



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche 0  
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa  
معهد المناجم  
Institut des Mines  
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا  
Département Mines Et Géotechnologie



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

*Filière : génie minier*

*Option : Electromécanique minière*

### Optimisation des paramètres de chargement et transport par la méthode MCDM

*Par :*

YAHIAOUI TAHAR

Devant le jury :

FARES NOUR EDDINE	Président	MCB	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
AOULMI ZOUBIR	Encadreur	MCA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
HOUAM Alla	Examineur	MCA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Année universitaire 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

---

## Remercîment

---

*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 encadrant **Mr. ZOUBIR AOULMI** pour les efforts qu'il a déployé, pour m'aider, conseiller 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 **LOUANZA** pour leur aide, sympathie et assistance durant mon stage.*

*En fin, Je remercie tous ceux de près ou de loin qu'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 **D**ieu vous*

*Protèges, vous prêtez bonne santé et longue vie.*

*A 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,*

---

# Table De Matière

Remercîment.....	3
Dédicace.....	4
Table De Matières.....	I
Liste Des Tableaux.....	IV
Liste Des Figures.....	V
Liste Des Abréviations.....	VII
Introduction Générale.....	1
Chapitre I Chargement et transport.....	3
I.1. Introduction.....	4
I.2. chargement .....	4
I.2.1. Choix d'engin de chargement.....	4
I.2.2. cycle de l'unité de chargement.....	5
I.2.3. type des engins de chargement.....	5
I.2.4. les moyens de chargement.....	6
I.2.4.2. Les chargeuses.....	6
I.3.2. Les Pelles.....	8
I.3. TRANSPORT.....	11
I.3.1. les engins du transport.....	11
I.3.2. cycle d'engin de transport.....	12
I.3.3. choix d'engin de transport.....	13
I.3.4. type des engins de transport.....	13
I.2.4.2. Le convoyeur à bande.....	13
I.2.4.2. Transport par camion.....	15
I.4. Les classes d'heures et rendement générale du chantier.....	18
I.5. Combinaison des opérations de chargement et transport.....	21

---

I.6. Conclusion .....	21
Chapitre 2 Prise de décision multicritère.....	22
II.1. Introduction .....	23
II.2. Définition de L'aide à la décision multicritères.....	23
II.3. Historique de l'aide à la décision.....	23
II.4. Objectif de l'aide à la décision.....	24
II.5. Notion de critère .....	24
II.6. Matrice multicritères.....	24
II.7. Classification des méthodes.....	25
II.8. Étapes générales du MCDM.....	25
II.9. Catégories décisionnelles multicritères .....	26
II.9.1. Fonctions d'utilité.....	27
II.9.2. Fonction discriminante.....	27
II.9.3. Relations de surclassement.....	27
II.9.4. Approches compensatoires, non compensatoires et compensatoires partielles.....	27
II.9.5. Prise de décision individuelle ou en groupe.....	27
II.9.6. Informations qualitatives/quantitatives ou certaines/incertaines.....	27
II.9.7. Méthodes basées sur des compromis et non basées sur des compromis.....	27
II.9.8. MODM ou MADM.....	27
II.10. Techniques du MCDM .....	28
II.10.1. la méthode fuzzy-ahp.....	28
II.10.2. analyse des frontières efficaces.....	30
II.10.3. analyse multicritère.....	30
II.10.4. SAW.....	30
II.10.5. théorie de l'utilité multi attribut.....	31
II.11. Conclusion.....	31
 <i>Chapitre 3 : la théorie des files d'attentes</i> .....	 31
III.1 Introduction.....	32

---

III.2 L'origine de la théorie des files d'attente.....	32
III.3 Notations et définitions générales .....	33
III.4. modèle de file d'attente.....	33
III.4.1. la population .....	34
III.4.2. le nombre des serveurs.....	34
III.5. Le comportement d'une file d'attente.....	34
III.6. Les réseaux des file d'attente .....	34
III.7. Conclusion.....	35
Chapitre 4: application de la méthode MCDM et la théorie des files d'attente.....	36
IV.1 Introduction.....	37
IV.2 présentation de la mine.....	37
IV.3 la minéralisation.....	38
IV.4Application MCDM .....	49
IV.4.1 Identifier et sélectionner les critères.....	49
IV.4.2 Matrice MCDM.....	49
IV.4.3 Calcul du poids des critères ( FUZZY AHP) .....	49
IV.4.4. calcul des pondération alternatives.....	52
IV.4.5 discussion.....	58
IV.5Application la théorie des files d'attente.....	59
<i>Conclusion Générale</i> .....	60
Références bibliographies.....	63
<i>Annexe</i> .....	65
Abstract.....	70

# *Liste Des Tableaux*

Tableau I.1 : les classes d'heures.....	21
Tableau II-1: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans FUZZY-AHP .....	29
Tableau IV.1.: La minéralisation de gisement.....	41
Tableau IV.2: chronométrages de la durée de cycle de camion de chantier 01.....	42
Tableau IV.3: chronométrages de la durée de cycle de camion de chantier 02.....	42
Tableau IV. 4: Matrice des critères. ....	51
Tableau IV. 5: L'importance des critères.....	52
Tableau IV. 6: Matrice de comparaison.....	52
Tableau IV. 7 : Matrice de comparaison.....	52
Tableau IV. 8 : matrice normalisée.....	53
Tableau IV. 9:Poids des critères.....	53
Tableau IV.11 : Indice de cohérence aléatoire (IR) .....	55
Tableau IV.12 : critère temps d'attente des camions. ....	55
Tableau IV.13: critère temps d'attente des pelles. ....	56
Tableau IV.14: critère de rendement. ....	56
Tableau IV.15: critère d'organisation. ....	56
Tableau IV.16 : Les scores de proximité des scenarios.....	57
Tableau IV.17: résultats du calcul du coefficient d'utilisations et rendement.....	62



# *Liste Des Figures*

Figure I.1. Cycle d'une unité de chargement dans les mines.....	6
Figure I.2 : Types des engins de chargement. ....	7
Figure I.3 : Chargeuse sur pneumatiques.....	8
Figure I.4: Chargeuses sur chenilles.....	8
Figure I.5 : pelle hydraulique.....	10
Figure I.7 :pelle à câble sur chenille. ....	10
Figure I.8 : Dragline marcheuse.....	11
Figure I.9 : Types des engins de transport. ....	12
Figure I.10 : schéma de cycle de l'unité de transport . ....	13
Figure I.11 : schéma des principaux éléments d'un convoyeur à bande.....	15
Figure I.12 : Camion CAT 775G.....	16
Figure I.13 : schéma des classes d'heures.....	20
Figure II-1. Opérateurs d'agrégations . ....	27
Figure II-2: les étapes de la méthode FUZZY-AHP.....	30
Figure III. 1 : schéma de système de file d'attente. ....	35
Figure IV.1 : Situation géographique.....	40
Figure IV.2 : schéma de dispatching des engins du 1er scenario.....	43
Figure IV. 3 : schéma de dispatching des engins du 2ème scenario.....	45
Figure IV. 4 : schéma de dispatching des engins du 3ème scenario.....	47
Figure IV. 5 : schéma de dispatching des engins du 4ème scenario.....	48
Figure IV. 6 : schéma de dispatching des engins du 5ème scenario.....	50

---

Figure IV. 10: poids des critères.....	54
Figure IV. 8: dépendance de $k_e$ en fonction de $(n)$ ( $k_e = f(n)$ ) .....	60
Figure IV. 9 : dépendance de $k_c$ en fonction de $(n)$ ( $k_c = f(n)$ ) .....	60
Figure IV. 10 : dépendance de variation des valeurs de $k_e$ et $k_c$ en fonction de $(n)$ . .....	61

# *Liste Des Abréviations*

**MCDA** : Analyse décisionnelle multicritère (Multi-criteriadecision-analysis).

**MCDM** : Prise de décision multi critère(Multi-criteriadecision-making).

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

**MADM** :Prise de décision à attributs multiples (Multipleattributedecision 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.

**$\lambda$**  : La racine propre maximale de la matrice de comparaison par paires.

**MCDM** : Multi-Criteria Decision Making

**FUZZY** : Logique Floue (en anglais, Fuzzy Logic)

**CR** : Consistency Ratio (Ratio de Consistance)

**RI** : Random Index (Indice Aléatoire)

**CI** : Consistance Index (Indice de Consistance).

---

# *Introduction Générale*

L'industrie minière algérienne a le potentiel de contribuer de manière significative à la croissance économique, mais elle a toujours été confrontée à des défis importants tels que l'inadéquation des infrastructures, le manque d'investissement et l'instabilité politique. Toutefois, les récentes initiatives du gouvernement visant à moderniser et à diversifier l'économie ont pour but de relever ces défis et de promouvoir la croissance du secteur minier.

Le gouvernement a introduit des réformes visant à promouvoir les investissements étrangers dans l'industrie minière et a établi des partenariats avec diverses sociétés minières internationales. En outre, le gouvernement a investi dans des infrastructures telles que les chemins de fer, les ports et les autoroutes afin d'améliorer l'accès aux sites miniers.

L'industrie minière algérienne a un grand potentiel de croissance et de développement, mais elle nécessitera des investissements continus et une modernisation pour réaliser pleinement son potentiel sur le marché mondial. [1]

Le processus de transport et de chargement est un aspect crucial des opérations minières et implique le déplacement de matériaux - tels que le minerai, les stériles et/ou les résidus - d'un endroit à un autre. Ce processus peut être souterrain ou à ciel ouvert, et le mode de transport peut varier en fonction de la distance et du terrain.

Dans l'ensemble, le processus de transport et de chargement est une étape cruciale dans l'industrie minière et joue un rôle important dans l'efficacité et la sécurité du transport des matériaux. [2]

Face à une concurrence acharnée et à des risques croissants, la prise de décision est cruciale pour la réussite de toute entreprise. La précision et la qualité des décisions prises déterminent le succès ou l'échec de l'entreprise, quel que soit son secteur d'activité.

Les problèmes de décision multicritères ont des solutions multiples. Pour résoudre ces problèmes, nous utilisons des méthodes dont les paramètres ont des conséquences imprévisibles. C'est pourquoi la plupart des méthodes d'aide à la décision multicritères ont été proposées.[3]

La MCDM est une approche systématique qui aide les décideurs à évaluer et à sélectionner des alternatives sur la base de critères ou d'objectifs multiples. C'est un outil

---

utile dans les situations où les décisions doivent être prises avec des informations incomplètes, des intérêts contradictoires et des objectifs multiples.[4]

L'idée principale de la MCDM est de décomposer le processus de prise de décision en plusieurs critères ou objectifs et d'évaluer chaque alternative sur la base de ces critères. Chaque critère peut être pondéré en fonction de son importance et les alternatives peuvent être classées en fonction de leur score global. [5]

C'est ainsi que des procédures comme Somme pondérée, intégrale de Choquet, MOORA, COPRAS, TOPSIS, EDAS, WASPAS ont vu le jour. Ces procédures d'agrégation ont vu le jour car il est nécessaire d'agréger toutes les performances pour avoir une seule valeur par alternative qui permettra de classer les alternatives. [6]

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 (FUZZY-AHP) et d'offrir aux décideurs un système de recommandation mettant en œuvre plusieurs opérateurs d'agrégations.

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'agrégations dans les systèmes d'aide à la décision. Par la suite différents opérateurs d'agrégations sont discutés tels que la somme pondérée, MOORA, FUZZY-AHP...etc.

**le troisième chapitre (théorie de file d'attente) :** explication de la théorie des files d'attente dans le système pelle et camion.

**Le quatrième chapitre (Application de la méthode MCDM (fuzzy-AHP) et théorie de file d'attente 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 processus de chargement et de transport est un pilier fondamental des activités minières, impliquant le déplacement de divers matériaux tels que le minerai, les stériles et les résidus d'un emplacement à un autre. Qu'il s'agisse de mines souterraines ou à ciel ouvert, les méthodes de transport varient en fonction des distances à parcourir et des caractéristiques du terrain. [7]

Dans les mines souterraines, des moyens tels que les locomotives, les wagons-navettes et les convoyeurs sont utilisés pour transporter efficacement les matériaux à travers les réseaux de tunnels.

D'un autre côté, les mines à ciel ouvert font principalement appel à des camions et à des bandes transporteuses pour le déplacement des matériaux. Une fois arrivés à destination, ces matériaux sont chargés dans des camions ou des wagons en vue de leur transport vers les installations de traitement ou de stockage. [8]

Ce processus de chargement peut varier en fonction de la nature des matériaux et de l'équipement disponible. Ainsi, le transport et le chargement revêtent une importance capitale dans l'efficacité et la sécurité des activités minières.

Ce chapitre se propose d'examiner de près les différentes méthodes de chargement et de transport utilisées dans les mines, en mettant en lumière les équipements et les technologies clés qui les sous-tendent.

## **I.2. Chargement :**

Le chargement, étape essentielle de l'exploitation minière, consiste à déplacer les matériaux extraits tels que le minerai ou les stériles du site minier vers les véhicules de transport en vue de leur distribution ultérieure. Cette opération, qui succède au dynamitage et à l'excavation, joue un rôle primordial dans l'ensemble du processus minier. Elle s'effectue au moyen d'une variété d'équipements de chargement, parmi lesquels figurent les chargeurs frontaux, les pelles et les bandes transporteuses.

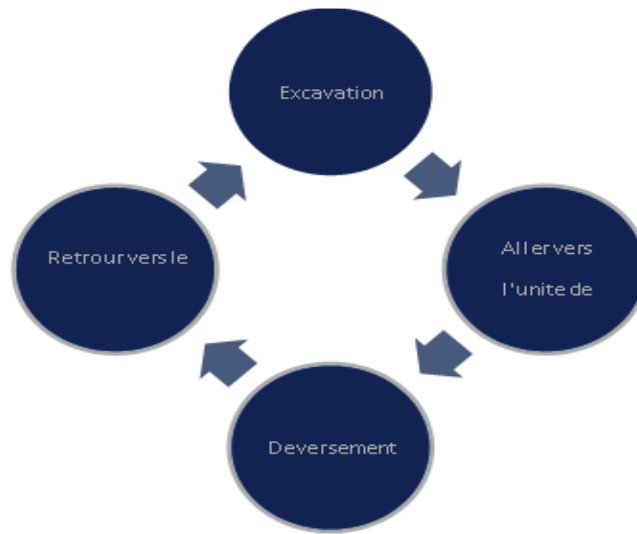
### **I.2.1. Choix d'engin de chargement :**

Le choix de l'équipement de chargement dans l'industrie minière dépend de plusieurs facteurs :

- Nature du matériau à charger.
- la distance par rapport aux véhicules de transport.
- Conditions du site.
- La production prévue.
- Type d'opération d'exploitation .[9]

## I.2.2. Cycle de l'unité de chargement :

Le cycle de l'unité de Chargement se présente comme suit :



**Figure I.1.** Cycle d'une unité de chargement dans les mines.

## I.2.3. Type des engins de chargement :

Dans les mines à ciel ouvert, on distingue deux types fondamentaux d'engins de chargement selon leur mode de fonctionnement :

### a) Engins à fonctionnement cyclique :

**Définition:** Ces engins réalisent les opérations élémentaires d'un cycle complet d'excavation et de chargement de manière successive.

#### Exemples :

Excavateurs à godet unique : Incluent les pelles mécaniques ou hydrauliques, les chargeuses frontales, et les draglines. [9]

### b) Engins à fonctionnement continu

**Définition :** Ces engins réalisent simultanément les opérations élémentaires d'un cycle complet d'excavation et de chargement, y compris le déplacement.

**Exemples :** Excavateurs à godets multiples : Incluent les roues pelles et les excavateurs à chaîne.

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

- Chargeuses pneumatiques ou sur chaînes (chenilles)
- Pelles sur pneus ou à chaînes
- Décapeuses élévatrices ou à lame (scrapers)
- Draglines (drague à câbles)
- Roues pelles
- Excavateurs à godets multiples.[9]

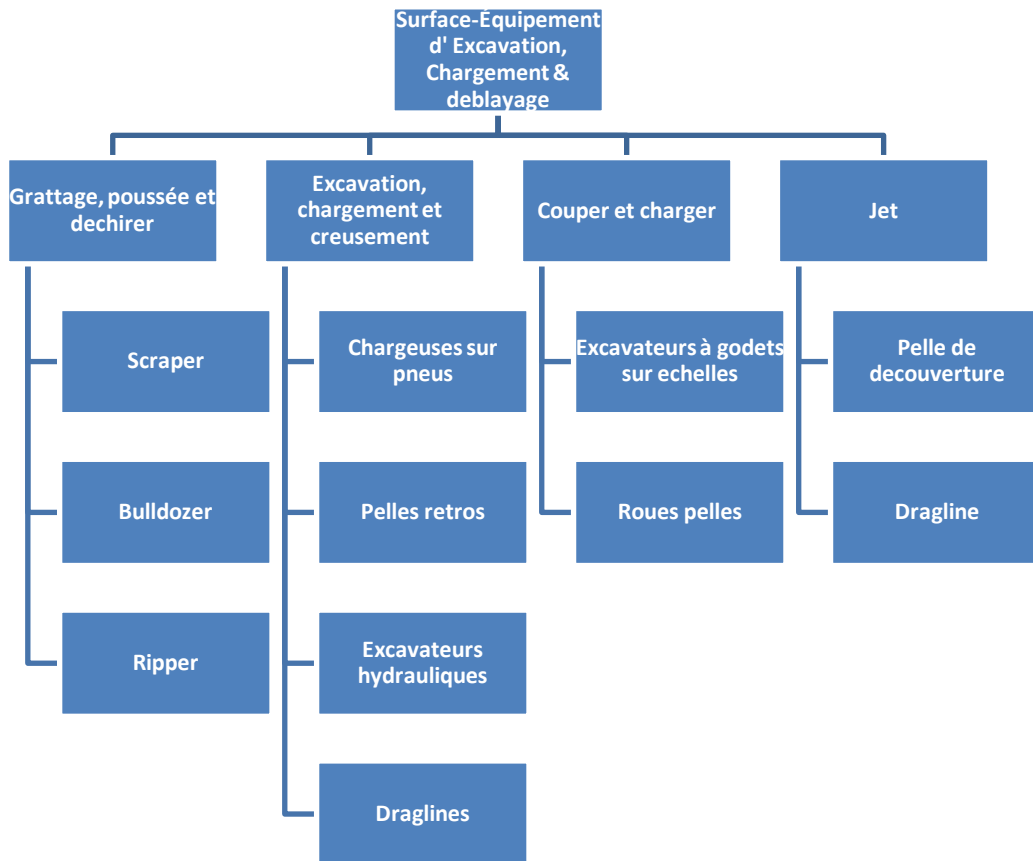


Figure I.2 : Types des engins de chargement. [9]

## I.3 Les moyens de chargement:

### I.3.1. Les chargeuses :

Les chargeuses, sont des engins de chargement essentiels dans diverses industries, notamment dans la construction, l'exploitation minière et les travaux de manutention. Elles sont conçues pour charger rapidement et efficacement une variété de matériaux en vrac tels que le gravier, le sable, la terre et les débris. Voici une explication plus détaillée de leur fonctionnement et de leurs avantages :

#### a) Fonctionnement des Chargeuses :

**Benne Frontale** : Les chargeuses sont équipées d'une grande benne montée à l'avant. Cette benne peut être actionnée hydrauliquement pour s'incliner vers l'arrière afin de charger les matériaux.[10]

**Moteur** : Les chargeuses sont propulsées par un moteur qui alimente également les systèmes hydrauliques pour le mouvement de la benne et d'autres accessoires.

**Transmission** : La transmission permet à la chargeuse de se déplacer vers l'avant et vers l'arrière, ainsi que de tourner sur place pour une meilleure maniabilité.

**Pneus ou Chenilles** : Selon le modèle, les chargeuses peuvent être équipées de pneus ou de chenilles. Les pneus offrent une grande mobilité sur des surfaces dures et stables, tandis que les chenilles offrent une meilleure traction sur des terrains difficiles ou accidentés.

## I.3.1.1. Chargeuses sur pneumatiques :

les chargeuses sur pneumatiques sont des engins de chargement polyvalents, mobiles et efficaces, adaptés à une gamme d'applications dans diverses industries. Elles jouent un rôle crucial dans le déplacement efficace des matériaux en vrac sur les chantiers et les sites de travail. [11]

### **Avantage :**

**Mobilité :** Les pneumatiques permettent aux chargeuses sur pneumatiques de se déplacer facilement sur différents types de terrains.

**Vitesse :** Elles offrent une vitesse de déplacement élevée, ce qui permet un chargement rapide des matériaux et une meilleure productivité sur les chantiers.

**Polyvalence :** Les chargeuses sur pneumatiques sont polyvalentes et peuvent être utilisées dans une variété d'applications.

**Capacité de Charge :** Elles ont une capacité de charge élevée, ce qui permet de transporter de grandes quantités de matériaux en une seule fois.



**Figure I.3 :** Chargeuse sur pneumatiques.

## I.3.1.2. Les chargeuses sur chenilles :

Cette machine est un tracteur modifié avec un chargeur à godet. Elle est utilisée pour extraire des matériaux de gros amas rocheux lorsque les conditions ne sont pas bonnes. Elle peut également extraire des matériaux alluvionnaires secs ou humides [12].



**Figure I.4:** Chargeuses sur chenilles.



# Chapitre 1 : chargement et transport

---

## **Durée de cycle de la chargeuse « tch » :**

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<sub>ch</sub>** : temps de chargement,

**t<sub>déch</sub>** : temps de déchargement,

**t<sub>m</sub>**: temps de manœuvre du chargeur,

**t<sub>ret</sub>** : temps de retour de la chargeur à la position initiale,[11] [10]

### **I.3.2. Les Pelles :**

Une pelle mécanique, également connue sous le nom d'excavatrice, est un engin de chantier muni d'un bras articulé, d'une flèche, d'un godet et d'un châssis monté sur des chenilles ou des pneus. Elle est principalement utilisée pour creuser des tranchées, des fondations, des trous et des fosses, ainsi que pour déplacer des matériaux en vrac tels que la terre, le gravier ou le sable. Les pelles mécaniques sont largement utilisées dans divers secteurs, notamment la construction,[9] l'exploitation minière. 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
- Portée et Profondeur d'Excavation
- Capacité de Charge. [11]

#### **I.3.2.1. Les pelles hydrauliques en «rétro» ou en «butte» :**

Les pelles hydrauliques en "rétro" ou en "butte" sont des configurations spécifiques de pelles mécaniques adaptées à des tâches particulières, principalement dans le domaine de la construction, du génie civil et des travaux publics. [10]

##### **a) Pelle Hydraulique en "Rétro" :**

Une pelle hydraulique en "rétro" est une pelle mécanique équipée d'un bras articulé qui se replie vers l'arrière plutôt que vers l'avant, par opposition à la configuration standard où le bras se déploie vers l'avant. Cette configuration est souvent utilisée dans des situations où l'accès est limité à l'avant de la machine, mais où une portée étendue est nécessaire à l'arrière..

##### **b) Pelle Hydraulique en "Butte" :**

Une pelle hydraulique en "butte" est une pelle mécanique configurée pour travailler sur des pentes ou des talus, souvent avec un système de stabilisation ou de nivellement spécifique pour maintenir la stabilité de la machine sur des surfaces inclinées. [11]



**Figure I.5 :** pelle hydraulique.

### **I.3.2.2. Les pelles à câbles sur chenilles :**

Les pelles à câbles sur chenilles représentent une variante importante des équipements de construction utilisés dans diverses industries, notamment l'exploitation minière et la construction. Contrairement aux pelles hydrauliques conventionnelles, ces machines se distinguent par leur mécanisme de fonctionnement à câbles et treuils.

Ce système mécanique, basé sur la traction de câbles enroulés autour de tambours, permet d'effectuer les mouvements du godet ou d'autres accessoires. Leur conception robuste et leur fiabilité en font des choix privilégiés pour les applications nécessitant une puissance de levage considérable, telles que le déplacement de charges lourdes dans les mines à ciel ouvert.

Toutefois, malgré leur efficacité dans certaines conditions, les pelles à câbles peuvent présenter des limitations en termes de vitesse de fonctionnement et de complexité mécanique, ce qui peut influencer leur utilisation dans certaines tâches spécifiques. En somme, ces machines occupent une place importante dans le paysage des équipements de construction, offrant une solution robuste et fiable pour les besoins de levage et de déplacement de charges lourdes dans divers environnements industriels. [12]



**Figure I.7 :** pelle à câble sur chenille.

## **I.3.2.5. Les draglines marcheuses :**

Les draglines marcheuses, des équipements impressionnants et emblématiques de l'exploitation minière à ciel ouvert, se distinguent par leur capacité à excaver d'énormes quantités de terre, de roches et de minéraux avec une efficacité remarquable. Contrairement aux pelles traditionnelles, ces machines imposantes se déplacent sur des pieds larges plutôt que sur des chenilles, ce qui leur confère une stabilité accrue sur les terrains irréguliers et meubles des mines à ciel ouvert. Leur conception complexe comprend généralement une grande flèche inclinée portant un godet massif suspendu par des câbles contrôlés par des treuils sophistiqués. [13]



**Figure I.8 :** Dragline marcheuse.

L'utilisation courante des draglines marcheuses dans l'industrie minière pour l'extraction de charbon, de minerai de fer et d'autres matériaux en grande quantité témoigne de leur importance dans le domaine. Cependant, en raison de leur taille et de leur impact sur l'environnement, une expertise considérable est nécessaire pour leur exploitation et leur gestion environnementale, soulignant les défis uniques associés à ces machines impressionnantes. [13]

## 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 dans les mines à ciel ouvert implique généralement l'utilisation de machines lourdes telles que des camions, des excavateurs et des chargeurs pour déplacer des matériaux et des équipements autour du site minier.[14]

Ces véhicules sont généralement utilisés pour transporter de grandes quantités de morts-terrains (déchets) loin de la zone de production, afin de permettre l'accès au minerai et aux minéraux qui sont extraits.[9]

Dans certains cas, des bandes transporteuses peuvent également être utilisées pour transporter des matériaux sur de longues distances, réduisant ainsi le besoin de transport par camion.

La planification du transport dans les mines à ciel ouvert doit tenir compte de l'efficacité du mouvement des matériaux, tout en garantissant la sécurité des travailleurs et en minimisant l'impact sur l'environnement.[12]

### I.3.1. Engin de transport :

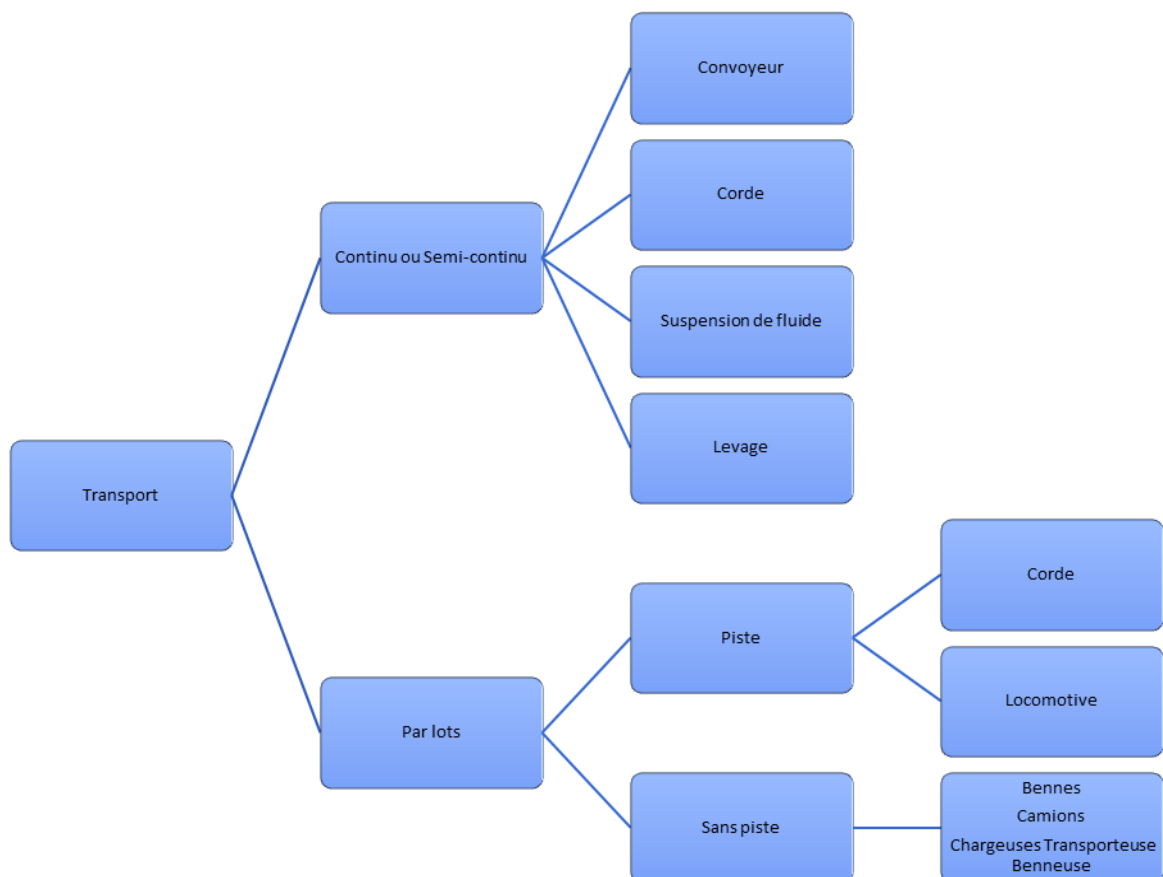
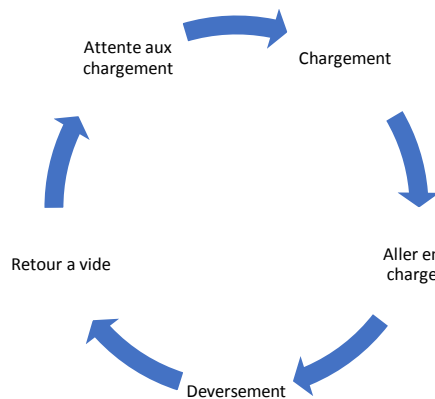


Figure I.9 : Types des engins de transport.

## I.3.2. Cycle des engins de transport :



**Figure I.10** : schéma de cycle de l'unité de transport.

Le temps de cycle de l'unité de transport est donné par la somme des temps de ses éléments :

$$T_{cyt} = T_c + T_a + T_d + T_r + T_{at} \quad \text{I-4}$$

**T<sub>cyt</sub>** : Le temps de cycle de l'unité de transport.

**T<sub>c</sub>** : Temps de Chargement.

**T<sub>a</sub>** : Temps d'Aller en charge.

**T<sub>d</sub>** : Temps de Déversement.

**T<sub>r</sub>** : Temps de Retour a vide.

**T<sub>at</sub>** : Temps d'Attente aux chargement.

## I.3.3. Choix d'engins du transport :

Le choix des moyens de transport dépend les facteurs suivants :

- La production annuelle de la carrière.
- Distance entre le site minier et le point de traitement ou de livraison.
- Le type d'engin de chargement.
- Types des matériaux extraits
- La méthode d'exploitation.
- La méthode d'ouverture.

## I.3.4. Types d'engins de transports :

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.[12]

## **b -transports discontinus :**

- Les tombereaux articulés (dumpers articulés)
- Les tombereaux rigides (dumpers rigides)[11]

### **I.3.4.1. Convoyeur à bande :**

le transport par courroie transporteuse dans les mines à ciel ouvert contemporaine a pris un départ très rapide qui lui donne une place de choix surtout dans les mines à ciel ouvert où le rendement superficiel est important.

de l'utilisation des courroies transporteuses dans les mines et carrières à ciel ouvert la production annuelle peut s'élever à plus de 50. 106 tonne, pour transporter un tel tonnage il faut avoir des bandes ayant la largeur supérieure à 2m et circulant à une vitesse de 4,5m/s et plus .

#### **I.3.4.1.1. Classification ces convoyeurs à bandes :**

- d'après la destination il existe des convoyeurs pour le fond, à ciel ouvert et communs.
- selon le type de brin porteur : convoyeur à brin porteur supérieur, à brin porteur inférieur et convoyeur à deux brins porteurs.
- d'après la forme de brin porteur il existe des convoyeur à bande plat et incurvée.
- selon la pente : convoyeur à pente normale (18°- 20°), et convoyeur à pente élevée de 20°.
- d'après la durée de service sur le lieu de travail : convoyeur fixes, et convoyeur mobiles.[15]

#### **I.3.4.1.2. Eléments constitutifs d'une bande transporteuse :**

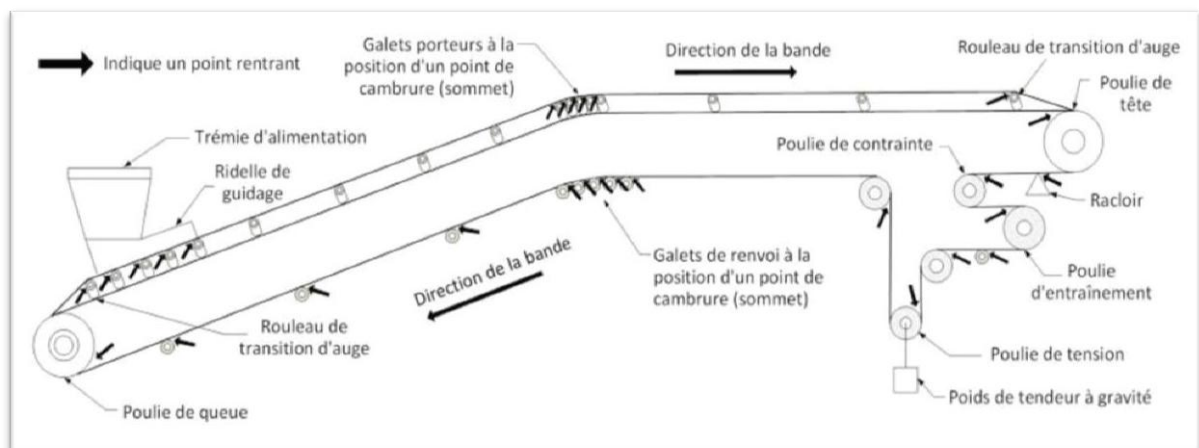
Une bande transporteuse est composée de plusieurs éléments qui travaillent ensemble pour transporter efficacement des matériaux d'un point à un autre. Voici les principaux éléments constitutifs d'une bande transporteuse :

- a) **La bande :** C'est l'élément principal de la bande transporteuse. Fabriquée en caoutchouc, en PVC, en nylon ou en d'autres matériaux, la bande transporteuse est une surface flexible et résistante qui supporte les matériaux transportés. Elle est souvent renforcée par des couches de tissu ou de métal pour augmenter sa résistance à la traction et à l'usure.

## Chapitre 1 : chargement et transport

- b) **Les rouleaux de support** : Les rouleaux sont montés sur le châssis de la bande transporteuse et soutiennent la bande lorsqu'elle transporte des charges. Ils peuvent être placés à intervalles réguliers le long de la bande pour assurer un soutien uniforme.
- c) **Le châssis** : Le châssis est la structure de support sur laquelle sont montés les rouleaux de support et la bande transporteuse. Il est généralement fabriqué en acier ou en aluminium et est conçu pour résister aux charges et aux contraintes de fonctionnement.
- d) **Les tambours de tension et de renvoi** : Les tambours de tension et de renvoi sont situés à chaque extrémité de la bande transporteuse. Le tambour de tension est utilisé pour ajuster la tension de la bande, tandis que le tambour de renvoi permet à la bande de changer de direction.
- e) **Les systèmes de moteur et de transmission** : Dans de nombreuses applications, une bande transporteuse est entraînée par un moteur électrique qui transmet le mouvement à la bande à travers un système de transmission tel qu'une courroie ou un engrenage. Ce système assure le déplacement continu et régulier de la bande.
- f) **Les dispositifs de guidage et de centrage** : Pour éviter que la bande ne dévie de sa trajectoire, des dispositifs de guidage et de centrage peuvent être installés le long de la bande transporteuse. Ils assurent un alignement correct de la bande et réduisent les risques d'usure et de défaillance prématurée.
- g) **Les accessoires de sécurité** : Des dispositifs de sécurité tels que des protections latérales, des capteurs de vitesse et des interrupteurs d'arrêt d'urgence peuvent être installés pour assurer la sécurité des opérateurs et prévenir les accidents sur la bande transporteuse.

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



**Figure I.11** : schéma des principaux éléments d'un convoyeur à bande.

### I.3.4.1.3. Les avantages de transport par bande :

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

- Efficacité et productivité;
- Facilité d'entretien;
- Rendement remarquable;
- Transport continu;
- Réduction des coûts opérationnels
- Fiabilité et faible entretien
- Optimisation de l'espace. [15]

### I.3.4.2. Transport par camion :

Dans l'industrie minière, le transport par camion est l'un des modes de transport les plus couramment utilisés pour déplacer les matériaux extraits des sites miniers vers les sites de traitement ou de livraison.

Ce mode de transport est privilégié en raison de sa flexibilité et de sa capacité à s'adapter aux exigences spécifiques de chaque site. Les camions miniers, dotés de bennes de chargement robustes, peuvent transporter d'importantes charges de matériaux tels que le minerai, les déblais et autres matériaux en vrac sur des distances variables. Leur polyvalence leur permet de naviguer efficacement à travers des terrains accidentés et des conditions environnementales difficiles, assurant ainsi un flux continu de matériaux vers les points de traitement ou de stockage. De plus, le transport par camion offre une rapidité de livraison appréciable, contribuant ainsi à optimiser les processus de production et à répondre aux besoins en matériaux de manière efficace. En somme, le transport par camion représente un pilier essentiel de l'industrie minière, offrant une solution fiable, adaptable et efficace pour le déplacement des matériaux dans un contexte d'extraction et de traitement complexes.[12]



**Figure I.12 :** Camion CAT 775G.

## I.3.4.2.1. 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 relier 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 relier 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.

**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'échappements 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'admissions 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. [16][15]

## I.3.4.2.2. Choix du type de camion :

Actuellement pour l'exploitation à ciel ouvert, on à 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.[15]

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 :

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

# Chapitre 1 : chargement et transport

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

$$V_b = (8 - 12) \cdot E ; m^3$$

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.[17]

### I.3.4.2.3. 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 :

$$N_c = \frac{t_{par}}{t_{ch}} \quad I-6$$

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 :**

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

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 :

$$N_c = \frac{t_r + t_d + t_m}{t_{ch}} \quad I-8$$

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

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

Où :

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

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

# Chapitre 1 : chargement et transport

## a. Rendement du camion :

Le rendement du camion est déterminé par la formule suivante :

$$R = \frac{60 \cdot T_p \cdot G \cdot K_U \cdot K_r}{K_f \cdot T_C}$$

$$N_C = \sum_{i=0}^n N_i \quad I-10$$

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

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

**T<sub>p</sub>** : durée d'un poste ; heure.8

**K<sub>u</sub>** : coefficient d'utilisation du camion.

**G**: capacité de charge de la benne du camion ; t.

**K<sub>f</sub>** : coefficient de foisonnement de la roche .

**T<sub>c</sub>** : durée d'un cycle.

## I.4. Classes d'heures et Rendement général du chantier :

Le calcul précis du rendement global du chantier est un processus extrêmement complexe. Par conséquent, il est essentiel de prendre en compte les coefficients d'utilisation effective (CUE) et de mise à disposition (CMD) des engins miniers provenant de différentes classes d'heures d'une période de référence, qui peut normalement correspondre à un poste, une journée, une semaine, un mois ou une année, plutôt que d'utiliser les rendements horaires et globaux du chantier. On peut diviser cette période de référence en différentes catégories d'heures :

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

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'exploitations 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.

# Chapitre 1 : chargement et transport

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 affectés 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.

## I.4.2.2. heures de maintenance, HM :

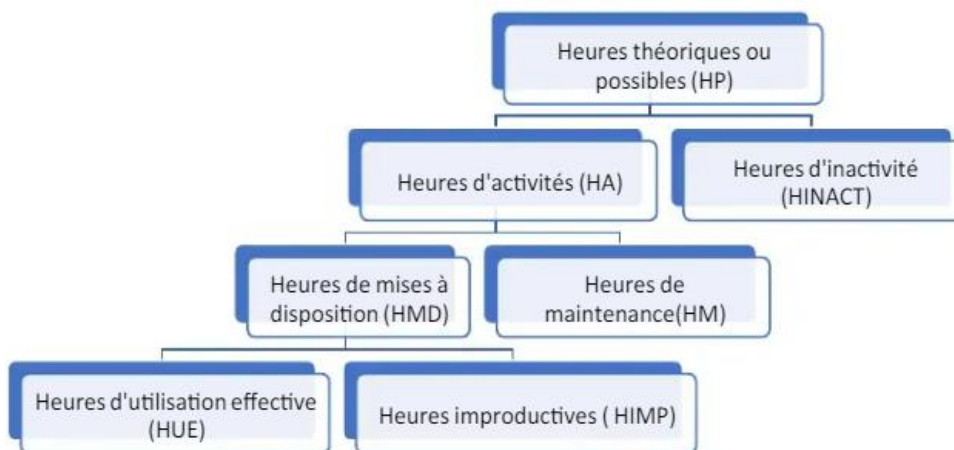
Ce sont les heures pendant lesquelles les engins sont à la disposition de la maintenance.

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.



**Figure I.13** : schéma des classes d'heures.

## Chapitre 1 : chargement et transport

Classes principales d'heures (à utiliser obligatoirement pour le calcul des coefficients).			Catégories d'heures (à utiliser facultativement).		
			1 <sup>er</sup> niveau : terminologie obligatoire	2 <sup>eme</sup> 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.
				Changement des postes.	-Prise en charge. -ravitaillement.
		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.	

**Tableau I.1 : les classes d'heures.**



### **I.3. Combinaison des opérations de chargement et transport :**

La production dans les mines modernes dépend étroitement de la coordination entre les opérations de chargement et de transport. L'objectif principal est d'optimiser l'utilisation des équipements de chargement et de transport afin de minimiser les coûts d'exploitation. En pratique, cela implique de sélectionner des équipements de chargement dont la capacité correspond à celle des équipements de transport, généralement remplis en trois à six passages. Les fabricants proposent une variété d'options pour ces équipements, complétées par des engins de terrassement pour maximiser l'efficacité minière. Ainsi, la capacité de chargement est déterminée en fonction des besoins de production, suivie par celle des équipements de transport et des engins de terrassement pour maintenir des niveaux optimaux de production. Des choix inappropriés en matière d'équipements peuvent entraîner une sous-utilisation et compromettre les résultats. Quant aux temps de cycle, ils sont évalués en chronométrant les opérations existantes ou en utilisant des calculs prenant en compte divers facteurs comme la topographie. La stratégie d'une entreprise minière intègre des considérations financières, humaines et légales, toutes influant sur ses opérations. Les décisions financières orientent par exemple l'achat d'équipements, tandis que les ressources humaines influent sur la maintenance et que la législation peut imposer des restrictions opérationnelles [18].

### **I.4. 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.

---

---

# *Chapitre 2*

*Prise de décision multicritère*

---

### **II.1. Introduction :**

Les décideurs de l'industrie minière et de la transformation des minéraux sont souvent confrontés à des problèmes complexes; la résolution de ces problèmes nécessite souvent des connaissances multidisciplinaires, y compris les aspects techniques, économiques, environnementaux et sociaux, ainsi que la politique et la réglementation. La complexité découle du fait que le décideur doit tenir compte des divers objectifs et critères des différents intervenants.

Le décideur doit également tenir compte des divers risques associés aux données géologiques, aux méthodes d'exploitation minière, aux nouvelles technologies, à l'acquisition de terres, au nationalisme des ressources, aux prix des produits de base et aux conditions du marché, pour lesquels l'information est difficile à obtenir ou pas toujours exacte.

De plus, la nature imprécise de l'information peut mener à une décision prise avec incertitude.

La prise de décision multicritères (MCDM) fait partie de la recherche opérationnelle qui aide le décideur à résoudre les problèmes lorsque plusieurs critères contradictoires sont impliqués et doivent être évalués. [19]

Dans ce chapitre, on va présenter une définition des méthodes d'aide à la décision multicritères avec leurs principales classifications. Et après 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 multicritères (MCDA) est un domaine de recherche et de pratique qui se concentre sur le soutien aux décideurs confrontés à des choix complexes impliquant plusieurs critères conflictuels. Dans ce contexte, les décisions doivent être prises en tenant compte de différents aspects, souvent opposés, qui peuvent inclure des facteurs économiques, environnementaux, sociaux, techniques, ou autres. [20]

MCDM est le Technique de prise de décision utilisée depuis de nombreuses décennies pour juger différentes alternatives telles que la politique, la stratégie, le choix obtenir la solution des problèmes

l'aide à la décision multicritères est un domaine essentiel pour aborder les problèmes de décision complexes dans lesquels plusieurs critères doivent être pris en compte. En fournissant des cadres méthodologiques et des outils pour évaluer et comparer les alternatives, l'MCDM aide les décideurs à faire des choix éclairés et équilibrés.

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

L'aide à la décision a ses origines dans les années 1940 avec la recherche opérationnelle et la théorie des jeux, qui ont établi les bases pour la résolution de problèmes complexes de logistique et de stratégie. Pendant cette période, des techniques telles que la programmation linéaire et les modèles de simulation ont été développées pour optimiser les ressources. La publication de "Theory of Games and Economic Behavior" par John von Neumann et Oskar Morgenstern en 1944 a également été une contribution majeure, introduisant des concepts essentiels pour analyser des situations de conflit et de coopération.

## Chapitre 2 : prise de décision multicritère

---

Dans les années 1960 et 1970, l'aide à la décision a évolué avec le développement de méthodes spécifiques comme l'analyse multicritères et la programmation linéaire multi-objectifs. Ces méthodes ont permis d'évaluer des décisions impliquant plusieurs critères conflictuels. Les méthodes de sur classement (ELECTRE) et la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process), développée par Thomas L. Saaty dans les années 1980, ont fourni des outils structurés pour décomposer et analyser des problèmes complexes de décision. Cette période a été marquée par une amélioration continue des algorithmes et des techniques pour gérer des décisions multicritères. [5]

Depuis les années 2000, l'essor de l'informatique et des technologies de l'information a transformé l'aide à la décision. Les systèmes d'aide à la décision (DSS) informatisés ont été développés pour analyser des données et soutenir la prise de décision de manière plus efficace. L'intégration de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique a amélioré la prédiction et l'optimisation des décisions complexes. De plus, l'analyse des big data a permis de traiter et d'extraire des informations pertinentes à partir de grandes quantités de données, rendant les modèles plus puissants et les décisions plus éclairées et optimisées. [21]

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

L'objectif de l'aide à la décision peut aider les décideurs à décomposer des problèmes complexes en éléments plus petits et plus faciles à gérer et leur fournir des outils analytiques pour évaluer différents scénarios. Les décideurs peuvent ainsi anticiper les résultats potentiels de chaque scénario et prendre des décisions fondées sur des données et des preuves. [22]

### **II.5. Notion de critère :**

Un critère est une règle, une norme ou un test qui permet de juger ou d'évaluer quelque chose ; il va être le moyen utilisé pour décrire les actions. Formellement, on représentera les critères par des fonctions à valeurs réelles.

### **II.6. Matrice multicritères :**

Une matrice multicritères est une structure de données utilisée dans l'analyse multicritères pour représenter les évaluations ou les performances d'alternatives par rapport à plusieurs critères simultanément. Elle est souvent utilisée dans les processus de prise de décision complexe où plusieurs critères doivent être pris en compte pour évaluer et comparer différentes options.

Dans une matrice multicritères, les lignes représentent généralement les différentes alternatives ou options disponibles, tandis que les colonnes représentent les différents critères utilisés pour évaluer ces alternatives. Chaque cellule de la matrice contient une valeur qui représente l'évaluation de l'alternative correspondante par rapport au critère correspondant. [23]

### II.7. Classification des méthodes :

La classification des méthodes multicritères peut être faite selon les informations qu'il sera possible d'extraire. Pour cette raison, il est important de faire un choix sur la méthode à adopter pour le traitement du problème. On peut distinguer les méthodes actuelles trois groupes de classifications :

- ✓ Les méthodes d'agrégations.
- ✓ La méthode interactive.
- ✓ Les méthodes de sur classement.

### II.8. 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 les étapes suivantes :

- a) **Définition du Problème** : Cette étape implique la clarification et la compréhension complète du problème de décision à résoudre. Il est crucial de définir clairement les objectifs de la décision, les critères à considérer et les alternatives disponibles.
- b) **Identification des Critères** : Les critères sont les mesures utilisées pour évaluer les alternatives. Il est nécessaire d'identifier tous les critères pertinents qui sont importants pour la décision.
- c) **Identification des Alternatives** : Les alternatives sont les différentes options ou solutions disponibles pour résoudre le problème. Toutes les alternatives potentielles doivent être identifiées et définies.
- d) **Collecte de Données** : Cette étape consiste à recueillir toutes les informations nécessaires sur les critères et les alternatives. Cela peut impliquer des données quantitatives et qualitatives provenant de différentes sources.
- e) **Évaluation des Alternatives** : Les alternatives sont évaluées par rapport à chaque critère. Cela peut être fait en utilisant des méthodes d'évaluation quantitative, qualitative ou mixte, en fonction de la nature des critères et des données disponibles.
- f) **Pondération des Critères** : Les critères peuvent avoir des importances différentes dans la décision. Il est souvent nécessaire de pondérer les critères pour refléter leur importance relative dans la prise de décision globale.
- g) **Agrégation des Évaluations** : Une fois que les alternatives ont été évaluées par rapport à chaque critère et que les pondérations des critères ont été définies, les évaluations sont agrégées pour obtenir une évaluation globale de chaque alternative.
- h) **Analyse Sensibilité** : Il est important de tester la robustesse des résultats en effectuant des analyses de sensibilité pour évaluer comment les changements dans les pondérations des critères ou les évaluations des alternatives affectent les résultats

- i) **Prise de Décision** : Enfin, sur la base des résultats de l'analyse multicritère, une décision est prise en sélectionnant l'alternative qui répond le mieux aux objectifs de la décision, en prenant en compte les compromis entre les différents critères.
- j) **Communication des Résultats** : Les résultats de l'analyse multicritère doivent être communiqués de manière claire et transparente aux parties prenantes concernées, afin de faciliter la compréhension et l'acceptation de la décision prise. [24]

### II.9. Catégories décisionnelles multicritères :

il existe de nombreuses méthodes MCDM avec des caractéristiques différentes qui peuvent être liées à de nombreux aspects de la qualité des réponses au type de problème que ces méthodes résolvent. Par conséquent, pour mieux comprendre les méthodologies de MCDM qui aident à choisir une méthode appropriée pour les problèmes rencontrés, il est essentiel d'identifier la classification des problèmes de MCDM.

Différentes typologies et sous-groupes considérant différents aspects des problèmes sont reconnus dans de nombreuses études.

Ici, certains des principaux sous-groupes sont répertoriés, puis la technique de classification la plus courante est expliquée plus en détail.[25]

Tout d'abord, une méthode importante considère le type de procédure d'agrégation qui est utilisé pour évaluer les critères qui peuvent être considérés pour identifier la classification MCDM , les méthodes d'agrégation sont les suivantes :

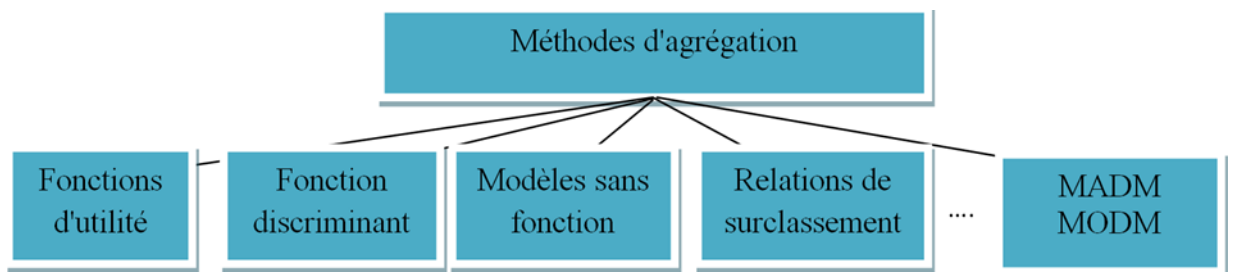


Figure II-1. Opérateurs d'agrégations [26].

#### II.9.5 Fonctions d'utilité :

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

#### II.9.5 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.9.5 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.9.5 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.9.5 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.9.5 Informations qualitatives/quantitatives ou certaines/incertaines :**

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

### **II.9.5 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.9.5 MODM ou MADM :**

Ce sont les méthodes les plus couramment utilisées, les critères sont considérés comme deux types attributs et objectifs ; Dans 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. [26]

### II.10. 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), le modèle de somme pondérée. [27]

#### II.10.5 La méthode FUZZY-AHP :

La méthode AHP désassemble d'abord le problème de décision d'origine dans une structure hiérarchique et contient l'objectif de décision, les alternatives, les critères et la comparaison pour obtenir les priorités de tous les éléments ; et la logique floue est une approche qui traite des données incertaines et des connaissances non implémentées. Lorsque les décideurs doivent tenir compte de circonstances incertaines.

Avec une incertitude dans la pensée et la perception humaines. Clusters flous de type 2  
Clusters flous de type 1 généralisés, ce qui crée plus d'incertitude lors de la définition de la

fonction d'appartenance.

Certains problèmes de prise de décision floue multicritères sont étendus à l'aide d'ensembles flous de type 2. Les ensembles généraux d'ambiguïté de type 2 étant plus complexes, l'utilisation d'ensembles flous d'intervalle de type 2 a été proposée pour traiter l'incertitude. Maillage Pro Flou. [28]

#### Etape 1 : Critères de comparaison

Après établissement du réseau, des matrices de comparaison floues évaluées parmi tous les critères des systèmes du réseau selon le tableau II-1

Variabiles linguistiques	Valeurs numérique	Échelles floues d'intervalle trapézoïdal
Absolument important	9	(9. 9. 9)
Fortement important	7	(6. 7. 8)
Très important	5	(4. 5 .6)
Faible importance	3	(2 .3 .4)
D'importance égale	1	(1. 1 .1)

Tableau II-1: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans FUZZY-AHP [28]



### Étape 2 : Calcul des moyennes géométriques et des poids flous :

Calcul des moyennes géométriques et des poids flous : La moyenne géométrique de chaqueligne calculée après que les poids flous sont calculés par normalisation. La moyenne géométrique de chaque ligne

$$r_i = (a_{i1} \times \dots \times a_{im})^{1/n}; \forall i$$

$$W_i = r_i \times (r_1 \dots + r_n)^{-1}$$

$$U_i = \sum_{j=1}^n W_i \cdot r_{ij} \quad (II-1)$$

Où :  $U_i$  : est l'utilité floue de l'alternative ou du critère. [28]

### Étape 3 : Obtention de super matrices :

Obtention de super matrices Pour obtenir des matrices non granulaires, la supermatrice non pondérée qui inclut à la fois les dépendances internes/externes et la rétroaction est traitée à l'aide. [28]

### Étape 4 : Calcul des pondérations alternatives :

Les poids des alternatives sont calculés en multipliant les poids des principaux critères, sous-critères, limites et alternatives déterminés par l'expert. La normalisation est également appliquée pour tous les critères. [28]

### Étape 5 : Sélection de la meilleure alternative :

Sélection de la meilleure alternative Enfin, une alternative qui a le poids maximum est sélectionnée parmi toutes les alternatives comme étant la meilleure alternative. [28]

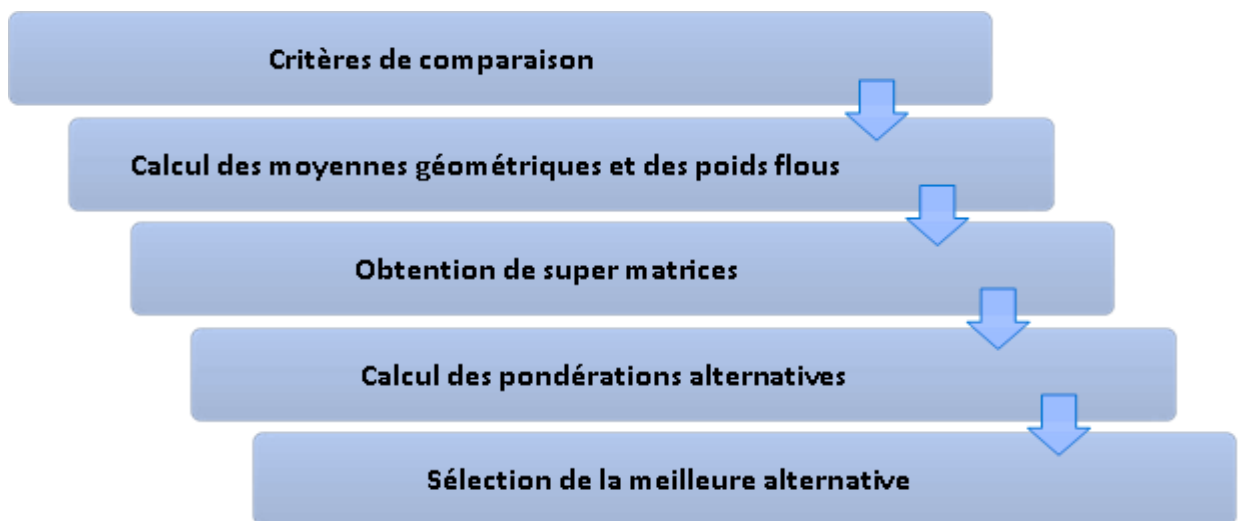


Figure II-2: les étapes de la méthode FUZZY-AHP.

### **II.10.2. Analyse des frontières efficaces (AFE)**

Cette méthode consiste à identifier les solutions optimales qui se trouvent sur le front de Pareto, où aucune solution ne peut être améliorée dans un critère sans détériorer au moins un autre critère. Dans le contexte minier, cela signifie trouver des compromis entre les différents objectifs pour obtenir des solutions optimales.

### **II.10.3. Analyse multicritère (MCA) :**

Cette méthode implique la comparaison et l'évaluation de différentes alternatives en fonction de multiples critères ; Dans le contexte minier, cela peut inclure des critères tels que le coût, la productivité, l'efficacité énergétique, les émissions de carbone, etc.

La MCA permet de classer les alternatives en fonction de leur performance globale par rapport à ces critères.

### **II.10.4. SAW: Simple additive weighting Method:**

Cette méthode est l'une des plus anciennes, des plus connues et des plus couramment utilisées dans la pratique.

Dans le processus de la méthode SAW, les notes finales sont calculées et classées pour chaque alternative.

L'intégration des valeurs et des poids des critères se fait par le biais d'une mesure unique. Les alternatives comparées doivent être classées par ordre décroissant.

La méthode SAW constitue la base de la plupart des méthodes MADM telles que AHP et PROMETHEE qui utilisent sa propriété additive pour calculer les scores finaux.

La pondération additive simple, également connue sous le nom de notation pondérée linéaire, est une technique de prise de décision simple et couramment utilisée pour des attributs multiples, basée sur des moyennes pondérées.

Un score d'évaluation est calculé pour chaque alternative en multipliant la valeur d'échelle donnée pour cet attribut par les poids d'importance relative directement attribués par le décideur.

### **II.10.5 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.

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. [29]

### **II.11. Conclusion :**

Après cette étude théorique, nous avons abordé ce chapitre où nous avons abordé MCDM, FUZZY-AHP, MGP, MAUT, SAW; comme des méthode qui nous aideront à choisir la meilleure zone pour l'optimisation de processus de transport et chargement minière. Chaque méthode a été bien présenté dont les principaux étapes sont donné.

Nous détaillons également le technique (Fuzzy-AHP) qu'on va utiliser dans notre cas d'étude.

---

---

# *Chapitre 3*

*La théorie des files d'attente*

---

---

# Chapitre 3 : la théorie des files d'attente

## III.1 Introduction :

La Théorie des files d'attente est une technique de la Recherche opérationnelle qui permet de modéliser un système admettant un phénomène d'attente, de calculer ses performances et de déterminer ses caractéristiques pour aider les gestionnaires Dans leurs prises de décisions.

Il est possible de considérer les files d'attente comme une caractéristique de la vie moderne. Ils sont présents dans une variété de secteurs d'activité, notamment dans le trafic routier (carrefours à feux). Un domaine important des processus stochastiques est l'étude mathématique des phénomènes d'attente.

Chaque fois que certaines unités appelées "clients" se présentent d'une manière aléatoire aux "stations" pour recevoir un service dont la durée est généralement aléatoire, on parle du phénomène d'attente. En tant que tel, la théorie des files d'attente n'existe pas. La théorie des files d'attente est un formalisme mathématique qui permet des analyses quantitatives à partir de données des caractéristiques du flux d'arrivées et des temps.

L'objectif principal de ce chapitre est d'expliquer le phénomène d'attente, de présenter les notions de base concernant les systèmes des files d'attente et de définir les paramètres permettant de décrire les performances de tels systèmes.

## III.2 L'origine de La théorie des files d'attente

Le La théorie des files d'attente trouve ses origines au début du 20ème siècle avec les travaux de l'ingénieur danois Agner Krarup Erlang. En 1909, Erlang, travaillant pour la compagnie de téléphonie danoise Copenhagen Telephone Company, a commencé à étudier les problèmes liés à la congestion des appels téléphoniques et à l'optimisation des infrastructures de télécommunication. [30]

Des durées des appels ; il réussit à calculer relativement facilement la probabilité qu'un appel soit rejeté. La notion d'équilibre stationnaire dans un système d'attente est introduite.

À partir des années 30, la théorie des files d'attente a commencé à se développer lentement grâce aux travaux de plusieurs mathématiciens tels que Molina, Fry, Pollaczek aux États-Unis, Kolmogorov et Khintchine en Russie, Palm en Suède, ou Crommelin en France. Les années 50 marqueront le début de la théorie.

Ces travaux ont une grande utilité dans les domaines de la recherche opérationnelle et du génie industriel. Il est possible de mentionner les types de flux de trafic tels que les véhicules, les avions, les personnes et les télécommunications, la planification telle que les patients dans les hôpitaux, les programmes d'ordinateur, etc... ou encore le dimensionnement tels que la banque, le poste, le réseau, le téléphone et l'ordinateur.

Dans les années 80, cette discipline devient de plus en plus mathématique, et il y a une grande quantité d'articles dans la littérature qui décrit des méthodes ou des astuces mathématiques pour résoudre les modèles avec précision.

Actuellement ce sont les applications dans le domaine de l'analyse de performance des réseaux (téléphone mobile, Internet, multimédia, . . .) qui suscitent le plus de travaux.

### III.3 Notations et définitions générales

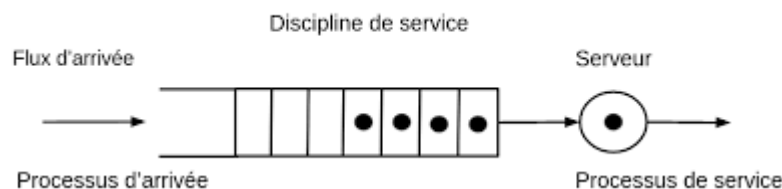
Dans cette section nous commençons d'abord par la présentation des systèmes et réseaux des files d'attente avec leurs éléments caractéristiques puis, dans la deuxième partie, nous étudions les mesures de performances concernant les files d'attente.

Une file d'attente est la donnée d'une (ou plusieurs) unité de services où les clients arrivent et demandent un service spécifique pour une durée spécifique. Les clients patientent dans une file d'attente en attendant d'être servis à cette unité de service.

Le système peut rejeter les clients arrivant dans une file pleine car la file d'attente peut n'accepter qu'un nombre fini de clients.

Un client peut être fourni pendant un certain temps avant d'être abandonné par le serveur.

Le service résiduel d'un client est la durée du service qui reste à effectuer ; Lorsque le service résiduel est nul, le client quitte le service.



**Figure III. 1** : schéma de système de file d'attente.

### III.4 Modèle de Files d'attente :

Tous les exemples de phénomènes d'attente ont des caractéristiques communes que l'on peut résumer ainsi : Des entités circulent dans un système et utilisent des ressources communes. Le système, les entités ou les ressources peuvent avoir un comportement imprévisible, c'est-à-dire dans le contexte d'une modélisation mathématique, aléatoire.

Une file d'attente se compose des éléments suivants :

1. La population.
2. Le nombre de serveurs.
3. Les tendances quant à l'arrivée et au service.
4. L'ordre de traitement des clients.
5. Une salle d'attente, c'est-à-dire un lieu où les clients attendent quand aucun des serveurs n'est disponible pour les servir.

#### III.4.1 La population :

Dans la théorie des files d'attente, la population est la source de clients potentiels.

Il y a deux situations possibles. Dans le premier cas, la population est infinie, c'est-à-dire que le nombre potentiel de clients est infiniment grand en tout temps. C'est le cas des clients des supermarchés, des banques, des restaurants, des cinémas, des centres d'appels, trafic urbain, etc.

De plus, les clients proviennent de toutes les régions possibles.

Dans la deuxième situation, la population est finie, ce qui signifie que le nombre de clients potentiels est limité. Un bon exemple est le nombre de machines, d'avions, etc., en réparation dans le centre de maintenance d'une entreprise.

### III.4.2 Le nombre de serveurs :

La capacité de service dépend de la capacité de chaque serveur et du nombre de serveurs disponibles. Le terme « serveur » représente ici la ressource et, en général, on suppose qu'un serveur ne traite qu'un client à la fois.

Les systèmes des files d'attente fonctionnent avec serveur unique ou serveurs multiples.

#### III.4.2.1 Systèmes de files d'attente avec un serveur unique :

Ce type de systèmes comprend un seul serveur qui offre le service. Les exemples de systèmes des files d'attente avec serveur unique sont nombreux : les petits magasins avec une seule caisse, tels que les dépanneurs, certains cinémas, certains lave-autos et établissements de restauration rapide avec guichet unique.

#### III.4.2.2 Systèmes de files d'attente avec plusieurs serveurs :

Ce type de systèmes comprend plusieurs serveurs qui fournissent le service. Les serveurs sont en parallèle ou en série

### III.5 Le comportement d'une file d'attente :

Cinq caractéristiques permettent de décrire le comportement d'une file d'attente :

- Le processus d'arrivée des clients.
- Le processus de service.
- La discipline de service de la file d'attente, c'est-à-dire la manière dont les clients sont choisis pour recevoir leur service.
- La capacité du système, c'est-à-dire le nombre total de clients pouvant se trouver dans le système à une instant donnée.
- Le nombre de serveurs.

### III.6 Les réseaux de files d'attente

La théorie des files d'attente fait partie de la théorie de la probabilité. Un système pouvant être décrit par cette théorie est composé de serveurs (un ou plusieurs) et de clients arrivant au service

. Les clients forment les files d'attente en attendant le service ou disparaissent du système sans être servis. Le temps de service ainsi que la fréquence des arrivées de clients au service sont les variables aléatoires.

Cependant, leur moyenne et leur fonction de distribution doivent être connues. En général, les systèmes traités par cette théorie sont divisés en deux groupes (Gnedenko and König, 1983; König et al., 1985) :

- **systèmes ouverts** : le flux des clients arrivant au service est généré à l'extérieur du système ;
- **systèmes fermés** : les clients arrivant au service circulent dans le même système.

## Chapitre 3 : la théorie des files d'attente

---

Il n'y a pas de client de l'extérieur.

Ces systèmes sont applicables aux systèmes analysés dans l'industrie minière, surtout pour le système pelle(s) – camions.

Les recherches (Gnedenko and König, 1983; König et al., 1985) ont démontré que l'arrivée des clients au service se fait de manière stochastique indépendante et elle représente souvent un événement de Poisson (la distribution de temps entre les arrivées est exponentielle).

### **Conclusion générale :**

L'utilisation des files d'attente peut être un aspect important de la conception des systèmes. Les files d'attente ont tendance à se former, bien que, d'un point de vue macro, les systèmes ne soient pas congestionnés. Les arrivées aléatoires des clients combinées à la variabilité des temps de service créent temporairement des congestions dans le système, d'où la création de files d'attente.

Le recours à l'évaluation de performance d'un tel système d'attente est nécessaire avant toute prise de décision, l'objectif étant l'optimisation de sa performance. Cette évaluation représente la mesure de l'impact d'une décision sur le système ou l'influence de perturbations modifiant son état. Les solutions analytiques bénéficient de temps de résolution très rapides. Les résultats peuvent être immédiats, car ils sont déterminés à partir d'équations mathématiques issues du formalisme emprunté. Toutefois, les modèles doivent être suffisamment simples pour demeurer solubles par voie analytique. Ainsi, la zone de fonctionnement de ces solutions, bien qu'étendue par les méthodes de résolutions approximatives, demeure assez restreinte.



---

# *Chapitre 4*

*Application de la Méthode MCDM*

*(FUZZY-AHP-)*

*Sur le Processus de Chargement et Transport*

---

## IV.1. Introduction

Les opérations de chargement et de transport dans les mines sont souvent confrontées à divers obstacles susceptibles de compromettre leur efficacité et leur rentabilité. Ces défis peuvent varier en fonction des particularités de chaque site minier, mais certains problèmes récurrents se manifestent fréquemment. Parmi ceux-ci, la gestion et la coordination des équipements représentent un défi majeur, en raison des nombreuses options disponibles et des contraintes logistiques à prendre en compte.

Dans ce chapitre, nous utiliserons la méthode MCDM en appliquant les techniques fuzzy-AHP et théorie de file d'attente dans le processus de chargement et de halage dans les mines, pour optimiser les opérations minières, améliorer la productivité, éviter les temps morts et réduire les coûts.

## IV.2. Présentation de la mine :

La mine d'El-Ouenza Elle est située à 120 kilomètres au Sud-sud-est d'Annaba. Elle est aussi limitée à l'est par la frontière Algéro-tunisienne et au nord par la wilaya de Souk-Ahras, et est limitée par deux oueds appelés respectivement « Oued Mellegue » et « Oued Kseub ». Elle est reliée à Annaba par la route nationale N°82B et une voie ferroviaire par laquelle est acheminée toute la production de l'unité de l'Ouenza vers l'installation portière ou elle serait expédiée vers le complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

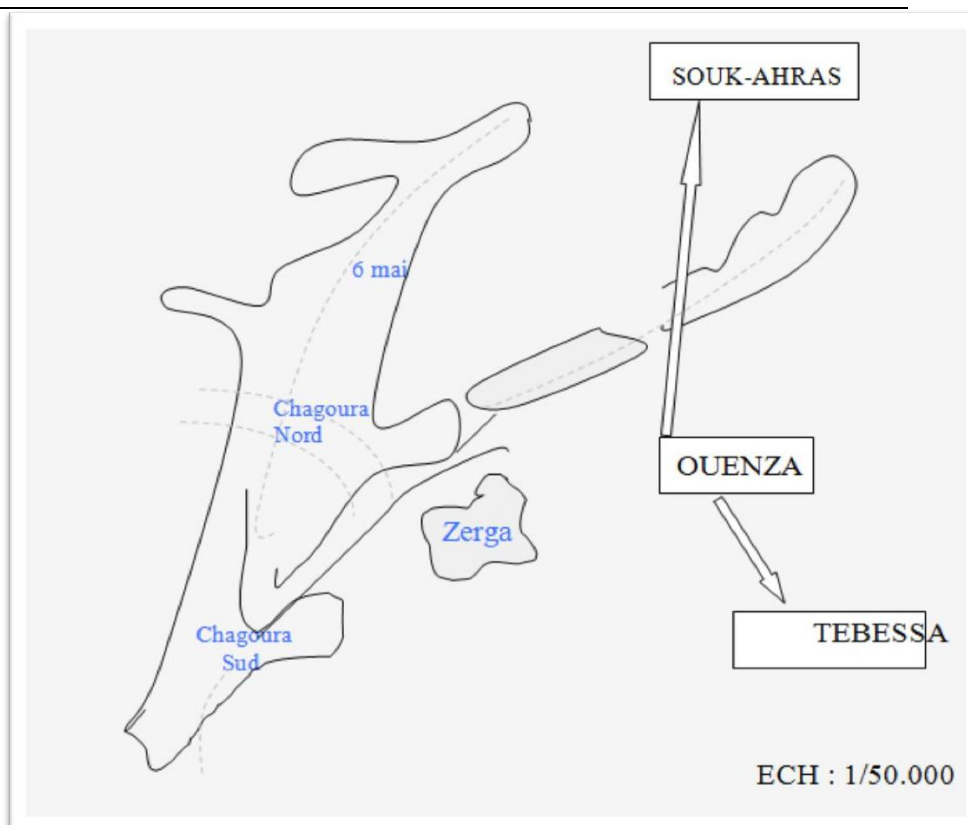
Le complexe minier de djebel l'Ouenza est une unité de production du minerai de fer. La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba.

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. Le gisement ferrifère de l'Ouenza est situé sur le flanc nord d'une chaîne montagneuse qui atteint une hauteur de 1288 mètres au sommet. Il mesure environ 12 kilomètres de long et 5 kilomètres de large. Les amas métallifères ont des mamelons grossièrement elliptiques. Leur territoire s'étend du nord-est au sud-ouest et comprend les coudiats Douamis, Hallatif et Zerga, ainsi que la région des conglomérats, le quartier Sainte-barbe, le gisement de Chagoura et le gisement de Chagoura. Le minerai peut atteindre des hauteurs de 45 mètres et des longueurs de 250 mètres, ce qui représente les conditions typiques pour une exploitation à ciel ouvert.

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'aménagements 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 IV.1 :** Situation géographique.

### IV.3 La minéralisation :

Les minerais sont constitués essentiellement 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 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.

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

**Tableau IV.1.:** La minéralisation de gisement.

#### **IV.3.1. Estimation des réserves :**

En générale, le quartier Chagoura Nord a été prospecté à l'aide de sondages verticaux basés sur une maille de 50x50m et de travaux miniers (galeries et recoupes) effectués sur six niveaux distincts (733, 785, 845, 905, 965, 1085). Des sondages de différentes orientations ont été forés pour délimiter les corps minéralisés.

Les stocks de tous les corps prospectés en utilisant une maille de 50x25m sont classés en catégorie B. Les blocs de réserves sont classés dans la catégorie C1 après avoir été prospectés par une maille plus large de 50X50m.

Les corps qui sont délimités par des sondages individuels et qui ont des informations géologiques insuffisantes, ainsi que les parties extrapolées de C1, sont classés 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.

#### **IV.4. Calcul les paramètres nécessaires des équipements miniers de chargement et transport :**

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

J'ai eu la chance d'assister à toutes les opérations du cycle de production des minéraux utiles et des roches stériles pendant mon stage. 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 (fuzzy-AHP) 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.

Et nous présentons la méthode en étudiant le phénomène d'attente, en élaborant le système d'attente dans un seul point de service.

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

**Chantier 01 : niveau 845 à distance 450m:**

Une seule pelle LIBHEER et trois camions pour le stérile.

Camion	Temps de chargement (min)	Temps de parcours (min)	Man (min)	Totale(min)
CAT775G-4	5.2	11.38	0.4	16.9
CAT775G-5	5.1	11.37	0.39	16.85
CAT775G-6	5	11.39	0.42	16.9
MOYEN	5.1	11.37	0.4	16.9

**Tableau IV.2:** chronométrages de la durée de cycle de camion de chantier 01.

**Chantier 02 : niveau 800 à distance 1240m**

Une seule pelle CATERPILLAR et trois camion pour le minerai.

Camion	Temps de chargement (min)	Temps de Parcours (min)	Temps de Manœuvre (min)	Totale(min)
CAT775G-1	6.95	24.03	0.4	31.4
CAT775G-2	6.85	24.06	0.39	31.4
CAT775G-3	6.9	24.03	0.42	31.4
MOYEN	6.9	24.03	0.4	31.4

**Tableau IV.3:** chronométrages de la durée de cycle de camion de chantier 02.

#### IV.4.1.Scenario 01 :

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Tant que on a deux chantier dans la carrière principal premier c'est de minerai et l'autre de stérile avec six camion, deux pelles 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 845 à distance 450m:

Une seule pelle LIBHEER et quatre camions pour le stérile.

##### Chantier 02 : niveau 800 à distance 1240m

Une seule pelle CATERPILLAR et deux camion pour le minerai.

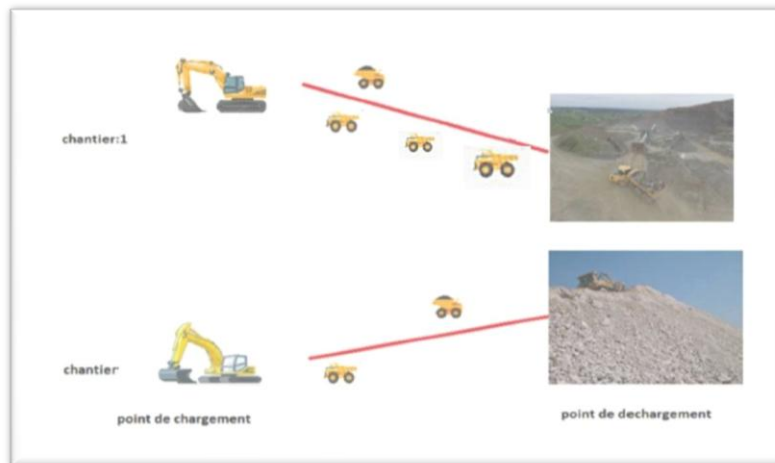


Figure IV.2 : schéma de dispatching des engins du 1<sup>er</sup> scenario.

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

$$T_{ch} = N_c \times t_{ch}; \text{ min} \quad \text{IV.1}$$

$$T_{ch} = 20.4 \text{ min}$$

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

$$N_{cycle} = \frac{60 \times T_p}{T_{par} + t_{ch} + T_{attc}} \quad \text{IV.2}$$

$$t_{attc} = ((N_c - 1) t_{ch} - T_{par}) \quad \text{IV.3}$$

$$t_{attc} = 3.93 \text{ min}$$

$$N_{cycle} = 23 \text{ cycle/p}$$

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

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

$t_{ch}$  : Temps du chargement d'un seul camion.

$t_{attc}$  : Temps d'attente d'un seul camion.

**Temps d'attente de camion :**

$$T_{att.c} = N_{cycle} \times N_c \times t_{attc}; min/p \quad IV.4$$
$$t_{att.c} = 361,56 min/p$$

**Rendement de chantier :**

$$R = N_{cycle} \times N_c \times C_b ; t/p \quad IV.4$$
$$R = 5980 t/p$$

**Chantier 02 :**

Nombre de camion=2

$T_{ch}$  : Temps de chargement total

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

$$T_{ch} = 14 min$$

$t_{ch}$  : Temps de chargement du camion,

$N_{cycle}$  : (min) Nombre de cycle par post

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

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

$$N_{cycle} = 15 cycle/p$$

**Temps d'attente de pelle :**

$$t_{att.p} = N_{cycle} \times (T_{par} - (N_c - 1)t_{ch}); min/p \quad IV.6$$

$$T_{att.p} = 265; min/p$$

**Rendement de chantier :**

$$R = 1950 t/p$$

---

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 :**

$$T_{att.p} = t_{att.p1} + t_{att.p2} ; min/p \quad IV.7$$
$$T_{att.p} = 265; min/p$$

**Temps d'attente des camions de scenario:**

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

**IV.8**

$$T_{att.c} = 361,56 \text{ min/p}$$

**Rendement :**

$$R = R1 + R2 ; \text{t/p}$$

**IV.8**

$$R = 7930 \text{ t/p}$$

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.

#### **IV.4.2. Scenario 02:**

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Tant que on a deux chantier dans la carrière principal deux de minerai et l'autre de stérile avec six camion, deux pelle 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 IV. 3** : schéma de dispatching des engins du 2<sup>ème</sup> scenario.

#### **Chantier 01 : niveau 845 à distance 450m:**

Une seule pelle CATERPILLAR et trois camions pour le minerai.

#### **Chantier 02 : niveau 800 à distance 1250m**

Une seule pelle LIBHEER et trois camions pour le stérile.

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



**Chantier 01 :**

Nombre de camion=3

$T_{ch}$  : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 15.3 \text{ min}$$

$$N_{cycle} = 29 \text{ cycle/p}$$

**Temps d'attente de pelle :**

$$t_{att.p} = 34 \text{ min/p}$$

**Rendement de chantier :**

$$R = 5655 \text{ t/p}$$

**Chantier 02 :**

Nombre de camion=3

$T_{ch}$  : Temps de chargement total

$$N_{cycle} = 15 \text{ cycle/}$$

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

**Temps d'attente de pelle :**

$$t_{att.p} = 135.45 \text{ min/p}$$

**Rendement de chantier :**

$$R = 2925 \text{ t/p}$$

---

**Temps d'attente des pelles de scenario :**

$$T_{att.p} = 187.45 \text{ min/p}$$

**Temps d'attente des camions de scenario:**

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

**Rendement :**

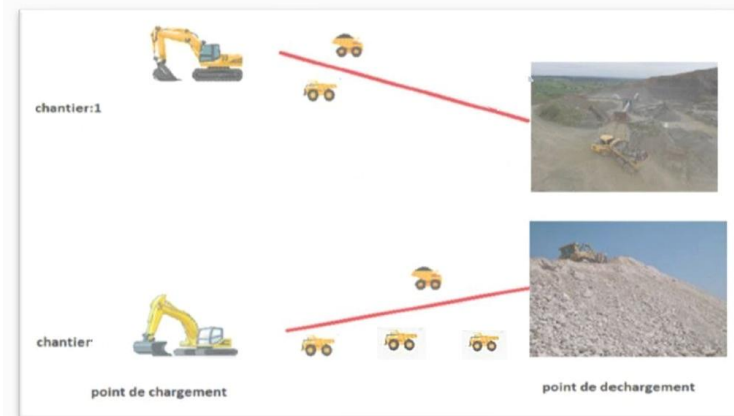
$$R = 8590 \text{ t/p}$$

---

#### IV.4.3. Scenario 03 :

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

Tant que on a deux chantier dans la carrière principal deux de minerai et l'autre de stérile avec six camion, deux pelle 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 IV. 4 :** schéma de dispatching des engins du 3<sup>ème</sup> scenario.

#### **Chantier 01 : niveau stock à distance 450m:**

Une seule pelle CAT et deux camions pour le minerai.

#### **Chantier 02 : niveau 830 à distance 1250m**

Une seule pelle LIBHEER et quatre camions pour le stérile.

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

#### **Chantier 01 :**

Nombre de camion=2

$$N_{cycle} = 29 \text{ cycle/p}$$

#### **Temps d'attente de pelle :**

$$t_{att.p} = 181.83 \text{ min/p}$$

#### **Rendement de chantier :**

$$R = 3770 \text{ t/p}$$

### Chantier 02 :

Nombre de camion=4

$T_{ch}$  : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 28min$$

$$N_{cycle} = 15 \text{ cycle/}$$

Temps d'attente de pelle :

$$t_{att.p} = 49.95 \text{ min/p}$$

Rendement de chantier :

$$R = 3900/p$$

---

Temps d'attente des pelles de scenario :

$$T_{att.p} = 231.78; \text{ min/p}$$

Temps d'attente des camions de scenario:

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

Rendement de scenario :

$$R = 7670 \text{ t/p}$$

---

#### III.4.4. Scenario 04 :

Dans cette hypothèse on suppose qu'on utilise :

**Chantier 01 : niveau 845 à distance 450m:**

Une seule pelle CAT et cinq camions pour le minerai.

**Chantier 02 : niveau 800 à distance 1250m**

Une seule pelle LIBHEER et un seule camions pour le stérile.

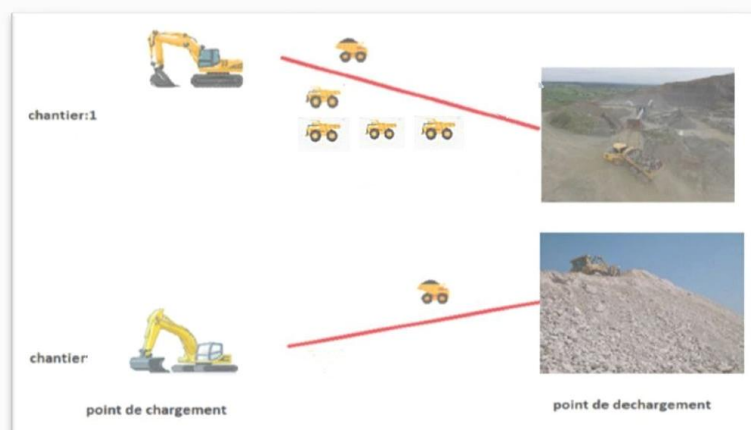


Figure IV. 5 : schéma de dispatching des engins du 4<sup>ème</sup> scenario.

**Chantier 01 :**

Nombre de camion=5

$T_{ch}$  : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 27.5 \text{ min}$$

$$t_{attc} = 8.6 \text{ min/p}$$

$$N_{cycle} = 19 \text{ cycle/p}$$

**Temps d'attente de camion:**

$$T_{att.c} = 860.7 \text{ min/p}$$

**Rendement de chantier :**

$$R = 6175 \text{ t/p}$$

**Chantier 02 :**

Nombre de camion=1

$T_{ch}$  : Temps de chargement total

$$T_{ch} = 7 \text{ min}$$

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

$$N_{cycle} = 15 \text{ cycle/p}$$

**Temps d'attente de pelle :**

$$t_{att.p} = 366 \text{ min/p}$$

**Rendement de chantier :**

$$R = 975 \text{ t/p}$$

---

**Temps d'attente des pelles de scenario :**

$$T_{att.p} = 366; \text{ min/p}$$

**Temps d'attente des camions de scenario:**

$$T_{att.c} = 860.7 \text{ min /p}$$

**Rendement :**

$$R = 7150 \text{ t/p}$$

---

#### IV.4.5 Scenario 05 :

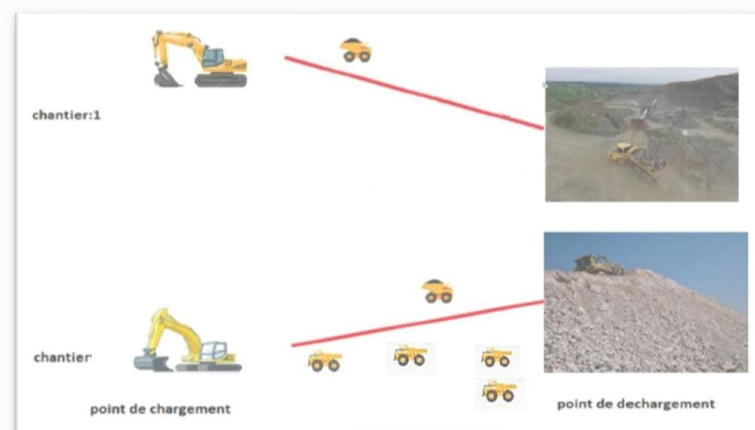
Dans ce scenario on suppose qu'on utilise :

##### **Chantier 01 : niveau 845 à distance 450m:**

Une seule pelle CATERPILLAR et un seule camions pour le minerai.

##### **Chantier 02 : niveau 800 à distance 1250m**

Une seule pelle LIBHEER et cinq camions pour le stérile.



**Figure IV. 6 :** schéma de dispatching des engins du 5<sup>ème</sup> scenario.

##### **Chantier 01 :**

Nombre de camion=1

$$N_{cycle} = 29 \text{ cycle/p}$$

##### **Temps d'attentes des pelles :**

$$t_{att.p} = 329.7 \text{ min/p}$$

##### **Rendement de chantier :**

$$R = 1885 \text{ t/p}$$

##### **Chantier 02 :**

Nombre de camion=5

$$N_{cycle} = 15 \text{ cycle/p}$$

##### **Temps d'attente de camion :**

$$t_{att.p} = 53.55 \text{ min/p}$$

##### **Rendement de chantier :**

$$R = 4875 \text{ t/p}$$

---

**Temps d'attente des pelles de scenario :**

$$T_{att.p} = 329.74 \text{ min/p}$$

**Temps d'attente des camions de scenario:**

$$T_{att.c} = 53.55 \text{ min/p}$$

**Rendement :**

$$R = 6760 \text{ t/p}$$

## IV.5. Application MCDM :

### IV.5.1. 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.

### IV.5.2. Matrice MCDM :

---

	$t_{att.p}$	$t_{att.c}$	rendement	organisation
scénario01	265	361.56	7930	3
scénario02	187.45	0	8590	5
scénario03	231.78	0	7670	4
scénario04	366	860.7	7150	2
scénario05	329.7	53.55	6760	4

**Tableau IV. 4:** Matrice des critères.

### IV.5.3. Calcul du poids des critères (fuzzy-AHP) :

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

a. **L'importance des critères :**

**Tableau IV. 5:** L'importance des critères.

critère	L'importance
$t_{att.c}$	6
$t_{att.p}$	5
<b>rendement</b>	4
<b>organisation</b>	2

b. **Matrice de comparaison et moyennes géométriques :**

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 :

critère	$t_{att.c}$	$t_{att.p}$	Rendement	organisation
$t_{att.c}$	1	2	4	6
$t_{att.p}$	0.5	1	3	5
<b>rendement</b>	0.25	0.33	1	2
<b>organisation</b>	0.167	0.2	0.5	1

**Tableau IV. 6:** Matrice de comparaison.

critère	$t_{att.c}$	$t_{att.p}$	Rendement	organisation	moyen géométrique $r_i$
$t_{att.c}$	(1 1 1)	(1 2 3)	(3 4 5)	(5 6 7)	(1,96 2,6 3,2)
$t_{att.p}$	(1/3 1/2 1)	(1 1 1)	(2 3 4)	(4 5 6)	(1.27 1.65 2.21)
<b>rendement</b>	(1/5 1/4 1/3)	(1/4 1/3 1/2)	(1 1 1)	(1 2 3)	(0.47 0.63 0.84)
<b>organisation</b>	(1/7 1/6 1/5)	(1/6 1/5 1/4)	(1/3 1/2 1)	(1 1 1)	(0.3 0.35 0.47)

**Tableau IV. 7 :** Matrice de comparaison.

Calcul des moyennes géométriques et des poids flous : La moyenne géométrique de chaque ligne calculée après que les poids flous sont calculés par normalisation. La moyenne géométrique de chaque ligne

$$r_i = (a_{i1} \times \dots \times a_{im})^{1/n}; \forall i$$

$$W_i = r_i \times (r_1 \dots + r_n)^{-1}$$

$$U_i = \sum_{i=1}^n W_i \cdot r_{ij} \quad (II-1)$$

Où :  $U_i$  : est l'utilité floue de l'alternative ou du critère.

	moyennes géométriques fuzzy $r_i$	les poids fuzzy $W_i$
$t_{att.c}$	(1,96 ; 2,6 ; 3,2)	(0.29 0.49 0.8)
$t_{att.p}$	(1.27 1.65 ; 2.21)	(0.18 0.31 0.55)
<b>rendement</b>	(0.47 ; 0.63 ; 0.84)	(0.07 0.12 0.11)
<b>organisation</b>	(0.3 ; 0.35 ; 0.47)	(0.04 0.07 0.11)
<b><math>U_i = \sum^n r_{ij}</math></b>	(4 ; 5.23 ; 6.72)	

**Tableau IV. 8** : matrice normalisée.

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

critère	$w_i$
$t_{att.c}$	0.51
$t_{att.p}$	0.31
<b>rendement</b>	0.11
<b>organisation</b>	0.07

**Tableau IV. 9**: Poids des critères.



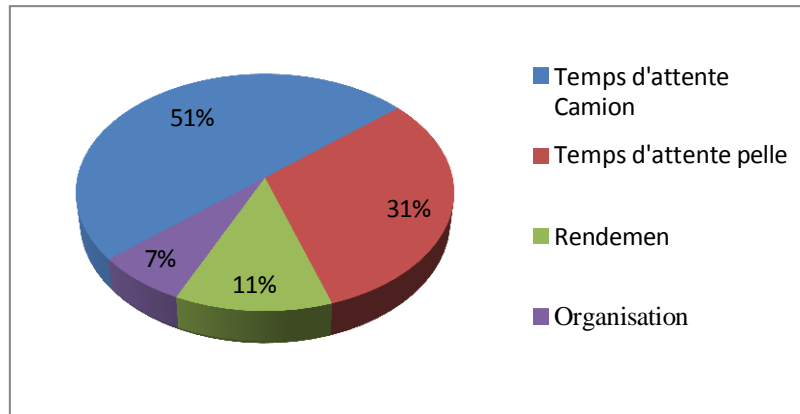


Figure IV. 10: poids des critères.

#### a. Cohérence des jugements :

La méthode F- 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 :

$$IC = \frac{\delta - m}{m - 1}; \quad m = 4 \quad \text{IV.11}$$

Où ;

$\lambda$  : 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).

Pour calculer  $\lambda$  (lambda), la somme des produits des éléments de chaque ligne du vecteur propre principal par les éléments correspondants de la matrice de comparaison paire, vous pouvez utiliser la formule suivante :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot w_j \right) \quad \text{IV.12}$$

Ou ;

- $\lambda$ : 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).
- $a_{ij}$  : sont les éléments de la matrice de comparaison paire.
- $w_j$  : sont les éléments du vecteur propre principal associés à la matrice de comparaison paire.

$$\lambda = 4.033$$

Donc :

$$IC = 0.011$$

À l'aide du tableau :

<b>IR</b>	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49
-----------	---	---	------	-----	------	------	------	------	------	------

**Tableau IV.11** : Indice de cohérence aléatoire (IR)

Nombre de critères  $m=4$  donc :

$$RI = 0.9$$

$$CR = \frac{IC}{RI} = 0.01 \quad \text{IV.13}$$

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

#### Calcul des pondérations alternatives :

Les poids des alternatives sont calculés en multipliant les poids des principaux critères, sous-critères, limites et alternatives déterminés par l'expert. La normalisation est également appliquée pour tous les critères.

#### Temps d'attente camion :

options	$t_{att.c}(\text{min})$	Score flou de critère	Poids des critères	Score réelle
	Bénéfice Négatif (Note Inverse)			
<b>scénario01</b>	-361.56	<b>-0.29</b>	<b>0.51</b>	<b>-0.147</b>
<b>scénario02</b>	0	0	<b>0.51</b>	0
<b>scénario03</b>	0	0	<b>0.51</b>	0
<b>scénario04</b>	-860.7	<b>-0.67</b>	<b>0.51</b>	<b>-0.34</b>
<b>scénario05</b>	-53.55	-0.041	<b>0.51</b>	0.021
<b>totale</b>	-1275.81			

**Tableau IV.12** : critère temps d'attente des camions.

**Temps d'attente pelle :**

options	$t_{att.p}$ (min)	Score flou de critère	Poids des critères	Score réelle
	Bénéfice Négatif			
scénario01	-265	-0.19	0.31	-0.058
scénario02	-187.45	-0.14	0.31	-0.043
scénario03	-231.78	-0.17	0.31	-0.052
scénario04	-366	-0.26	0.31	-0.08
scénario05	-329.7	-0.24	0.31	-0.074
totale	1379.93			

**Tableau IV.13:** critère temps d'attente des pelles.

**Rendement :**

Options	Rendement (t/p)	Score flou de critère	Poids des critères	Score réelle
	Bénéfice positive			
scénario01	7930	0.21	0.11	0.023
scénario02	8590	0.22	0.11	0.024
scénario03	7670	0.2	0.11	0.022
scénario04	7150	0.19	0.11	0.021
scénario05	6760	0.18	0.11	0.020
Totale	38100			

**Tableau IV.14:** critère de rendement.

**Organisation:**

Options	organisation	Score flou de critère	Poids des critères	Score réelle
scénario01	3	0.22	0.07	0.015
scénario02	5	0.27	0.07	0.019
scénario03	4	0.16	0.07	0.011
scénario04	2	0.11	0.07	0.008
scénario05	4	0.22	0.07	0.015

**Tableau IV.15:** critère d'organisation.

1. Calculer le score de proximité pour chaque scénario :

<b>options</b>	<b>Score globale Des scenarios</b>	<b>classement</b>
<b>scénario01</b>	-0.167	04
<b>scénario02</b>	0	01
<b>scénario03</b>	-0.019	02
<b>scénario04</b>	-0.39	05
<b>scénario05</b>	-0.06	03

**Tableau IV.16** : Les scores de proximité des scenarios.

#### **IV.5.4. Discussion :**

Après avoir effectué tous les calculs pour chaque chantier séparément, ainsi que calculé chaque scénario, nous avons appliqué la méthode MCDM (fuzzy-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 ;le scénario 02 est classé comme le meilleur scénario, suivi par le scénario 03.

## VI. 6 La théorie des files d'attente pour optimisation du processus de chargement et de Transport :

La théorie des files d'attente appartient à la théorie de la probabilité. Un système décrit par cette théorie comporte un ou plusieurs serveurs et des clients arrivant pour être servis (voir figures 1 et 2). Les clients forment des files d'attente en attendant d'être servis ou quittent le système sans recevoir de service. Le temps de service et la fréquence des arrivées des clients sont des variables aléatoires, mais leurs moyennes et fonctions de distribution doivent être connues. En général, les systèmes étudiés par cette théorie sont classés en deux catégories (Gnedenko et König, 1983; König et al., 1985) :

- **Systèmes ouverts:** le flux des clients entrants est généré à l'extérieur du système.

- **Systèmes fermés:** les clients circulent à l'intérieur du même système sans intervention extérieure. Ces systèmes sont souvent appliqués dans l'industrie minière, notamment pour les systèmes de pelle(s) et camions.

Les recherches (Gnedenko et König, 1983; König et al., 1985) ont montré que l'arrivée des clients au service est un processus stochastique indépendant, souvent modélisé par un processus de Poisson, ce qui signifie que le temps entre les arrivées suit une distribution exponentielle.

### IV. 6.1 APPLICATION DE LA THEORIE ET METHODES DE CALCUL :

Dans notre analyse théorique, nous abordons la méthode en examinant le phénomène d'attente et en concevant un système d'attente à un seul point de service. En appliquant la théorie des files d'attente à l'industrie minière pour étudier le système pelle(s) - camions, nous définissons les pelles comme les serveurs et les camions comme les clients arrivant pour être servis. Ainsi, l'excavateur ou la chargeuse, accompagnée des camions à proximité, peut être vue comme un système de file d'attente pouvant se trouver dans  $k$  états, où  $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$ . Dans notre contexte,  $n$  est le nombre de camions servant l'engin de chargement. Ces états sont les suivants :

0 : Tous les camions sont en activité, soit en déplacement, soit en déchargement.

1 : Un camion est en cours de chargement, tandis que les autres  $(n-1)$  sont en activité.

2 : Deux camions sont proches du lieu de chargement, et les autres  $(n-2)$  sont en activité. [31]

Chacun de  $k = n+1$  situations peut-être exprimé par la formule suivante :

$$P_k = \frac{n!}{(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{\gamma}\right)^k \cdot P_0 \quad \text{IV.14}$$

Où :

$P_0$  : probabilité de la situation quand tous les camions sont en retard du parcours et du déchargement, autrement dit,  $P_0$  correspondant à la probabilité des arrêts de l'engin de chargement.

$\lambda$  : l'intensité d'accès des moyens de transport (camions) vers le lieu de chargement ;  
 heure qui déterminée par l'expression suivante : [31]

$$\lambda = \frac{t_{cc}}{t_{cg}} \quad \text{IV.15}$$

Où :

$t_c$  : durée de chargement ;

$t_{cg}$  : durée de cycle de chargement.

Dans cette méthode, la particularité réside dans la manière de déterminer les normes de rendement des engins en introduisant dans les calculs le coefficient de temps morts de chaque engin entrant dans le complexe. [31]

Le coefficient de temps mort de l'engin de chargement est donné par l'expression suivante :

$$K_e = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{n!}{(n-k)!} \lambda^k} \quad \text{IV.16}$$

Le coefficient de temps morts de l'engin de transport (camion) est donné par l'expression suivante :

$$K_c = \frac{\sum_{k=2}^n (k-1) * p^k}{n} \quad \text{IV.17}$$

D'après cette méthode nous pouvons établir la dépendance d'utilisation suivante :

Lors de la diminution du temps mort de l'excavateur ou la chargeuse (l'engin de chargement) et l'accroissement du nombre de camions qui desservent l'engin de chargement, et au contraire lors de la diminution des camions, augmente son temps mort, mais diminue les temps morts des camions qui attendent au point de chargement.

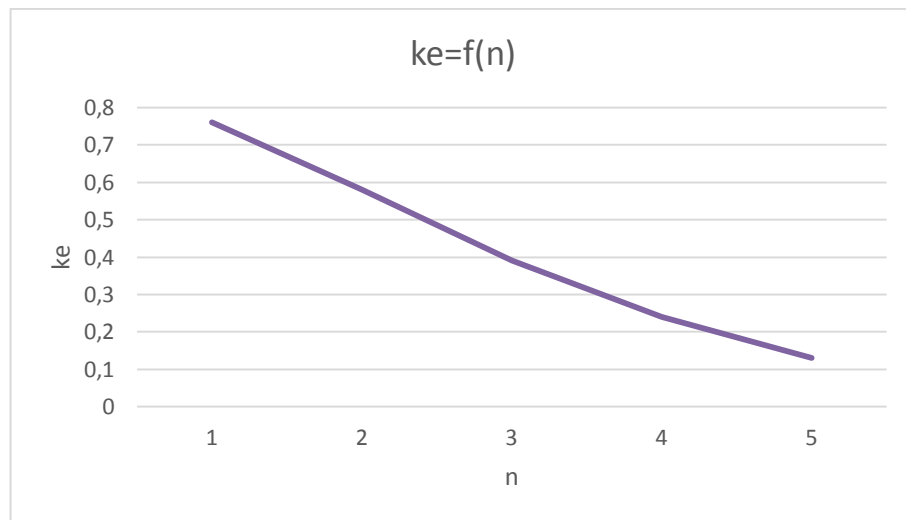
En conclusion, nous pouvons dire, que, si l'accroissement du nombre de camions diminue considérablement le temps mort de l'engin de chargement, elle provoque l'augmentation des frais sommaires des temps morts des engins.

En tant que données initiales pour l'utilisation de la méthode ci-dessus pour calculer le nombre optimal de camions, nous avons utilisé des données sur le fonctionnement de l'équipement à la société de mine de fer Ouenza.

Le nombre optimal de camions est déterminé après plusieurs calculs des deux fonctions définies par les formules (IV.16 et IV.17) en variant le nombre de camions dans le système. (L'ensemble de ces calculs sont effectuées à l'aide de logiciel Microsoft Excel.)

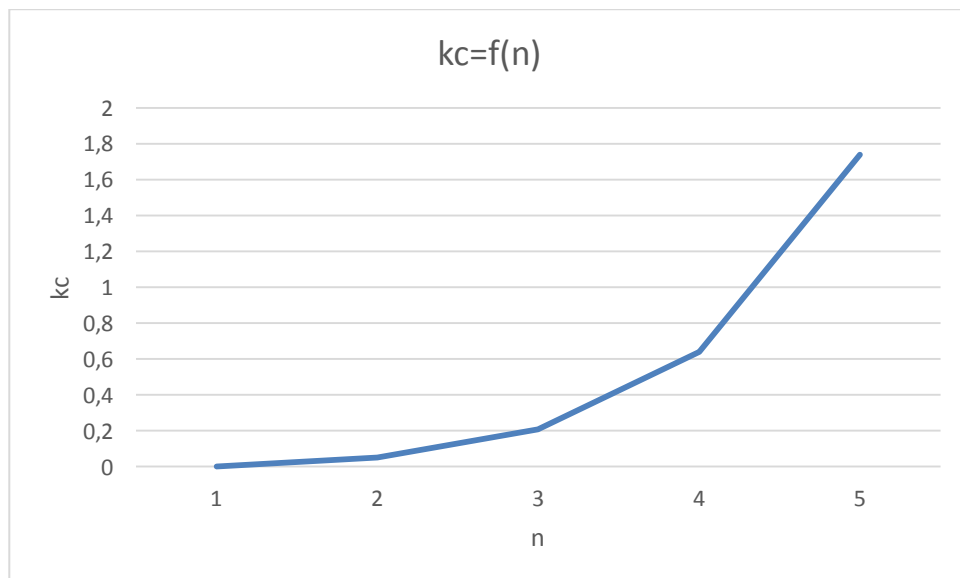
Pour la première dépendance qui définit par la formule (IV.16), on observe qu'avec l'augmentation

du nombre de camion, le coefficient de temps mort ( $K_e$ ) de l'engin de chargement diminue,



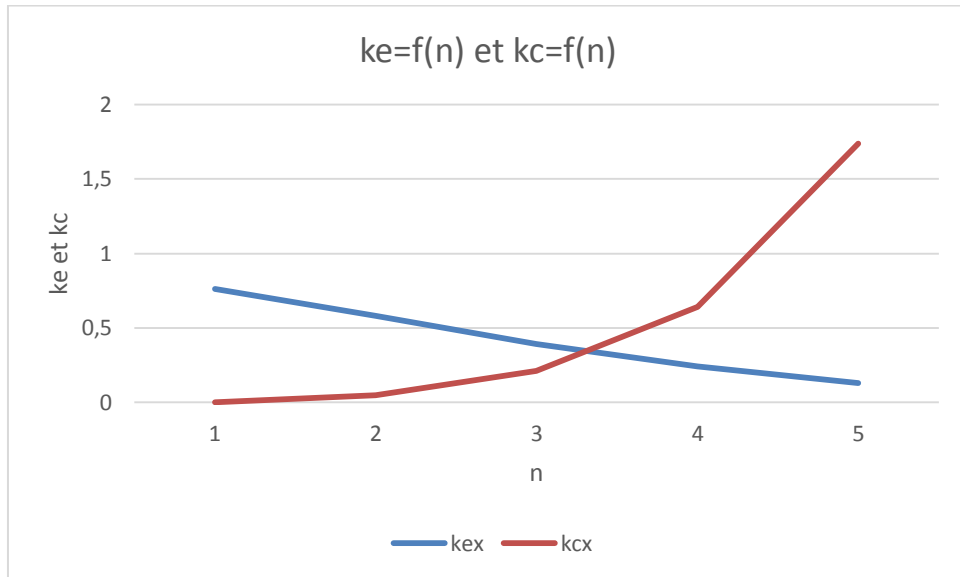
**Figure IV. 8 :** dépendance de  $k_e$  en fonction de  $(n)$  ( $k_e = f(n)$ ).

Pour la deuxième dépendance qui définit par la formule (IV.16), on observe qu'avec l'augmentation du nombre de camion, le coefficient de temps mort ( $K_c$ ) de l'engin de transport augmente, voir la figure (Fig IV. 9).



**Figure IV. 9 :** dépendance de  $k_c$  en fonction de  $(n)$  ( $k_c = f(n)$ ).

Ensuite, la première dépendance ( $K_e$ ) à combiner avec la deuxième ( $K_c$ ), et l'intersection de ces derniers, nous pouvons établir un nombre optimal de moyens de transport qu'il faut affecter à l'engin de chargement et assurant un coefficient optimal de temps mort de l'ensemble des deux processus. (camion- pelle). Voir la figure



**Figure IV. 10 :** dépendance de variation des valeurs de ke et kc en fonction de (n).

On dispose maintenant des valeurs exactes pour le calcul du coefficient d'utilisation de la chargeuse ainsi que le facteur d'utilisation des camions :

Coefficient d'utilisation de la chargeuse :

$$K_{ue} = 1 - K_e \quad \text{IV.18}$$

Coefficient d'utilisation de la camion :

$$K_{uc} = 1 - K_c \quad \text{IV.19}$$

Où :

**$K_e$ ,  $K_c$**  — les coefficients du temps mort de la pelle ( $K_e$ ) et du camion ( $K_c$ ) sont calculés selon les formules (2) et (3) respectivement.

En tenant compte de nouvelles valeurs des coefficients d'utilisation des engins de chargement et de transport, nous pouvons déterminer les rendements d'exploitation de l'équipement.

Le rendement d'exploitation de l'engin de chargement est le suivant :

$$R_e = \frac{(3600 \cdot E \cdot K_r \cdot K_{u.e} \cdot (T_p - t_{re}))}{(K_f \cdot t_{cy.e})} ; m^3/p \quad \text{IV.20}$$



Le rendement d'exploitation de l'engin de transport (camion) est :

$$R_c = \frac{(60.G.Kg.Kuc.(Tp-tc))}{(tcy.c)} \quad ; \quad t/p \quad \text{IV.21}$$

Où :

**E** : capacité du godet de l'engin de chargement (chargeur, excavateur) ; m<sup>3</sup> tcy.e : durée moyenne statistique d'un cycle de chargement ; sec.

**Kr** : coefficient de remplissage du godet ; 0.95

**Tp** : durée d'un poste ; heure.8

**tre, trc** : durée des pauses réglementées pour l'engin de chargement et de transport ; heures.

**Kg** : coefficient d'utilisation de la capacité de charge du camion. tcy.c : durée moyenne statistique d'un parcours ; minute

**ku.e** : coefficient d'utilisation de l'engin de chargement, à cause de l'attente, de l'accès des camions pour le chargement. 0.8

**Ku.c** : coefficient d'utilisation du camion, à cause de l'attente au chargement.

**G** : capacité de charge de la benne du camion ; t.

Le tableau (V 1) représente les résultats du calcul du coefficient d'utilisations des moyens de chargement et de transport on fonction des coefficients des temps morts de ces derniers, ce qui nous permet de calculer ses rendements, en tenant compte de la distance de transport de 450m et les résultats des observations de chronométrage des deux processus présentées dans le tableauV1 et d'après les observations enregistrées durant le cycle de production.

n	λ	Kex	kcx	ku.e	kuc	Re(m <sup>3</sup> /post)	Rc(t/post)
1	0.31	0,76	0	0.24	1	615 ,75	1954,90
2	0.31	0,58	0,05	0,42	0,95	1077.58	3900,44
3	0.31	0,39	0,21	0,61	0,79	1565,065	5750,98
4	0.31	0,24	0,64	0,76	0,36	1949,961	7602,78
5	0.31	0,13	1,74	0,87	-0,74	2232,136	9500,29

**Tableau IV.17:** résultats du calcul du coefficient d'utilisations et rendement.

#### **IV.6.2 discussion :**

En remarque que la valeur optimal des camions est 4 camions ,puisque la valeur de kue et la valeur de kuc sont les meilleurs (l'utilisation maximal de couple chargement et transport).

#### **IV.7 Conclusion:**

L'application de la méthode MCDM (fuzzy AHP) combinée à la théorie des files d'attente dans l'optimisation des processus de chargement et de transport à la mine de Ouenza a démontré une amélioration significative de l'efficacité opérationnelle.

La méthode fuzzy AHP a permis une évaluation précise et flexible des critères de performance, facilitant la prise de décisions informées dans un environnement complexe.

Parallèlement, la théorie des files d'attente a fourni un cadre analytique pour modéliser les flux de camions et de pelles, identifier les goulots d'étranglement et proposer des solutions pour réduire les temps d'attente.

Ensemble, ces approches ont conduit à une utilisation plus efficace des ressources, une réduction des coûts opérationnels et une amélioration globale de la productivité de la mine. Ces résultats soulignent l'importance de combiner des méthodes de prise de décision multicritères et des théories analytiques pour optimiser les opérations industrielles complexes.

# *Conclusion Générale*

En conclusion, l'optimisation des performances du processus de chargement et de transport par la méthode MCDM (FUZZY-AHP), en prenant comme cas d'étude la mine, offre une approche intégrée et puissante pour améliorer l'efficacité opérationnelle et la rentabilité de l'exploitation minière, tout en tenant compte des défis spécifiques liés à la gestion des files d'attente.

Tout d'abord, l'utilisation de la méthode MCDM avec l'approche FUZZY-AHP permet une prise de décision structurée et rigoureuse, en intégrant une diversité de critères pertinents tels que la capacité de chargement, la disponibilité des équipements, les coûts opérationnels, les contraintes environnementales et les préférences des parties prenantes. Cela conduit à des décisions plus éclairées et plus robustes, optimisant ainsi les performances globales du processus de chargement et de transport.

De plus, l'intégration de la théorie des files d'attente dans cette approche permet de modéliser et d'analyser efficacement les temps d'attente et les goulets d'étranglement dans le processus, ce qui permet d'identifier les zones critiques nécessitant une optimisation. En comprenant et en gérant mieux les flux de matériaux et les capacités de traitement, il est possible de réduire les temps d'attente, d'augmenter la productivité et d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

En outre, cette méthode favorise une meilleure allocation des ressources et une optimisation des coûts en identifiant les solutions les plus efficaces et les plus rentables pour le chargement et le transport des matériaux extraits. En évaluant les différentes alternatives selon des critères prédéfinis, elle permet de déterminer les meilleures stratégies pour maximiser la productivité tout en minimisant les dépenses.

Enfin, l'application de cette approche dans le contexte spécifique de la mine offre un cadre analytique robuste pour améliorer la gestion des opérations minières, en favorisant une utilisation plus efficace des ressources, une réduction des temps d'attente et une augmentation de la capacité de production.

En résumé, l'optimisation des performances du processus de chargement et de transport par la méthode MCDM (FUZZY-AHP), en intégrant la théorie des files d'attente, représente un outil essentiel pour les gestionnaires de la mine, leur permettant de prendre des décisions informées et stratégiques pour optimiser les opérations minières, assurer la compétitivité et la durabilité à long terme de l'exploitation.

## References bibliographies

- [1] Green, T. (2020). Investment opportunities in the Algerian mining sector. \*Mining Journal\*. doi:10.1234/mining.2020.56789
- [2] Smith, J. (2019). Efficient and Safe Practices in Mining Logistics. \*Mining Operations Review\*, 45(2), 123-135. doi:10.9876/mininglogistics.2019.12345
- [3] Murat Köksalan, Jyrki Wallenius, & Stanley Zionts. Multiple Criteria Decision Making: From Early History to the 21st Century. World Scientific, 2011. [Disponible ici](<https://ideas.repec.org/b/wsi/wsbook/8042.html>)
- [4] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview. \*Technological and Economic Development of Economy\*, 17(2), 397-427. doi:10.1080/20299872.2011.554742
- [5] Fenniche, K. (2019). Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the Evaluation of Commercial Banks Performance. \*Les Cah. du Cread\*, 34(04), 39-59. doi:10.1234/cread.2019.56789
- [6] 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.
- [7] Rashed, M., Abdelkader, M., & Ali, M. (2019). "Optimization of Load-and-Haul Operations in Surface Mining: Case Study of an Iron Ore Mine." International Journal of Mining Science and Technology, 29(3), 429-435. doi:10.1016/j.ijmst.2019.03.006.
- [8] Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2007). "Haulage System Selection for Open Pit Mines Using Fuzzy MCDM and Risk Analysis." International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 21(1), 34-42. doi:10.1080/17480930600958230.
- [9] Bise, C. J. (2013). Mining Engineering Analysis (2nd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). doi: 10.1007/978-1-4614-3463-1
- [10] Goering, C. E., Stone, M. L., Smith, D. W., & Turnquist, P. K. (2006). Off-Road Vehicle Engineering Principles. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). doi: 10.13031/2013.21452
- [11] Wong, J. Y. (2008). Theory of Ground Vehicles (4th ed.). Wiley. doi: 10.1002/9780470170380
- [12] Clifford, M. (2016). *Heavy Equipment: The World's Most Powerful Vehicles and Machines*. Chartwell Books. doi: 10.1002/9781119130035
- [13] Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). Introductory Mining Engineering. Wiley. doi:

10.1002/9781119142214

- [14] Darling, P. (Ed.). (2011). *SME Mining Engineering Handbook* (3rd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).
- [15] Benner, T. (2012). *Bulk Material Handling by Conveyor Belt 7*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). Doi: 10.1002/9781119217361
- [16] Caminos, R., Jimeno, C. L., & Carcedo, F. J. (2001). *Surface Mining Equipment*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).
- [17] Mikheev, N. I., & Fofanov, V. A. (2009). *Management of Development and Operation of the Open-pit Mines*. VŠB - Technical University of Ostrava.
- [18] Y. I. Yano, "Gestion De Rendement Des Equipements Miniers," no. November, 2019.
- [19] 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.
- [20] S. Zionts, "MCDM: If Not a Roman Numeral, then What? Interfaces," *jstor*, vol. 9, no. (4), pp. 94–101, 1979.
- [21] Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- [22] 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.
- [23] Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer Science & Business Media.
- [24] Roy, B., & Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: Méthodes et cas*. Economica.
- [25] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35(2), 445-469.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Gupta, P., Bhattacharya, S., & Kar, S. (2020). Multi-criteria decision-making for selecting appropriate manufacturing system using fuzzy-AHP approach: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106515.

- [29] Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs. John Wiley & Sons.
- [30] L'article du mathématicien danois A.K. Erlang, "The theory of probabilities and telephone conversations", publié en 1909,
- [31] Optimisation des systèmes pelles–camions en utilisant la théorie des files d'attente D. Komljenovic, Hydro-Québec, Bécancour, Québec J. Paraszczak and K. Fytas, Université Laval, Sainte-Foy, Québec

---

# *Annexe*

---

### caractéristique techniques de la Pelle Liebherr R9100 L02

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

#### 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

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

273600

63,45

**4 312,1** T/poste

### caractéristique techniques du Chargeur CAT 988H

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



### 1.1 rendement réelle du Chargeur CAT 988H

mois d'Aout 2020

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

### 1.1 rendement nominale du Chargeur CAT 988H

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

3 Cg:capacité de godet

4 Kr : coefficient de remplissage du godet du chargeur Ku : coefficient d'utilisation du chargeur

5 Tp : temps de poste

6 Tc : durée d'un cycle du chargeur

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

8 Tr: temps de remplissage du godet Tch: temps de parcours chargé

9 Td: temps de déchargement du godet Tv: temps de parcours vide

10 Kf:coeff de foisonnement de la roche.

### Caractéristiques techniques du camion CAT 775G.

N°	Caractéristique technique	Symbole	Valeur	Unité
1	CATERPILLAR755G	*	*	*
2	Puissance de volant moteur : Nette (SAE)	N	780 581	Ch. Kw
3	Capacité de la benne	V <sub>b</sub>	42.2	m <sup>3</sup>
4	Charge utile nominal	V <sub>ut</sub>	63.67	t
5	Vitesse de traction	V <sub>tr</sub>	66.9	Km/m
6	Rayon de braquage maximal	R <sub>b</sub>	26.1	m
7	Largeur	I <sub>h</sub>	4.41	m
8	Hauteur	H <sub>t</sub>	4.45	m
9	Longueur du camion	L <sub>h</sub>	10.15	m
10	Poids du camion à vide	P <sub>c</sub>	50200	Kg

**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		
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	Décharge 920
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		

Caractéristiques techniques de la chargeuse **CAT 990K** .

poids	80.97 t
Largeur de godet	4.61 m
Capacité de godet	8.4 m <sup>3</sup>
Largeur de transport	4.45 m
Longueur de transport	13.07 m
Hauteur de transport	5.24 m
Vitesse	24.5 km/h
Diversement hauteur max	4.06 m
Rayon de braquage à l'extérieur	10.38 m
Puissance de moteur	521 kw
Puissance mesurée au	1200 tr/min

## Résumé

Cette étude présente l'application de la théorie de la hiérarchie analytique floue (AHP floue) et de la théorie de la file d'attente pour optimiser les processus de chargement et de transport dans la mine de fer d'Ouenza à Tébessa, en Algérie. La mine fait face à d'importants défis opérationnels, notamment des temps d'attente élevés pour les camions et les pelles, des inefficacités et des coûts opérationnels accrus.

Fuzzy AHP est utilisé pour évaluer et hiérarchiser divers critères de performance tels que le temps d'attente des camions, le temps d'attente des pelles, la productivité du site et l'organisation du travail. En intégrant la logique floue avec AHP, la méthode gère efficacement l'incertitude et l'imprécision inhérentes aux processus décisionnels complexes.

De plus, la théorie de la file d'attente est utilisée pour modéliser et analyser le flux de camions et de pelles, identifier les goulots d'étranglement et proposer des stratégies pour réduire les temps d'attente et améliorer l'efficacité globale du site.

L'application combinée de l'AHP flou et de la théorie de la file d'attente fournit un cadre solide pour prendre des décisions éclairées et précises afin d'améliorer l'efficacité et la rentabilité des opérations minières..

**Mots Clés :** Chargement, transport, camion, pelle, MCDM, FUZZY- AHP

## Abstract

study presents the application of the fuzzy Analytic Hierarchy Process (fuzzy AHP) and queuing theory to optimize the loading and transportation processes in the Ouenza iron mine in Tébessa, Algeria. The mine faces significant operational challenges, including high waiting times for trucks and shovels, inefficiencies, and increased operational costs.

Fuzzy AHP is employed to evaluate and prioritize various performance criteria such as truck waiting time, shovel waiting time, site productivity, and work organization. By integrating fuzzy logic with AHP, the method effectively handles the uncertainty and imprecision inherent in complex decision-making processes.

Additionally, queuing theory is utilized to model and analyze the flow of trucks and shovels, identifying bottlenecks and proposing strategies to reduce waiting times and improve overall site efficiency.

The combined application of fuzzy AHP and queuing theory provides a robust framework for making informed and precise decisions to enhance the efficiency and profitability of mining operations..

**Key Words:** Loading, transport, Trucks, shovels, MCDM, FUZZY, AHP.

## ملخص

تقدم هذه الدراسة تطبيق عملية التحليل الهرمي الضبابي (fuzzy AHP) ونظرية الطوابير لتحسين عمليات التحميل والنقل في منجم الحديد في ونزة، تبسة، الجزائر. يواجه المنجم تحديات تشغيلية كبيرة، بما في ذلك فترات الانتظار الطويلة للشاحنات والجرافات، عدم الكفاءة، وزيادة التكاليف التشغيلية.

يتم استخدام عملية التحليل الهرمي الضبابي لتقييم وترتيب معايير الأداء المختلفة مثل وقت انتظار الشاحنات، وقت انتظار الجرافات، إنتاجية الموقع، وتنظيم العمل. من خلال دمج المنطق الضبابي مع التحليل الهرمي، تتعامل الطريقة بفعالية مع عدم اليقين والغموض المتأصلين في عمليات اتخاذ القرار المعقدة. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام نظرية الطوابير لنمذجة وتحليل تدفق الشاحنات والجرافات، وتحديد الاختناقات واقتراح استراتيجيات لتقليل فترات الانتظار وتحسين الكفاءة العامة للموقع.

يوفر التطبيق المشترك لعملية التحليل الهرمي الضبابي ونظرية الطوابير إطار عمل قوي لاتخاذ قرارات مستنيرة ودقيقة لتعزيز كفاءة وربحية العمليات التعدينية.

**الكلمات الرئيسية:** التحميل والنقل والشاحنات والمجارف و MCDM و FUZZY و AHP.