



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة  
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa  
معهد المناجم  
قسم Institut des Mines  
المناجم و الجيوتكنولوجيا  
Département Mines Et Géotechnologie



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

*Filière : génie minier*

*Option : exploitation des mines*

### Rationalisation du couple pelle-camion, dans Une exploitation minière à ciel ouvert, cas de la mine de fer d'Ouenza, NE Algérie

Par

BAALI Sirine et DERBAL Zineb

Devant le jury :

BOUTERFIF Leila	Présidente	M.A.A	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
MERAH Chafia	Encadrante	M.C.A	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
SAADAOUI Salah	Examineur	M.C.B	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Année universitaire 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

UNIVERSITÉ LARBI TEBESSI - TEBESSA

INSTITUT des Mines

تبسة في 03 / 2024 / 2024



جامعة العربي التبسي - تبسة

معهد المناجم

رقم: 153 / ج.ع.ت.م / م.م / 2024



## رفع التحفظات

اسم و لقب الأستاذ المناقش: سعداوي صالح  
عنوان المذكرة: Rationalisation de couple pelle - camion, cas  
L'exploitation à ciel ouvert, mine de fer de l'est  
NE, Alger

الطالبة:

- 1- اعلين بسريين
- 2- ذريال زهير

التخصص: هندسة المناجم، القسم: المناجم الحيوانكرونا

موافق على وضع المذكرة في المكتبة بعد إجراء التصحيح المطلوب

موافق على وضع المذكرة في المكتبة و هي معفية من التصحيح

إمضاء الأستاذ المناقش

Singueri



Année universitaire : 2023/2024

Tébessa le : 08 Juin 2024

## Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1-BAALI Sirine-----

2-DERBAL Zineb-----

Niveau : Master2      Option : Exploitation des mines

Thème :Rationalisation du couple pelle - camion dans une exploitation minière à ciel ouvert,  
cas de la mine de fer d'Ouenza, NE Algérie

Nom et prénom de l'encadreur : Merah Chafia

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I : Définitions relatives à l'exploitation à ciel ouvert, chargement et transport	
Chapitre II : Présentation de la mine de L'Ouenza	
Chapitre III : Etat actuel de l'exploitation au niveau de la mine de l'OUENZA	
Chapitre IV : Rationalisation du couple pelle -camion	

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي  
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث

أنا المعضي أدناه،

السيد (ة) ..... بال..... ورئيس..... الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : ..... 4.07.939.980.. و الصادرة بتاريخ ..... 2023/12/07..

المسجل بمعهد ..... إكتنا..... قسم ..... والحيوية والتكنولوجيا

و المكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

Rationalisation... du complexe... pelle... carrières... dans... une... exploitation... minière...  
... à ciel ouvert..., Cas... de... mine... de... fer... d'Quenza... N.E... Algérie.....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية  
المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: ..... 2024/06/09.....

إمضاء المعني (ة)



  
من رئيس  
المعهد  
المعني

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي  
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) راجل لسري ..... الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : اللابية .....

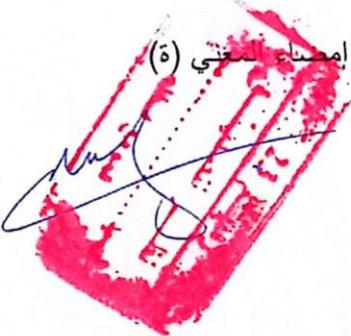
المسجل بمعهد الهندسة المدنية والبيئية ..... رقم: 6055386 و الصادرة بتاريخ 2023.06.02  
و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

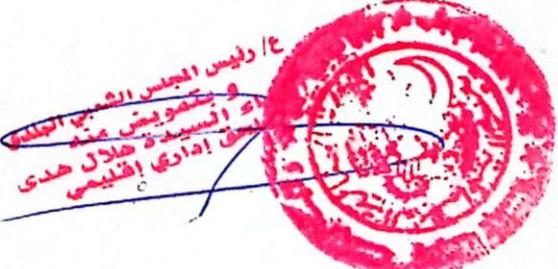
Rationalisation du couple pelle-camion dans  
une exploitation minière à ciel ouvert, cas de la  
mine de fer d'Ouenza, NE Algérie

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية  
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2024/06/09

09 جوان 2024

امضاء الممضي (ة)  


رئيس المجلس العلمي  
و تمويض عنه  
السيدة هلال هادي  
مكتب إداري إقليمي  


## إهداء

كلما انتقل بنا الفعل المعرفي إلى مراتب أكثر دقة ، يكون  
المسلك إلى ذلك ينشد أيادي بيضاء تأخذنا برفق إلى ناصية  
البحث و الإنغماس في أسئلة  
،نحاول الإجابة عليها بين قلق و آخر تربت علينا تلك الايادي برفق  
الوالدين و  
هدوء الأخت، وأمان العائلة

.....إليكم باقات حب. في تلك الطريق

تكون هدأة الرفقة عنوان الرحلة ...سندس

للعناوين الكبيرة صدقات جميلة تبيض بها قلوب و تجهش

الغبطة بغبطة تنثرها على شفاه الكلمات....كل

باسمها (زهرة، رشا، لميس، سلسبيل

، غدير، ريان )

وللرحلة محطات تختفي فيها الحجب .....زينب...

سيرين بعلي

# Dédicace

Tout d'abord, je remercie le Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je dédie ce travail

A ma mère, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes et qui m'emmène aux chemins de la réussite, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A mon père que je le remercie énormément pour ses efforts, ses conseils et sa surveillance.

A ma chère sœur **khadijda** ma compagnon.

A mon grand frère **Issam eddine** رحمه هلالا واسكنه فسيح جناته.

A mon petit frère **Abd Al Madjid**.

A mon meilleur ami: **Hana, Houda, Safa** et les amis d'université : **Zahra, Soundes**

**Nourhan, Safa, Wafa, Israa.**

A mon partenaire dans la mémoire **Sirine** pour sa collaboration et sa créativité.

A mes tantes **Nabila** et **Malika**.

A mes sources de bonheur **Gucci** et **Philipso**.

A tous ce que je connais sans exception.

Zineb DERBAL

## **Remerciment**

Nous tenons tout d'abord remercier Dieu qui nous donné la force et la patience d'accomplir ce recherche.

Nous exprimons tous nos remerciements

A notre encadrante Dr. MERAH Chafia pour son orientation, son aide, ses conseils et sa confiance en nous.

A les membres de jury Mr. SAADAOUI Salah et Mme. BOUTERFIF Laila pour accepter, accueillir et étudier et critiquer notre travail.

A tous les responsables et les travailleurs de la mine de l'est d'Ouenza pour nous aider et nous accueillir et fournir des conseils.

## **RESUME**

Le présent travail concerne la rationalisation du couple pelle-camion dans une exploitation minière à ciel ouvert, cas de la mine de fer d'Ouenza, NE Algérie.

La rationalisation du couple pelle-camion consiste à organiser les opérations de chargement et de transport des matériaux pour maximiser les rendements de ces équipements. Cela inclut le choix adéquat des machines, la coordination des cycles de travail et la minimisation des temps d'attente entre la pelle et le camion.

Pour cette rationalisation, on a utilisé l'étude de performance à travers deux aspects :

Le premier concerne l'utilisation de l'outil statistique par les calculs de la moyenne, de la variance et de l'écart type, ce qui a abouti à une représentativité des mesures réalisés sur le terrain.

Le deuxième est l'application de la théorie de la file d'attente pour la flotte considérée ce qui a permis le calcul de plusieurs paramètres pour définir l'efficacité du système.

Les résultats obtenus sont satisfaisants pour rationaliser le couple pelle-camion au niveau de la mine de fer d'Ouenza.

**Mots clés** :pelle, camion, statistique , file d'attente

## **ABSTRACT**

The present work concerns the rationalization of the excavator-truck pair in an open-cast mining operation, case of the Ouenza iron mine, NE Algeria.

Rationalizing the shovel-truck pair consists of organizing material loading and transport operations to maximize the output of this equipment. This includes the proper selection of machines, coordination of work cycles and minimizing waiting times between excavator and truck.

For this rationalization, we used the performance study through two aspects:

The first concerns the use of the statistical tool by calculating the mean, variance and standard deviation, which resulted in a representativeness of the measurements taken in the field.

The second is the application of queuing theory for the fleet considered, which allowed the calculation of several parameters to define the efficiency of the system.

The results obtained are satisfactory for rationalizing the excavator-truck couple at the level of the Ouenza iron mine.

**Keywords:** shovel, truck, statistics, queue

## ملخص

العمل الحالي يتناول تحسين استخدام ثنائية مجرفة والشاحنة في التعدين السطحي، يهدف تحسين استخدام ثنائية مجرفة والشاحنة إلى تنظيم عمليات تحميل ونقل المواد لزيادة كفاءة هذه المعدات. يشمل ذلك الاختيار المناسب للألات، وتنسيق دورات العمل، وتقليل أوقات الانتظار بين المجرفة والشاحنة.

لاستخدام هذا التحسين ، تم دراسة الأداء من خلال جانبيين رئيسيين:

الجانب الأول يتعلق باستخدام الأداة الإحصائية من خلال حساب المتوسط، التباين والانحراف ، الجانب الثاني يتضمن تطبيق نظرية الانتظار على الوسط المدروس، مما سمح بحساب عدة معلمات لتحديد كفاءة النظام الحفارة والشاحنة في منجم الحديد في ونزة

النتائج التي تم الحصول عليها كانت مرضية لتحسين استخدام ثنائية مجرفة .

## Liste des figures

### Chapitre I

<b>Fig I.1</b> : un bouteur .....	06
<b>Fig I.2</b> : chargeuse sur pneus .....	07
<b>Fig I.3</b> : chargeuse sur chenille .....	07
<b>Fig I.4</b> : pelle hydraulique.....	09
<b>FigI.5</b> : chemin de fer .....	12
<b>Fig I.6</b> : camion Caterpillar .....	13
<b>Fig I.7:</b> convoyeur à bonde.....	13
<b>Fig I.8:</b> le skip.....	14
<b>Fig I.9:</b> transporteur aérien .....	14
<b>Fig I.10</b> : Système de file d'attente avec un serveur unique.....	20
<b>Fig I.11</b> : Système de file d'attente à serveurs parallèles .....	21
<b>Fig I.12</b> : Système de file d'attente à S serveurs en série .....	21

### Chapitre II

<b>Fig II.1</b> : la région de l'Ouenza .....	24
<b>Fig II.2:</b> situation de la mine .....	25

### Chapitre III

<b>Fig III.1.:</b> La largeur de la plate-forme de travail .....	39
<b>FigIII.2:</b> L'ouverture par demi-tranchée d'accès dans la mine d'Ouenza... ..	43
<b>Fig III.3</b> : la sondeuse ATLAS COPCO .....	46
<b>Fig III.4</b> : le cartouche de MARMANIT.....	47
<b>Fig III.5:</b> pelle LIBHERR... ..	53
<b>FigIII.6</b> : camion CATERPILLAR 775 G .....	57
<b>FigIII.7:</b> les processus de production de la mine... ..	59

<b>Fig III.8</b> : résistance au roulement .....	60
<b>Fig III.9</b> : la route dans la mine d'Ouenza .....	63
<b>Fig III.10</b> : les méthode de la maintenance .....	66
<b>Chapitre IV</b>	
<b>Fig IV.1</b> : le graphe de temps d'arrivé vide.....	88
<b>Fig IV.2</b> : le graphe de temps de chargement.....	89
<b>Fig IV.3</b> : Structure générale d'un système de file d'attente M/M/1.....	90
<b>Fig IV.4</b> : calculs de paramètres de performances.....	96

## Liste des tableaux

### Chapitre II

<b>Tableau II.1</b> : les réserves Géologiques .....	27
<b>Tableau II.2</b> : les réserves Exploitable.....	28
<b>Tableau II.3</b> : ventilation de la production par quartier 2024 .....	29
<b>Tableau II.4</b> : ventilation mensuelle de la production .....	30

### Chapitre III

<b>Tableau III.1</b> : les paramètres de la méthode d'exploitation .....	40
<b>Tableau III.2</b> : valeurs des angles de bord de demi-tranchée d'accès .....	42
<b>Tableau III.3</b> : valeur de largeur de demi-tranchée d'accès .....	42
<b>Tableau III.4</b> : le choix de l'indice de forabilité.....	45
<b>Tableau III.5</b> : caractéristiques de la sondeuse.....	45
<b>Tableau III.6</b> : caractéristiques de l'explosifs .....	47
<b>Tableau III.7</b> : les paramètres de plan de tir.....	51
<b>Tableau III.8</b> : état actuel de chargement .....	52
<b>Tableau III.9</b> : les caractéristiques des pelles.....	53
<b>Tableau III.10</b> : L'état des engins de transport .....	56
<b>Tableau III.11</b> : caractéristiques de CATERPILLAR 775G.....	57
<b>Tableau III.12</b> : les valeurs de coefficient de la résistance au roulement (r).....	62

## Chapitre IV

<b>Tableau IV.1</b> : temps de cycle d'une pelle LIBHERR (par seconde).....	73
<b>Tableau IV.2</b> : les paramètres de dispersion de temps de cycle de pelle.....	74
<b>Tableau IV.3</b> : les paramètres de dispersion de chargement d'un camion .....	75
<b>Tableau IV.4</b> : Heures de disponibilité et heures d'utilisations des pelles .....	77
<b>Tableau IV.5</b> : Calcul de coefficient d'utilisation des pelles.....	77
<b>Tableau IV.6</b> : les rendements estimer et calculer d'une pelle.....	78
<b>Tableau IV.7</b> : chronométrage de temps de parcours des camions (par minute).....	79
<b>Tableau IV.8</b> : les paramètres de dispersion de transport.....	80
<b>Tableau IV.9</b> : heures de disponibilité et heures d'utilisations des camions.....	82
<b>Tableau IV.10</b> : calculs de coefficients d'utilisations .....	82
<b>Tableau IV.11</b> : les rendements estimer et calculer d'un camion.....	84
<b>Tableau IV.12</b> : les caractéristiques de la classification de Kendall.....	85
<b>Tableau IV.13</b> : les méthodes de la discipline de service .....	87
<b>Tableau IV.14</b> : Le temps d'arrivée des camions .....	88
<b>Tableau IV.15</b> : le temps de chargement de camions .....	89
<b>Tableau IV.16</b> : les paramètres de performances.....	91
<b>Tableau IV.17</b> : les équations de mesures de performances .....	96

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Table de figures	
Table de tableaux	
Table de matières	
<b>Introduction</b>	01

## **Chapitre I : Définitions relatives à l'exploitation à ciel ouvert, chargement et transport**

I-CHARGEMENT :	06
I-1-Type de moyens de chargement :	06
I-2 Temps de cycle de chargement de pelle :	09
I-3- Rendements de chargement :	10
II- TRANSPORT	11
II-1-Types de moyens de transport dans les MCO :	11
II-2- Temps de cycle de transport d'un camion :	15
II-3- Rendements de camion :	16
III- Couple chargement –transport :	16
III-1-Nombre de camion affecté pour une pelle :	16
III-2- Temps d'attente des pelles :	16
III-3- Temps d'attente des camions :	17
III-4- Les problèmes qui influent sur le processus de rendement et production	17
du chargement et transport	
III-5- L'importance de chargement et transport dans les MCO :	17
IV- La théorie de file d'attente	18
1- Définition de la file d'attente	18
2- Les éléments de file d'attente	19
3- Les systèmes de la théorie de files d'attente :	20
4- Le comportement d'une file d'attente : [12]	22

## **Chapitre II : Présentation de la mine de L'Ouenza Introduction**

Introduction	24
I-Situation géographique :	24
II- Historique de la mine :	25
III- Les réserves :	28

VI-production planifiée :	29
VI-1-répartition de la production par quartier année-2024	29
VI-2- Ventilation mensuelle de la production :	30
V- Caractéristiques des stériles :	31
• V-1- Quartier Chagoura Nord :	31
• V-2- Quartier Chagoura SUD – PIC :	32
V-3-Quartier 6 Mai :	32
• V-4- Quartiers « Douamis et Hallatif »	33
• V-5- Zerga	34
XVI- La durée de vie de la mine :	34

### **Chapitre III :Etat actuel de l'exploitation au niveau de la mine de l'OUENZA**

INTRODUCTION	36
1-Méthode d'exploitation :	36
1-1 / le choix de la méthode d'exploitation :	36
1-2 / Détermination des paramètres de la méthode d'exploitation:	37
2- L'ouverture du champ minier :	40
2-1 / Choix de mode d'ouverture :	40
2-2/ le choix de mode d'ouverture	41
2-3 / Creusement demi-tranchée d'accès :	41
2-4 / paramètres de demi-tranchée :	41
3/ Forage et tir :	43
3-1/Exigences technologiques des travaux de forage et de tir	46
3-2/ travaux de forage :	46
3-2-1 /Les caractéristiques de l'explosifs :	47
3-2-2 / Type de détonateurs	48
3-2-3 /Paramètres de plan de tir :	48
4-Chargement	51
4-1- Etat actuel du chargement :	52
4-2-Caractéristiques des pelles :	53
4-3- Calcul des Rendements	54

5- Le transport	55
5-1-Les particularités du transport dans une mine à ciel ouvert	55
5-2-Le type de transport choisi doit assurer :	55
5-3 Transport par camion	56
5-4-Etat actuel du transport dans la mine d'Ouenza	56
5-5 Caractéristiques des camions CATERPILLAR	57
5-6- Rendements des camions	57
5- 7- Nombre des camions : [4]	58
6- Equations de roulage des camions	59
6-1- Coefficient de résistance au roulement et la résistance total au roulement	61
7- Caractéristiques des routes :	62
7-1- Largeur de la piste :	62
7-2- La pente	63
8- La maintenance des engins	63
8-1-Définition de la maintenance :	63
8-2- Objectifs de la maintenance:	64
8-3-Méthodes de maintenance :	64
8-4-Les opérations de maintenance :	66
8-5 - Les cinq niveaux de la maintenance :	67
9- Le dispatching :	68
9-1-Définition :	68
9-2- Le but :	68
9.3- Les types :	68

## **Chapitre IV : Rationalisation du couple pelle –camion**

Introduction	71
I-Rappel sur les statistiques	71
II- chargement :	72
1- Le temps de cycle d'une pelle LIBHERR :	72
2- Application de l'outil statistique pour le temps cycle de la pelle et le temps de chargement Du camion	73
2-1 Pour le temps de cycle de la pelle	73
2-2 Pour le temps de chargement du camion	74
3- les Rendements de l'excavateur :	76

4- Résultat des rendements estimés et calculés des pelles :	78
III- Transport :	79
1- Chronométrage de temps de parcours des camions	79
2- Calcul des paramètres de dispersion de temps de cycle de camion	80
3- les Rendements du camion	81
4 Résultat des rendements estimer et calculer des camions :	84
VI- La théorie de la file d'attente	84
1- nomenclature de Kendall :	85
2- Processus des arrivées :	85
2-1 Inter-arrivée :	86
2-2 Taux d'arrivées :	86
2-3 Arrivée par groupe :	86
2-4 Clients impatientes :	86
3- Disciplinedeservice :	86
4- Application de la file d'attente :	87
4-1-Présentationdu système:	87
4-2-Application de la théorie des files d'attente pour l'état actuel du quartier	87
Chagoura Nord (une pelle et 3 camions)	
4-3- Structure générale d'un système M/M/1	90
4-4- Etude analytique du système :	91
<b>Conclusion</b>	99
<b>Références bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

# *Introduction général*

## Introduction

---

---

L'industrie minière joue un rôle crucial dans le développement économique mondial en fournissant des matières premières essentielles pour divers secteurs industriels. Parmi les différentes méthodes d'exploitation minière, l'extraction à ciel ouvert est largement utilisée en raison de sa capacité à traiter de grandes quantités de minerai.

Parmi les processus principaux de l'exploitation des mines à ciel ouvert, on trouve le chargement et le transport qui influent considérablement sur le coût d'extraction avec un taux de 40% à 60%.

En raison de l'importance capitale du chargement et du transport dans le coût total de l'exploitation minière, il est crucial de mettre en œuvre des stratégies efficaces pour rationaliser ces processus, ce qui justifie le choix de notre sujet de master intitulé : rationalisation du couple pelle-camion dans une mine à ciel ouvert. Une gestion judicieuse du couple pelle-camion peut conduire à des gains substantiels en termes de productivité et de rentabilité.

Ce mémoire vise à analyser l'état actuel du travail de la pelles et des camions au niveau de la mine de fer de l'Ouenza, puis à proposer une rationalisation du couple pelle-camion, pour cela nous avons procédé à un stage expérimental de 30 jours dans la mine de FER de l'EST de l'OUENZA.

Durant cette période nous avons réalisé des chronométrages relatifs aux temps de travail de la pelle et des camions ; nous avons également travaillé dans divers services pour obtenir les informations nécessaires pour servir notre sujet.

Pour atteindre cet objectif nous avons structuré notre travail de la manière suivante :

Dans le premier chapitre, nous avons abordé les connaissances relatives à l'exploitation minière à ciel ouvert, avec un focus spécifique sur le chargement et le transport et une revue bibliographique concernent les files d'attente.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté la mine de l'OUENZA, en commençant par la situation géographique, historique de la mine, réserves et durée de vie de la mine.

Le troisième chapitre traite l'état actuel de l'exploitation au niveau de la mine de l'Ouenza en détaillant les calculs des paramètres relatifs à la méthode d'exploitation tels que la hauteur de gradin, largeur de la plateforme de travail,...etc., et les paramètres de forage et tir, ainsi que les caractéristiques des routes, les méthodes de maintenance et d'autres aspects techniques pertinents.

## Introduction

---

Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la rationalisation du couple pelle-camion au niveau de la mine de Fer de L'Ouenza ,les résultats de mesures des chronométrages des temps de cycles de la pelle et des camions ont été traité par l'outil statistique par l'intermédiaire de la moyenne, la variance et l'écart type, ce qui permettra de comparer les coefficients d'utilisation et par conséquent les rendements obtenus avec ceux employés dans la mine de l'Ouenza.

L'emploi des files d'attente permettra de fixer le modèle relatif à cette flotte ce et par conséquent d'étudier les performances de ce modèle.

# *Chapitre I :*

*Définitions relatives à  
l'exploitation à ciel ouvert,  
chargement et transport*

## **Introduction**

Dans ce chapitre on aborde l'exploitation minière et notamment le chargement et transport et leurs types, les temps des cycles .Ensuite, nous abordons la relation de couple pelle – camion et son importance.

**1- Les activités d'exploitation minières :** consistent en des travaux de développement ou l'extension, des travaux préparatoires, d'extraction et de valorisation des substances minérales ou fossiles, ainsi que des activités de ramassage, de collecte et/ou de récolte de substances minérales relevant du régime des carrières se trouvent en l'état à la surface du sol.

L'exploitation minière comprend :

- L'exploitation des gisements des substances minérales ou fossiles relevant des mines ou des carrières [1].

**2- L'exploitation minière :** est une activité essentielle consistant à extraire des minéraux et d'autres ressources naturelles. Elle comprend divers types :

- Exploitation à ciel ouvert : consiste à élever les stériles de recouvrement et accéder au gisement à partir au jour [2].

- Exploitation souterraine : consiste à extraire le minerai à partir de puits et de galeries créés sous la surface du sol. [3].

L'exploitation minière est importante sur le plan économique, fournissant des matières premières pour de nombreuses industries et générant des revenus et des emplois. Cependant, elle peut aussi entraîner des défis environnementaux, sociaux et économiques, tels que la dégradation de l'environnement, les conflits fonciers et les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs. Une gestion responsable et durable est nécessaire pour atténuer ces impacts tout en maximisant les avantages de l'exploitation minière.

Dans l'exploitation des mines, nous sommes exposés à de nombreux termes clés, notamment les suivants :

### **3- L'ouverture :**

L'ouverture de gisement est le creusement des excavations spéciales et elle à pour but de réaliser l'accès aux gisements. Elle consiste à creuser des tranchées plus au moins inclinées qui sont appelées les tranchées d'accès ou bien principales. [2]

**-La tranchée :** une tranchée est une excavation à ciel ouvert de grande longueur par rapport à sa largeur et profondeur, de section trapézoïdale.

Dans le relief plat, on accède aux gisements par des tranchées, tandis que dans un relief montagneux, on utilise des demi-tranchées.

### **4- Processus de production**

se sont des travaux miniers comprennent l'extraction, le déplacement et le stockage des minéraux utiles et des roches stériles.

On distingue les processus principaux suivants:

- préparation des roches.
- travaux d'extraction et de chargement.
- transport des minéraux utiles et des roches stériles
- déchargement ou le stockage des minéraux utiles [4]

### **5- abattage à l'explosif**

l'abattage à l'explosif est utilisée dans les carrières de roches massives et dures et une alternative qui présente l'avantage de fragmenter des volumes de roche importants, et ce avec des moyens limités en termes d'engins (foreuse et engins de chantiers pour la reprise)[5].

### **6- chargement de trou**

une opération pour la fragmentation des roches qui contient une consommation spécifique et une résultat d'amorçage pour un bon tir, qui consiste de plusieurs paramètres comme la banquette ,diamètre de trou , la hauteur de gradin, la géologie des roches ...etc.

### **7- tir**

De fragmenter la masse rocheuse afin de permettre son évacuation. ce qui permet d'atteindre la production du minerai et du stérile. Il y a deux types d'explosifs qui sont utilisées en combinaison dans le même trou de mine :

- Anfomil : contenant dans des sacs
- Marmanite : contenant dans des cartouches [5]

### **8- mis à terril**

La mise à terril consiste en réception et emplacement des roches stériles ainsi que le stockage prolongé des minéraux utiles sur les surfaces spécialement destinées pour ce but. La mise à terril peut être effectuée par les engins spéciaux et par les moyens utilisés pour les autres processus de la production minière : pelles mécaniques, draglines, roue-pelle, bulldozers, scrapers, chargeuses....etc. [4]

### **I- CHARGEMENT :**

l'opération du chargement consiste à charger le minerai dans l'engins de transport pour être évacuer de la plateforme de travail vers les stations de concassage, dans les roches tendres l'opération de chargement est simultanée avec l'opération d'excavation cyclique ou continue. Dans le cas d'une roche dure l'excavation se fait à l'explosif et le chargement se fait à l'aide de chargeuses et de pelles hydrauliques [4]

- le chargement est aussi l'évacuation des déblais du front de taille en le plaçant dans un équipement de transport pour la suite des opérations minières [6].

#### **I-1-Type de moyens de chargement :**

##### **A- Les bouteurs**

Il s'agit de machines d'excavation et/ou de refoulement comportant un tracteur sur chenille ou sur pneumatiques possédant à l'avant une lame relevable et abaissable par vérins hydrauliques dans sa fonction " pousseur". Dans sa fonction " défonceur " (ripage) le tracteur ou le bouteur comprend un équipement de dislocation à une ou plusieurs dents installés à l'arrière. Les deux fonctions peuvent être présentes simultanément sur la machine. Les puissances utilisées varient de 45 à 550 kW pour des poids de 8 à 85 tonnes [7]



FigureI.1:un bouteur

##### **B-Les chargeuses sur pneus**

Ces engins de terrassement sur pneumatiques travaillent en se déplaçant. Leur rendement est fonction de leur déplacement et du poids total de l'engin. Les chargeuses sont utilisées en

## **Chapitre 01 : Définitions relatives à l'exploitation à ciel ouvert, chargement et transport**

chargeur transporteur pour des distances inférieures à 200 m. Il en existe de nombreux modèles dans une gamme allant de 150 à 750 kW. Pour des poids à vide de 20 à 150 tonnes et des charges utiles de 6 à 30 tonnes. Avec une durée de vie de 15 000 à 20 000 heures l'amortissement d'une telle machine représente la partie la plus importante du prix de revient "Chargement"[7]

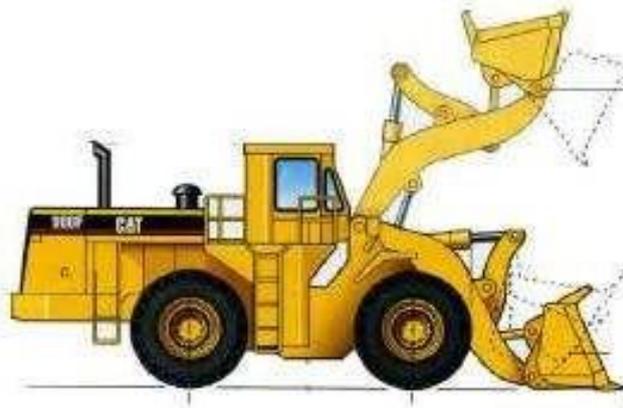


Figure I.2 chargeuse sur pneus

### **C- Les chargeuses sur chenilles**

Ce matériel est l'évolution d'un tracteur sur chaînes équipé d'un système à godet chargeur. Son utilisation principale consiste à extraire les matériaux du tas abattu en roches massives lorsque les conditions locales de granulométrie et/ou de foisonnement sont mauvaises ou médiocres. Ce type de matériel est également bien adapté à l'extraction directe des matériaux alluvionnaires secs ou humides. [7]

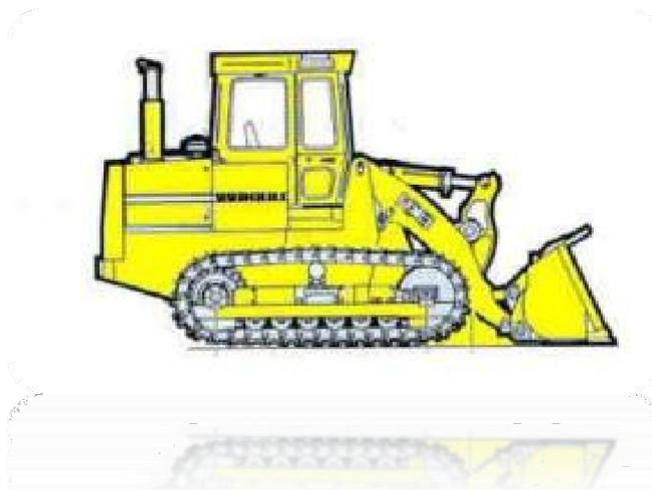


Figure I.3 : chargeuse sur chenille

### **D- Les pelles à câbles sur chenilles**

La pelle à câbles a été montée en puissance des pelles hydrauliques l'engin de chargement des grandes mines à ciel ouvert. Pour des pelles de 3 à 30 m<sup>3</sup> de godet il existe sur le marché mondial 8 constructeurs qui propose environ 40 modèles de poids de 100 à 1500 tonnes. Les progrès ont été très rapides durant la dernière décennie. Plusieurs modèles standards avec des puissances de 500 à 800 kW permettent de charger des matériaux de densité et de granulométrie variables avec des godets de 15 à 30 m<sup>3</sup>. Dans ces conditions les temps de cycle évoluent de 0,42 à 0,60 minute avec une disponibilité qui atteint fréquemment 90%. Ces machines de construction lourde ont des durées de vie qui peuvent dépasser 20 ans. Les grosses pelles à câbles sur chaînes sont en général électriques. Elles chargent en tombereaux ou en trémies mobiles d'alimentation de convoyeurs à bandes avec ou sans concassage primaire. Les très grosses machines, godet de 30 m<sup>3</sup> et plus sont montées sur patins [8]

### **E- Les pelles hydrauliques**

Cet autre type de pelles a connu ces dernières années un développement considérable. Initialement conçues pour les chantiers de travaux publics ces machines se sont imposées en carrière et découverte grâce à leur souplesse d'emploi due à la transmission hydraulique. Les possibilités de travailler en butte ou en rétro à diverses hauteurs offre au mineur un choix de solutions techniques qui en font un outil polyvalent. Par ailleurs sa force de pénétration élevée ainsi que le mouvement de cavage du godet conduit assez fréquemment la suppression de l'abattage à l'explosif et par voie de conséquence une diminution significative du coût d'extraction. Enfin, la précision et la souplesse de manœuvre du godet, sa course plane au sol, sa possibilité de purger un front d'abattage est autant d'éléments qui contribuent à son développement. [8]

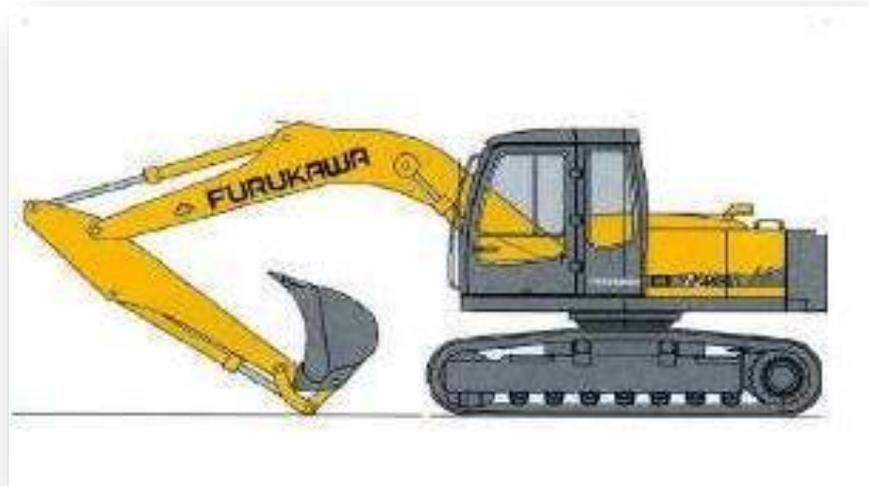


Figure I.4 : pelle hydraulique

### **F-Les draglines**

Le parc de ces matériels s'est considérablement réduit au cours de ces vingt dernières années sous la concurrence des pelles hydrauliques. L'équipement dragline est cependant toujours utilisé pour les grands travaux de découverte des mines à ciel ouvert en Amérique du Nord, Afrique et Australie. En France ces matériels sont presque exclusivement réservés à l'extraction de gisements alluvionnaires en eau. A sec l'avantage de la dragline sur la pelle hydraulique réside dans le fait que l'on peut stocker des quantités importantes de matériaux grâce à la hauteur de gerbage et la portée importante de ces machines. Il devient alors possible d'extraire des tranches importantes de gisement que l'on pourra par la suite homogénéiser en fonction de la demande du marché [8]

### **I-2 Temps de cycle de chargement de pelle :**

Temps de cycle de l'engin de chargement comprend 4 phases:

- chargement du godet
- rotation godet chargé
- vidage godet
- rotation godet vide et positionnement [9]

La durée de ce cycle est une donnée constructrice. Son estimation met en jeu un grand nombre de paramètres, dont:

\* Facteurs liés à la machine et à son équipement :

- volume du godet
- type de godet
- vitesse de rotation du bras
- force de pénétration
- longueur de la flèche et du balancier...etc.

\*Facteurs extérieurs à la machine:

- nature des matériaux
- conditions de travail
- angle de rotation du bras pour le vidage
- profondeur de fouille (pelle rétro)
- hauteur de chargement
- qualification de l'opérateur [9]

### **I-3- Rendements de chargement :**

Le rendement de l'excavateur dépend de plusieurs facteurs :

- Propriétés physico-mécaniques des roches (dureté ; granulométrie coefficient de foisonnement )
- Dimensions du tas .
- Caractéristiques techniques de l'excavateur.[10]

**I-3-1 Le rendement théorique de l'excavateur est :**

$$R_{th} = \frac{3600 * E}{T_c} \quad ; ( m^3/h ) \dots\dots\dots (I.1)$$

E : la capacité du godet,

Tc : durée d'un cycle de l'excavateur,[11]

**I-3-2 Le rendement technique de l'excavateur est :**

$$R_{tch} = \frac{3600 * E * K_r}{T_c * K_f} \quad ; ( m^3/h ) \dots\dots\dots (I.2)$$

E : la capacité du godet,

Kr: coefficient de remplissage du godet ,

Kf: coefficient de foisonnement de l'excavateur,

Tc : durée d'un cycle de l'excavateur

**I-3-3 Le rendement effectif de l'excavateur est :**

$$R_{ex} = \frac{3600 * E * K_r * T_p * K_u}{T_c * K_f}; \quad (m^3/poste) \dots\dots\dots (I.3)$$

E : la capacité du godet,

Kr: coefficient de remplissage du godet ,

Ku: coefficient d'utilisation de l'excavateur,

Kf: coefficient de foisonnement de l'excavateur,

Tp : durée d'un poste de travail;

Tc : durée d'un cycle de l'excavateur; [11]

**I-3-4- Le rendement journalier de l'excavateur est :**

$$R_{ex\ j} = R_{ex} * N_p \quad (m^3/j) \dots\dots\dots (I.4)$$

Np : nombre de poste [10]

**I-3-5- Le rendement annuel de l'excavateur est :**

$$R_{ex\ an} = R_{ex} * N_p * N_j * \gamma \quad (m^3 /an) \dots\dots\dots (I.5)$$

Rex: rendement effectif de l'excavateur,

NP : nombre de poste par jour,

Nj : nombre de jour ouvrable par an

γ : densité du minerai [10]

## **II- TRANSPORT**

Le transport est un processus de production qui consiste à déplacer le minerai extrait de point de chargement vers leur destination de décharge

- La masse minière transportée par unité du temps (heure, poste, jour) s'appelle trafic [7].

### **II-1-Types de moyens de transport dans les MCO :**

Les engins de transport sont utilisés dans les conditions naturelles très variées. Les principaux types de transport dans les mines à ciel ouvert [4]:

## **Chapitre 01 : Définitions relatives à l'exploitation à ciel ouvert, chargement et transport**

---

- Locomotive et wagons (chemin de fer) ;
- Camions ;
- Convoyeurs ;

Dans certains cas en utilisé les combinaisons des transports suivantes :

- Camions et transport par chemin de fer ;
- Camions et convoyeur ;
- Camions et skip ;
- Camions et transporteurs aériens ;
- Camions et transport par gravité ;

Le choix de type de transport dépend des propriétés des minéraux utiles et des roches stériles, des conditions géologiques du gisement, des dimensions de la carrière de sa profondeur, de la distance du transport et du rendement de la mine à ciel ouvert [4].

### **A- Transport par chemin de fer :**

On emploie le transport sur rails dans les carrières avec une profondeur allant jusqu'à 150 à 125 m et ayant une productivité annuelle de la masse minière de 10 à 100 millions de tonnes et plus. Les distances de transport doivent être de 4 à 5 km. [4]



**Figure I.5 :** chemin de fer

### **B- Transport par camions :**

Dans les carrières contemporaines du monde entier, on applique largement le transport par camion.

Les camions se composent d'un châssis, généralement court et mini d'organes très résistants, équipé d'une benne renforcée par nervures sondés et d'un masque avant pour la protection de la cabine de conduite. La capacité de charge des camions les plus courantes varient de 10 à 180 t. [4]



**Figure I.6 :** camion Caterpillar

### **C- Transport par convoyeur :**

Le transport par convoyeur est très répandu dans les carrières pour les roches tendres. A présent on essaie d'utiliser les convoyeurs à bande pour les roches dures bien fragmenté.

Les convoyeurs à bande (dit aussi transporteur à bande, bande transporteuse, transporteur à courroie, tapis roulants) assure de grandes débits en contient et apporte des solutions, commodes à divers problèmes de manutention.

La bande repose tout le long sur des rouleaux fixés sur des supports spéciaux et disposés à intervalle de 1 à 1,5 m à la partie supérieure de l'ossature et de 2 à 3 m à la partie inférieure. Le mouvement de la bande est assuré par la force d'adhérence de la bande sur le tambour de tête [4].



**Figure I.7 :** convoyeur à bande

**D- Transport par skip :**

Le skip utilisé pour le transport de la masse minière au jour par la voie la plus courte, outre les convoyeurs on utilise aussi les skips.

Les skips de carrière incluent les éléments suivantes : le skip même, les câbles de lavage, les contre-câbles, les poulies fixes, les dispositifs de chargement dans la carrière, les dispositifs de déchargement au jour, le tour, l'estacade, le tendeur, les galets conducteurs.

En ce qui concerne les gradins inférieurs où les conditions de travail sont défavorables, à cause de l'espace réduit, on n'utilise que les chargeuses à titre d'engin d'extraction et de transport [4].



**Figure I.8 :** le skip

**E- Transport par transporteurs aériens :**

Dans les régions montagneuses, où la construction des voies est liée à de nombreuses difficultés et souvent s'avère pratiquement impossible, le transport du minerai vers les usines d'enrichissement se fait à l'aide de transporteurs aériens. Entre les stations terminales on tend deux câbles porteurs dont l'un sert au mouvement des wagonnets pleins et d'autre, aux wagonnets vides que se déplacent dans le sens opposé, vers les points terminaux, ces câbles sont devisés vers le bas en se courbant dans le plan vertical. [4]



**Figure I.9 :** transporteur aérien

**F- Transport combinée :**

Actuellement, dans certains cas, lorsqu'un moyen de transport n'est pas capable de résoudre complètement les problèmes de l'exploitation économiques d'une mine à ciel ouvert on applique le transport combiné ce dernier est composé de deux ou trois type de transport ; soit des camions et des skips dans la carrière ; soit le transport par chemin de fer au jour etc.

Ce type de transport permet de diminuer les frais de transport et l'extraction de la masse minière, ainsi que la consommation en énergie et poids des engins utilisés [4] .

**II-2- Temps de cycle de transport d'un camion :**

Le temps de cycle est donné par la somme de ses éléments :

$$T_{\text{cycle}} = T_{\text{ch}} + T_{\text{a}} + T_{\text{déch}} + T_{\text{r}} + T_{\text{m}} \quad (\text{min}) \dots \dots \dots (I.6)$$

On a:

- $T_{\text{ch}}$ : temps de chargement de la benne.
- $T_{\text{a}}$  : temps d'aller de camion vers le point de déchargement.
- $T_{\text{déch}}$  : temps de déchargement.
- $T_{\text{r}}$  : de retour de camion.
- $T_{\text{m}}$  : temps de manœuvre de camion. [11]

**II-3- Rendements de camion :**

**II-3-1 Rendement effectif :**

$$R_c = \frac{60 * G_c * K_q * T_p * K_u}{T_{\text{par}}} ; t/p \dots \dots \dots (I.7)$$

Ou :

- $G_c$  : la capacité de la benne.
- $K_q$  : coefficient d'utilisation de la capacité de la charge du camion  $K_q \leq 1$ .
- $T_p$  : temps duré d'un poste.
- $K_u$  : la disponibilité.
- $T_{\text{par}}$  : temps de parcours.[11]

**II-3-2 Rendement journalier de camion :**

$$R_{c/j} = R_c * N_p \quad ; t/\text{jour} \dots \dots \dots (I.7)$$

**II-3-3 Rendement annuel de camion :**

$$Rc/an = Rc * Np * Nj \quad t/an \dots\dots\dots (I.8)$$

Nj : nombre de jours ouvrable par an [11]

**III- Couple chargement –transport :**

**III-1-Nombre de camion affecté pour une pelle :**

Le nombre de camions est déterminé pour chaque engin de chargement séparément :

$$Nc = \frac{Tpar}{Tch} \dots\dots\dots (I.9)$$

Ou :

T par : temps de parcours

tch : temps de chargement

$$Tpar = tch + ttr + td + tm \dots\dots\dots (I.10)$$

Ttr : temps de trajet (temps d'aller+ temps de retour)

td : temps de déchargement

tm : temps de manœuvre [11]

$$Nc = tch + ttr + td + tm / tch \dots\dots\dots (I.11)$$

$$Nc = 1 + (ttr + td + tm / tch) \dots\dots\dots (I.12)$$

**III-2- Temps d'attente des pelles :**

Le temps d'attente d'une pelle dans les mines dépend de plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des camions pour transporter le minerai ou le matériau extrait, les opérations de maintenance préventive ou corrective sur la pelle, les arrêtes planifiés ou imprévus, et les conditions météorologique. Les entreprises minières cherchent souvent à minimiser les temps d'attente des pelles en mettant en œuvre des stratégies de gestion de flotte, des programmes de maintenance efficaces, et une planification opérationnelle précise.

### **III-3- Temps d'attente des camions :**

Le temps d'attente des camions dans les mines à ciel ouvert peut être influencé par plusieurs facteurs, notamment le volume de production, la disponibilité des équipements de chargement et de déchargement, les conditions météorologiques et les protocoles de sécurité. Dans certains cas, les camions peuvent devoir attendre plusieurs heures avant de pouvoir être chargés ou déchargés. Les entreprises minières ont souvent des systèmes en place pour gérer efficacement ces temps d'attente et minimiser les retards autant que possible.

### **III-4- Les problèmes qui influent sur le processus de rendement et production du chargement et transport**

- Les intempéries et le mauvais temps.
- Les pannes mécaniques et les dysfonctionnements des machines et engins.
- Les grèves provoquées par les syndicats et les arrêts de travail.
- Glissement des gradins et l'affaissement du terrain.
- Les mauvais nivellements et le terrassement accidenté de la plate-forme de travail.
- L'état de santé de la main-d'œuvre de la manipulatrice.
- Les longs temps d'attente dus à l'utilisation d'un nombre réduit de camions pour une (1) pelle.

### **III-5- L'importance de chargement et transport dans les MCO :**

Le chargement et transport dans les mines à ciel ouvert sont essentiels car ils constituent une partie significative du processus d'extraction minière. Ces activités impliquent le déplacement de grandes quantités de matériaux, ce qui influence directement l'efficacité opérationnelle, la productivité et les coûts globaux de la mine.

Les processus de chargement et de transport ont une influence directe sur la production et le rendement des mines à ciel ouvert de plusieurs manières :

- Volume de minerai traité : le chargement et le transport efficaces permettent de déplacer rapidement de grandes quantités de minerai vers les installations de traitement, ce qui augmente le volume total de minerai traité et par conséquent, la production.
- Débit de production : ces processus contribuent à maintenir un débit de production élevé, ce qui maximise l'utilisation des équipements de traitement et des installations.

- Temps de cycle réduit : le chargement et transport optimisés réduisent les temps nécessaires pour déplacer le minerai vers les installations ce qui permet d'augmenter le nombre de cycles de production réaliser dans une période donnée.
- Sécurité des travailleurs : les processus de chargement et transport bien planifier garantir la sécurité des travailleurs en réduisent les risques d'accidents liés aux équipements lourds et aux opérations minières.
- Réduction des couts : en améliorant la productivité et minimisant les temps d'arrêt, une gestion efficace du chargement et du transport contribue à réduire les couts d'exploitation de la mine.
- Protection de l'environnement : une gestion responsable du chargement et transport peut aider à minimiser les impacts environnementaux en réduisant le déversement de matériaux et en limitant la pollution atmosphère.

### **III- La théorie de file d'attente**

#### **1- Définition de la file d'attente**

La théorie de file d'attente est une méthode de la recherche opérationnelle qui permet de représenter un système comportant un phénomène d'attente, d'analyser ses performances et de définir ses caractéristiques afin d'aider les gestionnaire dans leur processus décisionnels.

Le phénomène d'attente est évoqué chaque fois que certaines unités appelées « clients » arrivent de manière aléatoire à des « stations » dans le but de recevoir un service, dont la durée est généralement aléatoire.

Les files d'attentes sont souvent perçues comme un aspect inévitable de la vie moderne, omniprésentes dans une multitude de domaines d'activité, notamment dans la circulation routier.

Généralement, une file d'attente représente une ou plusieurs unités de services où les clients arrivent pour demander une durée spécifique d'utilisation pour cette unité (le service requis). Lorsque les clients peuvent accéder à cette unité de service, ils attendent dans la file d'attente jusqu'à ce qu'ils soient pris en charge. Il se peut que la file est pleine sont refusés par le système. Un client peut être pris en charge pendant un certain temps puis abandonné par le serveur. Le service résiduel d'un client est la durée restante du service à effectuer ; lorsque

cette durée est nulle le client quitte la file d'attente. La charge de file d'attente est la somme de tous les services résiduels de tous les clients présents [12].

### **2- Les éléments de file d'attente**

Une file d'attente se compose des éléments suivants :

- La population.
- Le nombre de serveurs.
- Les tendances quant à l'arrivée et au service.
- L'ordre de traitement des clients.
- Une salle d'attente.[12]

En combinant ces éléments, on peut modéliser et analyser différents systèmes de file d'attente pour comprendre leur comportement et optimiser leur efficacité.

- **La population :**

Représente la source potentielle des clients. Deux scénarios se présentent. Dans le premier la population est infinie, ce qui implique un nombre potentiellement illimité des clients à tout moment. C'est le cas dans les supermarchés, les banques, les restaurants, les cinémas, les centres d'appelés, où les clients peuvent provenir de divers régions. Dans le second scénario, la population est finie, ce qui signifie qu'il existe un nombre limité de clients potentiels.[13]

- **Nombre de serveurs :**

Le nombre de serveurs détermine la capacité de traitement, influencée à la fois par les capacités individuelles de chaque serveur et par leur nombre total. Dans ce contexte, un «serveur» représente les ressources d'accueil des clients, et l'assomption générale est qu'un serveur ne peut traiter qu'un client à la fois. Les systèmes des files d'attentes peuvent être conçus avec un seul serveur ou avec plusieurs serveurs en fonction de diverses considérations.

- **Les tendances quant à l'arrivée et au service :**

Ces tendances décrivent la manière dont les entités arrivent dans le systèmes ( par exemple, selon un processus aléatoire ou un distribution spécifique) et comment elles sont servies ( par exemple , un temps de service fixe ou un distribution de probabilité pour le temps de service).

- **L'ordre de traitement des clients :**

Il s'agit de la politique selon laquelle les entités sont traitées par : les serveurs, par exemple "premier arrivée, premier servi" FIFO.

### • Une salle d'attente :

C'est l'endroit où les entités attendent quand aucun serveur n'est disponible pour les servir. Cette zone peut être physique, comme une file d'attente dans un magasin, ou virtuelle, comme une file d'attente dans un système informatique.[13]

### 3- Les systèmes de la théorie de files d'attente :

En a deux types de système de la file se sont [12]:

#### 3-1- Systèmes de files d'attente avec un serveur unique :

\*Ce type possède un seul serveur qui offre le service.

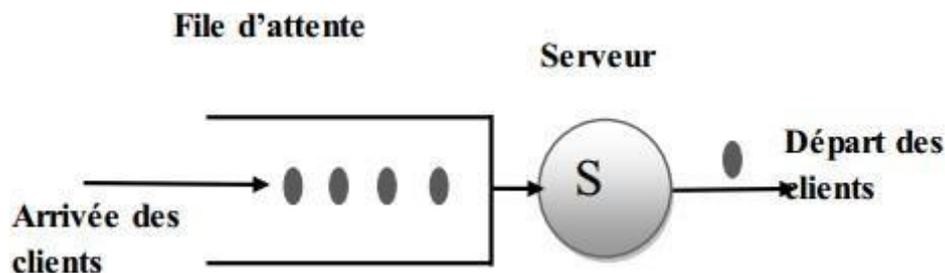


Figure I.10 : Système de file d'attente avec un serveur unique

#### 3-2- Systèmes de files d'attente avec plusieurs serveurs :

Ce genre de systèmes implique l'existence de multiples serveurs qui assurent la prestation du service, ces serveurs pouvant être disposés en parallèle ou en série

##### A- Système de files d'attente avec plusieurs serveurs en parallèles :

Dans un système de files d'attente comportant plusieurs serveurs en parallèle, Chaque serveur dispose d'une file d'attente, le client doit choisir la file la moins longue à son arrivée. S'il n'y a qu'une seule file, il peut rejoindre une position spécifique et sera ensuite servi selon la politique adoptée dans le système.[12]

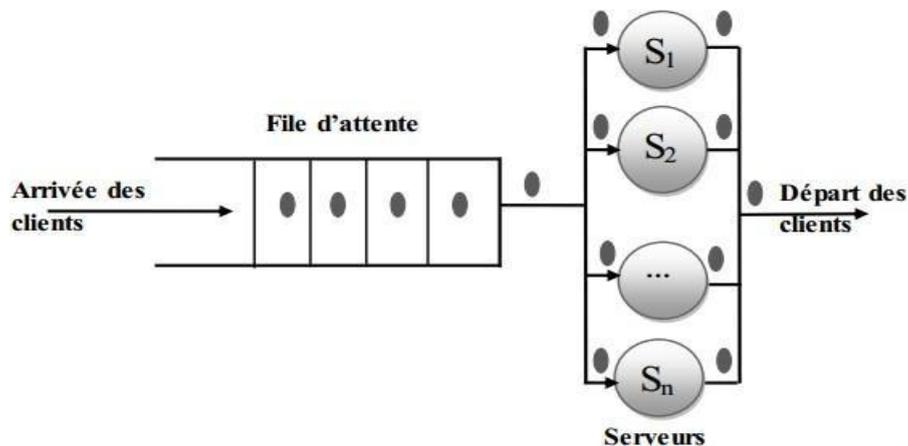


Figure I.11: Système de file d'attente à serveurs parallèles

**B- Système de files d'attente avec plusieurs serveurs en série :**

Dans un système de files d'attente avec plusieurs serveurs en série, les  $S$  serveurs sont disposés de manière successive. Chaque client entrant dans le système doit traverser plusieurs serveurs dans un ordre préétabli afin de recevoir le service. Ce type de système est également connu sous le nom de système de files d'attente en cascade [12].

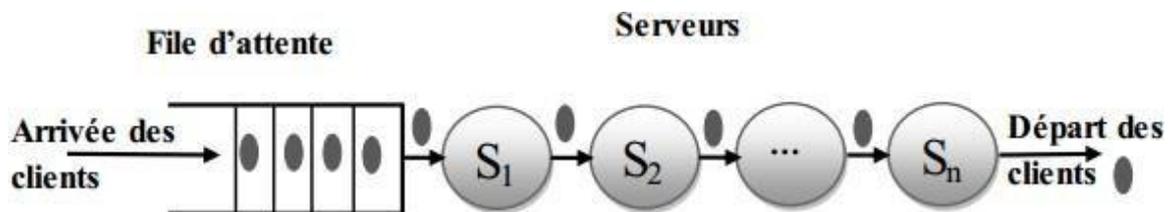


Figure I.12: Système de file d'attente à  $S$  serveurs en série

**4- Le comportement d'une file d'attente : [12]**

Les caractéristiques principales pour décrire le comportement d'une file d'attente sont les suivantes :

- A- Le processus d'arrivée des clients :** Il peut s'agir d'un processus aléatoire ou régulier, tel qu'une distribution de Poisson pour les arrivées aléatoires ou une distribution déterministe pour les arrivées planifiées.
- B- Le processus de service :** Il s'agit du processus selon lequel les clients reçoivent leur service une fois qu'ils sont dans le système.

- a. **La discipline de service :** Cela fait référence à la règle selon laquelle les clients sont choisis pour recevoir leur service
- b. **La capacité du système :** Il s'agit du nombre total de clients pouvant être présents dans le système à un moment donné.
- c. **Le nombre de service :** C'est simplement le nombre de personnes ou d'éléments disponibles pour fournir le service aux clients dans le système

# *Chapitre II :*

*Présentation de la mine de  
L'Ouenza Introduction*

## Introduction

Dans ce chapitre nous présentons la situation géographique de la mine, puis à son histoire, les réserves, et à la durée de son exploitation.

### I-Situation géographique :

- La région de l'Ouenza se trouve à 150 km au Sud-est d'Annaba et à 80 km Au Nord de Tébessa elle est reliée à Annaba par une voie ferroviaire par laquelle s'achemine toute la production de l'unité Ouenza. Le Djebel de l'Ouenza fait partie des zones diapiriques de la région de l'Atlas Saharien oriental. Il est situé dans la région de mont de Mellegue en formant un anticlinal orienté Nord-est, Sud-ouest,

- Suite à la structure et la nature des roches, le gisement est divisé en sept (7) gites " Quartiers " principaux dont : Chagoura sud, pic, Chagoura nord, Sainte-barbe, Conglomérat, Hallatif, Douamis et Zerga [14].

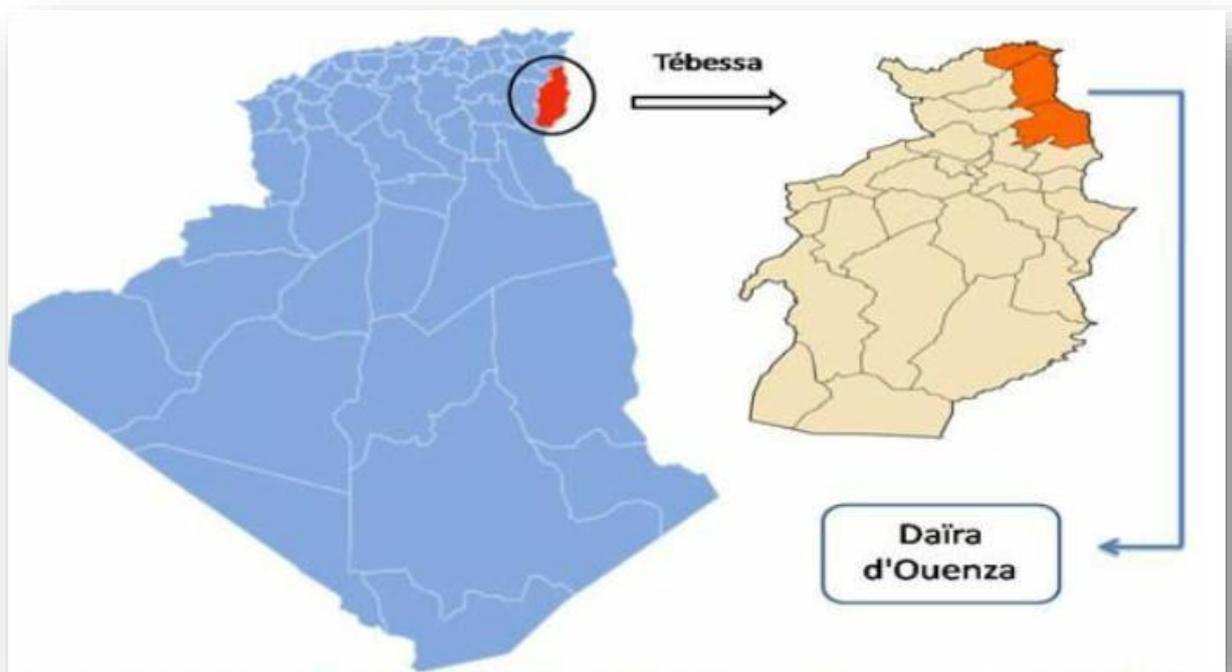


Figure II.1 : la région de l'Ouenza



Figure II.2: Localisation de la mine d'après google earth

## II- Historique de la mine :

La mine de l'Ouenza est l'une des plus grande et anciennes mine de fer d'Algérie.

En effet, en 1875 l'ingénieur des mines TISSOT signal l'importance des effleurements de minerai de fer d'Ouenza.

- En 1878 le premier permis de recherche de fer de l'Ouenza.
- En 1901 le prospecteur PASCAL obtient la concession pour la recherche et l'exploitation du minerai de fer à Ouenza.
- En 1913, la création de la société d'Ouenza.
- En 1921 débute l'exploitation réelle du gisement.
- La fin de la seconde guerre mondiale, l'exploitation s'est intensifiée considérablement avec l'introduction de la grosse mécanisation et surtout en raison de la forte demande des sidérurgistes européens en vertu de ses qualités exceptionnelles.
- En 1966 nationalisation des mines pour devenir la SONAREM (Société Nationale de Recherche et Exploitation Minière) qui deviendra par la suite FERPHOS (Entreprise Nationale du Fer et du Phosphate).

- En 1967 début d'aménagement des installations du skip pour le déblocage du minerai en provenance de la partie amont du gisement.
- En 1970 achèvement des travaux du skip.
- En 2001, un premier contrat de partenariat avec une firme étrangère fût signé. Il s'agit d'une Entreprise Indienne ISPAT.
- Ce partenariat s'est développé en 2006, donnant naissance au groupe Arcelor Mittal détenteur de 70% des actions de la mine de l'Ouenza contre 30% uniquement pour FERPHOS.
- En Octobre 2013, l'état algérien a repris le contrôle de la mine en achetant 21% des actions d'ARCELOR MITTAL dans la mine de l'Ouenza pour devenir majoritaire à hauteur de 51% et 49% pour Arcelor Mittal.
- En 2016 MINE DE FER DE L'EST (l'état algérien) a repris le contrôle de la mine à 100%.

### III- Les réserves :

Le gisement de Chagoura Nord a été prospecté par des sondages verticaux suivant une maille de 50x50m et par des travaux miniers (galeries et recoupes) exécutés sur six niveaux (733, 785, 845, 905, 965, 1085) différents à partir desquels ont été forés des sondages de diverses orientations pour la délimitation des corps minéralisés.

Les réserves de tous les corps ayant été prospectés suivant une maille de 50x25m sont classées dans la catégorie B. Les blocs de réserves prospectés par une maille plus large 50X50m, sont arrangés dans la catégorie C1.

Le gisement de Chagoura Sud-Pic a été prospecté par des travaux miniers (galeries) et par des sondages verticaux, inclinés ou horizontaux, exécutés soit à partir de la surface soit à partir des galeries sur de différents niveaux (733, 785, 845, 905, 965, 1025 et 1085).

La maille de prospection adoptée suivant les coupes perpendiculaires à l'axe de Chagoura Sud, est de 50x(50-25)m. La distance verticale entre les travaux miniers est de 60m et celle entre les sondages varie de 50 à 25m parfois même moins

Le gisement de 6 Mai est assez bien prospecté. La maille de prospection principale est de 50x50 m. Une grande partie des réserves (50%) avaient fait l'objet de prospection complémentaire détaillées où la maille a été serrée encore plus en effectuant des sondages

suivant diverses directions et angles de pendage. La partie du gisement touchée par cette maille est arrangée dans la catégorie « B ».

Les parties prospectées par une maille de 50x50 m sont en catégorie « C1 ».

La prospection des gisements de Douamis et de Hallatif a été effectuée suivant une maille très serrée, soit 25x12m pour le quartier de Douamis et 25x(25-12)m pour le quartier Hallatif.

-La catégorie B a été attribuée à tous les corps situés au-dessus du niveau 845 jusqu'à la surface, et ce vu l'existence de plusieurs affleurements mis à jour lors de l'exploitation et la maille des sondages qui est trop serrée, soit 35x25m en général.

-La catégorie C1 a été attribuée pour les parties des corps incluses entre le niveau 785 et 845 où la maille de prospection est plus large, soit en Général 50x50m. [15]

### Réserves géologiques du Gisement de l'Ouenza (actualisées au 30/10/2023)

Tableau II.1 : les réserves Géologiques

Quartiers	Minerai de fer	Fe %
Chagoura sud-pic	18 920024	50.1
Chagoura Nord	19 592563	48.8
Sainte Barbe	12 793 168	47,8
Conglomérat	6 011 290	47,4
Hallatif	4 931 028	51
Douamis	11 327 458	53
Zerga	3 196 457	42,7
Koura Ouenza	37514054	48
<b>TOTAL</b>	<b>114286042</b>	<b>48,9</b>

## Réserves exploitables du Gisement de l'Ouenza (actualisées au 30/10/2023)

Tableau II.2 : les réserves exploitables

Quartiers	Minerai de fer	Fe %	Réserves	
Chagoura Pic	6628327	53,5	24 293462	3.7
Chagoura Sud	3 069 389	48.1	6 703972	2.2
Chagoura Nord	9012865	49,6	17 083869	1.9
Sainte Barbe	4 582 653	48,4	18 972 288	4.1
Conglomérat	376 686	46,6	1 779 731	4.7
Douamis	8 425 289	53,9	42070918	5
Zerga	2 350 266	42,7	2862127	1.2
<b>TOTAL</b>	<b>34 445475</b>	<b>50,6</b>	<b>113 766 367</b>	<b>3.3</b>

## VI-production planifiée :

## VI-1-répartition de la production par quartier année-2024

Tableau II.3 : répartition de la production 2024

QUATIER	NIVEAU	répartition DE LA PRODUCTION PAR QUARTIER ANNEE-2024			TD	MASSE ROCHEUSE	Opérateurs
		Minerai extrait	Qualité%	Stérile			
CH-PIC		200 000	51,50	2 540 000	12,70	2 740 000	ENG
CH-NORD		600 000	49,2	2 200 000	3,67	2 800 000	MINE
CH-SUD		350 000	45,8	2 100 000	6,00	2 450 000	
ILOT		150 000	47,4	800 000	5,33	950 000	
ZERGA		150 000	42,1	650 000	4,33	800 000	
Totale Extrait (MINE)		1 250 000	47,2	5 750 000	4,60	7 000 000	
Totale Extrait (MINE+ENG)		1 450 000	47,8	8 290 000	5,72	9 740 000	
Reprise (ancien stocks)		70 000	43,00				
Reprise (stocks tampon)		80 000	45,00				
Total reprise		150 000	44,70				
TOTAL GENERAL		1 600 000	47,43	8 290 000		9 890 000	
TOTAL GENERAL		1 600 000	47,43	8 290 000		9 890 000	

## VI-2- Ventilation mensuelle de la production :

Tableau II.4 : ventilation mensuelle de la production

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	D éc	Total
Minerai/ Mine	100	100	100	100	100	100	100	110	110	110	110	110	1.250
Minerai/ ENG	0	0	10	10	15	10	15	0	35	35	35	35	200
Total Minerai Extrait	100	100	110	110	115	110	115	110	145	145	145	145	1.450
Reprise Stocks	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	150
Minerai concass é	112.5	112. 5	122.5	122.5	127.5	122.5	127.5	122.5	157.5	157.5	157.5	157.5	1.600
Minerai Expédié /SIDER	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
SARL TUNCH	12.5	12.5	22.5	22.5	27.5	22.5	27.5	22.5	57.5	57.5	57.5	57.5	400
Stérile Mine	285	265	395	380	390	380	510	520	645	650	650	650	5.750
Stérile ENG	200	200	260	260	255	260	255	0	235	235	215	215	2.540
Total Stérile	485	465	655	640	645	640	765	520	880	885	865	865	8.290
Masse Rocheus e Mine	385	365	495	480	490	480	610	630	755	760	760	760	7.000
Masse Rocheus e ENG	200	200	270	270	270	270	270	0	270	270	250	250	2.740

Total	585	565	765	750	760	750	880	630	1.025	1.030	1.010	99	9.740
Masse Rocheuse												0	
Masse transp Mine	397.3	377.5	517.5	502.5	517.5	502.5	637.5	642.5	802.5	807.5	807.5	83	7.350
Masse transp ENG	200	200	260	260	255	260	255	0	235	235	215	16	2.540
TD Mine	2,85	2,65	3,95	3,80	3,90	3,80	5,10	4,73	5,86	5,91	5,91	6,	4,60
TD ENG	/	/	26,00	26,00	17,00	26,00	17,00	/	6,71	6,71	6,14	4,	12,70
Métrage foré m	11	10.4	14.1	13.7	14	13.7	17.4	18	21.5	21.7	21.7	22	200
												.5	

## V- Caractéristiques des stériles :

### \* Les calcaires récifaux :

-**calcaire à grain fin** : le facies le plus développé correspond à un calcaire fin, compact et très dur, de couleur en généralement gris clair. Cette roche constitue des formations puissantes et très homogènes.

-**calcaires à huitres et calcaires à débris d'organismes** : la roche, de couleur foncée ou noire, est formée en grande partie de débris d'organismes divers noyés dans un ciment calcaire.

- **calcaires à orbitolines** : c'est un calcaire gris très riche en orbitolines, quelquefois friable, ailleurs très dur à l'inverse des roches précédentes,.

### • V-1- Quartier Chagoura Nord :

Les corps minéralisés les plus importants sont situés dans les calcaires récifaux de l'aptien, orientés NE : Douamis, Chagoura Sud et Koura Ouenza-Chagoura Nord.

En coupe transversale, la forme des plis est irrégulière. En général, symétrique au pendage des roches sur les flancs (30°-60°) ; dans les parties supérieures des structures, les pendages sont raides (65°-80° : cas Chagoura Nord).

D'après les coupes verticales et horizontales élaborées, le corps le plus important se présente sous forme d'un corps tubulaire de 650m de longueur, 150m de largeur et 300m de profondeur.

Dans l'ensemble, les autres corps miniers représentent des morphologies assez complexes, soit en nids, en lentilles ou en amas. Leurs dimensions par rapport au corps précédent sont très restreintes. Parfois au sein des corps minéralisés, apparaissent des grottes ou vides de différentes tailles.

La teneur moyenne en fer pour l'ensemble des corps minéralisés est pratiquement identique, soit en moyenne 48%. Quant à la teneur en silice, elle est pratiquement constante dans tous les corps, elle varie de 5 à 6% en moyenne.

- **V-2- Quartier Chagoura SUD – PIC :**

Les corps minéralisés sont localisés au sein des calcaires récifaux aptiens, en particulier au voisinage des grosses fractures auxquelles est attribué le rôle de structure productive.

D'après les résultats de l'interprétation géologique des coupes verticales transversales et les observations de terrain, les corps sont disposés en général sous forme de lentilles irrégulières sub-concordantes à la stratification. Parfois, sur les coupes verticales et les plans de niveaux élaborés.

L'interprétation des coupes verticales et les projections sur les plans ont permis de mettre en évidence six corps miniers moyennant une teneur en fer de 47.29% et 5.48% en SiO<sub>2</sub>.

- **V-3-Quartier 6 Mai :**

En se basant sur les résultats des expertises géologiques faites par le Bureau d'étude de la mine, concernant le quartier 6 Mai (Sainte Barbe et conglomérat), quatre (04) corps minéralisés ont été mis en évidence. Ces corps représentent la continuité sous forme de ramifications du corps principal déjà épuisé. Ils sont disposés sur les bords de la carrière.

Le *corps n°1* situé au nord de l'axe du gisement est le plus important et se prolonge parallèlement à l'axe jusqu'à l'extrémité Est du quartier Douamis, avec une certaine rupture entre Hallatif et Douamis.

Les *corps n°2, 3 et 4* de moindre importance sont développés d'une manière irrégulière de part et d'autre de l'axe.

Le minerai caractérisant le gisement du 6 Mai est de type Hématite-Limonite. Il est développé à partir de la surface jusqu'au niveau 552 m (niveau hydrostatique).

Dans le quartier de sainte barbe, la minéralisation prend fin naturellement au voisinage du niveau hydrostatique. Par contre dans le quartier du conglomérat, les corps se prolongent sur une profondeur de 100 à 150 m au-dessous du niveau 552, sous forme de minerai sidéritique.

Du point de vue qualitatif, la teneur en fer des *corps n°1 et 2*, développés sur le bord NW de la carrière est presque identique. Plus riche en fer et plus faible en silice (Fe : 50% ; SiO<sub>2</sub> : 8%).

Les *corps n°3 et 4*, développés sur le bord SE de la carrière sont caractérisés par une teneur plus basse en fer et plus élevée en silice (Fe : 45% ; SiO<sub>2</sub> : 7%).

- **V-4- Quartiers « Douamis et Hallatif »**

La minéralisation caractérisant les deux gisements est de type essentiellement Hématitique, rarement limonitique.

L'interprétation des données géologiques existante, a permis de mettre en évidence dans ces deux corps minéralisés localisés au sud et au nord de l'axe du gisement.

L'allure générale des corps miniers de Douamis est très régulière et homogène.

La teneur moyenne en fer, contrairement aux autres quartiers est supérieure à 45% (riche).

La teneur moyenne pour les deux corps est quasiment identique, soit 53%. Quant à la teneur en silice, elle est légèrement différente pour les deux corps, c'est-à-dire 5% pour le corps n°1 et 2% pour le corps n°2 qui est situé au sud de l'axe.

\*Le gisement de Douamis se distingue des autres quartiers par la présence de minéraux de cuivre sulfureux (Chalcopyrite, Tétrahédrite...) et les carbonates de cuivre hydratés (Malachite et Azurite). Cette minéralisation se présente sous forme de mouchetures, parfois en remplissage des microfissurations (Minéralisation secondaire). La teneur en cuivre est très

hétérogène. Elle varie de la trace jusqu'à 0.4%. La teneur moyenne pour l'ensemble du gisement de Douamis est de 0.184%.

Pour ce qui est du quartier Hallatif, qui a une liaison directe avec les corps miniers de Douamis, plus de 80% des réserves sont déjà épuisées ce qui reste n'est que les dernières racines des corps principaux.

La teneur moyenne en fer dans ce quartier « Hallatif » est quasi identique à celle de Douamis. Notons qu'au niveau de ce gisement existe de la baryte sous forme de filonnet.

- **V-5- Zerga**

L'exploitation a commencé ses travaux à partir du niveau 875 m pour se terminer au 709 m. Le projet prévoit 11 gradins d'une hauteur de 12-18 m. Le pendage des gradins en carrière au cours des travaux d'extinction est de 30-40°.

Du point de vue géologique la base des dépôts métallifères est composée de marnes souvent gypsifères et de calcaires. Les marnes sont orientées SW avec des pendages de l'ordre de 35° à 65° vers le SE. Les dépôts métallifères qui surplombent les marnes et calcaires et qui sont de texture bréchique, pourraient être redéposés.

- Toute la région est accidentée par un grand nombre de failles et de différentes directions bien marquées par des plans de glissements bien dessinés sur les contacts des roches de types variés.
- Pendant l'exploitation des affaissements ont été observés. L'affaissement le plus important s'est produit à la fin de 1978 dans la partie centrale du quartier, après quoi ce quartier s'est vu presque hors d'exploitation pendant une longue période<sup>8</sup>

#### **XVI- La durée de vie de la mine :**

La durée d'existence d'une mine peut être déterminée par la formule [16] :

$$T = Q_{\text{champ}} / A ; \text{ans} \dots\dots\dots (\text{II.1})$$

Où :  $Q_{\text{champ}}$  : les réserves du champ minier ;

A : l'extraction annuelle de minerai ;

$$T = 25 \text{ ans}$$

La durée de vie de mine pour l'extraction de minerai ; 25 an

# *Chapitre III*

*Etat actuel de l'exploitation  
au niveau de la mine de  
l'OUENZA*

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous explorerons en détail les différentes étapes d'exploitation avec les calculs de ces paramètres tels que : la méthode d'exploitation, l'ouverture le forage et tir...etc, ensuite nous parlerons de divers aspects associés à l'exploitation : la résistance au roulement, les caractéristiques des routes , la maintenance et le dispatching des engins .

### 1- Méthode d'exploitation :

La méthode d'exploitation est l'ordre d'exécution des travaux du creusement et d'extraction des roches stériles et du minerai dans le temps et dans l'espace d'une façon planifiée, dans les conditions de sécurité, lors de la mise en valeur rationnelle des réserves du gisement [4]

La méthode d'exploitation est basée sur les modes de déplacement des roches de recouvrement au terril .

En générale, on distingue les méthodes d'exploitation suivantes :

- Méthodes d'exploitation sans transport.
- Méthodes d'exploitation avec engin de transport.
- Méthodes d'exploitation combinées.[2]

Les principaux indices sont :

- La vitesse d'avancement des chantiers.
- La vitesse d'approfondissement de la carrière.
- La productivité annuelle

Les éléments du système d'exploitation sont composés de:

- Les gradins;
- Les plates formes de travail;
- Les fronts de travail

### 1-1/ le choix de la méthode d'exploitation :

Le choix de la méthode d'exploitation dépend des facteurs suivants :

- Les caractéristiques géologiques et minières du gisement.
- L'angle de pendage du gite.
- Relief de la surface où se dépose le gisement.
- Production en minéral utile.
- Mode d'ouverture.[4]

**1-2 / Détermination des paramètres de la méthode d'exploitation:**

**1-2-1 / la hauteur de gradin :** Elle est choisie en fonction des paramètres techniques de l'excavateur, de l'organisation des travaux de forage et de tir, de la sécurité de travail et d'autres facteurs. Dans les roches dures, la hauteur du gradin ne doit pas être supérieure à  $1,5H_c$  max

$$H_g \leq 1,5 H_c \text{ max ; } (m) \dots\dots\dots (III.1)$$

Où:

$H_c$  max: la hauteur de creusement maximal de l'engin d'extraction; m Dans le cas du quartier de changoura nord  $H_g=15m$

Lors de la détermination de la hauteur des gradins, il faut tenir en compte plusieurs facteurs

- tels que:
- Sécurité en fonction des engins
  - Stabilité
  - Epaisseur de la couche pour un gisement plat[10]

**1-2-2 / Largeur d'enlevure :**

Lors du choix de la largeur d'enlevure, on prend en considération

- Les propriétés des roches
- Le mode d'abattage des roches
- Type et dimensions des engins de chargement

Lors de l'exploitation des roches dures avec l'abattage à explosive [10]

$$A = W + (n - 1) b; (m) \dots\dots\dots (III.2)$$

W : Ligne de moindre résistance;6 m

n : Nombre de rangé :2 range

b : Distance entre deux rangés :3 m

$$A= 6+(2-1)*3= 9$$

**1-2-3 / La largeur de plate-forme de travail :**

est déterminée en fonction de :

- propriétés physique et mécaniques des roches;
- dimension du tas des roches abattues;
- paramètres techniques des engins de chargement et de transport.

Lors de l'emploi de l'abattage des roches par travaux de forage et de tir, la plate de forme de travail se calcule par la formule suivante: [10]

$$L_{pt} = A + X + C + T + Z; \quad (m) \dots \dots \dots (III.3)$$

Où:

A: largeur d'enlevure : 6m

X: largeur réduite du tas de roches abattues en dehors de l'enlevure; 11.98 m

C: la distance de sécurité comprise entre le tas de roches et la chaussée de transport "T";  
C=2m.

T: largeur de la chaussée de transport (chaussé); T=13m

Z : largeur du prisme d'écroulement :

$$Z = H_g (\cot \gamma - \cot \alpha) : (m) \dots \dots \dots (III.4)$$

$\gamma$  : Angle du talus de liquidation naturelle

$\alpha$  : Angle du talus de gradin ;

Pour les gradins de  $H_g = 15m$  :  $Z = 3.5m$  ;

Donc Pour les gradins de  $H_g = 15m$  :

$$L_{pt} = 6 + 21.98 + 2 + 13 + 3.5 = 46.48m.$$

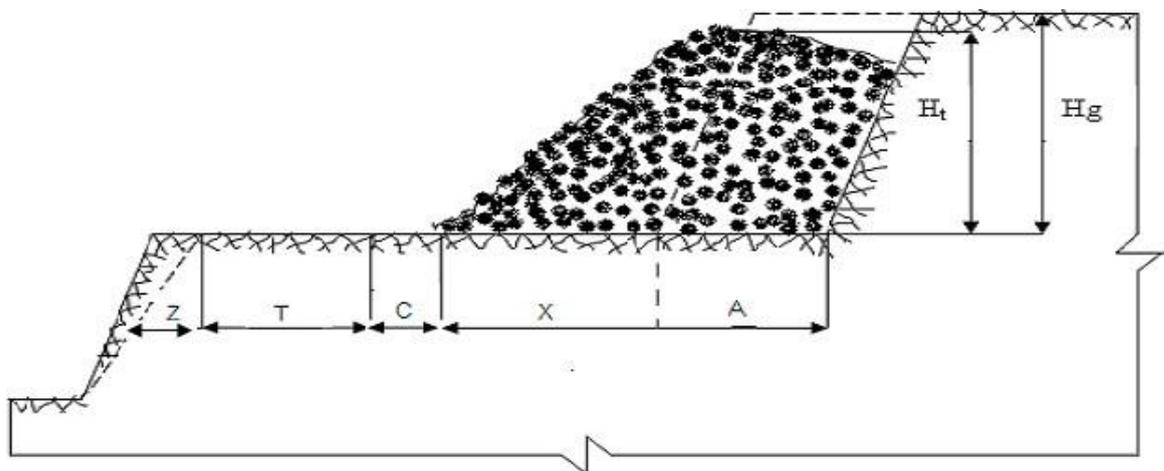


Figure III.1: La largeur de la plate-forme de travail.

**1-2-4 /Nombre de blocs:**

Un gradin peut comporter un ou plusieurs chantiers; chaque partie du gradin exploitée est nommée "bloc", un bloc comprend en générale trois parties:

- 1- tronçon tiré;
- 2- tronçon foré;
- 3- tronçon nettoyé.

Le nombre de blocs dans un gradin est déterminé comme suit:

$$Nb = \frac{L_f}{L_b} \dots \dots \dots (III.5)$$

Où:

$L_f$  : Longueur du front de travail; 600m

$L_b$  : longueur d'un bloc; 200m

**1-2-5 / Vitesse de déplacement des chantiers:**

Considéré comme premier indice d'une méthode d'exploitation, la vitesse de déplacement d'un chantier de travail dépend de la largeur d'enlevure et du rendement des moyens de chargement elle est déterminée par la formule:[11]

$$V_f = \frac{Q_{ex}}{A \times H_g}, \text{ m /j ; } \dots \dots \dots (III.6)$$

$Q_{ex}$  : Rendement de l'excavateur 6514.28 m<sup>3</sup> /j

$A$  : Largeur d'enlevure; 6m

$H_g$  : Hauteur du gradin; 15 m

$$V_f = 72.38 \text{ m/j}$$

Tableau III.1 : paramètres de la méthode d'exploitation

Paramètres	Unité	Désignation	Valeur
la hauteur de gradin	m	Hg	15
Largeur d'enlevure	m	A	6
largeur de plate-forme de travail	m	Lpt	46.48
Nombre du blocs		Nb	3
Vitesse de déplacement des chantiers	m/j	Vf	72.38

## 2- L'ouverture du champ minier :

C'est l'enlèvement du terrain qui recouvre un gisement dans le but d'exploiter.

L'ouverture d'un gisement se fait par le creusement des tranchées principales qui donnant l'accès au gisement et des tranchées de découpages qui préparant le champ de la carrière à l'exploitation. [8]

### 2-1/ Choix de mode d'ouverture :

On choisit le mode d'ouverture suivant les conditions les plus efficaces de l'exploitation.

L'ouverture d'un gisement dépend des facteurs économiques, miniers et géologiques. [17]

#### a- Les facteurs économiques :

- Rendement.
- Les dépenses.

#### b- Les facteurs miniers :

- Productivité de la mine.
- Durée de service.
- Moyen de mécanisation et sécurité de travail.

#### c- Les facteurs géologiques :

- Relief de terrain.
- Forme et dimension du gisement.
- Puissance, profondeur de gîte.

- Disposition de gîte.[17]

## 2-2/ le choix de mode d'ouverture

doit assurer :[11]

- La sécurité de travail.
- Rentabilité d'exploitation.
- Le fonctionnement des engins.
- La production.

Dans le cas de la mine d'Ouenza, le gisement est un relief montagneux, donc le mode d'ouverture pour ce type de gisement est l'ouverture par demi-tranchée d'accès.

## 2-3/ Creusement demi-tranchée d'accès :

L'ouverture d'un gisement montagneux se fait généralement du bas vers le haut.

- Si l'angle du flanc de coteau est faible, la demi-tranchée est réalisée sans avoir aux travaux de creusement. Les derniers sont remplacés par les travaux de remblayage.
- Si l'angle du flanc de coteau est inférieur à l'angle d'éboulement dans le remblai, la demi-tranchée est creusée avec un largeur. [11]

$$b_{tr} = (0.4 - 0.7)l_{tr} , \dots\dots\dots (III.7)$$

ou  $l_{tr}$  : largeur de demi-tranchée d'accès.

- Si l'angle du flanc de coteau est supérieur à l'angle d'éboulement dans le remblai, la demi-tranchée est creusée dans le massif.

Pour les gites d'Ouenza le creusement de la demi-tranchée d'accès se fait à l'aide des travaux de forage et de tir.

## 3-3/ paramètres de demi-tranchée :

### a. L'angle de bord demi-tranché :

L'angle de bord dépend des propriétés physico-mécaniques des roches et de la profondeur de celle-ci.

L'angle bord de la demi-tranchée déterminé d'après le tableau suivant.[11]

**Tableau III.2 :** valeurs des angles de bord de demi-tranchée d'accès.

Types de tranchée	Angles de bords des tranchées			
	Dureté des roches			
	2-4	5-9	10-14	14-20
Accès	60°	70°	70°	80°
Découpage	60°	65°	75°	80°- 85°

D'après la dureté des dans la mine d'Ouenza f= 6 et d'après le tableau : l'angle du bord de la demi-tranchée d'accès de 70°.

**b- largeur de la demi-tranchée :**

Elle dépend du mode de creusement et des les destinations.

Pratiquement, la largeur de la demi-tranchée d'accès définie comme suite [11] :

**Tableau III.3:** valeur de largeur de demi-tranchée d'accès.

Destination des tranchées		Largeur minimale(m)	Largeur maximale(m)
Deux voies	Camion<35tonnes	14	17
	Camions>40tonnes	15	20
Une voie	Camions<35tonnes	8	13
	Camions>40tonnes	8.5	16

Dans la mine d'Ouenza quartier chagoura nord le transport utilisé est par camions dont la capacité de la benne est de 50.2 tonnes à une seule voie donc la largeur est de= 8-16m.

**c- Pente longitudinale :**

La pente longitudinale est généralement déterminer d'après le type de transport utilisé, le transport de l'Ouenza effectué par camion, la pente est de l'ordre de 8-12%.

**d- Longueur de demi-tranchée d'accès :**

La topographie de la mine d'Ouenza se présente par un relief montagneux ce qui justifie l'ouverture par demi-tranchées, la longueur de la demi-tranchées d'accès est de 100m.

**e- Le volume de demi-tranchée d'accès :**

Le volume de la demi-tranchée d'accès déterminer par :

$$V_{dtr} = \frac{b^2 * \sin \alpha * \sin \beta * Ld}{2 * \sin(\alpha - \beta)} ; m^3 \dots \dots \dots (III.8)$$

où:

$b$ : largeur de la demi-tranchée d'accès ; 16m

$\alpha$  : l'angle de bord de la demi-tranchée d'accès ;  $70^\circ$

$\beta$  : l'angle du flanc de coteau ;  $60^\circ$

$L_d$  : longueur de demi-tranchée d'accès ; 100m

$$V_{dtr} = \frac{16^2 * \sin(70) * \sin(60) * 100}{2 * \sin(70-60)} ; \dots\dots\dots (II.9)$$

$$V_{dtr} = 58981,5331 \text{ m}^3$$



**Figure III.2:** L'ouverture par demi-tranchée d'accès dans la mine d'Ouenza.

### 3/ Forage et tir :

Les travaux de forage et de tir sont largement utilisés dans les carrières lors de l'extraction des roches semi dures et dures .L'organisation des travaux de forage et de tir exercent une influence considérable sur le rendement des chargeuses, des moyens de transport, et des autres engins auxiliaires [4]

#### 1-1/Exigences technologiques des travaux de forage et de tir

Les travaux de forage et de tir en carrières doivent assurer:  
-degré nécessaire et régularité de la fragmentation des roches;

- état normal du pied gradin, c'est-à-dire la surface plate sans rebords;
- formation du tas de la masse minière explosée avec forme et dimensions nécessaire
- volume nécessaire de la masse minière explosée pour le travail régulier des engins de chargement.
- action sismique minimale pour les installations au jour et l'environnement; - dépense minimale et grande sécurité du travail [4].

### **3-1/ travaux de forage :**

#### **3-1-1/. Choix du mode de forage :**

Le choix de mode de forage dépend :

- Des propriétés physico-mécaniques des roches.
- Profondeur de forage à réaliser.
- Diamètre à réaliser.

On distinguant les modes de forage suivant :

- Forage rotatif.
- Forage percutant.
- Forage roto-percutant.
- Forage thermique.[4]

Le choix de ces modes dépend de l'indice de forabilité :

#### **3-1-2. Détermination de l'indice de forabilité :**

L'indice de forabilité des roches est une propriété technologique dans le but de déterminer la nature de forabilité des roches dans les conditions de la mine d'Ouenza.

Tableau III.4 : le paramètre de forabilité

Sondeuse	Diamètre de trou (mm)	I <sub>f</sub>
A molette	160 180÷243 243÷262	5÷10 7÷12 8÷14
A vis	125 160	1÷3 1÷6
<b>Roto percutant</b>	<b>105÷125</b> 185 200	<b>6÷15</b> 10÷25 10÷25
Thermique	180÷400	12÷25

## 3-1-3/ caractéristiques de la sondeuse :

Tableau III.5 : caractéristiques de la sondeuse **ATLAS. COPCO**

Marque.	ATLAS. COPCO
Type.	ROCL6 – 44
Type de moteur	CAT C10
Puissance du moteur	R72 KW
Diamètre du trou	(110 ÷ 125) mm
Direction de forage	(60°-90°)
Vitesse de rotation	25 ÷ 80 tr/mn
Vitesse de déplacement	3,4 km/h
Consommation d'air comprimé	5 bars
Profondeur max de forge	40 m
Poids	19 t



Figure III.3 :la sondeuse ATLAS COPCO

### 3-2/ travaux de tir :

#### 3-2-1 /Les caractéristiques de l'explosifs :

Chaque produit d'explosif, se caractérise par [10] :

- sa capacité de travail.
- Sa brisance ou vitesse de détonation.
- Sa sensibilité à l'onde explosive.
- Son aptitude à transmettre la détonation.
- Sa résistance à l'humidité.
- Son état physique et son mode de présentation.

Dans la mine d'Ouenza, les explosifs utilisés sont :

- MARMANIT 25% ; comme charge secondaire
- ANFOMILE 75% ; comme charge principale [14]



Figure III.4 : le cartouche de MARMANIT

Tableau III.6: caractéristiques de l'explosif

Type de l'explosif	Paramètres	Unités	Valeurs
MARMANIT	-Densité	g/cm <sup>3</sup>	0.96/1.05
	-Vitesse détonation	m/s	4200/4600
	-Resistance à l'eau		Moyenne
	-Diamètre de la cartouche	mm	50
	- Longueur de la cartouche	mm	135
	-Poids de la cartouche -Travail spécifique	kg cm <sup>3</sup> /g	1.250 360/405
INFOMILE	-Densité	g/cm <sup>3</sup>	0.9
	-Vitesse détonation	m/s	4500
	-Resistance à l'eau		Très faible
	-Poids de sac	kg	25
	-Travail spécifique	cm <sup>3</sup> /g	320

**3-2-2 / Type de détonateurs** Pour l'amorçage des charges d'explosif deux sortes de détonateur sont généralement utilisés :

- Détonateur électrique instantané ou micro retard.

Détonateur pyrotechnique.

Dans le cas de l'Ouenza le type de détonateur utilisé est électrique instantanés et microretard [10]

**3-2-3 / Paramètres de plan de tir :**

**1- La longueur du trou :**

$$L_{tr} = \frac{H_g}{\sin \beta} + L_s \dots\dots\dots(III.10)$$

Où :

Hg : Hauteur du gradin, 15 m ;

Ls : Longueur de sous-forage, 2 m ;

β – Angle d'inclinaison du trou, 90 degré [11] ;

Donc :

$$L_{tr} = \frac{15}{\sin 90} + 2 = 17m \dots\dots\dots(III.11)$$

**2- Ligne résistante au pied du gradin :**

Donc, pour calculer la résistance au pied du gradin on applique la formule suivante [11]:

$$W = \frac{\sqrt{0.56 \times P^2 + 4 \times m \times q \times P \times H_g \times L_{tr}} - 0.75P}{2 \times m \times q \times H_g} \dots\dots\dots(III.12)$$

Où :

P : charge métrique d'explosif, 8.5 Kg/m

m : Coefficient de rapprochement des trous (m=0.8 ÷ 1.4), comme la roche est difficilement tirable on prend m = 0.9

q : Consommation spécifique de projet de l'explosif, q= 0.4 Kg/m<sup>3</sup>

Hg : hauteur du gradin, Hg= 15m

L<sub>tr</sub> : profondeur des trous, L<sub>tr</sub>=17 m

Donc :

$$W = \frac{\sqrt{0.56 \times 8.5^2 + 4 \times 0.9 \times 0.4 \times 8.5 \times 15 \times 17} - 0.75 \times 8.5}{2 \times 0.9 \times 0.4 \times 15}$$

$$W = 4.61 \text{ m}$$

### 3- Vérification selon les conditions de sécurité :

$$W_s = Hg \times \text{ctg} \alpha + c \dots \dots \dots \text{(III.13)}$$

Où :

$\alpha$ - inclinaison du talus du gradin,  $\alpha = 80^\circ$  ;

c- est la distance minimum admissible entre de l'arrêt supérieur du gradin jusqu'à l'axe du trou de la première rangée;  $c=3\text{m}$ . [11]

Donc :

$$W_s = 15 \times \text{ctg} 80^\circ + 3 = 5.64 \text{ m}$$

W étant supérieur à  $W_s$  ( $W > W_s$ ) donc la relation est vérifiée selon les conditions de sécurité du travail.

### 3- La distance entre deux trous dans un ranger :

Elle se détermine par la formule suivante :

$$a = m \times w \dots \dots \dots \text{(III.14)}$$

Donc :

$$a = 0.9 \times 4.61 = 4 \text{ m}$$

### 4- Distance entre deux rangées :

Comme le tir s'effectuera avec les microretards alors [11] :

$$b = m \times a \quad (\text{m}) \dots \dots \dots \text{(III.15)}$$

$$b = 3\text{m}.$$

Pour la maille caré ; Nombre de rangée  $n=2$

### 5- Quantité d'explosif dans un trou:

Elle se calcul d'après la formule suivante [18] :

$$Q_{\text{ex}} = q \times a \times W \times Hg ; \quad \text{Kg/trou} \dots \dots \dots \text{(III.16)}$$

Donc :

$$Q_{\text{ex}} = 0.4 \times 4 \times 4.61 \times 15$$

$$Q_{\text{ex}} = 111 \text{ Kg}$$

### 6- Longueur de la charge :

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$L_{\text{ch}} = \frac{Q_{\text{ex}}}{P} \quad ; \text{ m} \dots \dots \dots \text{(III.17)}$$

$Q_{ex}$  - quantité d'explosif par trou.....kg/trou ;

P - la charge linéaire, ..... m ;

Donc :  $L_{ch} = \frac{111}{8.5} = 13.05$  m on prend 13m

**7- - Longueur du bourrage :**

Elle est déterminée par la formule suivante [21]:

$$L_b = L_{tr} - L_{ch} \quad ; \text{ m} \dots \dots \dots (III.18)$$

$L_{tr}$  - Longueur du trou, .....m ;

$L_{ch}$  - Longueur de la charge, ..... m ;

Donc :

$$L_b = 17 - 13 = 4\text{m}$$

**8- Volume du bloc à tirer :**

Le volume du bloc à tirer dépend de la production annuelle et se détermine par la formule suivante :

$$V_{bl} = \frac{P_a}{N_{s/an} \times \gamma} \times N_{int} \quad \text{m}^3 ; \dots \dots \dots (III.19)$$

Où :

$N_{s/an}$  - Nombre de semaine ouvrable par an 45 semaine [18] ;

$N_{int}$  - Intervalle entre les tirs successifs,  $N_{int} = 1$  semaines ;

$P_a$  - Production de la mine,  $P_a = 2\,000\,000$  tonnes ;

$\gamma$  - La masse volumique,  $\gamma = 2.7$  t/m<sup>3</sup>.

$$V_{bl} = \frac{2\,000\,000}{45 \times 2.7} \times 1 = \mathbf{16460 \text{ m}^3}$$

**9- Longueur du bloc à tirer :**

$$L_{bl} = \frac{V_{bl}}{A \times H_g} \dots \dots \dots (III.20)$$

Où :

$V_{bl}$  -volume du bloc à tirer, .....m<sup>3</sup> ;

A - largeur d'enlevure, ... ..... m ;

$H_g$  - hauteur du gradin, ... ..... m [18];

$$\text{Donc : } L_{bl} = \frac{16460}{6 \times 15} = 182.88\text{m}$$

**10- Nombre des trous dans un bloc :**

On le détermine par la formule suivante [11]:

$$N_{tr} = \frac{L_{bl} \times A}{a \times b} \dots \dots \dots (III.21)$$

$$N_{tr} = \frac{182.88 \times 6}{4 \times 3} = 92 \text{ trous}$$

Tableau III.7 : les paramètres de plan de tir

Paramètres	Désignation	Unités	valeurs
Hauteur de gradin	Hg	m	15
Longueur de sous-forage	Ls	m	2
Longueur de trou	Ltr	m	17
Charge métrique	P	Kg/m	8.5
Coeff de rapprochement	M		0.9
Consommation spécifique	Q	Kg/m <sup>3</sup>	0.4
Ligne résistante au pied de gradin	W	m	4.61
Distance entre les trous	A	m	4
Distance entre les rangés	B	m	3
Quantité d'explosif dans un trou	Qex	Kg	111
Longueur de la charge	Lch	m	13
Longueur du bourrage	Lb	m	4
Volume du bloc à tirer	Vbl	m <sup>3</sup>	16460
Longueur du bloc à tirer	Lbl	m	182.88
Nombre des trous dans un bloc	Ntr	Trou	92

## 2- Chargement

Le chargement est une étape fondamentale des opérations minières et joue un rôle crucial dans le succès de tout projet minier, car la production minière dépend largement de la quantité de déblais chargés.

Le choix des moyens de chargement dépend des facteurs suivants

- Nature de matériaux
- Productivité planifiée
- Mode d'exploitation
- Hauteur du gradin [10]

**1- Etat actuel du chargement :**

Pendant notre durée de stage entre la période de 04/02/2024 et 07/03/2024 à la mine de L'OUENZA en trouve que les travaux de chargement s'effectuent à l'aide de deux types de chargeuses : 1 Chargeuse de type CATRRPILLAR et 2 pelles mécaniques (rétro) de type LIBHERR (voir le tableau suivant) :

Tableau III.8 : état actuel de chargement

<b>Numéro</b>	<b>Type</b>	<b>Situation</b>
1	Pelle LIBHERR	Arrêt
2	Pelle LIBHERR	Arrêt
3	Pelle LIBHERR	Marche
	Pelle CATERRPILLAR	Marche
7	Chargeuse CATERRPILLAR	Marche
6	Chargeuse CATERRPILLAR	Arrêt
3	Chargeuse CATERRPILLAR	Arrêt

## 2- Caractéristiques des pelles :

Tableau III.9 : caractéristiques de pelle

Moteur	
Moteur diesel LIBHERR	
Classement selon ISO9249	<b>565 KW/757ch</b>
Modèle	<b>LIBHERR D9512(USA/EPA)</b>
Type	<b>Moteur à cylindre V12</b>
Alésage /Course	<b>128/157mm 5.04/6.18 pouces</b>
Déplacement	<b>24.24 l/1 479 po<sup>3</sup></b>
Fonctionnement du moteur	<b>Diesel 4 temps</b>
	<b>Injection direct à ray commune</b>
	<b>Turbocompressé</b>
Refroidissement	<b>Refroidi à l'eau</b>
Purificateur d'air	<b>Filtre à l'air sec avec pré-filtre</b>
	<b>Elément primaire et sécurité</b>
	<b>Automatique décharge de poussières</b>
Réservoir d'essence	<b>1585 l/419gal</b>
Moteur au ralenti	<b>Controlé électroniquement</b>
Système électrique	
Voltage	<b>24V</b>
Batteries	<b>4*170Ah/12V</b>
Strater	<b>24V/2*8.4KW</b>
Alternateur	<b>24V/1440A</b>
Réglage du régime	<b>Réglage contenu de la puissance du moteur</b>
	<b>Régile à chaque mode sélectionné</b>



Figure III.5 : une pelle LIBHERR

### 3/ Calcul des Rendements

#### 3-1 Rendement théorique

Il est calculé d'après la formule suivante:

$$R_{th} = 3600.E / Tc \quad ;(t/h) \dots\dots\dots (III.22)$$

E : la capacité du godet, ..... 13t

Tc : durée d'un cycle de l'excavateur ..... 30s

$$R_{th} = 3600.13/30 = 1560 \quad t/poste$$

#### 3-2 Le rendement technique de l'excavateur est :

$$R_{tch} = 3600.E.Kr. / Tc.Kf \quad ;(t/poste) \dots\dots\dots (III.23)$$

E : la capacité du godet, ..... 13t

Kr: coefficient de remplissage du godet ..... 0.95

Kf: coefficient de foisonnement de l'excavateur, ... 1.35

Tc : durée d'un cycle de l'excavateur ..... 30s

$$R_{tch} = 3600.13.0.95/30.1.35 = 1097.77 \quad t/poste$$

#### 3-3 Le rendement effectif de l'excavateur est :

$$R_{ex} = 3600.E.Kr.Tp.Ku/ Tc.Kf \quad ;(t/poste) \dots\dots\dots (III.24)$$

E : la capacité du godet, ... 13 t

Kr: coefficient de remplissage du godet ,... .. 0.95

Ku: coefficient d'utilisation de l'excavateur, ..... 0.65-0.75

Kf: coefficient de foisonnement de l'excavateur, ..... 1.35

Tp : durée d'un poste de travail; ..... 8h

Tc : durée d'un cycle de l'excavateur; ..... 30s

$$R_{ex} = 3600.13.0.95.8.0.7/30.1.35 = 6147.55t/poste$$

#### 3-4- Le rendement journalier de l'excavateur est :

$$R_{ex j} = R_{ex} * Np \dots\dots\dots (III.25)$$

Np= nombre de poste ..... 2

$$\text{Rex j} = 6147.55 * 2 = 12295.1 \text{ t/j}$$

### 3-5-Le rendement annuel de l'excavateur est :

$$\text{Rex an} = \text{Rex} * \text{Np} * \text{Nj} \quad (\text{t /an}) \dots \dots \dots (\text{III.26})$$

Rex: rendement effectif de l'excavateur, ..... 12295.1 t/poste

NP : nombre de poste par jour , ..... 2

Nj : nombre de jour ouvrable par an ..... 260 j /an

$$\text{Rex an} = 6147.55 * 2 * 260 = 3\ 196\ 726 \text{ t/ an}$$

## II- Le transport

Le transport est l'un des processus principaux dans les mines à ciel ouvert, dont le pourcentage dans le prix de revient total d'exploitation peut atteindre de 30 à 70%. [4]

Le but principal du transport de carrière est le déplacement de la masse minière des chantiers aux points de déchargement qui sont les stocks ou les trémies de réceptions des usines de traitement pour les minéraux utiles ou les terrils pour les roches stériles.

### 1-Les particularités du transport dans une mine à ciel ouvert

- Grand volume des charges transporté.
- Augmentation de la distance du transport au fur et à mesure à l'avancement et du fonçage des travaux miniers.
- Le déplacement des charges dans une seule direction de distance relativement courtes.

### 2-Le type de transport choisi doit assurer :

- Distances minimales du transport des minéraux utiles et roches stériles.
- Sécurité de travail.
- Temps de morts réduite et rendement maximale des engins d'extraction et de chargement.

Dans la mine d'Ouenza le transport s'effectue par des camions CATERPILLAR 755G au front de taille de chaque niveau jusqu'à au point de déchargement qui sont le concasseur pour le minerai ou les terrils pour le stérile.

## 5/ Transport par camion

Un camion minier est l'équipement dont la mission (fonction) primaire est de transporter du minerai et/ou du stérile. Elle est accomplie lorsque le camion est en mouvement. Si le camion est arrêté (chargement, déversement du matériau, attente, etc.) il perd de sa fonction de transport [18].

### 5-1- Avantages de transport par camion : [4]

- Haut manœuvre et mobilité.
- Franchissement à grande vitesse des pentes de 80% à 100%.
- Autonomie d'alimentation en énergie.
- Augmentation du rendement des excavateurs de 15% à 20% à cause de fréquentation régulière des camions sur la plate-forme.

### 5-2 Inconvénients du transport par camion :

- Frais totaux d'exploitation des engins et prix de revient du transport élevé.
- Influence très sensible des conditions climatiques et de l'état des camions sur la rentabilité de ce type de transport.
- Complexité et fréquence de réparation des camions.

## 3- Etat actuel du transport dans la mine d'Ouenza

La mine de l'Ouenza est équipée de 08 camions de types CATERPILLAR 773D, 773E, 775F, 775G dont l'état et les caractéristiques sont présentés sur les tableaux suivants :

**Tableau III.10 : L'état des engins de transport.**

N°	ENGINS	MARQUE	TYPE	Situation d'engin
1	Camion 1317	CATERPILLAR	773D	PANNE
2	Camion 1320	CATERPILLAR	773 <sup>E</sup>	PANNE
3	Camion 1321	CATERPILLAR	773 <sup>E</sup>	PANNE
4	Camion 1322	CATERPILLAR	775F	PANNE
5	Camion 1323	CATERPILLAR	775F	PANNE
6	Camion 1324	CATERPILLAR	775G	MARCHE
7	Camion 1325	CATERPILLAR	775G	MARCHE
8	Camion 1326	CATERPILLAR	775G	MARCHE
9	Camion 1327	CATEPILLAR	775G	MARCHE
10	Camion 1328	CATERPILLAR	775G	MARCHE
11	Camion 1329	CATERPILLAR	775G	MARCHE
12	Camion 1330	CATERPILLAR	775G	MARCHE
13	Camion 1331	CATERPILLAR	775G	MARCHE

4/ Caractéristiques des camions CATERPILLAR

Tableau III.11: caractéristiques de CATERPILLAR 775G [19].

Poids	50.2 t
Capacité de benne	42.2 m <sup>3</sup>
Largeur de transport	4.411 m
Vitesse de déplacement	66.9 km/h
Fabrication de moteur	Caterpillar
Puissance de moteur	615 kw
Charge utile	63.674 t
Longueur de transport	10.151 m
Hauteur de transport	4.457 m



Figure III.6 : camion CATERPILLAR 775 G.

6- Rendements des camions

6-1- Rendement effectif du camion : [4]

$$R_c = \frac{60 * G_c * K_q * T_p * K_u}{T_{par}} ; t/poste \dots\dots\dots (III.27)$$

Où :

Gc : capacité de charge d'un camion ; 63.4t

Kq : coefficient d'utilisation de la capacité de charge ; (Kq ≤ 1 )

Tp : durée d'un poste ; 8h

Tpar : durée d'un parcours ; 24 min

Ku : : coefficient d'utilisation du camion pendant un poste ;Ku=0.7

Donc :

$$R_c = \frac{60 \cdot 63,4 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,7}{24} = 887,6 \text{ ; t/poste}$$

**6-2 - Rendement journalier du camion : [13]**

$$R_{jc} = R_c * N_p \quad ; \text{ t/jour} \dots\dots\dots (III.28)$$

Où :

$N_p$  : nombre de poste ;  $N_p = 2$  poste.

Donc :  $R_{cjour} = 887,6 * 2 = 1775,2$  t/poste

**6-3- Rendement annuel du camion :**

$$R_{an} = R_{jc} * N_{jou} \text{ ; t/an} \dots\dots\dots (III.29)$$

Où :

$N_{jou}$  : Nombre des jours ouvrables par ans ;  $N_{jou} = 260$  jours

Donc :  $R_{can} = 1775,2 * 260 = 305\ 552$  t/an

**7- Nombre des camions : [4]**

$$N_c = \frac{T_{par}}{T_{c\Box}} \text{ ; camions} \dots\dots\dots (III.30)$$

Où :

$T_{par}$  : durée de parcours d'un camion ; 24 min

$T_{ch}$  : durée de chargement d'un camion ; 4.5 min

La durée de parcours calculée comme suite :

$$T_{par} = T_{ch} + T_{tr} + T_d + T_m \dots\dots\dots (III.31)$$

$$N_c = \frac{T_{c\Box} + T_{tr} + T_d + T_m}{T_c} = 1 + \frac{T_{tr} + T_d + T_m}{T_c} ; \dots\dots\dots (III.32)$$

Où :

$T_{tr}$  : durée de trajet (temps d'allé/temps de retour) du camion ; 16 min

$T_d$  : durée de déchargement du camion ; 5 min

$T_m$  : durée de manœuvre du camion ; 2 min

$$N_c = 1 + \frac{16+5+2}{4.5} = 6 ; \text{ camions}$$



Figure III.7 : les processus de production de la mine

## 5- Equations de roulage des camions

Lorsque nous recentrons le camion sur son centre de gravité, nous obtenons un équilibre des forces. Cette situation peut être décrite par l'équation d'équilibre des forces.

$$\sum \text{Forces} = K m \gamma \dots\dots\dots (III.32)$$

Soit:

$$F + P + R = K * m * \gamma \dots\dots\dots (III.33)$$

Ou :

F: et la force motrice (force de traction (effort à la jante) ou résistance fournie par le moteur ou le ralentisseur du camion

P :est poids du camion.

R :est la réaction du sol, et se décompose en:

Rn : réaction normal.

RT: réaction tangentielle toujours opposée au mouvement, appelée résistance au roulement.

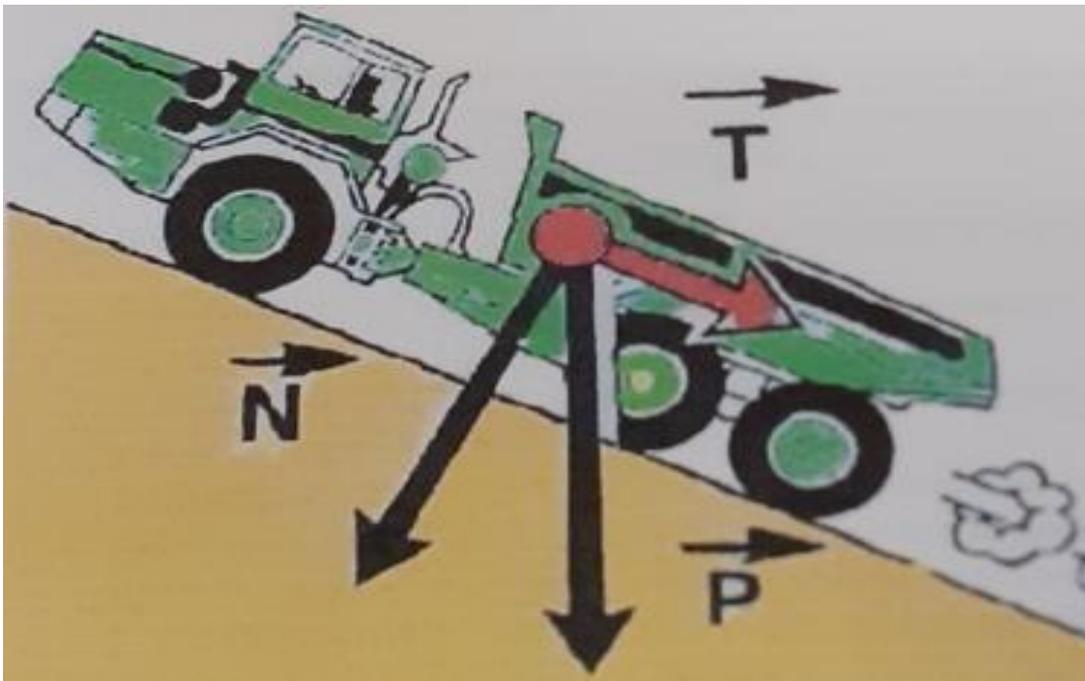


Figure III.9: résistance au roulement

m et  $\gamma$  sont la masse et l'accélération du camion,

-K : coefficient prenant en compte l'inertie du camion (K varie de 1.04 à 1.15)

Par projection sur l'axe du déplacement on obtient

$$K * m * \gamma = F - P \cdot \sin(\alpha) - R_t \dots\dots\dots (III.34)$$

Des simplifications sont possibles

$$\sin(\alpha) = \text{tg}(\alpha) = \alpha(\text{radians}) \dots\dots\dots (III.35)$$

-Rt: est exprimé en fonction de P

L'équation devient : [11]

$$K \cdot m \cdot \gamma = F - mg (\alpha + r) \dots\dots\dots (III.36)$$

L'adhérence entre le camion et la surface de la route limite la fraction de la force motrice ou de freinage que le camion peut utiliser.

**1- Coefficient de résistance au roulement et la résistance total au roulement**

L'adhérence représente la force exercée par le sol sur les roues d'un véhicule, mesurée par l'effort de traction nécessaire pour le déplacer. Son unité est le Kg/t (Kilogrammes par tonne à déplacer).

\*Les éléments contribuant à la résistance au roulement comprennent :

- Les frottements internes issus de la transmission du véhicule et des pneus. Sur une surface routière dure, ces frottements représentent généralement environ 2% du poids du véhicule, soit 20 Kg/tonne.

- La composante de gravité induite par la pente. Le poids total du véhicule se divise en un vecteur N (la force normale exercée sur le sol) et un vecteur T (la composante due à la pente). Chaque pourcentage de pente correspond à un ajout ou une réduction de 10 Kg/t à la résistance au roulement, selon que la pente soit ascendante ou descendante.

- Un coefficient de résistance au roulement, exprimé également en Kg/t, qui caractérise l'état de la surface de la route.[20]

Tableau III.13:les valeurs de coefficient de la résistance au roulement (r)

Nature de sol	valeurs du coefficient de la résistance au roulement (r) %
Route arrosées, entretenue, à revêtement stabilise dur et lisse ne cédant pas sous le poids du véhicule	2
Route en terre ou revêtement léger, arrosées, assez bien entretenue sol ferme et lisse cédant légèrement sous le poids du véhicule	3
Route en terre, à ornières, peu ou pas entretenue, non arrosées, cédant sous le poids de véhicule de 25 mm ou plus	5
Route en terre molle, non stabilisée, pas entretenue, a ornières, pénétration des pneus de 100 mm à 150 mm	7.5
Route en sable ou gravier non compacte	10
Sol mou, boueux, pas entretenue, à ornières	10 à 20

Dans le cas de la mine de l'OUENZA on trouve que le type de route revêtement léger, arrosées, assez bien entretenue sol ferme et lisse cédant légèrement sous le poids du camions , dans le coefficient de roulement est :03

## 6- Caractéristiques des routes :

### 6-1- Largeur de la piste :

L'efficacité de transport par camion dépend de l'état des voies dans les conditions d'exploitation à ciel ouvert. [13]

Dans les mines à ciel ouvert, il existe deux types des routes :

- Route stationnaire.
- Route provisoire.

Le type de revêtement routier, est choisi suivant la durée d'exploitation des pistes, l'intensité de circulation, les moyens de transport. [4]

Dans les terrains rocheux ou dans les zones minières comme la mine d'Ouenza. Les routes provisoires peuvent être simplement tracées sur le sol sans revêtement pour faciliter l'accès pendant les phases de construction.

La largeur de la chaussée de la route dépend de : [13]

- Gabarit de camion.
- Vitesse de circulation.
- Nombre de voie de circulation.

Dans la mine d'Ouenza la circulation à une seule voie, la largeur est déterminée d'après cette formule : [9]

$$B = a + 2c ; m \dots\dots\dots(III.37)$$

Où : a : largeur de camion ; a= 4.5m (ils ont dans les caractéristique la largeur de la route 4.41m et arrondi devient 4.5m)

c : largeur de bande de sécurité ; c= 1m.

Donc :  $B = 4.5 + 2(1) = 6.5 m \dots\dots\dots(III.38)$



Figure III.9: la route dans la mine d'Ouenza.

## 6-2- La pente

La pente des routes joue un rôle essentiel dans la processus de transport, garantissant des conditions de travail et de sécurité optimales.

La pente se détermine par le type de transport et leurs caractéristiques.

La pente maximale de la carrière, où les camions circulant à des vitesses minimale, est appelée pente directrice.[13]

## 7- La maintenance des engins

### 1-Définition de la maintenance :

La maintenance est un ensemble d'actions qui permettent de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique[9]

- Si nous prenons cette définition donnée par celle-ci et analyse:

**a- Maintenir:** Contient la notion de prévention sur un système en fonctionnement.

**b- Rétablir:** Contient la notion de correction consécutive à une perte de fonction.

**c- État spécifique:** OÙ service déterminé implique la prédétermination d'objectifs, à atteindre avec quantification des nouvelles caractéristiques

## **2- Objectifs de la maintenance:**

Dans toute entreprise bien structurée, le service maintenance doit recevoir trois sortes de missions, si l'on veut qu'il accomplisse avec un maximum d'efficacité et au coût minimum..

### **A- Maintenir en bon état de marche les installations:**

Les installations doivent pouvoir assurer en permanence leur production ou leur service dans les meilleures conditions de qualité et de prix de revient.

### **B- Remettre rapidement en état de marche des installations en Panne:**

**C- Agir en tant que conseil de la direction et de la fabrication:** Le service "entretien" doit réaliser une double action de conseil [9].

## **3-Méthodes de maintenance :**

**3-1 Maintenance préventive:** Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

### **3-1-1 But de la maintenance préventive:**

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Éviter les consommations anormales d'énergie.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production (ambiance favorable, etc).
- Supprimer les causes d'accidents graves.

### **3-1-2 Maintenance systématique:**

Maintenance préventive effectuée selon un échancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unité d'usage.

## **Cas d'applications:**

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivant:

- Équipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée).

### **3-1-3 Maintenance conditionnelle:**

La maintenance conditionnelle est une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

On l'appelle parfois maintenance prédictive (terme non normalisé).

#### **Cas d'applications:**

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

### **3-2 Maintenance corrective:**

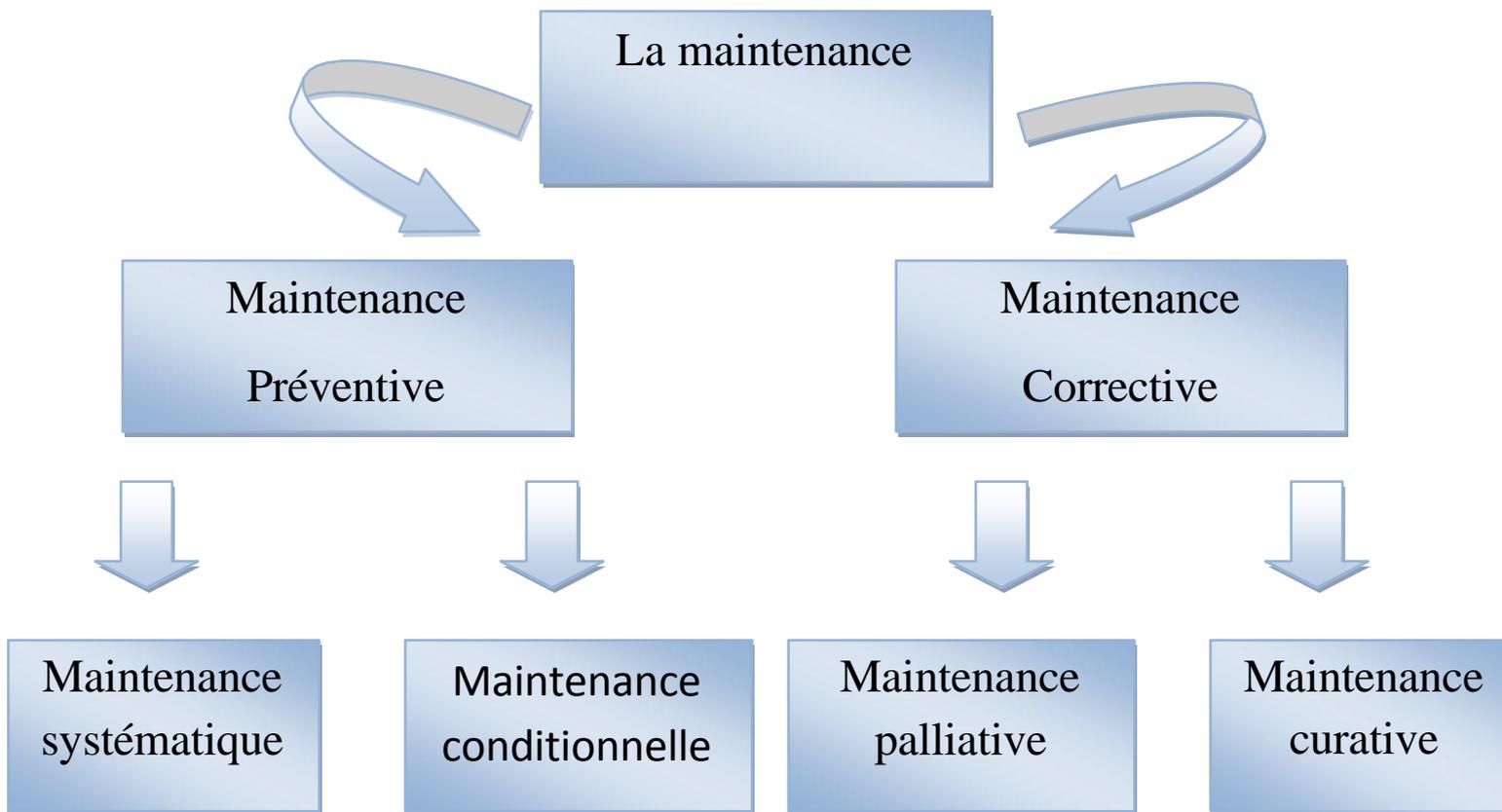
Maintenance des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

#### **3-2-1 Maintenance palliative :**

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.

#### **3-2-2 Maintenance curative :**

Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.



**Figure III.10** :: les méthode de la maintenance

### 1- Les opérations de maintenance :

**4- 1- Le dépannage** : Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisations hors règle de procédures, de coûts et de qualité, dans ce cas sera suivie de la réparation

**4-2- La réparation** : Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance.

L'application de la réparation, opération de maintenance corrective, peut être décidée, soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.[9]

**4 -3- Les inspections** : Ce des activités de surveillances a relevé périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

**4 -4- Les visites :** Ce sont des opérations de surveillances, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée..

**4-5- Les contrôles :** Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

Le contrôle peut: comporter une activité d'information, inclure une décision: acceptation, rejet, ajournement, débouchée comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, contrôle, visite) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

**4 -6- Les révisions :** Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

**4-7- Les échanges standard :** Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur.[9]

### **5 - Les cinq niveaux de la maintenance :**

Il y a cinq niveaux de la maintenance :

**Niveau 1 :** Réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.

**Niveau 2 :** Dépannages par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes).

**Niveau 3 :** Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineurs.

**Niveau 4 :** Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

**Niveau 5 :** Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante confiée à un atelier central.[18]

## 8- Le dispatching :

**1-Définition** : Le dispatching est un centre de commandement chargé de coordonner le mouvement des équipements d'exploitation, tels que les sondeuses , les convoyeurs à bande, ainsi que les équipements de chargement et de transport, dans une mine à ciel ouvert.

Son objectif principal est :

- garantir le respect du programme de production en effectuant une répartition efficace des ressources matérielles.
- il vise à identifier les causes de toute anomalie afin d'améliorer le taux d'utilisation des équipements.[13]

### 2Le but :

- Assurer la gestion des engins d'exploitation et du personnel (situation des chauffeurs, des conducteurs des engins miniers, des opérateurs pelles). Il permet aussi la coordination avec les services de maintenance (suivie des pannes, et réorganisation de la planification). Il permet, de façon générale, de savoir les entrées, les sorties des engins et leurs disponibilité sur le chantier miniers.
- Régulariser les alimentations des usines de traitement.
- Planifier la production selon les objectifs mis en place. Ainsi organiser l'exploitation dans les chantiers sur base des performances des engins et selon des priorités fixées.[13]

### 1- Les types :

#### 3-1- le dispatche non informatisé :

Dans un dispatche non informatisé, aucun système informatique n'assiste les opérations. Les communications reposent principalement sur l'utilisation de radios à différentes fréquences pour coordonner les activités entre les différents services [13].

Les inconvénients du dispatche non informatisé sont nombreux :

- Les informations échangées dans ce système sont souvent peu fiables, discontinues, fausses ou partielles. Elles dépendent souvent de l'humeur et du niveau intellectuel de l'émetteur (dispatcher, conducteur de benne, opérateur de pelle, etc.).
- Le travail s'effectue dans un environnement marqué par l'incertitude, rendant difficile la justification des décisions prises.
- Les interventions des exploitants sur les chantiers peuvent être retardées.
- Les calculs des indicateurs de gestion des engins peuvent comporter des erreurs[13].

### 3-2- Dispatche informatisé :

Il est peut être établie sous trois modèles :

- 1- modèle semi-automatique
- 2- modèle semi-automatique amélioré
- 3- modèle full automatique [13].

# *Chapitre IV :*

## *Rationalisation du couple pelle –camion*

## Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons plusieurs éléments fondamentaux notamment : le chronométrage des temps relatifs aux pelles et camions, leurs rendements et leur coefficient d'utilisation.

En a réalisé les outils statistiques tels que :la variance ,la moyenne et l'écart type pour la compréhension approfondie de le chronométrage de temps de cycle et de chargement des engins de transport (pelle – camion), nous employons la comparaison des rendements estimés et calculés dans le but de la rationalisation.

On utilise aussi la théorie de file d'attente pour l'étude de performance de système par les calculs de plusieurs paramètres par exemple le taux d'utilisation, le temps moyen dans le système avec leur interprétation pour réaliser l'efficacité de système.

### I- Rappel sur les statistiques

#### A- Moyenne

C'est la somme des résultats divisé par le nombre de résultats.

Pour la moyenne d'un échantillon se nomme «  $\bar{X}$  » [23]

- La formule : 
$$\bar{X} = \sum XI/N \dots \dots \dots (IV.1)$$

Où  $\bar{X}$  : la moyenne

$XI$  : valeur individuelle dans l'ensemble de données

$N$  : la taille de la population

#### B- La variance

C- C'est une mesure statistique de la dispersion des valeurs d'un ensemble de données par rapport à leur moyenne. Elle est calculée en trouvant la moyenne des carrés des écarts entre chaque valeur et la moyenne de l'ensemble de données. En d'autres termes, elle mesure à quel point les valeurs d'un ensemble de données sont éloignées de la moyenne [24]

- La formule : 
$$V = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (XI - \bar{X})^2 \dots \dots \dots (IV.2)$$

Où  $V = \sigma^2$  : la variance

$\bar{X}$  : la moyenne

$XI$  : valeur individuelle dans l'ensemble de données

- Une variance élevée indique une dispersion plus importante des données autour de la moyenne.

- Une variance faible indique que les données sont plus regroupées autour de la moyenne.

### D- Écart-type

L'écart-type se rapproche de l'écart moyen et donne une bonne indication sur la dispersion des données à la moyenne. Elle est égale à la racine carrée de la variance [23].

- La formule :  $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ .....(IV.3)

Où  $\sigma$ : écart type

$\sigma^2$  : la variance

- Un écart type Au-delà de 0 Plus proche de 0 indique Une plus grande dispersion des données autour de la moyenne et Le taux d'erreur est élevé.
- Un écart type indique Plus proche de 0 une moins dispersion des données autour de la moyenne Le taux d'erreur est presque inexistant.

- **L'intervalle :**

- Si la valeur obtenue est à l'intérieur du L'intervalle, les calculs sont corrects
- Si la valeur obtenue est en dehors du L'intervalle, les calculs ne conviennent pas

### I-chargement :

#### 1- Le temps de cycle d'une pelle LIBHERR :

Durant notre stage nous avons chronométré les temps de cycle de la pelle et qui englobe :le temps de remplissage du godet+ le temps de déplacement du godet+ temps de vidage du godet + temps de retour du godet à sa position initiale

Le nombre de godet nécessaire pour remplir une benne de camion a été mesuré.

On a également chronométré le temps de chargement de chaque camion. Les détails des mesures sont mentionnés en annexe (A-4)

Tableau IV.1 Temps de cycle d'une pelle LIBHERR et de chargement des camions

Numéro de camion	Nombre de godet	temps de chargement d'un camion (min)	Temps cycle moyen de la Pelle Tc en secondes
1	8	3.2	24
2	8	3.12	24
3	7	3.45	30
4	8	4.1	31
5	8	4.05	31
6	7	3.56	31
Temps de cycle moyen	/	3.58	28.5

## 2- Application de l'outil statistique pour le temps cycle de la pelle et le temps de chargement Du camion

### 2-1 Pour le temps de cycle de la pelle

- Pour cette partie XI représente la mesure de chargement d'un godet pour un cycle
- Le nombre de mesure N est 6 et chaque mesure est détaillée en annexe (A-4).
- Pour calculer les paramètres de dispersion relatifs au temps de cycle, on a :

- **A-La moyenne**

La moyenne est :  $\bar{X} = \frac{24+24+30+31+31+31}{6}$

- $\bar{X} = 28.5$  min

- **B- L'écart Type**

Pour le calcul de l'écart type on a utilisé la formule IV.2, ce qui donne le tableau suivant :

Tableau VI.2 : les paramètres de dispersion pour le temps de cycle de la pelle

Numéro de mesure	Temps de cycle(secondes)	$XI - \bar{X}$	$(XI - \bar{X})^2$
1	24	-4,5	20,25
2	24	-4,5	20,25
3	30	1,5	2,25
4	31	2,5	6,25
5	31	2,5	6,25
6	31	2,5	6,25
$\bar{X}$	28.5		

La variance est :  $V = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (XI - \bar{X})^2$

$$V = \sigma^2 = 10.25$$

L'écart type est :  $\sigma = 3.202$

Analysons le pourcentage de données compris entre différents intervalles.  $\bar{X} = 28.5$  et  $\sigma = 3.202$

Intervalle  $[\bar{X} - \sigma, \bar{X} + \sigma] = [25.29, 31.7] = 75\%$  des données de la distribution se retrouvent dans cet intervalle.

Intervalle  $[\bar{X} - 2\sigma, \bar{X} + 2\sigma] = [22.09, 34.202] = 100\%$  des données de la distribution se retrouvent dans cet intervalle

## 2-2 Pour le temps de chargement du camion

- Pour la cette partie XI représente la mesure de chargement d'un godet
- Le nombre de mesure N est 6 et chaque mesure est détaillée en annexe et qui représente à elle la somme des nombres de godets déversés dans chaque benne.
- Pour calculer ces paramètres afin de le temps de chargement d'un camion et avec l'utilisation de l'Excel ( voir annexe A-4),on trouve :

### • A-La moyenne

La moyenne est :

$$\bar{X} = \frac{3.2 + 3.12 + 3.45 + 4.1 + 4.05 + 3.56 + 3.58}{6}$$

- $\bar{X} = 3.58$  min
- **B- L'écart Type**

Pour le calcul de l'écart type on a utilisé la formule IV.2, ce qui donne le tableau suivant :

**Tableau VI.3 :** les paramètres de dispersion pour le temps de chargement

Numéro de camion	Temps de chargement	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	3,2	-0,38	0,1444
2	3,12	-0,46	0,2116
3	3,45	-0,13	0,0169
4	4,1	0,52	0,2704
5	4,05	0,47	0,2209
6	3,56	-0,02	0,0004
Tmoy	3,58		

**La variance est :**  $V = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{X})^2$

$$V = \sigma^2 = 0,1441$$

L'écart type est :  $\sigma = 0,3796$

**Analysons le pourcentage** de données compris entre différents intervalles.  $\bar{X} = 3.58$  et  $\sigma = 0.3795$

Intervalle  $[\bar{X} - \sigma, \bar{X} + \sigma] = [3.20, 3.95] = 75\%$  des données de la distribution se retrouvent dans cet intervalle.

Intervalle  $[\bar{X} - 2\sigma, \bar{X} + 2\sigma] = [2.82, 4.33] = 100\%$  des données de la distribution se retrouvent dans cet intervalle

- En projetant les résultats ci-dessus sur ces interprétations, nous constatons que :
  - La valeur de variance est 0.14 (faible) donc les données sont plus regroupées autour de la moyenne.
  - La valeur d'écart type est 0.37 (Plus proche de 0) donc il y a une faible dispersion des données autour de la moyenne ce qui signifie que le taux d'erreur est presque faible.

### 3- les Rendements de l'excavateur :

**A- Le rendement théorique** est :

$$R_{th} = \frac{3600 * E}{T_c} \quad ;(t/h) \dots \dots \dots (IV.4)$$

E : la capacité du godet, .....13t

T<sub>c</sub> : durée d'un cycle de l'excavateur .....28.5s

$$R_{th} = \frac{3600 * 13}{28} = 1642,1 \quad t/h$$

**B- Le rendement technique** est :

$$R_{tch} = \frac{3600 * E * K_r}{T_c * K_f} \quad ;(t/h) \dots \dots \dots (IV.5)$$

E : la capacité du godet,.....13t

K<sub>r</sub>: coefficient de remplissage du godet .....0.95

K<sub>f</sub>: coefficient de foisonnement de l'excavateur, ...1.35

T<sub>c</sub> : durée d'un cycle de l'excavateur .....28.5s

$$R_{tch} = \frac{3600 * 13 * 0.95}{28,5 * 1,35} = 1155.55 \quad t/h$$

**C- Le rendement effectif** est :

$$R_{ex} = \frac{3600 * E * K_r * T_p * K_u}{T_c * K_f} \quad ;(t/poste) \dots \dots \dots (IV.6)$$

E : la capacité du godet, ...13 t

K<sub>r</sub>: coefficient de remplissage du godet,.....0, 95

K<sub>u</sub>: coefficient d'utilisation de l'excavateur,..... 0,7

K<sub>f</sub>: coefficient de foisonnement de l'excavateur,.....1,35

T<sub>p</sub> : durée d'un poste de travail;..... 8h

T<sub>c</sub> : durée d'un cycle de l'excavateur;.....28,5s

### D- Le coefficient d'utilisation des pelles

D'après YANIK on appelle le coefficient d'utilisation ou taux d'utilisation le rapport calculé d'après la formule suivante [5]:

On calcule le coefficient d'utilisation par la formule suivante :

$$K_u = \frac{\text{temps de marche}}{\text{temps disponible}} ; \dots\dots\dots (IV.7)$$

H dis : les heures disponibles

Hu : les heures d'utilisations

Ku : coefficients d'utilisation

Les données délivrées par le bureau de méthode sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.4** : heures de disponibilité et heures d'utilisations des pelles [18]

Engin	H dis	H u
L01	423	299
L02	401	284
L03	607	449

Ce qui permet d'avoir le tableau suivant :

**Tableau IV.5** : le coefficient d'utilisation des pelles

Engin	H dis (heures)	H u (heures)	Ku
L01	423	299	0.7
L02	401	284	0.7
L03	607	449	0.73

- Le coefficient d'utilisation de chargement en mine d'Ouenza est : entre 0.70 et 0.73

$$R_{ex} = \frac{3600 * 13 * 0.95 * 8 * 0.7}{28,5 * 1,35} = 6471.11 \text{ t/poste}$$

**E- Le rendement journalier** est :

$$R_{ex j} = R_{ex} * N_p \dots\dots\dots (IV.8)$$

Np : nombre de poste.....2

Rex : Le rendement effectif de l'excavateur.....6471.11t/poste

$$R_{ex j} = 6471.11 * 2 = 12942.22 \text{ t/j}$$

**F- Le rendement annuel** est :

$$\text{Rex an} = \text{Rex} * \text{Np} * \text{Nj} \quad (\text{t /an}) \dots\dots\dots (\text{IV.9})$$

Rex: rendement effectif de l'excavateur, ..... 6471.11t/poste

NP : nombre de poste par jour, ..... 2

Nj : nombre de jour ouvrable par an ..... 260 j /an

$$\text{Rex an} = 6471.11 * 2 * 260 = 3\,364\,977.2 \text{ t/ a}$$

#### 4- Résultat des rendements estimés et calculés des pelles :

Pour comparer les résultats des rendements, nous pouvons les classer dans le tableau sachant que le temps de cycle adopté par le bureau d'étude est 30 secondes et le temps de cycle estimé d'après les chronométrages est :28.5 secondes. Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.6** : les rendements estimés et calculés d'une pelle

Les rendements	Unités de mesures	Estimés d'après le bureau d'études	Calculés
Rendement théorique	t/h	1560	1642.1
Rendement technique	t/h	1097.77	1155.55
Rendement effectif	t/p	6147.55	6471.11
Rendement journalier	t/j	12295.1	12942.22
Rendement annuelle	t/an	3196726	3364977.2

- Dans le tableau ci-dessus, nous pouvons remarquer la différence entre les rendements estimés et calculés, ceci est dû à la différence de temps de cycle estimé et chronométré  
Estimer 30 s et calculer 28.5 s.
- Les rendements calculés sont supérieurs à ceux estimés par le bureau d'études.

## II- Transport :

## 1- Chronométrage de temps de parcours des camions

Le résultat du chronométrage du temps de cycle du camion est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau IV.7** : chronométrage de temps de parcours des camions ( par minute).

Camion	T <sub>ch</sub>	T <sub>a</sub>	T <sub>déch</sub>	T <sub>r</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>att</sub>	T <sub>parcour</sub>
1	03 :14	12 :50	00 :24	11 :54	01 :36	/	30 :06
2	03 :45	12 :35	00 :17	15 :49	01 :25	/	34 :41
3	03 :16	11 :35	00 :26	09 :53	01 :11	02 :16	29 :01
1	04 :26	12 :43	00 :37	12 :13	01 :21	/	31 :33
2	03 :31	14 :47	00 :18	14 :02	01 :01	/	34 :08
3	03 :41	12 :00	00 :30	09 :28	01 :33	04 :34	32 :26
1	03 :58	14 :37	00 :20	13 :33	01 :08	/	33 :06
2	04 :10	16 :15	00 :16	14 :15	00 :50	/	36 :26
3	03 :36	11 :04	00 :28	09 :19	01 :25	03 :19	29 :18
1	03 :48	14 :53	00 :23	13 :37	01 :02	/	34 :18
2	03 :12	14 :06	00 :17	13 :29	01 :11	/	32 :25
3	03 :21	12 :09	00 :26	08 :56	01 :00	04 :28	30 :33
1	03 :25	15 :07	00 :24	12 :11	01 :11	/	32 :03
2	03 :02	13 :15	00 :16	12 :47	01 :31	/	31 :41
3	03 :13	12 :27	00 :19	11 :16	01 :16	/	28 :51
1	03 :53	13 :42	00 :17	11 :18	01 :01	/	30 :18
T <sub>moy</sub>	03 :59	13 :38	00 :22	12 :12	01 :26	04 :08	32 :55

-T<sub>ch</sub> : temps de chargement.

- T<sub>déch</sub> : temps de déchargement.

-T<sub>a</sub> : temps d'allée.

- T<sub>r</sub> : temps de retour

-T<sub>m</sub>: temps de manœuvre.

-T<sub>att</sub> : temps d'attente de camion.

### 5- Calcul des paramètres de dispersion de temps de cycle de camion

- Pour calculer ces paramètres afin de le temps de chargement d'un camion et avec l'utilisation de l'Excel ( voir annexe A-5) en trouve :

**Tableau VI.8:** les paramètres de dispersion de transport

Camion	Temps parcours	XI- $\bar{X}$	(XI- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
1	30,06	-2,49	6,200
2	34,41	1,86	3,459
3	29,01	-3,54	12,531
4	31,33	-1,22	1,488
5	34,08	1,53	2,340
6	32,26	-0,29	0,084
7	33,06	0,51	0,2601
8	36,26	3,71	13,764
9	29,16	-3,37	11,356
10	34,18	1,63	2,656
11	32,25	-0,3	0,09
12	30,33	-2,22	4,9281
13	32,03	-0,52	0,270
14	31,41	-1,14	1,299
15	28,51	-4,04	16,321
16	30,14	-2,37	5,616
$\bar{X}$	32,55		

La variance est :

$$V = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (XI - \bar{X})^2$$

$$V = \sigma^2 = 5.16685$$

L'écart type est :

$$\sigma = 2.2730$$

**Analysons le pourcentage** de données compris entre différents intervalles.  $\bar{X} = 32.55$  et  $\sigma = 2.2730$

Intervalle  $[\bar{X} - \sigma, \bar{X} + \sigma] = [30.28, 34.82] = 75\%$  des données de la distribution se retrouvent dans cet intervalle.

Intervalle  $[\bar{X} - 2\sigma, \bar{X} + 2\sigma] = [28.01, 37.09] = 100\%$  des données de la distribution se retrouvent dans cet intervalle

D'après notre travail de collecte et d'analyse des temps de cycle des camions, nous pouvons interpréter les données comme suit :

- La moyenne de temps de cycle représente le temps moyen nécessaire pour qu'un camion effectue un cycle complet, du chargement au déchargement et retour au point de départ. La variance et l'écart-type indiquent la dispersion des temps de cycle autour de la moyenne. Une variance plus élevée suggère une plus grande variabilité dans le temps de cycle. L'intervalle [30,27—34,82] délimite une plage de valeurs autour de la moyenne. Environ 68% des temps de cycle se situent dans cette plage, ce qui peut servir de référence pour évaluer la performance et l'efficacité opérationnelle. Ces valeurs fournissent des indicateurs précieux pour évaluer les opérations minières.

## 2- les Rendements du camion

### A- Rendement effectif du camion : <sup>[15]</sup>

$$R_c = \frac{60 \cdot G_c \cdot K_q \cdot T_p \cdot K_u}{T_{par}} ; \quad t/\text{poste} \dots\dots\dots (IV.10)$$

Où :

$K_q$  : coefficient d'utilisation de la capacité de charge..... ( $K_q \leq 1$ ) ;

$T_p$  : durée d'un poste ; .....8h

$T_{par}$  : durée d'un parcours ; ..... 32,55 min

$G_c$  : capacité de la charge de camion ; .....65 t

$K_u$  : coefficient d'utilisation du camion durant un poste .....  $K_u = 0.6$

### \* Coefficient d'utilisation des camions :

Le taux d'utilisation calculé par cette formule [5] :

$$K_u = \frac{\text{temps de marche}}{\text{temps disponible}} ; \dots\dots\dots (IV.11)$$

$H_{dis}$  : les heures disponibles

$H_u$  : les heures d'utilisations

$K_u$  : coefficients d'utilisation

Les données délivrées par le bureau de méthode sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.9:** heures de disponibilité et heures d'utilisations des camions [18]

ENGIN	H <sub>dis</sub>	H <sub>u</sub>
Camion1324	0	0
Camion1325	0	0
Camion1326	475,5	293
Camion1327	251,5	153
Camion1328	641	393
Camion1329	78,5	40
Camion1330	617,5	331,5
Camion1331	86,5	55

- Ce qui permet d'avoir le tableau suivant

**Tableau IV.10:** calculs de coefficients d'utilisations

ENGIN	H <sub>dis</sub>	H <sub>u</sub>	Ku
Camion1324	0	0	0
Camion1325	0	0	0
Camion1326	475,5	293	0,6
Camion1327	251,5	153	0,6
Camion1328	641	393	0,6
Camion1329	78,5	40	0,5
Camion1330	617,5	331,5	0,5
Camion1331	86,5	55	0,6

-Le taux d'utilisation est entre 0,5 - 0,6.

Donc : 
$$R_c = \frac{60 \cdot 63,4 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,6}{32,55} = 561 \text{ t/poste}$$

### B- - Rendement journalier du camion : <sup>[2]</sup>

$$R_{jc} = R_c \cdot N_p ; \text{ t/jour} \dots \dots \dots \text{ (IV.12)}$$

Où :

$N_p$  : nombre de poste ; ..... 2 poste.

$R_c$  : rendement effectif de camion.....561 t/poste

Donc :  $R_{jc} = 561 * 2 = 1122$  t/jour

### C- Rendement annuel du camion [2] :

$$R_{an} = R_{jc} * N_{jou} ; \text{ t/an} \dots\dots\dots (IV.13)$$

Où :

$N_{jou}$  : Nombre des jours ouvrables par ans.....260 jours

$R_{jc}$  : Rendement journalier du camion ..... 1122 t/ jour

Donc  $R_{an} = 1122 * 260 = 291\ 720$  t/an

### 3- Nombre des camions :

En calculer le nombre de camion par la formule suivant : [15]

$$N_c = \frac{T_{par}}{T_{ch}} ; \text{ camions} \dots\dots\dots (IV.14)$$

Où :

$T_{par}$  : durée de parcours d'un camion ;

$T_{ch}$  : durée de chargement d'un camion ;

La durée de parcours calculée comme suite :

$$T_{par} = T_{ch} + T_{tr} + T_d + T_m \dots\dots\dots (IV.15)$$

$$N_c = \frac{T_{c\Box} + T_{tr} + T_d + T_m}{T_c} = 1 + \frac{T_{tr} + T_d + T_m}{T_{c\Box}} ; \dots\dots\dots (IV.16)$$

$$N_c = 1 + \frac{25.50 + 0.36 + 1.26}{3.59} = 8 ; \text{ camions}$$

Où :

$T_{ch}$  : durée de chargement du camion ; .....3,59min

$T_{tr}$  : durée de trajet (temps d'allé/ temps de retour) du camion ; .....25,50min

$T_d$  : durée de déchargement du camion... 0.36min

$T_m$  : durée de manœuvre d'un camion ; .....1,26min

#### 4- Résultat des rendements estimer et calculer des camions :

Pour interpréter et comparer les résultats des rendements, nous pouvons les classer dans le tableau suivant :

**Tableau IV.11** : les rendements estimer et calculer d'un camion

les paramètres	Unités de mesures	Estimer d'après le bureau d'étude	Calculer
Rendement effectif	t/poste	887.6	561
Rendement journalier	t/jour	1775.2	1122
Rendement annuelle	t/an	305552	291720
Nombre de camions	/	6	8

Coefficient d'utilisation	0,7	0,6
Temps de parcours	24	32
Nombre des camions	6	8

- Nos calculs des rendements de transport et les estimations de la mine révèlent des différences qui sont attribuables à la charge utile transportée et au temps de cycle.
- Ces valeurs peuvent fournir des informations précieuses sur l'efficacité opérationnelle, la rentabilité et la durabilité environnementales du camion.
- Le temps de cycle élevé indique, des retards sur la route, ou des problèmes de maintenance, ce qui va se répercuter sur un rendement adéquat.

#### III- La théorie de la file d'attente

La théorie des files d'attente, dans le domaine minier, est une branche des mathématiques appliquées qui analyse les temps d'attente et les files d'attente formées par des entités (comme des camions, des chargeurs, ou des matériaux) dans le but d'améliorer l'efficacité des opérations. En mine, elle aide à optimiser les processus logistiques en réduisant les temps d'attente et en augmentant la productivité [25].

- La théorie des files d'attente est essentielle dans le domaine minier pour optimiser la production, réduire les coûts, améliorer la sécurité et la qualité de service, gérer efficacement les

ressources humaines, et accroître la flexibilité des opérations. En modélisant et en prévoyant les comportements des systèmes sous différentes conditions, elle permet une planification précise et une réponse rapide aux changements, contribuant ainsi à des pratiques plus durables. Ces avantages se traduisent par une utilisation plus efficiente des équipements et des ressources, des coûts opérationnels réduits, et une réduction des émissions de gaz à effet de serre [25].

**1- nomenclature de Kendall :**

Ce système de nomenclature décrit le comportement des files d'attente. En général, les arrivées et les temps de service de chaque client sont imprévisibles, ce qui conduit à les modéliser à l'aide de processus stochastiques tels que la loi de Poisson et la loi exponentielle pour caractériser leurs distributions marginales. La notation de Kendall, souvent utilisée, représente les cinq caractéristiques principales d'une file d'attente sous la forme d'un symbole A/S/P/K/D, où chaque lettre correspond à une caractéristique spécifique de la file, comme indiqué dans le tableau suivant [15]:

**Tableau IV.12 :** les caractéristiques de la classification de Kendall

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>
<b>A</b>	loi des inter-arrivées (durée entre deux arrivées successives)
	M distribution exponentielle (M=Markov)
	En distribution d'Erlang à n phases
	D distribution déterministe
	U distribution uniforme
	G distribution quelconque (G=General)
	GI distribution quelconque, avec inter-arrivées deux à deux indépendantes
<b>S</b>	loi des durées de service des clients; Classification identique à celle des inter-arrivées;
<b>P</b>	nombre de serveurs, $P \in \{1,2 \dots \dots \infty\}$
<b>K</b>	capacité du système, c'est le nombre maximum de clients qui peuvent être présents simultanément dans le système, c'est-à-dire les clients en attente et les clients en service
<b>D</b>	Discipline (ou politique) de service, précisant comment les clients sont servis

**2- Processus des arrivées :**

L' processus des arrivées dans le formalisme des files d'attente se réfère à la manière dont les clients arrivent dans le système au fil du temps. Il peut être caractérisé par l'ensemble des instants ou des dates d'arrivée de chaque client.

Lorsque ces dates d'arrivée sont imprévisibles, elles sont modélisées par des variables aléatoires, ce qui fait du processus des arrivées un processus stochastique. Chaque variable aléatoire

représente la date d'arrivée d'un client spécifique, et la collection de ces variables aléatoires forme le processus des arrivées.

Si les arrivées sont déterministes, c'est-à-dire qu'elles se produisent selon un schéma régulier ou prévisible, alors ces variables aléatoires deviennent des constantes, et le processus des arrivées se réduit à une collection de réels positifs, chacun représentant le moment précis de l'arrivée de chaque client.[15]

### **6-1 Inter-arrivée :**

C'est la différence entre deux dates d'arrivées successives. Elle est souvent utilisée pour analyser la régularité des arrivées dans un système donné.

Les différentes formes de processus d'arrivée sont :

- Arrivée régulières : les instants séparant deux arrivées successives sont constants et égaux à  $1/\lambda$ .
- Arrivée poissonnienne : les instants d'arrivées formant un processus de poisson.
- Arrivées suivant une loi d'Erlang d'ordre  $k$  : c'est un processus où les arrivées suivent une distribution de poisson, mais seuls les clients dont l'ordre est un multiple de  $k$  sont pris en compte.

### **6-2 Taux d'arrivées :**

Le taux d'arrivées des clients, également appelé intensité des arrivées, représente le nombre moyen de clients arrivant dans le système par unité de temps.

### **6-3 Arrivée par groupe :**

Lors des instants d'arrivée plusieurs clients peuvent arriver simultanément, ce qu'on appelle les arrivées par groupe. Dans ce cas, il est nécessaire de spécifier la distribution caractérisant la taille du groupe pour déterminer le comportement du processus d'arrivée.

### **6-4 Clients impatientes :**

Les clients sont qualifiés d'impatientes s'ils quittent le système avant d'être servis. Cette situation peut se produire dès leurs arrivées s'ils estiment que la file d'attente est trop longue, ce qui est appelé le découragement ou bien après avoir attendu, ce qui constitue un abandon.[15]

## **3- Discipline de service :**

Il s'agit de déterminer comment organiser les clients dans une file d'attente et dans quel ordre ils seront servis. Les méthodes les plus couramment utilisées pour cela comprennent [19] :

**Tableau IV.13** : les méthodes de la discipline de service

Designation	La methode
<b>FIFO</b>	first in first out
<b>FCFS</b>	first come first served
<b>PAPS</b>	premier arrive, Premier servi
<b>LIFO</b>	last in, first out
<b>LCFS</b>	last come, first served
<b>DAPS</b>	dernier arrive, premier servi
<b>RANDOM</b>	Aléatoire
<b>PS</b>	Processor Sharing.
<b>Round-Robin</b>	Cyclique
<b>/</b>	Priorité:

#### 4- Application de la file d'attente :

##### A- Présentation du système :

Les constituants du système sont:

\* Une pelle : c'est le serveur du système caractérisé par le temps de chargement

qui présente le temps de service.

\* Les camions : ce sont les clients arrivants au système, ils sont caractérisés par leurs instants d'arrivée [15].

##### B- Application de la théorie des files d'attente pour l'état actuel du quartier Chagoura Nord (une pelle et 3 camions)

Vu que la flotte de la mine de l'OUENZA est composée d'une seule pelle pour le chargement des camions arrivants alors le système adéquat est le système de file d'attente avec un serveur unique.

Pour établir la classification de Kendall (A/S/P/K/D) d'un système, il est nécessaire d'analyser les paramètres suivants :

##### a- La loi des instants d'arrivées des camions :

Pour déterminer la distribution des temps d'arrivée des camions à la zone de chargement au niveau 965m, nous avons enregistré les heures d'arrivée de chaque camion. Les données recueillies pendant notre stage pratique sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I V.14:** Le temps d'arrivée des camions

Numéro du camion	Nombre d'arrivé	temps d'arrivé vide
CATTERPILLAR 775G « 1 »	1	09 :25 :00
CATTERPILLAR 775G « 2 »	2	09 :35 :14
CATTERPILLAR 775G « 3 »	3	09 :38 :59
CATTERPILLAR 775G « 1 »	4	09 :55 :06
CATTERPILLAR 775G « 2 »	5	10 :09 :55
CATTERPILLAR 775G « 3 »	6	10 :12 :00
CATTERPILLAR 775G « 1 »	7	10 :26 :39
CATTERPILLAR 775G « 2 »	8	10 :44 :03
CATTERPILLAR 775G « 3 »	9	10 :48 :26
CATTERPILLAR 775G « 1 »	10	10 :59 :45
CATTERPILLAR 775G « 2 »	11	11 :20 :29
CATTERPILLAR 775G « 3 »	12	11 :22 :59
CATTERPILLAR 775G « 1 »	13	11 :31 :48
CATTERPILLAR 775G « 2 »	14	11 :52 :10
CATTERPILLAR 775G « 3 »	15	11 :54 :50
CATTERPILLAR 775G « 1 »	16	12 :02 :00

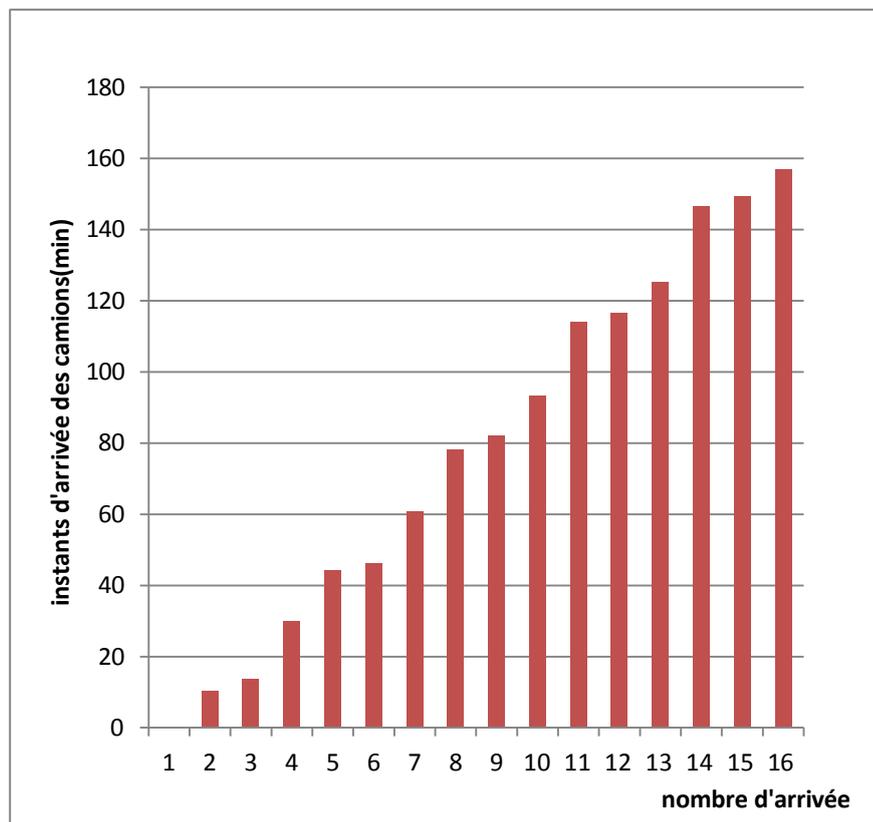


Figure IV.1: le graphe de temps d'arrivé vide

On constate d'après le graphe que les instants d'arrivées forment un processus de Poisson c'est à dire qu'ils suivent la loi de poisson.

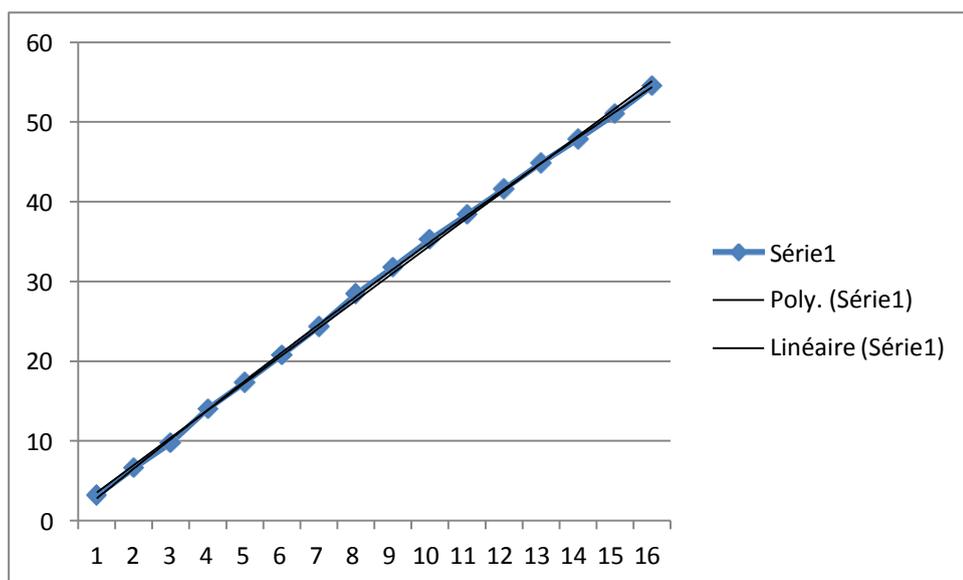
Alors  $A=M$  selon la nomenclature de Kendall.

### b- La Loi du Temps de Chargement

Les données présentées dans le tableau IV .8 ont été récoltées durant notre stage, nous avons enregistré le temps de chargement de chaque camion dans la zone de chargement située au niveau de 965 mètres. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau suivant:

**Tableau IV.15:** le temps de chargement de camions

Numéro de camions	Le nombre d'arrivé	Temps de chargement (min)
CARETPILLAR 775G 1	1	03 :14
CATERPILLAR 775G 2	2	03 :45
CATERPILLAR 775G 3	3	03 :16
CATERPILLAR 775G 1	4	04 :26
CATERPILLAR 775G 2	5	03 :31
CATERPILLAR 775G 3	6	03 :41
CATERPILLAR 775G 1	7	03 :58
CATERPILLAR 775G 2	8	04 :10
CATERPILLAR 775G 3	9	03 :36
CATERPILLAR 775G 1	10	03 :48
CATERPILLAR 775G 2	11	03 :12
CATERPILLAR 775G 3	12	03 :21
CATERPILLAR 775G 1	13	03 :25
CATERPILLAR 775G 2	14	03 :02
CATERPILLAR 775G 3	15	03 :13
CATERPILLAR 775G 1	16	03 :53



**Figure IV.2:** la courbe de temps de chargement

La distribution du temps de chargement est une distribution continue, (et on constate que le temps de service suit la loi exponentielle) [15].

Alors :  $S=M$

- Le nombre de serveur :

Étant donné que le système de file d'attente est un système à serveur unique, nous avons  $P=1$ .

- La capacité du système :

La capacité de la file dans la zone de chargement peut accueillir un nombre infini de camions en attente donc  $K=\infty$

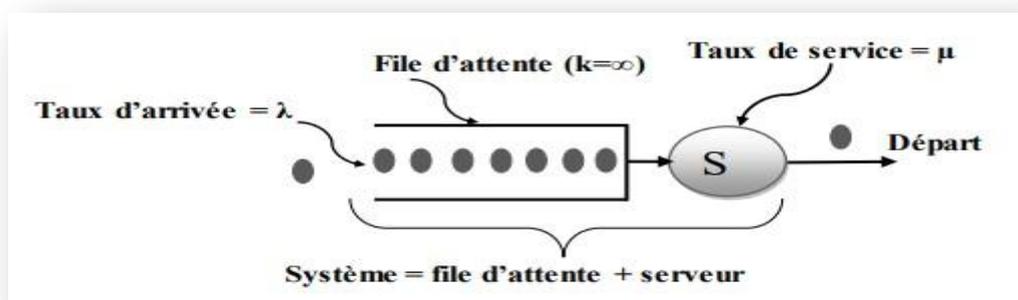
- Dans la mine de fer OUEZA le système possède une discipline de service premier arrivé, premier servi (FIFO).
- Finalement on a arrivé à la normalisation de la gestion de la théorie de file d'attente suivant la nomenclature M/M/1 suivant Kendall
- M/M/1 : file d'attente markovien avec un serveur unique [20].

### 6-3- Structure générale d'un système M/M/1

Le système de file d'attente M/M/1 est caractérisé par :

- une arrivée des clients suivant un processus de Poisson avec un taux  $\lambda$  (nombre moyen de clients arrivant par unité de temps)
- une durée de service suivant une distribution exponentielle avec un taux  $\mu$  (nombre moyen de clients servis par unité de temps, donc  $\frac{1}{\mu}$  est le temps moyen de service d'un client).

Une file M/M/1 est donc définie par un processus de Markov pour les arrivées et les départs, un seul serveur, une discipline de service FIFO "premier arrivé, premier servi", une capacité de file infinie et un nombre infini de clients potentiels pouvant entrer dans la file[20].



**Figure IV.3:** Structure générale d'un système de file d'attente M/M/1

**6-4- Etude analytique du système :** Notre objectif est de déterminer les paramètres décrivant les performances du système M/M/1. Généralement, lors de l'analyse d'une file d'attente, on se concentre sur trois principaux groupes de mesures de performance [15] :

- Temps d'attente des clients : une mesure du temps d'attente subi par un client quelconque;
- Accumulation des clients : une indication sur la manière dont les clients peuvent s'accumuler dans le système;
- Durée d'activité des serveurs : une mesure de la durée de repos ou d'activité des serveurs.

\* Pour le calcul des paramètres de performance on a besoin des valeurs enregistrées représentées dans les tableaux 11,12 :

**Tableau IV.16:** les paramètres de performances

symbole	Signification
$\lambda$	Taux d'arrivée des clients
$\mu$	Taux de service
$1/\mu$	Temps de service
$\rho$	Taux d'utilisation du système
$\bar{n}_f$	Nombre moyen de clients qui attendent d'être servis
$\bar{n}_s$	Nombre moyen de clients dans le système (clients qui attendent et clients qui sont en train d'être servis)
$T_f$	Temps moyen d'attente en file
$T_s$	Temps moyen d'attente dans le système (temps d'attente en file, plus le temps de service)

**a- calcul de taux d'arrivé de clients :** D'après le tableau 6 on constate qu'il arrive 16 camions dans un intervalle de 157min [15]

$$\lambda = \frac{Nd}{t} \dots \dots (IV.17)$$

Où

Nd : nombres de camions arrivées.....16

t : le temps total des arrivées..... 157 min

Alors : 
$$\lambda = \frac{16}{157}$$

$$\lambda = 0,10$$

- ce qui signifie que le serveur est occupé 10% du temps. Le système est stable et les clients ne devraient pas attendre trop longtemps.

**b- Calcul du taux  $\mu$ :**

Donc  $1/\mu$  représente le temps moyen de service d'un camions [15] :

Alors : 
$$1/\mu = \frac{\sum t_{ch}}{Nd} \dots\dots\dots (IV.18)$$

Où

- $\sum T_{ch}$  : la somme de temps de chargement des camions 54.51 min.....

-Nd : le nombre de camions arrivant..... 16

$$\frac{1}{\mu} = \frac{54,51}{16} = 3.40 \text{ min}$$

- Le temps moyen de service plus court indique que le système ou le serveur est rapide et efficace. Cela signifie que chaque client ou tâche est traité(e) rapidement, ce qui est souvent souhaitable pour maintenir un niveau de satisfaction élevé et réduire les files d'attente

Donc 
$$\mu = 0.29$$

- $\mu$  : taux de service

- Le taux de service faible ( $\mu$  petit) suggère que le serveur ou le système est plus lent, ce qui peut entraîner des temps d'attente plus longs et des files d'attente plus longues.

**c- Calcul de du taux de l'utilisation du système (pelle + file d'attente) [15] :**

Avec 
$$q = \frac{\lambda}{\mu} \dots\dots\dots (IV.19)$$

$$q = \frac{0,10}{0,29} = 0,34$$

on a  $q=0,34$  donc  $q < 1$  donc le système est stable [20]

**d- Nombre moyen de camions dans le système [20]:**

$$\tilde{n} = \frac{q}{1-q} \dots\dots\dots (IV.20)$$

$$\tilde{n} = \frac{0,34}{1-0,34} = 0,51$$

Où

$q$  : taux de l'utilisation du système .....0,34

On constate d'après ce résultat que le nombre de camions en moyenne dans le système égale à 0,34 ce qui veut dire que le nombre de camions en attente n'est pas élevé et que la file n'est pas très longue[15]

**e- Nombre moyen de camions dans la file en attente :[20]**

$$\tilde{n}f = \frac{q^2}{1-q} \dots\dots\dots (IV.21)$$

$$\tilde{n}f = \frac{0,34^2}{1-0,34} = 0,17$$

On constate d'après ce résultat que le nombre de camions en attente égale à 0,17 ce qui veut dire que le nombre de camions en attente n'est pas élevé et que la file n'est pas très longue[15]

**f- Temps moyen de séjour dans le système**

Le temps que passe un camion dans le système  $T_S$  est égal donc au temps nécessaire à l'arrivée de  $n$  camions :[15]

$$T_S = \frac{1}{\lambda * \tilde{n}} \dots\dots\dots (IV.22)$$

$$T_S = \frac{1}{0,10 * 0,51} = 5,1 \text{ min}$$

- Un temps moyen de séjour faible indique que les clients passent moins de temps dans le système, ce qui signifie une meilleure performance et une plus grande efficacité. Cela est souvent associé à une satisfaction client élevée, car les clients sont servis rapidement.

**g- Temps moyen d'attente [20]:**

$$T_f = q * T_s \dots\dots\dots (IV.23)$$

$$T_f = 0.34 * 5.1 = 2.13 \text{ min}$$

- Une valeur faible indique un temps d'attente minimal pour les clients, ce qui est généralement souhaitable pour améliorer la satisfaction client.

**h- Déterminer la probabilité :**

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \quad \text{avec } n \geq 1 \dots\dots\dots (VI.24)$$

Où :

$$P_0 = (1-q) = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = 1 - \left(\frac{0.10}{3.12}\right) = 0.96 \dots\dots\dots (VI.25)$$

$\mu$  : taux de service ; 3,12.

$\lambda$  : taux d'arrivées des clients ; 0,10.

$q$  : taux d'utilisation de système ; 0,31.

- $P_0=0.96$  , correspond à la probabilité que le serveur soit inactif (c'est-à-dire qu'il n'y ait aucun client dans le système) dans un système de file d'attente M/M/1

Pour  $n=1$

$$P_1 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) P_0 \dots\dots\dots (VI.26)$$

$$P_1 = \left(\frac{0.10}{3.12}\right) * 0.96 = 0.030$$

- Cela signifie qu'à un moment donné, il y a une faible probabilité (3%) qu'un seul client soit en court de service ou en attente .

Pour  $n=2$

$$P_2 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 \dots\dots\dots(VI.27)$$

$$P_2 = \left(\frac{0,10}{3,12}\right)^2 * 0,96 = 0,00098$$

- Cela signifie qu'il est très rare (seulement 0,098% du temps) d'avoir deux clients présents simultanément dans le système.

Pour n=3

$$P_3 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 P_0 \dots\dots\dots(VI.28)$$

$$P_3 = \left(\frac{0,10}{3,12}\right)^3 * 0,96 = 0,000031.$$

- Cela signifie qu'il est extrêmement rare (seulement 0,0031% du temps) d'avoir trois clients présents en même temps dans le système.
- Les probabilités décroissantes pour  $p_1, p_2$  et  $p_3$  montrent que le système de file d'attente est rarement occupé par plus d'un client à la fois.
- Le système est très efficace à traiter les arrivées rares de clients, mais il pourrait être surdimensionné par rapport à la demande actuelle, entraînant une utilisation inefficace des ressources

- Et par l'utilisation des outils informatiques (Excel) on trouve ces résultats

paramètres	designation	valeurs
nombres des camions arrivés	Nc	16
temps total d'arrivé	Tt	157
taux d'arrivé de clients	$\lambda$	0,101910828
temps total de chargement de chaque camion	tch	0,9
le temps moyen de service d'un camion	$1/\mu$	3,4
taux de service	$\mu$	0,294117647
taux d'utilisation	q	0,346496815
taux de l'utilisation du système (pelle + file d'attente)	$\tilde{N}$	0,530214425
Nombre moyen de camions dans la file en attente	$\tilde{n}f$	0,146900585
Le temps que passe un camion dans le système	Ts	5,202729045
Temps moyen d'attente	Ta	1,802729045

Figure VI.4: calculs de paramètres de performances

Tableau IV.17: les équations de mesures de performances

Mesures de performance	Equations
taux d'arrivé de clients	$\lambda = \frac{Nd}{t}$
le temps moyen de service	$\frac{1}{\mu} = \frac{\sum tch}{Nd}$
Calcul de du taux de l'utilisation du système (pelle + file d'attente)	$q = \frac{\lambda}{\mu}$
Nombre moyen de camions dans le système	$\tilde{n} = \frac{q}{1-q}$
- Nombre moyen de dumpers dans la file en attente	$\tilde{n}f = \frac{q^2}{1-q}$
Temps moyen de séjour dans le système	$T_s = \frac{1}{\lambda * \tilde{n}}$
Temps moyen d'attente	$T_f = q * T_s$
Probabilité pour n=0	$P_0 = (1-q) = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$
Probabilité pour n client	$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0$

- Les paramètres calculés indiquant que le système de file d'attente fonctionne de manière très efficace et n'est pas surchargé

- le système est performant et bien dimensionné pour la charge actuelle.
- Ce chapitre a examiné les stratégies de rationalisation dans le domaine minier, en se concentrant sur l'utilisation des statistiques et de la théorie des files d'attente pour améliorer les performances opérationnelles. Les résultats obtenus de cette étude montrent clairement que ces approches peuvent avoir des impacts positifs significatifs sur l'efficacité et la rentabilité des opérations minières.

# *Conclusion*

## CONCLUSION

---

Dans une mine à ciel ouvert, le maillon fondamental pour le chargement et le transport des matériaux excavés vers les zones de traitement ou de stockage est la combinaison d'une pelle et d'un camion. La rationalisation de ce couple est d'une importance capitale pour maximiser la productivité, optimiser les coûts d'exploitation et assurer la sécurité des opérations.

Pour démontrer et analyser l'importance de la rationalisation du couple - pelle et camion-, nous avons amélioré deux stratégies :

La première par l'utilisation de l'outil statistiques ; en calculant la moyenne, la variance et l'écart-type, nous avons conclu que les mesures réalisés aux chantiers sont représentatifs.

Par ailleurs, nous avons procédé aux calculs des coefficients de sécurité et des rendements.

Les données calculées ont fourni des résultats significatifs sur le temps de cycle de la pelle à savoir 3,58 minutes, avec une variance de 0,14 et un écart-type de 0,37. Cela nous donne une intervalle de  $(-0.37, 3.95)$  pour le temps de cycle de la pelle .

Concernant le transport, le temps de parcours du camion a été évalué à 32,55 minutes, avec une variance de 5,16 et un écart-type de 2,27. L'intervalle de confiance correspondant est de  $(30,27, 34,82)$  pour le temps de parcours du camion.

La deuxième est la théorie des files d'attente ; ce qui nous a permis d' analyser les performances du système en termes de temps d'attente, nous avons déterminé que les paramètres calculés indiquent un fonctionnement efficace du système de file, qui n'est pas surchargé, mais plutôt bien dimensionné et performant pour la charge actuelle. En utilisant le modèle M/M/1 pour l'analyse de la file d'attente, nous avons déterminé que le taux d'arrivée des clients est de 10%, le taux de service est de 29%, et le taux d'utilisation du système est de 34%. De plus, grâce à l'optimisation, le temps d'attente a été réduit à seulement 2 minutes.

Enfin, en adoptant la rationalisation décrite dans ce travail, nous espérons que les entreprises minières auront la possibilité d'améliorer leur rentabilité et leur efficacité opérationnelle en intégrant ces méthodologies dans leurs pratiques habituelles.

# *Annexes*

## **Références bibliographiques :**

- [1] Code minier, JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIC ALGERIENNE N18, [2014].
- [2] Chibka exploitation à ciel ouvert, achevé d'imprimer sur les presses de l'office des publications universitaire.
- [3] Philippe Matheus, les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifère, [2018].
- [4] V.KOVALENKO, N.AMBARTSOUMIAN, K M LAHMER exploitation des carrières. Office des publications universitaire.
- [5] Cécile coulombes , HAL open science, ‘ Analyse et optimisation des pratiques d'abattage à l'explosif dans une carrière de granulats’ , [2011].
- [6] Yannick IlungYano Chargement et transport dans les mines..<http://www.researchgate.net>
- [7] Mon cahier d'exploitation minière 2012.
- [8] CEFICEM Centre National d'Etude et de Formation des Industries de Carrière et Matériaux de Construction, Chargement et roulage carrier,
- [9] Documentation de bureau de méthode, la mine d'Ouenza.
- [10] Djoudi Dhiaeddine, Menad Ferial ‘ Analyse et optimisation des paramètres d'un plan de tir dans les conditions de la mine de fer d'Ouenza’.
- [11] Cours, Exploitation à ciel ouvert, Master 01. Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi-Tébessa année universitaire 2022/2023.
- [12] KEBBAS Salah, ‘ contribution à la correction et l'amélioration de la qualité de service dans une Enterprise publique en utilisant les réseaux de files d'attente, mémoire de magister.
- [13] HANAFI Moncef Walid, SEDIRI Karima ‘ système de rationalisation du couples chargement-transport dans la carrière de Chouf Amar M'sila , l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état, [2018].
- [14] Division étude et développement, Plan d'exploitation BP2023,.
- [15] Département d'étude et développement, Rapport géologique oct 2023,.
- [16] B BOKY ,exploitation des mines. Moscou 1968.

## Références bibliographiques :

---

- [17] Hadji, Abedlhamid, ‘‘ Amélioration des paramètres des travaux de forage et tir et traitement des résultats par l’analyse blocométrique’’. Université Badji-Mokhtar-Annaba, [2013].
- [18] BOUCHAMA Khaled,HAKIMI Lakhdar ‘‘ étude des processus miniers de l’exploitation du gisement de fer cas ; mine d’Ouenza ( chagoura nord), l’obtention du diplôme de licence , [2019].
- [19] Lectura-specs.Fr <http://www.lectura-specs.fr>. consulté le 28/04/2024.
- [20] BENRADIA Allaaoua, MBARKIA Faouzi ‘‘ optimisation des travaux de chargement et transport dans une mine à ciel ouvert «cas de mine de Boukhadra».
- [21] Mesure de dispersion.
- [22] Gravetter, F,J & Wallnau, L.B essentials of statics for the behavioral sciences (8<sup>th</sup> Ed). Waszorth Publishing [2014].
- [23] Houssain, M.M, & Patterson, J, D 44 Application of queuing theory in mining industries: A review. International journal of mining, [2015].
- [24] modélisation en univers aléatoire, Aimé LACHAL.

# *Annexes*

# Les annexes

## A-1

<b>Rendement des Pelles et Chargeuses</b>				
<b>Hypothèses Pelles 6M3 productivité</b>			<b>Hypothèses Chargeuses 5M3 productivité</b>	
Nbr de Passe	1		Nbr de Passe	1
Capacité du godet (m3)	6		Capacité du godet (m3)	5
Densité - Min / Ste %	2,5		Densité - Min / Ste %	2,5
Capacité du godet (Ton)	15,0		Capacité du godet (Ton)	12,5
foisonnement %	20		foisonnement %	20
Capacité du godet (Ton)	13		Capacité du godet (Ton)	10
Taux de remplissage %	10		Taux de remplissage %	10
Capacité du godet (Ton)	11		Capacité du godet (Ton)	9
<b>Cycle Pelles en Secondes</b>			<b>Cycle Chargeuses en Secondes</b>	
Manouvere Chargement	15		Manouvere Chargement	11
Manouvere Geration Arriere	5		Manouvere Arriere	10
De-Chragement	10		Manouvere Avant	10
Manouvere Geration Avant	5		De-Chragement	15
			Manouvere Arriere	10
			Manouvere Avant	20
Preparation de Charge	67		Preparation Charge	60
Totale Temps /Passe-Seconde	102		Totale Temps /Passe-Seconde	136
Totale Temps /Passe-Minutes	1,70		Totale Temps /Passe-Minutes	2,27
Nbr Passe / H	35,29		Nbr Passe / H	26,47
<b>Totale Rendement T / H</b>	<b>401</b>		<b>Totale Rendement T / H</b>	<b>251</b>

## A-2

Rendement des Camions de Transport			
Hypothèses Transport 55T		Hypothèses Transport 65T	
Nbr de Voyage	1	Nbr de Voyage	1
Capacité de la benne	53	Capacité de la benne	66
foisonnement %	20	foisonnement %	20
Capacité du Benne (Ton)	44	Capacité du Benne (Ton)	55
Taux de remplissage %	10	Taux de remplissage %	10
Capacité du benne (Ton)	40	Capacité du benne (Ton)	50
Cycle Camions en Secondes		Cycle Camions en Secondes	
Chargement	270	Chargement	270
Deplacement en Chargé	580	Deplacement en Chargé	630
Manouvere	55	Manouvere	55
De-Chragement	125	De-Chragement	125
Deplacement Vide	350	Deplacement Vide	350
Manouvere	65	Manouvere	65
Totale Temps /Cycle-Sec	1445	Totale Temps /Cycle-Sec	1495
Nbr / Cycle-Minutes	24,08	Nbr / Cycle-Minutes	24,92
Nbr Cycles-Voyages / H	2,49	Nbr Cycles-Voyages / H	2,41
<b>Totale Rendement T / H</b>	<b>100</b>	<b>Totale Rendement T / H</b>	<b>120</b>

Chargement														
Engins	PANNES													
Pelles	Mot	Transs	Conv	Hyd	Frein	Eléctr	Chassis	Pneum	Divers	T/H/P	HM	HR	HE	H prdu
L 01	8392										236	293	48	8921
L 02	8392													8392
L 03	1985			1500							3459	1447	180	8391
cat 01	5119				900						1776	375	150	8320
Pelles	Mot	Transs	Conv	Hyd	Frein	Eléctr	Chassis	Pneum	Divers	T/H/P	HM	HR	HE	H prdu
CH 06	3335										1067	1455	150	5856
CH 07				2159							4354	1699	180	8392
Pelles	Mot	Transs	Conv	Hyd	Frein	Eléctr	Chassis	Pneum	Divers	T/H/P	HM	HR	HE	H prdu
IR 10	1200			2050			900				741	810	60	5761
BB 03	5760													
BB 04	2000						2770				364	445	180	5759
AC 02							5130				174	280	180	5764
Pelles	Moteur	Réduct	Accoup	Hyd	P/usure	Eléctr	Chassis	J/bande	Divers	T/H/P	HM	HR	HE	H prdu
660	3120						240	265			354	918		4897
803						2040		2192			1128	1448		6808
Pelles	Mot	Transs	Conv	Hyd	Frein	Eléctr	Chassis	Pneum	Divers	T/H/P	HM	HR	HE	H prdu
1324	1758										138	264	40	2200
1325	7292										577	483	40	8392
1326								1566			3526	3040	260	8392
1327	44								2119,5		3765	2203	260	8392
1328									1312		3007	3814	260	8392
1329	1819			5572							467	274	260	8392
1330								3462,5			2157	2513	260	8392
1331	5585										1455	1092	260	8392
1332									1642		4189	2301	260	8392

# A-3

Camion	Essai	Tch	Tdépl	T dch	Tret	Tatt	Tc
1	1	15	6	2	4	7m	27
	2	5	5	4	5		19
	3	10	5	4	5		24
	4	13	4	5	4		26
	5	15	4	6	5		30
	6	8	5	4	5		22
	7	9	3	6	4		22
	8	8	3	5	6		22
	T moy	10	4	5	5		24
2	1	17	5	3	4	/	29
	2	10	4	3	4		21
	3	12	4	4	3		23
	4	8	4	5	5		22
	5	7	4	5	4		20
	6	9	5	6	5		25
	7	15	4	6	4		29
	8	6	4	5	6		21
	T moy	11	4	5	4		24
3	1	10	4	7	4	10m	25
	2	10	5	4	6		25
	3	8	5	4	6		23
	4	11	4	5	5		25
	5	13	6	6	6		31
	6	17	7	7	8		39
	7	22	4	6	7		39
	T moy	13	5	6	6		30
	1	10	4	5	7		26
	2	13	6	5	6		30
	3	24	6	4	6		40

<b>4</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9m34s</b>	<b>30</b>
	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		<b>30</b>
	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>7</b>		<b>32</b>
	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>		<b>32</b>
	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>		<b>26</b>
	<b>T moy</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>		<b>31</b>
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>/</b>	<b>27</b>
	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>		<b>29</b>
	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>		<b>29</b>
	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>		<b>30</b>
	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>		<b>40</b>
	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>		<b>28</b>
	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>		<b>30</b>
	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>		<b>30</b>
	<b>T moy</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>		<b>31</b>
<b>6</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>11m26s</b>	<b>24</b>
	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		<b>30</b>
	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>7</b>		<b>28</b>
	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>8</b>		<b>33</b>
	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>8</b>		<b>30</b>
	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7</b>		<b>39</b>
	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>9</b>		<b>30</b>
	<b>T moy</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>		<b>31</b>
<b>Tmoy</b>	<b>46</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>28</b>	

# A-4

	A	B	C	D	E	F
3	Numéro de ncamion	Nombre de godet	temps de chargement d'un camion (min)	cPelle(s)		
4				tc		
5					XI-moyenne au carré	
6	1	8	3,2	24 s	-0,38	0,1444
7	2	8	3,12	24 s	-0,46	0,2116
8	3	7	3,45	30 s	-0,13	0,0169
9	4	8	4,1	31 s	0,52	0,2704
10	5	8	4,05	31 s	0,47	0,2209
11	6	7	3,56	31 s	-0,02	0,0004
12	Temps de cycle moyen		3.58	28.5		
13		moyenne	3,58			0,1441
14		variance				0,1441
15		ecart type				0,37960506
16						
17		moye-sigma				3,95960506
18		moye+sigma				-0,3796051

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
8	1	03 :58	14 :37	00 :20	13 :33	01 :08	/	33,06	0,51	0,2601
9	2	04 :10	16 :15	00 :16	14 :15	00 :50	/	36,26	3,71	13,7641
10	3	03 :36	11 :04	00 :28	09 :19	01 :25	03 :19	29,18	-3,37	11,3569
11	1	03 :48	14 :53	00 :23	13 :37	01 :02	/	34,18	1,63	2,6569
12	2	03 :12	14 :06	00 :17	13 :29	01 :11	/	32,25	-0,3	0,09
13	3	03 :21	12 :09	00 :26	08 :56	01 :00	04 :28	30,33	-2,22	4,9284
14	1	03 :25	15 :07	00 :24	12 :11	01 :11	/	32,03	-0,52	0,2704
15	2	03 :02	13 :15	00 :16	12 :47	01 :31	/	31,41	-1,14	1,2996
16	3	03 :13	12 :27	00 :19	11 :16	01 :16	/	28,51	-4,04	16,3216
17	1	03 :53	13 :42	00 :17	11 :18	01 :01	/	30,18	-2,37	5,6169
18	T <sub>moy</sub>	03 :59	13 :38	00 :22	12 :12	01 :26	04 :08	32,55		
19							moyenne	32,55		
20							variance			5,16685
21							ecart type			2,27307061
22							moy -sigma			30,2769294
23							moy+sigma			34,8230706