ajoutée au client avec le minimum de gaspillage tout au long de la chaîne de valeur.
- Le Système de management Lean représente les processus de l'entreprise nécessaires au bon fonctionnement du système opérationnel.

La Culture Lean représente l'ensemble de comportements nécessaires, à tous les niveaux de l'entreprise, au bon fonctionnement des systèmes opérationnel et de management.

C. Les outils de Lean

Le but principal du Lean Manufacturing est d'optimiser l'utilisation de toutes les ressources productives de l'entreprise. Pour cela, les outils du Lean Manufacturing permettent la réduction des stocks, l'optimisation des équipements, l'optimisation des ressources humaines (par la polyvalence), et la réduction des surfaces occupées.

Le Lean Manufacturing s'appuie sur une multitude d'outils permettant de concrétiser son objectif. Parmi ces outils, nous citons:

- 5S : méthode d'organisation des postes de travail, qui aide à réduire les gaspillages causés par le désordre, le temps perdu pour trouver un outil ou un équipement libre, des déplacements inutiles, des étapes redondantes ou inutiles, des machines en double. C'est l'une des premières méthodes à mettre en œuvre dans une démarche de Lean. Elle vise aussi à changer la mentalité des opérateurs et de l'encadrement.

- **KANBAN** : Une gestion KANBAN se matérialise par un circuit de containers et d'étiquettes entre postes avals et amonts. Cet outil du Lean Manufacturing permet de tirer les flux au lieu de les pousser, par des moyens simples ne reposant pas sur l'informatique.
- **SMED** : Méthode d'analyse et de diminution des temps de changement de production (ou de série), dont l'objectif est surtout de diminuer la taille des lots pour diminuer la valeur des stocks (produits finis et produits intermédiaires). La diminution des stocks est un objectif prioritaire du Lean Manufacturing.
- **KAIZEN** : C'est une des composantes essentielles du Lean Manufacturing. Il est l'amélioration graduelle, ordonnée et continue impliquant toutes les personnes de l'organisation. Pour mettre en œuvre l'état d'esprit Kaizen, on utilise la méthode PDCA, l'outil indispensable nécessaire à l'amélioration continue.
- **TPM** : Méthode fondée sur l'observation sur le terrain et la résolution des pannes qui affectent une installation, avec la participation des opérateurs.
- **6 Sigma** : Le 6 sigma est une vision et un engagement philosophique envers les clients pour fournir des produits avec la meilleure qualité et au prix le plus bas. Le 6 sigma vise un niveau de qualité à 99,9997% de rendement pour les produits et les processus. Le 6 sigma est une application pratique de méthodes et d'outils statistiques pour aider à mesurer, analyser, améliorer et contrôler les processus.

D. Influence du système Lean

Les bénéfices du Lean qui conduisant à l'amélioration de la performance sont multiples. Ces bénéfices améliorent non seulement la performance opérationnelle, administrative et stratégique [7], mais plusieurs études ont identifié des impacts positifs du système Lean sur le personnel [8]. Par exemple, la mise en œuvre du Lean génère une amélioration de la motivation du personnel. D'autres améliorations peuvent être observées sur plusieurs niveaux: Amélioration de la gestion des stocks, réduction des délais de fabrication, amélioration du rendement de la production, amélioration de la productivité de la main d'œuvre, amélioration des conditions de travail/ergonomie, amélioration de la satisfaction du client, réduction des temps de changements de série....

En contre partie, certains travaux ont relevé des impacts négatifs générés par les pratiques Lean tels que l'augmentation du stress du personnel. Cependant, ces résultats doivent être nuancés. En effet, une étude multi-site réalisée auprès de 1300 personnes n'a mis en évidence aucune relation entre le niveau d'application des pratiques Lean et le niveau de stress du personnel [9]; l'augmentation du stress constatée dans les entreprises engagées dans une démarche Lean serait plus le reflet de l'impact des choix managériaux que de l'application du Lean proprement dit.

L'amélioration de la performance des équipements de production est un processus continu. Plusieurs études ont proposé des démarches et outils qui contribuent à cette fin en s'inspirant des outils du Lean Manufacturing. Ainsi, nous allons proposer dans la suite de cet article une nouvelle démarche d'amélioration de la performance des équipements industriels basée, simultanément, sur les outils Lean Manufacturing et Lean Maintenance.

IV. DEMARCHE PROPOSEE

La démarche proposée est composée de 4 phases (figure 3).

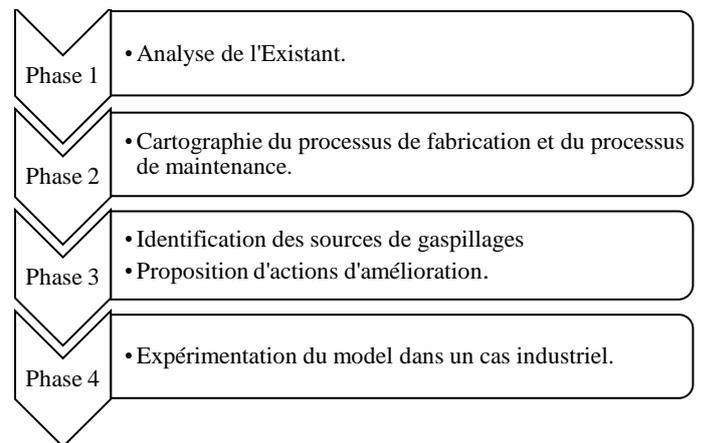


Fig. 3. Présentation des différentes phases de la démarche proposée

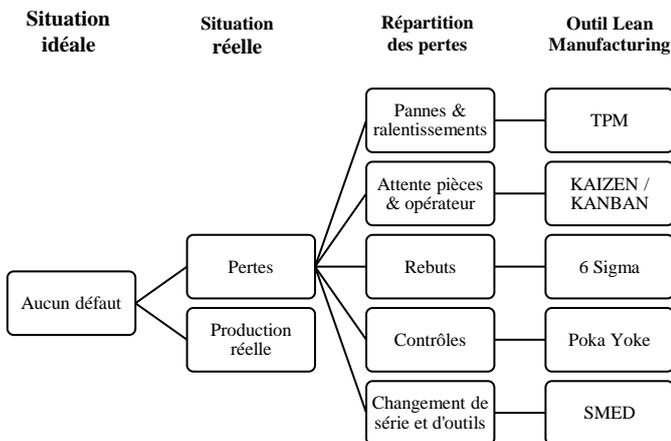


Fig. 2. Illustration des outils du Lean

A. Phase 1 : Phase d'analyse

Aujourd'hui, la difficulté pour les entreprises est de mesurer les interactions entre les différentes dimensions de la performance. En effet, Une entreprise est assimilée à une chaîne constituée de plusieurs maillons (services). La robustesse de cette chaîne dépend de son maillon le plus faible. Si nous négligeons un maillon de la chaîne, toute l'entreprise va être impactée. Certes, chaque service cherche à être le plus performant, or, la performance d'une fonction ne doit pas impacter la performance des autres fonctions [10]. Ainsi, la performance d'une entreprise réside dans la performance de son service le moins performant. Nous préconisons donc d'établir une analyse SWOT. Cet outil va nous renseigner au mieux sur les atouts (potentialité) et les faiblesses (points faible) de l'entreprise [11] qui vont nous faciliter, par la suite, les prochaines phases.

En s'appuyant sur la matrice SWOT, il est ainsi possible de définir si la combinaison des forces et des faiblesses de l'organisation peut se confronter aux évolutions de l'environnement. Si cela n'est pas possible, elle permet d'identifier ou de créer de nouvelles opportunités basées sur les ressources uniques de l'organisation. Les options stratégiques émergent de la confrontation des résultats de l'analyse interne et externe.

1) Etape 1: Analyse interne

L'analyse interne recense, à partir du diagnostic des ressources et des compétences, les caractéristiques actuelles de l'organisation, vues comme des forces ou des faiblesses selon les activités exploitées.

- Les forces sont les aspects positifs internes sur lesquels on peut bâtir dans le futur.
- Les faiblesses sont les aspects négatifs internes mais contrôlés par l'organisation et pour lesquels des marges d'amélioration existent.

2) Etape 2: Analyse externe

L'analyse externe consiste à analyser le secteur et l'environnement de l'entreprise. Cette analyse débouche sur l'évaluation des principales menaces et opportunités.

- Les menaces sont les problèmes ou obstacles extérieures, qui peuvent empêcher le développement d'un secteur.
- Les opportunités sont les possibilités extérieures positives, dont on peut éventuellement tirer parti, dans le contexte des forces et des faiblesses actuelles.

Pour mettre en œuvre l'analyse SWOT, nous avons élaboré un questionnaire qui s'appuie sur des questions selon 2 axes ; l'un interne et l'autre externe. Le tableau 1 montre un extrait de ce questionnaire.

Le modèle SWOT présente l'avantage de concevoir une schématisation rapide, claire et précise en situation complexe. Ainsi, à partir des résultats obtenus du questionnaire, nous élaborons la matrice SWOT.

TABLE I. EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE POUR METTRE EN ŒUVRE L'ANALYSE SWOT

Axe N°1 : Analyse interne					
	Affirmation concernant l'analyse interne	Vraie	Plutôt vraie	Plutôt fausse	Fausse
1	les produits/services sont sollicités sur le marché				
2	L'entreprise est connue sur le marché par sa qualité de produit/service				
3	Le positionnement du coût de vente est bas par rapport aux concurrents				
4	Les ressources sont suffisantes				
5	Les équipements sont bien maintenus				
⋮					
26	L'entreprise exploite ses moyens				
27	Les machines et les outillages sont recensés et codifiées				
28	L'entreprise possède suffisamment d'espace de stockage				
29	L'entreprise sous-traite de produits/services				
30	Les prix des fournisseurs sont convenables				
Axe N°2 : Analyse externe					
	Affirmation concernant l'analyse externe	Vraie	Plutôt vraie	Plutôt fausse	Fausse
1	L'entreprise est en norme et répond aux exigences des lois				
2	L'entreprise exporte ses produits à l'étranger				
3	L'entreprise a assez d'informations sur ses concurrents				
4	L'entreprise est à l'écoute de ses clients				
⋮					
20	L'entreprise n'est pas influencée par la crise économique				
21	L'entreprise cherche à acquérir de nouveaux clients				
22	L'entreprise cherche à élargir sa gamme et à produire de nouveaux biens				
23	L'entreprise cherche à implanter de nouvelles technologies				
24	L'entreprise est soumise à des audits				
25	Les concurrents rencontrent des difficultés sur le marché				

L'intérêt du modèle SWOT repose sur la combinaison de ces analyses conditionnée par quatre critères :

- Force/opportunités : s'appuie sur les compétences fortes afin de définir de nouvelles opportunités extérieures pour la réalisation de la stratégie ;
- Force/Menaces : assemble des savoir-faire internes à l'entreprise pour affronter les menaces extérieures ;
- Faiblesses/opportunités : vise à améliorer ses points faibles en révélant les faiblesses internes et exploitant les opportunités externes ;
- Faiblesses/Menaces : permet de définir une stratégie pour une entreprise consciente de ses faiblesses afin de se protéger de menaces extérieures.

Une fois la matrice SWOT complétée, il est nécessaire de mettre en place une stratégie : d'une part insister sur les points forts et profiter des opportunités du projet, d'autre part surmonter les faiblesses pour prévenir les menaces. Il convient lors de cette phase d'explorer les possibilités offertes par l'analyse (figure 4).

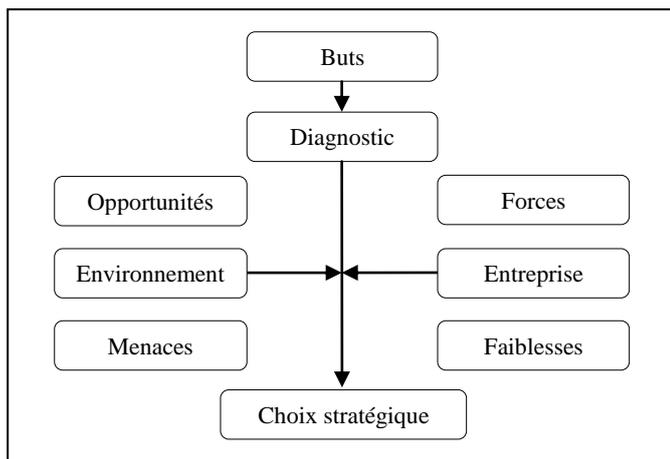


Fig. 4. Modèle SWOT

B. Phase 2 : Cartographie des activités clés du processus de production et du processus de maintenance

La cartographie des processus ou la VSM est une représentation graphique des processus d'une entreprise. Elle consiste à décomposer l'entreprise en activités stratégiquement importantes pour comprendre leur impact sur le comportement des coûts et la différenciation [12]. Elle offre une vue globale du fonctionnement de l'organisme et permet de visualiser ses processus ainsi que leurs interactions. On dit que la cartographie de la chaîne de valeur est la première composante de votre trousse à outils – la première étape consistant à créer la stratégie de votre entreprise [13].

Les avantages de la cartographie de processus sont de permettre de communiquer de manière identique à un grand nombre d'acteurs impliqués dans une activité complexe et de donner du sens et de la clarté immédiate sur les tâches à réaliser.

La plus grande utilité de cet outil, est qu'il force à aller sur le terrain, à faire des observations instantanées, des rencontres, poser des questions etc.... et donc à comprendre la vraie vie et pouvoir en extraire les améliorations potentielles.

Cette phase concerne la cartographie du processus de production et de maintenance et leurs activités clés, basée sur l'approche processus et des études sur la modélisation des coûts de production et de maintenance.

En effet, dans cette étape, une méthodologie globale de cartographie des processus est présentée. Afin de cartographier le processus d'une organisation, chaque entité/département doit être considérés séparément pour simplifier la mise en œuvre du Lean, les étapes à suivre sont décrites dans la figure 5.

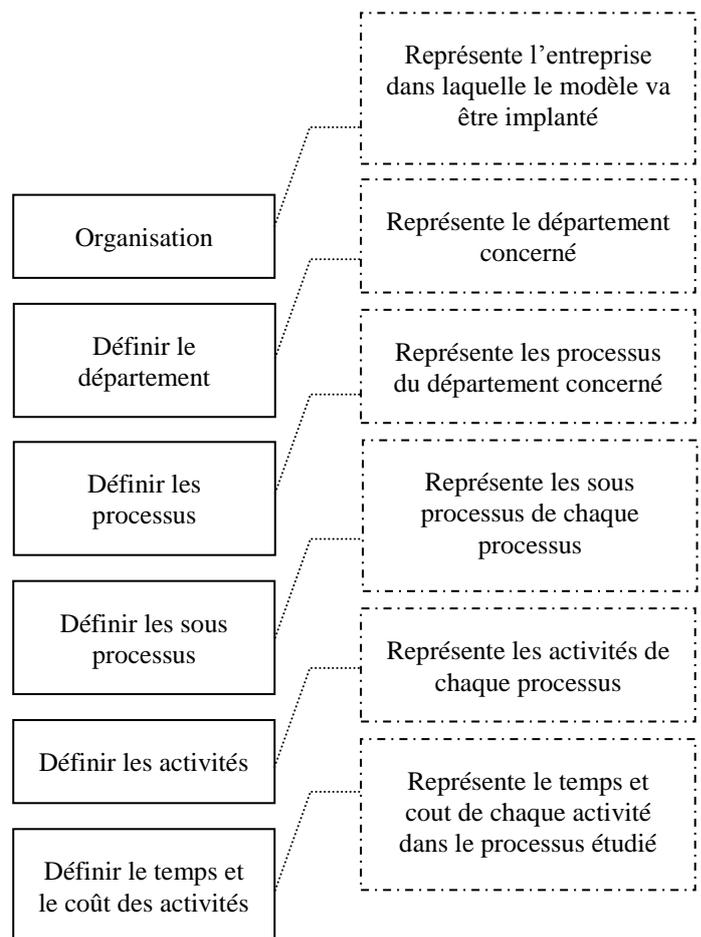


Fig. 5. Cartographie du processus de production et du processus de maintenance

Après la définition des activités clés du département étudié, le temps et le coût de chaque activité sont définis afin d'en extraire les activités avec et sans valeur ajoutée.

C. Phase 3 : Etude des sources de gaspillage et proposition d'actions d'amélioration

L'objectif principal de cette phase est, d'une part, d'étudier les gaspillages potentiels dans un contexte industriel et d'autre part de proposer des actions d'amélioration Lean.

Dans un premier temps, nous allons développer le concept du Lean maintenance. Ensuite, nous allons décrire les principaux types de gaspillage liés au Lean Manufacturing et au Lean Maintenance. Enfin, des actions d'amélioration seront proposées.

1) Concept du lean maintenance

La fonction maintenance est devenue l'une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Cette fonction est, par nature, une activité transversale de l'entreprise au service des autres fonctions dont elle renforce l'efficacité. Or, elle a souvent été négligée car fréquemment perçue comme une source de dépenses. Mais, la croissance de la concurrence mondiale a généré des changements remarquables qui ont affecté la fonction maintenance en rendant son rôle plus crucial dans la réussite des entreprises.

En effet, l'entreprise doit définir la stratégie de maintenance la plus adéquate lui permettant d'atteindre la performance requise de son système de production. Dans ce contexte, les objectifs de Lean ont été intégrés aux objectifs de la maintenance afin de formaliser un nouveau concept : Le Lean maintenance.

a) La définition de Lean Maintenance

Le concept Lean Maintenance est relativement nouveau, introduit dans la dernière décennie du XXème siècle, mais les principes sont établis dans Total Productive Maintenance (TPM) [14]. La théorie de Lean Maintenance est un concept de maintenance avancée et la méthode vise à minimiser le phénomène de gaspillages.

En effet, le Lean Maintenance est une opération de maintenance proactive employant les activités de maintenance planifiées et programmées par le biais de la TPM [15]. Il repose sur la combinaison des démarches, méthodes et outils de Lean et de la maintenance. Il est considéré comme une prestation efficace de services de maintenance aux clients avec le minimum de gaspillage possible et un minimum de travail, d'effort de gestion, de maintenance, de pièces de rechange, d'énergie, ... [16].

En résumé, le Lean Maintenance est un système qui englobe tous les principes de la maintenance et les techniques du Lean existantes et vise l'élimination des différents gaspillages identifiés dans les processus de la maintenance [17].

b) Implantation de Lean Maintenance

Le Lean Maintenance est un concept dont l'objectif est d'identifier et réduire les sources de gaspillages. Il vise à offrir de réelles améliorations à la ligne de production, mais la mise en place de cette approche n'est pas évidente. Dans ce sens, nous allons nous focaliser sur deux aspects : la mise en évidence des diverses sources de gaspillage liés à la maintenance et la présentation des outils de Lean Maintenance.

c) Les outils de Lean Maintenance

La Lean Maintenance utilise les outils de Lean Manufacturing dans un cadre adapté à leur application à la maintenance. Nous exposons certains de ces outils :

- 5S : comme pour la production, les 5S ont pour objectif d'éliminer le désordre, de ranger les outils, de nettoyer l'atelier et ainsi de bien tenir les postes de travail. Ils sont primordiaux à l'introduction de Lean Maintenance.
- Cartographie de la chaîne de valeur : la VSM est un outil nécessaire au début de la mise en œuvre de Lean Maintenance. Comme nous l'avons développé dans la phase 2, la cartographie de la chaîne de valeur permet de donner une vue globale des processus et ainsi de mettre en évidence les sources de gaspillage.
- Travail standard : Il a pour objectif de standardiser la meilleure façon de réaliser une opération, une tâche ou une activité. Il doit garantir simultanément une bonne qualité du produit (sans retouches), la sécurité de l'opérateur, un mode opératoire facile, économique et dans le meilleur délai.
- Planification & Ordonnancement : La planification est un processus qui consiste à élaborer, réviser et faire vivre un ensemble de plans interdépendants. Les méthodes d'ordonnancement des tâches permettent d'avoir une représentation graphique des tâches et opérations de maintenance proportionnelles à leurs priorités et durées.
- Gestion de stock : L'optimisation de la gestion des pièces de rechange est un levier clé de performance des activités de maintenance. Une meilleure organisation permet d'éviter les redondances et de déterminer les niveaux de stockage maximum et minimum approprié pour chaque pièce de rechange.
- La documentation : La documentation technique est une source importante d'informations qui permet une meilleure gestion des travaux de la maintenance. Elle doit être pertinente, accessible et à jour pour un environnement sans gaspillage. Ainsi, un système efficace de gestion informatisée de la maintenance (GMAO) est essentiel.

Pour réussir la mise en place de ces outils de Lean Maintenance, il est nécessaire que, d'une part, la direction soit engagée. Un tel engagement implique la mise à disposition des ressources nécessaires pour la bonne conduite de la démarche. D'autre part, il faut que le personnel participe au changement. En effet, les employés constituent les facteurs les plus importants dans toute démarche de Lean Maintenance [18].

2) Lean Manufacturing VS Lean Maintenance

Il est vrai que les principes, les sept types de gaspillage et les outils du Lean Manufacturing ont été introduits dans le Lean cependant, ces deux approches sont différentes. En effet, la raison pour laquelle une approche de Lean maintenance ne peut pas juste être une image d'une approche Lean

Manufacturing est que l'environnement de la maintenance et l'environnement de la production sont différents [19]. Les différences mentionnées ci-dessous montrent pourquoi le Lean maintenance a besoin d'une orientation différente de celle du Lean Manufacturing.

- Les plans de production sont effectués à partir des prévisions de ventes. Donc, ils sont entraînés par un calendrier précis des travaux. Cependant, les travaux de maintenance corrective suivent un horaire de travail bien déterminé suite aux défaillances qui se manifestent aléatoirement. Donc, des initiatives pour assurer l'efficacité du processus de maintenance telles que le juste à temps sont limitée.
- La notion de « produire sans gaspillage » est différente entre les processus de production et ceux de la maintenance. Pour la production, être productif sans gaspillage est à juste titre une gestion journalière du processus de production. Pour la maintenance, cette notion a une perspective de temps supplémentaire, produire sans gaspillage consiste à ne pas remplacer les organes trop tôt tout en évitant la défaillance.
- Le dernier point à développer est celui de la collecte et la gestion des données. L'amélioration des processus de production peut être effectué grâce à l'enregistrement et en agissant sur des données opérationnelles dynamiques. La gestion et la collecte des données est également utile pour la maintenance des équipements, mais elle exige également des données statiques telles que le type et l'état des équipements, le taux de pannes...

Ainsi, le Lean Maintenance doit être conçu en tenant compte des caractéristiques spécifiques des processus de la maintenance et être perçu comme étant une condition préalable au succès de Lean Manufacturing.

3) Les types de gaspillage

Un gaspillage est défini comme une action ou une situation non créatrice de valeur pour le client [20]. Depuis sa création, l'élimination des gaspillages est au cœur de la démarche Lean. La majorité des auteurs cités précédemment a identifié ce principe dans leur définition du système Lean.

Dans la suite de notre article, nous allons citer les principaux types de gaspillage liés à la production puis liés à la maintenance.

a) Les types de gaspillage liés à la production

Ohno a identifié sept types de gaspillages liés au Lean Manufacturing [5] ; un huitième gaspillage a été ajouté plus récemment par Liker reposant sur la créativité inexploitée [21]. Parmi ces gaspillages, la surproduction est considérée par Ohno comme le plus problématique, puisqu'elle engendre et dissimule tous les autres types de gaspillages. Ainsi, la surproduction créée nécessairement des stocks excédentaires et cet excédent de stocks nuit inévitablement à l'amélioration continue.

- Surproduction : Produire plus que la demande exigée par le client. Par exemple, produire des pièces non

commandées par le client ou réaliser une production plus tôt ou plus rapide que ce qui est requis par la prochaine étape du processus.

- Stockage inutile : Stocker des quantités supérieures à la quantité nécessaire pour l'étape suivante du processus de fabrication. Par exemple, avoir des matières premières, encours ou produits finis en excès.
- Temps d'attente : Temps sans valeur ajoutée consacré à attendre du matériel, des instructions ou un responsable. Par exemple, attendre des renseignements, des outils...
- Déplacements et Transports inutiles : Déplacer des pièces, des produits, des données sans que le transport ait une réelle utilité. Par exemple, mauvaise optimisation des flux de matières ou longues distances entre les étapes d'un processus.
- Traitements inutiles : Fabriquer des produits qui ne répondent pas aux caractéristiques exigées par la clientèle. Par exemple, effectuer de nombreuses actions inutilement pour parvenir au résultat souhaité.
- Mouvements inutiles : Réaliser des mouvements inutiles pour l'exécution du travail. Par exemple, recherche d'outils, de pièces ou d'information.
- Production de Pièces défectueuses : Fabriquer des produits défectueux ou devant être rectifiés. Par exemple, erreurs de conception, de fabrication ou de contrôle.
- Sous utilisation des compétences : Perdre du temps, d'idées et de compétences en ne prenant pas en compte les idées des employés. Par exemple, réaliser des tâches pouvant être éliminées, attendre les instructions, manque d'implication du personnel, absence...

Il existe deux autres formes de gaspillages : l'excès et l'irrégularité [20]. Les gaspillages d'excès sont répartis en deux catégories: l'excès en matériel correspondant aux consommations excessives de matière première ou de pièces dans les ateliers et l'excès de personnel défini comme une main d'œuvre excessive, inefficace ou en attente d'occupation. L'irrégularité correspond aux variations de rythmes de flux, de délais et de cycles d'activité conduisant l'entreprise à constituer des réserves de stocks ou des stocks tampons.

Finalement, selon Drew et ses collaborateurs, toute découverte de gaspillage dans une activité opérationnelle signale l'existence de coûts inutiles [1]. Par son objectif de réduction des coûts, l'élimination des gaspillages constitue un objectif fondamental de la démarche Lean.

b) Les types de gaspillage liés à la maintenance

A partir des types de gaspillage liés à la production mais appliqués à la maintenance, nous avons pu identifier les divers types de gaspillages présents dans les opérations de maintenance.

- Excès d'intervention de maintenance : ce type de gaspillage apparaît si les opérations de maintenance

préventive sont effectuées plus que nécessaire. Par exemple, les procédures de maintenance prévisionnelle systématique inutile.

- Gestion des stocks : pour la maintenance, il s'agit, d'une part, de matériel nécessaire et d'autre part, de consommable et de pièces de rechange rarement utilisés [22]. L'optimisation du niveau de stock pour la maintenance est donc nécessaire pour éliminer les gaspillages. Par exemple, suppression d'articles obsolètes, formulaire d'entrée et de sortie du stock, alertes en cas de dépassement du seuil de sécurité...
- Temps d'attente : L'attente sans valeur ajoutée est à éliminer ou à réduire au maximum. Par exemple, attente des outils, pièces, documentation,... est inutile.
- Transports inutiles : Chaque activité nécessitant le déplacement ou le transport est considérée sans valeur par rapport au processus de maintenance. Par exemple, les outils rangés loin du poste de travail, les tâches qui utilisent couramment des pièces répétitives, la documentation qui doit être à porter de main...
- Pannes : lors d'une panne, les réparations sont généralement menées pour limiter le temps de réparation et améliorer la disponibilité des équipements. Pour réduire les pertes, il vaut mieux intervenir dans un temps masqué hors production.
- Mouvements inutiles : il s'agit des mouvements inutiles dans l'opération de maintenance. Par exemple en cas de mauvaise ergonomie du poste de travail.
- Défauts : il s'agit des diverses erreurs commises lors des activités de maintenance. Par exemple les erreurs produites lors des travaux de réparation.

L'implantation d'une démarche Lean Maintenance permettra d'éliminer les gaspillages, de réduire les défauts qui causent des arrêts de production et d'économiser le temps de maintenance.

4) Les actions d'amélioration proposée

En analysant chaque outils Lean et chaque types de gaspillage cités précédemment, nous avons déterminé un ensemble d'actions d'amélioration de la performance industrielle:

- Définir et cartographier la procédure de travail.
- Déterminer et optimiser les flux physique et les flux d'information.
- Détecter et réduire les temps d'attente.
- Identifier les contraintes de chaque processus.
- Suivre la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité de la machine.
- Assurer la sécurisé du personnel lors des inspections des machines.
- Faire le suivi de la procédure de l'entretien.

- Nettoyer et organiser les outils de production et de maintenance.
- Organiser les ateliers production et maintenance pour assurer un accès facile aux équipements.
- Assurer la fiabilité et la disponibilité des outils et de la documentation.
- Définir la procédure et la fréquence d'inspection et d'entretien de chaque équipement industriel.
- Assurer la disponibilité des moyens de communication entre les services (notamment entre le service production et le service maintenance).
- Définir la procédure de traitement de demande de travail.
- Définir un plan de réaction claire en se basant sur la demande de travail.
- Gérer le stock des pièces de rechange.
- Améliorer le management visuel des équipements.
- Planifier la maintenance préventive des équipements pendant la non production (synchronisation de la fonction production et maintenance).
- Elaborer une check liste périodique d'inspection des équipements.
- Assurer la disponibilité des outils de production lors du désassemblage, remplacement, changement de série, assemblage...
- Mettre au point des check listes et inventaires informatisés.
- Mettre en place l'auto-maintenance.
- Mettre en place la GMAO.
- Sauvegarder et générer automatiquement les rapports d'analyse.
- Optimiser les mouvements et les déplacements de l'opérateur.
- Réduire le temps de changement d'outil.
- Définir et contrôler la procédure de production (désassemblage, remplacement, changement d'outil, assemblage...).
- Standardiser et simplifier l'accès aux machines.
- Identifier la cause racine réelle de chaque panne, défaut... (définir les causes liées au 5M).
- Définir une check liste claire pour l'entretien de chaque équipement.
- Contrôler la qualité des pièces de rechange achetées.
- Implémenter le Poka Yoke.
- Profiter des années d'expérience du personnel (retour d'expérience).

D. Phase 4 : Expérimenter le model dans un cas industriel

1) Cartographie des processus et des activités clés du département de production et de maintenance

Toute entreprise dispose de ressources matérielles et immatérielles. Malgré que les ressources immatérielles sont d'une importance capitale et doivent être étudiées, nous nous intéresserons dans notre étude aux ressources matérielles. En effet, près de 90% du budget de l'entreprise est investi au niveau des équipements et ces équipements sont principalement exploités par la fonction production et la fonction maintenance. C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés à ces deux fonctions.

a) Département production

La figure 6 présente une cartographie générale de l'entreprise en se focalisant sur le département production. Dans cette figure, les processus, sous-processus de la production ont été développés. Cette cartographie nous permet de déterminer l'ensemble des activités liées à la cette fonction.

A partir de là, nous serons en mesure de déterminer la valeur ajoutée (ou la non valeur ajoutée) de chaque activité puis de définir les sources de gaspillages (précédemment développés) que connaît l'entreprise. Ainsi, les outils Lean Manufacturing et les actions d'amélioration proposées adéquates pourront être mis en œuvre.

b) Département maintenance

De même, la figure 7 présente une cartographie de l'entreprise en se focalisant sur le département maintenance où les activités de la maintenance ont été listées.

Comme pour la fonction production, à partir de cette cartographie, nous serons en mesure de déterminer les activités qui apportent de la valeur ou la non valeur ajoutée puis de définir les sources de gaspillages liées à la maintenance et de déployer les outils Lean Maintenance et les actions d'amélioration proposées adéquates.

2) Implémentation des actions

Cette étape est en cours de réalisation et fera l'objet du prochain article.

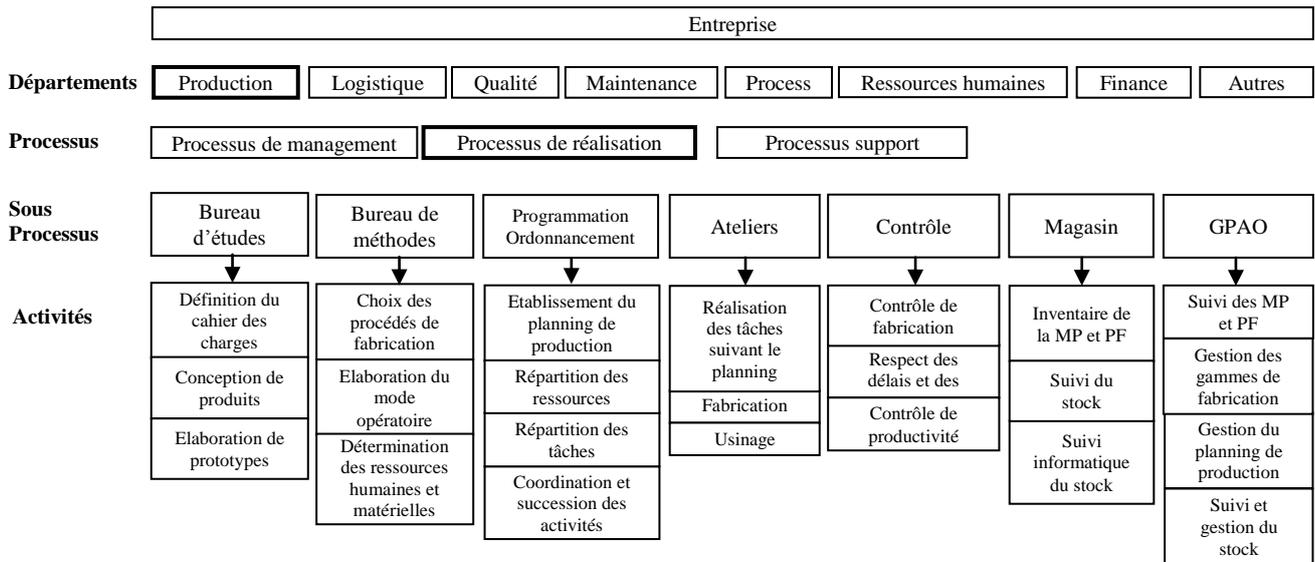


Fig. 6. Cartographie des processus de production

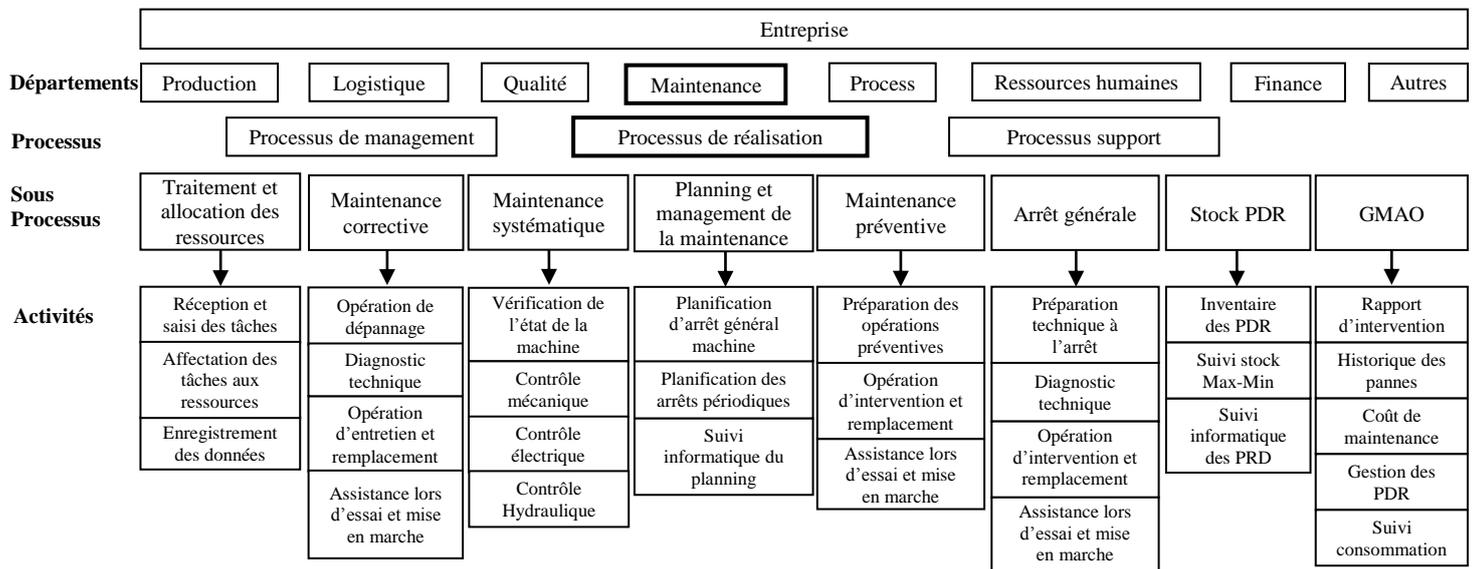


Fig. 7. Cartographie des processus de maintenance

Conclusion

En guise de conclusion, l'étude réalisée a pour but de proposer une nouvelle approche d'amélioration de la performance des équipements de production basée sur la combinaison du Lean Manufacturing et le Lean Maintenance.

En effet, le Lean Management contribue d'une façon importante à l'amélioration de la productivité et ainsi à avoir un bon niveau de performance en se basant sur la chasse aux gaspillages.

Cette approche peut être utilisée par tous les ingénieurs de production, de maintenance et chercheurs impliqués dans la problématique du processus de production et de maintenance.

Comme perspectives, nous envisageons tout d'abord d'approfondir les réflexions théoriques sur la thématique du Lean et plus spécialement du Lean maintenance, qui est peu traitée par les travaux de recherche, puis de valider les approches proposées à travers une étude de cas industrielle afin de montrer la pertinence de la méthode proposée.

Bibliographie

- [1] J. Drew, Mc. B. Callum, et S. Roggenhofer, "Objectifs Lean", Eyrolles 2004.
- [2] B.J. Hicks, "Lean information management: Understanding and eliminating waste", International Journal of Information Management, Vol. 27, No. 4, 2007, pp. 233-249.
- [3] P. Achanga, E. Shehab, R. Roy, et G. Nelder, "Critical success factors for lean implementation within SMEs", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 17, No. 4, 2006, pp. 460-471.
- [4] P.J. Womack, et T.J. Jones, "Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Organisation", Free Press, New York, 1996.
- [5] T. Ohno, "Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production", Productivity Press, 1988.
- [6] J. Liker, "The Toyota Way", McGraw-Hill, 2006.
- [7] J. Kilpatrick, "Lean principles", Utah manufacturing Extension Partnership, 2003.
- [8] M. R. Enaghani, M. R. Arashpour, et M. Karimi, "The Relationship between Lean and TPM", 2009.
- [9] R. Conti, J. Angelis, C. Cooper, B. Faragher, et C. Gill, "The effects of lean production on worker job stress", International Journal of Operations & Production Management, 2006.
- [10] S. Krafess, et A. Talbi, "Contribution à l'amélioration du niveau de performance des équipements de production", 2^{ème} édition du Congrès International du Génie Industriel et Management des Systèmes, 21-23 Mai, EST-Fès, 2015.
- [11] R. Germon, "Sécuriser le capital immatériel des petites et moyennes entreprises : vers un outil d'aide à la décision", thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 2013.
- [12] J. Lin, "Cartographie des processus et certification de processus de fabrication", rapport de stage, Université de Technologie Compiègne, 2012.
- [13] D. Breakey, J. Sammons, B. Dearth, et T. Wainikka, "Les principes de la démarche en Production à Valeur Ajoutée (PVA) – outils et techniques", North America's Largest Lean Manufacturing Conference, 2003.
- [14] R. Smith, et B. Hawkins, "Lean Maintenance : reduce costs, improve quality, and increase market share", Elsevier, 2004.
- [15] R. Smith, "What Is Lean Maintenance", 2004.
- [16] J. Levitt, "Lean maintenance", Industrial Press, 2008.
- [17] J. Huang, Y. Bian, et W. Cai, "Weapon Equipment Lean Maintenance Strategy Research", 2012.
- [18] B. Lyonnet, "Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc", thèse de doctorat, Université de Savoie, 2010.
- [19] N. Baluch, A. Che Sobry, et S. Mohtar, "TPM and lean maintenance – a critical review", interdisciplinary journal of contemporary research in business, Vol. 4, No. 2, 2012, pp. 852-857.
- [20] J. Womack, et D. Jones, "System Lean : Penser l'entreprise au plus juste", Village mondial, 2^{ème} édition, Paris, 2005.
- [21] J. Liker, "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's greatest Manufacturers", McGraw-Hill, New York, 2004.
- [22] T. Hanlon, "Lean Maintenance Lubrication-Focused", 2002.

