

Une approche pour un Lean Mining Responsable: mise en œuvre sur la chaîne logistique de l'OCP

Ahlam AZZAMOURI¹, Pierre FENIES², Frédéric FONTANE³,

¹EMINES School of Industrial Management,

Université Mohammed VI- Polytechnique, BenGuerir, Maroc,

²Chaire OCP de Lean mining de l'EMINES School of Industrial Management,

Université Mohammed VI- Polytechnique, BenGuerir, Maroc,

Université Paris Ouest Nanterre la Défense

³ Chaire OCP de Lean mining de l'EMINES School of Industrial Management,

Université Mohammed VI- Polytechnique, BenGuerir, Maroc,

Mines-Paris-Tech.

{Ahlam.AZZAMOURI@emines.um6p.org, pierre.fenies@u-paris10.fr,
frederic.fontane@mines-paristech.fr}

Résumé. Afin de répondre à la fois à la croissance industrielle et aux exigences environnementales, nous avons développé dans cet article une approche pour un Lean Mining Responsable qui s'intéresse à la réduction des gaspillages et des consommations énergétiques. Cette approche se focalise sur la formalisation et l'évaluation des processus logistiques. Cette méthode et sa mise en œuvre sur la chaîne logistique de l'OCP constituent un guide pour les organisations souhaitant s'inscrire dans une démarche de Lean Mining Responsable (LMR).

Mots clé: Lean Mining Responsable, chaîne logistique minière, stock, consommation énergétique.

1 Introduction

Le Lean Management a vu le jour grâce aux deux chercheurs américains Womack et Jones (1996). Ces chercheurs ont entrepris une étude comparative approfondie d'entreprises du secteur automobile en s'intéressant à leurs modes de fonctionnement et d'organisation. Ils ont déduit de leurs études une démarche intitulée Lean Management qui vise la recherche de la performance par la suppression de tous les gaspillages, le superflu, les excès et la variabilité, en s'appuyant avant tout sur l'implication de toute la hiérarchie. Pour une implantation réussie de cette approche, il ne faut pas copier les méthodes et les techniques Lean et les appliquer au sein d'une organisation, mais bien les contextualiser.

Les industries minières sont caractérisées par un processus de production continu et un environnement de travail fortement variable. Cette variabilité du contexte se traduit par une forte consommation énergétique ainsi qu'un impact très fort sur les milieux naturels aux alentours. C'est pourquoi les entreprises minières hésitent à appliquer l'approche Lean. Dans une époque où le bilan carbone est délicat à réaliser, et où la recherche de la réduction de la consommation des ressources est appréciée, cet article développe une méthodologie pour un LMR avec une illustration sur le terrain de l'industrie d'extraction du phosphate de l'OCP SA.

Nous discuterons tout d'abord de l'approche Lean en contexte minier (§2), puis nous proposerons une définition du LMR, d'une grille d'analyse de ses outils et d'une méthodologie de mise en œuvre (§3). Enfin, nous aborderons la mise en œuvre de la méthodologie LMR à l'OCP SA (§4) avant de conclure (§5).

2 Contextualisation du Lean Management dans l'industrie minière

Le Lean Management est un ensemble de principes organisationnels visant à atteindre une situation meilleure que la situation actuelle en termes d'efficacité et d'efficience, en se basant sur les moyens matériels et humains les plus justes possibles. Le Lean est caractérisé par cinq principes fondamentaux qui représentent les piliers de cette approche et d'un ensemble d'outils qui permettent d'améliorer le fonctionnement de l'entreprise suivant l'impact de chaque outil

(§2.1). Une caractérisation du Lean au sein de la mine est une étape primordiale au début de ce travail afin de contextualiser la problématique traitée (§2.2). Afin de positionner l'apport de cet article il est nécessaire de faire une analyse des recherches effectuées dans le secteur minier en contexte du Lean Management (§2.3). En outre, il est intéressant d'élaborer une comparaison entre la chaîne logistique minière et celle de la production de masse afin de détecter l'ensemble des différences qui existent entre ces deux environnements.

2.1 Principes du Lean Management

Le Lean Management se base sur cinq principes fondamentaux (Womack et Jones, 1996):

- **Définition de la valeur du point de vue du client:** le fondement de ce principe est d'identifier la valeur perçue par le client final en termes de caractéristiques les plus importantes et d'analyser l'adéquation du mix produit de l'organisation au marché. La complexité de ce principe, qui combine des notions de marketing avec des notions d'organisation industrielle conduit souvent à avoir des perceptions contradictoires de valeur entre différents segments de marché et même à l'intérieur d'un segment. L'incapacité à identifier exactement la valeur pourrait avoir comme conséquence des opérations potentiellement inefficaces et surtout la mise en place d'un système de production qui ne répond pas à la dynamique concurrentielle.
- **Identification de la chaîne de valeur:** il s'agit d'identifier l'ensemble des activités à travers toutes les parties de l'organisation qui fournissent de la valeur au client afin de souligner les activités qui n'ajoutent pas ou peu de valeur au processus.
- **Création d'un flux sans perte :** ce principe se concentre sur la conception d'un processus et l'établissement des capacités qui permettent un mouvement continu dans tout le processus sans une interruption, détour ou attente en éliminant les gaspillages.
- **Tirer la production :** il s'agit de conduire les opérations de production de manière à ce que les chaînes logistiques répondent à la demande sans surproduction ou sans stock excessif. On cherche ainsi à garantir qu'aucune activité n'est effectuée avant qu'elle ne soit exigée par une opération aval.
- **Recherche de la perfection :** l'élimination des éléments de non-valeur ajoutée est un processus d'amélioration continue qui doit être ancré dans une démarche constante pour améliorer les spécifications de valeur et éliminer les pertes.

L'implantation du Lean Management au sein d'une entreprise se base sur une boîte à outils qui permettrait d'améliorer l'efficacité et l'efficience de la chaîne logistique. Le tableau 1 présente par objectif les outils du Lean Management, leurs définitions ainsi que leurs impacts.

Tableau 1: Définition et impact des outils du Lean Management.

Objectif d'utilisation	Outil mobilisé	Définition	Impact
Identification de la chaîne de valeur (Processus)	Value Stream Mapping (VSM)	La VSM est une technique qui permet d'analyser et de concevoir les flux matériels et informationnels requis pour fabriquer un produit (Frantin, E., 2012). Elle permet de discriminer les tâches à valeur ajoutée des tâches à non-valeur ajoutée et d'éliminer les gaspillages.	Détecter et éliminer les gaspillages
	Standardisation des processus	Déclarer la bonne pratique d'accomplir un travail (Yingling et al., 2000), afin d'exécuter la tâche avec les bonnes pratiques en affectant le même poste de travail à une autre personne	Réduire la variabilité des processus
Création d'un flux sans perte (Processus)	Total Productive Maintenance (TPM)	Système global de maintenance productive est une philosophie qui tend à faire coopérer le technicien de maintenance et l'opérateur, où ce dernier effectue une maintenance autonome (Wijaya et al., 2009).	Réduire les arrêts des machines
	Single Minute Change of Die (SMED)	Méthode d'organisation pour réduire de façon systématique le temps de changement de série avec un objectif quantifié (Yingling et al., 2000).	Réduire le temps de changement de série
	5S	5S concernent la propreté, l'organisation et l'accessibilité du lieu de travail (Wijaya et al., 2009). Les 5 mots japonais	Assurer un lieu de travail organisé et accessible

		signifient: Ordonner, Ranger, Dépoussiérer, Rendre évident, Être rigoureux.	
	Management visuel (MV)	Il permet de rendre visible l'évolution de la maintenance et de la production par tout le monde (Dunstan et al., 2006) .	Rendre visible l'évolution de la performance
	Jidoka	Le Jidoka est le synonyme de la qualité. Il interdit de laisser passer un produit s'il ne répond pas aux spécifications du client (Dunstan et al., 2006). En cas de problème, la machine s'arrête automatiquement en activant un signe qui alertera l'ouvrier chargé de la maintenance.	Arrêter automatiquement le travail suite à une anomalie
Tirer la production (Performance)	Kanban	Une gestion Kanban se matérialise par un circuit de containers et d'étiquettes entre postes avals et postes amonts. L'objectif du Kanban est de piloter la production et d'éliminer le stock inutile (Helman, 2012).	Contrôler l'inventaire et éliminer les stocks inutiles
	Heijunka	L'objectif de Heijunka est d'atteindre le même niveau de production chaque jour, ce qui est possible grâce à une combinaison habile de production et de commandes (Helman, 2012).	Lisser et rendre la production régulière
	Juste à temps (JAT)	JAT est un système de contrôle de production pour produire la quantité exacte de produit nécessaire au moment où elle est nécessaire. L'objectif du JAT est d'assurer l'équilibre et la synchronisation entre la quantité produite et la demande en éliminant la surproduction (Yingling et al., 2000).	Réduire les stocks
Recherche de la perfection (Personne)	Implication de l'être humain	Encourager toute la hiérarchie pour contribuer dans l'analyse des problèmes, la recherche des solutions et de la mise en œuvre des améliorations (Hattingh et Keys, 2010).	Atteindre les objectifs de l'entreprise

2.2 Caractérisation du Lean Mining

Le Lean Management a fait une révolution dans le secteur industriel suite aux gains potentiels qu'il a apporté à l'entreprise japonaise. Durant les 30 dernières années, il a été appliqué dans différents secteurs et il a commencé à pénétrer même dans le secteur minier. La question qui se pose : pourquoi la mine a intérêt également à appliquer le Lean?

La chaîne logistique minière est composée de deux types de processus: un processus d'extraction du minerai et un processus de traitement pour avoir un produit semi-fini ou fini. Chaque processus est caractérisé par un ensemble d'opérations qui consomment des ressources matérielles et immatérielles différentes. Une mauvaise gestion de ces ressources peut mener à une augmentation des coûts de production. Or, un large consensus s'opère pour affirmer que la demande mondiale en ressources minérales continuera à croître dans les années à venir, en s'appuyant notamment sur la dynamique de développement de nouveaux pays industrialisés. Ceci crée une concurrence accrue entre les industries minières où chacune cherchera à réduire ses coûts et améliorer sa part de marché. Par ailleurs, la réduction de ces coûts ne peut être aboutie qu'à partir d'une élimination des activités de non-valeur ajoutée qui représentent des gaspillages colossaux (ressources naturelles gaspillées, matières premières consommées..) à travers la chaîne. C'est ainsi que nous avons proposé une approche nommée «Lean Mining ». Cette notion est une extension du Lean Management qui est normalement connu par sa mise en œuvre au sein des CL de production de masse. Le Lean Mining se focalisera sur la CL minière pour exploiter mieux les ressources naturelles avec moins de ressources matérielles consommées.

Dans le but d'analyser les recherches menées dans ce sujet et de pouvoir évaluer leurs limites, ainsi que l'apport de notre article par rapport aux autres, il s'avère intéressant d'effectuer une revue de la littérature.

2.3 Lean Mining : une revue de la littérature

Durant l'élaboration de notre recherche bibliographique, nous nous sommes basés sur le couplage des mots suivants: « Mining industry », « Lean mining », « Lean in mining sector », « Lean in mining industry », « Lean manufacturing », « Lean in process industry » comme étant les clés de

notre recherche effectuée sur des bases de données intéressantes. Nous avons analysé 12 articles qui apparaissent les plus intéressants traitant du Lean au sein des industries minières.

Yingling et al. (2000) montrent que l'analyse de la valeur, la standardisation, la qualité à la source, la TPM, la flexibilité de la main-d'œuvre, les techniques de réduction du temps de lancement et l'approche d'amélioration continue peuvent être directement appliquées à la mine. Par contre, les techniques de gestion de flux ne peuvent pas être transférées des industries manufacturières à la mine. L'implantation du Lean est difficile et nécessite du temps, de l'implication du top management, ainsi que des investissements dans la formation. Selon Wijaya et al. (2009) l'application des principes du Lean n'est pas seulement une utilisation de ses outils mais un changement de culture. Cette approche consiste à appliquer le concept de l'efficacité globale de la production afin d'éliminer les gaspillages, d'augmenter la fiabilité opérationnelle et d'assurer une production de qualité avec un engagement de toute la hiérarchie. Helman (2012) confirme la faisabilité d'une méthodologie Lean Mining qui pourrait être utilisée pour accroître l'efficacité des ressources minières. Par ailleurs, les premières étapes de sa mise en œuvre devraient se focaliser sur l'analyse des processus miniers, afin de déterminer les outils qui répondront aux besoins de l'optimisation des processus d'exploitation minière.

L'importance du Lean a été abordée par Klippel et al. (2008) qui ont exposé la mise en œuvre du Lean dans les industries minières Fluorspar et Amethyst au Brésil, qui aurait eu un impact positif se manifestant par : la réduction des coûts, l'amélioration de la productivité et de la qualité de l'environnement du travail, ainsi que par la réduction des attentes.

Ade et Deshpand (2012) analysent les problèmes rencontrés au niveau des outillages utilisés au sein d'une industrie d'extraction de charbon, ainsi que les actions mises en œuvre qui ont permis d'éliminer les activités inutiles, d'augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources avec : moins d'outillages et une amélioration de la productivité. En se basant sur deux approches appliquées dans la mine de charbon, Hattingh et Keys (2010) montrent que l'amélioration de l'efficacité opérationnelle au sein de la mine doit se baser sur l'intégration du génie industriel comme une discipline de formalisation des liens entre les opérations minières, la résolution structurée des problèmes ainsi que l'engagement de toutes les parties prenantes de l'organisation.

D'après les résultats d'un questionnaire administré par Mahapatra Mohanty (2007), les managers confirment la possibilité d'application du Lean au secteur minier ainsi que son impact positif sur la chaîne logistique. Muduli et al. (2012) prouvent que les obstacles d'implantation du Lean Management au sein des mines d'extraction du minerai de fer en Inde (Odisha et India) sont dus au manque d'information, au manque d'une pression de la société, et sont liés aux contraintes de capacité des entreprises.

Dunstan et al., (2006) examinent l'application du Lean au secteur minier en se basant sur l'expérience des entités de Rio Tinto. Ces groupes ont atteint des résultats importants en appliquant une centralisation des informations, les 5S, le facteur visuel et la TPM.

Melton (2005) montre que la communication, l'élaboration d'une chaîne de valeur, l'introduction du Kanban et du management visuel permettent de réduire le temps de cycle, d'augmenter la précision dans la demande client (livraison et qualité), de réduire le stock, de mettre fin aux barrières fonctionnelles en plus de développer les indicateurs de performance. Rosienkiewicz propose un algorithme qui permet de structurer la façon avec laquelle il faut procéder pour collecter les données, les informations et les mesures dans le secteur minier afin de tracer une cartographie des flux. Abdullah (2003) a présenté dans sa thèse une taxonomie des industries de processus et localisé le moment de la discrétisation du processus. Ensuite il s'agissait de cartographier l'état actuel. Afin de quantifier les résultats obtenus en utilisant les outils du Lean, un modèle de simulation a été utilisé afin d'améliorer la VSM élaborée et d'évaluer la carte future des flux.

Afin de positionner notre article par rapport à ce qui existe dans la littérature, nous avons utilisé une grille organisée selon les principes et les outils du Lean avec l'intégration d'un critère de réduction des consommations énergétiques en vue de pouvoir construire un Lean Mining plus Responsable. Cette analyse est résumée dans le tableau 2.

Tableau 2: Grille de synthèse des articles.

N° article	Principes du Lean					Outils du Lean											Dimension énergétique	Mise en oeuvre sur le terrain
	Définition de la valeur du point de vue du client	Identification de la chaîne de valeur	Création d'un flux sans perte	Tirer la production	Recherche de la perfection	Standardisation	TPM	SMED	VSM	5S	Management visuel	Jidoka	Kanban	Heijunka	Juste à temps	Implication de l'être humain		
2	X	X	X	X	X	X	X	X				X			X	X		
3	X	X	X			X	X			X	X				X	X		
4			X				X			X			X	X	X	X		
5	X	X	X														X	
6		X	X													X	X	
7		X	X			X										X	X	
8	X				X	X	X		X			X	X			X		
9		X	X			X	X			X	X	X			X	X	X	
10																X	X	
11	X	X	X	X	X					X	X		X			X		
12	X	X	X						X									
13	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Nous	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Nous pouvons constater clairement à partir de cette grille que notre article traitera l'ensemble des aspects du Lean mining en termes des principes et d'adaptation de ses outils. En plus de ceci, il permettra de faire un focus sur l'analyse d'aspect énergétique qui est un axe primordial pour la mine avec une étude pratique sur le terrain de l'OCP.

Suite à notre revue de la littérature, nous avons constaté que beaucoup d'entreprises dans diverses industries ont mis en œuvre certains des principes du Lean dont l'objectif est de reproduire le succès de Toyota, mais seulement quelques-unes ont atteint les améliorations spectaculaires obtenues par Toyota Wijaya et al. (2009) [3]. Par ailleurs, il est intéressant d'exploiter les outils du Lean à condition de les adapter selon l'environnement minier et donc de les contextualiser à cet environnement.

Dans le cadre de l'identification des caractéristiques de l'environnement d'application du Lean Management au sein du secteur minier, nous avons effectué une comparaison entre la chaîne logistique (CL) de production de masse et la chaîne logistique minière. Le tableau 3 résume la différence qui existe entre ces deux types d'environnements.

Tableau 3: Comparaison entre CL de production de masse et CL minière.

Comparaison des spécificités entre CL de production de masse et minière		
	CL de production de masse	CL minière
Typologie des flux	Tirés	Poussés
Type de production	Discrète	Continue
Conditions d'opération	Maîtrisées	Instables/variables
Environnement de travail	Fixe	Variable
Menace de production	Pas de menace	Risques géologiques
Disponibilité des ressources (flux-maître)	Maîtrisée	Volatilité importante
Dispersion des opérations	Réduite	Dispersion importante
Type de clients	Particuliers / industriels	Industriels

Nous constatons à partir du tableau 3 que les deux environnements sont fortement différents et l'instabilité des conditions minières rend l'application du Lean difficile. Cependant les deux industries partagent les mêmes objectifs tel que:

- Une chaîne de valeur efficace,
- Une chaîne de production tendue (extraire que ce qui est nécessaire dans un contexte de raréfaction de la ressource minière),
- Une conscience de l'importance de la sécurité au travail.

A partir de la revue de la littérature, nous constatons qu'il existe peu de recherches traitant d'une façon profonde et complète l'application du Lean au secteur minier, en plus d'un manque de focus

sur la réduction des consommations énergétiques. En effet, les entreprises minières cherchent à augmenter leur productivité et leurs parts de marché sans tenir compte de l'impact environnemental. Afin d'améliorer la productivité, l'efficacité et l'efficience du secteur minier sans détérioration de l'environnement, nous proposons dans cet article une nouvelle approche que nous définissons comme un « Lean Mining Responsable ». Cette démarche a comme objectif de construire une méthode permettant de réduire les gaspillages et la consommation des ressources critiques et non critiques dans les industries minières tout en évaluant l'impact de l'émission du CO₂ sur l'environnement que peuvent avoir leurs activités.

3 Définition d'une approche permettant un Lean Mining Responsable

Cette section consiste à caractériser l'approche Lean Mining Responsable (§3.1). Puis, il s'agit de présenter une grille d'analyse des outils LMR (§3.2), pour développer par la suite une méthodologie de sa mise œuvre (§3.3).

3.1 Définition du Lean Mining Responsable

Les activités minières sont les « coupables » dans l'épuisement et la détérioration des ressources naturelles, la génération des problèmes climatiques et des gaspillages, les émissions des gaz ainsi que la création des perturbations dans l'écosystème. En effet, les entreprises minières ont tendance à améliorer leurs activités de production sans tenir compte de l'impact environnemental. Ce type d'industrie a une grande responsabilité à l'égard des ressources naturelles, parce qu'elles doivent assurer, au cœur de leur stratégie, un compromis entre leurs objectifs de production industrielle et les exigences environnementales. De plus, par essence, leur production vise à exploiter une ressource finie. Dès lors, le cœur de métier de cette industrie suppose que l'exploitation du minerai doit être réalisée de manière responsable, en évitant le gaspillage de la ressource primaire. De plus, l'industrie minière consomme différents types d'énergie parfois de manière inappropriée engendrant des émissions de CO₂ plus fortes que nécessaire. Pour instaurer un management qui permet de répondre d'une part, aux objectifs de production de l'entreprise minière, par la réduction de ses charges et amélioration de son efficacité et efficience à partir de ce que nous avons appelé « Lean Mining » (§3.1) et d'autre part, prendre en compte l'impact environnemental et réduire par exemple l'émission de CO₂ ; nous avons développé une approche de « Lean Mining Responsable » (Figure 1) dont l'objectif est une exploitation raisonnée des ressources minières dans une logique de long terme.

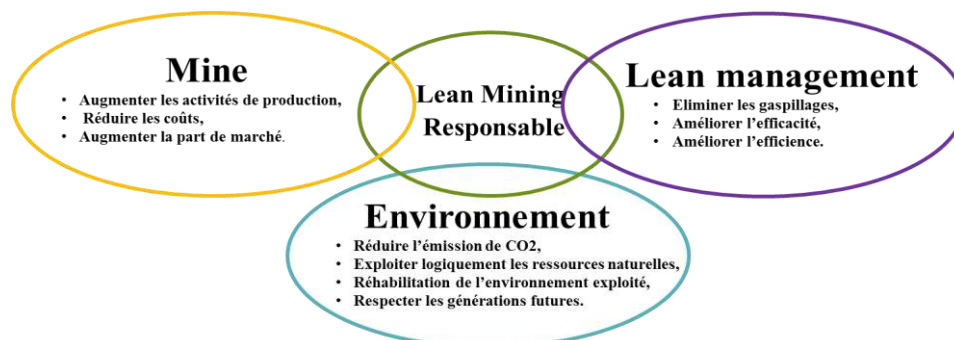


Figure 1: Lean Mining Responsable.

3.2 Grille d'analyse des outils Lean Mining Responsable

Cette section cherche à discuter d'une grille d'analyse des outils Lean et de leur contextualisation au secteur minier afin de proposer un ensemble cohérent d'outils pour un LMR. Après avoir montré l'originalité de l'approche LMR, nous présentons dans le tableau 4 le degré de difficulté de la mise en œuvre de chaque outil du Lean au sein du secteur minier. Nous exposons également

les freins de la réussite de cette implantation ainsi que les actions aidant à une adaptabilité de ces outils.

Tableau 4: Grille d'analyse des outils Lean Mining Responsable.

Boîte à outils du Lean	Est-il applicable à la mine	Freins d'application au sein de la mine	Actions d'adaptabilité pour la mine
Value Stream Mapping (VSM)	Applicable	-	Suivre une méthodologie englobant tous les facteurs entrant dans la production du minerai.
Standardisation des processus	Difficilement applicable	Taux de variabilité élevé	Standardiser les procédures de travail en prenant compte des conditions médianes et en excluant les points extrêmes
Total Productive Maintenance (TPM)	Applicable	-	-Faire un plan de maintenance pour chaque équipement d'extraction (Dragline, Sondeuse...), -Faire participer les opérateurs afin d'augmenter la réactivité et la fiabilité des équipements, -Créer une coopération entre l'opérateur et les responsables de maintenance.
Single Minute Change of Die (SMED)	Applicable	-	-Faire un ordonnancement des commandes qui réduit le nombre de changement de qualité, -Prévoir à l'avance les équipements nécessaires au changement de qualité, -Effectuer des réglages sur le terrain d'exploitation quand c'est possible au lieu de retourner aux ateliers.
5S	Non applicable dans le chantier d'extraction, applicable dans les ateliers	-	-Former la sous-traitance pour adopter les 5S, -Avoir des listes de contrôle appropriées, -5S doivent être appliquées dans tout type de stockage, ainsi que dans tous les ateliers qui possèdent des équipements ou matériels.
Management visuel (MV)	Applicable	-	-Schématiser et poster tous les indicateurs de performance ainsi que les objectifs à atteindre au cœur de chaque chantier, -Encourager le codage visuel afin de faciliter la détection des problèmes.
Jidoka	Applicable	Manque de conscience des opérateurs de l'impact d'enchaînement de la non-qualité	La machine doit être autonome et s'arrêter automatiquement suite à une anomalie survenue et alerte le responsable de la maintenance. Cette action confère une intelligence relative à la machine.
Kanban	Applicable mais avec des limites	-Volatilité de la production et de la demande, -Production en continu,	Le Kanban peut être utilisé pour gérer les stocks de minerai avec le concept de Kanban Géant. Par exemple quand deux hangars sont pleins on arrête l'extraction et quand on tombe à 0.5 hangars on recommence l'extraction.
Heijunka	Applicable mais avec des limites	-Volatilité de la production et de la demande, -Production en continu,	Heijunka peut être utilisé dans tous les endroits couverts par le Kanban.
Juste à temps (JAT)	Difficilement applicable	-L'emplacement distant des opérations, -Production en continu, -Aléas de production,	-Il faut personnaliser la méthode du JAT, -La mine peut appliquer le concept de JAT dans le processus de déploiement des pièces fournies par les fournisseurs pour la maintenance, -Le JAT peut être appliqué dans tous les entrepôts.
Implication de l'être humain	Applicable	-	-Sensibiliser le personnel de l'importance de la mise en œuvre des principes et outils du Lean, -Impliquer toute la hiérarchie dans cette mise en œuvre, - Assurer des conditions de sécurité.

Nous constatons que malgré la variabilité des degrés de difficulté d'application des outils du Lean au secteur minier, il existe un ensemble d'actions permettant d'adapter ces outils afin de profiter de leurs impacts positifs sur l'amélioration de la chaîne logistique minière.

3.3 Méthodologie de mise en œuvre du Lean Mining Responsable

Nous développons une méthodologie bien spécifique pour la mise en œuvre du LMR. Le schéma de la figure 2 définit l'ensemble des étapes à suivre par toute entreprise minière visant à appliquer cette nouvelle approche.

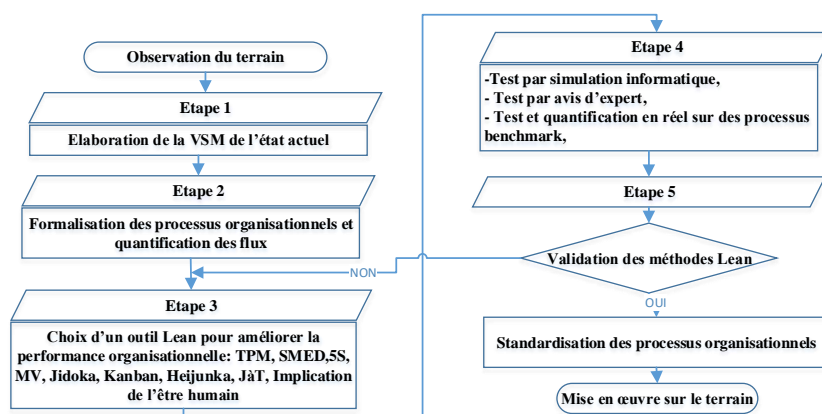


Figure 2: Méthodologie de mise en œuvre du LMR.

❖ Etape 1 : Elaboration de la VSM de l'état actuel

La première étape dans la mise en œuvre du LMR consiste à réaliser un diagnostic de l'état actuel à travers toute la chaîne logistique. Il s'agit dans cette phase, de schématiser le cheminement de l'ensemble des flux matériels et informationnels liant tous les processus. Ce cheminement allant de l'extraction du minerai à la production du produit fini, sur la base des observations sur le terrain. Cette cartographie permet de définir les activités de non-valeur ajoutée ainsi que la détection des gaspillages de tous les ordres dispersés dans la chaîne de valeur et de leurs sources. Un synoptique des étapes à suivre pour l'élaboration de cette cartographie au sein de la mine sera développé dans la section suivante.

❖ Etape 2 : Formalisation des processus organisationnels et quantification des flux

Les processus organisationnels représentent la colonne vertébrale de la chaîne logistique qui peut grandement augmenter la performance de l'entreprise. C'est pour cela que la recherche de l'identification des dysfonctionnements et de leurs causes au niveau de chaque processus doit prendre une forme dynamique. Par ailleurs, chaque processus doit être accompagné d'un ensemble d'indicateurs de performance qui peuvent servir comme miroir pour refléter la santé du processus. Cette étape consiste à formaliser chaque processus organisationnel (temps de cycle, taux de disponibilité, le débit,...) ainsi que quantifier chaque flux matériel (débit d'entrée, débit de sortie,...) et informationnel (nature, fréquence,...). Ensuite, il s'agit de les analyser afin de localiser les dysfonctionnements et les gaspillages empêchant d'avoir un mouvement continu sans rupture, détours ou attente à travers toute la chaîne logistique.

❖ Etape 3 : Choix d'un outil Lean pour améliorer la performance organisationnelle

Après avoir analysé les processus organisationnels formalisés et les flux quantifiés ; il s'agit par la suite de choisir, pour chaque problème, un outil de la boîte à outils qui est susceptible de lui apporter une solution et d'améliorer la performance de l'organisation.

❖ Etape 4 : Test

Une fois l'outil susceptible d'améliorer la performance de la chaîne est choisi, il s'agit de confirmer l'intérêt de son intégration. Pour ce faire, il s'avère intéressant de quantifier les résultats obtenus suite à l'intégration de chaque outil sur la chaîne logistique. Par ailleurs, nous avons proposé trois types d'évaluation de la mise en œuvre d'un outil :

-Test par simulation informatique: ce type d'évaluation se base sur une simulation par outil informatique permettant de se baser sur les exigences des processus de la chaîne et les données statistiques intégrées au début de la simulation pour présenter une vue dynamique de la chaîne logistique. En outre, elle permet de présenter les résultats obtenus, en termes d'impact sur l'efficacité et l'efficience de l'organisation, suite à l'intégration d'un outil déterminé et susceptible d'être simulé.

- Test par avis d'expert : ce type d'évaluation permet de tester l'impact de l'outil sur la résolution du problème détecté suite à l'expérience requise d'un expert du domaine. Cette

expérience pourra servir à définir les avantages et les inconvénients d'une telle intégration et de trancher par la suite dans sa mise en œuvre.

- **Test et quantification en réel sur des processus benchmark** : cette évaluation permet de tester l'impact de mise en œuvre d'un outil en faisant un benchmark sur des processus similaires.

❖ **Etape 5 : Validation et standardisation des processus organisationnels**

À partir des résultats obtenus par l'un ou tous les types de test effectués pour évaluer l'impact de la mise en œuvre d'un outil spécifique ; il s'agit dans cette étape de valider ou annuler l'intégration d'outil choisi. En cas d'annulation, il faut revenir à l'étape 3 pour choisir un autre outil qui pourra être plus pertinent que celui choisi. En cas de validation, il s'agit de standardiser les processus organisationnels en fonction de l'intégration de cet outil.

Cette méthodologie représente un guide de mise en œuvre du LMR présentant l'ensemble des étapes à suivre pour une implantation réussie de cette nouvelle approche. Cette méthodologie se base sur l'évaluation de l'impact de chaque outil pour en déduire par la suite le ou les outils les plus performants et pertinents à instaurer au sein de l'organisation.

4 Mise en œuvre de la méthodologie du LMR à l'OCP

Suite à une analyse du terrain nous avons constaté que l'OCP a intérêt à implanter notre nouvelle approche afin d'améliorer sa performance en termes d'efficacité et d'efficience. Afin d'illustrer la mise en œuvre de la méthodologie développée dans la section dernière (§3.3) nous présentons dans ce qui suit le travail effectué au sein de l'OCP.

❖ **Etape 1 : Elaboration de la VSM de l'état actuel**

L'environnement du travail d'une entreprise minière telle que l'OCP est très large et variable; ce qui rend l'observation et la prise des mesures très difficiles par rapport à une industrie de production de masse. C'est pour cette raison que la VSM traditionnelle élaborée pour les industries manufacturières, où l'environnement du travail est plus stable, reste limitée. Nous pouvons ajouter également que les VSM élaborées jusqu'à présent dans le secteur minier ne prennent pas en considération l'analyse de la consommation énergétique. Par ailleurs, nous développerons dans la figure 3 un synoptique d'analyse de la CL minière représentant l'ensemble des éléments qui doivent être mesurés dans la mine afin de schématiser une carte de l'état actuel qui nous permettra de détecter les gaspillages à éliminer et les ressources à réduire.

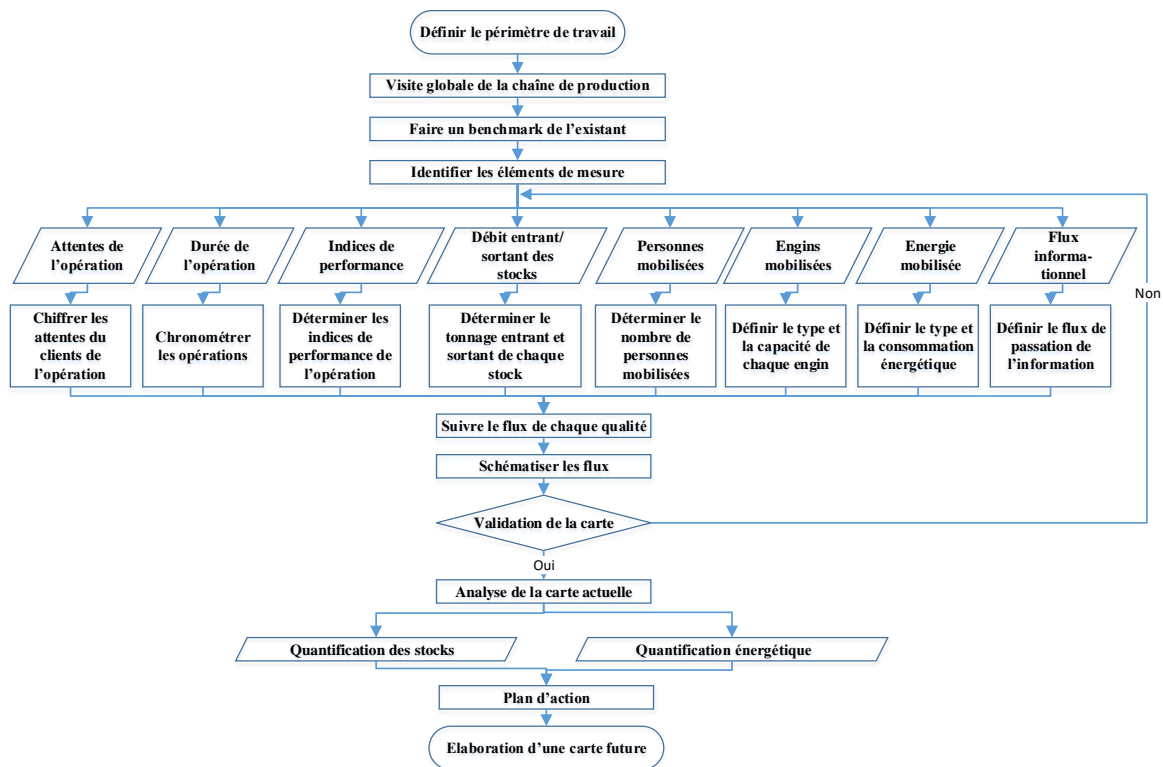


Figure 3: Synoptique d'application de la VSM à l'OCP.

❖ Etape 2 : Formalisation des processus organisationnels et quantification des flux

Cette étape consiste à analyser les processus organisationnels et l'ensemble des flux à travers l'organisation, afin d'identifier la source des gaspillages pour procéder à les éliminer. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés premièrement à la quantification des qualités en stock et deuxièmement à la quantification des consommations énergétiques, processus par processus et chantier par chantier. Le premier aspect consiste à instaurer une nouvelle vue pour la mine qui vise à réduire les stocks et éviter la surproduction qui consomme de la ressource naturelle. Tandis que la réduction des consommations énergétiques réduit à la fois les coûts et l'emprunt carbone de l'entreprise minière.

- **Quantification et analyse des stocks**

La production au sein de cette industrie minière est principalement à flux poussés mais en bout de chaîne (engrais...) à flux tirés (production à la commande). Afin de remédier aux variations de l'environnement et de la demande, les entreprises minières ont tendance à construire des stocks gigantesques. Dans le but d'intégrer la notion de réduction des stocks dans l'industrie minière et de tendre les flux, nous avons procédé à la quantification de l'alimentation et des prélèvements au niveau de chaque stock, afin de définir un niveau optimal de stock empêchant la rupture et permettant de produire juste ce qui est demandé. La figure 4 représente la démarche suivie.

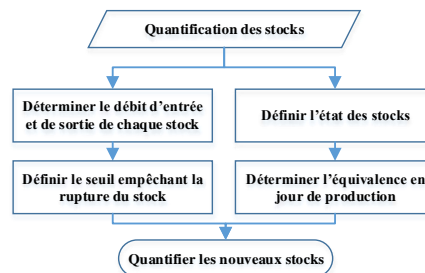


Figure 4: Méthodologie de quantification et d'analyse des stocks.

- **Quantification et analyse énergétique**

Le Lean vise à réduire la consommation de toutes les ressources afin de produire plus, mais la plupart des applications du Lean au secteur minier ne prennent pas en considération l'aspect énergétique. Par ailleurs, les installations d'extraction et de traitement de minerai consomment différents types d'énergie : électricité, eau, gasoil, fuel, gaz naturel, qui représentent un pourcentage important des coûts d'exploitation minière. Cette consommation énergétique importante augmente fortement les charges financières de l'entreprise et contribue également à détériorer l'environnement. L'OCP cherche à s'inscrire dans le cadre du développement responsable a donc intérêt à réduire la consommation des ressources énergétiques pour réduire ses coûts et ses émissions du CO₂. Pour ce faire, nous avons suivi la démarche présentée dans la figure 5 qui permettra d'assurer un LMR.

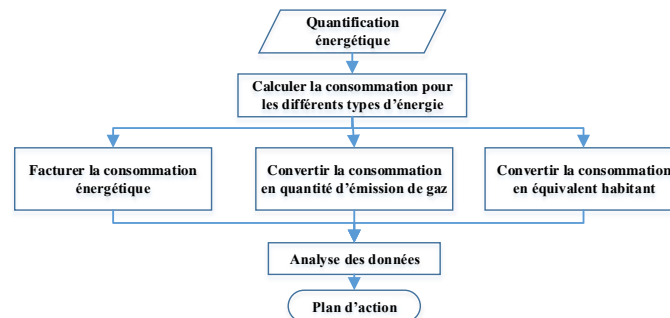


Figure 5: Méthodologie de l'analyse énergétique.

Les mesures des consommations énergétiques au niveau de chaque atelier et installation ont été converties en termes d'émission de gaz et d'équivalent d'habitants afin de chiffrer le niveau de la consommation énergétique. Par la suite, cette quantification permettra de baisser la consommation énergétique afin de réduire l'émission de CO₂.

❖ **Étape 3, 4 et 5**

Ces étapes sont en cours de traitement à l'OCP, chaîne logistique axe centre composée de 3 sites : Ben-Guérir, Youssoufia et Safi servant de terrain d'expérimentation. Cette chaîne est alimentée par 3 mines d'extraction et plusieurs sous-traitants participant activement à ce processus d'amélioration qui porte sur plusieurs régions et plusieurs milliers de personnes.

5 Conclusion

Nous constatons clairement à partir de cette étude que l'environnement du travail des entreprises minières est fortement différent de celui des entreprises manufacturières. Compte tenu des contraintes contextuelles, nous avons proposé une approche LMR qui permettra d'encourager en premier lieu les entreprises minières à le mettre en œuvre sans aucune hésitation grâce à l'exemple de l'OCP. En plus, nous présentons les actions d'adaptation des outils du LMR qui doivent être prises en compte. A ce stade, l'évaluation de l'impact de l'implantation de chaque outil sur l'organisation n'est pas prise en compte. Pour ce faire, nous envisageons de construire un ensemble d'outils et de méthodes centrées sur les techniques informatiques (simulation par

exemple) permettant de tester la faisabilité de l'approche LMR avant sa mise en place sur le terrain et de la concrétiser par une illustration du cas de l'OCP.

Références

1. Abdullah, F., (2003), Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel. Thèse de doctorat, Université de Pittsburgh.
2. Ade, E.M., Deshpand, V.S., (2012), Lean manufacturing and productivity improvement in coal mining industry. *International Journal of Engineering Research and Development*, vol 2, pp. 35–43.
3. Dunstan, K., Lavin, B., Sanford, R., (2006), The application of lean manufacturing in mining environment. *International Mine Management Conference*.
4. Frantin, E., (2012), La démarche Lean Méthode, exemples, simulations.
5. Hattingh, T.S., Keys, O.T., (2010), How applicable is industrial engineering in mining?. The 4th International Platinum Conference, Platinum in transition 'Boom or Bust', The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
6. Helman, J., (2012), Analysis of the potentials of adapting elements of Lean Methodology to the unstable conditions in the mining industry. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, pp. 151–157.
7. Klippel, A.F., Petter, C.O., Valle Antunes, JR. J.A., (2008), Lean management implementation in mining industries. *DYNA*, vol 75 n°154, pp. 81–89.
8. Mahapatra, S.S., Mohanty, S.R., (2007), Lean manufacturing in continuous process industry: an empirical study. *Journal of Scientific and Industrial Research*, vol 66, pp. 19-27.
9. Melton, T., (2005), The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, vol 83, pp. 662–673.
10. Muduli, K., Govindan, K., Barve, A., Geng, Y., (2012), Barriers to green supply chain management in Indian mining industries: a graph theoretic approach. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1–10.
11. Rosienkiewicz, M., (2012), Idea of adaptation value stream mapping method to the conditions of the mining industry. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, vol 36 n°3, pp. 301–307.
12. Wijaya, A., Kumar, R., Kumar, U., (2009), Implementing Lean Principle into Mining Industry Issues and Challenges. *International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*.
13. Womack, J.P., Jones, D.T., (1996), *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
14. Yingling, J.C., Detty, R.B., Sottile, J. Joseph., (2000), Lean Manufacturing Principles and their Applicability to the Mining Industry. *Mineral Resources Engineering*, vol 9 n°2, pp. 215-238.