



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : Exploitation Minière

Présenté par

BOUMELHA Islam

TAIBI Amir

Thème

Optimisation des paramètres de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia pour augmenter la production annuelle

Soutenu le 29 / 06 /2017 devant le jury composé de :

Président : Mr. DJEMAA.A	M.C.B	U.A.M.B
Promoteur : Mme. KICHER. K	M.A.B	U.A.M.B
Examineur : Mr. DJAZAIRI.O	M.A.A	U.A.M.B

Année Universitaire : 2016-2017

Remerciement

A la clôture de ce travail et avant d'entamer ce présent mémoire

*Nous tenons à exprimer dans un premier temps, nos remerciements les plus sincères à **Mme KICHER** pour sa disponibilité, son soutien et sa précieuse aide lors de l'élaboration de notre projet de fin d'études.*

*Nous voudrions exprimer toutes nos reconnaissances à **Mr DJEMA**, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury.*

*Nos remerciements également à **Mr DJAZAIRI**, pour avoir accepté d'examiner ce travail et de faire partie des membres de jury.*

Nous remercions aussi l'ensemble du personnel de la carrière de Djebel Safia, qui a été accueillant, chaleureux et compréhensif.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet, aux personnes qui, malgré que leurs noms ne figurent pas dans ce document, étaient toujours prêtes à aider et à contribuer dans le bon déroulement de ce mémoire.

DEDICATION

I DEDICATE THIS WORK TO MY FAMILY AND MANY FRIENDS, A SPECIAL

FEELING OF GRATITUDE TO MY LOVING PARENTS, WHO HAVE

SUPPORTED ME FROM THE BEGINNING UNTIL THE END

MY SISTER AND MY TWO BROTHERS,

I ALSO DEDICATE THIS DISSERTATION TO MY MANY FRIENDS WHO

HAVE

SUPPORTED ME THROUGHOUT THE PROCESS. I WILL ALWAYS

APPRECIATE ALL THEY HAVE DONE,

FINNALLY I GIVE SPECIAL THANKS TO A SPECIAL PERSON, MR ZOBIR

STAVILISI.

THANK YOU

BOUMELHA ISLAM

Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je
dédie ce modeste travail de fin d'études*

*A mes parents, pour leurs sacrifices, leurs tendresse,
leurs soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes frères et sœurs, pour leurs appuis, leurs
encouragements et leur soutien moral.*

*A tous mes amis qui m'ont soutenue et encouragé tout
au long de mon cursus universitaire de près ou de loin.*

*A vous Dounia, Siham et Sami alliasse Damso le blanc
merci d'être toujours là pour moi.*

Amir Taïbi

Mitch

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur le chargement et transport dans les carrières.

Tableau I.1. Avantages et inconvénients des chargeuses	5
Tableau I.2. Avantage et inconvénient des pelles hydrauliques	8
Tableau I.3. Caractéristiques principales des draglines marcheuses	10

Chapitre II : caractéristiques géologiques et hydrogéologique de la carrière.

Tableau II.1. Coordonnées LAMBERT du gisement	20
Tableau II.2. Résultats d'analyse chimique	26
Tableau II.3. Réserves géologiques initiales réparties par catégorie	27

Chapitre III : Description technique et mécanique de la carrière.

Tableau III.1. Planification de la productivité de la carrière	30
Tableau III.2. Production journalière durant le mois d'Avril 2017	31
Tableau III.3. Caractéristiques techniques de la chargeuse WA700-3	33
Tableau III.4. Les engins de transport disponible (en service) au niveau de la carrière	34
Tableau III.5. Caractéristiques du dumper KOMATSU HD465	35
Tableau III.6. Caractéristiques du dumper HTACHI EH 1000	35
Tableau III.7. Caractéristiques du dumper HITACHI 1100-3	36
Tableau III.8. Caractéristiques du dumper HITACHI EH 1100-5	36

Chapitre IV : Optimisation des paramètres de chargement et de transport.

Tableau IV.1. Temps de cycle de la chargeuse	39
Tableau IV.2. Quelques critères de choix d'un engin de transport	43
Tableau IV.3. Les engins de transport disponible (en service) au niveau de la carrière	43
Tableau IV.4. Temps de cycle du dumper HITACHI EH 1100-3 (N°34)	46

Tableau IV.5. Temps de cycle du dumper HITACHI EH 1100-3 (N°35)	47
Tableau IV.6. Temps de cycle du Temps de cycle du dumper Hitachi EH1100-5 (36)	47
Tableau IV.7. Temps de cycle du dumper HITACHI EH1100-5 (N°37)	48
Tableau IV.8. Temps de cycle du dumper KOMATSU HD 465.....	49
Tableau IV.9. Temps de cycle du dumper HITACHI EH 1000	49
Tableau IV.10. Valeurs du rendement efficace pour chaque dumper.....	51
Tableau IV.11. Les nouveaux temps de cycle moyen des dumpers	52
Tableau IV.12. Nouveaux rendements effectifs des camions.....	53
Tableau IV.13. Résultat du calcul du nombre P	57

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le chargement et le transport dans les carrières.

Figure I.1. Les différents types d'engins de chargement	4
Figure I.2. Chargeuse sur pneumatique.....	5
Figure I.3. Chargeuse sur chenilles	6
Figure I.4. Pelle hydraulique	8
Figure I.5. Pelle à câble sur chenilles.....	9
Figure I.6. Dragline	10
Figure I.7. Classification des engins de transport	12
Figure I.8 Bouteur LIEBHERR 764.....	13
Figure I.9. Chargeuse sur pneus	13
Figure I.10. Décapeuse.....	15
Figure I.11. Tombereau rigide (TEREX)	16
Figure I.12. Le tombereau à châssis articulé (KOMATSU)	17
Figure I.13. Convoyeur à bandes	18

Chapitre II : caractéristiques géologiques et hydrogéologique de la carrière

Figure II.1. Extrait de la carte routière de la région de Azzaba (1/500 000)	21
Figure II.2 Log stratigraphique de la région de Djebel Safia).	23

Chapitre III : Description technique et mécanique de la carrière.

Figure III.1. Chargeuse KOMATSU WA700-3 en position de chargement	33
--	----

Liste des Acronymes

CETIM : Centre d'Etudes et de services Technologique de l'Industrie des Matériaux de construction.

S.N.M.C : Société national des matériaux de constructions.

Qte : Quantité.

Nbr : Nombre.

TP : Travaux Public.

Pst : Poste.

NB : Noter Bien.

(N-E) : Nord – Est.

Pf : Pertes feu

Introduction Générale

Dans toute exploitation minière, les processus de chargement et de transport sont primordiaux, ces deux processus représentent de 40 à 60% du coût technique de l'extraction, on mesure l'importance que représente l'étude détaillée de ces deux postes. Ils nécessitent en matière d'engins, des matériels de plusieurs types et de différentes puissances et capacités.

Bien qu'il existe de nombreuses combinaisons qui permettent d'optimiser la fonction chargement roulage, dans les exploitations à ciel ouvert, on distingue une combinaison très fréquente, c'est la combinaison d'une chargeuse sur pneumatique, avec un ou plusieurs dumpers, dans certain cas, on envisage aussi l'utilisation d'un convoyeur à bonde, cette combinaison s'avère être la plus bénéfique ; dans ce mémoire on a préféré centrer notre travail sur les engins de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia, et sur l'optimisation de leurs paramètres.

L'hypothèse abordé tout au long de notre travail, le stage y compris, se résume dans les questions suivantes :

- Quel sont les paramètres de chargement et du transport ?
- Comment optimiser ces derniers pour augmenter la production annuelle de la carrière ?

Afin de répondre à ces questions il faut au préalable connaître :

- Les caractéristiques techniques et capacités des engins de chargement et de transport ;
- Les distance de transport (entre le front de travaux et la station de concassage) ;
- La productivité annuelle de la carrière et le régime de travail.

Notre mémoire est structuré de la manière suivante :

Après l'introduction générale, dans le premier chapitre nous allons parler des processus de chargement et de transport dans les exploitations à ciel ouvert, ainsi que les engins utilisés dans ces deux opérations, le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du site en question.

Introduction Générale

Ensuite on entame notre partie pratique avec le troisième chapitre, qui est une description technique et mécanique de la carrière et son régime de travail, et on termine notre travail en étudiant et optimisant les paramètres de chargement et de transport.

Et finalement, une conclusion générale qui présente les résultats de notre travail.

Introduction

Le chargement et le transport, sont deux activités indissociables du fait que les engins de chargement et de transport doivent être calculés l'un en fonction de l'autre. Du fait de leur incidence économique, ces deux activités ont été largement étudiés dans le passé.

Le choix du matériel de chargement est fondamental, puisque ce sera lui qu'assurera la production.

Avant de déterminer le meilleur matériel de chargement il est important d'analyser :

- Les différentes méthodes de chargement, pour vérifier le choix le plus judicieux ;
- L'équilibre entre le matériel de chargement, les matériaux de transport et la production du concasseur afin de déterminer avec soin la taille de chacun des matériaux ;
- L'optimisation de la flotte afin d'être sûr que chaque matériel est bien utilisé.

Le transport à son tour, établit la liaison entre le fond de la carrière et le point de déchargement des produits, il a pour objet non seulement de déplacer des minerais, mais aussi des stériles, qui représentent souvent la principale partie de la circulation des produits dans une exploitation à ciel ouvert.

I.1 Opération de Chargement

Dans n'importe quelle activité minière, le chargement représente un facteur déterminant du prix de revient des matériaux.

Le choix des engins de chargement est primordial aussi, puisqu'il a une influence directe sur la production de la mine ou de la carrière. Il existe plusieurs types des moyens de chargement, et chacun d'eux a ses propres capacités et performances, les paramètres de mesure de ces performances sont [3] :

- La capacité du godet ;
- Le temps de cycle ;
- La force de pénétration ;
- La hauteur et la profondeur de creusement ;
- La hauteur et le rayon de creusement ;
- La hauteur et le rayon de déversement ;
- La mobilité et la disponibilité.

Tous ces paramètres influent directement sur la productivité.

La comparaison de la conception technique de ces différents matériels va nous guider vers le choix le mieux approprié [6].

I.1.1 Les Engins de chargement

Le schéma suivant représente les différents engins de chargement existant dans les travaux miniers :

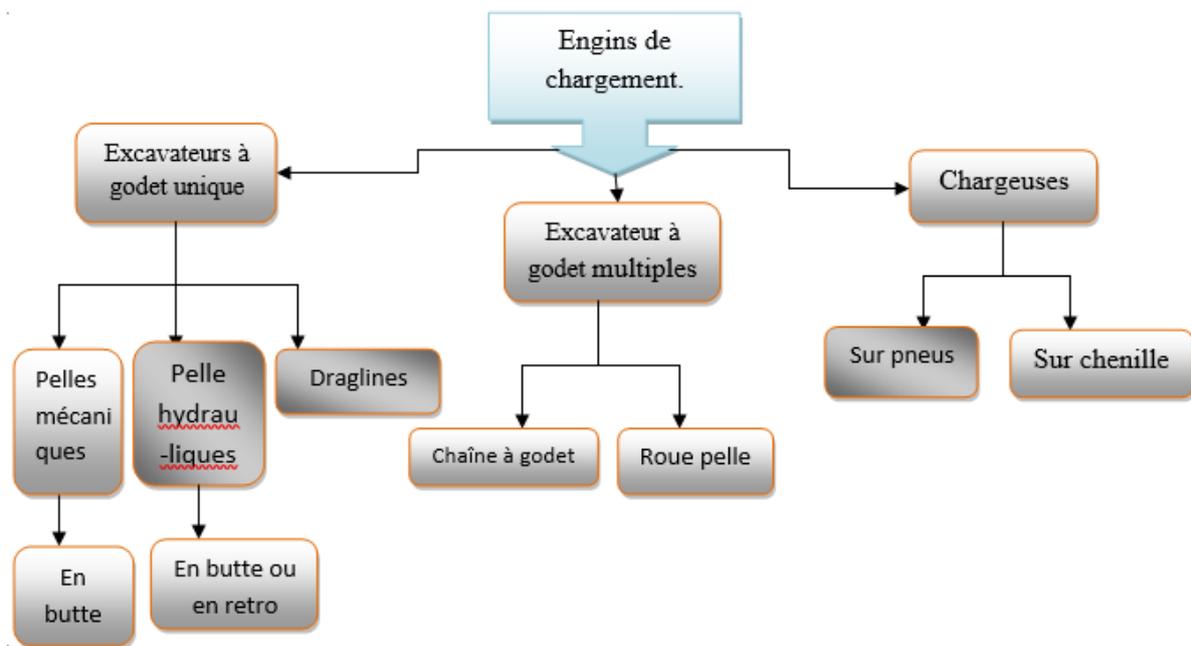


Figure I.1. Les différents types d'engins de chargement

I.1.1.1 Les chargeuses

Les chargeuses, sont les engins de chargement les plus utilisés dans les travaux miniers, les avantages et inconvénients de ces engins sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.1. Avantages et inconvénients des chargeuses. [3]

Chargeuses	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Très mobile - Peu sensible à l'état de la roche - Peut servir aux travaux auxiliaires <ul style="list-style-type: none"> - Coût d'achat modéré - Peuvent charger de gros bloc 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de cycle long - Hauteur de chargement limité - Très sensible à l'état du sol - Fatiguant pour le personnel - Mauvaise visibilité (marche arrière) <ul style="list-style-type: none"> - Faible durée de vie

A. Les chargeuses pneumatiques

Une chargeuse sur pneumatique, est un engin de chantier sur pneus, il comporte un corps automoteur articulé et une benne de grande taille à l'avant (**Figure I.2**). Celle-ci est appelée godet. Lorsqu'elles sont utilisées pour charger un engin de transport, en général des tombereaux articulés ou non. On peut dans une certaine mesure, adapter la chargeuse aux dimensions de l'engin de transport en particulier les hauteurs de levage et les capacités de godet.

En conditions d'adhérence précaires, il est possible d'adapter des systèmes de chaînes ou de tuiles pour réduire l'usure des pneus et améliorer la pénétration au tas.

Toutefois dans ce cas particulier il est préférable d'orienter le choix de la machine vers une chargeuse sur chenille, tracteur à chaînes qui, présente un meilleur potentiel de productivité [7].

**Figure I.2.** Chargeuse sur pneumatique. [7]

B. 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 (**Figure I.3**) [7].

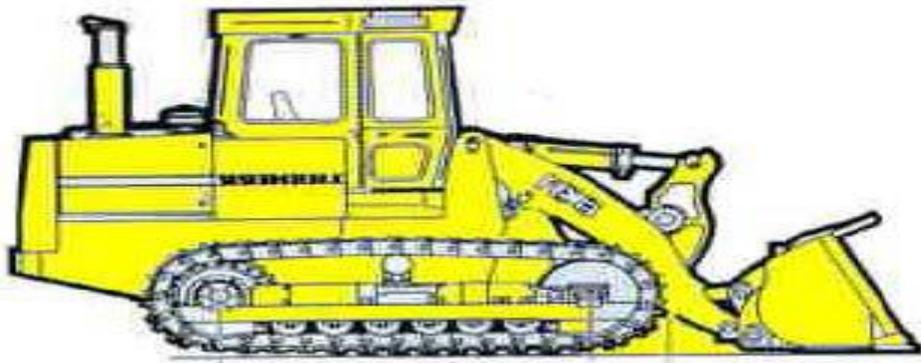


Figure I.3. Chargeuse sur chenilles. [7]

C. Caractéristiques des chargeuses

1) Taille et types du godet en (m³) :

Les godets sont définis en fonction du travail à réaliser. Pour un chargement au front de taille, il faudra choisir un godet "rocher " avec lame en V ou V tronqué et, en fonction de l'abrasivité et de la difficulté à pénétrer les matériaux, un type de dents et de pièces d'usure [2].

2) Force d'arrachage :

La force d'arrachage d'une chargeuse est la force verticale maximum exercée de bas en haut à 100 mm en arrière de la pointe de la lame de coupe. Elle est calculée dans les conditions suivantes [2] :

- Chargeuse horizontale sur sol dur ;
- Freins desserrés ;
- Fond du godet horizontal à 20 mm du niveau du sol.

3) Portée au levage maxi avec inclinaison de 45° :

Il est important de connaître cette portée pour savoir si le vidage se fera bien au centre de la benne et si le chargement sera bien réparti [2].

4) Charge limite d'équilibre statique :

- En ligne.
- Au braquage maximum.

Ces deux informations vont permettre de connaître la vraie charge utile de la chargeuse, et sa stabilité. La charge utile pratique ne devrait pas dépasser 50% de la charge limite d'équilibre au braquage maximum [2].

5) Durée de cycle hydraulique

C'est la durée des manœuvres d'un cycle d'une chargeuse, ces derniers sont résumés dans les points suivants :

- Levage de l'équipement.
- Vidage du godet.
- Abaissement de l'équipement.

Ces informations permettent de connaître la vitesse théorique du cycle d'une chargeuse.

6) Diamètre de braquage avec godet :

Cette information permettra de connaître la surface minimum de travail pour la chargeuse [7].

I.1.1.2 Les pelles

A. Les pelles hydrauliques

Initialement conçues pour les chantiers de travaux publics ces machines se sont imposées dans le domaine des mines 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 à la suppression de l'abattage à l'explosif et de conséquence une diminution significative du coût d'extraction [2].

Enfin, la précision et la souplesse de manœuvre du godet, sa course plane au sol, sa possibilité d'attaquer à la hauteur voulue pour disloquer les matériaux ou purger un front d'abattage sont autant d'éléments qui contribuent au développement de ces machines (**Figure I.4**) [7].

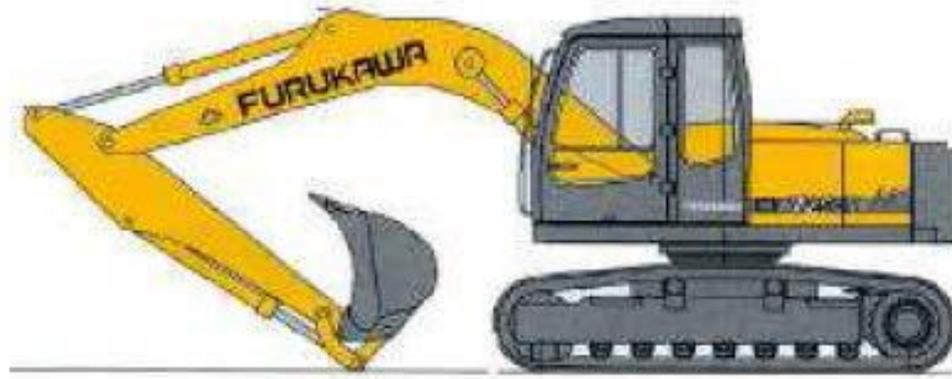


Figure I.4. Pelle hydraulique. [7]

Les caractéristiques des pelles hydrauliques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau I.2. Avantage et inconvénient des pelles hydrauliques [3]

Pelles Hydrauliques	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Temps de cycle court - Peuvent travailler dans des conditions difficiles - Un bon remplissage du godet - Une faible pression sur le sol - Possibilité de travail dans des espaces restreints 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu mobile - Très chère à l'achat - Sensible à la qualité de roches - Coût opératoire élevé - Durée de vie moyenne - Nettoyage d'aire difficile

B. Les pelles mécaniques

La pelle à câbles a été et reste, malgré la montée en puissance des pelles hydrauliques l'engin de chargement des grandes mines à ciel ouvert. Pour des pelles de 3 à 30 m³, de godet il existe

sur le marché mondial huit constructeurs qui proposent 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 m³. 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 machines d'un godet supérieur ou égale à 30 m³, sont montées sur patins (**Figure I.5**) [7].



Figure I.5. Pelle à câble sur chenilles

I.1.1.3. Les draglines marcheuses

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 [8].

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 (**Figure I.6**). [7]



Figure I.6. Dragline. [7]

Dans le tableau ci-dessous sont résumé les principales caractéristiques des draglines marcheuses :

Tableau I.3 Caractéristiques principales des draglines marcheuses. [6]

Fleche	50 à 120m
Godet	10 165 m ³
Puissance électrique	1000 à 20 000 KW
Poids totale	500 à 13 000 tonnes
Angle de flèche	30 à 40°
Profondeur du dragage	0 à 50 m

I.1.2 Choix de l'engin de chargement

Le choix de l'engin de chargement, pelle ou chargeuse, est lié à la granulométrie, la densité et le foisonnement des matériaux abattus, la qualité de l'aire de chargement, la déclivité et l'adhérence [7].

Le choix de type d'engin de chargement des roches abattues dépend des facteurs suivants :

- La nature et les propriétés des matériaux ;
- La production annuelle de la mine ou carrière ;
- La méthode d'exploitation ;
- La méthode d'ouverture du gisement ;
- Les mesures de sécurité pendant le travail.

I.1.2.1 Choix de pelle

La détermination du type de pelle le plus approprié se fait à partir des éléments suivants :

- La production envisagée ;
- La nature des matériaux ;
- La granulométrie ;
- La hauteur du front de taille.

On peut prendre en considération aussi les facteurs suivant [2] :

- La mobilité nécessaire de l'appareil de chargement ;
- Sa rapidité (cycle de base) ;
- Le mode de déchargement (trémie ou tombereaux).

Sur le plan financier ces machines comportent des dépenses d'investissement, donc des frais d'amortissement élevés mais permettent d'obtenir des coûts opérationnels très bas [9].

I.1.2.2 Choix d'un type de dragline

Au contraire d'une pelle mécanique, sur une même machinerie de dragline (comme celle de la pelle hydraulique), on peut monter des équipements différents.

Dans le cas de la dragline, il y a une étude plus détaillée à faire pour déterminer [9] :

- La machinerie de base ;
- La longueur de la flèche ;
- La capacité et le type du godet.

Tout cela en fonction des conditions précises du travail demandé aux draglines [9].

I.1.2.3. Choix d'un type de chargeuse

Le type de chargeuse à utiliser est déterminé d'après la capacité du godet de cette dernière, la nature des roches exploités, et la production envisagée.

I.2 Transport

Le transport est l'un des processus principaux le plus important dans l'exploitation des carrières ou des mines. Le coût du transport peut atteindre 30 % à 70 % du prix de revient total d'exploitation.

L'objectif du transport est le déplacement des charges depuis les fronts de travail vers les lieux de déchargement (stocke, usine de traitement, station de concassage) pour les substances utiles, et les terrils pour les roches encaissantes (stériles). La figure suivante montre une classification de certains moyens de transport utilisés dans le domaine des mines :

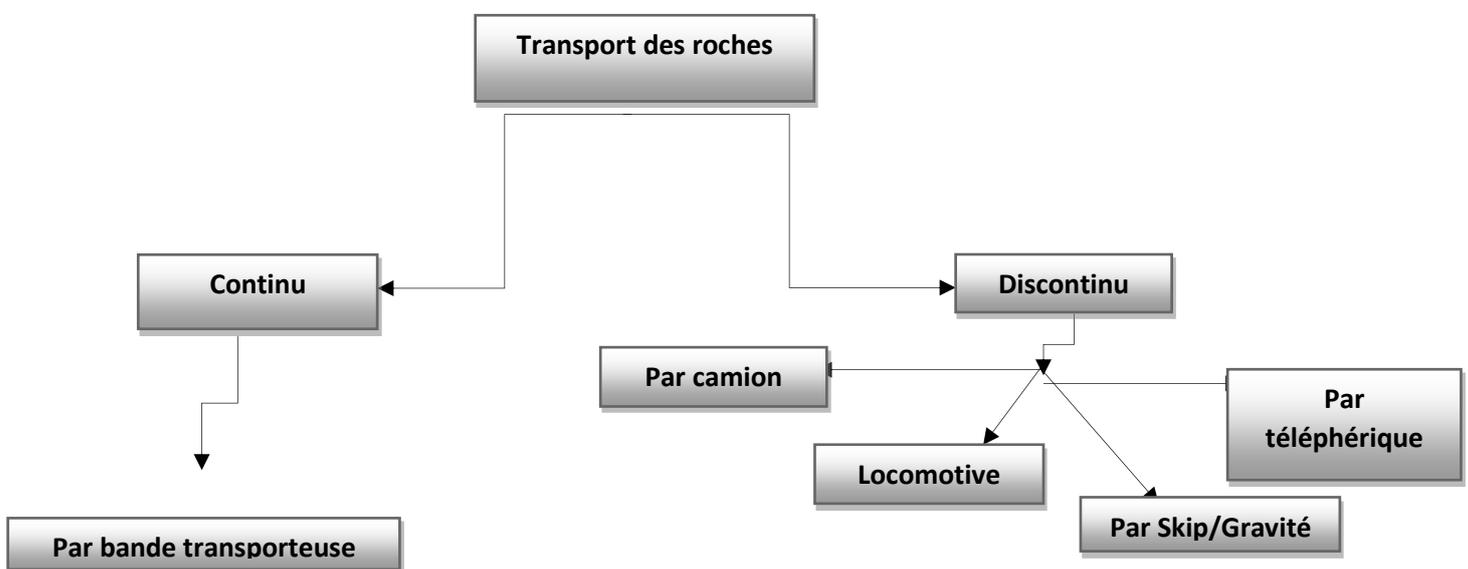


Figure I.7. Classification des engins de transport.

I.2.1 Engins de transport

I.2.1.1 Engins de transport pour une distance inférieure à 200 m

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" (Figure I.8).

Les puissances utilisées varient de 45 à 550 kW pour des poids de 8 à 85 tonnes, et leurs distances de transport est limitée entre 80 et 100m au maximum sauf cas particuliers [10].



Figure I.8 Bouteur LIEBHERR 764

B. Les chargeuses sur pneus

Ces engins de terrassement sur pneumatiques travaillent en se déplaçant. Leur rendement est en fonction de leur déplacement et du poids total de l'engin. Les chargeuses sont utilisées en chargeur-transporteur pour des distances inférieures à 200 m (**Figure I.9**) [10].



Figure I.9. Chargeuse sur pneus

Ces machines se caractérisent :

- Par une modularité intéressante ;

- Une grande mobilité ;
- Une bonne hauteur de déversement ;
- Une bonne manœuvrabilité et la possibilité de gravir des pentes importantes ;
- Une bonne sélectivité lors du chargement des matériaux ;
- Un bon débit en matériaux bien fragmenté ;
- Une force de pénétration relativement réduite ;
- Elles nécessitent une conduite soignée pour éviter l'usure rapide des pneumatiques ;
- Il est recommandé d'avoir une aire de chargement relativement plane et sensiblement horizontal.

C. Autres engins

1) Décapeuses sur chaînes :

Peu utilisés, elles peuvent présenter un avantage dans les distances de transport très courtes et pour les matériaux meubles ; elles sont caractérisées par une forte résistance au roulement et aux pentes importantes.

2) Les Draglines :

Elles sont utilisées pour faire des déplacements des matériaux sur des distances qui peuvent aller jusqu'à 150m.

3) Tombereaux sur chaînes

Peu utilisés les tombereaux sur chaînes ont une application dans les cas suivants :

- Distance de transport très courte ;
- Tous types de matériaux ;
- Forte résistance au roulement ;
- Forte tolérance aux pentes importantes.

I.2.1.2 Engins de transport pour une distance supérieure à 200m

A. Les scrapers ou décapeuses

Ces machines réalisent à la fois l'extraction par couche de 20 à 25 cm. Le transport sur des distances de 100 à 2000 m et le déversement. Les décapeuses peuvent être tractées ou automotrices. Ce dernier cas est le plus courant. On les utilise en tandem, une machine poussant

ou tractant l'autre durant la phase de raclage. Lorsque la machine travaille en "solo" un bouteur assure la phase chargement (ripage) sauf en terrain très meuble (**Figure I.10**) [10].



Figure I.10. Décapeuse

Leurs principales utilisations sont :

- L'extraction des terres végétales avant exploitation à ciel ouvert ;
- Les terrassements de routes et de plateformes ;
- L'extraction des stériles de recouvrement, en général après travail au ripper.

Le rendement de ces machines est élevé. Il est possible d'obtenir des prix de revient très intéressants en terrains friables ou de granulométrie convenable. Le rapport des coûts est d'environ 1 à 4 par rapport à la méthode classique du chargement par pelle ou chargeuse et transport par tombereaux (dumper).

B. Les tombereaux rigides et tombereaux à châssis articulés

1. Les tombereaux rigides

Couramment utilisés en carrière et TP sont des engins à 4 ou 6 roues avec un essieu moteur. Leur capacité utile est très variable, elle va de 25 t. à 150 tonnes. Il existe même des prototypes de 320 t (**Figure I.11**) [10].

Les pentes couramment admises pour les montés en charge sont de 8% avec un maximum à 10, 12% sur de très courtes distances. Les performances dépendent étroitement de la qualité

des pistes, pente, courbe, largeur, état d'entretien ...etc. et de l'aménagement des points de déversement [10].

La puissance des tombereaux généralement utilisés dans les exploitations de taille moyenne est de l'ordre de 150 à 550 KW. Pour les très grosses machines, au-delà de 750 KW la transmission est réalisée électriquement, un générateur de courant entraîne des moteurs récepteurs placés dans les roues [10].

Les coûts varient avec les charges utiles. Comme toujours le choix d'un modèle est en fonction de chaque cas particulier. En gros on peut dire que les transmissions mécaniques sont mieux adaptées aux conditions de roulage multiples, pentes descentes, plats. Les transmissions électriques nécessitent peu d'entretien mais les réparations et les révisions des roues électriques sont complexes et coûteuses.



Figure I.11. Tombereau rigide (TEREX)

2. Les tombereaux à châssis articulés :

La dernière décennie a vu se développer ce type de matériel en carrière alors qu'il était jusqu'alors, plutôt, réservé aux chantiers de travaux publics et aux exploitations souterraines.

Ils ont, en général, un châssis articulé oscillant ce qui leur confère une excellente maniabilité et une meilleure adhérence au sol.

Comme ils ont en général quatre ou six roues motrices, ils peuvent évoluer en mauvais terrains sans trop de difficulté en particulier pour les montés en charge. Enfin leur benne basse facilite leur chargement ce qui permet l'utilisation de nombreux type de chargeuses ou pelles même avec de faible hauteur de levage (**Figure I.12**).



Figure I.12. Le tombereau à châssis articulé (KOMATSU)

C. Convoyeur à bandes

Utilisé pour le transport des roches tendres ou produits fragmentés au préalable sur de grandes distances (**Figure I.13**).

Les avantages de transport par bande :

- Simplicité ;
- Facilité d'entretien ;
- Rendement élevé ;
- Continuité du transport ;
- Réduction des travaux en tranchées ;
- Automatisation.



Figure I.13. Convoyeur à bandes

NB : La production de la carrière doit être grande pour justifier les dépenses d'investissement pour ce genre de transport.

I.2.2 Choix des moyens de transport

Pour transporter les matériaux d'un point à un autre le plus économiquement possible et avec le matériel adéquat, il faut connaître les possibilités des divers matériels de transport et leur zone d'application rentable. Aussi définir :

- La technologie d'exploitation ;
- Les tonnages à extraire et les distances de transport ;
- Les conditions économiques du chantier ou de l'exploitation, taux de découverte, contrainte d'environnement, valeur marchande des minéraux extraits etc.

Le choix des moyens de transport dépend des facteurs principaux :

- La production de la carrière ;
- La distance de transport ;
- Type d'engins de chargement ;
- Caractéristiques des matériaux à transporter ;
- Les conditions géologiques du gisement ;
- Des dimensions de la carrière.

Conclusion

Après études préliminaires il faut également combiner les différentes techniques de chargement et de transport afin d'obtenir le système qui présente le meilleur compromis " prix - contraintes d'exploitation " et notamment les contraintes d'environnement.

Ce choix se définit à partir des paramètres suivants :

- Nature et dureté des matériaux à extraire ;
- Production à assurer ;
- Distance de transport ;
- Nécessité de concasser les matériaux avant leur reprise pour un traitement ultérieur ;
- Opportunité de créer des stocks (matériaux commercialisables, minerais, terres végétales) ou de mettre en remblais (stériles).

Introduction

Le ciment est un matériau indispensable dans le domaine de la construction. Sa valeur est en croissance rapide depuis sa première invention en 1824 à PORTLAND par le britannique JOSEPH ASPEDUIN jusqu'à nos jours.

Le gisement de calcaire Djebel Safia constitue la source d'approvisionnement pour la cimenterie de Hadjar Soud en matières premières sur-dosées utilisées dans la fabrication du clinker.

Dans ce chapitre nous aborderont les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de site.

II.1. Situation géographique du gisement

La carrière de Hadjar Soud couramment appelée Djebel Safia se trouve :

- A 8 Km de la cimenterie de Hadjar Soud ;
- A 59 Km à l'Ouest de la ville d'ANNABA,
- A 49 Km au Sud-Est de la ville de Skikda par la route nationale N°44, à 17 Km au Nord-est (N-E) de la ville d'Azzaba par la route nationale N°130,
- A 8 Km au Sud-est de Ben Azzouz par la route nationale N°06.

Les coordonnées en système LAMBERT du gisement sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1. Coordonnées LAMBERT du gisement [1].

Points	Coordonnées Lambert		Points	Coordonnées Lambert		Points	Coordonnées Lambert	
	X	Y		X	Y		X	Y
1	908514	397845	11	907475	396875	21	907197	398060
2	908611	396348	12	907462	397075	22	907184	398259
3	908411	396335	13	907262	397062	23	907284	398266
4	908399	396535	14	907243	397361	24	907271	398465
5	908199	396522	15	907043	397348	25	907670	398491
6	908206	396422	16	907024	397648	26	907690	398192
7	907906	396402	17	906824	397635	27	907790	398198
8	907893	396602	18	906805	397934	28	907809	397899
9	907694	396589	19	907004	397947	29	908009	397912
10	907674	396888	20	906998	398047	30	908015	397812

Administrativement, elle fait partie de la commune de Ben-Azzouz, Daïra de Azzaba, Wilaya de SKIKDA. La superficie du périmètre d'exploitation est de 162 hectares (**Figure II.1**).



Figure II.1. Extrait de la carte routière de la région de Azzaba (1/500 000).

II.2. Historique des travaux de recherche minière du gisement

Les premières études géologiques sur le gisement ont été effectuées par l'entreprise des ciments Lafarge entre 1967 et 1968 pour une cimenterie à l'Est du pays (Algérie) avec une production annuelle de 500.000 tonnes. Parallèlement à cette étude, des travaux de prospection ont aussi été faits pour localiser des sites de matériaux comme sur dose et ajouts. Le degré de reconnaissance du gisement s'avérait insuffisant pour stabiliser les réserves

indispensables à l'installation d'une deuxième ligne. C'est à cet effet qu'une étude géologique approfondie a été faite par les équipes de la S.N.M.C (Société Nationale des matériaux de Construction) en 1972 et 1974.

II.3. Conditions climatiques

La région de Djebel Safia est caractérisée par un climat de type méditerranéen il se caractérise par un été chaud et sec et un hiver frais et pluvieux. Cette région compte parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie.

Sur recommandation de l'office national de météorologie, il a été pris en considération les données de la station d'observation météorologique de Skikda.

❖ Pluviométrie

La hauteur de précipitations entre 1981 et 2010 est de 622.9mm par an et le nombre de jours avec précipitations par an et de 76.5 j

❖ Température

La température minimale entre 1981 et 2010 est de 14.3° C et la température maximale pour la même période et de 21.1° C

II.4. Conditions hydrogéologiques du gisement de Djebel Safia

La présence des zones aquifères dans les roches calcaires de Djebel Safia se dicte par lamarno-fissuration et, surtout des formes karstiques topographiques de ces roches donnant une formation des nappes aquifères dans le gisement. La majeure partie du gisement de Djebel Safia se trouve à la surface avec des pentes topographiques présentant des couches de calcaire drainé, donc des zones dénoyées du karstique de calcaire sont bien drainées au pied des collines, durant la période hivernale s'obtient en une courte durée de l'ordre d'une semaine, l'écoulement local dans les grandes formes karstiques et les grandes fissures d'où le résultat d'infiltration des eaux. Les nappes aquifères sont de petite puissance. Il est intéressant de connaître la pluviométrie saisonnière dans les zones dénoyées durant laquelle il faut évacuer l'eau du champ de la carrière [1].

II.5. Structure géologique de la région

La région de djebel Safia fait partie d'une structure synclinale qui est limitée à l'Est par la plaine quaternaire de I 'Oued El Kebir ; à l'Ouest cette structure s'ennoie sous les reliefs

numidiens, au Nord-ouest elle se prolonge au massif de Filifila et au Sud elle est limitée par la dépression d'Azzaba, Ain charchar, et dorsale Kabyle (chaîne numidienne).

II.6. Lithostratigraphie

La région d'étude est constituée par des schistes du Paléozoïque et par des roches du Mésozoïque carbonatées et siliceuses ; elles sont caractérisées par des dolomies, calcaires massifs et marnocalcaires, calcaires schisteux, grès et conglomérats [1].

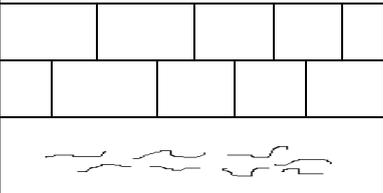
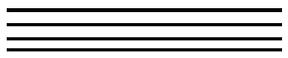
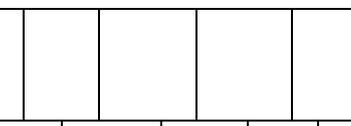
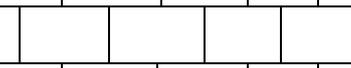
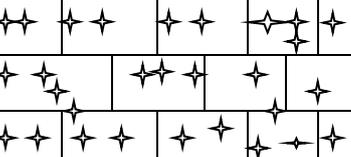
Ere	système	Coupe	lithologie
Quaternaire			Argile sableuse avec les caïeux de calcaire
	Crétacé supérieur		Grès et schistes
Mésozoïque	Crétacé inférieur		Marne, calcaire et marne
	Jurassique Malm		Marne calcaire
			Calcaire à silex
	Jurassique		Calcaire
	Lias		Dolomie

Figure II.2 Log stratigraphique de la région de Djebel Safia

II.6.1. La dolomie du Lias

Ces roches constituent tout le flanc de sud-est du Djebel Safia, formés par des dolomies affleurant à partir de la côte 240m vers le bas du Djebel Safia et forment une bande longue de 2 Km et de largeur variant de 50 à 200m, ayant une épaisseur approximativement de 60 à 80m. Les dolomies sont compactes, présentent un aspect massif à grains fins et une couleur grise à nuance brune. Leur composition est variable, les teneurs en $MgCO_3$ peuvent varier de 6 à 40%. La teneur en magnésite semble croître à mesure que l'on s'éloigne des calcaires liasiques [1].

II.6.2. Calcaire du Lias

Cette partie constitue le but de Djebel Safia. Il est pur et homogène (55,6 % de CaO). L'essentiel de cette formation est constitué par une séquence de calcaires cristallins massifs dans lequel la stratification se manifeste ; sa puissance est de 100 m, à l'extrémité sud-est et plus de 200 m sur le versant Nord-ouest.

Dans les assises inférieures, les calcaires sont de couleur claire presque rose ou jaunâtre et compact mais fort diaclases. Vers le haut, ces calcaires passent progressivement à une couleur grise bleuâtre moins fracturés avec une structure oolithique.

Les pendages, sur le flanc nord-ouest qui constitue principalement la carrière, sont en moyenne de 45° vers le Nord-ouest [1].

II.6.3. Calcaire à silex du Jurassique

C'est une formation de calcaire qui affleure d'une manière discontinue sur le flanc nord-est de Djebel Safia. Cette formation est très hétérogène, très siliceuse en moyenne. Les rognons de silex sont abondants [1].

II.6.4. Calcaire siliceux

Celui-ci est très hétérogène, très siliceux ayant une puissance de 14m [1].

II.6.5. Marno-calcaire siliceux

Cette couche se distingue par une grande hétérogénéité de composition ayant une puissance de 15m [1].

II.6.6. Les marno-calcaires du jurassique

C'est une série mince qui fait suite aux calcaires à silex. Recoupée par plusieurs sondages, elle montre aussi une grande hétérogénéité de composition [1].

II.6.7. Les marno-calcaires et les marnes du crétacé inférieur

Disposées au pied de Djebel Safia, ces formations n'affleurent que sporadiquement. Les conclusions des sondages font apparaître une grande hétérogénéité chimique, de fortes teneurs en silice et une certaine richesse en alumine. Cette formation a une puissance qui varie de 100 à 200m [1].

II.6.8. Grès et schistes, crétacé supérieur

Ces formations n'apparaissent qu'en quelques points. Elles sont irrégulières tant par leurs compositions que par la distribution.

Les niveaux quartzitiques, très siliceux, peuvent y faire place rapidement à des niveaux schisteux beaucoup plus riche en alumines.

Les formations du jurassique et du crétacé sont situées dans la partie Nord du gîte. Les roches de recouvrement sont la couche végétale et les blocs de calcaires ayant une puissance presque nulle (0 à 0,3m) [1].

II.7. Géologie du gisement

Djebel Safia secteur de notre étude est situé au Nord-est Algérien, constituée des roches sédimentaires depuis le lias inférieur jusqu'au Tertiaire. Cette région forme un bombement anticlinal complexe d'orientation générale Nord-ouest- Sud Est. Elle comprend un Jurassique calcaire surmonté du Crétacé inférieur plus marneux puis d'un flysch du Crétacé supérieur. A l'Est, Djebel Safia s'enfonce sous la plaine quaternaire mais à l'Ouest au Nord-ouest, et au Sud cette série entourée par les phyllades paléozoïques du massif de la petite Kabylie [1].

Sur le plan structural la série de Djebel Safia est fracturée suivant un réseau de cassures de direction Sud-ouest Nord-est qui sont parallèles à l'axe de l'anticlinal. Mais parfois perpendiculaires à ce même axe [1].

II.8. Morphologie

Le gisement occupe une zone bien individualisée qui coiffe le Djebel Safia. Elle est constituée de quatre sommets principaux dont la dénivelée par rapport à la plaine alluviale del 'Oued el

Kabîr est d'environ 300m. La morphologie du gisement est bien marquée mais non abrupte ; Son relief épouse une topographie à pente douce et dans l'ensemble, elle est simple et régulière [1].

II.9. Structure géologique du gisement

Le gisement a une structure anticlinale complexe résultant de deux anticlinaux simples. Sa série entière est fortement étirée et a subi un très léger métamorphisme dont prouve l'aspect schisteux et lustré des calcaires argileux néocomiens. Ce métamorphisme est manifesté davantage au Nord témoigné par la présence des marbres et les cipolins à épidote. La tectonique a cependant causé une fissuration intense [1].

II.10. Caractéristiques qualitatives du gisement

Les résultats d'analyse chimique contenue dans le rapport géologique établi par la SNMC en 1975, sont consignés dans le tableau suivant [1] :

Tableau II.2. Résultats d'analyse chimique.

Éléments	Teneur en % (moyenne pondérée)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
SiO ₂	0,16	0,30	0,23
Al ₂ O ₃	0,00	0,14	0,07
Fe ₂ O ₃	0,11	0,50	0,305
K ₂ O	0,04	0,06	0,05
Na ₂ O	0,04	0,06	0,05
CaO	53,1	55,98	54.54
MgO	0,06	0,1	0,08
PF	43.60	43.70	43.65

La composition chimique du calcaire est homogène. La teneur moyenne en CaO est de 54,54%, celle de MgO est de 0,08%. Ce qui dénote que le calcaire représente un surdosé de bonne qualité pouvant être utilisé dans la fabrication du ciment.

Les teneurs enregistrées des éléments nocifs sont conformes aux normes industrielles.

II.11. Réserves géologiques du gisement

II.11.1. Réserves géologiques initiales

La répartition des réserves géologiques par catégories est consignée dans le tableau suivant :

Tableau II.3. Réserves géologiques initiales réparties par catégorie (2013) [1].

Catégorie	Réserve (m ³)	Réserve en tonnes
A	1 941 800	5 113 900
B	11 525 800	30 521 600
C1	43 542 900	115 187 800
A+B+C1	57 010 500	150 823 300
C2	6 000 000	16 000 000

II.11.2. Réserves géologique en 2013

Les réserves géologiques restantes au 31/12/2013 du gisement de calcaire de Djebel Safia sont calculées en utilisant la méthode des coupes géologiques parallèles.

Elles sont délimitées par neuf (9) coupes géologiques (1-1' à 8-8' et A-A').

La superficie de l'assise utile occupe huit (08) blocs géologiques est de 58,41 ha. La puissance moyenne des calcaires est de l'ordre de 100m.

Les réserves totales restantes estimées en catégorie B, C1 et C2 sont de l'ordre de 149.479.721 tonnes.

Conclusion

Le gisement de calcaire de Djebel Safia est constitué d'une série de calcaires récifaux, dont l'épaisseur varie de 60 à 100 m ; celle-ci repose sur des dolomies Cénomaniennes et présente une structure géologique à un pendage subhorizontal.

Les résultats de laboratoire obtenus à partir des échantillons analysés ont confirmé la bonne qualité des calcaires du gisement en question à être utilisés comme matière première pour la production du ciment.

Introduction

Les réserves géologiques exploitables de la carrière de Djebel Safia sont estimées à plus de 145 millions de tonnes, dont sa qualité est caractérisée par un calcaire pur et homogène. Le processus de chargement et de transport du calcaire abattu, est assuré par un ensemble d'engins. La configuration la plus répandue dans les carrières pour des débits moyens à importants :

- Bulldozers
- Chargeuses sur pneus
- Dumpers.

Vu le parcours peu accidenté avec des pistes de pentes n'excédant pas 8 à 12 %.

La zone mécanique de Djebel Safia, comprend les matériels nécessaires pour la préparation mécanique du calcaire, dont deux concasseurs, l'un d'eux a une capacité de 900t/h, et l'autre de 200t/h.

III.1. Organisation du travail

III.1.1. Régime de travail de la carrière

Le régime de travail de la carrière est le suivant :

- Nombre de jours ouvrables par semaine, 7jr / sem.
- Nombre de postes de travail par jour, 2pst / jr
- La durée d'un poste de travail, 8h

Les horaires de chaque poste :

- 1^{er} poste de 05h à 13h
- 2^{ème} poste de 13h à 21h

Le nombre de jours ouvrables par an est calculé par la formule suivante :

$$N_{jo/an} = N_{j/an} - (N_{jr/an} + N_{jf/an}), \text{ jours} \dots \dots \dots \text{ (III.1)}$$

$N_{j/an}$: Nombre de jours par an, $N_{j/an} = 365$ jours

$N_{jr/an}$: Nombre de jours de repos par an, $N_{jr/an} = 0$ jours

$N_{jf/an}$: Nombre de jours fériés par an, $N_{jf/an} = 13$ jours

$$N_{jo/an} = 365 - (0+13)$$

Njo/an = 352 jours.

III.1.2. Production en minerai

III.1.2.1 Production planifiée

La production annuelle, postière et journalière planifiée de la carrière de Djebel Safia est représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1. Planification de la productivité de la carrière.

Productivité					
Année en cours (2017)		Postière		Journalière	
T	m ³	T	m ³	T	m ³
1 200 000	480 000	1704.6	681.8	3409.1	1363.6

Nb : Le calcul est fait avec une masse volumique de 2.5 t/m³ ;

III.1.2.1 Durée de vie de la carrière

La durée de vie de la carrière est déterminée par la formule suivante :

$$T_v = \frac{R_m}{Q_c} + T_c + T_{ext}, \text{ (ans)} \dots \dots \dots \text{ (III.2)}$$

D'où :

R_m : Réserves du minerai, R_m : 145.000.000 T.

Q_c : Productivité annuelle, Q_c = 1.200.000. T.

T_c : Durée de la construction de la carrière, T_c = (3 à 5) ans.

On prend T_c = 0, car la carrière est déjà construite.

T_{ext} : Temps d'extinction et restauration du site, T_{ext} = (1 à 3) ans.

On prend T_{ext} = 2ans.

Donc :

$$T_v = \frac{145000000}{1200000} + 2 = 120.8 \approx \mathbf{121 \text{ ans.}}$$

D'où la durée de vie de la carrière est égale 121 ans.

III.2. Caractéristiques de la zone mécanique de la carrière

La zone mécanique de la carrière de djebel Safia comprends essentiellement la station de concassage cette dernière dispose de deux concasseurs, un concasseur giratoire primaire GP120 un concasseur secondaire.

Le concasseur primaire est caractérisé par :

- Capacité (débit moyen) de 900t/h ;
- Ouverture d'admission entre [0-1200mm] ;
- Vitesse à l'arbre pendulaire de 100tours/min ;
- Une puissance de 400 KW ;
- Dimension d'après concassage [0-300mm].

La production journalière de ce dernier durant notre période de stage est représentée dans le tableau suivant :

Tableau III.2. Production journalière durant le mois d'Avril 2017

La date	01/04	02/04	03/04	05/04	05/04	06/04
Production	2300 t/j	2350 t/j	3550 t/j	3450 t/j	1400 t/j	900 t/j
Date	07/04	08/04	09/04	10/04	11/04	12/04
Production	1500 t/j	1650 t/j	2400 t/j	3850 t/j	1850 t/j	2350 t/j

Le concasseur secondaire est un Impactor de marque DRAGON caractérisé par :

- Capacité (débit moyen) de 300t/h ;
- Une vitesse de rotation du rotor de 415tour/min ;
- Une puissance de 350Ch.

En plus de ces deux concasseurs ; la station est équipée d'un ensemble d'équipements assurant l'opération de concassage ; ces équipements sont comme ce ci :

- ATM sous GP120 (ATMOS) ;
- Ramasse miettes pour l'ATM ;

- Transporteur sous ATM ;
- ATM extracteur N°1 et N°2 ;
- Transporteur à bandes tunnel ;
- Transporteur sous crible ;
- Crible vibrant ;
- ATM sous Impactor ;
- ATM d'alimentation du concasseur Impactor ;
- Un ensemble de transporteurs.

La production annuelle de la carrière de Djebel Safia assurée par la station de concassage, dépasse les 1.1 millions de tonnes de calcaire, une quantité qui satisfait l'alimentation de la cimenterie en matière première.

Les caractéristiques techniques des équipements de la zone mécanique sont résumées dans l'annexe 1

III.3. Caractéristiques techniques des engins de chargement et de transport

III.3.1. Chargement

Le fonctionnement de la carrière est conçu et organisé autour des engins choisis pour le chargement des roches abattues.

On retiendra de même que la hauteur des gradins est adoptée en fonction des paramètres techniques des moyens de chargement.

Considéré comme le maillon principal de la chaîne technologique de l'exploitation minière à ciel ouvert, les engins de chargement définissent le niveau de la production de la carrière.

Les travaux d'extraction et de chargement consistent en abattage des roches du massif vierge ou préalablement ameubli et leur chargement dans les engins de transport.

À la carrière de Djebel Safia le chargement des roches abattues est assuré par une chargeuse de marque KOMATSU WA700-3 avec une capacité de godet de 8 m³ (**Figure III.2**).

Nb : La carrière dispose d'une autre chargeuse identique (KOMATSU WA700-3) qui actuellement à l'arrêt pour des problèmes mécaniques.



Figure III.1. Chargeuse KOMATSU WA700-3 en position de chargement.

Les caractéristiques techniques de la chargeuse sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.3. Caractéristiques techniques de la chargeuse WA700-3

Caractéristiques techniques	Valeurs	Unités
Marque, KOMATSU ; modèle WA700-3		
Puissance du moteur (diesel)	641	Cv
Capacité du godet de la chargeuse	8,0	m ³
Rayon de braquage	9,2	M
Poids de l'engin (net)	64730	Kg
Vitesse de translation « avant »	30	Km/h
Vitesse de translation « arrière »	32	Km/h
Bande de roulement	3060	mm
Largeur sur pneus	4182	mm
Empattement	4800	mm
Hauteur axe, position transport		

Flèche standard	6035	mm
Flèche à portance élevée	6595	mm
Hauteur axe, position transport	765	mm
Garde au sol	585	mm
Hauteur attelage (flèche standard)	1575	mm
Hauteur attelage (hauteur élevée)	1590	mm
Durée de cycle théorique	36	S

III.3.2. Transport

Actuellement le transport par camion est le plus répandu vu la simplicité d'organisation du travail qui caractérise bien le mode de transport par camion.

Le choix du type de camion dépend principalement des caractéristiques de la charge à transporter, de la distance de transport et du type de l'excavateur.

Pour les carrières de grande productivité, il convient de choisir des camions de grande capacité de charge.

Pour assurer ses prévisions annuelles, la carrière de Djebel Safia a acquis une flotte de dix dumpers (tombereaux rigides) dont six en service, trois en panne (en attente de pièces de rechange) et un en réforme (accident de travail Septembre 2016). Ces engins en service sont répertoriés dans le tableau suivant :

Tableau III.4. Les engins de transport disponible (en service) au niveau de la carrière.

Type de Dumper	Année d'acquisition	Nombre	Capacité de charge
KOMATSU HD 465	2003	01	55t
HITACHI EH 1000	2006	01	60t
HITACHI EH 1100-3	2012	02	60t
HITACHI EH 1100-5	2016	02	60t

III.3.2.1 Caractéristiques des Dumpers

A. Dumper KOMATSU HD 465

Le tableau suivant résume les caractéristiques de cet engin :

Tableau III.5. Caractéristiques du dumper KOMATSU HD465

Modèle		KOMATSU	
Type		HD 465	
Capacité de benne (m³)		34.2	
Capacité de charge (t)		55	
Vitesse maximale (km/h)		70	
Poids à vide (t)		42.8	
Poids à charge (t)		102.6	
Puissance du moteur (KW)		551	
Dimensions (mm)	Hauteur	4400	
	Largeur	4235	
	Longueur	9355	

B. Dumper HITACHI EH 10

Le tableau suivant résume les caractéristiques de cet engin :

Tableau III.6. Caractéristiques du dumper HTACHI EH 1000

Modèle		HITACHI	
Type		EH 1000	
Capacité de benne (m³)		35	
Capacité de charge (t)		60	
Vitesse maximale (Km/h)		72.2	
Poids à vide (t)		41.73	
Poids à charge (t)		101.605	
Puissance du moteur (kW)		522	
Dimensions (mm)	Hauteur	4620	
	Largeur	4440	
	Longueur	9300	

C. Dumper HITACHI EH 1100-3

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de cet engin :

Tableau III.7. Caractéristiques du dumper HITACHI 1100-3

Modèle		HITACHI	
Type		EH 1100-3	
Capacité de benne (m³)		35.2	
Capacité de charge (t)		60	
Vitesse maximale (Km/h)		57.9	
Poids à vide (t)		45.8	
Poids à charge (t)		105.8	
Puissance du moteur (KW)		520	
Dimensions (mm)	Hauteur	4620	
	Largeur	4440	
	Longueur	9680	

D. Dumper HITACHI EH 1100-5

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de cet engin :

Tableau III.8. Caractéristiques du dumper HITACHI EH 1100-5

Modèle		HITACHI	
Type		EH 1100-5	
Capacité de benne (m³)		35.2	
Capacité de charge (t)		60	
Vitesse maximale (Km/h)		58.2	
Poids à vide (t)		44.3	
Poids à charge (t)		104.54	
Puissance du moteur (KW)		467	
Dimensions (mm)	Hauteur	4620	
	Largeur	4240	
	Longueur	9450	

Conclusion

Pour assurer une production annuelle de plus d'un million de tonnes de matière première (calcaire), la carrière de Djebel Safia dispose d'une flotte de 13 engins (bulldozer, chargeuse et dumper) dont 8 en service (un bulldozer, une chargeuse et 6 dumpers) ; ainsi qu'une zone mécanique automatisée constitué d'un ensemble d'équipements (station de concassage primaire et secondaire, ATM, des cribles et des transporteurs) assurant la préparation mécanique du tout-venant (concassage) pour but d'alimenter la cimenterie de Hjar Soud en calcaire près à l'utilisation .

Avec une quantité de réserves géologique de plus de 150 millions de tonnes ; et vu l'arsenal d'engins de chargement et de transport dont dispose la carrière et suivant le même régime de travail appliqué (deux postes par jour 7j/7) ; on constate que la productivité de la carrière est favorable pour être augmenter et dépasser son seuil enregistré actuellement.

Introduction

L'optimisation des paramètres de chargement et de transport, consiste à étudier profondément ces derniers, en effectuant plusieurs essais sur le terrain, et en les combinant avec des calculs bien précis, afin d'avoir des résultats, qui peuvent donner après leurs interprétations, une ou plusieurs solutions optimales.

Dans ce chapitre nous analyserons les paramètres de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia, les matériels de chargements, les matériels de transport et les combinaisons d'engins ; et nous allons établir une étude d'optimisation, pour choisir la meilleure solution, maximisant ainsi la productivité de la carrière.

IV.1 Chargement

Lorsqu'on aborde ce processus, on doit avoir à l'esprit qu'il faut réduire au maximum le temps d'immobilisation de l'engin de transport ; donc on doit déterminer avec soin le rapport entre le volume du godet et la charge utile du camion en fonction des conditions locales de chantier. Il en est de même pour les caractéristiques des machines de chargement, hauteur de déversement, force de levage, force de cavage etc...

Les engins de chargement et d'excavation utilisés dans les carrières en générale sont les excavateurs à godet unique. Dans le cas de la carrière de Djebel Safia, l'engin utilisé est une chargeuse sur pneus à godet unique, de marque **KOMATSU WA 700** (**Figure III.2** et **Tableau III.4**). Les excavateurs à godet unique, sont conçus pour les travaux de chargement et de manutention des matériaux en vrac pour réduire le coût d'extraction le plus bas possible.

Le choix de type de chargement des roches abattues dépend des facteurs suivants :

- La nature et les propriétés des matériaux ;
- La production annuelle de la mine ;
- La méthode d'exploitation ;
- La méthode d'ouverture du gisement ;
- Les mesures de sécurité pendant le travail.

IV.1.1. Temps de cycle de la chargeuse

Le temps de cycle de l'engin de chargement comprend 4 phases :

- Chargement du godet ;
- Marche godet chargé ;
- Vidage de godet (déchargement) ;
- Marche vide et positionnement pour charger le godet suivant [3].

Le temps de cycle d'une chargeuse est déterminé par la relation suivante :

$$T_C = T_{ch} + T_{mach} + T_{déch} + T_{mav} ; \text{sec} \dots\dots\dots (IV.1)$$

Où :

- T_{ch} : Durée de chargement du godet (sec) ;
- T_{mach} : Durée de parcours de chargeuse chargée vers l'engin (sec) ;
- $T_{déch}$: Durée de déchargement du godet(sec) ;
- T_{mav} : La durée de parcours à vide vers le lieu de chargement (sec).

Le tableau suivant représente les essais que nous avons effectué, afin de calculer le temps de cycle moyen de la chargeuse KOMATSU WA700 :

Tableau IV.1. Temps de cycle de la chargeuse

Essais	Chargement (sec)	Marche chargée(sec)	Déchargement (sec)	Marche vide (sec)	Temps de cycle (sec)
1ère Essais	11	19	7	20	57
2ème Essais	12	21	8	18	59
3ème Essais	12	25	7	19	63
4ème Essais	10	18	9	16	53
5ème Essais	10	28	3	20	61
6ème Essais	9	17	8	14	48
7ème Essais	12	19	11	20	62
8ème Essais	11	22	9	17	59
9ème Essais	13	26	7	20	66
10èmeEssais	11	28	8	25	72
Temps moyen (sec)	11.1	22.3	7.7	18.9	60

D'après les calculs représentés dans le **tableau IV.1** effectués, le temps de cycle de la chargeuse est : $T_c = 60s$.

La durée de ce cycle est une donnée constructrice. Son estimation met en jeu un grand nombre de paramètres, dont [3]:

- Facteurs liés à la machine et à son équipement :
 - Volume du godet ;
 - Type de godet (rétro, clapet, vidage frontal) ;
 - Vitesse de rotation du bras ;
 - Force de pénétration ;
 - Longueur de la flèche et du balancier...etc.
- Facteurs extérieurs de la machine :
 - Nature et granulométrie des matériaux ;
 - Conditions de travail ;
 - Hauteur de chargement ;
 - Qualification de l'opérateur.

Des facteurs liés à la machine résulte un temps de cycle de base, caractéristique de la machine, qui est fourni par le constructeur. Ce temps de base peut ensuite être modulé en fonction des facteurs que nous avons appelés « extérieurs ». Il s'avère cependant très difficile, voire impossible, d'obtenir des statistiques complètes et précises sur les temps de cycle [3].

En fait, chaque machine est différente, et seul le constructeur, ou des essais sur le site, peuvent fournir un temps de cycle précis [3].

IV.1.2. Choix de type de chargeuse utilisée

Le type de chargeuse à utiliser est déterminé d'après la capacité du godet de cette dernière, le type de chargeuse utilisée sur le site, est une chargeuse de capacité de godet de $E = 8 \text{ m}^3$.

IV.1.3. Rendement de la chargeuse

On calcule d'abord la **production théorique** de la chargeuse, elle est définie par un nombre de cycles théoriques de base par heure ; elle est calculée par la relation suivante :

$$P_{th} = N \times G ; \text{m}^3/\text{h} \dots \dots \dots (IV.2)$$

Où:

- P_{th} : production théorique de la chargeuse ; m^3/h ;
- N : Nombre de cycle de base par heure. $N= 3600/60$
 $N = 60$;
- G : volume chargé, déplacé ou transporté par cycle ; m^3
 $G = 8m^3$. [11]

$$P_{th} = 60 \times 8 = 480 \text{ m}^3/h$$

La masse volumique du calcaire exploité est de $\gamma = 2.5 \text{ t/m}^3$.

La production théorique de la chargeuse est **1200 t/h**.

Le rendement de la chargeuse est calculé par la formule suivante :

$$Rch = \frac{3600 \times E \times Ku \times Kr \times Tp \times \gamma}{Tc \times Kf} ; \text{ t/poste} \dots\dots\dots (IV.3)$$

Où :

- E : Capacité théorique du godet, $E = 8m^3$;
- Tc : Temps de cycle de la chargeuse, $Tc = 60 \text{ sec}$;
- Kf : Coefficient de foisonnement des taches dans le godet, $Kf = 1.5$
- Kr : Coefficient de remplissage du godet, $Kr = (0,85 \text{ à } 0,90)$;
 On prend $Kr = 0.9$;
- Ku : Coefficient d'utilisation de la chargeuse, $Ku = (0,6 \text{ à } 0,8)$
 On prend $Ku = 0.75$;
- γ : La masse volumique de la roche, $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$;
- Tp : Durée réel de travail durant un poste, $Tp = 7h$.

$$Rch = \frac{3600 \times 8 \times 0.75 \times 0.9 \times 7 \times 2.5}{60 \times 1.5} = 3780 \text{ t/poste}$$

Le rendement postière de la chargeuse est de **3780 t/poste**.

IV.1.4. Rendement annuel de la chargeuse

Il se détermine par la formule ci-dessous :

$$Rch/an = Rch \times Np \times Njo/an ; (t/an) \dots\dots\dots (IV.4)$$

Où:

- Rch/an : Rendement annuel de la chargeuse ; t/an ;

- N_p : Nombre de poste par jour.

$$Rch/an = 3780 \times 2 \times 352 = 2\ 661\ 120\ t/an.$$

Le rendement annuel de la chargeuse est de **2 661 120 t/an.**

IV.1.5. Nombre de chargeuses

Le nombre nécessaire de chargeuse pour assurer la production annuelle de la carrière est déterminé par la formule suivante :

$$Nch = \frac{Pan}{Rch/an} ; \text{Chargeuses} \dots \dots \dots (IV.5)$$

Où :

- Pan : production annuelle planifiée (t) ;

$$Pan = 1\ 200\ 000\ t.$$

Alors :

$$Nch = \frac{1200000}{2661120} = 0.45 \approx 1\ \text{chargeuse.}$$

Le nombre de chargeuse est : **1 chargeuse.**

IV.1.6 Nombre totale de chargeuses

Il est calculé par la formule ci-dessous :

$$Ntch = Nch \times Kr ; \text{chargeuses} \dots \dots \dots (IV.6)$$

Où :

- $Ntch$: Nombre totale de chargeuses, chargeuses ;
- Kr : Coefficient de réserve, $Kr = (1.2 \text{ à } 1.4)$

$$\text{On prend } Kr = 1.3.$$

$$Ntch = 1 \times 1.3 = 1.3 \approx 2\ \text{chargeuses.}$$

Donc on déduit qu'on doit avoir une autre chargeuse en réserve, en cas d'éventuelle panne, même si suivant les calculs, une seule chargeuse est largement suffisante pour assurer la productivité de la carrière.

IV.2 Transport

Sur le site de Djebel Safia, le transport et le déplacement des charges, depuis les fronts de travail vers la station de concassage, se fait à bord d'engins mobiles (discontinu).

Le choix d'engin de transport dans les mines est basé sur plusieurs caractères tel que la productivité de la carrière ; la distance de transport ; la nature de la matière a transporté ; la

qualité de fragmentation des roches. Dans notre cas ces caractères sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2. Quelques critères de choix d'un engin de transport

Nature de la matière transportée	Calcaire
Productivité annuelle de la carrière	1.2 million de tonnes
Granulométrie	De 0.2 à 1m
Distance de transport	De 700 à 1300m

La carrière de Djebel Safia bénéficie d'une flotte de 6 dumpers (tombereaux rigides) en service. Leurs caractéristiques techniques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.3. Les engins de transport disponibles (en service) au niveau de la carrière.

Type de Dumper	Année d'acquisition	Nombre	Capacité de charge
KOMATSU HD 465	2003	01	55t
HITACHI EH 1000	2006	01	60t
HITACHI EH 1100-3	2012	02	60t
HITACHI EH 1100-5	2016	02	60t

L'exploitation des tombereaux est étroitement liée à la configuration des pistes. Dès la conception du site de l'exploitation, les pistes doivent être intégrées en s'imposant avec des pentes réelles toujours inférieures à 10%. La largeur des pistes doit être telle que le croisement des tombereaux puisse se faire dans de bonnes conditions de sécurité. Si cette condition ne peut être réalisée un roulage alterné sera mis en place.

IV.2.1. Le choix du volume de la benne d'un camion

Le choix du volume de la benne se fait selon la distance de transport et la pente du site en question, le volume de la benne du camion sur le volume du godet de l'excavateur est un rapport qui dépend de la distance de transport. En suivant ce rapport, on peut aboutir à un choix rationnel d'engins, assurant ainsi la productivité planifiée de la carrière [2].

Le rapport rationnel du volume de la benne au volume du godet (V/E) est dans les limites [2] :

- (4 à 6) pour la distance du transport de (1 à 5) km ;
- (6 à 10) pour la distance du transport de (5 à 7) km ;
- (10 à 12) pour la distance du transport de (≥ 7) km.

Dans le site d'étude, la distance du transport entre le front de travail et la station de concassage est de l'ordre de 1.5 Km. Alors, le rapport : (V/E) est de (4 à 6).

$$\frac{V}{E} = (4 \text{ à } 6) ; \text{ on prend } \frac{V}{E} = 4 \dots\dots\dots (IV.7)$$

Où :

- E : La capacité du godet ; E= 8 m³ ;
- V : Volume de la benne du camion.

Donc :

$$V = 8 \times 4 = \mathbf{32 \text{ m}^3}$$

Le volume de la benne d'un camion est de **32 m³**.

IV.2.2. Nombre de godets

$$N_g = \frac{G \times K_f}{E \times K_r \times \gamma} ; \text{ godet} \dots\dots\dots (IV.8)$$

Où :

- G : Capacité de charge du camion ; G = 60 t ;
- K_f : Coefficient de foisonnement des roches ; K_f = 1.5 ;
- E : Capacité du godet ; E= 8 m³ ;
- K_r : Coefficient de remplissage du godet ; K_r = 0.9 ;
- γ : masse volumique de la roche ; γ = 2,5 t/m³.

On aura :
$$N_g = \frac{60 \times 1.5}{8 \times 0.9 \times 2.5} = \mathbf{5 \text{ godets.}}$$

Le nombre de godets nécessaire pour remplir la benne d'un camion est : **5 godets**.

IV.2.3. Coefficient d'utilisation du volume de la benne

Le coefficient d'utilisation du volume de la benne d'un camion « K_{uc} » est calculé par :

$$K_{uc} = \frac{V_{réel}}{V_{nom}} ; \text{ m}^3 \dots\dots\dots (IV.9)$$

Où :

- Vréel : Capacité réelle de la benne ; Vréel = 32 m³
- Vnom : La capacité nominale de la benne ; Vnom = 35.2m³.

$$K_{uc} = \frac{32}{35.2} = \mathbf{0.91}.$$

IV.2.4. Capacité de charge réelle du camion

$$Gr = \frac{Ng \times E \times Kr \times \gamma}{Kf} ; t..... (IV.10)$$

$$Gr = \frac{5 \times 8 \times 0.9 \times 2.5}{1.5} = \mathbf{60 t}.$$

La capacité de charge réelle du camion est : **60t**

IV.2.5. Coefficient d'utilisation de la capacité de charge d'un camion

$$K_{uc2} = \frac{Gr}{Gnom} ; (IV.11)$$

Où :

- Gnom : La capacité de charge nominale du camion ; Gnom = 60t

Donc :

$$K_{uc2} = \frac{60}{60} = \mathbf{1}.$$

VI.2.6 Temps de cycle des dumpers

La durée d'un cycle, on dit aussi durée d'une rotation dans le cas d'un engin de roulage, comprend une addition des temps. Certains de ces temps résultent de calcul (temps de roulage), d'autre résultent de chronométrage.

Le temps de cycle d'un camion est déterminé d'après la formule suivante :

$$TC = Tmch + Tch + Tdch + Trch + Trv + TM..... (VI.12)$$

Où:

- Temps de mise en place sous l'engin de chargement (Tmch) (min);
- Temps de chargement (Tch) (min);
- Temps de déversement et manœuvre de vidage (Tdch) (min);
- Temps de roulage en charge (Trch) (min);

- Temps de roulage à vide (Trv) (min);
- Les attentes et autres délais ou temps mort (TM) (min).

A. Temps de cycle du Dumper HITACHI EH1100- 3 (N°34)

Pour une distance de (750 à 800m) les temps de cycle du HITACHI EH1100- 3 (N°34) sont rassemblé dans le tableau suivant :

Tableau IV.4. Temps de cycle du dumper HITACHI EH 1100-3 (N°34)

Essais	Tch	Tmch	Trch	Tdech	Trv	TM	TC
1^{er}	2min 40s	40s	3min 44s	1m 43s	2min 49s	10min54s	22min 30s
2^{ém}	2min 27s	29s	4min 20s	1min 35s	2min 52s	11min 7s	22min 49s
3^{ém}	2min 31s	1min 9s	4min 2s	51s	3min 24s	/	11min 57s
4^{em}	3min 44s	1min 28s	5min 13s	1min 12s	4min 9s	3min 44s	19min 30s
5^{em}	2min 40s	1min 27s	5min 39s	59s	4min 40s	14min 37s	30min 18s
6^{em}	3min 28s	1min 23s	6min 23s	54s	5min 1s	5min 59s	23min 7s
7^{em}	3min 21s	1min 36s	5min 39s	59s	4min 40s	12min 37s	28min 51s
8^{em}	5min 2s	1m 15s	6min 5s	1min 10s	3min 10s	13min 50s	30min 31s
9^{em}	2min 45s	20s	2min 40s	18s	3min 13s	9min 21s	18min 36s
10^{em}	3min 48s	48s	3min 13s	30s	3min 36s	19min 47s	31min 42s
Temps moyens	3min 14s	1min 3s	4min 41s	1min 12s	3min 43s	10min 11s	23min 58s

B. Temps de cycle du Dumper HITACHI EH1100- 3 (N°35)

Pour une distance de 800m les temps de cycle du HITACHI EH1100-3 (N°35) sont comme ceci :

Tableau IV.5. Temps de cycle du dumper HITACHI EH 1100-3 (N°35)

Essais	Tch	Tmch	Trch	Tdech	Trv	TM	TC
1er	3min 18s	1min 7s	3min 5s	39s	2min 48s	6min 34s	17min 30s
2ém	3min 57s	26s	2min 23s	20s	2min 30s	3min 49s	13min 24s
3ém	3min 25s	1min 15s	2min 56s	59s	3min 8s	9min 21s	21min 3s
4em	3min 53s	45s	4min 33s	53s	2min 20s	14min41s	27min 4s
5em	3min 39s	1min 5s	5min 34s	51s	5min 44s	10min12s	27min 4s
6em	4min 29s	1min 40s	5min 24s	1min 1s	4min 34s	5min 30s	22min 38s
7em	4min	1min 51s	4min 58s	1min 40s	4min 13s	4min 16s	20min 58s
8em	3min 45s	1min 20s	4min 10s	59s	3min 56s	/	14min 10s
9em	4min 12s	58s	3min 56s	37s	4min 2s	5min 14s	18min 59s
10em	3min 57s	1min 45s	5min 10s	50s	4min 34s	/	16min 16s
Temps moyens	3min 47s	1min 13s	4min 12s	53s	3min 46s	5min 57s	19min 38s

C. Temps de cycle du Dumper Hitachi EH1100-5 (N°36)

Pour une distance de 850m les temps de cycle du HITACHI EH1100-5 (N°36) sont comme ceci :

Tableau IV.6. Temps de cycle du Temps de cycle du dumper Hitachi EH1100-5 (36)

Essais	Tch	Tmch	Trch	Tdech	Trv	TM	TC
1^{er}	3min 47s	57s	4min 23s	57s	4min 15s	7min 45s	22min 4s
2ém	3min 1s	1min 3s	3min 19s	1min 2s	4min 20s	8min 10s	20min 55s
3ém	4min 9s	45s	4min 17s	55s	4min 8s	8min 30s	22min 44s
4em	4min 37s	40s	3min 34s	41s	3min 52s	6min 24s	19min 48s
5em	4min 19s	40s	4min 07s	54s	4min 40s	4min 31s	19min 11s
6em	4min 41s	46s	3min 47s	57s	4min 10s	5min 40s	20min 1s

7em	4min 25s	51s	3min 55s	52s	4min 7s	5min 29s	19min 39s
8em	3min 48s	42s	3min 40s	47s	3min 35s	7min 40s	20min 12s
9em	4min 12s	57s	4min 40s	58s	3min 24s	/	14min 11s
10em	4min 42s	58s	4min 27s	59s	3min 41s	/	14min 47s
Temps moyens	4min 10s	45s	4min 1s	54s	4min 1s	5min 24s	19 min 15s

D. Temps de cycle du Dumper Hitachi EH1100-5 (37)

Pour une distance de 800m les temps de cycle du HITACHI EH1100-5 (N°37) sont comme ceci :

Tableau IV.7. Temps de cycle du dumper HITACHI EH1100-5 (N°37)

Essais	Tch	Tmch	Trch	Tdch	Trv	TM	TC
1^{er}	4min 7s	28s	3min 55s	1min 22s	3min 6s	/	12min 58s
2^{ém}	3min 20s	36s	5min 37s	57s	4min 5s	/	14min 35s
3^{ém}	3min 45s	38s	4min 11s	56s	3min 48s	4min 30s	17min 48s
4em	4min 2s	24s	4min 33s	56s	3min 20s	6min 6s	19min 21s
5em	3min 11s	44s	5min 40	1min 5s	3min 56s	/	14min 36s
6em	3min 46s	32s	4min 54s	48s	3min 28s	6min 40s	20min 8s
7em	4min 5s	38s	5min 2s	52s	3min 18s	5min 52s	19min 47s
8em	3min 52s	41s	4min 48s	51s	3min 20s	6min 36s	20min 8s
9em	3min 22s	45s	4min 38s	49s	3min 32s	5min 48s	18min 54s
10em	3min 42s	48s	5min 4s	53s	3min 41s	6min 45s	20min 53s
Temps moyens	3min 43s	37s	4min 50s	57s	3min 33s	4min 14s	17min 54s

E. Temps de cycle du Dumper KOMATSU HD 465

Pour une distance de 700m les temps de cycle du KOMATSU HD 465 sont comme ceci :

Tableau IV.8. Temps de cycle du dumper KOMATSU HD 465

Essais	Tch	Tmch	Trch	Tdch	Trv	TM	TC
1^{er}	3min 27s	42s	2min 15s	1min 9s	2min 25s	5min 34s	15min 32s
2^{ém}	3min 57s	22s	2min 17s	1min 5s	2min 30s	8min 45s	18min 56s
3^{ém}	3min 2s	51s	2min 59s	1min 16s	2min 21s	6min 13s	16min 42s
4^{em}	2min 45s	39s	3min 4s	1min 8s	2min 35s	9min 58s	20min 9s
5^{em}	3min 39s	48s	3min 10s	1min 15s	2min 47s	6min 45	18min 24s
6^{em}	3min 26s	48s	2min 45s	49s	2min 31s	8min 6s	18min 25s
7^{em}	3min 45s	40s	2min 29s	51s	2min 45s	6min 46s	17min 16s
8^{em}	3min 24s	57s	3min 23s	1min 11s	3min 3s	9min 11s	21min 9s
9^{em}	2min 58s	44s	3min 54s	59s	2min 59s	7min 12s	18min 46min
10^{em}	2min 55s	48s	3min 12s	1min 2s	3min 15s	15min 3s	26min 15s
Temps moyens	3min 20s	44s	2min 57s	1min 5s	2min 37s	8min 21s	19min 4s

F. Temps de cycle du Dumper HITACHI EH 1000

Pour une distance de 800 à 850m les temps de cycle du HITACHI EH 1000 sont comme ceci :

Tableau IV.9. Temps de cycle du dumper HITACHI EH 1000

Essais	Tch	Tmch	Trch	Tdch	Trv	TM	TC
1^{er}	4min 34s	36s	3min 23s	41s	3min 2s	2min 34s	14min 50s
2^{ém}	3min 09s	40s	3min 15s	35s	3min 40s	/	11min 19s
3^{ém}	3min 31s	33s	3min 25s	42s	4min	3min 34s	15min 45s
4^{em}	3min 35s	51s	3min 45s	40s	3min 44s	10min 2s	22min 37s
5^{em}	4min 23s	33s	4min 16s	58s	4min 4s	1min 34s	15min 48s

6em	3min 33s	42s	3min 59s	56s	3min 57s	4min 23s	17min 30s
7em	4min 34s	45s	3min 44s	54s	3min 55s	5min 55s	19min 47s
8em	4min 30s	44s	4min 10s	49s	4min 20s	3min 6s	17min 39s
9em	3min 25s	57s	3min 56s	59s	4min 12s	59s	14min 28s
10em	3min 40s	1min 2s	4min 14s	48s	3min 39s	6min 13s	19min 36s
Temps moyens	3min 53s	44s	3min 49s	48s	3min 51s	3min 50s	16min 55s

IV.2.7 Rendement effectif des camions

$$Rca = \frac{60 \times Gnom \times Kuc \times Ku \times Tp}{Tc} ; t/ \text{poste} \dots \dots \dots (IV.13)$$

Où :

- Gnom : Capacité de charge nominale du camion ;
- Kuc : Coefficient d'utilisation de la capacité du camion ; Kuc= 0.90 ;
- Ku : Coefficient d'utilisation pratique du camion ;

On le calcul de la manière suivante : $Ku = \frac{Nbhtr/p}{Tp}$;

Où :

- Nbhtr/p : Le nombre d'heures de travail de l'engin par poste ; h/p
- Tp : Durée de travail réel durant un poste ; Tp = 7 heures

- Tp : Temps d'un poste ; Tp = 7 heures ;
- Tc : Temps de cycle d'un camion d'après les tableaux ; on prend le temps de cycle moyen de chaque dumper ; min

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10. Valeurs du rendement efficace pour chaque dumper

Les dumpers	Gnom	Kuc	Ku	Tp	Tc	Rca
EH1100-3 (34)	60t	0.90	0.8	7h	23min 58s	757.05t
EH1100-3 (35)	60t	0.90	0.7	7h	19min 38s	808.62t
EH1100-5 (36)	60t	0.90	0.75	7h	19 min 15s	883.64t
EH1100-5 (37)	60t	0.90	0.8	7h	17min 54s	1013.63t
HD 465	55t	0.90	0.5	7h	19min 4s	545.19t
EH 1000	60t	0.90	0.4	7h	16min 55s	536.28t

Pour le rendement effectif moyens des camions on trouve Rca moyen = **757.40 t/poste**.

IV.2.8 Production théorique d'un tombereau (Pth)

$$P_{th} = N \times B ; \text{ t/heure} \dots \dots \dots (IV.14)$$

Où :

- N = Nombre de cycle ou rotation total dans 1 heure ; N=3 vu que le temps de cycle moyen des six camions est de 19.46min
- B = volume de la benne ou charge utile si le calcul est conduit en tonnes ; B=60t

$$P_{th} = 3 \times 60 = \mathbf{180 \text{ t/h.}}$$

IV.2.9. Le nombre de camions

$$N_c = \frac{P_{an}}{R_{ca} \times N_p \times N_j} ; \text{ camions} \dots \dots \dots (IV.15)$$

Où :

- Pan : Production annuel planifiée ; Pan = 1 200 000 t
- Rca : Rendement postière moyen des camions ; Rca = 757.40 t/poste
- Np : Nombre de postes ; Np = 2 postes
- Nj : Nombre de jours ouvrable par an ; Nj = 352 jours.

$$N_c = \frac{1200000}{757.40 \times 2 \times 352} = \mathbf{2.25 \approx 3 \text{ camions.}}$$

La carrière dispose de six dumpers dans sa flotte, pourtant pour assurer sa production annuelle planifiée qui est de 1200000t/an elle n'a besoin que de trois camions.

IV.3. Optimisation des paramètres de chargement et de transport

Pour optimiser les paramètres de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia, nous avons opter au cours de notre étude pour deux méthodes d'optimisation bien indépendante :

- Optimisation suivant le rendement effectif et le nombre d'engins ;
- Optimisation suivant la théorie des files d'attente combinée à la loi de poisson.

IV.3.1. Optimisation suivant le rendement effectif et le nombre d'engin

Afin d'optimiser les paramètres de chargement et de transport pour la carrière de Djebel Safia, on va prendre trois cas en considération, en se basant sur le rendement effectif de l'engin de chargement, et les temps de cycle des engins de transport (**Tableau IV.11**).

Dans le premier cas, on va faire le calcul en prenant une seule chargeuse et trois dumpers ; le deuxième cas, une chargeuse et six camions, alors que dans le troisième cas, on utilisera deux chargeuses avec six dumpers.

Pour établir une meilleure optimisation des paramètres, on élimine les temps mort des engins de transport.

Le tableau suivant représente les nouveaux temps de cycle moyen des engins de transport :

Tableau IV.11. Les nouveaux temps de cycle moyen des dumpers.

Dumpers	Tch	Tmch	Trch	Tdech	Trv	TM	Tc
N° 34	5 min	1min 3s	4min 41s	1min 12s	3min 43s	/	15min 39s
N° 35	5 min	1min 13s	4min 12s	53s	3min 46s	/	15min 4s
N° 36	5 min	45s	4min 1s	45s	4min 1s	/	14min 31s
N° 37	5 min	37s	4min 50s	57s	3min 33s	/	14min 57s
HD 465	5 min	44s	2min 57s	1min 5s	2min 37s	/	12min 22s
EH 1000	5 min	44s	3min 49s	48s	3min 51s	/	14min 12s
Les Temps moyen	5min	51s	4min 49s	57s	3min 35s	/	15min 12s

Méthode de calcul :

- **Tch** : le temps de chargement moyen des engins, on prend le temps de cycle moyen de la chargeuse qui est de **60s**, et d'après les calculs nous avons trouvé que le nombre de godet nécessaire est **5godets** ; donc on prend **Tch = 5min** ;
- **Tmch, Trch, Tdech, Trv** : sont les temps moyens de chaque dumper

Le nouveau temps de cycle moyen des engins de transport est : **15min 12s**.

Vu que les temps de cycle des engins de transport sont changés, on doit recalculer les rendements effectifs de ces derniers. Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

Tableau IV.12. Nouveaux rendements effectifs des camions

Dumper	Rendement
EH1100-3 (34)	1159.7 t/p
EH1100-3 (35)	1053.7 t/p
EH1100-5 (36)	1171.8 t/p
EH1100-5 (37)	1213.6 t/p
HD 465	840.6 t/p
EH 1000	638.9 t/p

Le rendement effectifs moyen des camions est : **Rca = 1013.1 t/post**

On se basant sur les résultats des tableaux précédents (**Tableau IV.11 et IV.12**), on étudie les trois cas d'optimisation.

1. Premier cas (combinaison d'une chargeuse et trois dumpers)

Premièrement, on a le rendement effectif annuel de la chargeuse qui est de : **Rch = 2 661 120 t/an**.

En deuxième lieux, le rendement effectif annuel d'un camion qui est de :

$$\mathbf{Rca = 713\ 187.2\ t/an ;}$$

Donc pour trois dumpers :

$$\mathbf{Rcat/an = 2\ 139\ 561.6\ t/an.}$$

Où :

➤ **Rcat/an** : Le rendement annuel totale des trois camions par an

On constate que l'utilisation de seulement trois dumpers, n'exploite pas la totalité du rendement de la chargeuse.

Si on prend en considération le temps de cycle de la chargeuse, ainsi que celui des dumpers, on remarque qu'on peut réduire au maximum le temps mort des camions, résultant de la file d'attente sous l'engin de chargement.

Cette combinaison (une seule chargeuse et trois camions), s'avère très rentable, vu qu'elle élimine les temps morts, qui présente des pertes économiques, et que malgré qu'elle ne met pas en valeur tout le rendement de la chargeuse, elle présente une augmentation très importante de production (presque un million de tonne).

2. Deuxième cas (combinaison d'une chargeuse et six dumper)

En utilisant cette combinaison, on garde le même rendement de la chargeuse qui est de : **Rch = 2 661 120 t/an** ; et on aura un rendement totale annuel des camions de : **Rcat = 4 279 123.2 t/an**.

On constate que l'utilisation de six dumpers avec une seul chargeuse, permet d'exploiter à 100% le rendement de la chargeuse.

Mais en revanche, avec une seule chargeuse en service, on aura un problème considérable des temps morts, ce qui va créer des pertes économiques en premier lieu (carburant...etc.), et qui va empêcher la bonne exploitation des dumpers.

Cette combinaison, bien qu'elle exploite parfaitement le rendement de la chargeuse, et augmente la production de la carrière, elle entraîne des pertes économiques énorme.

3. Troisième cas (combinaison de deux chargeuses et six dumpers)

Dans ce troisième cas, on fait le calcul en prenant en considération une deuxième chargeuse identique ;

Donc : on aura un rendement total pour les engins de chargement R_{cht} , qui est égal à :

$$R_{cht} = R_{ch}/an \times 2 ; t/an \dots \dots \dots (IV.16)$$

Où :

- **R_{cht}** : Le rendement annuel des deux chargeuses ; t/an ;
- **R_{ch}** : Le rendement annuel d'une seule chargeuse ; t/an.

$$\text{Donc : } R_{cht} = 2\ 661\ 120 \times 2 = \mathbf{5\ 322\ 240\ t/an}$$

Le rendement annuel totale des engins de chargement (deux chargeuse) est de :
5 332 240 t/an

Le rendement des six dumpers est de **4 279 123.2 t/an**.

On remarque que l'utilisation de six dumpers et deux chargeuses, permet d'avoir un seuil de production très élevé (augmentation énorme de productivité), même si on n'arrive pas à exploité à 100% le rendement des engins de chargement.

En ce qui concerne le problème de la file d'attente, en utilisant cette combinaison, on peut éliminer les temps morts des camions, comme le montre le (**Tableau IV.11**).

En revanche, l'application de cette combinaison, va engendrer des coûts supplémentaires, les coûts d'acquisition de la deuxième chargeuse, de la mise en service et la maintenance de six dumpers ; Aussi, la productivité de la carrière, qui s'avère très élevée, dépassant largement les besoins de la cimenterie de Hjar Soud.

IV.3.2. Théorie des files d'attente

Un tombereau est un engin qui fait partie d'une chaîne de production. Sa productivité est dépendante du ou des engins de chargement qui le desservent, d'où l'appellation "desserte" qui sert à qualifier un ensemble chargement / tombereau. Par ailleurs on remarque que cette desserte est discontinue et donc soumise à des phénomènes aléatoires. C'est ainsi qu'à certains moments on observe qu'il y a un ou deux tombereaux en attente derrière l'engin de chargement tandis qu'à d'autres il n'y a aucun ($TM=0$). Cette distribution aléatoire est régie par des lois statistiques découlant de la théorie des files d'attente.

Il est plus précis d'utiliser une méthode statistique qui consiste à déterminer la probabilité P d'arrivée d'un tombereau prêt au chargement qui dépend [11] :

- De la fréquence d'arrivée des tombereaux sous l'engin de chargement (taux d'arrivée-nombre de rotation) ;
- Du nombre de camions que l'engin est capable de charger par heure (taux de chargement) ;
- Du volume unitaire de l'engin de desserte ;
- Du nombre de tombereaux en service.

Pour cela on utilise la théorie des files d'attente qui est basée sur la loi de POISSON (petit nombre d'événements dans une population importante).

Rappelle sur la loi de poisson

En théories des probabilités et en statistiques, la loi de poisson est une loi de probabilité discrète qui décrit le comportement du nombre d'évènements se produisent dans un laps de temps fixé, si ces évènements se produisent avec une fréquence moyenne connue et indépendamment du temps écoulé depuis l'évènement précédent.

Pour les valeurs élevées de r il sera facile d'avoir P élevé et ceci dès le quatrième tombereau mais il faudra de grosses machines. Le roulage est performant mais cher. Dans la pratique des valeurs de r de l'ordre 0.30 à 0.60 conduisent à des roulages performants et économiques en n'utilisant que deux à quatre tombereaux sur des distances moyennes 800 à 1200 m [11].

Sur ce on détermine le rapport r [11] :

$$r = \frac{\text{Taux d'arrivée}}{\text{Taux de chargement}} \dots \dots \dots \text{(IV.17)}$$

Taux d'arrivée : nombre de rotations d'un camion par heure ;

Taux de chargement : Débit instantané de l'engin de chargement / volume de la benne (Ce dernier calcul peut se faire en m³ ou en tonnes).

Durant notre étude sur le site de la carrière de Djebel Safia on a répertorié six camions d'une charge utile de 60t qui font trois rotations par heure (en moyenne), une chargeuse avec un godet de volume égale à 8m³ et d'un débit théorique égale à 1296t/h (calculé au préalable).

$$r = \frac{4}{1296/60} = \mathbf{0.19}$$

Pour les camions les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.13 Résultat du calcul du nombre P.

Nombre de camions	Le nombre P	Productivité (t/h)	Le gain (t/h)
1	0.19	240	/
2	0.37	479.52	239.52
3	0.56	725.76	246.24
4	0.74	959.04	233.28
5	0.92	1192.32	233.28
6	1.11	1438.56	246.18

Pour trois tombereaux, on réalise le meilleur compromis, on voit en effet que pour trois camions le gain serait de **246.24t/h** soit environ 19% du débit théorique ce qui n'est guère négligeable

Trois tombereaux permettent un rendement de 725.76 t/h. Cela équivaut à :

$$725.76 / 60 = \mathbf{12.1 \text{ rotations au total.}}$$

Ou quatre rotations par tombereau et un temps de rotation moyen de 15min.

L'application de la théorie de la file d'attente combinée avec la loi de poisson sur notre cas étudié, nous permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

- La productivité par machine diminue lorsque le nombre de camions augmente ;
- Avec six camions le transport des dernières tonnes n'est pas économique et donc la solution de cinq et six camions en service est à rejeter ;
- Avec trois dumpers on atteint la solution la plus performante et la moins couteuse ;

La solution idéale est de trois camions avec trois autres en réserve pour assurer le relais en cas de panne.

Conclusion

Après le calcul des paramètres de chargement et de transport, on constate qu'il est possible de les optimiser dans le but d'augmenter la production annuelle de la carrière, vu que la chargeuse « KOMATSU WA 700 » peut assurer un rendement effectif qui dépasse les deux millions de tonne par an, et que seulement trois dumpers sont suffisants pour couvrir les besoins du site, alors que la carrière de Djebel Safia bénéficie de six dumpers dans sa flotte.

La solution la plus adéquate, pour l'optimisation des paramètres de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia, afin de maximiser la productivité avec des coûts moindre, est la combinaison d'une seule chargeuse et de trois camions ; cette combinaison permet d'augmenter la production annuelle pour atteindre une productivité de 2 139 561.6 t/an.

Conclusion générale

L'exploitation des mines et carrières requiert en matière de chargement et de transport divers matériels. Différents systèmes de desserte, correspondance entre un engin de chargement et de transport, peuvent être envisagés chacun d'entre eux ayant un domaine d'application bien défini, vu leurs incidences économiques.

La carrière de Djebel Safia, dont la superficie du périmètre d'exploitation est de 162ha et une production annuelle d'un million deux cent mille tonnes, déploie une flotte de six dumpers et une chargeuse, pour assurer la production.

Dans la carrière de Djebel Safia, l'opération de chargement se fait à l'aide des chargeuses sur pneumatique **KOMATSU WA700** qui possède de nombreuses caractéristiques inédites, se traduisant par un niveau de confort de conduite, une facilité d'entretien, et un coût d'achat plutôt modéré.

Le tout venant est transporté depuis le front de travaux jusqu'à la station de concassage à l'aide d'une armada de six dumpers de châssis rigide, d'une capacité moyenne de 60 tonnes.

Dans notre présent travail, nous avons étudié et calculé les paramètres de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia, afin de les optimiser et augmenter ainsi la production annuelle du site.

Les études et les résultats de calcul, nous ont permis de donner une nouvelle solution à un problème pratique et actuel dont souffre le site de Djebel Safia ; cette nouvelle solution consiste en une adoption d'une nouvelle combinaison chargement-transport d'une seule chargeuse et de trois camions.

Les études et les observations accomplies nous permettent de faire les recommandations suivantes :

- Pour une meilleure productivité, il est impératif d'utiliser une chargeuse et trois dumpers, au lieu de six dumpers, laissant ainsi les trois autres dumpers en réserve, en cas de problème mécanique, ou comme pièces de rechanges ;
- Améliorer les pistes d'accès en les élargissant, telle que le croisement des tombereaux puisse se faire dans de bonnes conditions de sécurité, évitant ainsi le roulage alterné, qui crée des temps mort plutôt considérable ;

- Faire bénéficier les opérateurs des engins de chargement et de transport de stage, afin d'améliorer leurs efficacités ;
- Création d'un poste de gestionnaire d'engin, au sein du site afin d'améliorer le processus et le rendre plus fluide ;
- Amélioration des paramètres de tir, afin de contrôler la granulométrie du tout-venant, évitant ainsi les hors gabarits.

Références bibliographiques

- [1] : Centre des Etudes et de services Technologiques de l'Industries des Matériaux de construction (CETIM), 2013, « Rapport géologique actualisé du gisement de calcaire Djebel Safia société de ciment de Hjar Soud ».
- [2] : BADRI.Y et AMRANI.A, 2016, « Le Choix des équipements de chargement et de transport dans la carrière d'Ain El Kebira », Mémoire de fin d'étude, Université de Béjaïa,.
- [3] : SERRADJ.T, 2006 « Optimisation de l'opération de chargement – transport ».
- [4] : Société du ciment de Hjar soud (SCHS), 2014 « Plan d'exploitation annuel du gisement de calcaire ».
- [5] : Département études et méthodes service études et méthodes Hjar Soud, 2015 « caractéristiques de l'équipement zone carrier ».
- [6] : Société de l'Industrie Minérale (SIM), 2006, « Les techniques de l'industrie minérale, Ciel Ouvert mines et carriers (Réalisation d'un projet-Opération-Gestion) ».
- [7] : Centre National des Etudes et de Formation de l'Industries des Carrières et des Matériaux de construction (CEFICEM), « CHARGER – TRANSPORTER », Première partie.
- [8] : Société de l'Industrie Minérale (SIM), 1998, « Memento des mines et carrières ».
- [9] : MUDIANGA.K « Cours d'exploitation des mines à ciel ouvert », Université de Lubumbashi.
- [10] : SERRADJ.T (CETIM), « Chargement et transport dans les carrières, Choix des matériels »,
- [11] : SERRADJ.T (CETIM), « Productivité des engins ».
- [12] : AITHABIB Z, 2015, « cours machines de transport 1ère année master exploitation minière, Université de Bejaïa ».

Annexes

Annexe 1 :

Caractéristiques des équipements de la zone mécanique :

N°	Désignation Equipement	Caractéristiques
1	CONCASSEUR GIRATOIRE GP120	Débit 900 t/h
	*Transmission par courroie	Courroies 22*8500 Qté=22
	*Moteur	Marque : ALSTHOM Type : N2RX400 K70/B3 Vitesse : 1480t/mn Puissance : 400 kW
2	ATM SOUS GP120 ATMOS	Type appareil : ATM 1260x1420X9100 Débit d'extraction : 900 t/h
	REDUCTEUR	GV : 1450 tr/min PV : 3.68 tr/min Puissance : 30 KW
3	RAMASSE MIETTES POUR ATM SOUS GP120	RAMASSE MIETTES ATMOS
	REDUCTEUR	GV : 1400 tr/min PV : 6.2 tr/min Puissance : 1.5 KW
4	TRANSPORTEUR SOUS ATM GP120	Bande 1600 metalcord 1250 e 2TA 4+3D
	REDUCTEUR	Entraxe des tambours extrêmes 23.80 Débit 900 t/h PUISSANCE : 17,2KW G V : 1450 T/MN PV : 46,54 T/MN
5	ATM EXTRACTEUR N°1 CALCAIRE TUNNEL	TYPE : 34X125X630 Débit d'extraction 360-720 t/h MARQUE : DURAND TYPE : 160 F 315 F-R=410 Rapport 1/25 Vitesse d'entrée 1465 t/min Puissance 15 KW Courroies 17*1829 Qté =3
6	ATM EXTRACTEUR N°2 CALCAIRE TUNNEL	TYPE : 34X125X630 Débit d'extraction 360-720 t/h MARQUE : DURAND TYPE : 160 F 315 F-R=410 Rapport 1/25

7	TRANSPORTEUR A BANDE TUNNEL	Bande metalcord 1000 E 1250 2TA 4+3D
	REDUCTEUR	Entraxe des tambours extrêmes 217,55 Débit d'extraction 360-720 t/h PUISSANCE : 45KW G V : 1480T/MN Rapport 1/40
8	TRANSPORTEUR SOUS CRIBLE	Bande metalcord 1000 E 1250 2TA 4+3D
	REDUCTEUR	Entraxe des tambours extrêmes 217,55 Débit d'extraction 360-720 t/h PUISSANCE : 17,2KW G V : 1465 T/MN PV : 72 T/MN
9	CRIBLE VIBRANT	Type VP1 -150X400 Vitesse de rotation n : 720 t/mn Amplitude de vibration a : 6mm Pante à : 18 degrés
	*Moteur	PUISSANCE : 15 KW VITESSE 1500 TR/MN A VIDE
	*Transmission par courroie	-01 JEU DE COURROIE REF 22 X 3711 QTE 03
10	ATM CALCAIRE SOUS IMPACTOR	MARQUE : DRAGON TYPE35X140X630 Débit : (360-720) m3/h Nbr de palette :48 palettes Débit d'extraction 360-720 t/h
11	ATM ALIMENTATION CONCASSEUR IMPACTOR	MARQUE : BEDESCHI 2- ATM TYPE : CNA9 / 1500 Débit d'extraction 360-720 t/h 7- ENTR'AXE DES TOURTEAUX : 9200 MM
	MOTEUR	TYPE : FLS 200 L4 B3 I: 55A PUISSANCE : 30 KW VITESSE : 1465 t/mn REDUCTEUR TYPE : UMCS 1075 P N° : SERIE : 68930 PUISSANCE : 30 KW VITESSE GV : 1465 T/MN ENTREE VITESSE PV : 4.485 T/MN SORTIEE

Résumé

L'exploitation des mines et carrières requiert en matière de chargement et de transport divers matériels et différents systèmes de desserte (combinaison). Les processus de chargement et de transport sont primordiaux, ces derniers représentent de 40 à 60% du coût technique de l'extraction, on mesure l'importance de leurs incidences économiques.

Dans notre présent travail, nous avons étudié et calculé les paramètres de chargement et de transport de la carrière de Djebel Safia, afin de les optimiser et augmenter ainsi la production annuelle du site.

Les études et les observations accomplies ainsi que les résultats de calcul, nous permettent de donner une nouvelle solution, consistant en une adoption d'une nouvelle combinaison chargement-transport optimisée.

Mots clés : mines, carrière, équipement, chargement, transport, engins, combinaison, optimisations.

Abstract

Mining requires different types of equipment and different serving systems (combination) for loading and haul. Loading and haul processes are paramount, accounting for 40 to 60% of the technical cost of extraction, and the extent of their economic impact is measured.

In our present work, we studied and calculated the loading and transport parameters of the quarry of Djebel Safia, in order to optimize them and thus increase the annual production of the site.

The studies and observations performed as well as the results of the calculation allow us to give a new solution, consisting in the adoption of a new optimized load-transport combination.

Key words: mining, loading and haul, quarry, equipment, combination, parameters, optimize.