



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
Institut des Mines
قسم الإلكتروميكانيك
Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : génie minier

Option : Electromécanique minière

Optimisation des performances du processus de chargement et transport par la méthode MCDM (AHP-TOPSIS) -cas de la mine d' EL'OUENZA-

Par
AROUI Mohammed Essalih

Devant le jury :

		Grade	Etablissement
Président :	AOULMI Zoubir	MCA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi
Encadreur :	HOUAM Ala	MCB	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi
Examineur :	DAOUADI Rabeh	MCB	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi

Promotion 2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

J'offre ma grande gratitude à Dieu qui m'a aidé à faire ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mes parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Je remercie mon encadreur H.A.OUM A.L.A pour les efforts qu'il a déployé, pour m'aider, conseiller, encourager et corriger.

Je voudrais remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie aussi tout le corps enseignant dans l'institut des mines qui a contribué à ma formation universitaire.

Je remercie toute l'équipe de la mine de LAOUNZA pour leur aide, sympathie et assistance durant mon stage.

En fin, Je remercie tous ceux de près ou de loin qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Trouvent ici ma sincère reconnaissance.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail, à mes parents, à ma source de générosité
Et de patience tout au long de ma carrière scolaire. Que Dieu vous
protèges, vous prêtez bonne santé et longue vie.*

*À mes frères et sœurs et sa petite famille, qui m'ont toujours indiqué
La bonne voie et qui ont su m'aider.*

*Aux personnes qui m'ont accompagné durant mon cursus
universitaire,*

*À mes amies pour ses encouragements Permanents, et son
soutiennent*

Table De Matières

Remercîment.....	3
Dédicace	4
Table De Matières.....	I
Liste Des Tableaux	IV
Liste Des Figures	V
Liste Des Abréviations	VII
<i>Introduction Générale</i>	1
<i>Chapitre I Chargement et transport</i>	3
I.1. Introduction :	4
I.2.1. Choix d'engin de chargement :	4
I.2.2. Types des engins de chargement :	4
I.3.1. Les chargeuses	6
I.3.1.1. Chargeuses sur pneumatiques	6
I.3.1.2. Les chargeuses sur chenilles	6
I.3.2. Les Pelles	7
I.3. TRANSPORT.....	11
I.3.1. Choix d'engins du transport :	11
Le choix des moyens de transport dépend des facteurs suivants	11
I.3.2.1. Le convoyeur à bande :	11
I.3.2.2. Transport par camion :	13
I.3.2.2.1. Constitution d'un Camion :	14
I.3.2.2.2. Choix du type de camion :	15
I.3.2.2.3. rendement du camion et leur nombre	15
I.5. Combinaison des opérations de chargement et transport :	21
I.6. Conclusion :	22
<i>Chapitre 2 Prise de décision multicritère.....</i>	23

II.1. Introduction :	24
II.2. Définition de L'aide à la décision multicritères :	24
II.3. Historique de l'aide à la décision :	24
II.4. Objectif de l'aide à la décision	25
II.5. Notion de critère :	25
II.6. Matrice multicritères :	25
II.7. Étapes générales du MCDM :	26
II.7.1. Structuration d'un problème de décision :	26
II.7.2. Détermination et application de la méthode :	26
II.7.3. Détermination de la recommandation finale MCDM :	26
II.8. Catégories décisionnelles multicritères :	26
II.8.1. Fonctions d'utilité :	27
II.8.2. Fonction discriminante :	27
II.8.3. Relations de surclassement :	27
II.8.4. Approches compensatoires, non compensatoires et compensatoires partielles :	27
II.8.5. Prise de décision individuelle ou en groupe :	27
II.8.6. Informations qualitatives/quantitatives ou certaines/incertaines :	27
II.8.7. Méthodes basées sur des compromis et non basées sur des compromis :.....	27
II.8.8. MODM ou MADM :	27
II.9. Techniques du MCDM :	28
II.9.1. Somme pondérée :	28
II.9.2. Données (alternatives):.....	28
II.9.3. Résultats (valeurs Agregées) :.....	28
II.9.4. Théorie de l'utilité multi-attribut :	29
II.9.5. La méthode des métriques pondérées (Method of Weighted Metrics):	29
II.9.6. Méthode de programmation par buts (Goal programming) :	29
II.9.7. Processus d'analyse hiérarchique (AHP) :	30
II.9.8. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution):	32

<i>Chapitre 3 Application de la Méthode MCDM</i>	35
<i>(AHP-TOPSIS)</i>	35
<i>Sur le Processus de Chargement et Transport</i>	35
III.1. Introduction	36
III.4. Application MCDM :	51
III.4.1. Identifier et sélectionner les critères :	51
III.4.2. Matrice MCDM :.....	51
III.4.3. Calcul du poids des critères (AHP) :.....	51
III.4.4. TOPSIS :	54
III.4.5. discussion :	60
Conclusion :.....	61
<i>Conclusion Générale</i>	62
<i>Annexe</i>	67
<i>Abstract</i>	77

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 : les classes d'heures.....	20
Tableau II-1 : Échelle de préférence de Saaty.....	33
Tableau III.1 : La minéralisation de gisement.....	37
Tableau III.2 : Matrice des critères.....	51
Tableau III.3 : L'importance des critères.....	52
Tableau III.4 : Matrice de comparaison.....	52
Tableau III.5 : matrice normalisée :.....	53
Tableau III.6 : poids des critères.....	53
Tableau III.7 : Indice de cohérence aléatoire (IR).....	54
Tableau III.8 : critère temps d'attente des camion	55
Tableau III.9 : Critère temps d'attente des pelles	56
Tableau III.10 : Critère de rendement.....	57
Tableau III.11 : Critère de qualité.....	58
Tableau III.12 : valeurs de distance idéal négatif (S_i^-) et positif (S_i^+) des scenarios.....	59
Tableau III.13 : les score de proximité des scenarios.....	60

Liste Des Figures

Figure I.1 : types des engins de chargement.....	5
Figure I.2 : Chargeuse sur pneumatiques.....	6
Figure I.3:chargeuses sur chenilles.....	7
Figure I.4 : pelle hydraulique.....	8
Figure I.5 : Pelle hydraulique :a-Equipement butte ; b-Equipement retro.....	9
Figure I.6 :pelle à câble sur chenille.....	10
Figure I.7 : Dragline marcheuse.....	10
Figure I.8 : schéma des principaux éléments d'un convoyeur à bande.....	12
Figure I.9 : camion CAT 775G.....	14
Figure 1.10 : processus de chargement et transport.....	22
Figure II-1. Opérateurs d'agrégation.....	28
Figure II-2. Distance La méthode des métriques pondérées.....	31
FigureII-1: Hiérarchie générale de la méthode AHP	32
Figure III.1 : Situation géographique.....	37
Figure II.2 : schéma de dispatching des engins du 1 ^{er} scenario.....	39
Figure III.3 : schéma de dispatching des engins du 2 ^{eme} scenario.....	42
Figure III.4 : schéma de dispatching des engins du 3 ^{eme} scenario.....	44
Figure III.5 : schéma de dispatching des engins du 4 ^{eme} scenario.....	46
Figure III.6 : schéma de dispatching des engins du 5 ^{eme} scenario.....	48
Figure III.7 : schéma de dispatching des engins du 6 ^{eme} scenario.....	50
Figure III.8 : poids des critères.....	53
Figure III.9 :Temps d'attente des camions.....	56
Figure III.10 :temps d'attente des pelles.....	57
Figure III.11 :Critère de rendement.....	

Figure III.12 Critère de qualité.....	58
Figure III.13 : valeurs de distance idéal négatif (S_i^-) et positif (S_i^+) des scenarios.....	59
Figure III.14 : Proximité de chaque scénario et leur classement.....	60

Liste Des Abréviations

MCDA : Analyse décisionnelle multicritère (Multi-criteria decision-analysis).

MCDM : Prise de décision multi critère (Multi-criteria decision-making).

MODM : Prise de décision objective multiple (Multiple objective decision making).

MADM : Prise de décision à attributs multiples (Multiple attribute decision making).

AHP : le processus de hiérarchie analytique.

TOPSIS : la préférence de commande par similarité à la solution parfaite.

MOORA : l'optimisation multi-objective Basée sur l'analyse des ratios .

M.A.U.T : Théorie de l'utilité multi-attributs (Multi Attribute Utility Theory).

W : le poids de critères.

λ : La racine propre maximale de la matrice de comparaison par paires.

IC : l'indicateur de cohérence.

U_j⁻ : valeur de solution idéale négative pour chaque critère.

U_j⁺ : valeur de solution idéale positive pour chaque critère.

S_i⁺ : Distance idéale positive.

S_i⁻ : Distance idéale négative.

C_i^{*} : proximité relative avec la résolution idéale solution.

Introduction Générale

Le minerai doit quitter la mine pour la destination qui peut être soit un remblai sur la plateforme d'alimentation, soit la trémie d'alimentation de l'usine pour les différents traitements chimiques ou métallurgiques, ou un remblai à minerai. De ce fait les processus de chargement et de transport occupent une place importante dans les mines à ciel ouvert ainsi que les mines souterraines.[1]

Face à la concurrence impitoyable et aux risques croissants, Le processus décisionnel est l'une des tâches les plus importantes que l'entreprise puisse accomplir, quelle que soit la nature de son activité. Le succès ou l'échec de toute entreprise dépend de la justesse et de la qualité des décisions prises.[2]

Au cours des années 1950 et avant l'avènement de l'analyse multicritères, La réduction des problèmes de décision conduit souvent à l'optimisation de la fonction économique, cette approche avait l'avantage de conduire à des problèmes mathématiques bien posés mais pas toujours représentatifs de la réalité car toutes les comparaisons ont été faites selon un seul critère, et toutes les préférences pour un critère sont difficiles à modéliser lorsqu'il y a plusieurs objectifs.

Les problèmes de décision multicritère ont généralement de multiples solutions, et pour résoudre ces problèmes, nous utilisons des méthodes qui utilisent des paramètres qui ont des conséquences difficiles à prévoir. De ce fait, la plupart des méthodes d'aide à la décision multicritères ont été proposées.

Les de prise de décision multicritère (MCDM)[3] et les approches d'optimisation [4] sont utiles à des fins de classement ; en particulier lorsque plusieurs critères complexes doivent être pris en compte simultanément.

La méthode MCDM permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères, chacun pondéré d'un coefficient en fonction de son importance (poids relatif).

C'est ainsi que des procédures comme Somme pondérée, intégrale de Choquet, MOORA, COPRAS, TOPSIS, EDAS, WASPAS [5] ont vu le jour. Ces procédures d'agrégation ont vu le jour car il est nécessaire d'agrèger toutes les performances pour avoir une seule valeur par alternative qui permettra de classer les alternatives.

L'objectif de ce travail est de faire planifier les travaux de chargement et transport dans la mine à ciel ouvert d'El-ouenza en utilisant la méthode MCDM (TOPSIS-AHP) et d'offrir aux décideurs un système de recommandation mettant en œuvre plusieurs opérateurs d'agrégation.

Cette étude sera composée de trois chapitres :

Premier chapitre (Chargement et transport) : dans ce chapitre nous présentons les méthodes de chargement et transport dans les mines à ciel ouvert ainsi que les productivités.

Le deuxième chapitre (Prise de décision multicritères MCDM) : porte sur les systèmes d'aide à la décision, ensuite nous verrons à quoi servent les opérateurs d'agrégation dans les systèmes d'aide à la décision. Par la suite différents opérateurs d'agrégation sont discutés tels que la somme pondérée, MOORA, TOPSIS, AHP..etc.

Le troisième chapitre (Application de la méthode MCDM (TOPSIS-AHP) sur le processus de chargement et transport minier) : comprend la partie d'application, résultats et discussion

Nous terminons ce travail par une **conclusion**, nous présentons une synthèse des résultats et choisissons la meilleure méthode possible parmi les méthodes utilisées, et sur quelle base l'avons-nous choisie.

Chapitre I

Chargement et transport

I.1. Introduction :

Le chargement et le transport dans les mines sont des opérations vitales qui nécessitent une planification minutieuse, une logistique précise et des équipements spécialisés. Ces activités sont souvent réalisées dans des environnements difficiles, caractérisés par des conditions géologiques complexes, des terrains accidentés et parfois même des conditions climatiques extrêmes. Il est donc primordial de mettre en place des stratégies et des techniques adaptées pour garantir la sécurité des travailleurs, la productivité optimale et la rentabilité des opérations minières.[6]

Au cours des dernières décennies, l'industrie minière a connu d'importantes avancées technologiques dans le domaine du chargement et du transport. Des équipements de pointe tels que les pelles hydrauliques, les chargeurs sur pneus, les camions à benne basculante et les convoyeurs à bande ont révolutionné ces opérations en permettant des niveaux de productivité et d'efficacité sans précédent. De plus, l'introduction de systèmes de contrôle et de surveillance automatisés a contribué à améliorer la sécurité des travailleurs et à optimiser les flux de matériaux.

Dans ce chapitre, j'examinerai de près les différentes méthodes de chargement et de transport utilisées dans les mines, en mettant l'accent sur les équipements et les technologies clés.[7]

I.2. Chargement :

Le chargement fait partie des opérations minières fondamentales, et est très déterminante pour le succès de tout projet minier du fait que la production minière dépend pratiquement de la quantité des déblais chargés. Il est à noter qu'il est plus judicieux de parler de déblayage au lieu de chargement du fait que les opérations minières dépendent de la méthode d'exploitation arrêtée.

I.2.1. Choix d'engin de chargement :

La détermination du type d'engin d'excavation et chargement se base sur les facteurs suivants:

- La nature des matériaux
- La méthode d'exploitation
- La production envisagée et les distances du transport
- Les mesures de sécurités

I.2.2. Types des engins de chargement :

Parmi les engins de chargement utilisés dans les mines à ciel ouvert, on distingue deux types fondamentaux selon leur mode de fonctionnement ou de travail:

Les engins dont le fonctionnement s'effectue d'une manière cyclique, c'est-à-dire les opérations élémentaires d'un cycle complet d'excavation et de chargement se réalisent successive. Ce sont des excavateurs à godet unique (pelle mécanique ou hydraulique, chargeuse frontale, dragline).

Les engins dont le fonctionnement s'effectue d'une manière continue, c'est-à-dire les opérations élémentaires d'un cycle complet d'excavation et de chargement y compris le déplacement se réalisent simultanément. Ce sont des excavateurs à godets multiples (roue-pelle, excavateurs à chaîne).[8]

Les engins du chargement les plus courants dans l'industrie minière sont :

- Les chargeuses pneumatique ou sur chaînes (chenilles)
- Les pelles sur pneus ou à chaînes
- Les décapeuses élévatrices ou à lame (scrapers)
- Les draglines (drague à câbles)
- Les roues pelles
- Les excavateurs à gode

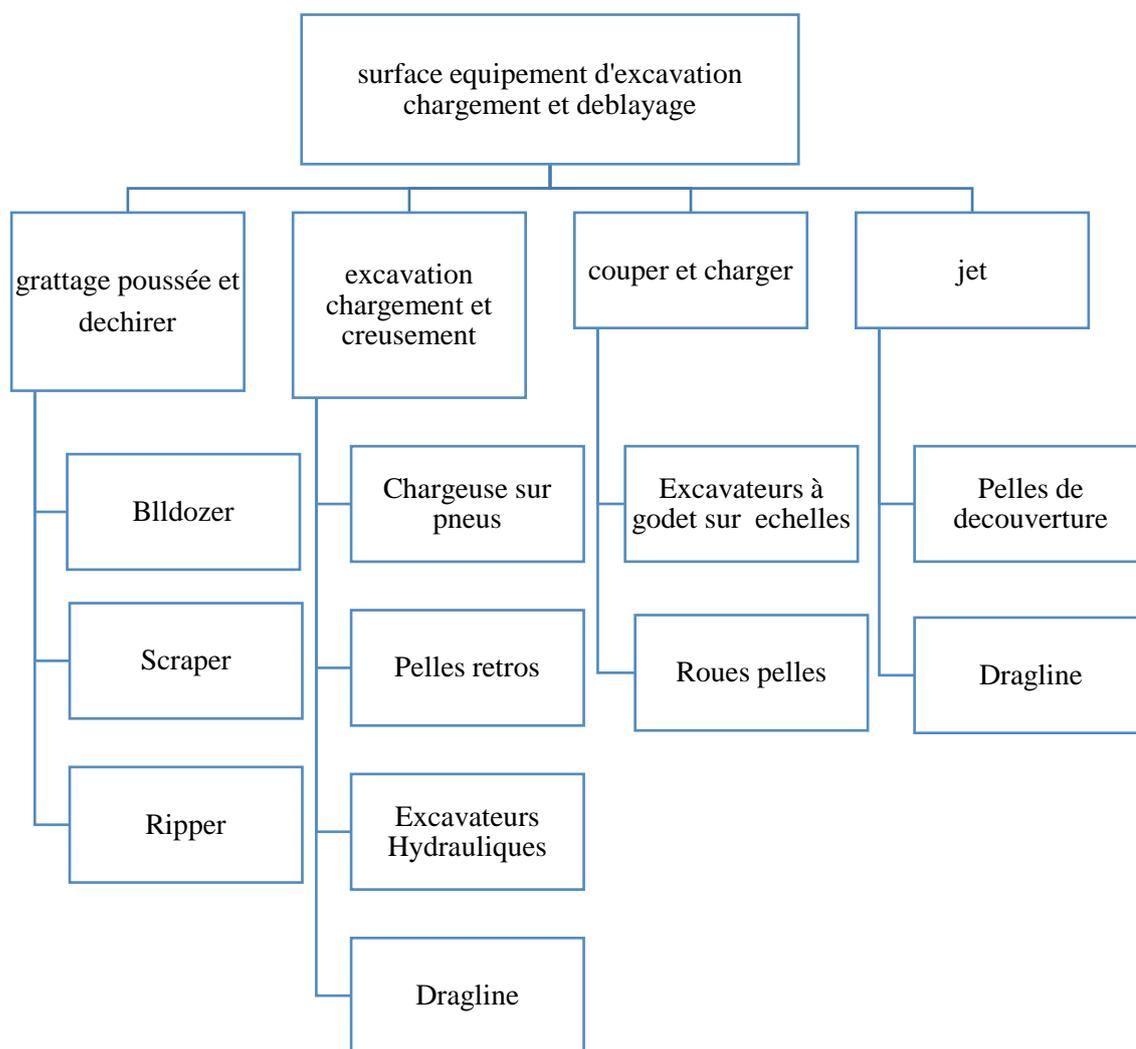


Figure I.1 : Types des engins de chargement

I.3.1. Les chargeuses :

Dans les mines à ciel ouvert, les chargeuses sont utilisées lorsque la mission est non seulement d'excaver les matériaux (stériles et minerais), mais également les transporter jusqu'aux lieux de déversement pour la mise à terril ou le stockage des minerais non loin du chantier d'exploitation. On trouve deux types de chargeuses frontales : les chargeuses sur chenilles et les chargeuses sur pneumatiques.

I.3.1.1. Chargeuses sur pneumatiques :

Elles sont montées sur un châssis articulé, mais l'articulation travaille seulement dans un plan horizontal, l'essieu arrière étant monté sur un balancier, le godet pelleteur disposé en avant, doit avoir une largeur plus grande que l'empattement des pneus pour les protéger. 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. Dans ce mode de chargement le tombereau se placera, l'arrière au tas, avec un angle d'environ 45° . La position relative chargeur / tombereau sera telle que le parcours soit minimum. Cette distance dépend du rayon de braquage maximum de la machine [2].



Figure I.2 : Chargeuse sur pneumatiques

I.3.1.2. Les chargeuses sur chenilles :

Ce type d'engin 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 ainsi que l'extraction directe des matériaux alluvionnaires secs ou humides[1].



Figure I.3: Chargeuses sur chenilles

Durée de cycle de la chargeuse « t_{ch} » :

Le temps de cycle de la chargeuse est déterminé selon plusieurs paramètres

$$t_{ch} = t_{ch} + t_{déch} + t_m + t_{ret}, S \quad I-1$$

t_{ch} : temps de chargement,

$t_{déch}$: temps de déchargement,

t_m : temps de manœuvre du chargeur,

t_{ret} : temps de retour de la chargeur à la position initiale,

Débit horaire d'une chargeuse frontale

Le rendement horaire effectif d'une chargeuse frontale est calculé par la formule suivante :

$$D = \frac{3600 \cdot C_g \cdot N \cdot K_r}{t_{cy} f}; m^3/h \quad I-2$$

Avec :

- C_g : la capacité nominale du godet en m^3
- K_r : le coefficient de remplissage
- f : le coefficient de foisonnement
- t_{cy} : le temps de cycle de la chargeuse en s

I.3.2. Les Pelles :

Ce sont des engins d'excavation et de chargement les plus répandus en mines à ciel ouvert et qui sont destinés à travailler dans tout type de terrain. On distingue deux types de pelles : Les pelles mécaniques ou à câbles et les pelles hydrauliques. La détermination du type de pelle le plus se fait à partir des éléments suivants:

- La production envisagée

- La nature des matériaux
- La granulométrie
- La hauteur du front de taille

D'autres facteurs entrent également en compte :

- 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.

I.3.2.1. Les pelles hydrauliques :

La pelle hydraulique est la plus utilisée dans les travaux publics et les 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 [1]. Sa course plane au sol, sa possibilité d'attaquer à la hauteur voulue pour disloquer les matériaux ou purger un front d'abattage est autant d'éléments qui contribuent à son développement.



Figure I.4 : pelle hydraulique

I.3.2.2. Cinématique des pelles :

Une pelle hydraulique peut travailler en mode " rétro " l'extraction se fait alors sous le plan d'appui de la pelle et les matériaux sont "cavés" en rabattant et relevant simultanément le godet vers la pelle. En mode "butte" l'extraction se fait au-dessus du plan d'appui de la pelle. Le cavage des matériaux se fait en levant et en poussant simultanément les matériaux vers l'avant de la pelle. Ces modes requièrent des équipements particuliers. La plupart des machines sauf les très grosses unités à godets ouvrants peuvent être équipées en butte ou en rétro.

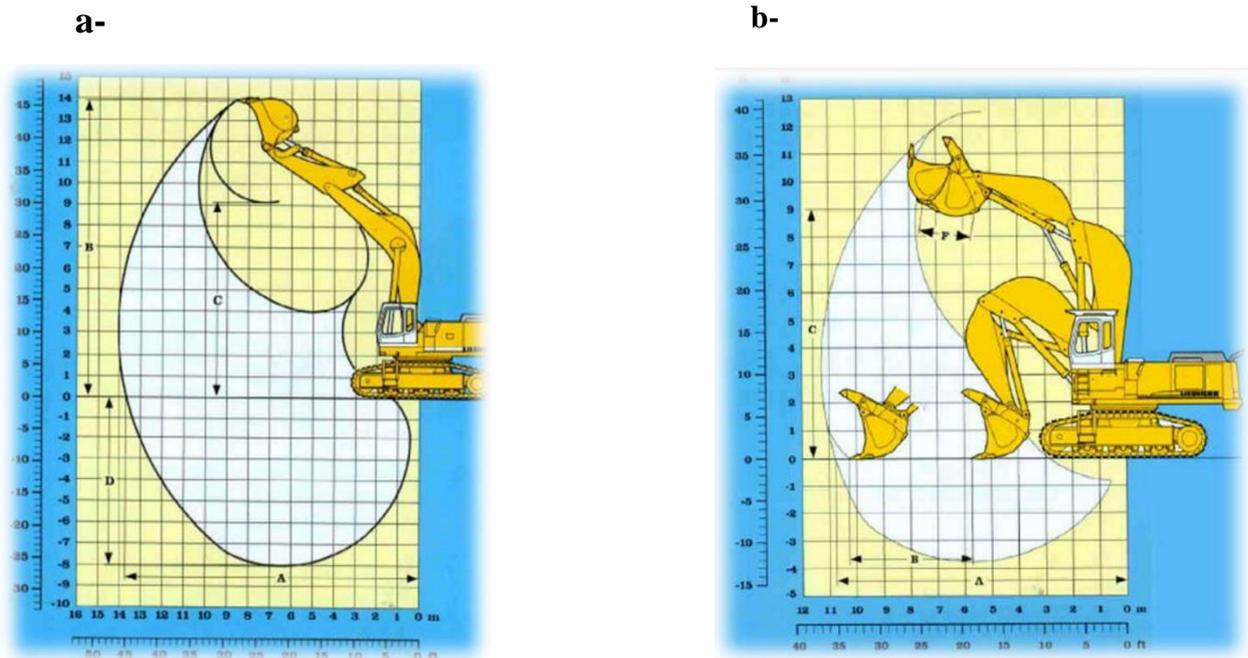


Figure I.5 : Pelle hydraulique : a-Equipement butte ; b-Equipement retro

I.3.2.3. Débit horaire d’une pelle sans influence de ses déplacements :

D’une manière générale, sans tenir compte des déplacements de l’engin en cours d’excavation, le débit horaire théorique en place est exprimé par la formule suivante :

Le débit horaire effectif D en place est calculé par l’expression suivante :

$$D = D' \cdot \frac{50}{60} \cdot \rho_{ch} m^3/h \tag{I-3}$$

Avec :

- D' : le débit horaire théorique en m³/h
- $\frac{50}{60}$: le rendement horaire de l’excavateur
- ρ_{ch} : le rendement général du chantier

Compte tenu des difficultés de la détermination du rendement général du chantier, les exploitants préfèrent, par expérience, utiliser le coefficient d’utilisation absolu au lieu de $\frac{50}{60} \cdot \rho_{ch}$. Ainsi, le débit horaire effectif D en place s’exprime par :

$$D = D' \cdot CUA ; m^3/h \tag{I-4}$$

I.3.2.4. Les pelles à câbles sur chenilles :

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 8 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.



Figure I.6 : pelle à câble sur chenille

I.3.2.5. 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 et à l'extraction de gisements alluvionnaires en eau. 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.



Figure I.7 : Dragline marcheuse

I.3. TRANSPORT

le transport des minéraux utiles et des roches stériles est l'un des principaux processus dans les mines à ciel ouvert, dont le pourcentage dans le prix de revient total d'exploitation atteint 30÷70%.

Le transport à ciel ouvert prédétermine le mode d'ouverture du gisement, le choix de la méthode d'exploitation, les équipements miniers et le mode de mise à terril...etc.

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

I.3.1. Choix d'engins du transport :

Le choix des moyens de transport dépend des facteurs suivants :

- La production annuelle de la carrière
- La distance de transport
- Le type d'engin de chargement
- La nature des roches à transporter
- La méthode d'exploitation
- La méthode d'ouverture.

I.3.2. Types d'engins de chargement :

D'une façon générale, on distingue deux modes de transport : le transport continu (bande transporteuse, transport hydraulique, transport aérien par câble...), le transport discontinu cyclique (locomotive et wagons, camions et engins dérivés des camions, grues à câbles).

a - transports continus

- Les bandes transporteuses
- Les transports hydrauliques ou pneumatiques.

b - transports discontinus :

- Les tombereaux articulés (dumpers articulés)
- Les tombereaux rigides (dumpers rigides)
- Les décapeuses (scrapers).

I.3.2.1. Le convoyeur à bande :

Les convoyeurs sont utilisés pour le transport des roches tendres ou des produits bien fragmentés. La pente admissible pour les convoyeurs à bandes est de (18° à 20°), la largeur de la bande varie entre (800 à 3000 mm) avec une vitesse de (3 à 6 m/s) étant donnée le rendement important des convoyeurs, la production de la carrière doit être grande pour justifier les dépenses d'investissement pour ce genre de transport.

Suivant l'endroit où les convoyeurs sont installés et leur usage, on distingue :

- Les convoyeurs de taille;
- Les convoyeurs de concentration;

- Les convoyeurs d'élévations.

I.4.2.1.1. Eléments constitutifs d'une bande transporteuse :

Les bandes transporteuses sont essentiellement constituées d'une carcasse textile ou métallique destinée à supporter les efforts liés au fonctionnement et de revêtement assurant la protection de la carcasse et la résistance à l'usure vis-à-vis des contacts extérieurs.

Le schéma ci-dessous indique les principaux éléments d'un convoyeur à bande :

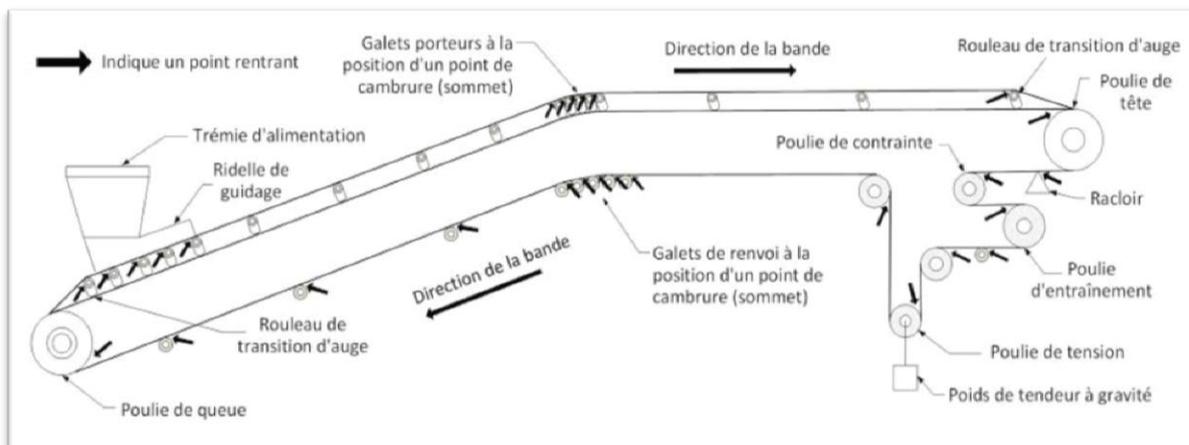


Figure I.8 : schéma des principaux éléments d'un convoyeur à bande

a. La bande :

La bande transporte la matière première de la queue jusqu'à la tête du convoyeur. Elle se présente sous deux formes principales, plate et en auge, toute bande comporte deux faces :

- La face externe, qui est en contact avec les matériaux transportés.
- La face interne, qui est en contact avec les rouleaux ou les tambours.

b. Tambour de commande :

La surface du tambour de commande peut être laissée en finition normale ou avoir un revêtement de caoutchouc dont l'épaisseur est calculée en fonction de la puissance à transmettre de manière à augmenter le coefficient de frottement et à faciliter l'évacuation de l'eau à la surface du tambour.

Le diamètre du tambour est dimensionné en fonction de la catégorie et du type de bande, ainsi que des pressions calculées sur sa surface.

c. Tambour de renvoi :

La surface du carter n'a pas nécessairement besoin d'être munie d'un revêtement, sauf dans certains cas. Le diamètre est normalement inférieur à celui qui est prévu pour le tambour de commande.

d. Tambours de contrainte :

Ils servent à augmenter l'arc d'enroulement de la bande et, d'une manière générale, ils sont utilisés dans tous les cas où il est nécessaire de dévier la bande au niveau des dispositifs de tension à contrepoids, des appareils de déchargement mobiles, etc.

e. Les rouleaux :

Ils soutiennent la bande et tournent librement et facilement sous la charge. Ce sont les composants les plus importants du convoyeur et ils représentent une part considérable de l'investissement total. Les rouleaux porteurs sont généralement fixés sur des pattes de fixation soudées à une traverse ou un support. L'angle d'inclinaison des rouleaux latéraux varie entre 20° et 45°.

f. Dispositifs de tension :

L'effort nécessaire pour maintenir la bande en contact avec le tambour d'entraînement est fourni par un dispositif de reprise de tension qui peut être à vis, à contrepoids, ou avec un treuil motorisé.

g. Trémie :

La trémie est conçue pour faciliter le chargement et le glissement du produit en absorbant les chocs de la charge et en évitant les colmatages et l'endommagement de la bande.

h. Capots pour convoyeurs :

Les capots pour convoyeurs ont une importance fondamentale lorsqu'il est nécessaire de protéger le produit transporté de l'air ambiant et d'assurer le bon fonctionnement de l'installation.

i. Moto-reducteur :

Dans cette configuration, le moteur, la boîte d'engrenages et les roulements constituent un ensemble complet, enfermé et protégé à l'intérieur d'un carter, qui entraîne directement la bande. Cette solution élimine toutes les complications liées aux transmissions extérieures, couples, etc.

I.4.2.1.2. Les avantages de transport par bande :

Les avantages de transport par bande par rapport aux autres modes de transport sont :

- Simplicité;
- Facilité d'entretien;
- Rendement remarquable;
- Transport continu;
- Réduction des travaux en tranchées;
- Possibilité d'automatisation.

I.3.2.2. Transport par camion :

Le transport par camion est le plus répandu dans les carrières contemporaines. Il est rationnel de l'appliquer lors de l'exploitation des gisements compliqués, de la construction et de l'approfondissement des carrières, et l'exploitation sélective. Il est répandu lors de l'exploitation des gisements compliqués, de la construction et de l'approfondissement des fosses minières. La grande efficacité du transport sur roue des minéraux utiles et roches stériles sur une distance relativement courte, la simplicité de construction des engins de transport, la manœuvrabilité, la possibilité de surmonter la pente élevée, la simplicité d'organisation de travail caractérisent fort bien cette méthode de transport.[9]



Figure I.9 : Camion CAT 775G

I.3.2.2.1. Constitution d'un Camion :

En général un camion se compose les éléments principaux suivant :

a. Essieux et roues : Les camions a bennes basculantes peuvent avoir deux ont trois essieux suspendus aux châssis par mettant au cylindrique élevée pneumatique de préférences on utilise l'air comprimé comme gaz d'amortisseur les roues motrices sont reliser solidement avec l'axe des essieux moteurs, les pneus sont de barre compression 0.17 à 0.32 Mpa. Soit de hautes compressions de 0.35 à 0.55 MPa.

b. Châssis : La base du camion surmonte tour les éléments de camion, elle est comparée de deux par tiers longitudinales reliser entre elle par des traverser vue la charge de choc.

c. Mécanisme de culbutage : Le mécanisme de culbutage s'espère en général à l'aide de vérin hydraulique à doubles effets, commander pour garder la charge à l'inclinaison voulue.

Brusquement ramené en portion « MAINTIEFN », lorsque la benne est en train de monté la pression ainsi intensifiée à l'extrémité trigo peut être renvoyée à l'extrémité pied éviter d'endommages, les vérins de levage.

d. Moteur : Le moteur est de type à quatre temps dont le piston est en haut de sa cause au moment de la combustion qui face un piston à descendre l'arque, le piston dépasse le milieu de la course de descente. Les soupapes d'échappement s'ouvrent et les gazes s'échappent à la chambre de combustion le piston continu sa descente jusqu'au fond le cause et découvre les orifices d'admission d'air.

e. Dispositif du freinage (circuit de freinage) : Les freinages peuvent être hydraulique ou pneumatiques agissants sur toutes les roues Motrices et directrices.

f. Poste de conduite : Il comprend les différents boutons pour la commande prévue actionneur tous les mécanismes du camion et le Siege du conducteur.

g. La benne : La benne est conçu pour prendre la charge surtout pensé pour les applications en carrières et mines, elle bénéficie de plaques de fond en alliage d'acier, pour supporte l'usure et l'impact s'en trouve ainsi optimisée, d'une hauteur, largeur, et longueur pour mettre la charge au-dessus.

I.3.2.2.2. Choix du type de camion :

Actuellement pour l'exploitation à ciel ouvert, on a tendance à utiliser les camions de grande capacité. Cela réduit les frais d'exploitation, main d'œuvre, entretien et de réparation.

En outre, l'utilisation d'une grande capacité diminue le coefficient de la tare. C'est pourquoi il est important de choisir correctement le type de camion d'après la relation entre capacité du godet de l'excavateur et celle de la benne de camion.[1]

Cette relation est fonction de la distance de transport, ainsi :

1/- Pour une distance de transport jusqu'à 1,5km, le choix du type de camion doit se faire d'après la relation suivante :

$$V_b = (4 - 6) . E ; m^3 \quad I-5$$

2/- Pour une distance de 1,5 à 5km, le camion doit être choisi d'après la relation suivante :

$$V_b = (6- 10) . E ; m^3 \quad I-5$$

3/- Pour une distance de 5 à 7km et plus, le camion doit être choisi d'après la relation suivante :

$$V_b = (8 - 12) . E ; m^3 \text{Où:}$$

V_b : le volume du camion à choisir (m^3)

E : la capacité du godet de l'excavateur en (m^3)

NB : les chiffres 4, 6, 10, 12 indiquent les nombres optimums de godet de l'excavateur.

I.3.2.2.3. rendement du camion et leur nombre :

Le nombre de camion se calcule en fonction de la production à assurer et du temps de rotation planifié par la carrière. Pour servir un seul engin de chargement il est nécessaire d'avoir le nombre de camion suivant :

$$N_C = \frac{t_{par}}{t_{ch}} ; \text{camion} \quad I-6$$

Où :

t_{par} : Durée de parcours d'un camion, min ;

t_{ch} : Durée de chargement d'un camion, min ;

La durée de parcours se calcule comme suit :

$$t_{par} = t_{ch} + t_r + t_d + t_m ; \text{min} \quad I-7$$

Où :

$t_r + t_d + t_m$: sont respectivement durée du trajet (en charge et vide), de déchargement et de manœuvres, min.

D'après ces expressions :

$$N_C = \frac{t_r + t_d + t_m}{t_{ch}} + 1 ; \text{camion} \quad I-8$$

La durée de chargement d'un camion se détermine comme suite :

$$t_{ch} = n_g \times t_c \quad \text{min} \quad \text{I-9}$$

Où :

n_g : Nombre de godet déversés dans la benne du camion ;

t_c : Durée d'un cycle de l'engin de chargement ; min ;

La durée de chargement d'un camion par les roches légères :

$$t_{ch} = \frac{V_b K_{ch}}{0,9 \cdot E \cdot K_r} \cdot t_{cy} ; \text{min}$$

La durée de chargement d'un camion par les minerais lourds :

$$t_{ch} = \frac{G_c \cdot K_f}{E \cdot K_r \cdot \gamma} \cdot t_{cy} ; \text{min} \quad \text{I-10}$$

Où

E :capacite du godet de l'engin de chargement (m^3)

K_f : coefficient de foisonnement dans le godet de l'engin de chargement

$0,9$: coefficient de la variation du K_f dans la benne du camion ;

K_{ch} : coefficient du chargement de la benne avec chapeau (1,1÷1,15)

La durée de parcours du camion à vide et en charge est :

$$t_{par} = \frac{L}{V_v} ; \text{min} \quad \text{Et} \quad t_{par} = \frac{L}{V_c} ; \text{min}$$

Où :

L : La distance moyenne de transport ;

V_v Et V_c : sont respectivement la vitesse du camion vide et chargé ;

Le choix du type de camion dépend principalement du rendement, 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.

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, à partir de ces conditions on aboutit à un choix rationnel des camions assurant la production planifiée de la carrière.

$$n_g = \frac{V_b}{E} \quad \text{I-11}$$

Où :

E : Capacité de la charge du godet, m^3 ;

V_b : Le volume de la benne du camion, m^3 ;

a. Rendement du camion :

Le rendement du camion est déterminé par la formule suivante :

$$R_C = \frac{60 * G_C * K_U * T_P * K_r}{t_c * K_f} ; \text{ t/poste} \quad \text{I-12}$$

Où :

T_p ; Durée d'un poste,

G_C : Capacité de la benne du camion,

K_U; Coefficient d'utilisation,

K_r; Coefficient de remplissage,

K_f; Coefficient de foisonnement,

T_C; Durée du cycle du camion,

Production postière des camions

$$R_C = \frac{60 * G_C * K_U * T_P * K_r}{t_c * K_f} ; \text{ t/poste} \quad \text{I-13}$$

$$N_C = \sum_{i=0}^n N_i \quad \text{I-14}$$

n: Nombre d'engin de chargement utilisés dans une carrière

b. Le nombre de camion :

Le nombre de camion est égale à :

$$N_C = \frac{K_i * W_c}{R_c * N_p} ;$$

K_i : coefficient d'irrégularité du travail de la carrière = (1,1÷1,15)

W_c : trafic de la carrière par jour (t)

N_p : nombre de poste de travail par jour

R_c : rendement effectif du camion par poste (t /p)

Nombre total de camions avec réserves :

Cette réserve garantit la production du chantier .On compte généralement au moins un camion en réserve sur six en marche. Cette réserve augmente en fonction du délai d'exploitation des camions. Donc, le nombre total de camions avec réserve sera :

$$N_{C.t} = \frac{N_C}{(0.7:0.8)} \quad \text{I-15}$$

Le nombre de camions en réserves sera :

$$N_{C,r} = N_{C,T} - N_C \quad I-16$$

Calculer le nombre de godets pour le chargement du camion :

$$ng = \frac{G \cdot K_f}{E \cdot K_r \cdot \gamma} \quad I-17$$

Où

g: est la capacité du camion en (t)

gr : est la masse de la roche se trouvant dans le godet de l'excavateur en (t)

$$g_r = \frac{E \times K_r \times \gamma}{K_f} ; t \quad I-18$$

Où

E : est la capacité du godet de l'excavateur en m³ ;

Kr : est le coefficient de remplissage du godet de l'excavateur

Kr= (0,75-1,3)

Kf : est le coefficient de foisonnement de la roche

γ: la densité de la roche en t/m³

I.4. Rendement général du chantier :

Le calcul du rendement général du chantier avec précision est un processus très difficile déterminé. Alors , il s'avère nécessaire de considérer les coefficients d'utilisation effective (CUE) et de mise à disposition (CMD) des engins miniers émanant de différentes classes d'heures d'une période de référence qui représente normalement soit un poste, soit une journée, soit une semaine, soit un mois, soit une année ; au lieu d'utiliser les rendements horaire et général du chantier. Cette période de référence peut être décomposée en différentes classes d'heures suivantes :

I.4.1. Heures théoriques ou possibles, HP :Elles représentent le total d'heures possibles dans une période donnée :

Un poste= 8 heures.

Un jour= 24 heures.

Un mois =30 jours= 720 heures (ou 8760/12=730 heures).

Une année = 365 jours = 8 760 heures...

Ces heures sont décomposées en deux classes :

- Les heures d'activité.
- Les heures d'inactivité.

I.4.2. Heures d'activité, HACT :

Elles représentent l'ensemble des heures pendant lesquelles les services d'exploitation et de maintenance sont en activité quelle que soit la période de référence considérée.

Elles sont décomposées en deux classes principales d'heures :

- Heures de mise à disposition, HMD.
- Heures de maintenance, HM.

I.4.2.1. heures de mise à disposition :

Ce sont les heures pendant lesquelles les engins sont mis à la disposition de la division de l'exploitation. Autrement dit, le total d'heures garanties par la division de Maintenance à l'Exploitation pour la réalisation de la production planifiée.

Elles sont décomposées en deux classes d'heures :

- Heures d'utilisation réelle ou effective.
- Heures improductives.

I.4.3.1. heures d'utilisation réelle ou effective, HUE :

Ce sont les heures effectivement prestées par les engins affectées à l'exploitation.

I.4.3.2. heures improductives, HIMP :

Ce sont les heures pendant lesquelles les engins qui sont mis à la disposition de l'exploitation ne travaillent pas à la production.

Il s'agit par exemple des heures de :

- Changement de poste.
- Attente poste.
- Minage.
- Déplacement des engins d'un chantier à l'autre.
- Ravitaillement en carburant.
- Visite de la division de maintenance.
- Manque du courant ou panne sèche.
- Autres arrêts divers indépendants de l'état de l'engin.

I.4.2.2. heures de maintenance, HM :

Ce sont les heures pendant lesquelles les engins sont à la disposition de la maintenance.

Il s'agit des heures qui correspondent aux périodes d'entretien, de réparation, de rénovation ou du retard dû aux approvisionnements en pièces de rechanges.

I.4.3. Heures d'inactivité, HINACT

Elles représentent les heures pendant lesquelles les engins ne sont sous la responsabilité directe ni de l'exploitation, ni de la maintenance.

Dans cette classe d'heures, nous considérons les heures de réserve qui sont les heures gérées par la direction du siège en cas de surabondance de la flotte d'engins. Les engins de réserve sont localisés à la maintenance.

Tableau I.1 :les classes d'heures

Classes d'heures principales (à utiliser) obligatoirement pour le calcul des coefficients).			Catégories d'heures (à utiliser facultativement).		
			1 ^{er} niveau : terminologie obligatoire	2 ^{eme} niveau : à définir par la société.	
Période de référence.	Heures possibles.	Heures d'inactivité.			
			Heures de maintenance.	Entretien préventif.	-visites systématiques. -entretien périodique. -réparation (révisions partielles). -modification/amélioration.
		Rénovation.		Démontage complet de l'engin.	
		Dépannage.		-intervention sur chantier. -intervention au garage.	
		Accident.			
		Attentes diverses.		-attentes manques sous-ensembles. -attentes manques rechanges. -attentes manque Atelier Tous sièges (ATS). -attentes manque personnel entretien. -attentes transport ou remorquage, ...	
		Heure de chômage		Temps morts.	Minage.
				Réserves.	Abondance de l'équipement disponible.
				Divers.	Attente chauffeurs, panne sèches.
				Changementes postes.	-Prise en charge. -ravitaillement.
		Heures d'activité.		Heures de régie.	-nettoyage chantier, pistes. -préparation chantier DEM. -Dépannage remorquages. -services généraux Siège.
				Heures de translation.	-Déplacement entre chantier et garage -Déplacement entre carrières.
				Heures de travail.	Production.

Connaissant toutes ces différentes classes d'heures, nous définissons :

- le coefficient de mise à disposition.
- le coefficient d'utilisation effective.
- le coefficient d'utilisation absolue.

I.4.3.1. Coefficient de mise à disposition, CMD :

C'est le rapport entre les heures de mise à disposition et les heures possibles.

$$CMD = \frac{HMD}{HP} 100; (\%). \quad I-19$$

I.4.3.2. Coefficient d'utilisation effective, CUE :

C'est le rapport entre les heures d'utilisation effective de l'engin et les heures de mise à disposition.

I.4.3.3. Coefficient d'utilisation absolu, CUA :

C'est le produit des coefficients de mise à disposition et d'utilisation effective.

$$CUA = CMD \times CUE = \frac{HMD}{HP} \times \frac{HUE}{HMD} = \frac{HUE}{HP} 100; (\%). \quad I-20$$

$$CUA = \frac{HUE}{HP} 100; (\%). \quad I-21$$

Ainsi, le coefficient d'utilisation absolu est le rapport entre les heures d'utilisation effective de l'engin et les heures possibles pendant une période de référence considérée.

I.5. Combinaison des opérations de chargement et transport :

La production dans la plupart des mines actuelles repose sur la combinaison du chargement et du transport. L'objectif est d'exploiter au maximum les capacités de production des équipements de chargement et de transport afin de réduire les coûts d'exploitation autant que possible.

En pratique, nous acceptons qu'un équipement de transport, qu'il s'agisse de bennes rigides ou articulées, soit rempli en trois à six passages. Ainsi, nous déterminons les capacités des engins de chargement, puis nous faisons correspondre les engins de transport en multipliant la capacité des engins de chargement choisis par trois à six.

Pour des raisons de praticabilité, les fabricants d'engins de chargement et de transport proposent une gamme variée de combinaisons d'engins de chargement et de transport, complétée par des engins de terrassement permettant une optimisation des opérations minières.

Ainsi, l'ingénieur des mines détermine la capacité des engins de chargement en fonction de la production requise. Ces engins de chargement sont suivis par les engins de transport, complétés par les engins de terrassement, assurant une production optimale.

Un mauvais choix d'engins de chargement aura des répercussions sur les résultats de la production. Cela est également vrai pour les engins de transport et les engins de terrassement. Les coefficients d'utilisation seront faibles malgré le nombre d'engins disponibles.

En ce qui concerne les temps de cycle, ils peuvent être déterminés en chronométrant les sites de production existants ou estimés à partir de calculs prenant en compte les différentes résistances au roulement et les pentes[10]. La première méthode est plus couramment utilisée pour les productions en cours et est de nature simple. La deuxième méthode est utilisée dans la planification et la conception.

Il convient de noter que la stratégie de l'entreprise tient compte de la gestion financière, des ressources humaines, de la législation, etc., qui ont un impact certain sur les opérations minières. Les finances peuvent permettre l'achat d'équipements de certaine qualité, par exemple jusqu'à un certain prix. Elles peuvent nous orienter vers des équipements relativement peu coûteux par rapport à ceux disponibles à un prix relativement élevé. Les ressources humaines ont une influence, par exemple dans le cas de la maintenance, où le gestionnaire peut être incité à engager des spécialistes pour l'entretien des équipements de production. La législation peut imposer à un fournisseur de ne pas être présent sur le site, etc....

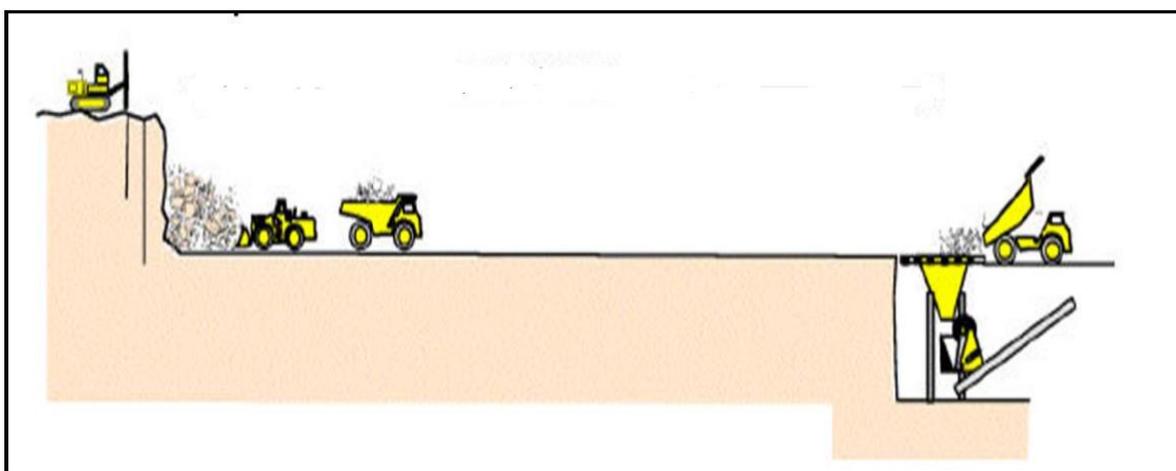


Figure I.10 : Processus de chargement et transport

I.6. Conclusion :

Dans une exploitation minière les opérations de chargement et de transport constituent deux processus d' une importance capitale et qui sont fortement liés. Le choix d' un couple de chargement /transport consiste à avoir à l'esprit qu'il faut réduire au maximum le temps d'immobilisation de l'engin de transport et obtenir un système qui présente le meilleur compromis "prix - contraintes d'exploitation " et notamment les contraintes d'environnement.

Dans un souci d'efficacité, un certain nombre de facteurs doivent être considérés pour choisir la meilleure flotte possible et donc la plus rentable :

- Disponibilité des engins au cours de leurs postes
- Temps du cycle
- regroupement (théorie de la file d'attente) : La meilleure planification est celle qui pourra éviter au maximum les regroupements inutiles aux points de chargements et de déversements et arriver à la saturation de la chargeuse
- le choix de la taille du godet.

Chapitre 2

Prise de décision multicritère

II.1. Introduction :

Face à un problème de décision, le décideur et l'homme d'étude vont être amenés à juger et à évaluer les différentes actions potentielles. Pour rendre compte de tels jugements.

Les méthodes de classement peuvent être utilisées pour réduire le champ des sujets possibles à quelques candidats potentiels. La prise de décision multicritère (MCDM) et les méthodes d'optimisation sont utiles à des fins de classification ; Surtout lorsque de nombreux critères complexes doivent être pris en compte simultanément.[11]

Dans ce chapitre, on va présenter au premier lieu une définition des méthodes d'aide à la décision multicritères avec leurs principales classifications. En second lieu on a présentés en détail les principales étapes et processus d'élaboration de chaque méthode.

II.2. Définition de L'aide à la décision multicritères :

L'aide à la décision est un ensemble de concepts dont l'objectif est d'aider un utilisateur dans un processus de décision. Cette aide fournie à l'utilisateur se veut être la plus en adéquation avec ses préférences.

Multi-criteria decision-making (MCDM) ou Multi-criteria decision-analysis MCDA sont des acronymes bien connus pour la prise de décision à critères multiples et l'analyse de décision à critères multiples; Ce sont des sous domaine de l'aide à la décision, qui évalue explicitement plusieurs critères pour résoudre des problèmes complexes avec un grand nombre d'alternatives et d'objectifs contradictoires. Cela pourrait correspondre au choix de la meilleure alternative parmi un ensemble d'alternatives disponibles ou l'alternative la plus préférée.[12]

Ces critères sont typiques dans l'évaluation des options: le coût ou le prix est généralement l'un des principaux critères, et une certaine mesure de la qualité est généralement un autre critère, facilement en conflit avec le coût. (dans la vie quotidienne et dans des contextes commerciaux, gouvernementaux et médicaux).

II.3. Historique de l'aide à la décision :

L'origine de l'aide à la décision comme détaillée par Alexis Tsoukiàs dans[13] peut être située dans la période d'avant deuxième guerre mondiale; elle se trouve dans les études menées par l'armée britannique dans le cadre de l'installation des systèmes radar et les efforts de décodage du code secret des communications allemandes (1936-37).

En 1951, Arrow [14] publie son célèbre théorème d'impossibilité montrant que l'agrégation des préférences d'individus rationnels, sous des conditions réputées naturelles (universalité, indépendance, respect de l'unanimité, non existence de dictateur), est impossible (si le résultat doit être un ordre complet). Ce théorème, qui, d'une part, va conclure la discussion ouverte avec les contributions de Borda et Condorcet au XVIIIème siècle

Au début des années 60 paraît le célèbre papier de Zadeh[15]sur les ensembles flous; celui-ci va introduire une nouvelle perspective dans le traitement de l'incertitude, de l'ambiguïté et des variables linguistiques.

Nous pouvons conclure l'histoire en remarquant qu'à la fin des années 60, début des années 70; la recherche opérationnelle et la théorie de la décision se trouvent à un point de fort développement tant du point de vue scientifique que professionnel.

II.4. Objectif de l'aide à la décision

L'objectif de l'aide à la décision n'est donc pas de prendre la décision à la place du décideur mais bien de lui donner les informations pertinentes pour qu'il puisse les comprendre, lui donner des éléments de solution et les conséquences de chaque alternative afin qu'il puisse prendre la décision la plus appropriée. Il ne s'agit pas de décision optimale mais de décision satisfaisante.[5]

II.5. Notion de critère :

Les critères vont être le moyen utilisé pour décrire les actions. Formellement, on représentera les critères par des fonctions à valeurs réelles. On peut définir le critère :

- a. **Selon Vincke** : Un critère est une fonction g définie sur l'ensemble A des actions, qui prend ses valeurs dans un ensemble totalement ordonné, et qui représente les préférences du décideur selon un point de vue. Lorsque le problème repose sur la considération de plusieurs critères, nous les notons g_1, \dots, g_n dans la suite nous parlerons indifféremment du critère g_j ou du critère j . L'évaluation d'une action a suivant le critère j est notée $g_j(a)$. [16]
- b. **Selon Fishburn** : Un critère peut donc être défini comme le moyen de modéliser un point de vue. Cependant, plusieurs aspects d'une action peuvent concourir à un même point de vue. Par exemple, si l'on s'intéresse au point de vue confort d'une automobile, plusieurs aspects doivent être pris en compte comme la suspension, la tenue de route, le niveau sonore, etc. Un critère peut donc résulter d'une agrégation de sous critères. Roy définit l'ensemble de ces sous critères comme le sous nuage des conséquences et définit un critère de la manière suivante. [17]
- c. **Selon Roy** : un critère est une Fonction g , définie sur l'ensemble des actions potentielles de telle sorte qu'il soit possible de raisonner ou de décrire le résultat de la comparaison de deux actions a et b à partir de $g(a)$ and $g(b)$. [18]

II.6. Matrice multicritères :

Matrice multi critères Est un outil de décisions collectives avec des points de vue divergents fondé sur une comparaison objective de différentes idées. Elle se présente comme une alternative aux méthodes de décision classiques basées sur la définition d'une fonction unique. La sélection de la solution est le résultat d'une comparaison rationnelle entre ces options et ces critères. Les interprétations sont évitées puisque la négociation s'effectue au niveau de la pondération des critères et non au niveau de l'analyse des solutions. [19]

II.7. Étapes générales du MCDM :

La matrice multicritère peut être déclinée sous la forme d'une matrice de compatibilité. Cette matrice a pour but d'analyser la compatibilité entre les options et les critères. Lorsqu'on pose un problème multicritère un processus de prise de décision déclenche pour résoudre ce problème. Ce dernier comporte trois étapes :

II.7.1. Structuration d' un problème de décision :

Cette étape doit planifier le type d'actions à entreprendre pour chacune des activités suivantes

- Identifier le(s) décideur(s).
- Définir le(s) but(s).
- Analyser les alternatives réalisables qui seront évaluées.
- Déterminer les critères d'évaluation des conséquences de chaque alternative.

II.7.2. Détermination et application de la méthode :

La méthode MCDM ne doit pas être choisie avant que le problème de décision ait été structuré ainsi que le contrôle de l'applicabilité de méthode au problème. Cette étape peut couvrir les activités suivantes :

- Pondération de l'importance de chaque critère par rapport à l'objectif (Dresser la liste des critères à prendre en considération).
- Noter la préférence de chaque alternative par rapport au critère (Établir le tableau des performances).
- Calculer les notes globales pondérées des alternatives.
- Classement de toutes les alternatives réalisables en fonction du score pondéré (Agréger les performances).

II.7.3. Détermination de la recommandation finale MCDM :

Les résultats obtenus doivent être examinés en détail, en effectuant une analyse de sensibilité qui peut être utilisée pour répondre aux exigences du choix désiré.[3]

II.8. Catégories décisionnelles multicritères :

Le choix de l'opérateur d'agrégation est donc crucial dans le processus d'aide à la décision. Comme indiqué, Il existe de nombreux opérateurs d'agrégation, avec différentes caractéristiques qui peuvent être liées à de nombreux aspects, de la qualité des réponses au type de problème que ces méthodes résolvent.[20]

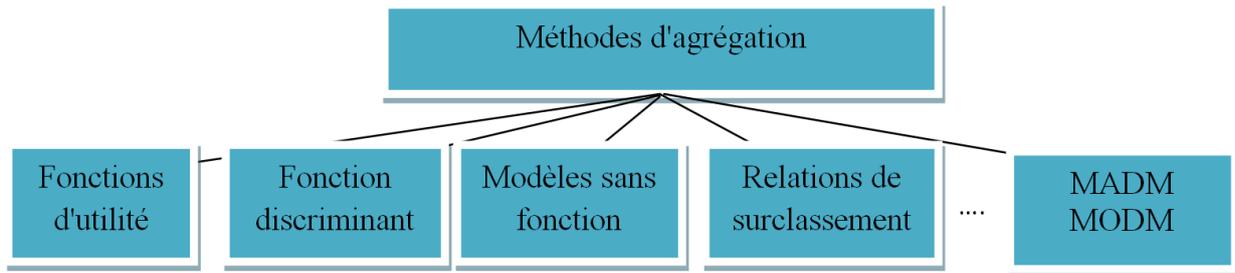


Figure II-1. Opérateurs d'agrégation

II.8.1. Fonctions d'utilité :

L'utilité d'une alternative est la performance de cette alternative compte tenu de tous les critères. Cette méthode est utilisée pour servir d'index qui aide à décider lors du tri des alternatives dans les ensembles prédéfinis.

II.8.2. Fonction discriminante :

Bien qu'ils soient similaires à la fonction d'utilité, ces modèles ne peuvent pas être impliqués comme une sorte de modèle de préférence. Ces modèles ne fonctionnent pas sur la base des ordres de préférences parmi les domaines de critères et les classes de décision. De plus, c'est une méthode linéaire avec des critères quantitatifs (dans la nature ou en quantifiant les qualitatifs).

II.8.3. Relations de sur classement :

Lorsque suffisamment d'arguments sont disponibles pour confirmer qu'une alternative est aussi bonne qu'une autre, l'utilisation de cette méthode et de ses relations binaires permet d'évaluer les alternatives en évaluant leur degré de sur classement.

II.8.4. Approches compensatoires, non compensatoires et compensatoires partielles :

En plus du type de catégorie ci-dessus, la MCDM peut être classée en approches compensatoires, approches non compensatoires et approches compensatoires partielles. Cette approche est basée sur la faisabilité des critères négatifs sur les attributs lorsqu'ils sont compensés par des critères positifs.

II.8.5. Prise de décision individuelle ou en groupe :

Une approche simple consiste à distinguer les méthodes MCDM selon qu'il s'agit d'une prise de décision individuelle ou en groupe qui tient compte du nombre de décideurs.

II.8.6. Informations qualitatives/quantitatives ou certaines/incertaines :

Les informations qualitatives/quantitatives ou certaines/incertaines peuvent être considérées comme un autre type de classification.

II.8.7. Méthodes basées sur des compromis et non basées sur des compromis :

De plus, les types de méthodes de pondération qui sont généralement deux types de méthodes basées sur des compromis et non basées sur des compromis sont une autre façon de distinguer les types de problèmes MCDM.

II.8.8. MODM ou MADM :

Ce sont les méthodes les plus couramment utilisées, les critères sont considérés comme deux types : attributs et objectifs. Dans [21] Hwang et Yoon ont divisé les problèmes MCDM en deux catégories principales basées sur le nombre d'alternatives. Les sous-groupes peuvent aussi être nommés innombrables (avec des réponses admissibles infinies) et dénombrables (avec des réponses admissibles finies).

Le premier sous-groupe (MODM) se concentre sur des espaces de décision continus avec un nombre infini d'alternatives et est également connu sous le nom de problèmes continus de prise de décision. la solution au problème est situé dans une région réalisable (où se trouvent les alternatives).

Le deuxième sous-groupe (MADM) : est également connu sous le nom de problèmes discrets et se concentre sur les problèmes avec des alternatives de décision explicitement connues avec des nombres finis. la solution choisit est un nombre discret d'alternatives [21].

II.9. Techniques du MCDM :

En raison de la difficulté de la procédure de prise de décision, diverses techniques MCDM telles que le modèle pondéré par produit, le processus de hiérarchie analytique (AHP) [22], le modèle de somme pondérée [23], l'élimination et la sélection de la réalité, la préférence de commande par similarité à la solution parfaite (TOPSIS). et l'optimisation multi-objectifs Basé sur l'analyse des ratios (MOORA) [24].

II.9.1. Somme pondérée :

La somme pondérée est relativement facile à mettre en œuvre. Disposant de la liste des critères et de la liste des alternatives avec leur évaluation sur chaque critère,

II.9.2. Données (alternatives):

Est une matrice composée en ligne par les alternatives et en colonne par leur évaluation sur chaque critère.

II.9.3. Résultats (valeurs Agréees) :

Un vecteur contenant les valeurs agrégées des différentes alternatives.

Il suffit de suivre l'algorithme suivant pour ce faire:

Début

Pour i allant de 1 à nb Alternative faire

 valeurs Agréees [i]=0

 Pour j allant de 1 à nb Critere faire

 valeurs Agréees[i]=+ alternatives[i][j]*criteres[j]

 fin

 fin

retourner valeurs Agreges

fin

II.9.4. Théorie de l'utilité multi-attribut :

La théorie de l'utilité (M.A.U.T, Multi Attribute Utility Theory) a fait l'objet de nombreux travaux, dont ceux de Fishburn et de Keeney-Raiffa[17]. Les méthodes issues de la théorie de l'utilité sont fondées sur le principe de la fonction d'utilité. Les méthodes MAUT tentent de modéliser les préférences du décideur par une fonction dite "d'utilité" en utilisant différents outils mathématiques. Il existe différentes méthodes MAUT, selon le principe de définition des fonctions d'utilité mono-dimensionnelles u_i ainsi que la fonction d'agrégation f

II.9.5. La méthode des métriques pondérées (Method of Weighted Metrics):

Cette méthode sélectionne un vecteur de critères qui minimise une distance à une solution de référence $R = ((R_1, \dots, R_k), (1, \dots, 1))$. Le vecteur R est soit le point idéal, soit une solution de référence fixée par le décideur en fonction de ses préférences[25]. Mathématiquement parlant, la méthode consiste à minimiser une distance Δ_p définie comme suit :

$$\Delta_p(x) = \left(\sum_{i=1}^k \omega_i (R_i - f_i(x))^p \right)^{\frac{1}{p}} \tag{II-1}$$

Selon la valeur de p, trois cas particuliers de distances bien connues, la figure suivante donne une représentation graphique des trois distances:

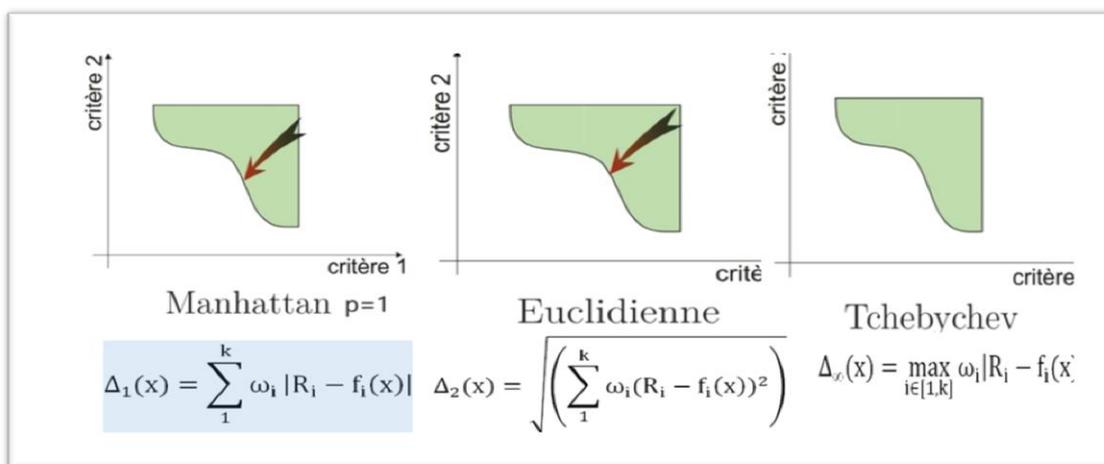


Figure II-2. distances La méthode des métriques pondérées

II.9.6. Méthode de programmation par buts (Goal programming) :

La méthode consiste à minimiser les déviations de chaque critère par rapport à son but. Cependant, le problème de décision est ramené à la minimisation d'un vecteur de variables de déviation. Il est par conséquent primordial de définir une fonction d'agrégation des différentes composantes de ce dernier.[26]

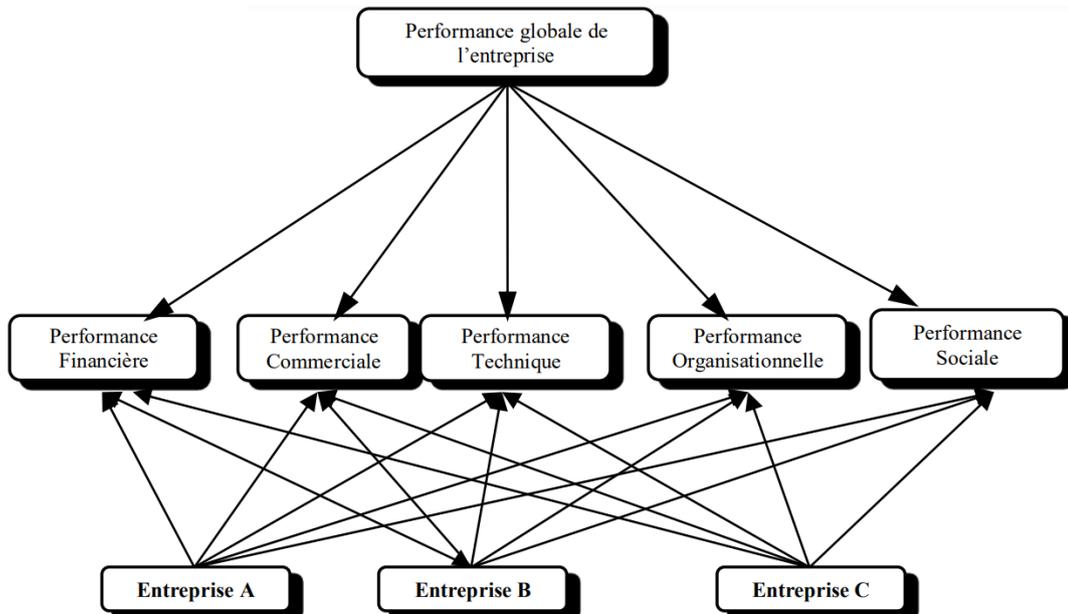
Premièrement, on définit k valeurs réelles F_1, \dots, F_K qui représentent les buts à atteindre pour les fonctions objectifs f_1, \dots, f_K respectivement. Finalement, on obtient le problème suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser: } (\delta_1^+ \text{ ou } \delta_1^-, \dots, \delta_k^+ \text{ ou } \delta_k^-) \\ f_1(x) = F_1 + \delta_k^+ - \delta_k^- \\ \dots \\ f_k(x) = F_k + \delta_k^+ - \delta_k^- \\ g_j(x) \leq 0; j = 1, 2, \dots, m \end{array} \right. \quad \text{II-2}$$

II.9.7. Processus d'analyse hiérarchique (AHP) :

Cette méthode est basée sur l'ordre des alternatives à la décision, Elle est utile si le décideur ne peut pas construire sa propre fonction utilitaire, et ensuite elle choisit les meilleures à la lumière d'un certain nombre de critères spécifiques.

Ce processus d'analyse est une théorie et une méthodologie de mesure relative mise au point par Thomas L. Saaty durant la période 1977-1980[27].



FigureII-1: Hiérarchie générale de la méthode AHP

Cette méthode est basée sur l'ordre des alternatives à la décision et choisit ensuite les meilleures à la lumière d'un certain nombre de critères spécifiques, en attribuant des points numériques pour organiser chaque alternative en fonction de sa contribution à la réalisation des critères du décideur.

Étape 1 : Le problème de décision est divisé en ses principaux composants selon une hiérarchie comprenant : l'objectif, critères principaux, critères secondaires (le cas échéant) et les alternatives, représentant la partie la plus importante et la plus créative du processus de prise de décision.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & a_{mm} \end{bmatrix} \quad \text{II-3}$$

Étape 2 : Les données sont compilées par des experts et des décideurs en fonction de la structure hiérarchique, la Normalisation de la matrice de décision est effectuée à l'aide de l'équation suivante :

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad \text{II-4}$$

Les experts peuvent évaluer ces comparaisons comme étant égales, moyennes, fortes, très fortes ou absolues.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdot & \cdot & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdot & \cdot & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdot & \cdot & b_{mm} \end{bmatrix} \quad \text{II-5}$$

Étape 3 : dans cette parties comparaisons par paires entre les différents critères sont représentées dans une matrice carrée d'un diamètre égale à 1. le vecteur colonne W représentant les poids des critères est calculé

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} w_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}}{m} \quad \text{II-6}$$

Étape 4 : La valeur propre λ est obtenue en prenant la valeur moyenne arithmétique des valeurs E_i , qui est calculée à l'aide de l'équation.

$$E = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, 3 \dots m) \quad \text{II-7}$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{m} \quad \text{II-8}$$

TableauII-1 : Échelle de préférence de Saaty[28]

Degree d'importance	Definitions	Explications
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	Un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à Un autre
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	Un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible
2,4,6,8	Valeurs intermediaires	Exprime des entrées ambiguësre présentées par une valeur consensuelle entre deux valeurs adjacentes

Étape 5 : Calcule de la note de performance prioritaire globale et prenez une décision finale. L'équation II-7représente l'indicateur de cohérence (IC).

$$IC = \frac{\lambda - m}{m - 1} \quad \text{II-9}$$

Le rapport de cohérence (CR) peut également être calculé à l'aide du tableau II-1 et de l'équation.

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad \text{II-10}$$

Les données obtenues sont cohérentes si le CR est inférieur à 10 %. Si le RC est supérieur ou égal à 10 %, les résultats obtenus ne sont pas concluants, la matrice de comparaison doit donc être mise à jour[29].

II.9.8. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution):

Hwange et Yoon ont développé une technique pour résoudre le MCDM connue sous le nom de méthode TOPSIS. Pour prendre en charge la distance euclidienne la plus courte. Cette technique aide à classer les alternatives de proximité basées sur la solution idéale optimale et a obtenu le niveau maximum à partir des alternatives disponibles. La meilleure alternative a le rang un et les pires approches alternatives le rang zéro[30][31].

Les étapes de cette approche sont les suivants :

Étape 1 :cette étape consiste a Créé la matrice de données expérimentales pour différents critères (colonne) et alternatives (lignes).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{q1} & a_{q2} & \cdot & \cdot & a_{qm} \end{bmatrix} \quad \text{II-11}$$

Étape 2 : La matrice de choix est normalisée dans cette étape. le carré de chaque valeur a_{ij} est calculé et les valeurs normalisées sont établies a la matrice normalisée N à l'aide de l'équation. II-10 et II-11 :

$$N = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^q a_{ij}^2}} \quad \text{II-12}$$

$$N_{ij} = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1m} \\ n_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ n_{q1} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{qm} \end{bmatrix} \quad \text{II-13}$$

Étape 3: La matrice de choix est pondérée dans cette étape, les pondérations AHP sont calculé set la matrice de décision pondérée est créer et. Les éléments de la matrice U doivent être pris comme $u_{ij} = n_{ij}w_j$

$$U_{ij} = \begin{bmatrix} n_{11}w_1 & n_{11}w_2 & \cdot & \cdot & n_{1m}w_m \\ n_{21}w_1 & n_{21}w_2 & \cdot & \cdot & n_{2m}w_m \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ n_{q1}w_1 & \cdot & \cdot & \cdot & n_{qm}w_m \end{bmatrix} \quad \text{II-14}$$

Étape 4: Cette étape consiste à calculer les solutions de résolution idéales et les solutions de résolution idéales négatives.

L'équation II-13 donne des valeurs de solution idéales négatives pour chaque colonne.

$$A^- = \{\min U_{ij}\} \Rightarrow A^- = \{U_1^-, U_2^-, \dots \dots U_m^-\} \quad \text{II-15}$$

Les valeurs maximales pour chaque colonne sont obtenue sa l'aide de l'équation suivante.

$$A^+ = \{\max U_{ij}\} \Rightarrow A^+ = \{U_1^+, U_2^+, \dots \dots U_m^+\} \quad \text{II-16}$$

Étape 5: Le calcul des distances idéales positives (S_i^+) et négatives (S_i^-) est effectué dans cette étape:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (U_{ij} - U_j^-)^2}, \quad \text{II-17}$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (U_{ij} - U_j^+)^2} \quad \text{II-18}$$

Étape 6: les scores relatifs de chaque choix sont déterminés dans cette phase ; la valeur de C_i^* (proximité relative avec la résolution idéale solution) est Calculé par l'équation II-18 en utilisant un espacement de points idéal et non idéal.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad \text{II-19}$$

II.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les différentes façons d'interpréter la résolution d'un problème MCDM. On a cité les différentes techniques de la méthode et les méthodes d'agrégation connue. Le choix de l'opérateur qui est fondamental dans ce travail a été discuté.

Nous détaillons également les deux techniques (AHP et TOPSIS) qu'on va utiliser dans notre cas d'étude.

Chapitre 3

Application de la Méthode MCDM

(AHP~TOPSIS)

Sur le Processus de Chargement et Transport

III.1. Introduction

Le processus de chargement et de transport dans les mines sont souvent confrontés à plusieurs problèmes qui peuvent entraver l'efficacité et la rentabilité des opérations minières. Ces problèmes peuvent varier en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque site minier, mais certains défis communs se posent fréquemment le problème le plus courant est le dispatching et la gestion des engins à cause de multiples options.

Dans ce chapitre, nous utiliserons la méthode MCDM en appliquant les techniques AHP et TOPSIS dans le processus de chargement et de halage dans les mines, pour optimiser les opérations minières, améliorer la productivité, éviter les temps mort réduire les coûts.

III.2. Présentation de la mine :

La mine d'El-Ouenza se trouve entre le tell et l' Atlas Saharien à 170 km au sud-est d' Annaba et à 80 km au nord de Tébessa. Elle appartient à la zone des hautes plaines, caractérisée par de gros massifs calcaires émergeant de 600 à 1200 m.

Djebel Ouenza dont la partie orientale est située en territoire tunisien fait partie des zones diapiriques de l' Atlas Saharien, il se trouve dans la région des monts du Mellègue en formant un anticlinal orienté NE-SW et s' étend sur une longueur de 12 Km et une largeur de 5 Km.

Les principales voies de communications sont représentées par un réseau routier reliant l' Ouenza aux villes voisines ; Tébessa, Souk-Ahras et Annaba. Une ligne de chemin de fer relie la mine de l' Ouenza au complexe sidérurgique d' El Hadjar où s' effectue le traitement du minerai de fer.

La topographie est très caractéristique de celle de l' Atlas saharien. Son relief est assez Accidenté. L' altitude maximale signalée à Djebel Ouenza est de 1288 m au niveau du Chagora-pic et les dimensions de ce gisement sont de 12 km environ de long et 5 km de large.

III.3.1. Historique de l'entreprise:

C'est vers 1875 que le gisement de fer de l'Ouenza entra dans l'histoire minière, en effet

- En 1875 l'ingénieur des mines TISSOT signale l'importance des affalements de minerais de fer de l'Ouenza.
- En 1878, le premier permis de recherche de fer.
- En 1901, le prospecteur PASCAL. Obtient la concession de djebel Ouenza.
- En 1913, constitution de la société de l'Ouenza.
- En 1921, début de l'exploitation.
- En 1966, nationalisation des mines.
- 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.

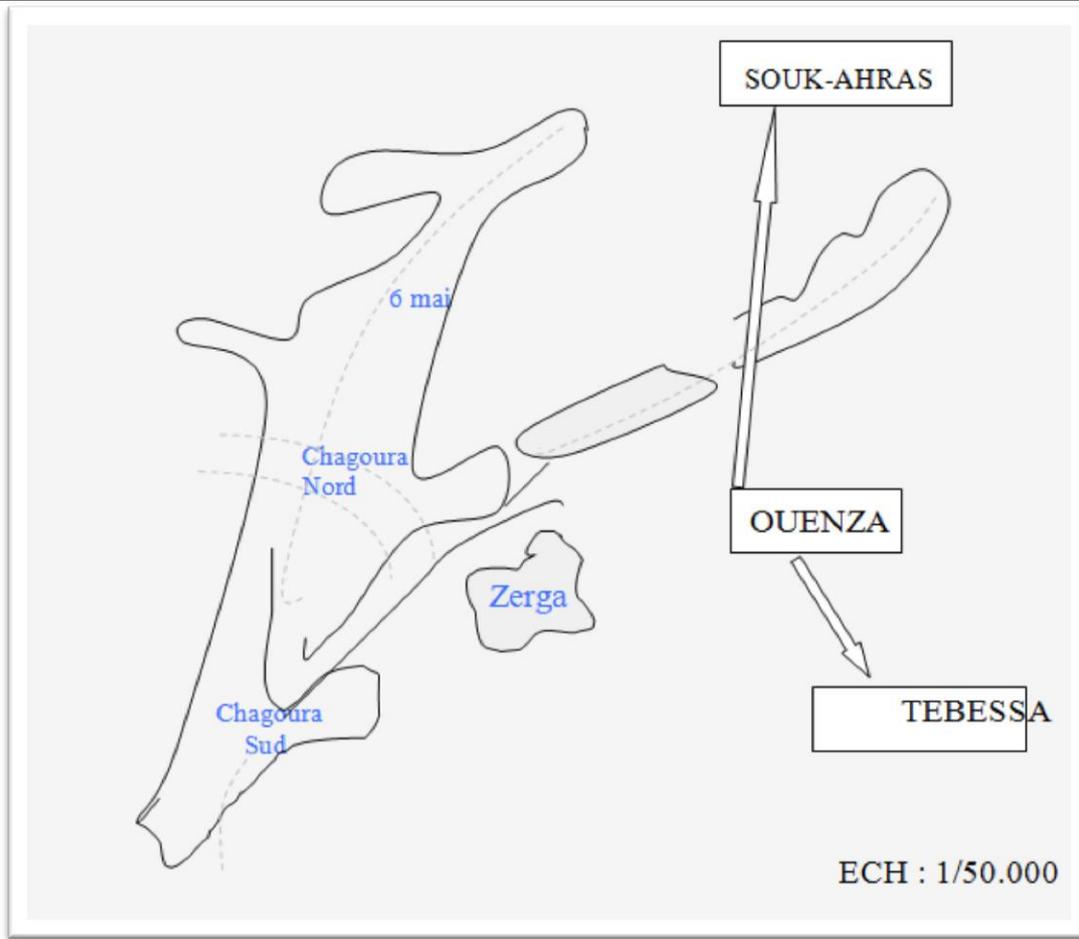


Figure III.1 : Situation géographique

III.3.2. La minéralisation :

Les minerais sont constitués essentiellement d'hématite qui résulte de l'oxydation des amas de sidérose et de pyrite. Le carbonate provient lui-même du métamorphisme des calcaires récifaux de l'aptien. Les hydroxydes de fer sont le résultat de la désagrégation de l'hématite.

Outre le minerai de fer, il faut signaler une très faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu..., le long de la faille du pic.

Suite à la structure et la nature des roches, le gisement est divisé en **07 quartiers** ou gites principaux, et il s'agit de : Chagoura sud, pic, Chagoura nord, 6 Mai (Conglomérat+ Illout), Hallatif, Douamis et Zerga.

Tableau III.1 : La minéralisation de gisement

Les gites	Teneur moyenne Fe	Teneur SiO ₂
Chagoura sud-pic	47.29%	5.48%
Chagoura nord	48%	5 à 6%
6 Mai	Corps n°1 et 2 50%	4.8%
	Corps n°3 et 4 45%	7%
Hallatif-Douamis	53%	5%- 2%
Zerga	Hors exploitation	Hors exploitation

III.3.3. Estimation des réserves :

En général, le quartier 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.

Quant aux corps délimités par des sondages uniques où l’information géologique est insuffisante et les parties extrapolées de C1, sont classées dans la catégorie C2.

Le calcul des teneurs moyennes par corps et par catégories a été fait, comme pour les autres quartiers, par la méthode de la moyenne pondérée. Une pondération par rapport à la longueur de l’intervalle minéralisé, puis par rapport à la surface limitée par les sondages sur les coupes.

En fin par rapport au volume inclus entre deux coupes voisines. L’interprétation des coupes verticales élaborées a permis de distinguer six corps minéralisés indépendants situés dans les limites des coupes 4bis et 11.

III.3. Calcul les paramètres nécessaires des équipements miniers de chargement et transport :

La mine d’El’Ouenza possède deux chargeuses CATERPILLAR, deux pelles hydrauliques LIEBHERR, et CATERPILLAR, 12 camions CATERPILLAR775G.

Durant la période de stage, j’ai eu l’occasion d’assister toutes les opérations du cycle de production des minéraux utiles et roches stériles. Le processus de chargement et de transport se réalise à l’aide d’une chargeuse CATERPILLAR 990K et une pelle hydraulique LIEBHERR et sept camions de type CATERPILLAR 775G. Afin d’optimiser les paramètres de chargement et de transport de la mine d’El-Ouneza on va appliquer la méthode MCDM (AHP-TOPSIS) pour

choisir le mieux des cinq Scenarios proposé .En se basant sur la minimisation des pertes de temps produit par la méthode de gestion et d'affectation des engins de chantier [28].

La création des Scenarios est basé sur la mise en place des pelles et des chargeuses dans les trois chantiers en activité ; puis on a fait le dispatching des sept camions dans le schéma de transport (chantier-concasseur/ chantier- mis a terriil)

III.3.1. Scenario 01 :

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Tant que on a trois chantier dans la carrière principal deux de minerai et l'autre de stérile avec sept camion, deux pelles et une chargeuse donc il faut distribuer les moyens de chargement et de transport pour les deux chantiers afin de minimisé les pertes de temps de chargement et l'augmentation de rendement général de chantier.

Chantier 01 : niveau stock à distance 1550m:

Une seule pelle CATERPILLAR et quatre camions pour le minerai.

Chantier 02 : niveau 830 à distance 1050m

Une seule pelle LIBHEER et deux camions pour le stérile.

Chantier 03 : niveau 800 à distance 950m

Une seule chargeuse et un camion pour le minerai.

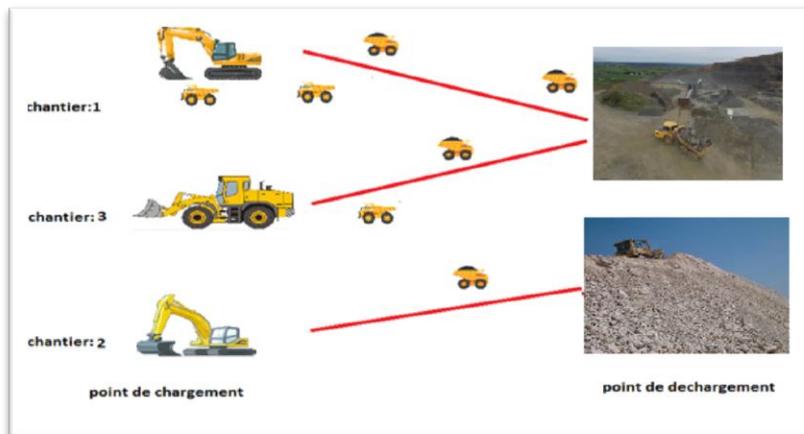


Figure II.2 : schéma de dispatching des engins du 1^{er} scenario

On calcule les trois paramètres (temps d'attente des pelles, des camions et la productivité) de ce scenario :

Chantier 01 :

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = N_c \times t_{ch}; min \quad \text{III-1}$$

$$T_{ch} = 28 \text{ min}$$

Nombre de cycle par post $N_{cycle/p}$:

$$N_{cycle} = \frac{60 \times t_p}{T_{par}}; \quad \text{III-2}$$

$$N_{cycle} = 17 \text{ cycle/p}$$

t_p : Durée d'un poste de travail, (8h)

T_{par} : Temps du trajet parcouru par le camion allée + retour+ temps d'attente de camion.

Temps d'attente de camion :

$$t_{att.c} = N_{cycle} \times N_c \times (T_{par} - T_{ch}); \text{min/p} \quad \text{III-3}$$

$$t_{att.c} = 408 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = N_{cycle} \times N_c \times C_b; \text{t/p} \quad \text{III-4}$$

$$R = 4452 \text{ t/p}$$

Chantier 02 :

Nombre de camion=2

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = N_c \times t_{ch}; \text{min} \quad \text{III-5}$$

$$T_{ch} = 11 \text{ min}$$

t_{ch} : Temps de chargement du camion, (min)

Nombre de cycle par post N_{cycle} :

$$N_{cycle} = \frac{60 \times t_p}{T_{par}};$$

t_p : Durée d'un poste de travail, (8h)

T_{par} : Temps du trajet parcouru par le camion allée + retour

$$N_{cycle} = 26 \text{ cycle/p}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = N_{cycle} \times (T_{par} - T_{ch}); \text{min/p} \quad \text{III-6}$$

$$t_{att.p} = 182 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = N_{cycle} \times N_c \times C_b ; t/p \quad \text{III-7}$$

$$R = 2756 \text{ t/p}$$

Chantier 03 :

Nombre de camion=1

t_{ch} : Temps de chargement d'un camion=8min.

T_{par} : Temps de parcours : 20min.

T_{ch} : Temps de chargement total :

$$T_{ch} = N_c \times t_{ch}; \text{min} \quad \text{III-8}$$

$$T_{ch} = 8 \text{ min}$$

Nombre de cycle par post $N_{cycle/p}$:

$$N_{cycle} = \frac{60 \times t_p}{T_{par}}; \quad \text{III-9}$$

$$N_{cycle} = 24 \text{ cycle/p}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = N_{cycle} \times (T_{par} - T_{ch}); \text{min} \quad \text{III-10}$$

$$t_{att.p} = 288 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = N_{cycle} \times N_c \times C_b ; t/p \quad \text{III-11}$$

$$R = 1272 \text{ t/p}$$

Après le calcul des composantes de chaque chantier ; alors toutes les données de calcul des paramètres du scénario sont connues.

Temps d'attente des pelles de scénario :

$$T_{att.p} = t_{att.p1} + t_{att.p2} + t_{att.p3} ; \text{min/p} \quad \text{III-12}$$

$$T_{att.p} = 327; \text{min/p}$$

Temps d'attente des camions de scénario:

$$T_{att.c} = t_{att.c1} + t_{att.c2} + t_{att.c3} ; min/p \quad \text{III-13}$$

$$T_{att.c} = 408 ; min/p$$

Rendement :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 ; t/p \quad \text{III-14}$$

$$R = 7632t/p$$

De la même manière que nous avons calculé le premier scénario, nous calculerons le reste des autres scénarios, en tenant compte des variables qui se produisent dans chaque chantier.

III.3.2. Scenario 02:

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Tant que on a trois chantier dans la carrière principal deux de minerai et l'autre de stérile avec sept camion, deux pelle et une chargeuse donc il faut distribuer les moyens de chargement et de transport pour les trois chantiers afin de minimisé les pertes de temps de chargement et l'augmentation de rendement général de chantier.

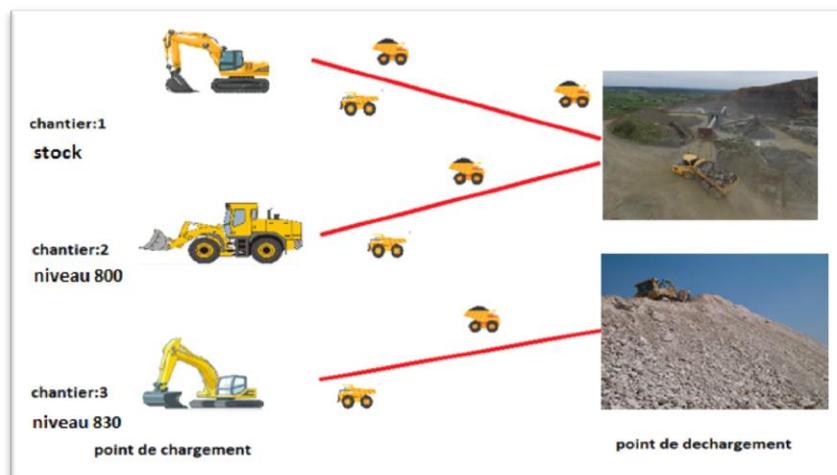


Figure III.3 : schéma de dispatching des engins du 2^{ème} scénario

Chantier 01 : niveau stock à distance 1550m:

Une seule pelle CATERPILLAR et trois camions pour le minerai.

Chantier 02 : niveau 830 à distance 1050m

Une seule pelle LIBHEER et deux camions pour le stérile.

Chantier 03 : niveau 800 à distance 950m

Une seule chargeuse et deux camions pour le minerai.

On calcule les trois paramètres (temps d'attente des pelles, des camions et la productivité) de ce scénario :

Chantier 01 :

Nombre de camion=3

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 21 \text{ min}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 21 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 3339 \text{ t/p}$$

Chantier 02 :

t_{ch} : Temps de chargement d'un camion=5.5min.

T_{par} : Temps de parcours : 18min.

Nombre de camion=2

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 11 \text{ min}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 182 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 2756 \text{ t/p}$$

Chantier 03 :

t_{ch} : Temps de chargement d'un camion=8min.

T_{par} : Temps de parcours : 20min.

Nombre de camion=2

T_{ch} : Temps de chargement total :

$$T_{ch} = 16 \text{ min}$$

Nombre de cycle par post N_{cycle} :

$$N_{cycle} = \frac{60 \times 8}{16}$$

$$N_{cycle} = 24 \text{ cycle/p}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 96 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 2544 \text{ t/p}$$

Temps d'attente des pelles de scenario :

$$T_{att.p} = 593; \text{ min/p}$$

Temps d'attente des camions de scenario:

$$T_{att.c} = 0; \text{ min/p}$$

Rendement :

$$R = R_1 + R_2 + R_3; \text{ t/p} \quad \text{III-15}$$

$$R = 8639 \text{ t/p}$$

III.3.3. Scenario 03 :

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Tant que on a trois chantier dans la carrière principal deux de minerai et l'autre de stérile avec sept camion, deux pelle et une chargeuse donc il faut distribuer les moyens de chargement et de transport pour les trois chantiers afin de minimisé les pertes de temps de chargement et l'augmentation de rendement général de chantier.

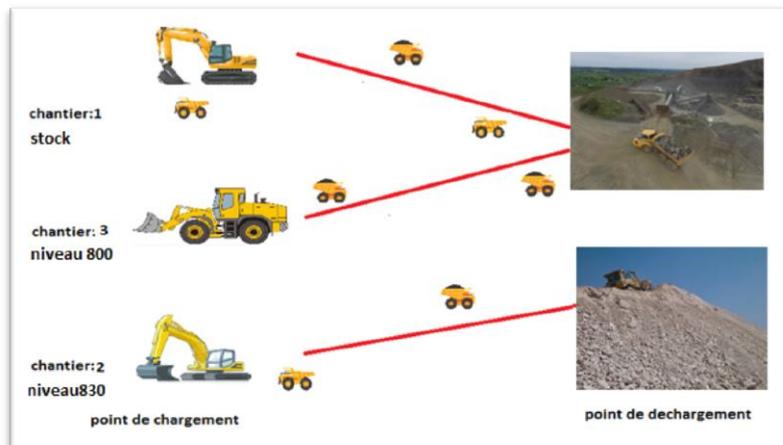


Figure III.4 : schéma de dispatching des engins du 3^{ème} scenario

Chantier 01 : niveau stock à distance 1550m:

Une seule pelle CAT et trois camions pour le minerai.

Chantier 02 : niveau 830 à distance 1050m

Une seule pelle LIBHEER et trois camions pour le stérile.

Chantier 03 : niveau 800 à distance 950m

Une seule chargeuse et un camion pour le minerai.

On calcule les trois paramètres (temps d'attente des pelles, des camions et la productivité) de ce scenario :

Chantier 01 :

Nombre de camion=3

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 21 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 3339 \text{ t/p}$$

Chantier 02 :

Nombre de camion=3

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 16.5 \text{ min}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 39 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 4134 \text{ t/p}$$

Chantier 03 :

Nombre de camion=1

t_{ch} : Temps de chargement d'un camion=8min.

T_{par} : Temps de parcours : 20min.

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 288 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 1272 \text{ t/p}$$

Temps d'attente des pelles de scenario :

$$T_{att.p} = t_{att.p1} + t_{att.p2} + t_{att.p3} ; \text{min/p} \quad \text{III-16}$$

$$T_{att.p} = 348 ; \text{min/p}$$

Temps d'attente des camions de scenario:

$$T_{att.c} = 0 ; \text{min/p}$$

Rendement :

$$R = R_1 + R_2 + R_3; t/p \quad \text{III-17}$$

$$R = 8745t/p$$

III.3.4. Scenario 04 :

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Chantier 01 : niveau stock à distance 1550m:

Une seule pelle CAT et deux camions pour le minerais.

Chantier 02 : niveau 830 à distance 1050m

Une seule pelle LIBHEER et quatre camions pour le stérile.

Chantier 03 : niveau 800 à distance 950m

Une seule chargeuse et un camion pour le minerais.

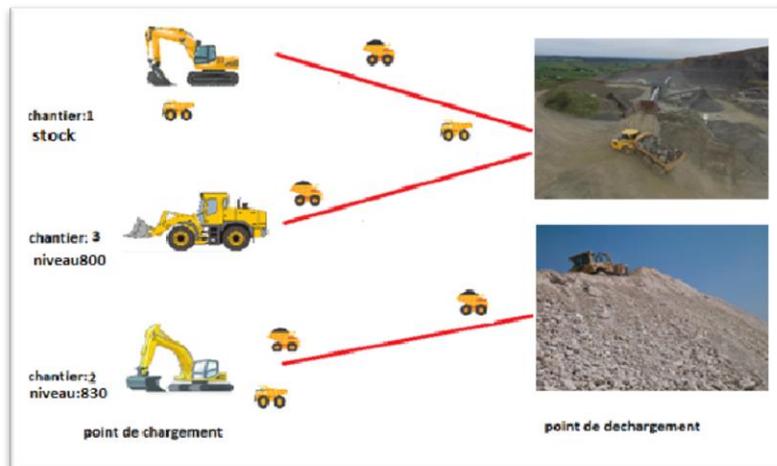


Figure III.5 : schéma de dispatching des engins du 4^{ème} scenario

Chantier 01 :

Nombre de camion=2

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = N_c \times t_{ch}; min$$

$$T_{ch} = 14 min$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = N_{cycle} \times (T_{par} - T_{ch}); min/p \quad \text{III-18}$$

$$t_{att.p} = 168 min/p$$

Rendement de chantier :

$$R = N_{cycle} \times N_c \times C_b ; t/p \quad \text{III-19}$$

$$R = 2226 \text{ t/p}$$

Chantier 02 :

Nombre de camion=4

T_{ch} : Temps de chargement total

$$T_{ch} = N_c \times t_{ch}; \text{min} \quad \text{III-20}$$

$$T_{ch} = 22 \text{ min}$$

Nombre de cycle par post N_{cycle} :

$$N_{cycle} = 21 \text{ cycle/p}$$

Temps d'attente de camion :

$$t_{att.c} = N_{cycle} \times N_c \times (T_{ch} - T_{par}) ; \text{min} \quad \text{III-21}$$

$$t_{att.c} = 336 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = N_{cycle} \times N_c \times C_b ; t/p \quad \text{III-22}$$

$$R = 4452 \text{ t/p}$$

Chantier 03 :

Nombre de camion=1

t_{ch} : Temps de chargement d'un camion=8min.

T_{par} : Temps de parcours : 20min.

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 288 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 1272 \text{ t/p}$$

Temps d'attente des pelles de scenario :

$$T_{att.p} = t_{att.p1} + t_{att.p2} + t_{att.p3} ; \text{min/p} \quad \text{III-23}$$

$$T_{att.p} = 456; \text{min/p}$$

Temps d'attente des camions de scenario:

$$T_{att.c} = t_{att.c1} + t_{att.c2} + t_{att.c3} ; min/p \quad \text{III-24}$$

$$T_{att.c} = 336 ; min/p$$

Rendement :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 ; t/p \quad \text{III-25}$$

$$R = 7950t/p$$

III.3.5. Scenario 05 :

Dans ce scenario on suppose qu'on utilise :

Chantier 01 : niveau stock à distance 1550m:

Une seule pelle CATERPILLAR et deux camions pour le minerais.

Chantier 02 : niveau 830 à distance 1050m

Une seule pelle LIBHEER et trois camions pour le stérile.

Chantier 03 : niveau 800 à distance 950m

Une seule chargeuse et deux camions pour le minerais.

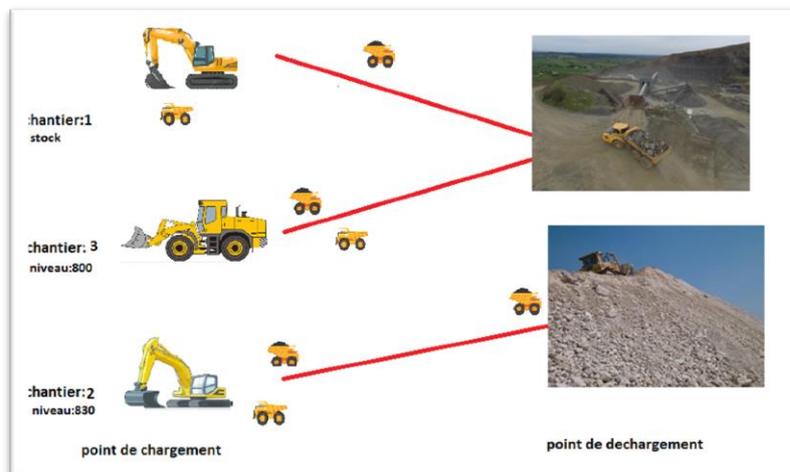


Figure III.6 : schéma de dispatching des engins du 5^{ème} scenario

Chantier 01 :

Nombre de camion=2

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 168 min/p$$

Rendement de chantier :

$$R = 2226 t/p$$

Chantier 02 :

Nombre de camion=3

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 39 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 4134 \text{ t/p}$$

Chantier 03 :

Nombre de camion=2

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 96 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 2544 \text{ t/p}$$

Temps d'attente des pelles de scenario :

$$T_{att.c} = t_{att.c1} + t_{att.c2} + t_{att.c3} ; \text{min/p} \quad \text{III-26}$$

$$T_{att.p} = 303 ; \text{min/p}$$

Temps d'attente des camions de scenario:

$$T_{att.c} = t_{att.c1} + t_{att.c2} + t_{att.c3} ; \text{min/p} \quad \text{III-27}$$

$$T_{att.c} = 0$$

Rendement

$$R = R_1 + R_2 + R_3 ; \text{t/p} \quad \text{III-28}$$

$$R = 8904 ; \text{t/p}$$

III.3.6. Scenario 06 :

Dans ce scenario on suppose qu'on utilise :

Chantier 01 : niveau stock à distance 1550m:

Une seule pelle CATERPILLAR et un camion pour le minerai.

Chantier 02 : niveau 830 à distance 1050m

Une seule pelle LIBHEER et trois camions pour le stérile.

Chantier 03 : niveau 800 à distance 950m

Une seule chargeuse et trois camions pour le minerai.

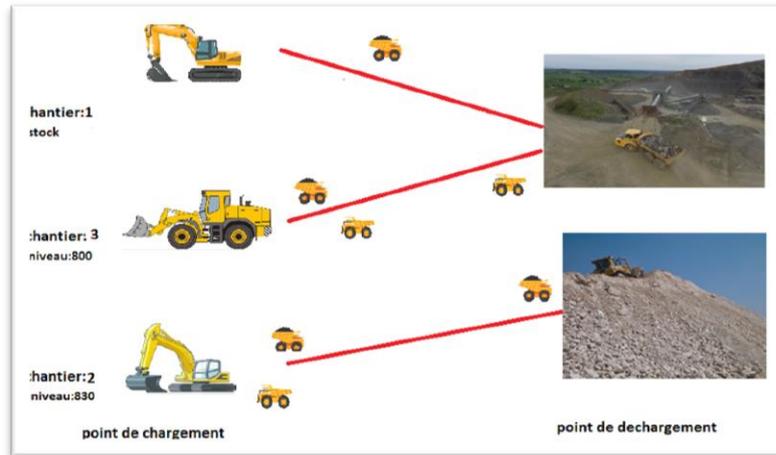


Figure III.7 : schéma de dispatching des engins du 6^{ème} scenario

Chantier 01 :

Nombre de camion=1

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 315 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 1113 \text{ t/p}$$

Chantier 02 :

Nombre de camion=3

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 39 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 4134 \text{ t/p}$$

Chantier 03 :

Nombre de camion=2

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 96 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 2544 \text{ t/p}$$

Temps d'attente des pelles de scenario :

$$T_{att.c} = t_{att.c1} + t_{att.c2} + t_{att.c3} ; \text{min/p}$$

III-29

$$T_{att.p} = 354; \text{min/p}$$

Temps d'attente des camions de scenario:

$$T_{att.c} = t_{att.c1} + t_{att.c2} + t_{att.c3} ; min/p \quad \text{III-30}$$

$$T_{att.c} = 240; min/p$$

Rendement

$$R = R_1 + R_2 + R_3; t/p \quad \text{III-31}$$

$$R = 7791; t/p$$

III.4. Application MCDM :

III.4.1. Identifier et sélectionner les critères :

Après avoir suivi le processus de chargement et transport pendant la période de stage, on a identifié différents critères qui peuvent influencer cette opération. A partir de ces critères, la distribution des camions est effectuée dans les différents chantiers de la mine.

III.4.2. Matrice MCDM :

Tableau III.2 : Matrice des critères.

	$t_{att.p}$	$t_{att.c}$	rendement	qualité
scénario01	327	408	7632	4
scénario02	593	0	8639	5
scénario03	348	0	8745	3
scénario04	456	336	7950	2
scénario05	303	0	8904	4
scénario06	354	240	7791	2

III.4.3. Calcul du poids des critères (AHP) :

Pour calculer les poids des critères précédents sans aucune intervention personnelle, nous utilisons la méthode AHP (AnalyticHierarchyProcess).

a. L'importance des critères :

Tableau III.3 : L'importance des critères

critère	L'importance
$t_{att.c}$	6
$t_{att.p}$	5
rendement	4
qualité	2

b. Matrice de comparaison :

Pour calculer le poids relatif des critères dans la matrice créée en utilisant la méthode AHP, il est nécessaire de construire une matrice de comparaison paire. Voici la matrice de comparaison paire correspondante :

Tableau III.4 : Matrice de comparaison

critère	$t_{att.c}$	$t_{att.p}$	Rendement	qualité
$t_{att.c}$	1	2	4	6
$t_{att.p}$	0.5	1	3	5
rendement	0.25	0.33	1	2
qualité	0.167	0.2	0.5	1
$\sum_{i=1}^m a_{ij}$	1.917	3.53	8.5	14

c. Matrice normalisée

Ensuite, il faut normaliser cette matrice en calculant la moyenne des colonnes. Voici la matrice normalisée :

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad \text{III-32}$$

Tableau III.5 : matrice normalisée :

	$t_{att.p}$	$t_{att.c}$	rendement	qualité
$t_{att.c}$	0.52	0.57	0.47	0.43
$t_{att.p}$	0.26	0.28	0.35	0.36
rendement	0.13	0.09	0.12	0.14
qualité	0.09	0.06	0.06	0.07

Ensuite, Ensuite, on calcule le vecteur propre principal en faisant la moyenne des lignes de la matrice normalisée. Voici le vecteur propre principal :

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}; w_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}}{m} \quad \text{III-33}$$

Tableau III.6 : Poids des critères

critère	w_i
$t_{att.c}$	0.5
$t_{att.p}$	0.31
rendement	0.12
qualité	0.07

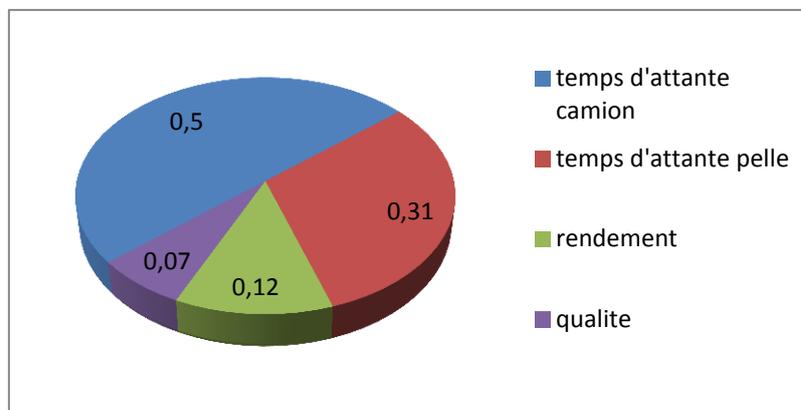


Figure III.8 : poids des critères

d. Cohérence des jugements :

La méthode AHP évalue la cohérence globale des appréciations au moyen d'un ratio de cohérence. La valeur du ratio de cohérence doit être égale ou inférieure à 10%. Si elle est supérieure à 10%, les appréciations risquent d'être quelque peu aléatoires et peuvent alors exiger certaines révisions.

Donc on calcule l'indice de cohérence *IC* qui est lié à la méthode des valeurs propres des matrices et calculé par la formule suivante :

$$IC = \frac{\lambda - m}{m - 1} ; m = 4 \tag{III-34}$$

Où

λ : est la somme des produits des éléments de chaque ligne du vecteur propre principal par les éléments correspondants de la matrice de comparaison paire

m : est l'ordre de la matrice de comparaison paire (nombre de critères).

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{m} \tag{III-35}$$

$\lambda = 4.033$

Donc : $IC = \frac{\lambda - m}{m - 1} \tag{III-36}$

$IC = 0.011$

À l'aide du tableau :

Tableau III.7 : Indice de cohérence aléatoire (IR)

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Nombre de critères $m=4$ donc :

$RI = 0.9$

$$CR = \frac{IC}{RI} = 0.012 \tag{III-37}$$

Le CR est inférieur à 10 % les données obtenues sont cohérentes.

III.4.4. TOPSIS :

1. Normalisation des valeurs :

- Calculer la somme des carrés de chaque colonne.

- Diviser chaque valeur par la racine carrée de la somme des carrés de la colonne correspondante.
 - Multiplier chaque valeur normalisée par son poids correspondant.
1. Déterminer les valeurs idéales positives $(U_{ij} - v_j^+)^2$ et négatives $(U_{ij} - v_j^-)^2$:
- Multiplier chaque valeur par son poids correspondant.

Nous utilisons ces étapes sur tous les critères

Tableau III.8 :critère temps d'attente des camion

W 0,5						
options	$t_{att.c}$	x_i^2	\bar{x}_{ij}	U_{ij}	$(U_{ij} - v_j^+)^2$	$(U_{ij} - v_j^-)^2$
scénario01	408	166464	0,7028634	0,3514317	0,12350427	0
scénario02	0	0	0	0	0	0,1235042
scénario03	0	0	0	0	0	0,1235042
scénario04	336	112896	0,5788287	0,2894143	0,08376068	0,0038461
scénario05	0	0	0	0	0	
Scénario06	240	57600	0,4134491	0,2067245	0,04273504	0,0209401
$\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}$	580,4825579					
				Uj+	0	
				Uj-	0,35143174	

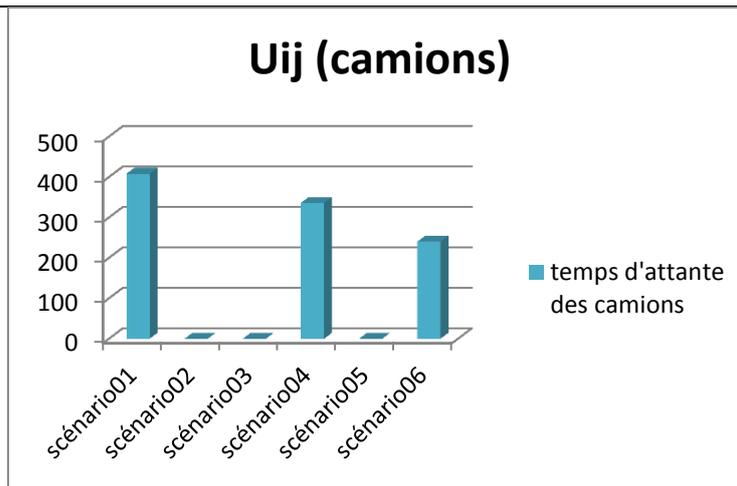


Figure III.9 :Temps d'attente des camions

Tableau III.9 :Critère temps d'attente des pelles

W 0,31						
options	$t_{att.P}$	x_i^2	\bar{x}_i	Uij	$(u_{ij} - u_j^+)^2$	$(u_{ij} - u_j^-)^2$
scénario01	327	106929	0,326227267	0,10113045	$5,50923 \cdot 10^{-5}$	0,00676755 3
scénario02	593	351649	0,591598683	0,18339559	0,00804385	0
scénario03	348	121104	0,347177642	0,10762506	0,00019368	0,00574117
scénario04	456	207936	0,454922428	0,14102595	0,00223898	0,00179518
scénario05	303	91809	0,302283982	0,09370803	0	0,00804385
scénario06	354	125316	0,353163464	0,10948067	0,00024877	0,00546341
$\sqrt{\sum_{j=1}^n x_i j^2}$	1002,368695					
	Uj+	0,093708034				
	Uj-	0,183395592				

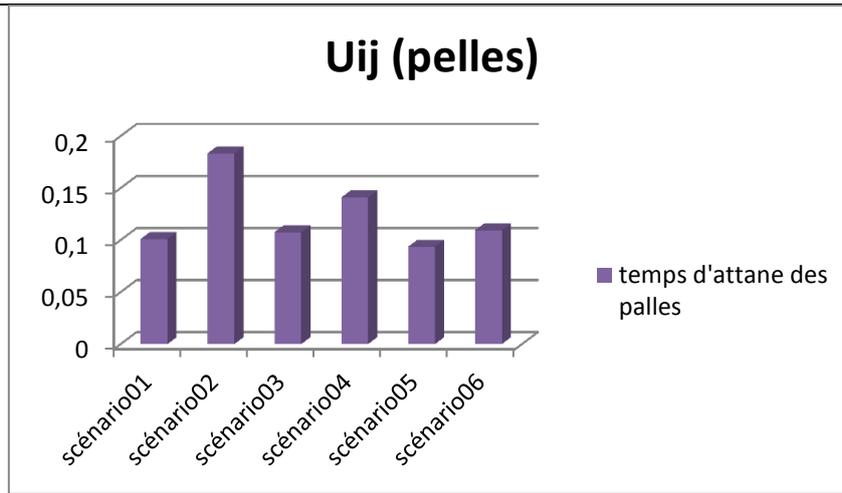


Figure III.10 : temps d'attente des pelles

Tableau III.10 : Critère de rendement

W	0,12					
options	rendement	x_i^2	\bar{x}_i	Uij	$(v_{ij} - v_j^+)^2$	$(u_{ij} - u_j^-)^2$
scénario01	7632	58247424	0,37575632	0,04509	$5,647.10^{-5}$	0
scénario02	8639	74632321	0,42533527	0,051040	$2,451.10^{-6}$	$3,539.10^{-5}$
scénario03	8745	76475025	0,43055411	0,051666	$8,824.10^{-7}$	$4,324.10^{-5}$
scénario04	7950	63202500	0,39141283	0,046969	$3,176. 10^{-5}$	$3,529.10^{-6}$
scénario05	8904	79281216	0,43838237	0,052605	0	$5,647.10^{-5}$
scénario06	7791	60699681	0,38358457	0,046030	$4,324.10^{-5}$	$8,824.10^{-7}$
$\sqrt{\sum_{j=1}^n x_i j^2}$	1002,368695					
	Uj+	0,093708034				
	Uj-	0,183395592				

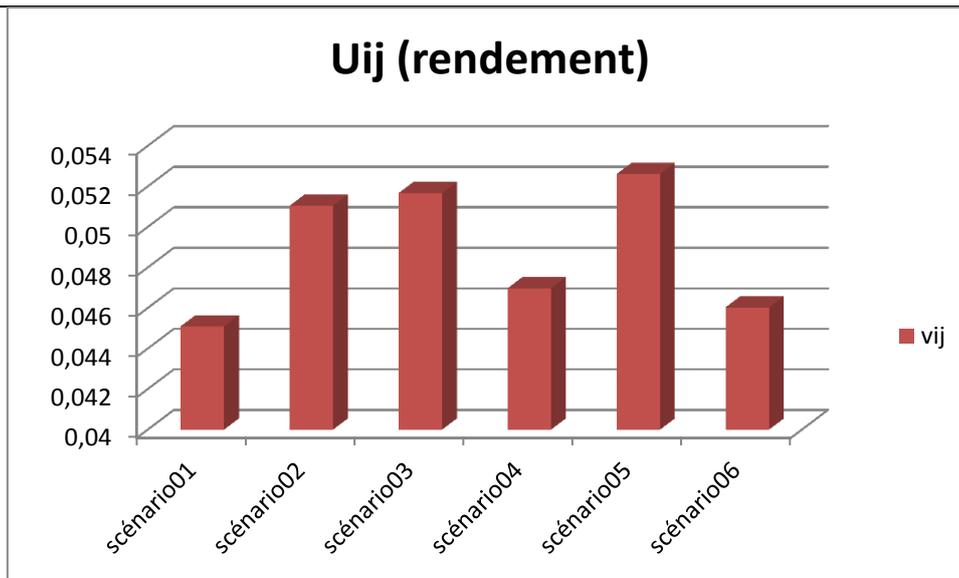


Figure III.11 : Critère de rendement

Tableau III.11 : Critère de qualité

W 0.07						
options	qualité	x_i^2	\bar{x}_i	Uij	$(vij - vj^+)^2$	$(vij - vj^-)^2$
scénario01	4	16	0,464990555	0,0325493	6,62162E-05	0,000264865
scénario02	5	25	0,581238194	0,0406866	0	0,000595946
scénario03	3	9	0,348742916	0,024412	0,000264865	6,62162E-05
scénario04	2	4	0,232495277	0,0162746	0,000595946	0
scénario05	4	16	0,464990555	0,0325493	6,62162E-05	0,000264865
scénario06	2	4	0,232495277	0,0162746	0,000595946	0
$\sqrt{\sum_{j=1}^n x_i j^2}$	8,602325267					
	Uj+	0,040686674				
	Uj-	0,016274669				

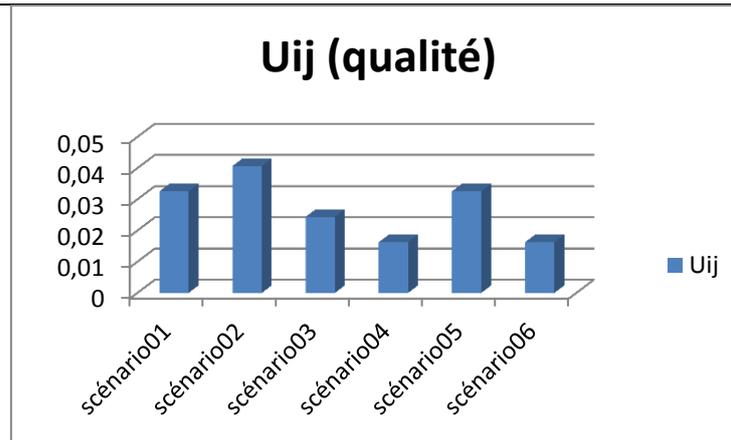


Figure III.12 Critère de qualité

- Obtention des valeurs de distance idéal négatif (S_i^-) et les valeurs de distance idéal positif (S_i^+) des scenarios.

Tableau III.12 : valeurs de distance idéal négatif (S_i^-) et positif (S_i^+) des scenarios

options	S_i^-	S_i^+
scénario01	0,351684602	0,083859513
scénario02	0,089701222	0,352328846
scénario03	0,021434346	0,359659425
scénario04	0,294325302	0,07513235
scénario05	0,008137335	0,091461467
scénario06	0,20886121	0,162494518

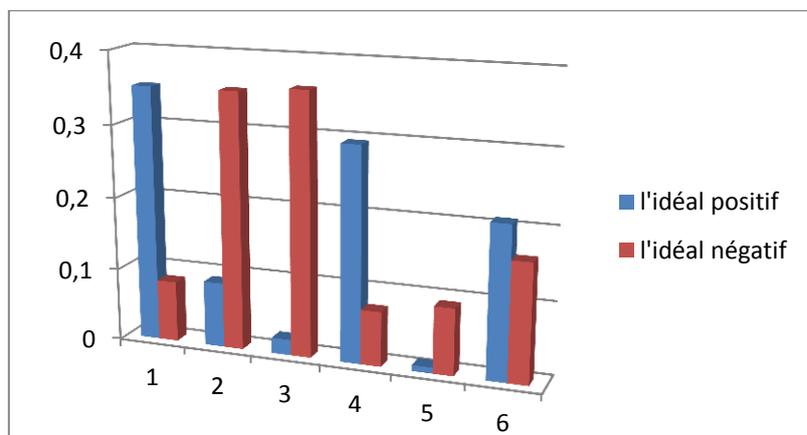


Figure III.13 : valeurs de distance idéal négatif (S_i^-) et positif (S_i^+) des scenarios

3. Calculer le score de proximité pour chaque scénario :

Tableau III.13 :Les scores de proximité des scenarios

options	C_i^*	classement
scénario01	0,19253	06
scénario02	0,79706	03
scénario03	0,94375	01
scénario04	0,20335	05
scénario05	0,91829	02
scénario06	0,43757	04

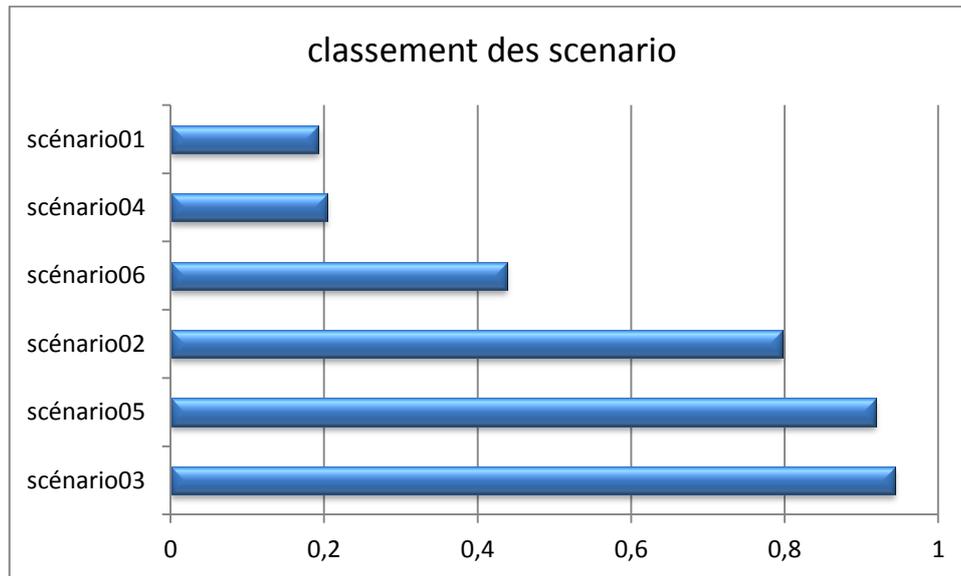


Figure III.14 :Proximité de chaque scénario et leur classement

III.4.5. discussion :

Après avoir effectué tous les calculs pour chaque chantier séparément, ainsi que calculé chaque scénario, nous avons appliqué la méthode MCDM (TOPSIS-AHP), tous les résultats de l'application des techniques citées ont été calculés automatiquement et non par la possibilité de favoriser une des alternatives au détriment de selon un critère précis.

Selon l'analyse TOPSIS, le scénario 03 est classé comme le meilleur scénario, suivi par le scénario 05.

Conclusion :

Dans ce chapitre et dans le but de tester (choisi) le scénario le plus effectif par l'application des méthodes MCDM (AHP-TOPSIS), les résultats de cette méthode montrent que les performances améliorées par rapport à le scénario en vigueur dans la mine.

Conclusion Générale

Dans le secteur minier, le chargement et le transport des minéraux utile et des roches stérile est effectuée à l'aide d'une flotte d'engins comporte un nombre défini des machines de chargement et de transport

Dans ce travail, la méthode MCDM a été utilisée pour organiser cette flotte de la mine de l'Ouenza par la proposition de six scénarios. Cependant le développement des alternatives est basé sur plusieurs critères tels que le nombre des chantiers, la capacité de chargement des pelles et des chargeuses et la capacité des bennes des dumpers.

L'état optimal de la flotte en termes de nombre, temps mort et production a ensuite été déterminé en utilisant AHP-TOPSIS intégré. Les principaux résultats de cette étude sont les suivantes :

Le mieux scénario sélectionné par cette méthode est scénario trois, représenté par Une seule pelle CAT et trois camions ou niveau de stock et une seule pelle LIBHEER et trois camions pour le stérile ou niveau 830m Une seule chargeuse et un camion pour le minerai niveau 800m.

Le niveau de production et la productivité augmentent de 30% après l'application de mieux scénario, la production atteindra 8745 tonnes par poste par rapport la production produit par la mine actuellement estimé à 6000 tonnes par poste.

PERSPECTIVE :

L'intégration de la logique floue et la méthode MCDM.

L'intégration de techniques d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique dans les méthodes MCDM peut ouvrir de nouvelles possibilités pour améliorer la précision des prévisions, optimiser les performances et prendre des décisions plus rapides et plus précises.

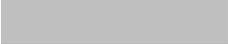
Modélisation de scénarios complexes : Les opérations minières peuvent être soumises à des conditions changeantes et à des incertitudes. L'application des méthodes MCDM peut être étendue pour modéliser des scénarios complexes, en tenant compte de différentes hypothèses et conditions futures. Cela permettrait aux gestionnaires de mines de prendre des décisions robustes et adaptatives face à l'évolution des circonstances.

Intégration de nouvelles variables : En plus des critères traditionnels tels que, la productivité et, il est possible d'intégrer de nouvelles variables dans le processus de décision. Par exemple, la capacité, les coûts, l'impact environnemental, la sécurité, la durabilité et les considérations sociales peuvent être pris en compte pour améliorer la performance globale des opérations minières.

Référence bibliographique

- [1] Y. I. Yano, COURS D ' INTRODUCTION L ' EXPLOITATION DES MINES Université de Kolwezi, no. November 2019. ILUNGA YANO YANNICK Université de Kolwezi, 2020.
- [2] Murat Köksalan & Jyrki Wallenius & Stanley Zionts, Multiple Criteria Decision Making: From Early History to the 21st Century, World Scie. 2011. [Online]. Available: <https://ideas.repec.org/b/wsi/wsbook/8042.html>
- [3] F. Sitorus, J. J. Cilliers, and P. R. Brito-Parada, "Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends," *Expert Syst. Appl.*, vol. 121, pp. 393–417, 2019, doi: 10.1016/j.eswa.2018.12.001.
- [4] H. Ala, "Optimisation de l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution par la commande MPPT," Université Larbi Tebessi – Tébessa, 2022.
- [5] S. Fomba, "Décision multicritère : un système de recommandation pour le choix de l ' opérateur d ' agrégation Soumana Fomba To cite this version : HAL Id : tel-03726764," UNIVERSITE DE TOULOUS, 2022.
- [6] M. G. Samani, ... M. M.-J. of M., and undefined 2020, "A Mathematical Model to Optimize Allocation Sequence in Dispatching Problem," *Jme.Shahroodut.Ac.Ir*, 2020, doi: 10.22044/jme.2019.8721.1766.
- [7] "Les techniques de l'industrie minière, Ciel ouvert mines et carrières," Société de l'Industrie Minière (SIM).
- [8] société de l'industrie Minière, *Mémento des mines et carrières*, N 4. 1998.
- [9] G. S. Bastos, *Decision Making applied to Shift Change in Stochastic Open-pit Mining Truck Dispatching*, vol. 46, no. 16. IFAC, 2013. doi: 10.3182/20130825-4-US-2038.00090.
- [10] Y. I. Yano, "Gestion De Rendement Des Equipements Miniers," no. November, 2019.
- [11] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts," *Encyclopedia*, vol. 3, no. 1, pp. 77–87, 2023, doi: 10.3390/encyclopedia3010006.
- [12] S. Zionts, "MCDM: If Not a Roman Numeral, then What? Interfaces," *jstor*, vol. 9, no. (4), pp. 94–101, 1979.
- [13] A. Tsoukiàs, "De la théorie de la décision à l'aide à la décision," pp. 1–54.
- [14] "ARROW, Kenneth J. *Social choice and individual values*. Yale university press, 2012."
- [15] "L. A. ZADEH, 'Fuzzy sets.,' *Information Control*, vol. 8, p. 338–353, 1965."
- [16] Henriot, Laurent. *Systèmes d'évaluation et de classification multicritères pour l'aide à la*

-
- décision: Construction de modèles et procédures d'affectation. Diss. Université Paris Dauphine-Paris IX, 2000.
- [17] S. Ben Mena, "Introduction aux méthodes multicritères d' aide à la décision," vol. 4, no. 2, pp. 83–93, 2000.
- [18] "Danila, Nicolas. 'Roy B.: Méthodologie multicritère d'aide à la décision.' *Politiques et Management Public* 4.3 (1986): 138-140."
- [19] F. Aissanou, "Décisions multicritères dans les réseaux de télécommunications autonomes Farouk Aissanou To cite this version : HAL Id : tel-00997687," 2014.
- [20] L. Xu and J. Yang, "Introduction to Multi-Criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach," no. 0106, pp. 1–21, 2001.
- [21] Y. Qin, Q. Qi, P. Shi, S. Lou, P. J. Scott, and X. Jiang, "Multi-Attribute Decision-Making Methods in Additive Manufacturing: The State of the Art," *Processes*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.3390/pr11020497.
- [22] K. Fenniche, "Application of the Analytic Hierarchy Process (Ahp) in the Evaluation of Commercial Banks Performance," *Les Cah. du Cread*, vol. 34, no. 04, pp. 39–59, 2019.
- [23] A. Singh, "Major MCDM Techniques and their application-A Review," *IOSR J. Eng.*, vol. 4, no. 5, pp. 15–25, 2014, doi: 10.9790/3021-04521525.
- [24] S. S. Raju, G. B. Murali, and P. K. Patnaik, "Ranking of Al-CSA composite by MCDM approach using AHP–TOPSIS and MOORA methods," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 39, no. 19–20, pp. 721–732, 2020, doi: 10.1177/0731684420924833.
- [25] A. ouellet, "priorisation des tests logiciels : une approche basée sur la maximisation de la couverture et la réduction du risque," l'université du québec à trois-rivières comme, 2021.
- [26] d. ayadi, "optimisation multicritere de la fiabilite : application du modele de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l' industrie de to cite this version : hal id : tel-00738462," universite d'angers universite de sfax, 2012.
- [27] S. Ali Sadat, M. Vakilalroaya Fini, H. Hashemi-Dezaki, and M. Nazififard, "Barrier analysis of solar PV energy development in the context of Iran using fuzzy AHP-TOPSIS method," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 47, no. August, p. 101549, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101549.
- [28] V. Rajput, N. Kumar, and A. Agrawal, "Materials Today : Proceedings Integrated AHP-TOPSIS methods for optimization of epoxy composite filled with Kota stone dust," *Mater. Today Proc.*, vol. 50, pp. 2371–2375, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.10.251.
- [29] K. S. Mehra, V. Goel, S. Singh, G. Pant, and A. K. Singh, "Experimental investigation of emission characteristics of CI engine using biodiesel-diesel blends and best fuel selection:
-



An AHP-TOPSIS approach,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 10–11, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.237.

[30] B. Banerjee, K. Mondal, S. Adhikary, S. Nath Paul, S. Pramanik, and S. Chatterjee, “Optimization of process parameters in ultrasonic machining using integrated AHP-TOPSIS method,” *Mater. Today Proc.*, vol. 62, pp. 2857–2864, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.419.

[31] V. Singh, V. Kumar, and V. B. Singh, “A hybrid novel fuzzy AHP-TOPSIS technique for selecting parameter-influencing testing in software development,” *Decis. Anal. J.*, vol. 6, no. December 2022, p. 100159, 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2022.100159.



Annexe



N°	EQUIPEMENTS	MARQUE	TYPE	N° SERIE	ANNEE	N° INT	PLACE	CODE	moteur (cv)	Marque du moteur	GodetC ap- (Ton)	ETAT D'ENGIN
1	CAMION	CATERPILLAR	773B	63W02963	1990	1302	2		640CV	CAT 3412	60	EPAVE
2	CAMION	CATERPILLAR	773B	63W03739	1992	1304	2		640CV	CAT 3412	60	EPAVE
3	CAMION	CATERPILLAR	773B	63W03731	1992	1314	2		640CV	CAT 3412	60	EPAVE
4	CAMION	HITACHI	EH1000	416LDC77028	2003	1501	2		700CV	QSK	60	EPAVE
5	CAMION	HITACHI	EH1000	416LDC77034	2003	1502	2		700CV	QSK	60	EPAVE
6	CAMION	CATERPILLAR	773 D	7 ER 00543	1997	1317	2	117	691 CV	CAT 3412	60	EPAVE
7	CAMION	CATERPILLAR	773D	7ER00544	1997	1318	2	118	691CV	CAT 3412	60	EPAVE
8	CAMION	CATERPILLAR	771D	6YS00120	1999	1319	2	119	485CV	CAT 3412 HEU	60	EPAVE
9	CAMION	CATERPILLAR	773 E	BDA 00842	2005	1320	2	126	720 CV	CAT 3412 E	60	EPAVE
10	CAMION	CATERPILLAR	773 E	BDA 00854	2005	1321	2	127	720 CV	CAT 3412 E	60	EPAVE
11	CAMION	CATERPILLAR	775 F	TDLS 00721	2008	1322	2	128	751 CV	CAT C27 ACERT	60	PROPOSE A LA RENOVATION
12	CAMION	CATERPILLAR	775 F	PDLs 00722	2008	1323	2	129	751 CV	CAT C27 ACERT	60	PROPOSE A LA RENOVATION
13	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00919	2017	1324	2	130	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
14	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00920	2017	1325	2	131	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
15	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00921	2017	1326	2	132	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
16	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00922	2017	1327	2	133	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
17	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00925	2017	1328	2	134	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
18	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00926	2017	1329	2	135	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
19	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00927	2017	1330	2	136	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
20	CAMION	CATERPILLAR	775 G	RFM 00928	2017	1331	2	137	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
21	CAMION	CATERPILLAR	776 G	RFM 001161	2021	1332	2	137	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
22	CAMION	CATERPILLAR	777 G	RFM 001162	2021	1333	2	137	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
23	CAMION	CATERPILLAR	778 G	RFM 001163	2021	1334	2	137	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE
24	CAMION	CATERPILLAR	779 G	RFM 001174	2021	1335	2	137	780 CV	CAT C27 ACERT	67	MARCHE

N°	EQUIPEMENTS	MARQUE	TYPE	N° SERIE	ANNEE	N° INT	PLACE	CODE	moteur (cv)	Marque du moteur		ETAT D'ENGIN
1	PELLE	PH	1600E	J24401	1983	2	1	251	ELECT5,5 KV			EPAVE
2	PELLE	RUSTON BYC	150RB	39661	1983	1	1	252	ELECT5,5 KV			EPAVE
3	PELLE	KOMATSU	PC 1100 - 6 SP	10214	2002	1	1	255	335 CV	KOMATSU	400	PANNE
4	PELLE	KOMATSU	PC 1250 - 7	20108	2004	2	1	256	356 CV	KOMATSU	400	EPAVE
5	PELLE	KOMATSU	PC 1250 - 7	20109	2004	3	1	257	356 CV	KOMATSU	400	PANNE
6	PELLE	TEREX O&K	RH 40 E	40229	2008	1	1	259	710 CV	TEREX	400	EPAVE
7	PELLE	CATERPILLAR	349 D2L	TAH 00469.	2017	CAT 01	1	260	409 CV	CAT	350	MARCHE
8	PELLE	LIEBHERR.	R9100.	36060	2017	L01	1	261	757 CV	LIEBHERR.	500	MARCHE
9	PELLE	LIEBHERR.	R9100.	36061	2020	L02	1	262	757 CV	LIEBHERR.	500	MARCHE
10	CHARGEUSE	CATERPILLAR	988 F	8YG00502	1994	3	1	205	320 CV	CAT	250	PANNE
11	CHARGEUSE	CATERPILLAR	988B	50W11416	1993	5	1		370CV	CAT		epave
12	CHARGEUSE	CATERPILLAR	988 H	BXY 2305	2008	6	1	206	480 CV	CAT	300	PANNE
13	CHARGEUSE	CATERPILLAR	990 K	DJK00259	2017	7		207	766 CV	CAT	450	MARCHE

% DISPONIBILITE ET UTILISATIONS DES EQUIPEMENTS DE CHARGEMENT (Chargeuse)													
Heures programmes		1 - 60	2 - 60	3 - 60	4 - 60	5 - 60	6 - 60	7 - 60	8 - 60	TOTAL Mns	TOTAL Hrs	TOTAL H- Perte	TOTAL Hrs- Op
Maintenance		40								40	0,67	0,67	
Deplace-au Chantier		15								15	0,25	0,25	
Operation	positionnement	5	15	10	10	10	10	10	10	80	1,33		1,33
	chargement		45	50	50	50	50	50	10	305	5,08		5,08
Deplace-Stationnement									10	10	0,17	0,17	
Dejeuner									30	30	0,50	0,50	
										480,0	8,0	1,58	5,08
DISPONIBILITE / 8H (01 Poste)													80%
UTILISATION / 8H (01 Poste)													79%

% UTILISATIONS DES EQUIPEMENTS DE CHARGEMENT (PELLES)													
HEURES PROGRAMMES		1 - 60	2 - 60	3 - 60	4 - 60	5 - 60	6 - 60	7 - 60	8 - 60	TOTAL Mns	TOTAL Hrs	TOTAL H-Perle	TOTAL Hrs-Op
Maintenance		45			rggr	fsgsd<	s	dfgwd	dvsxcv	45	0,75	0,75	
Deplace-au Chantier		15	5							20	0,33	0,33	
Operation	positionnement		20	10	10	10	10	10	10	80	1,33		1,33
	chargement		35	50	50	50	50	50	20	305	5,08		5,08
Dejeuner									30	30	0,50	0,50	
										480,0	8,0	1,58	5,08
										DISPONIBILITE / 8H (01 Poste)			80%
										UTILISATION / 8H (01 Poste)			79%

% DISPONIBILITE et UTILISATION DES EQUIPEMENTS DE TRANSPORT													
Mins	1 - 60	2 - 60	3 - 60	4 - 60	5 - 60	6 - 60	7 - 60	8 - 60	TOTAL L Mns	TOTAL L Hrs	TOTAL L H-Perle	TOTAL L Hrs-Op	
maintenance	40								40	0,67	0,67		
Deplacement au chantiers		15							15	0,25	0,25		
Operation	positionnement	5	15	10	10	10	10	10	80	1,33			
	transport		45	50	50	50	50	50	10	305	5,08	5,08	
Deplacement stationnement								10	10	0,17	0,17		
Dejeuner								30	30	0,50	0,50		
										480,0	8,0	1,6	5,1
										DISPONIBILITE / 8H (01 Poste)			80%
										UTILISATION / 8H (01 Poste)			79%

caractéristique techniques de la Pelle Liebherr R9100 L02

/	/	unité
capacité de godet	6,8	m ³
puissance du moteur	565	Kw
hauteur de creusement max	13	m
vitesse maximale	à chenille	/
poids	108,5	t
énergie	gasoil	

la charge utile = 12,5 t

1.1 rendement réelle de la Pelle Liebherr R9100 L02

mois d'Aout 2020

rendement(moyenne)	unité	valeur
postier	T	480
journalier	T	959
mensuelle	T	23 980

1.2 rendement nominale de la Pelle Liebherr R9100 L02

Rp = 3600.Cg.Kr.Ku.Tp / Tc.Kf (T /poste).

Cg:capacité de godet

12,5 t

Kr : coefficient de remplissage du godet de la pelle

0,95

Ku : coefficient d'utilisation de la pelle

0,8

Tp : temps de poste

8 h

Tc : durée d'un cycle de la pelle

Tc= Tca+Tlf+Tg+Td+Tgr

47 secondes.

Tca: temps de cavage

10

Tlf: temps de levage de la flèche

10

Tg: temps de giration

10

Td: temps de déversement

7

Tgr: temps de giration retour

10

Kf:coeff de foisonnement de la roche

1,35

donc

273600

63,45

4 312,1 T/poste

donc Rp =

rendement(moyenne)	unité	valeur
postier	T	4 312,1
journalier	T	8 624,11
mensuelle	T	215 602,84

caractéristique techniques du Chargeur CAT 988H

/	/	unité
capacité de godet	6,4	m ³
puissance du moteur	414	Kw
hauteur max déversement	3,46	m
vitesse maximale	38,6	km/h
poids	50,8	t
énergie	gasoil	

charge utile = 11,4t

1.1 rendement réelle du Chargeur CAT 988H

mois d'Aout 2020

endement(moyenne)	unité	valeur
postier	T	
journalier	T	
mensuelle	T	

1.2 rendement nominale du Chargeur CAT 988H

$R_p = 3600.C_g.\delta.K_r.K_u.T_p / T_c.K_f$ (T /poste).

Cg:capacité de godet

11,4 t

Kr : coefficient de remplissage du godet du chargeur

0,95

Ku : coefficient d'utilisation du chargeur

0,8

Tp : temps de poste

8 h

Tc : durée d'un cycle du chargeur

$T_c = T_r + T_{ch} + T_d + T_v$

0 secondes.

Tr: temps de remplissage du godet

Tch: temps de parcours chargé

Td: temps de déchargement du godet

Tv: temps de parcours vide

Kf:coeff de foisonnement de la roche

1,35

249523,2

MOYENNE PONDEREE DES DISTANCES PREVUES -MINE DE L'OUENZA

Distance en metre-Mineral / Chantier

Quartier	Niveaux	Distance en metre	Nature	Destination
Chagoura nord	1040/1055	3100	Mineral	Concasseur 803
	1025/1040	3080	Mineral	Concasseur 803
	1010/1025 (Sup)	3170	Mineral	Concasseur 803
	1010/1025 (Inf)	3150	Mineral	Concasseur 803
	995/1010	3220	Mineral	Concasseur 803
	980/995	3100	Mineral	Concasseur 803
	965/980	3050	Mineral	Concasseur 803
	Distance moyenne	3124	Mineral	Concasseur 803
Chagoura Sud	820/830	1200	Mineral	Concasseur 803
	810/820	1240	Mineral	Concasseur 803
	800/810	920	Mineral	Concasseur 803
	785/800	880	Mineral	Concasseur 803
	769/785	900	Mineral	Concasseur 803
	Distance moyenne	1028	Mineral	Concasseur 803
Ilot	721/733	2350	Concasseur 660	Concasseur 660
	709/721	2150	Concasseur 660	Concasseur 660
	Distance moyenne	2250	Mineral	Concasseur 660
Moyenne Distance-Mineral		2134		

Distance en metre-Sterile

Quartier	Niveaux	Distance en metre	Nature	Destination
Pic	1205/1220	200	Stérile	Décharge 1220
	1190/1205	250	Stérile	Décharge 1220
	1175/1190	250	Stérile	Décharge 1220
	Distance moyenne	233	Stérile	Décharge 1220
CH-Nord	1055/1070	2200	Stérile	Décharge 920
	1040/1055	2190	Stérile	Décharge 920
	1025/1040	2180	Stérile	Décharge 920
	1010/1025 Sup	2160	Stérile	Décharge 920
	1010/1025 Inf	2130	Stérile	Décharge 920
	995/1010	2120	Stérile	Décharge 920
	980/995	2020	Stérile	Décharge 920
	965/980	2000	Stérile	Décharge 920
		Distance moyenne	2125	Stérile
Chagoura Sud	845/860	790	Stérile	Décharge 830
	830/845	760	Stérile	Décharge 830
	820/830	810	Stérile	Décharge 830
	810/820	860	Stérile	Décharge 830
	800/810	780	Stérile	Décharge 830
	785/800	750	Stérile	Décharge 830
	769/785	750	Stérile	Décharge 830
	Distance moyenne	786	Stérile	
Ilot	751/769	1330	Stérile	Décharge 733
	733/51	1310	Stérile	Décharge 733
	721/733	1290	Stérile	Décharge 733
	709/721	1350	Stérile	Décharge 733
	Distance moyenne	1320	Stérile	
Moyenne Distance-Steril		1116		

Rendement des Pelles et Chargeuses				
Hypothèses Pelles 7M3 productivité			Hypothèses Chargeuses 8,6M3 productivité	
Nbr de Passe	1		Nbr de Passe	1
Capacité du godet (m3)	7		Capacité du godet (m3)	8,6
Densité - Min / Ste % Pond	2,5		Densité - Min / Ste %	2,5
Capacité du godet (Ton)	17,7		Capacité du godet (Ton)	21,5
foisonnement %	10		foisonnement %	10
Capacité du godet (Ton)	16,13		Capacité du godet (Ton)	20
Taux de remplissage %	5		Taux de remplissage %	5
Capacité du godet (Ton)	15,36		Capacité du godet (Ton)	19
Cycle Pelles en Secondes			Cycle Chargeuses en Secondes	
Positionnement du Camion	100,5		Positionnement du Camion	100,4
Manoeuvre Chargement	20		Manoeuvre Chargement	10
Manoeuvre Geration Arriere	10		Manoeuvre Arriere	9
De-Chragement	20		Manoeuvre Avant	7
Manoeuvre Geration Avant	10		De-Chragement	5
/	0		Manoeuvre Arriere	9
/	0		Manoeuvre Avant	7
TEMPS DIVERS	24		TEMPS DIVERS	20
Totale Temps /Cycle-Seconde	184,5		Totale Temps /Cycle-Seconde	167,4
Totale Temps /Cycle-Minutes	3,08		Totale Temps /Cycle-Minutes	2,79
Nbr Passe / H	19,51		Nbr Passe / H	21,51
Totale Rendement T / H	300		Totale Rendement T / H	400

Rendement des Camions de Transport

Hypothèses Transport 61,6T (PELLE)	
Nbr de Cycles	1
Nbr de Passe Godet 41,9M3	4,0
Capacite de la benne	61,6
Taux de remplissage %	5
Capacité de la benne (Ton)	59
FOISONNEMENT %	10
Capacité de la benne (Ton)	53
Cycle Camions en Secondes	
Camion en Position	100,5
Chargement	184,5
Deplacement	287
Manouvre	150
De-Chragement	120
Deplacement	185
Manouvere	150
Totale Temps /Cycle-Sec	1176,86
Nbr / Cycle-Minutes	19,61
Nbr Cycles / H	3,06
Totale Rendement Ton / H	179

Hypothèses Transport 61,6T (CHARGEUSE)	
Nbr de Cycles	1
Nbr de Passe Godet 41,9M3	3,3
Capacite de la benne	61,6
Taux de remplissage %	5
Capacité de la benne (Ton)	59
FOISONNEMENT %	10
Capacité de la benne (Ton)	53
Cycle Camions en Secondes	
Camion en Position	100,4
Chargement	167,4
Deplacement	287
Manouvere	300
De-Chragement	100
Deplacement	167
Manouvere	300
Totale Temps /Cycle-Sec	1422,56
Nbr / Cycle-Minutes	23,71
Nbr Cycles / H	2,53
Totale Rendement Ton / H	148

2022

Mine Ouenza

Performance CUMUL 2022								
EQUIPMENT	Cal. Hrs	Av. Hr	Ut. Hr	B/D Hr	% Av.	%Util.	Prod.	T/M/Hrs
EXCAVATORS								
K-01	2640,0	5,5	5,5	2634,5	0%	100%	1260	229
L01	7768,0	293,0	236,0	7475,0	4%	81%	85680	363
L03	7768,0	4430,0	3284,0	3338,0	57%	74%	1232760	375
Total	20336	5333	3958	14337	26%	74%	1462080	369
Excavators+ Loaders	43264	15601	10857	26175	36%	70%	3839640	354
LOADERS								
CAT 01	7768,0	2351,0	1776,5	4495,0	30%	76%	474360	267
CH N° 06	5232,0	2417,5	1016,0	2814,5	46%	42%	328980	324
CH N° 07	7768,0	5500,0	4106,5	2368,0	71%	75%	1574220	383
Total	22928,0	10268,5	6899,0	11837,5	45%	67%	2377560	345
DRILLS								
IR-10	5344,0	1450,0	675,5	3894,0	27%	47%	11005	16
BB privé	1280,0	783,5	108,0	496,5	61%	14%	3029	28
AC-2	5344,0	441,5	174,0	4902,5	8%	39%	2815	16
BB 02	5344,0	807,5	362,0	4536,5	15%	45%	6102	17
TOTAL DRILLS	17472	3482,5	1320	15270	20%	27%	22951	17
CRUSHERS								
RL-660	4272,0	981,0	336,5	3291,0	23%	34%	137580	409
RL-803	6184,0	2573,5	1127,0	3710,5	42%	44%	622560	552
Total	10456	3555	1464	7001	34%	41%	760140	519
DUMPERS	Performance CUMUL 2022							
	Shed.Hr	Av. Hr	Ut. Hr	B/D Hr	% Av.	%Util.	Prod.	T / Hrs
1324	2160,0	402,0	138,0	1758,0	19%	34%	16800,0	122
1325	7768,0	1101,5	618,0	6667,0	14%	56%	76200,0	123
1326	7768,0	6155,5	3325,5	1612,5	79%	54%	427020,0	128
1327	7768,0	5531,0	3510,5	2142,0	71%	63%	447420,0	127
1328	7768,0	6347,0	2913,5	1427,0	82%	46%	373560,0	128
1329	7768,0	467,0	264,5	7301,0	6%	57%	33780,0	128
1330	7768,0	4736,5	2264,0	3031,5	61%	48%	295440,0	130
1331	7768,0	1947,5	1054,5	5820,5	25%	54%	132540,0	126
1332	7768,0	6490,0	4189,5	1378,0	84%	65%	544380,0	130
1333	7768,0	5609,5	3611,5	2158,5	72%	64%	460500,0	128
1334	7768,0	6839,5	3979,5	928,5	88%	58%	516060,0	130
1335	7768,0	6547,0	4277,5	1221,0	84%	65%	557520,0	130
Total	87608	52174	30147	35446	60%	58%	3881220	129

Résumé

Le processus de chargement et transport repose sur Les camions et les pelles qui sont les équipements les plus utilisés dans les mines a ciel ouvert et leurs performances sont très interdépendantes.

Les travaux issus de cet travail se situent dans le domaine de l'Aide à la Décision Multicritère (MultiCriteria Decision methode MCDM). Les problèmes de décision multicritère ont généralement de multiples solutions. Dans ce travail, un système de répartition en deux étapes est proposé pour optimiser l'utilisation des systèmes camion-pelle. Dans la première étape, les flottes de camions et de pelles sont divisées en sous-flottes pour travailler dans les trois chantier en activité. Puis on développe six scenarios.

L'approche proposée est testée dans une mine lorsque les quantités de production de minerai et de stériles du système de dispatching précédent et du cadre proposé ont été comparées,

Mots Clés : Chargement, transport, camion, pelle, MCDM, AHP, TOPSIS

Abstract

The loading and transport process relies on Trucks and shovels which are the most used equipment in open-pite mines and their performance is highly interdependent.

The work resulting from this work is in the field of Multicriteria Decision Support (MultiCriteria Decision method MCDM).Multi-criteria decision problems usually have multiple solutions.

In this work, a two-stage dispatch system is proposed to optimize the use of truck-excavator systems. In the first stage, the fleets of trucks and excavators are divided into sub-fleets to work in the three working sites. Then we develop six scenarios and applying the integred TOPSIS-AHP.

The results of the proposed approach is tested in a mine case and when the quantities of ore and waste rock production from the previous dispatching system and the proposed framework have been compared,

Key Words:Loading, transport, Trucks, shovels, MCDM, TOPSIS,AHP

ملخص

تعتمد عملية التحميل والنقل على الشاحنات والمجارف التي تعد أكثر المعدات استخدامًا في المناجم المفتوحة ، كما أن أدائها يعتمد بشكل كبير على بعضها البعض.

العمل الناتج عن هذا العمل هو في مجال دعم القرار متعدد المعايير (أسلوب القرار متعدد المعايير MCDM) عادة ما يكون لمشاكل القرار متعددة المعايير حلول متعددة.في هذا العمل ، تم اقتراح نظام إرسال من مرحلتين لتحسين استخدام أنظمة حفارة الشاحنة. في المرحلة الأولى ، يتم تقسيم أساطيل الشاحنات والحفارات إلى أساطيل فرعية للعمل في مواقع العمل الثلاثة. ثم تطور ستة سيناريوهات ونطبق TOPSIS-AHP المتكامل.يتم اختبار نتائج النهج المقترح في حالة منجم وعند مقارنة كميات الخام ونفايات إنتاج الصخور من نظام الإرسال السابق والإطار المقترح ،