

Chapitre III : Ordonnancement de la maintenance préventive des équipements de la section concassage

Introduction

Mieux vaut prévenir que guérir ! Adage qui s'applique non seulement chez les humains, mais chez les équipements industriels également. D'où l'objectif principal de ce chapitre qui est le traitement de notre sujet de projet de fin d'études, qui vise d'atteindre un ratio correctif-préventif de 30%-70%. En appliquant un planning d'actions préventives des équipements de concassage, tout en affectant les tâches, les ressources matérielles, les ressources humaines et le calcul des coûts de mise en place de cet ordonnancement sur le logiciel de gestion de projet MS-Projet avec le respect de plusieurs contraintes.

1. Problème d'ordonnancement :

‘Le problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînements, etc.) et de contraintes sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises par les tâches ‘ [3].

Dans notre cas de figure, nous sommes censés respecter un ensemble de contraintes imposées par le fonctionnement du système de maintenance.

Afin de mieux comprendre notre mission et notre livrable attendu à la fin du stage, nous avons jugé utile de modéliser notre sujet sous forme d'une boîte noire Figure III.1, ayant un élément d'entrée, un élément de sortie et des éléments perturbateurs ou autrement dit des contraintes à respecter par lesquelles nous sommes limités.

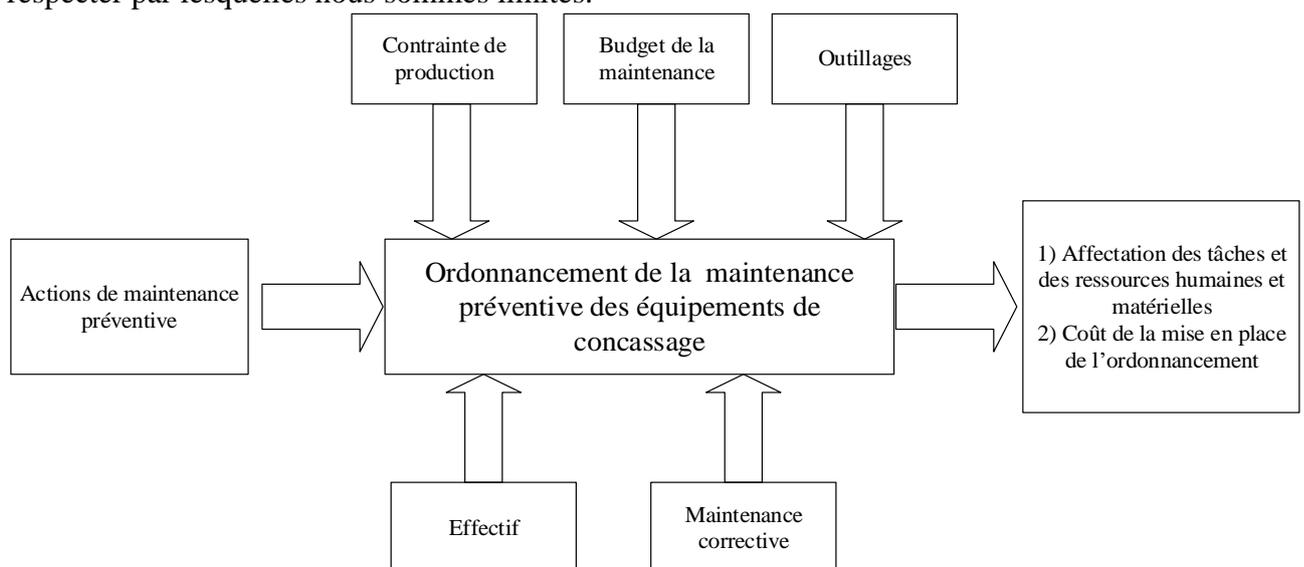


Figure III-1 : Les entrées-sorties de l'ordonnancement de la maintenance préventives des équipements du concassage

1.1 Les tâches ordonnancées :

Une tâche est une entité élémentaire de travail localisée dans le temps par une date de début t_i ou de fin c_i , dont la réalisation est caractérisée par une durée p_i (on a $c_i = t_i + p_i$) et par l'intensité a_i avec laquelle elle consomme certains moyens k , ou ressources. Pour simplifier, on supposera que pour chaque ressource requise, cette intensité est constante durant l'exécution de la tâche [Esquirol et al, 01].

1.2 Les ressources d'un ordonnancement :

Une ressource k est un moyen technique ou humain requis pour la réalisation d'une tâche et disponible en quantité limitée, sa capacité C_k (supposé constante) [3].

1.3 Les contraintes :

Les contraintes expriment des restrictions sur les valeurs que peuvent prendre certaines variables. On distingue deux types de contraintes : les contraintes temporelles et les contraintes de ressources [3].

1.4 Modélisation de l'ordonnancement de la maintenance :

L'ordonnancement de la maintenance a pour rôle de planifier la réalisation des tâches de maintenance sur les machines et équipements de la production, c'est-à-dire de fixer leurs dates de début et leurs dates de fin et de réunir tous les moyens prévus pour leur réalisation (machines, personnel, outils, pièces de rechanges, etc.) [3]. Il intervient chronologiquement entre la fonction 'Méthodes ' chargée d'initier les tâches en affectant une durée à un travail (temps alloué) et la fonction ' Réalisation'(ou lancement) chargée de mettre en œuvre l'intervention au moment choisi par l'ordonnancement. Les activités principales en ordonnancement de la maintenance sont la Programmation, le Lancement et l'Approvisionnement [9].

La programmation est l'action d'intégrer une tâche en attente sur un planning en lui choisissant des dates de début et de fin. L'activité de lancement a pour mission de rassembler tous les moyens nécessaires, à la réalisation d'une tâche de maintenance, pour assurer leur disponibilité au moment choisi. L'ordonnancement de la maintenance est également responsable de la disponibilité des ' consommables' et des pièces de rechange, donc d'assurer des approvisionnements nécessaires.

La notion d'ordre de travail de maintenance peut être rapprochée de celle d'opération de production et la notion de ressource de maintenance peut être rapprochée de celle de ressource de production. Le problème d'ordonnancement de la maintenance revient donc à un problème d'affectation de ressources de maintenance à la réalisation d'ordres de travail de maintenance sur des machines du système de production, les ressources de maintenances étant constituées des opérateurs de maintenance [10].

Parmi les méthodes utilisées pour modéliser l'ordonnancement de la maintenance, nous citons la méthode GANTT. Le diagramme de GANTT est un planning présentant une liste de tâches en colonne et en abscisse l'échelle de temps retenue. La mise en œuvre de technique de planification nécessite que les tâches soient identifiées, quantifiées en terme de délais, de charges ou de ressources et que la logique de l'ensemble des tâches ait été analysée.

Afin de mener à bien la réalisation de cet outil, il faut donc procéder comme suit :

- Déterminer et structurer la liste des tâches à réaliser.
- Estimer les durées et les ressources.
- Réaliser le réseau logique.
- Tracer le diagramme de GANTT.

La forme graphique de GANTT visualise la succession des tâches, chaque durée de tâche étant représentée par une barre dont la longueur est à l'échelle des temps.

1.5 Les objectifs de l'ordonnancement :

Les objectifs de l'ordonnancement de la maintenance peuvent être décomposés de manière hiérarchique en distinguant les objectifs internes et les objectifs externes (Figure III.2). Les objectifs internes concernent le fonctionnement propre du service de maintenance et les objectifs externes sont imposés par d'autres services (principalement la production).

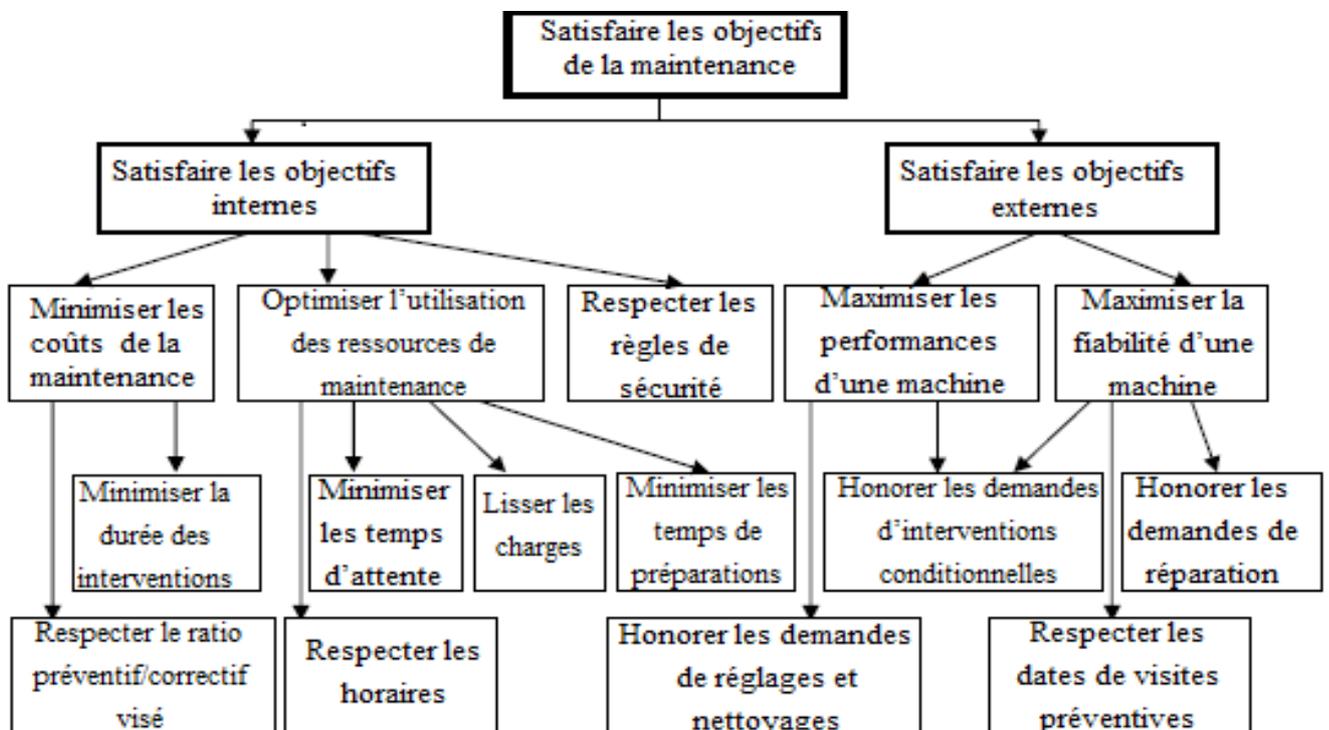


Figure III-2 : Structure des objectifs de l'ordonnancement de la maintenance [Coudert, 00]

2. La mise en place de l'ordonnancement de la maintenance préventive de l'usine de traitement –Section concassage :

2.1 Remontées de terrain :

Avant d'entamer le traitement de notre sujet, la première étape qui nous a été très bénéfique, était le suivi et la participation aux interventions de maintenance sur terrain, tout en essayant de lister à la fois l'ensemble des problèmes et des difficultés qui affrontent le staff des techniciens et opérateurs, ainsi que les sources de gaspillages de temps, bien évidemment, qui constitue l'axe principal de notre travail, sans oublier le rôle majeur qu'avait joué cette participation dans l'intégration et l'insertion facile avec le personnel et l'équipe de l'atelier mécanique.

Comme résultats de suivi, nous avons pu déceler un nombre considérable de constatations à savoir :

- Lourdeur de la procédure sortie magasin des pièces de rechanges
- Perte de temps dans la phase de préparation des interventions (Outillages, manutentions, disponibilité du matériel...)
- Surcharge de l'atelier de fabrication mécanique centrale qui couvre le besoin de tous les services de la mine (Fond, engins, usine de traitement ...)
- Manque des schémas et des dessins d'ensembles des pièces à confection local. En effet, pour pouvoir confectionner une pièce quelconque, il faut la déplacer à chaque fois à l'atelier de fabrication mécanique pour mesurer ses côtes, ce qui engendre une perte importante de temps.
- Longue distance entre l'atelier mécanique de l'usine de traitement et la section concassage.
- Effectif insuffisant de main d'œuvre

Dans la suite du rapport et dans le chapitre axes d'améliorations, nous allons dédier à chaque point cité avant une solution pouvant remédier au problème d'une façon directe.

2.2 Application de l'ordonnancement :

❖ Equipements concernés par l'ordonnancement :

La politique de la maintenance au niveau de la section concassage durant les dernières années était corrective à 70% sauf actions de graissages des équipements, équivalent à dire que les coûts de non production ainsi que les coûts directs de la maintenance constituent une part non négligeable des pertes financières de la SMI. Raison pour laquelle, il était important d'accorder un intérêt spécial à cette section qui constitue la partie la plus critique du processus de traitement de l'argent et qui subit un taux de pannes trop élevé, ce qui rend la ré-planification de ses actions de maintenance préventive, une tâche urgente et subtile.

D'où l'importance de notre sujet de projet de fin d'études, qui est l'ordonnancement des actions de maintenance préventives des équipements du concassage. C'est-à-dire la mise en place d'un plan de maintenance préventive de tous les équipements de cette section, ainsi que leurs affectations des tâches, des ressources humaines, ressources matérielles et optimisation des coûts de mise en exergue de cet ordonnancement.

Il faut mentionner également qu'il peut paraître optimale de converger vers une politique de maintenance préventive et de la privilégier à celle corrective en croyant, à tort, que cette maintenance préventive va supprimer totalement le risque de panne. En fait la maintenance préventive ne fait que "réduire la probabilité d'apparition d'une défaillance" (NF EN 13306).

Les équipements sur lesquels, s'appliquera notre planning de maintenance préventive sont :

Equipements	Fonction
C110B	Concasseur à mâchoire
BD, BD01, CA01, CB01, CB02, CB03, CB04, CB05, DA01, DA02, DB01, CA, BA, AD, AB	Convoyeurs
DET	Alimentateur du Concasseur à mâchoire
HP4	Broyeur à cône (concasseur à tête courte)
HP300	Broyeur à cône (Concasseur standard)
CN01, CN02	Cribles
CSB	Crible scalpeur

Tableau III-1: Les équipements pris en charge dans l'ordonnancement

❖ Etablissement des plannings et des actions préventives des équipements de concassage :

Elaborer un planning de maintenance préventive revient à lister et décrire toutes les opérations de maintenance préventive qui devront être effectuées sur chacun des organes d'un équipement. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance se fait en balayant chacun de ces organes et en tenant compte de son utilisation, de sa technologie, de son risque de défaillance et de son impact sur la production et sur la sécurité (humaine, produit fini et matérielle). L'affectation des opérations de visite ou de contrôle a donc pour objet la détection des dysfonctionnements pouvant intervenir sur chacun des organes d'un équipement, et les effets que ces dysfonctionnements pourraient induire.

Pour chaque organe, lors de l'affectation des opérations, on se pose la question «est-ce nécessaire et est-ce suffisant ? », et ce afin de conforter la réflexion.

Donc durant cette phase, notre mission était de se documenter sur les équipements de la section concassage, en collectant leurs dossiers de constructeurs, leurs catalogues et leurs historiques de

pannes, pour qu'à la fin pouvoir mettre une check -List des interventions préventives exclusive de chaque équipement, en commençant par les tours de terrains jusqu'aux actions préventives les plus délicates.

Dans le tableau ci-dessous (Tableau III.1) nous présentons les différentes catégories des interventions préventives élaborées en collaborations avec les responsables de la maintenance :

Actions	Equipements concernés
TDT (Tours de terrain journaliers)	Convoyeurs, C110B, CN01, CN02
Actions journalières	HP4, HP300
Actions hebdomadaires	Convoyeurs, C110B, CN01, CN02, HP4, HP300
Actions mensuelles	Convoyeurs, C110B, CN01, CN02, HP4, HP300
Actions Quadrimestrielle	HP4, HP300
Actions de graissage	Tous les équipements
Actions de lubrification	Tous les équipements
Actions de changement de blindage des goulottes	Convoyeurs, HP4, HP300, CN01, CN02, Sinex HP, Sinex intermédiaire, alimentateur

Tableau III-2 : Types des actions préventives programmées

Le détail des interventions préventives que nous avons établies, sera présenté dans Annexe III.3, avec l'outillage et l'effectif nécessaires à chaque action préventive.

En plus de la détermination des actions préventives, l'estimation des temps de chaque intervention était imminente, afin de pouvoir planifier par la suite le planning d'ordonnancement en prenant en considération les contraintes de production et l'effectif disponibles. En effet, nous avons programmé une séance de Brainstorming avec notre encadrant industriel, responsable de maintenance mécanique, ainsi qu'avec l'agent de maîtrise, chef de section concassage pour quantifier les temps des interventions nécessitant l'arrêt de production et les temps qui nécessitent pas d'arrêts.

Un extrait des estimations figure dans le tableau suivant et la suite se trouvera dans Annexe III.4:

Actions préventives	Effectif	Temps sans arrêt de production	Temps avec arrêt de production
TDT convoyeurs	1	0h	1h
TDT C110B	1	0h	1h
TDT CT01	1	0h	1h
TDT CT02	1	0h	1h
Journalière HP300	1	1h	15min
Journalière HP4	1	1h	15min
Hebdomadaire convoyeurs	2	4h	30 min
Hebdomadaire C110B	1	30 min	30 min
Hebdomadaire CT01	2	2h	1h
Hebdomadaire CT02	2	2h	1h
Hebdomadaire HP300	2	1h	1h
Hebdomadaire HP4	2	1h	1h
Mensuelle convoyeurs	2	0h	3h
Mensuelle pour C110B	1	30 min	30 min
Mensuelle pour CT01	2	2h	2h
Mensuelle pour CT02			
Mensuelle pour HP300	5	1h	4h
Mensuelle pour HP4			

Tableau III-3 : Extrait des estimations des temps d'interventions avec et sans arrêt de production.

❖ Contraintes de planification :

Avant de programmer les interventions préventives, il est primordial de lister l'ensemble des contraintes que nous devons prendre en considération pour ne pas pénaliser la production et la capacité des intervenants par une mauvaise planification.

➤ Capacité de l'atelier :

Effectif	-Deux agents de maîtrise -Trois opérateurs
Nombre d'heures de travail réel par jour	6 h
Temps disponible par semaine	30 h
Taux d'absentéisme (maladie, récupération, accident de travail...) par semaine	4 h
Capacité nette par semaine	26 h
Coût main d'œuvre par heure	88 MAD

Tableau III-4 : Capacité de l'atelier mécanique (section concassage)

➤ Contrainte de production :



Figure III-3 : La capacité de production de la section concassage et broyage

Le tonnage traité par le concasseur à mâchoire est de 250 t/h,

Le tonnage traité par le concassage secondaire est de 220 t/h,

La capacité du stock intermédiaire et des silos de stockage sont respectivement : 7000 t et 3000 t,

Donc pour pouvoir effectuer une action préventive il faut vérifier l'état des stocks c'est-à-dire qu'il faut calculer le temps nécessaire pour assurer une continuité de production au moment des interventions.

Pour ce faire, nous avons développé une application sous Visual Basic qui permet de calculer le temps nécessaire pour le remplissage des stocks et des silos tout en transformant la Figure III.3 en des équations mathématiques.

✓ Application de calcul de stocks et temps de remplissage :

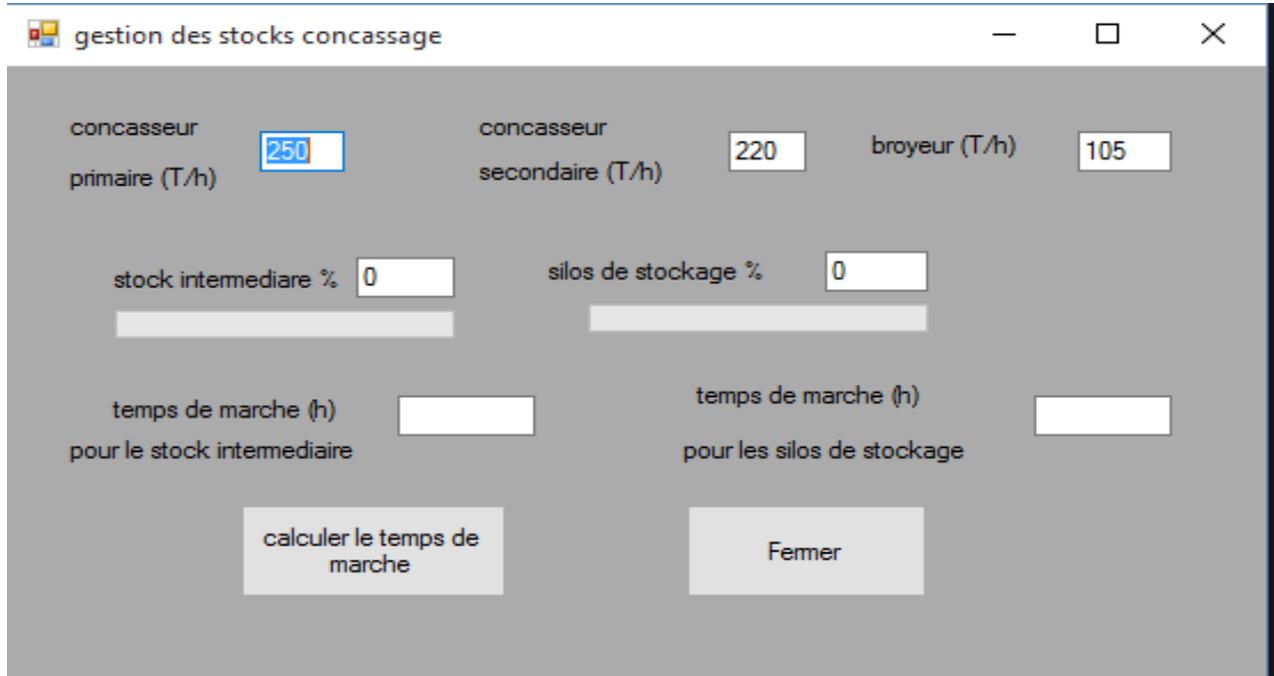


Figure III-4 : L'interface graphique de l'application de gestion des stocks concassage

Il suffit de fixer le débit de traitement de minerai du concasseur primaire et secondaire ainsi que le broyeur et puis introduire l'état actuel des stocks intermédiaires et les silos de stockage et

par la suite cliquer sur calculer le temps de marche. Puis les temps nécessaires au remplissage des stocks s'affichent.

gestion des stocks concassage

concasseur primaire (T/h) 250 concasseur secondaire (T/h) 220 broyeur (T/h) 105

stock intermediaire % 50 silos de stockage % 70

temps de marche (h) pour le stock intermediaire 30,34 temps de marche (h) pour les silos de stockage 7,83

calculer le temps de marche Fermer

Figure III-5 : Exemple d'illustration

❖ Planning des actions de maintenance préventive de la section concassage :

➤ Sous Excel :

Le planning proposé a été introduit dans un premier lieu sous Excel, sous forme d'un calendrier annuel (Annexe III.1) commençant à Mai 2016 et s'étale jusqu'au Avril 2017, il comporte les actions de chaque jour ainsi que les actions hebdomadaires, mensuelles, trimestrielles, quadrimestrielles, et annuelles de chacun des équipements déjà cités au début de ce chapitre.

Ci-dessous un extrait du calendrier programmé :

Lundi						
02-mai	Temps sans arrêt (h)	Temps avec arrêt (h)	Effectif (personne)	Heures Main d'œuvre	Temps arrêt primaire(h)	Temps arrêt secondaire(h)
Jour HP4	1	0,25	1	1,25	0	0,25
Jour HP300	1	0,25	1	1,25	0	0,25
TDT	0	1	1	1	0,25	0,75
Action hebdo pour C110	0,5	0,5	1	1	0,5	0
Somme	2,5	2	4	4,5	0,75	1,25

Tableau III-5 : Planning du premier Lundi de Mai 2016

Lundi						
08-août	Temps sans arrêt (h)	Temps avec arrêt (h)	Effectif (personne)	Heures main d'œuvre	Temps arrêt primaire(h)	Temps arrêt secondaire(h)
Jour HP4	1	0,25	1	1,25	0	0,25
Jour HP300	1	0,25	1	1,25	0	0,25
TDT	0	1	1	1	0,25	0,75
Action hebdo pour C110	0,5	0,5	1	1	0,5	0
Goulotte CONVOYEUR DA02	0	8	2	16	0	0
Somme	2,5	10	6	20,5	0,75	1,25

Tableau III-6 : Planning de Lundi 8 Aout 2016

Jeudi						
01-sept	Temps sans arrêt (h)	Temps avec arrêt (h)	Effectif (personne)	Heures main d'œuvre	Temps arrêt primaire	Temps arrêt secondaire
Jour HP4	1	0,25	1	1,25	0	0,25
Jour HP300	1	0,25	1	1,25	0	0,25
TDT	0	1	1	1	0,25	0,75
Action hebdo pour HP300	1	1	2	4	0	1
Action hebdo pour HP4	1	1	2	4	0	1
graissage convoyeurs BA, BD01	3	0	1	3	0	0
lubrification du REDUCTEUR TRANSLATION	0	2	1	2	0	0
Somme	7	5,5	9	16,5	0,25	3,25

Tableau III-7 : Planning du Jeudi 1 Septembre 2016

Dans une autre feuille Excel, nous avons programmé les charges de main d'œuvre théoriques et réelles journalières préventives de telle sorte à les calculer et les modifier d'une façon automatique en parallèle avec les changements effectués dans le calendrier.

$$\text{Charge main d'oeuvre réelle Journalière préventive} = \frac{\text{Heures de travail journalières préventive}}{26}$$

$$\text{Charge main d'oeuvre théorique Journalière préventive} = \frac{\text{Heures de travail journalières préventives}}{30}$$

Les tableaux suivants nous donnent un extrait du calcul du mois de Mai 2016 :

Semaines	Lundi	
	charge journalière MO théorique	charge journalière MO réelle
1 ^{ère} semaine de Mai	15,00%	17,31%
2 ^{ème} semaine de Mai	15,00%	17,31%
3 ^{ème} semaine de Mai	15,00%	17,31%
4 ^{ème} semaine de Mai	15,00%	17,31%
5 ^{ème} semaine de Mai	15,00%	17,31%

Tableau III-8 : Les charges main d'œuvre théorique et réelle des Lundi du mois Mai 2016

Semaines	Mardi	
	charge journalière MO théorique	charge journalière MO réelle
1 ^{ère} semaine de Mai	65,00%	75,00%
2 ^{ème} semaine de Mai	58,33%	67,31%
3 ^{ème} semaine de Mai	65,00%	75,00%
4 ^{ème} semaine de Mai	58,33%	67,31%
5 ^{ème} semaine de Mai	41,67%	48,08%

Tableau III-9 : Les charges main d'œuvre théorique et réelle des Mardi du mois Mai 2016

Semaines	Mercredi	
	charge journalière MO théorique	charge journalière MO réelle
1 ^{ère} semaine de Mai	38,33%	44,23%
2 ^{ème} semaine de Mai	15,00%	17,31%
3 ^{ème} semaine de Mai	38,33%	44,23%
4 ^{ème} semaine de Mai	111,67%	128,85%
5 ^{ème} semaine de Mai	0,00%	0,00%

Tableau III-10 : Les charges main d'œuvre théorique et réelle des Mercredi du mois Mai 2016

Nous constatons, clairement que la charge main d'œuvre journalière préventive du mois de Mai varie d'un jour à l'autre également pour les autres mois, chose évidente, car les actions préventives sont dispatchées d'une façon dépendante des périodicités des actions.

Pour résumer les résultats obtenus pendant chaque mois, nous avons établi un bilan global de toute l'année s'étalant de Mai 2016 jusqu'au Mai 2017 (Tableau III.11).

	Charge mensuelle théorique	Charge mensuelle réelle
Mois 5-2016	39,87%	46,01%
Mois 6-2016	75,51%	87,13%
Mois 7-2016	65,26%	75,30%
Mois 8-2016	46,73%	54,04%
Mois 9-2016	53,72%	63,90%
Mois 10-2016	61,03%	77,07%
Mois 11-2016	56,15%	64,92%
Mois 12-2016	47,96%	57,51%
Mois 1-2017	47,05%	54,29%
Mois 2-2017	69,17%	79,81%
Mois 3-2017	63,02%	73,55%
Mois 4-2016	40,60%	49,37%
Moyenne	55,51%	65,24%

Tableau III-11 : Bilan global annuel des charges mensuelles

➤ **Résultats :**

Nous remarquons, d'après les résultats annuels, que le pourcentage de la charge main d'œuvre préventive va passer d'ici le mois d'Avril 2017 à un pourcentage de 65%. C'est-à-dire que le taux de la maintenance préventive sera optimisé et amélioré par rapport aux années précédentes.

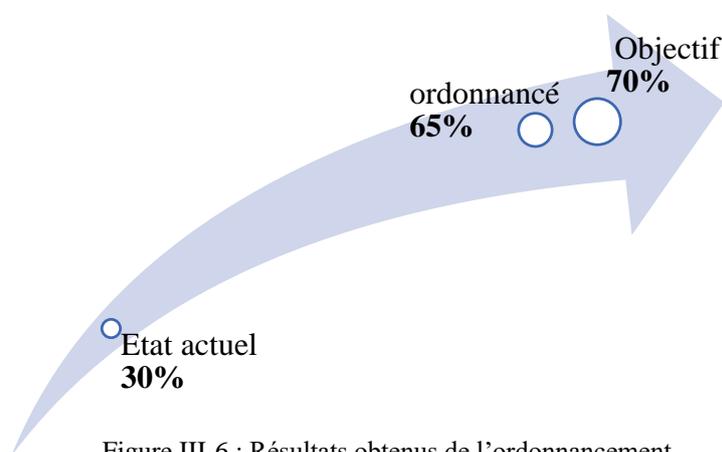


Figure III-6 : Résultats obtenus de l'ordonnancement

Pour mieux apercevoir ces résultats trouvés, nous passons de l'Excel à un logiciel de gestion de projet plus développé, Project Pro 2013 connu sous le nom de MS Project.

➤ **Sous MS PROJECT :**

Microsoft Project (ou MS Project ou MSP) est un logiciel de gestion de projets édité par Microsoft. Il permet aux chefs de projet et aux planificateurs de planifier et de piloter des projets, de gérer les ressources et le budget, ainsi que d'analyser et communiquer les données des projets.

La première étape de la mise en place d'un planning sous MS Project consistait dans un premier lieu de revenir sur le planning établi manuellement et qui contient la périodicité de chaque action préventive correspondante à chaque équipement de la section concassage, notamment l'extrait du planning illustré dans le Tableau III-12 et Tableau III-13, suivants et qui seront joints dans l'Annexe III.4 :

Actions de graissage	Jour planifié
Graissage convoyeurs CC, AD, C110B	1 ^{er} Mardi de chaque mois
Graissage convoyeurs BA, BD01	1 ^{er} Jeudi de chaque mois
Graissage convoyeurs CA, CB01	2 ^{eme} Mardi de chaque mois
Graissage convoyeurs CB02, CB03	2 ^{eme} Jeudi de chaque mois
Graissage convoyeurs CB04, CB05, C110B	3 ^{eme} Mardi de chaque mois
Graissage convoyeurs CB06, DA01	3 ^{eme} Jeudi de chaque mois
Graissage convoyeurs DA02, DB01	4 ^{eme} Mardi de chaque mois
Graissage HP 4, HP300	4 ^{eme} Jeudi de chaque mois

Tableau III-12 : Extrait des actions de graissage

Actions hebdomadaires pour convoyeurs	Mardi
Action hebdomadaire pour C110B	Lundi
Action hebdomadaire pour CT01	Samedi
Action hebdomadaire pour CT02	Vendredi
Action hebdomadaire pour HP300	Jeudi
Action hebdomadaire pour HP4	Jeudi
Action mensuelles pour convoyeurs	1 ^{er} Mercredi de chaque mois
Action mensuelle pour C110B	2 ^{eme} Mercredi
Action mensuelle pour CT01	3 ^{eme} Mercredi
Action mensuelle pour CT02	
Action mensuelle pour HP300	4 ^{eme} Mercredi
Action mensuelle pour HP4	

Tableau III-13 : Extrait des actions préventives planifiées

Donc de cette façon la mise en place du planning sur MS Project était plus simple à effectuer, surtout que le logiciel contient des options permettant de planifier les tâches d'une façon périodique et automatique.

De plus, MS Project nous permet également d'introduire de sur et à mesure les ressources humaines nécessaires à la réalisation de chaque action préventive ainsi que le temps nécessaire à l'achèvement de cette dernière, voir Annexe III.5.

Dans la Figure III.7, nous présentons un extrait du planning global établi sur Project Pro 2013 :

N°	Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs	Noms ressources
1		maintenance preventive	1448,5 jours	Lun 02/05/16	Sam 29/04/17		
2		TDT Lundi	305,96 jours	Lun 02/05/16	Lun 24/04/17		
55		TDT Mardi	306,17 jours	Mar 03/05/16	Mar 25/04/17		
108		TDT Mercredi	306,17 jours	Mer 04/05/16	Mer 26/04/17		
161		TDT Jeudi	305,5 jours	Jeu 05/05/16	Jeu 27/04/17		
214		TDT Vendredi	306,17 jours	Ven 06/05/16	Ven 28/04/17		
267		TDT Samedi	306,17 jours	Sam 07/05/16	Sam 29/04/17		
320		journ HP300	311,21 jours	Lun 02/05/16	Sam 29/04/17		
633		journ HP4	311,21 jours	Lun 02/05/16	Sam 29/04/17		
946		graissage conv CC , AD, C110B	288,83 jours	Mar 03/05/16	Mar 04/04/17		
959		graissage conv BA , BD01	288,5 jours	Jeu 05/05/16	Jeu 06/04/17		
972		graissage conv CA,CB01	288,5 jours	Mar 10/05/16	Mar 11/04/17		
985		graissage conv CB02, CB03	288,67 jours	Jeu 12/05/16	Jeu 13/04/17		
998		graissage conv CB04,CB05,C110B	288,83 jours	Mar 17/05/16	Mar 18/04/17		
1011		graissage conv CB06 , DA01	288,5 jours	Jeu 19/05/16	Jeu 20/04/17		
1024		graissage conv DA02 , DB01	288,5 jours	Mar 24/05/16	Mar 25/04/17		
1037		graissage HP 4,HP300	288,17 jours	Jeu 26/05/16	Jeu 27/04/17		
1050		action hebdo pour convoyeurs	306,75 jours	Mar 03/05/16	Mar 25/04/17		
1103		action hebdo pour C110	306,17 jours	Lun 02/05/16	Lun 24/04/17		
1156		action hebdo pour CT01	306,5 jours	Sam 07/05/16	Sam 29/04/17		
1209		action hebdo pour CT02	306,5 jours	Ven 06/05/16	Ven 28/04/17		
1262		action hebdo pour HP300	306,33 jours	Jeu 05/05/16	Jeu 27/04/17		
1315		action hebdo pour HP4	306 jours	Jeu 05/05/16	Jeu 27/04/17		
1368		action mensu pour convoyeurs	288,5 jours	Mer 04/05/16	Mer 05/04/17		
1381		action mensu pour C110	288,17 jours	Mer 11/05/16	Mer 12/04/17		
1394		action mensu pour CT01 et CT02	288,67 jours	Mer 18/05/16	Mer 19/04/17		
1407		action mensu pour HP300 et HP4	288,83 jours	Mer 25/05/16	Mer 26/04/17		
1420		lubrification CONVOYEUR BD 01	240,33 jours	Mar 03/05/16	Mar 07/02/17		
1425		lubrification du REDUCTEUR du	240,33 jours	Mar 10/05/16	Mar 14/02/17		
1430		lubrification du REDUCTEUR du	240,33 jours	Mar 17/05/16	Mar 21/02/17		

Figure III-7 : Vue d'ensemble sur le planning d'ordonnancement sur MS Project

Dans la figure suivante (Figure III.8), nous allons décortiquer un peu le planning pour voir les détails dont on a parlé précédemment :

	Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseur	Noms ressources
972		graissage conv CA,CB01	288,5 jours	Mar 10/05/16	Mar 11/04/17		
973		graissage conv CA,CB01 1	3 hr	Mar 10/05/16	Mar 10/05/16		LAGHROUR
974		graissage conv CA,CB01 2	3 hr	Mar 14/06/16	Mar 14/06/16		LAGHROUR
975		graissage conv CA,CB01 3	3 hr	Mar 12/07/16	Mar 12/07/16		LAGHROUR
976		graissage conv CA,CB01 4	3 hr	Mar 09/08/16	Mar 09/08/16		LAGHROUR
977		graissage conv CA,CB01 5	3 hr	Mar 13/09/16	Mar 13/09/16		LAGHROUR
978		graissage conv CA,CB01 6	3 hr	Mar 11/10/16	Mar 11/10/16		LAGHROUR
979		graissage conv CA,CB01 7	3 hr	Mar 08/11/16	Mar 08/11/16		LAGHROUR
980		graissage conv CA,CB01 8	3 hr	Mar 13/12/16	Mar 13/12/16		LAGHROUR
981		graissage conv CA,CB01 9	3 hr	Mar 10/01/17	Mar 10/01/17		LAGHROUR
982		graissage conv CA,CB01 10	3 hr	Mar 14/02/17	Mar 14/02/17		LAGHROUR
983		graissage conv CA,CB01 11	3 hr	Mar 14/03/17	Mar 14/03/17		LAGHROUR
984		graissage conv CA,CB01 12	3 hr	Mar 11/04/17	Mar 11/04/17		LAGHROUR

Figure III-8 : Extrait du planning avec les ressources humaines et durée d'exécution

En plus de la programmation des actions préventives, MS Project nous permet de visualiser le déroulement du planning programmé sous le diagramme de GANTT exemple : 01/06/16 (Figure III.9).

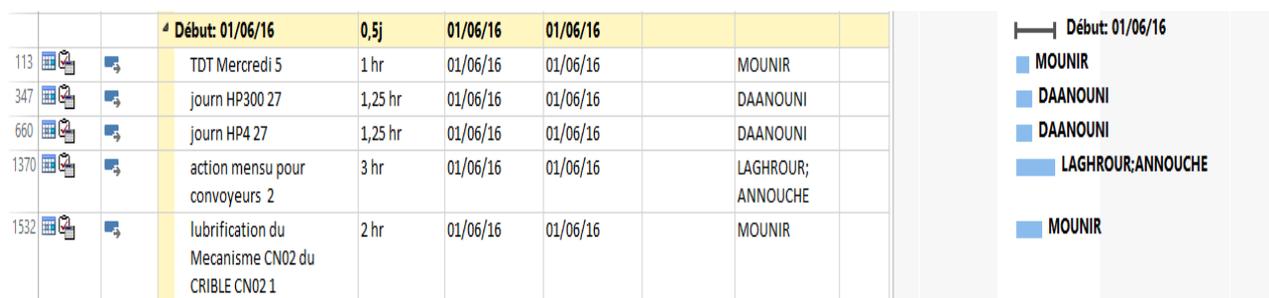


Figure III-9 : Visualisation des tours de terrain à l'aide du diagramme de GANTT sur MSP

3. Etude technico-économique de la mise en place de l'ordonnancement :

3.1 Etude économique de la mise en place de l'ordonnancement :

L'étude économique de l'ordonnancement consiste à déterminer les coûts de la mise en place de ce planning en termes des coûts directs et indirects de la maintenance [4].

✓ Coût direct de la maintenance préventive :

Englobe dans notre cas, le coût de la main d'œuvre, le coût des PDR, le coût des lubrifiants et graisses.

Nous avons élaboré en même temps de la planification des actions de la maintenance préventive, le coût de main d'œuvre nécessaire à l'application de ce planning, sous Excel ainsi que sur MS Project.

Nous obtenons les résultats suivants sous Excel :

Mois	Coût main d'œuvre préventive
Mois 5-2016	27 368,00 MAD
Mois 6-2016	51 832,00 MAD
Mois 7-2016	44 792,00 MAD
Mois 8-2016	33 308,00 MAD
Mois 9-2016	36 872,00 MAD
Mois 10-2016	41 492,00 MAD
Mois 11-2016	38 544,00 MAD
Mois 12-2016	34 188,00 MAD
Mois 1-2017	32 296,00 MAD
Mois 2-2017	43 824,00 MAD
Mois 3-2017	44 924,00 MAD
Mois 4-2017	26 796,00 MAD
Somme	456 236,00 MAD

Tableau III-14 : Coût main d'œuvre annuelle de la mise en place de l'ordonnancement

Coût main d'œuvre préventive= effectif * 88MAD*nombre d'heure travaillé par mois

Sur MS Project le travail est plus simplifié, car en introduisant le planning avec les ressources humaines, nous obtenons directement un aperçu général sur le coût de chaque intervenant comme montré sur le tableau de bord figure III.10.

Nous constatons qu'il y a petit écart entre le résultat trouvé sur Excel et celui trouvé sur MS Project, vu le problème d'arrondi sur Excel.

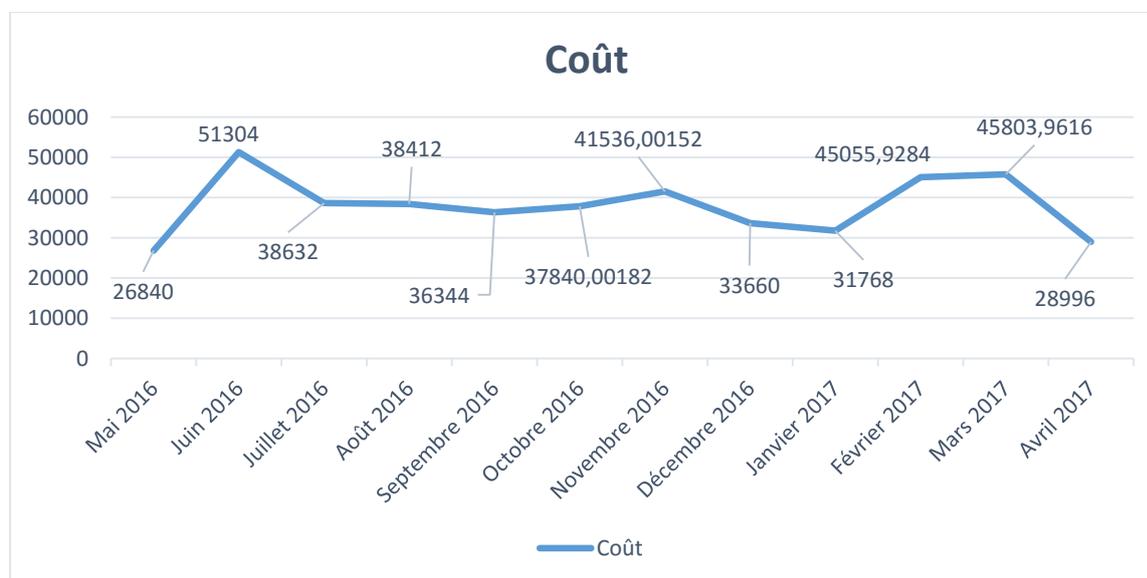


Figure III-10 : Progrès accompli par rapport aux coûts exposés au fil du temps

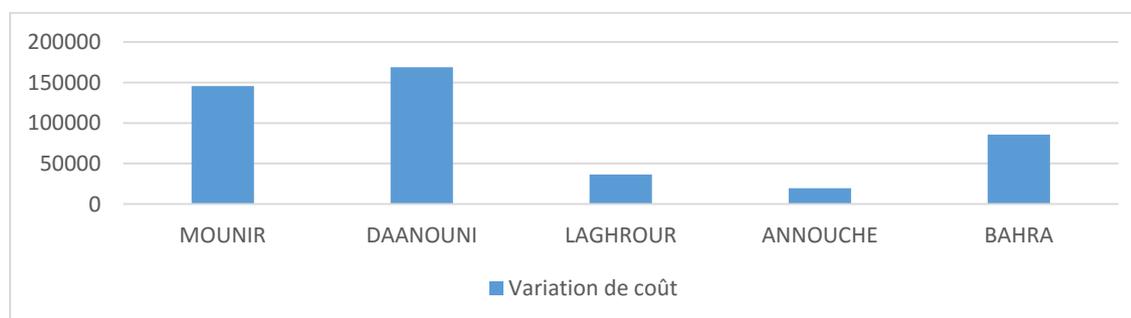


Figure III-11: Variation des coûts de ressource

La variation constatée au niveau des coûts de chaque ressource au niveau de la figure III-11 dépend de leurs profils, c'est-à-dire de leurs habilités à effectuer les tâches qui leur sont accordées :

Personne	Profil
Mounir	Agent de maîtrise
Daanouni	Agent de maîtrise
Laghrou	Opérateur
Annouche	Opérateur
Bahra	Opérateur

Tableau III-15 : Profils des ressources humaines

Après avoir déterminé les coûts de ressources humaines, nous avons calculé par la suite le coût de pièces de rechanges, le coût de lubrifiant, le coût de graissage et les coûts de blindage des goulottes.

Le tableau suivant résume l'ensemble des coûts et dans l'Annexe III.6 nous présentons le détail de chaque coût :

Coût main d'œuvre	456236
Coût PDR	995952
Coût graissage	13577,76
Coût lubrification	32926,245
Coût blindage goulottes	932020,52 MAD
Total (MAD)	1498692,01 MAD

Tableau III-16: L'ensemble des coûts directs de la mise en place de l'ordonnancement de la maintenance préventive

✓ Coût Indirect de la maintenance préventive :

Il concerne le coût de non production dû aux arrêts de production causés par les interventions de maintenance préventive programmées dans notre planning.

Pour connaitre ce coût, nous avons calculé en premier lieu le temps total nécessaire à la réalisation du planning proposé sur une année des actions préventives nécessitant l'arrêt de la production.

L'estimation de ce temps est de l'ordre de 1580 heures par an

Équivalent à dire que le coût de ce planning en terme coût métal est :

Coût de non production=Nombre d'heures d'arrêt* Production horaire*Prix de vente d'Argent

Nous avons :

Production horaire	105 t
Teneur d'argent	335g/t
Rendement usine	90%
Coût de non production	270 743 031,66 MAD

Tableau III-17: Caractéristiques de la production

Nous constatons bel et bien, que ce coût est énorme et n'est pas du tout rentable pour l'entreprise, par conséquent, son optimisation s'impose fortement.

Donc, en revenant aux contraintes de production déjà citées dans la partie 2.2, nous avons re-planifié notre planning de telle sorte à avoir un coût de non production de 0 MAD et un nombre d'heures d'arrêt de 964 heures en prenant en considération le tonnage traité par chaque partie de concassage ainsi que le broyage et le niveau des stocks afin d'assurer l'autonomie de la production.

Pour ce faire, nous avons programmé les tâches d'une façon à effectuer plusieurs actions en parallèle et affecter à chaque tâche une ressource humaine distincte,

Le résultat obtenu est le suivant :

Coût de non production	0,00 MAD
Nombre d'heures d'arrêt (heures/an)	964

Tableau III-18: Coût et heures de non production avec optimisation

Pour résumer le calcul combinant entre les deux coûts de la maintenance préventive, notamment les coûts directs et indirects, nous présentons les tableaux récapitulatifs suivants :

Dans le cas du planning préliminaire sans optimisation :

Coût non optimisé de la maintenance préventive	
Coût main d'œuvre	456 236,00 MAD
Coût PDR	995 952,00 MAD
Coût graisse	13 577,76 MAD
Coût lubrifiant	32 926,25 MAD
Coût blindage goulotte	923 020,52 MAD
Nombre heures d'arrêt (heures/an)	1580
Coût de non production	270 743 031,66 MAD
Total	273 164 744,18 MAD

Tableau III-19: Coût non optimisé du planning préliminaire proposé

Dans le cas du planning optimisé :

Coût optimisé de la maintenance préventive	
Coût main d'œuvre	456 236,00 MAD
Coût PDR	995 952,00 MAD
Coût graissage	13 577,76 MAD
Coût lubrification	32 926,25 MAD
Coût blindage goulotte	923 020,52 MAD
Nombre d'heures d'arrêt	964
Coût de non production	0,00 MAD
Total	1 498 692,01 MAD

Tableau III-20: Coût de la mise en place du planning préventive après optimisation

- Gain en coût de non production :

$$\text{Gain} = 270\,743\,031,66 \text{ MAD}$$

Le calcul fait est un calcul qui s'applique dans le cas idéal de la production, si nous supposons qu'il n'y aura jamais de rupture de stock et si le tout-venant est continuellement existant.

Or, dans certaines périodes exceptionnelles de l'année, la production argentifère connaît des perturbations et des contraintes incontrôlables, donc le calcul fait auparavant n'est plus valable, c'est pour cela que nous avons posé toutes ces possibilités devant nos yeux lors de l'élaboration de ce planning.

Si, nous supposons que la production se fait continuellement, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de stockage intermédiaire ni de tout-venant dans les silos, les coûts de la mise en place de ce planning deviennent :

Coût de la maintenance préventive	
Coût main d'œuvre	456 236,00 MAD
Coût PDR	995 952,00 MAD
Coût graissage	13 577,76 MAD
Coût lubrification	32 926,25 MAD
Coût blindage des goulottes	923 020,52 MAD
Coût de non production	165 187 520,58 MAD
Nombre heures d'arrêt	964
Total	167 609 233,11 MAD

Tableau III-21: Coûts de la mise en place du planning dans le cas de rupture de stocks

L'optimisation du coût de la mise en place du planning de la maintenance préventive est toujours valable, car après ce calcul effectué, nous avons décalé les actions préventives demandant un nombre d'heures d'arrêt de l'ordre de deux heures jusqu'aux inters postes qui connaissent un arrêt de production d'une heure et demi, pour garantir aux opérateurs le temps de prendre leurs repas. Donc le fait de programmer des actions préventives dans ce temps, sera bénéfique au niveau de production malgré sa contribution à l'augmentation des coûts de main d'œuvre qui sont pratiquement négligeables devant le gain réalisé coté non production.

Le résultat obtenu dans ce cas est résumé dans le tableau suivant :

Coût de la maintenance préventive programmée en inters postes	
Coût main d'œuvre	190 168,00 MAD
Coût main d'œuvre des heures sup	1 065 856,00 MAD
Coût PDR	995 952,00 MAD
Coût graissage	13 577,76 MAD
Coût lubrification	32 926,25 MAD
Coût blindage goulotte	923 020,52 MAD
Coût de non production	0,00 MAD
Nombre heures d'arrêt	964
Total	3 221 500,53 MAD

Tableau III-22: Coût de la maintenance préventive décalée vers les inters postes

- Gain en coût de non production :

Gain = 165 187 520,58 MAD

Afin de montrer l'importance de la mise en place de ce planning de maintenance préventive en terme gain et la privilégier à la maintenance corrective, nous avons élaboré une comparaison entre les coûts calculés précédemment et les coûts de la maintenance corrective qui a causé l'arrêt de la production en 2015.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Coût de la maintenance corrective 2015	
Coût non production	93 672 462,33 MAD
Coût PDR	2 580 032,27 MAD
Coût main d'œuvre	176 066,41 MAD
Nombre heures d'arrêt/an	546,65
Total	96 428 561,01 MAD

Tableau III-23: Coût de la maintenance corrective de l'année 2015

- Gain préventive/Corrective :

Nous remarquons l'énorme écart entre le coût de la maintenance préventive et celui de la maintenance corrective de 2015, c'est-à-dire que dans une durée d'une année, le gain en terme de chiffre d'affaire entre ces deux types de maintenance est de l'ordre de :

$$\begin{aligned} & \text{Coût corrective} - (\text{Coût préventive} + 30\% \text{ Coût corrective}) \\ & = 96\,428\,561,01 - (1\,498\,692,01 + 30\% * 96\,428\,561,01) \end{aligned}$$

Gain = 66001300,70 MAD

Conclusion de l'étude économique :

- Nous concluons de cette étude économique, que le coût de la mise en place du planning de la maintenance préventive est beaucoup plus bénéfique que l'adoption d'une stratégie de maintenance corrective.
- Dans le cas où la cadence de la production n'est pas satisfaisante, il est préférable de programmer les actions préventives dans le moment des inters postes.

3.2 Aspect organisationnel de la mise en place de l'ordonnancement :

L'aspect organisationnel de la mise en place de l'ordonnancement de la maintenance préventive est sa contribution à l'amélioration de la méthode de travail, en enracinant l'esprit et la notion de temps chez le staff de maintenance mécanique, de plus la mise en place de ce planning possède en même temps des avantages et des risques :

- Risque : Dans le cas d'une production qui n'est pas autonome est là où il n'y a pas de stockage, nous serons face au risque d'augmentation des coûts.
- Avantages : Coût de non production nul, gain au niveau des fiabilités des machines, passage d'un ratio préventive/corrective de 30% / 70% à son inverse.

Conclusion :

Ce présent chapitre constitue le noyau de base de notre projet de fin d'études, car la tâche qui nous a été confiée était d'ordonnancer l'ensemble des actions de la maintenance préventives des équipements de l'usine de traitement, notamment la section concassage en premier lieu. Par conséquent, nous avons présenté dans ce chapitre l'objectif de cet ordonnancement, ainsi que la présentation des différents éléments sur lesquels nous agissons.

Nous avons également, défini les éléments perturbateurs de la bonne application de ce planning et par la suite nous avons planifié nos tâches de telle sorte à respecter les contraintes présentées.

Une étude technico-économique est faite à la fin pour montrer le gain et le déficit engendrés suite à l'application de cet ordonnancement, en optimisant au maximum l'ensemble de ces coûts et en prenant en considération toute situation possible, qui pourra empêcher le bon déroulement de ces actions préventives.