

RESUME

La présente étude porte sur l'analyse des paramètres influençant la productivité de la section 303 de la mine souterraine de KAMOA ONE, située dans la province du Lualaba, en République Démocratique du Congo. L'objectif principal est d'identifier les facteurs qui affectent les performances des opérations minières, afin de proposer des pistes d'amélioration susceptibles d'accroître la productivité.

La méthodologie adoptée repose sur une revue documentaire, des observations de terrain et l'analyse des données de production relatives aux principales opérations du cycle d'exploitation, notamment le forage, le chargement des explosifs, le tir, le chargement du minerai et le transport. Les performances réalisées ont été comparées aux objectifs planifiés, afin de déterminer les taux d'atteinte et de mettre en évidence les écarts de production.

Les résultats montrent que la productivité de la section 303 est principalement influencée par la qualité du forage, la fragmentation obtenue après le tir, la disponibilité des équipements, l'efficacité des opérations de chargement et de transport, ainsi que l'organisation du travail. L'étude met également en évidence que les faibles performances observées dans certaines opérations entraînent une diminution de l'avancement et du rendement globale de la section.

En conclusion, l'amélioration de la productivité de la section 303 passe par une meilleure planification des travaux, le renforcement de la maintenance préventive des équipements, l'optimisation des opérations de forage, de minage, avancement, de chargement et de transport, ainsi que par la formation continue du personnel. Ces mesures permettront d'améliorer les performances opérationnelles et de contribuer à l'atteinte des objectifs de production de KAMOA ONE.

ABSTRACT

This study focuses on the analysis of the parameters influencing the productivity of Section 303 at the KAMOA ONE underground mine, located in Lualaba Province, Democratic Republic of the Congo. The main objective is to identify the factors affecting the performance of mining operations and to propose improvement measures aimed at enhancing overall productivity.

The methodology adopted is based on a literature review, field observations, and the analysis of production data related to the main stages of the mining cycle, namely drilling, blasting, ore loading, and haulage. The actual operational performance was compared with the planned targets in order to determine the achievement rates and identify production gaps.

The findings indicate that the productivity of Section 303 is mainly influenced by the quality of drilling, the rock fragmentation achieved after blasting, equipment availability, the efficiency of loading and haulage operations, as well as work organization. The study also reveals that the poor performance observed in some operations leads to reduced development rates and lower overall productivity within the section.

TABLE DES MATIERES

RESUME	i
ABSTRACT	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
EPIGRAPHE	viii
DEDICACE	ix
AVANT PROPOS	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I PRESENTATION DE LA MINE SOUTERRAINE DE KAMOA ONE	3
I.1 Présentation générale de la mine souterraine de KAMOA ONE	3
I.1.1 Localisation	3
I.1.2 Historique	4
I.1.3 Organisation de la mine KAMOA ONE	5
I.1.4 Importance économique de la mine Souterraine de KAMOA ONE	9
I.2 Géologie du gisement	9
I.2.1 Stratigraphie	11
I.2.2 Stratigraphie locale	11
I.2.3 Minéralisation	13
I.3 Méthode d'exploitation appliquée à la mine souterraine de KAMOA ONE	13
I.3.1 Méthode des chambres et piliers	14
I.3.2 Justification du choix de la méthode des chambres et piliers	16
I.3.3 Méthode par tranche montantes remblayées	17
I.3.4 Justification du choix de la méthode par tanches montantes remblayées	19
I.4 Description détaillée du cycle de production à la mine souterraine de KAMOA ONE	20
I.4.1 Implantation	20
I.4.2 Forage	21
I.4.3 Chargement des explosifs	22
I.4.4 Tir	22
I.4.5 Ventilation	22
I.4.6 Purge	23

I.4.7	Le soutènement	23
I.4.8	Chargement du minerai	24
I.4.9	Transport	24
I.4.10	Concassage primaire (Grizzly)	24
	Conclusion partielle	25
CHAPITRE II . FONDEMENTS THÉORIQUES DES PARAMÈTRES DE PRODUCTIVITÉ DE LA MINE SOUTERRAINE DE KAMOA ONE		26
II.1	Introduction.....	26
II.2	Concepts fondamentaux de la productivité	26
II.3	Différence entre production, rendement et productivité	28
II.4	Les différents types de productivité	28
II.5	Importance de la productivité dans une exploitation minière souterraine	29
II.6	Les paramètres influençant la productivité en exploitation souterraine	30
II.6.1	Introduction	30
II.6.2	Les paramètres techniques	31
II.6.3	Les paramètres géologiques	33
II.6.4	Les paramètres humains	34
II.7	Les équipements intervenant dans la productivité de la section	36
II.7.1	Le Jumbo Boomer H282	36
II.7.2	Accessoires de forage	39
II.7.3	Kit de chargement d'émulsion Charmec.....	42
II.7.4	Généralités sur les explosifs	45
II.8	La chargeuse souterraine (Sandvik LH621i)	50
II.9	Camion benne Sandvik TH663i	53
II.9.1	Description	53
II.9.2.	Principe de fonctionnement	54
II.9.3.	Domaines d'utilisation	54
II.9.4	Rôle du Sandvik TH663i dans le cycle de production de la section 303	55
II.10	Les équipements auxiliaires	55
II.10.1.	La ventilation	55
II.10.2.	Les équipements de soutènement.....	56
II.10.3	Le système de Pompage	59
II.10.4	Le système d'alimentation	60
II.10.5	Le concassage primaire	60

Conclusion partielle	61
CHAPITRE III PRESENTATION, ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS	62
III.1 Introduction partielle	62
III.2. Analyse du forage	62
III.3. Analyse des opérations de minage	64
de l'avancement des travaux	65
III.5 Analyse des opérations de chargement	67
III.6 Analyse des opérations de transport	69
III.7 Interprétation des résultats	71
III.8 Discussion des résultats	73
III.9 Suggestions et recommandations	75
CONCLUSION GÉNÉRALE	77
BIBLIOGRAPHIE	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1: Caractéristiques techniques du Jumbo boomer H282 (Epiroc 2023. Boomer H282 – Technical Specification)	38
Tableau II. 2: Caractéristiques techniques du Charmec (Normet.2023. Charmec Emulsion charger) ..	44
Tableau II. 3: Caractéristiques techniques de la chargeuse Sandvik LH621i (Sandvik. 2023 . Lh621i)	52
Tableau II. 4: Caractéristiques techniques de la benne Sandvik TH663i (Sandvik. 2023. TH663i)	54
Tableau III. 1: Données de forage	62
Tableau III. 2: Coordonnées du forage	63
III. 3 Analyse des opérations de minage	64
Tableau III. 4: Données des minages	64
Tableau III. 5: Coordonnées des minages	64
Tableau III. 6: Données des avancements	65
Tableau III. 7: Coordonnées des avancements	66
Tableau III. 8: Données des chargements	67
Tableau III. 9: Coordonnées des chargements	68
Tableau III. 10: Données des transports	69
Tableau III. 11: Coordonnées des transports	69
Tableau III. 12: Coordonnées des taux d'atteinte	70

EPIGRAPHE

« Si vous pensez que l'Éducation est couteuse essayez l'ignorance »

DEREK BOK, 1971, Président de l'Université de Harvard.

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie minière constitue l'un des piliers du développement économique de la République Démocratique du Congo grâce à l'exploitation de ses importantes ressources minérales, notamment le cuivre. Dans ce contexte, la mine souterraine de KAMOA ONE occupe une place stratégique en raison de son potentiel de production et de sa contribution à l'économie nationale. Afin d'assurer une exploitation rentable, sûre et durable, il est indispensable d'améliorer continuellement la productivité des opérations minières.

La productivité en exploitation souterraine dépend de plusieurs paramètres techniques, humains et organisationnels intervenant tout au long du cycle de production. Les opérations de forage, d'abattage, de chargement et de transport sont particulièrement déterminantes, car toute insuffisance à l'une de ces étapes peut entraîner une diminution des performances globales de la mine. Dans la section 303 de KAMOA ONE, des écarts entre les performances planifiées et les résultats obtenus justifient une analyse approfondie des facteurs qui influencent la productivité.

La présente étude cherche à répondre à la question suivante : quels sont les paramètres qui influencent la productivité de la section 303 de la mine souterraine de KAMOA ONE et quelles mesures peuvent être envisagées pour améliorer les performances de cette section ?

L'hypothèse de cette étude est que la productivité de la section 303 est fortement influencée par la qualité de l'exécution des opérations de forage, d'abattage, de chargement et de transport. Une meilleure maîtrise de ces paramètres permettrait d'améliorer les performances opérationnelles et d'accroître le niveau de productivité.

L'objectif général de cette étude est d'analyser les paramètres influençant la productivité de la section 303 de KAMOA ONE afin d'identifier les causes des écarts observés et de proposer des recommandations susceptibles d'améliorer les performances de production. Plus spécifiquement, il s'agit de décrire le cycle de production, d'évaluer les performances des principales opérations minières, d'identifier les facteurs limitant la productivité et de proposer des solutions adaptées.

Cette étude présente un double intérêt. Sur le plan scientifique, elle contribue à la compréhension des facteurs influençant la productivité en exploitation minière souterraine.

Sur le plan pratique, elle fournit des informations pouvant aider les responsables de KAMOA ONE à améliorer l'organisation des opérations et à optimiser les performances de la section 303.

Pour atteindre les objectifs fixés, la méthodologie adoptée repose sur la recherche documentaire, les observations de terrain, les entretiens avec le personnel ainsi que l'analyse des données de production collectées durant la période d'étude.

Hormis l'introduction générale et la conclusion générale, ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier présente le cadre général de l'étude, le deuxième développe les fondements théoriques relatifs aux paramètres de productivité, tandis que le troisième est consacré à la présentation, à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus, suivies des recommandations visant l'amélioration de la productivité de la section 303 de KAMOA ONE.

CHAPITRE I GENERALITES DE LA MINE SOUTERRAINE DE KAMOA ONE

I.1 Présentation générale de la mine souterraine de KAMOA ONE

L'exploitation minière souterraine constitue aujourd'hui l'une des principales méthodes de valorisation des gisements profonds à forte teneur. Son développement repose sur l'utilisation de technologies modernes, d'équipements performants et d'une organisation rigoureuse des opérations minières. En République Démocratique du Congo, le complexe minier de KAMOA -KAKULA représente l'un des projets cuprifères les plus importants au monde grâce à l'importance de ses réserves, à la qualité exceptionnelle de sa minéralisation et à ses performances opérationnelles.

La mine souterraine de KAMOA Copper S.A., située dans le complexe KAMOA-KAKULA, est exploitée selon des méthodes modernes adaptées aux caractéristiques géologiques du gisement. Parmi les différentes zones d'exploitation, la section 303 occupe une place importante en raison de sa contribution à la production globale. La compréhension de son organisation et de son fonctionnement constitue une étape essentielle pour analyser les paramètres influençant la productivité.

Ainsi, cette première partie présente le contexte général de la mine, notamment sa situation géographique, son historique, son organisation ainsi que son importance économique.

I.1.1 Localisation

La mine souterraine de KAMOA ONE est située dans la province du Lualaba, en République Démocratique du Congo, à environ 25 km à l'ouest de la ville de Kolwezi et à environ 270 km de Lubumbashi (figure 1.1). Elle se trouve au sein de la ceinture cuprifère d'Afrique centrale (Central African Copperbelt). La mine souterraine de KAMOA ONE est localisée aux coordonnées géographiques suivantes :

- 10°53'14'' de latitude Nord ;
- 25°11'50'' de longitude Est ;
- L'altitude moyenne 1446m.

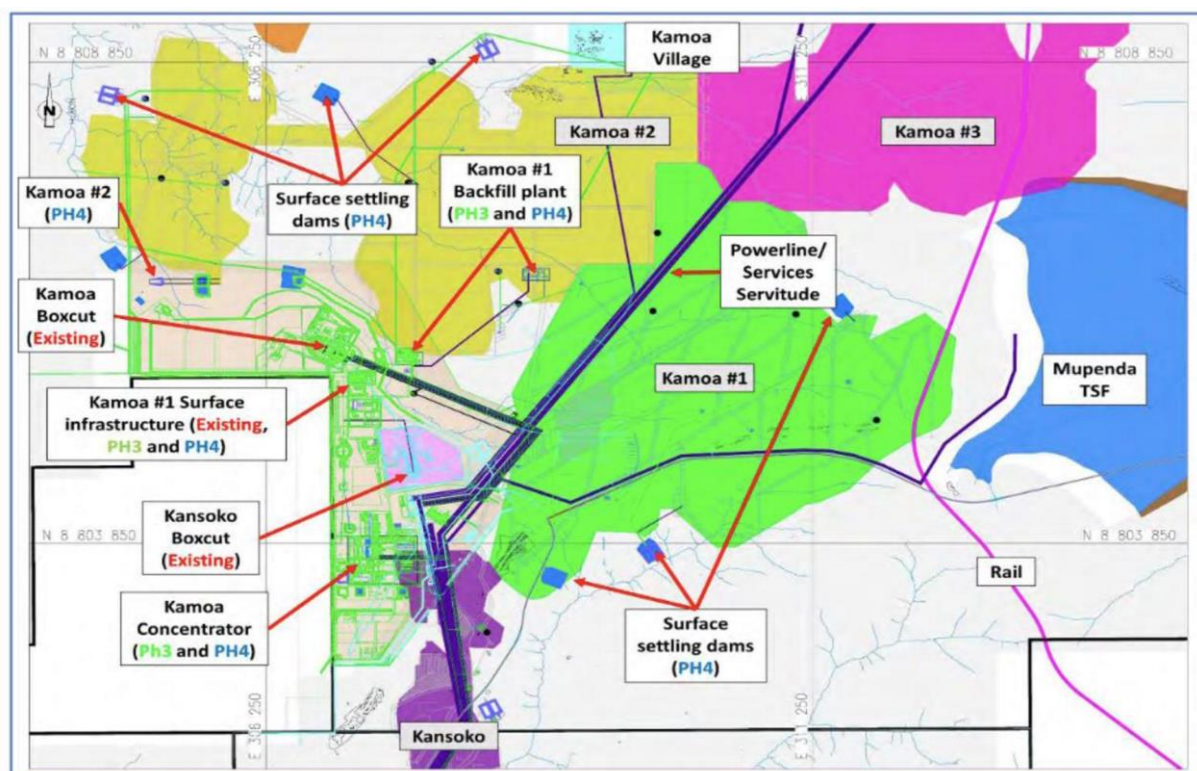


Figure I.1: Localisation de la mine souterraine de KAMOA ONE

I.1.2 Historique

Le gisement de KAMOA ONE fait partie du district minier de KAMOA, situé dans la ceinture cuprifère d'Afrique centrale en République Démocratique du Congo. Les premiers travaux d'exploration ont été réalisés entre 1971 et 1975 par la Société Internationale des Mines du Zaïre (SIMZ), qui a mis en évidence l'existence d'importantes minéralisations cuprifères dans la région. En 2003, Ivanhoe Mines a acquis les droits d'exploration sur la zone de KAMOA et a lancé des vastes campagnes de reconnaissance géologique, géophysique et de forage afin d'évacuer le potentiel minier du gisement. En 2009, AMEC America Limited a réalisé la première estimation moderne des ressources minérales du projet KAMOA. Cette estimation a ensuite été mise à jour à plusieurs reprises grâce aux résultats des nouvelles campagnes de forage et aux études techniques successives.

Les travaux réalisés comprenaient notamment la cartographie géologique, les levés géophysiques aéroportés, les analyses géochimiques, l'acquisition d'image satellitaires ainsi que plusieurs programmes de forage d'exploration et de définition.

Aujourd'hui KAMOA ONE constitue l'une des principales zones d'exploitation souterraine du district minier de KAMOA et contribue significativement à la production de cuivre du complexe

minier de KAMOA-KAKULA, reconnu parmi les plus importants gisements de cuivre à haute teneur au monde. (KAMOA-EIS-REVISE-FEBRUARY.2020.PDF)

I.1.3 Organisation de la mine KAMOA ONE

L'organisation d'une exploitation minière souterraine est un facteur déterminant de la performance opérationnelle. Elle repose sur une coordination efficace entre les ressources humaines, les équipements, les infrastructures et les différents services techniques (figure I.2). Dans une mine moderne comme KAMOA ONE, chaque département joue un rôle précis afin d'assurer la continuité des opérations, la sécurité du personnel, la qualité de la production et l'atteinte des objectifs fixés.

L'organisation de KAMOA ONE est structurée de manière hiérarchique afin de faciliter la prise de décision, le suivi des activités et la communication entre les différents niveaux de responsabilité. Cette organisation permet également d'assurer une meilleure gestion des ressources matérielles humaines tout en optimisant les performances de la mine.

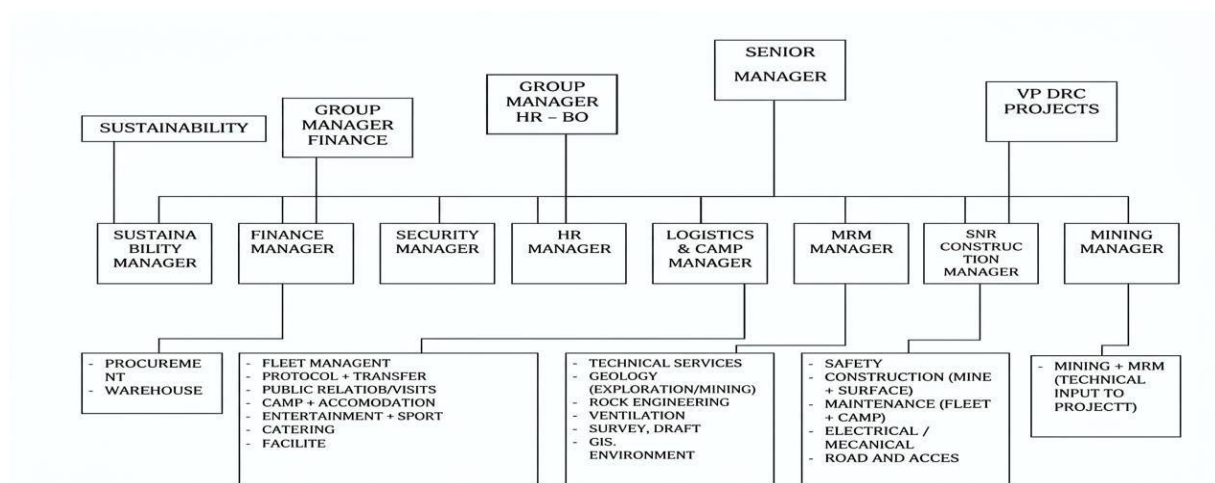


Figure I. 2: Organigramme de KAMOA ONE

a) Direction générale de la mine

La Direction générale assure la gestion stratégique de l'ensemble des activités minières. Elle définit les orientations de développement, fixe les objectifs de production, alloue les ressources nécessaires et veille au respect d'exigences économiques, environnementales et réglementaires

Elle supervise les principaux départements de la mine et assure la coordination entre les services techniques, administratifs et financiers.

Ses principales responsabilités comprennent notamment :

- La définition de la stratégie de production ;
 - L'approbation des plans d'exploitation ;
 - La gestion des investissements ;
 - Le suivi des performances globales ;
 - Le respect des normes de sécurité, de qualité et d'environnement.
- b) Département de la planification minière**

Le département de la planification constitue le cœur de la gestion technique de la mine ; il est chargé de :

- Élaborer les plans de production journaliers, hebdomadaires, mensuels et annuels ;
- Planifier le développement des galeries ;
- Déterminer les séquences d'exploitation ;
- Optimiser l'utilisation des équipements ;
- Coordonner les différentes opérations minières.

Les ingénieurs de planification utilisent des logiciels spécialisés de conception et de planification minière afin d'établir les programmes de production.

c) Département de géologie

Le département de géologie est responsable de la connaissance du gisement. Ses principales missions sont :

- Le contrôle de la minéralisation ;
- La cartographie géologique ;
- L'échantillonnage ;
- L'estimation de teneurs ;
- Le contrôle des réserves ;
- La modélisation géologique.

Les géologues collaborent étroitement avec les ingénieurs de production afin de garantir que les travaux d'exploitation suivent correctement le corps minéralisé.

Influence sur la productivité

La qualité des informations géologiques influence directement :

- Le choix des chantiers ;
- La qualité du forage ;
- La récupération du minerai ;
- La dilution ;
- La stabilité des excavations.

NB : Une mauvaise interprétation géologique peut entraîner une baisse significative de la productivité.

d) Département Production

Le département Production assure l'exécution des opérations minières. Il coordonne l'ensemble du cycle de production comprenant :

- Le forage ;
- Le chargement des explosifs ;
- Le tir ;
- La ventilation ;
- La purge ;
- Le soutènement ;
- Le transport ;
- Le concassage primaire.

Chaque opération est réalisée suivant une planification précise afin de limiter les temps improductifs et d'assurer une utilisation optimale des équipements.

e) Département de Maintenance

La maintenance garantit la disponibilité des équipements.

Elle comprend :

La maintenance préventive qui consiste à intervenir avant qu'une panne ne survienne. Elle a pour objectifs :

- Réduire les arrêts ;
- Prolonger la durée de vie des équipements ; □ Améliorer la disponibilité mécanique.

La maintenance corrective intervient après une panne, elle vise à :

- Réparer rapidement les équipements rapidement les équipements ; □ Remettre la production en service.

La maintenance prédictive repose sur le suivi de l'état des machines à l'aide des capteurs et de données d'exploitation ; elle permet d'anticiper les défaillances.

f) Département de Ventilation

La ventilation est indispensable dans la mine souterraine car elle assure :

- L'apport d'air frais ;
- L'évacuation des gaz d'explosifs ;
- La régulation de la température ;
- L'amélioration des conditions de travail.

NB : Une mauvaise ventilation entraîne :

- Des retards après tirs ;
- Des interruptions de production ;
- Des risques pour la santé et la sécurité.

g) Département de Santé, Sécurité et Environnement

Le département de HSE veille à la protection des travailleurs et à la conformité des opérations avec les exigences réglementaires ses missions incluent :

- La prévention des accidents ;
- Les inspections de sécurité ;
- La formation du personnel ; □ La gestion environnementale ; □ Le suivi des incidents.

NB : Les indicateurs HSE influencent directement la continuité des opérations, car un accident majeur peut entraîner l'arrêt temporaire de la production.

h) Département de Ressources Humaines

Ce département est chargé de :

- Recruter le personnel ;
- Organiser les formations ;
- Gérer les rotations ;
- Assurer la paie ;
- Évaluer les performances.

NB : La compétence et la motivation du personnel influencent fortement la productivité des opérations minières.

i) Département de Logistique et Approvisionnement

La logistique garantit la disponibilité des consommables et des pièces nécessaires aux opérations minières elle assure notamment :

- L'approvisionnement en explosifs ;
- La gestion des pièces de rechange ;
- L'approvisionnement en carburant ; □ La gestion des stocks.

Un retard d'approvisionnement peut provoquer des arrêts de production.

I.1.4 Importance économique de la mine Souterraine de KAMOA ONE

L'importance économique de KAMOA ONE dépasse le simple cadre de l'exploitation minière. Elle se manifeste à travers sa contribution à l'économie nationale, à la création d'emplois, aux recettes fiscales, au développement des infrastructures de la RDC sur le marché mondial du cuivre.

I.2 Géologie du gisement

La province métallogénique de la ceinture de cuivre d'Afrique centrale est hébergée en méta sédiments, roches du bassin du Katanga néo protérozoïque. Les séquences les plus basses ont été déposées dans une série de bassins de rift restreints, qui ont ensuite été recouverts par des masses riches en matières organiques, silt stone et schistes marins. Ces unités (« schistes minéralisés ») contiennent la majeure partie des gisements de minerai dans le Copperbelt (le

gisement de Kamoa est toutefois une exception). Cet horizon est recouvert par ce qui est devenu une longue séquence de roches clastiques et carbonatées mélangées dans le groupe supérieur Roan. Le groupe Roan forme maintenant un groupe dirigé vers le Nord, système orogénique à peau et à plis à la peau mince, l'arc de lufilien, résultant de la convergence des cratons du Congo et du Kalahari comme l'indique la figure I.3. La province métallogénique est divisée en deux districts distincts, les ceintures de Cuivre Zambiennes et Congolaises ou le Katanguien. Le bassin du Katanguien recouvre un sous-sol composite composé de vieux bâtiments multi déformés et métamorphosés, des intrusions qui sont principalement d'affinité granitique et supra-crustale, séquences méta volcaniques sédimentaires.

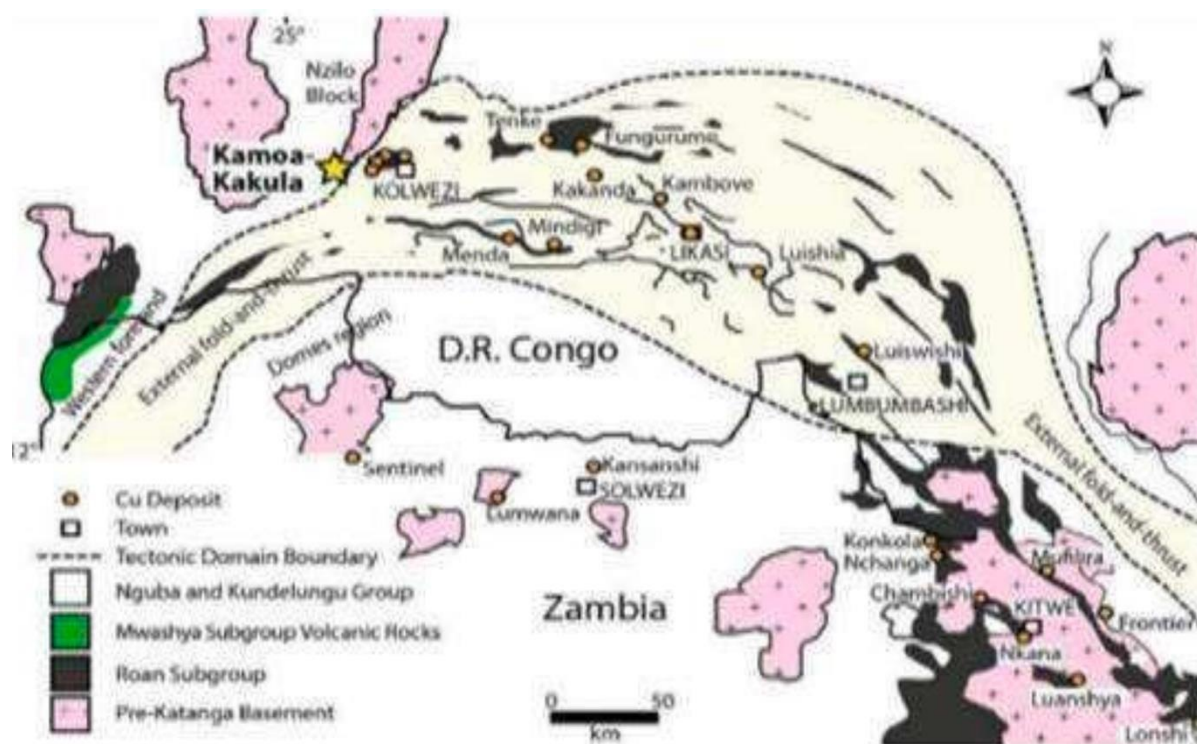


Figure I. 3: Carte géologique de KAMOA ONE Springer v (2008).

À KAMOA, le grès et le silt stone à hémolys du sous-groupe Mwashya forment les couches inférieures oxydées, tandis que les roches pyritiques de la diamictite basale et les silts stones interstratifiés constituent la roche réduite. Bien que souvent associées à des origines glaciaires, les diamictites du grand conglomérat de KAMOA sont interprétées comme des dépôts de coulées de débris cohésifs. Avec les unités de grès et de pélite limoneuse, le produit de la turbidité s'écoule rapidement en diminuant d'intensité et en évoluant dans un contexte de rift. Cette pyrite a joué un rôle crucial comme agent réducteur dans la minéralisation du sulfure de

cuivre au sein des diamictites et des unités de silt stone situées à la base du grand conglomérat. Deux tendances primaires sont évidentes sur le projet et sont interprétées comme héritées de l'architecture du sous-bassin sous-jacent. La première tendance, d'ordre principal, est orientée vers le Nord-Est et correspond à des synformes à direction Est-Nord-Est, observées à Kamoia et dans le projet vers Kolwezi. La seconde tendance, d'ordre secondaire, se manifeste à Kakula, avec des synformes à direction Ouest-Nord-Ouest, généralement conformes à la tendance de la zone de faille de Monwezi. À l'échelle régionale, cette architecture est reliée à la Copperbelt centrale congolaise. La croissance du bassin durant le dépôt du grand conglomérat se traduit par un épaississement progressif vers le Sud-Ouest.

I.2.1 Stratigraphie

La nomenclature peut être déroutante pour le super groupe du Katanga de 5 km à 10 km d'épaisseur. Le secteur est actuellement subdivisé en groupes Roan (R), Nguba (Ng) et Kundelungu (Ku), voir la figure I.4. Les groupes Nguba et Kundelungu étaient auparavant connus sous le nom de Kundelungu Inferieur (Ki), et Kundelungu Supérieur (Ks) qui sont deux groupes respectifs. Les descriptions géologiques et lithologiques utilisées sur le site, et ainsi, dans le présent travail, utilisent la nomenclature antérieure.

I.2.2 Stratigraphie locale

Dans la zone du projet, une stratigraphie localisée a été reconnue, définissant plus de détails pour le groupe inférieur de Kundelungu (Nguba), voir la figure I.4. Les grès du sous-groupe

Mwashya (Roan) forment l'unité basale (R4.2) et sont connus grâce à deux trous de forage situés sur les limites Nord et Sud du dôme de Makalu ont une épaisseur de l'ordre des centaines de mètres.

1) Ng1.1.6

Il est constitué principalement de Diamictite de couleur gris clair à un gris verdâtre, contenant 7 à 15% de clastes. Les clastes sont souvent des quartzites, roche mafique ou des argilites. Est souvent compris entre un conglomérat épais, un grès et une siltite.

2) Ng1.1.5

C'est une diamictite composée de $\pm 25\%$ de clastes. Ces clastes sont des quartzites, argilites et parfois des clastes mafiques. Son épaisseur va de 200 à 350m. Le Ng 115 est parfois intercalé entre une siltite, un grès ou une diamictite retravaillée.

3) Ng1.1.4

Cette Siltite laminée contient Siltite pyritique laminée contient des lits pyriteux irréguliers. Son épaisseur varie de 5 à 25 m.

4) Ng1.1.3

Cette unité est généralement de teinte grise à gris foncé, avec 20 à 40% de claste dimensionnés de 5 cm à 1 m. L'épaisseur du Ng 1.1.3 varie de 150 à 250 m. L'assemblage de clastes est composé de quartzites, de quartz, d'argilites, de roches ignées Mafiques. Le Ng 1.1.3 contient souvent des couches minces des siltites pyriteuses et à galets sablonneux retravaillés.

5) Ng1.1.2

Bandes de grès Cette unité appelée "Kamoa Pyritic Silt stone" (KPS), va du gris clair à noir Verdâtre. On y trouve du calcaire stratifié, des siltites avec occasionnellement de clastes, des couches de grès intercalées massives et épaisses, des en galets.

6) Ng1.1.1

La diamictite basale composée de trois lithologies qui constituent des subdivisions mineures : La diamictite basale supérieure (Ng1.1.1.3), la siltite intercalée (Ng1.1.1.2) et la Diamictite basale inférieure (Ng 1.1.1.1).

7) Sous-groupe Mwashya

Il s'agit de Mwashya supérieur dans le Roan (R.4.2) constitué des Grès feldspathiques parfois à intercalations des siltites et conglomérat. On y trouve parfois du cuivre natif. Les groupes

Nguba et Kundelungu étaient auparavant connus sous le nom d'inférieur Kundelungu ou Kundelungu Inférieur (Ki), et supérieur Kundelungu ou Kundelungu Supérieur (Ks) qui sont deux groupes respectifs. Les descriptions géologiques et lithologiques utilisées sur la figure I.3. utilise la nomenclature antérieure.

Group	Code	Description
Kundelungu (Inferior)	Ki 1.1.3	Diamictite
	Ki 1.1.2	Kamoa Pyritic Siltstone (KPS) Laminated pyritic siltstone containing 15-30% pyrite. Sandy or gritty graded beds towards base with shale rip-up clasts. Is locally mineralised on basal contact
	Ki 1.1.1.3	Clast-poor Diamictite Highly reduced, clast-poor diamictite (<20% clasts) with argillaceous to sandy matrix. Very good trap for copper mineralisation, and generally as a result mineralisation is bottom loaded with high grade.
Nguba	Ki 1.1.1.2	Intermediate Siltstone Massive to weakly bedded siltstone that is frequently sandy, or consists of intercalated siltstone, sandstone and diamictite layers. A very good reductant and generally contains the high grade when present.
	Ki 1.1.1.1	Clast-rich Diamictite Clast-rich (20%-35%), sandy matrix. Normally maroon to light grey in colour and a very poor reductant. Very rarely are samples above 1% Cu in this unit.
Roan	R4.2	Roan Sandstone Sandstone with intercalated mudstone and conglomerate beds

Figure I.4: Stratigraphie de KAMOA ONE (Source KAMOA développement)

Dans la zone du projet, une stratigraphie localisée a été reconnue, définissant plus de détails pour le groupe de Nguba, voir la figure I.5. Les grès du sous-groupe Mwashya (Roan) forment l'unité basale (R4.2) sont connus grâce à deux trous de forage situés sur les limites Nord et Sud du dôme de Makalu, ils ont une épaisseur de l'ordre des centaines de mètres.

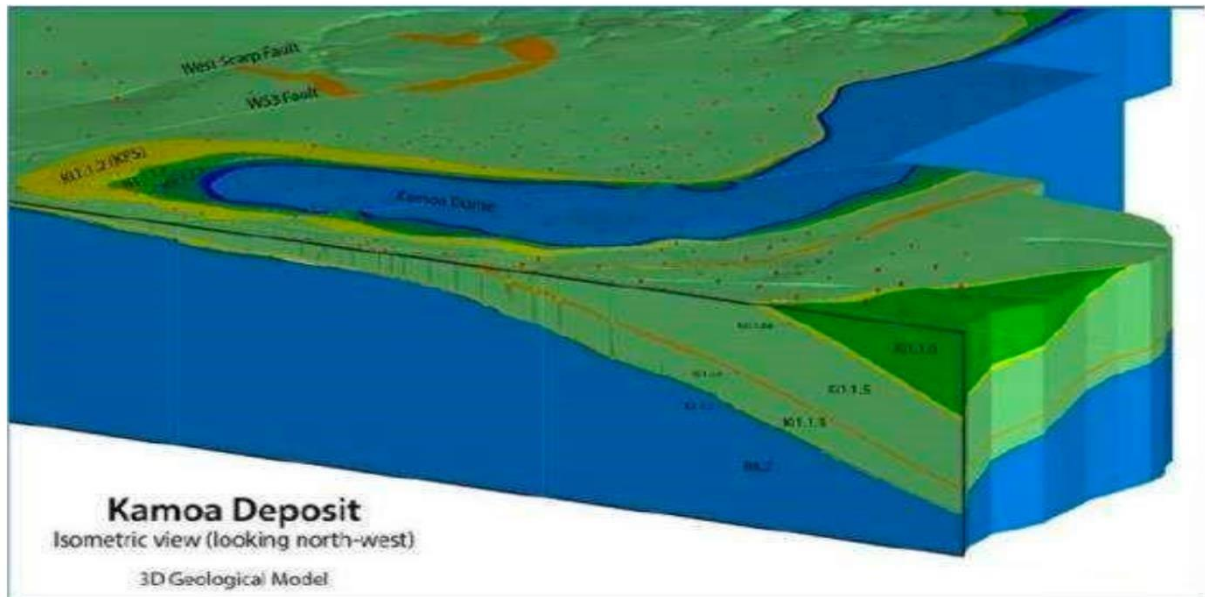


Figure I. 5: KAMOA ONE Deposit

I.2.3 Minéralisation

La minéralisation du projet KAMOA-KAMOA ONE a été définie sur une zone de forme irrégulière de 27 km sur 21 km. La minéralisation est généralement stratiforme et zonée verticalement à partir de la base avec de la chalcocite (Cu_2S), de la bornite (Cu_5FeS_4) et de la chalcopryrite (CuFeS_2). Il existe une minéralisation importante en pyrite (FeS_2) au-dessus de la zone minéralisée, ~ 10 ~ horizon pouvant éventuellement être exploité pour produire des concentrés de pyrite destinés à la production d'acide sulfurique (nécessaires dans les mines de Cuivre et d'oxydes en RDC). Le pendage du corps minéralisé varie de 0° à 10° , de 15° à 20° sur les flancs des dômes. À Kamo, l'épaisseur de la minéralisation à une teneur de coupure de 1,0% Cu varie de 2,3 m à 15,8 m (pour les ressources minérales indiquées). Le gisement a été testé localement du sous-sol à des profondeurs de plus de 1560 m et reste ouvert à l'ouest, à l'est et au sud. À KAMOA 1, l'épaisseur de la minéralisation à une teneur de coupure de 1,0% Cu va de 2,9 m à 42,5 m (pour les ressources minérales indiquées). Le gisement a été testé localement du sous-sol à des profondeurs de plus de 1000 m et reste ouvert au Sud-est et à l'Ouest.

I.3 Méthode d'exploitation appliquée à la mine souterraine de KAMOA ONE La mine souterraine de KAMOA ONE exploite un gisement de cuivre à forte teneur situé dans la ceinture cuprifère d'Afrique centrale. Afin d'assurer une extraction sécurisée, rentable et adaptée aux caractéristiques géologiques du gisement, l'exploitation est réalisée selon des méthodes souterraines permettant à la fois une bonne récupération du minerai et le maintien de la stabilité du massif rocheux.

À KAMOA ONE, l'exploitation repose principalement sur la méthode des chambres et piliers. Dans certaines zones, cette méthode est combinée à l'exploitation par tranches montantes remblayées lorsque les conditions géologiques ou géomécaniques l'exigent.

I.3.1 Méthode des chambres et piliers

1. Description

C'est une méthode d'exploitation où seulement une partie de minerai est extraite; le reste étant laissé sur place sous forme des piliers régulièrement disposés pour supporter le toit (figure 1.6). Les piliers peuvent être abandonnés indéfiniment ou récupérés partiellement (récupération des moitiés des long piliers, récupération de certains piliers en abandonnant d'autres, par remplacement des piliers de minerai par d'autres artificiels comme des piles en bois, des colonnes en béton ...) Les dimensions des chambres et celle de piliers ainsi que la distance qui les sépare dépendent de la stabilité du minerai (surtout sa résistance à la compression), de celle du toit, de la puissance du gisement et de l'importance des pressions. Pour compenser la mauvaise tenue du minerai et des épontes, on augmente la dimension des piliers et on réduit celle des chambres. Cela a pour inconvénient de réduire le taux de récupération du minerai.

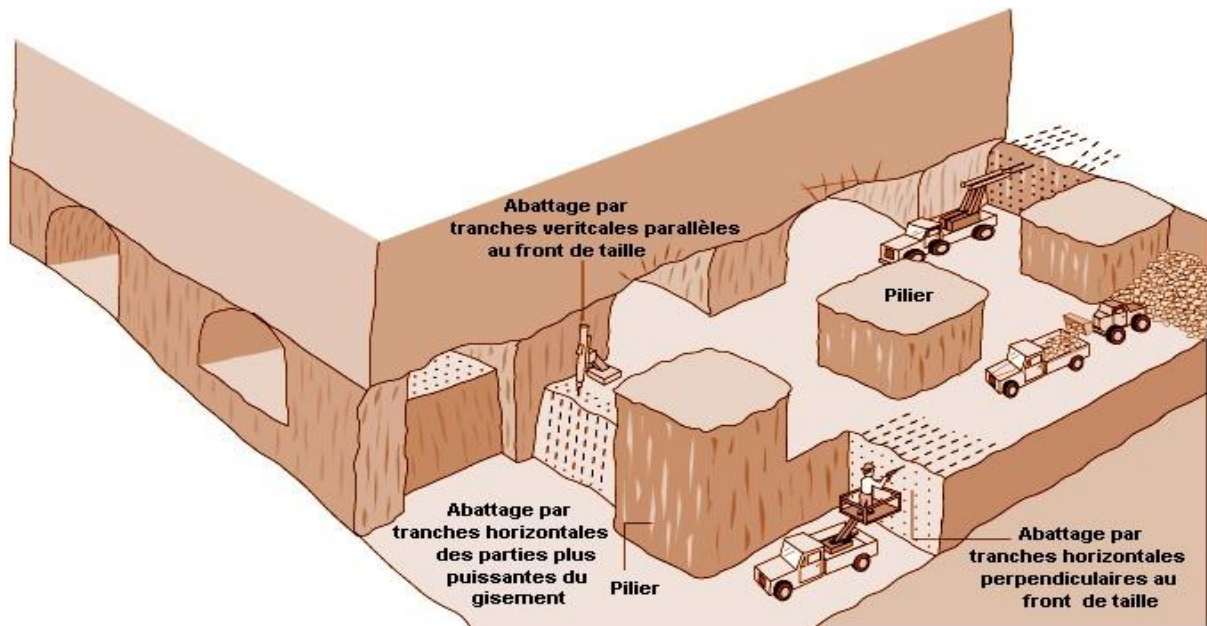


Figure I. 6: Méthode d'exploitation par chambre et piliers

2. Conditions d'application

- Gisement sédimentaire horizontal (plats) et peu inclinés (ne dépassant pas les 30-35° ;
- Puissance allant de 2 à 30 mètres et rarement plus (modérée) ;
- Bonne stabilité du minerai et des roches du toit ;
- Gisement à faible teneur du minerai ou faible valeur marchande (charbon, chaux, sel, potasse, ardoise, cuprifère...) ;
- La profondeur limite d'application des chambres et piliers dépend de la nature du minerai (surtout sa résistance à la compression). En général, elle ne dépasse pas les 700800 mètres.

3. Dépilage

Dans les gisements plats et minces, l'abattage s'effectue à l'aide des trous de mine horizontaux. Dans les gisements épais, l'abattage commence en général à partir du toit. On réalise une première coupure supérieure, puis l'abattage est réalisé par des trous verticaux ou horizontaux. On procède au dépilage par tranches horizontales successives à partir du haut.

L'exploitation d'un panneau se fait en rabattant ou en chassant. L'utilisation des trous horizontaux nécessite la création d'une coupure verticale. Le dépilage dans les gisements plats favorise l'utilisation des équipements mécanisés. Le chargement se fait à l'aide des équipements sur pneus ou sur chenille ; le transport par des camions navettes ou des chargeuses transporteuses. Le nettoyage de la chambre est assuré par des bulldozers.

□ Cas des gisements peu inclinés

Le minerai est foré par trous horizontaux à l'aide des béquilles pneumatiques. L'évacuation du minerai est assurée à l'aide des racleurs. Cette méthode prête moins à moins à la mécanisation.

4. Avantages

- La multiplicité des fronts d'attaque (large front) permet d'assurer une grande productivité ;
- Facile communication entre les chambres aussi bien pour les personnels que pour le matériel ;
- Coût de revient relativement bas ;
- Volume spécifique des travaux préparatoires peu important ;
- Méthode simple ;
- Possibilité d'utilisation des matériels automoteurs (dans le dépilage des gisements plats et puissants) de grande puissance ce qui permet d'obtenir des rendements de travail élevés ;
- Faible ou nulle influence des travaux miniers sur la surface du sol ;
- Absence ou emploi restreint du soutènement ;

5. Inconvénients

- Grande perte de minerai (10 à 60%) : dans certains cas, la récupération des piliers n'est possible qu'à la fin de la vie de la mine et qu'en partie ; dans d'autres, elle est impossible ;
- Difficulté d'aérage de la chambre ;
- Danger de travail sous le toit à nu surtout lors du dépilage des couches puissantes ;
- L'application de cette méthode aux gisements inclinés est difficile et prête moins à la mécanisation (faible rendement) ;
- Les dimensions des chambres et des piliers dépendent de la compétence du minerai, et du toit.

I.3.2 Justification du choix de la méthode des chambre et piliers

Le choix de la méthode d'exploitation par chambres et piliers à KAMOA ONE est principalement justifié par les caractéristiques géologiques et géotechniques du gisement. En effet, le gisement de KAMOA ONE est constitué de corps minéralisés stratiformes, généralement subhorizontaux à faiblement inclinés, présentant une puissance relativement

régulière sur de grandes étendues. Cette géométrie est particulièrement adaptée à l'application de la méthode des chambres et piliers, spécialement conçue pour les gisements tabulaires à faible pendage.

Par ailleurs, les études géomécaniques ont démontré que les roches encaissantes possèdent une résistance suffisante pour permettre le creusement de chambres de grandes dimensions sans risque majeur d'effondrement. Les piliers de minerai laissés en place assurent le soutènement naturel des excavations et contribuent à une répartition efficace des contraintes exercées par les terrains sus-jacents, garantissant ainsi la stabilité des ouvrages souterrains.

Le choix de cette méthode est également motivé par les objectifs de production de KAMOA ONE. Grâce à son niveau élevé de mécanisation, elle permet l'utilisation efficace de Jumbos de forage, de chargeuses LHD et de camions bennes, cette organisation favorise un cycle d'exploitation rapide, améliore le rendement des équipements et contribue à l'organisation de productivité globale de la mine. En outre, la disposition régulière des chambres facilite la ventilation, le transport du minerai, l'accès aux différents chantiers ainsi que la circulation des engins. Ces avantages permettent d'assurer des conditions de travail plus sûres, de réduire les temps improductifs et d'optimiser les performances des opérations minières.

Ainsi, la méthode des chambres et piliers constitue la solution la plus adaptée aux conditions géologiques, géotechniques et opérationnelles de KAMOA ONE. Elle offre un compromis efficace entre la sécurité des travaux souterrains, la stabilité des excavations, la récupération du minerai et les exigences de la productivité.

Sur le plan économique, la méthode des chambres et piliers présente des coûts d'exploitation relativement faibles, car elle ne nécessite pas un remblayage systématique des vides. Cette réduction des coûts, associée à une forte productivité, contribue à améliorer la rentabilité de l'exploitation dans les secteurs où les conditions géologiques sont favorables.

Ainsi, à KAMOA ONE, la méthode des chambres et piliers est retenue dans les zones où le faible pendage du gisement, la bonne compétence des roches et les exigences de forte production permettent une exploitation sûre, efficace et économiquement avantageuse.

I.3.3 Méthode par tranche montantes remblayées

1) Description

C'est une méthode qui consiste à évacuer immédiatement du chantier la totalité du minerai abattu et le vide qui en résulte est rempli par un remblai qui maintient les épontes et sert de plancher de travail. Les matériaux du remblai diffèrent d'une mine à une autre : ils peuvent être du sable, du gravier, des pierres stériles, des résidus de traitement des terres provenant des traçages aux rochers ...

La méthode des chambres remblayées exige l'exécution du remblayage en même temps que les travaux de défilage. A ne pas la confondre avec la méthode d'exploitation avec remblayage postérieur que l'on réalise après enlèvement du minerai de toute la chambre. (On peut utiliser cette dernière avec les chambres magasins, la chambre vide pour éviter le mouvement brutal des terrains ou pour faciliter la récupération des piliers). Dans cette dernière méthode contrairement à la première, le remblayage n'entre pas dans le cycle de défilage. On distingue deux types de remblai :

- Le remblai non consolidé (exemple : les roches provenant des traçages aux rochers stériles distribués de façon mécanique sur toute la largeur de chambre).
- Le remblai consolidé (remblai hydraulique) : il est généralement constitué par un mélange de sable, de gravier, des schistes préalablement concassés et d'eau. Il est en général préparé au jour et est transporté par la canalisation au fond par un courant d'eau qui se déplace par gravité. Le transport au fond est assuré par des tuyaux spéciaux.

Lorsque l'eau se retire, le remblai constitue un matériau résistant. Il arrive qu'on lui ajoute du ciment pour le rendre plus résistant.

On distingue plusieurs variantes de chambres par tranches remblayées dont notamment :

- Chambre remblayée à front horizontal
- Chambre remblayée à double front diagonal
- Chambre remblayée à sous-niveaux
- Tranche descendante remblayée (rare dans les mines métalliques)
- Taille remblayée

De toutes ces méthodes, la chambre remblayée à front horizontale est la plus pratiquée.

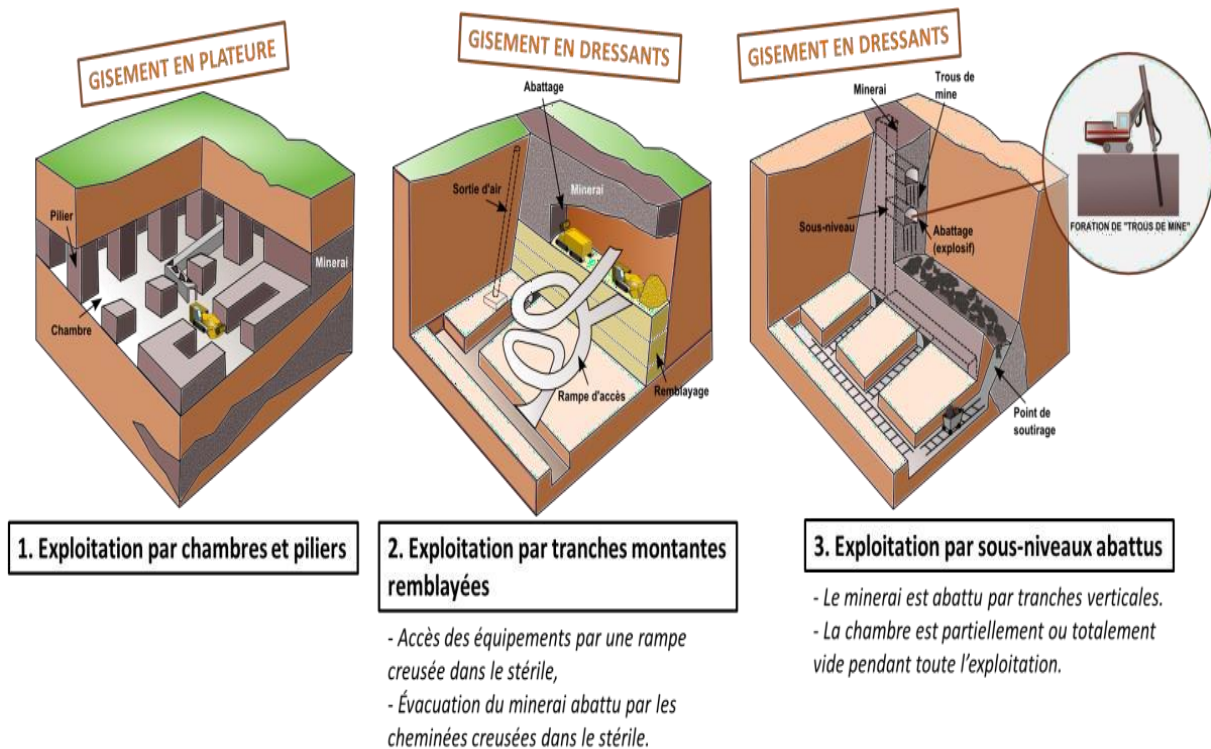


Figure I. 7: Méthode d'exploitation par tranche montante remblayée

2) Préparation

Elle consiste au creusement :

- Une voie de base dans le minerai sur toute la longueur du bloc (ou aux stériles) ;
- Une voie de soutirage du bloc par élargissement et découronnement de la voie de base ;
- S'il s'agit du premier étage, une voie d'aérage ;
- Érection d'une couronne artificielle boisée à la base du bloc et aménagement incorporé des trémies et cheminées requise pour le minerai et le personnel.

3) Dépilage

Il s'effectue du bas vers le haut par enlèvements tranches horizontales successives (d'environ 4 mètres d'épaisseur). L'abattage est assuré par des mines courtes horizontales ou verticales d'une extrémité à l'autre du bloc et d'éponte à éponte. L'évacuation du minerai se fait par racle ou par des chargeuses transporteuses vers une des cheminées aménagées dans le remblai.

- Lorsqu'on soutire complètement le minerai d'une tranche horizontale, on procède au remblayage de la tranche précédente après y avoir mis en place le prolongement requis des cheminées à minerai. Après on amorce un nouveau cycle en abattant la tranche suivante.

- Cycle = Forage-tir-aérage-évacuation du minerai-enlèvement des planchers remblayagemise en place des planchers

NB : Des zones de faible teneur peuvent être laissées sur place et il est aussi possible d'ajuster les contours de la chambre pour récupérer le minerai dans les épontes.

4) **Avantages**

- Possibilité de faire un abattage sélectif et complet le plus souvent ;
- Soutènement immédiat des épontes et profit du plancher de travail ;
- Permet la récupération immédiate de la totalité du minerai abattu ;
- Méthode relativement sécuritaire ;
- Peut souffrir d'une période d'inactivité sans trop se détériorer.

• **5) Inconvénients**

- Salissant lors du soutirage du minerai (le minerai peut se mélanger au remblai) ;
- Cycle de défilage très rigide pouvant amener l'intermittence de la production dans les petits chantiers à cause du remblayage ;
- Méthode dispendieuse : les travaux de matériaux extérieurs nécessitent beaucoup de travail ;
- Manque de propreté dans les mines à usage du remblayage hydraulique.

I.3.4 Justification du choix de la méthode par tranches montantes remblayées

La méthode des tranches montantes remblayées est utilisée à KAMOA ONE dans les secteurs où les conditions géologiques et géomécaniques exigent un contrôle plus rigoureux de la stabilité des excavations. Cette méthode est particulièrement adaptée aux zones où le pendage du gisement est plus important, où l'épaisseur de la minéralisation varie ou encore lorsque les contraintes exercées sur le massif rocheux sont plus élevées.

Le principal facteur justifiant le recours à cette méthode est la nécessité de garantir la stabilité de terrains après l'extraction du minerai. En effet, après l'exploitation, le vide créé est immédiatement comblé par un remblai, généralement constitué de pâte cimentée ou de matériaux stériles. Ce remblai joue un rôle essentiel dans le soutènement des parois et le toit de l'excavation, tout en réduisant les déplacements du massif rocheux et en limitant les risques d'éboulement. Il constitue également une plateforme stable permettant l'exploitation sécurisée des tranches supérieures.

Cette méthode est également privilégiée pour son excellente sélectivité. Elle permet de suivre avec précision les limites du corps minéralisé, réduisant ainsi la dilution du minerai par les roches stériles. Cette caractéristique revêt une importance particulière à KAMOA ONE, où le maintien de la teneur du minerai est essentiel pour garantir les performances du concentrateur et maximiser la rentabilité économique de l'exploitation.

Par ailleurs, la méthode des tranches montantes remblayées offre un taux de récupération du minerai supérieur à celui de la méthode des chambres et piliers permanents elle permet ainsi d'extraire une plus grande proportion des réserves. Tout en limitant les pertes des minerais Bien que cette méthode engendre des coûts d'exploitation plus élevés en raison des opérations de remblayage, ces coûts sont compensés par une meilleure récupération des ressources, une réduction de la dilution de minerai et ainsi qu'un niveau élevé de sécurité pour les travailleurs.

I.4 Description détaillée du cycle de production à la mine souterraine de KAMOA ONE

Le cycle de production désigne l'ensemble des opérations techniques réalisées pour extraire le minerai depuis le gisement jusqu'à son acheminement vers les installations de traitement. À

KAMOA ONE, ce cycle est fortement mécanisé afin d'assurer une production élevée tout en garantissant la sécurité du personnel et des équipements.

Chaque opération du cycle est interdépendante. Une mauvaise performance à une étape donnée affecte automatiquement les opérations globales de la mine. C'est pourquoi la maîtrise de chaque phase constitue un facteur essentiel pour atteindre les objectifs de production fixés par l'entreprise.

I.4.1 Implantation

L'implantation constitue la première étape du cycle d'exploitation. Elle consiste à matérialiser sur le terrain les limites du chantier conformément au plan d'exploitation élaboré par le service de planification minière. Cette opération est réalisée par topographe miniers à l'aide d'instruments de haute précision, tels que les stations totales et les systèmes de positionnement laser.

L'objectif principal de l'implantation est de garantir que les travaux de développement et d'exploitation suivent fidèlement la géométrie prévue par le modèle géologique. Une implantation correcte permet de respecter les dimensions des excavations, de limiter la dilution

du minerai et d'éviter les écarts susceptibles de compromettre la stabilité des ouvrages ou d'entraîner des pertes de réserves.

NB : À la section 303, l'implantation est effectuée avant chaque nouveau chantier ou avant le démarrage d'un nouveau front d'abattage. Les axes de forage, les limites des galeries et les repères de nivellement sont matérialisés afin de guider les équipes de production. La précision de cette opération conditionne la qualité de toutes les étapes suivantes du cycle d'exploitation.

I.4.2 Forage

Le forage est l'opération qui consiste à réaliser des trous de mine destinés à recevoir les charges explosives. Il constitue l'une des étapes les plus importantes du cycle d'exploitation, car il influence directement la qualité de la fragmentation du minerai, le rendement du tir, le taux de dilution et les performances des opérations de chargement et de transport.

NB : À la section 303, les travaux de forage sont réalisés principalement à l'aide du Jumbo Boomer H282, un équipement hydraulique à deux bras permettant le forage rapide, précis et sécurisé des trous de mine. Le plan de forage est élaboré par les ingénieurs de production en fonction des dimensions du chantier, des caractéristiques géologiques du massif rocheux et des objectifs d'avancement fixés.

Les principaux paramètres contrôlés sont le diamètre des trous, leur profondeur, leur inclinaison, leur espacement et leur orientation. Le respect de ces paramètres est indispensable pour obtenir une fragmentation homogène du minerai et limiter les vibrations ainsi que les surcreusements.

La performance du forage dépend également de la compétence de l'opérateur, de l'état des outils de forage, de la qualité de la maintenance du jumbo et des caractéristiques géologiques du massif rocheux.

I.4.3 Chargement des explosifs

Après le forage, les trous de mine sont soigneusement nettoyés afin d'éliminer les débris et les poussières avant d'être chargés en explosifs conformément au plan de tir établi par le service des explosifs.

Cette opération est réalisée exclusivement par du personnel qualifié et autorisé, dans le strict respect des procédures de sécurité en vigueur à KAMOA ONE. Les explosifs sont introduits

dans les trous selon une séquence précise, suivis de dispositifs d'amorçage et de retardateurs permettant de contrôler l'ordre de détonation.

Le choix du type d'explosif et de la charge dépend de plusieurs facteurs, notamment la résistance de la roche, la profondeur des trous, la section du chantier et les objectifs de fragmentation. Un chargement correctement réalisé permet d'obtenir une fragmentation optimale du minerai, de réduire les blocs surdimensionnés et de faciliter les opérations de chargement.

I.4.4 Tir

Le tir constitue l'opération de mise à feu des charges explosives afin de fragmenter le massif rocheux et de libérer les minerais.

Avant le tir, toutes les personnes et tous les équipements sont évacués vers des zones sécurisées. Les accès au chantier sont fermés et les systèmes de communication sont utilisés pour confirmer l'évacuation complète de la zone concernée.

Le déclenchement du tir est effectué conformément à l'aide du BCU. Les retardateurs permettent une détonation progressive des charges, améliorant ainsi la fragmentation du minerai tout en réduisant les vibrations et les contraintes sur le massif rocheux.

La qualité du tir influence directement la productivité des opérations suivantes. Une mauvaise fragmentation augmente les temps de chargement, réduit le rendement des LHD et peut nécessiter des opérations supplémentaires de concassage des blocs.

I.4.5 Ventilation

Après le tir, les gaz toxiques produits par l'explosion, notamment que les oxyde d'azote (Nox), le monoxyde de carbone (CO) et d'autres fumées résiduelles, doivent être évacués avant la reprise des travaux.

NB : À KAMOA ONE, la ventilation est assurée par un réseau de ventilateurs principaux et auxiliaires qui acheminent de l'air frais vers les chantiers tout en évacuant l'air contaminé.

La durée de ventilation dépend du volume des excavations, de la puissance des ventilateurs et de la quantité d'explosifs utilisée. Avant l'autorisation de reprise des travaux, des mesures de la qualité de l'air sont réalisées afin de vérifier que les concentrations de gaz sont inférieures aux limites réglementaires.

Une ventilation efficace contribue non seulement à la sécurité du personnel, mais également au maintien de bonnes conditions de travail et à la continuité de la production.

I.4.6 Purge

La purge consiste à éliminer les blocs de roche instables susceptibles de se détacher du toit ou des parois après le tir.

Cette opération est réalisée manuellement ou à l'aide d'équipements spécialisés avant toute intervention dans le chantier.

Les opérateurs inspectent soigneusement les surfaces excavées afin d'identifier les zones présentant un risque d'éboulement. Les blocs instables sont ensuite détachés de manière contrôlée à l'aide de barres de purge ou d'engins adaptés.

La purge constitue une étape essentielle pour assurer la sécurité du personnel et éviter les accidents liés aux chutes de blocs.

I.4.7 Le soutènement

Une fois la purge terminée, les travaux de soutènement sont réalisés afin de renforcer la stabilité des excavations.

Selon les conditions géomécaniques rencontrées dans la section 303, plusieurs techniques peuvent être utilisées, notamment les boulons d'ancrage, les treillis métalliques, le béton projeté (shotcrete) ou une combinaison de ces méthodes.

Le soutènement permet de limiter les déformations du massif rocheux, de prévenir les éboulements et de prolonger la durée de vie des ouvrages souterrains.

Le choix du type de soutènement est déterminé par les études géotechniques et les observations réalisées sur le terrain.

I.4.8 Chargement du minerai

Après la sécurisation du chantier, le minerai fragmenté est chargé à l'aide de chargeuses souterraines Load-Haul-Dump (LHD) de la marque Sandvik.

Ces équipements récupèrent les minerais abattus et le transportent jusqu'au point de déversement ou directement vers les camions souterrains.

Le rendement du chargement dépend principalement de la qualité de la fragmentation, de la capacité du godet, de la distance de transport et de l'expérience de l'opérateur.

Une bonne organisation des opérations de chargement permet de réduire les temps d'attente des camions et d'améliorer la productivité globale.

I.4.9 Transport

Le minerai chargé est ensuite transporté par des camions benne de la marque Sandvik TH663i jusqu'au concasseur primaire ou vers le point de transfert prévus dans le réseau minier.

Le transport représente une part importante du temps total du cycle d'exploitation. Son efficacité dépend de plusieurs facteurs, notamment l'état des voies de circulation, la capacité des camions, la distance de transport, la fluidité de la circulation et la disponibilité des équipements.

Une bonne gestion de la flotte permet de limiter les temps improductifs et d'assurer une alimentation continue des installations de traitement.

I.4.10 Concassage primaire (Grizzly)

La dernière étape du cycle d'exploitation est le concassage primaire. À la section 303, le minerai est déversé sur un grizzly, constitué d'une grille métallique robuste permettant de retenir les blocs de dimensions excessives.

Les blocs trop volumineux sont réduits par un brise-roche hydraulique avant de traverser la grille et d'être dirigés vers le concasseur primaire.

Le concassage primaire a pour objectif de réduire la granulométrie du minerai afin de faciliter son transport vers les installations de traitement et d'assurer une alimentation régulière du concentrateur.

Cette opération contribue à améliorer l'efficacité globale de la chaîne de production et à limiter les interruptions dues aux blocages des équipements.

Conclusion partielle

Ce premier chapitre a permis de présenter le cadre général de l'étude consacrée à la productivité de la section 303 de la mine souterraine de KAMOA ONE. Il a tout d'abord mis en évidence la

localisation de la mine, son historique, son organisation ainsi que son importance économique dans le développement de l'industrie minière en République Démocratique du Congo.

Par ailleurs, l'étude du contexte géologique a permis de mieux comprendre les caractéristiques du gisement, notamment sa stratigraphie, sa minéralisation et les conditions géotechniques qui influencent le choix des méthodes d'exploitation. Les méthodes de chambres et piliers ainsi que des tranches montantes remblayées ont ensuite été décrites et justifiées en fonction des conditions géologiques et des objectifs de production de KAMOA ONE.

Enfin, la description détaillée du cycle de production, depuis l'implantation jusqu'au concassage primaire, a mis en évidence l'enchaînement des différentes opérations nécessaires à l'extraction du minerai. Cette présentation montre que chaque étape du cycle est interdépendante et que toute défaillance au niveau d'une opération peut avoir des répercussions sur la continuité des travaux et sur la productivité globale de la section 303.

Ainsi, ce chapitre constitue une base indispensable pour la compréhension du fonctionnement de la mine et des activités de production. Les connaissances présentées serviront d'appui à l'étude des fondements théoriques de la productivité et des paramètres qui influencent, lesquels feront l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II . FONDEMENTS THÉORIQUES DES PARAMÈTRES DE PRODUCTIVITÉ DE LA MINE SOUTERRAINE DE KAMOA ONE

II.1 Introduction

Dans le secteur minier, la productivité peut être définie comme la capacité d'une exploitation à extraire et à acheminer une quantité donnée de minerai en utilisant de manière optimale les ressources humaines, matérielles, financières et organisationnelles disponibles. Elle constitue un indicateur essentiel de l'efficacité globale des opérations minières, car elle met en évidence la manière dont les ressources sont transformées en production.

La productivité ne doit pas être confondue avec la production. La production représente la quantité totale de minerai extraite au cours d'une période donnée, tandis que la productivité mesure l'efficacité avec laquelle cette production est obtenue. Une mine peut produire davantage de minerai tout en étant moins productive si cette augmentation résulte d'une consommation disproportionnée de ressources.

Dans une exploitation souterraine telle que

KAMOA ONE, la productivité dépend de nombreux facteurs interdépendants, notamment la méthode d'exploitation, les conditions géologiques, la qualité du forage, la fragmentation obtenue après le tir, l'organisation du travail, la disponibilité des moyens de production, la ventilation, le soutènement et la coordination des différentes opérations du cycle d'exploitation.

L'amélioration de la productivité ne consiste donc pas uniquement à accroître la production, mais surtout à optimiser l'utilisation de l'ensemble des ressources afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles dans des conditions satisfaisantes de sécurité, de qualité et de rentabilité.

II.2 Concepts fondamentaux de la productivité

La compréhension de la productivité nécessite la maîtrise de plusieurs concepts fondamentaux qui permettent d'apprécier correctement les résultats obtenus au cours des opérations minières (Prokopenko, j.1887). **a) La production**

La production désigne la quantité de minerai extraite pendant une période déterminée. Elle est généralement exprimée en tonnes par jour, par semaine, par mois ou par année. La production constitue l'objectif principal des opérations minières, mais elle ne permet pas à elle seule d'apprécier l'efficacité de l'exploitation.

Par exemple, deux sections minières peuvent produire le même tonnage de minerai alors que l'une utilise davantage de personnel, de temps ou d'équipements que l'autre. Dans ce cas, leurs niveaux de productivité seront différents malgré une production identique (Hartman et Mutmansky, 2002).

b) Le rendement

Le rendement représente la quantité de travail réalisée par une ressource donnée au cours d'une période déterminée. Il peut concerner une opération particulière du cycle d'exploitation, comme le forage, le chargement ou le transport.

À titre d'exemple, le rendement du forage peut être exprimé en mètres forés par heure, tandis que le rendement du chargement peut être exprimé en tonnes chargées par heure. Ces indicateurs permettent de suivre l'efficacité des différentes opérations sans constituer à eux seuls une mesure de la productivité globale de la mine.

c) L'efficacité

L'efficacité correspond à la capacité d'atteindre les objectifs fixés. Une exploitation est considérée comme efficace lorsqu'elle réalise les volumes de production prévus dans les délais impartis tout en respectant les exigences de qualité et de sécurité.

Dans le contexte de KAMOA ONE, l'efficacité se traduit par l'atteinte des objectifs de production de la section 303 conformément au programme établi par le département de planification.

d) L'efficience

L'efficience désigne la capacité à atteindre les objectifs en utilisant le minimum de ressources possible. Elle traduit l'optimisation des moyens engagés dans le processus de production. Une exploitation efficiente cherche notamment à réduire les temps improductifs, à limiter les consommations de carburant, d'énergie et d'explosifs, à optimiser les déplacements des équipements et à améliorer l'organisation des travaux.

Ainsi, une mine peut être efficace en atteignant ses objectifs de production, mais manquer d'efficience si elle consomme excessivement des ressources pour y parvenir.

e) La performance opérationnelle

La performance opérationnelle correspond au niveau global de réalisation des activités minières. Elle résulte de la combinaison de plusieurs facteurs, notamment la sécurité, la qualité des travaux, le respect des délais, la maîtrise des coûts et l'atteinte des objectifs de production. Dans

cette étude, la performance opérationnelle n'est pas analysée au niveau individuel des équipements, mais à travers les paramètres qui influencent la productivité globale de la section 303.

II.3 Différence entre production, rendement et productivité

Les notions de production, de rendement et de productivité sont souvent utilisées de manière interchangeable alors qu'elles recouvrent des réalités différentes.

La production correspond à la quantité de minerai obtenue au terme des opérations d'exploitation. Le rendement exprime l'efficacité d'une opération particulière ou d'une ressource spécifique. La productivité, quant à elle, représente une mesure plus globale qui établit un lien entre les résultats obtenus et l'ensemble des ressources mobilisées.

Ainsi, une augmentation de la production ne signifie pas nécessairement une amélioration de la productivité. Si cette augmentation s'accompagne d'une hausse proportionnelle des coûts, des temps de travail ou des moyens mobilisés, la productivité peut rester inchangée, voire diminuer. Dans le cadre de cette étude, l'analyse porte principalement sur les paramètres susceptibles d'influencer la productivité globale de la section 303, indépendamment des performances individuelles des équipements utilisés.

II.4 Les différents types de productivité

La productivité peut être analysée selon plusieurs approches, en fonction des ressources considérées dans le processus de production. Dans une exploitation minière souterraine, cette classification permet de mieux comprendre l'origine des variations de la production et d'identifier les paramètres susceptibles d'améliorer l'efficacité globale des opérations. Les principaux types de productivité sont la productivité du travail, la productivité du capital, la productivité des équipements et la productivité globale des facteurs (Prokopenko, J. (1987)

a) La productivité du travail

La productivité du travail exprime la quantité de production obtenue par unité de travail fournie. Elle établit une relation entre le volume de minerai produit et la quantité de main-d'œuvre mobilisée pendant une période déterminée.

Cet indicateur permet d'apprécier l'influence des ressources humaines sur le processus de production.

Dans une exploitation souterraine, la productivité du travail dépend notamment de la qualification du personnel, de son expérience, de la répartition des tâches, de l'organisation des équipes et des conditions de travail. Une bonne coordination des opérateurs contribue à réduire les temps improductifs et à améliorer la continuité des opérations.

b) La productivité du capital

La productivité du capital mesure le rapport entre la production réalisée et les investissements engagés dans les infrastructures, les installations et les moyens matériels de la mine. Elle traduit l'efficacité avec laquelle les ressources financières sont utilisées pour générer de la valeur.

Dans les exploitations minières modernes, où les investissements sont particulièrement importants, l'optimisation de la productivité du capital constitue un enjeu majeur. Une bonne planification des travaux, une maintenance efficace et une utilisation rationnelle des infrastructures contribuent à améliorer cet indicateur.

c) La productivité des moyens de production

Les moyens de production regroupent l'ensemble des ressources matérielles utilisées au cours du cycle d'exploitation, notamment les installations de forage, de chargement, de transport, de ventilation, de soutènement et de concassage.

Dans le cadre de cette étude, ces équipements ne sont pas analysés individuellement dans le but d'évaluer leurs performances, mais en tant qu'éléments indispensables au déroulement du cycle d'exploitation. Leur disponibilité, leur adaptation aux conditions du chantier et leur intégration dans l'organisation de la production influencent directement les paramètres de productivité de la section 303.

d) La productivité globale des facteurs

La productivité globale des facteurs constitue l'approche la plus complète de l'analyse de la productivité. Elle prend simultanément en considération l'ensemble des ressources mobilisées dans le processus de production, notamment les ressources humaines, les moyens matériels, les ressources financières, le temps de travail ainsi que les conditions techniques et organisationnelles.

II.5 Importance de la productivité dans une exploitation minière souterraine

Dans une mine souterraine, la productivité occupe une place centrale dans la gestion des opérations. Elle constitue un indicateur stratégique permettant d'apprécier l'efficacité de

l'exploitation et d'assurer l'atteinte des objectifs de production dans des conditions optimales de sécurité et de rentabilité.

L'amélioration de la productivité contribue avant tout à optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Les exploitations souterraines mobilisent des moyens humains, matériels et financiers considérables. Une bonne maîtrise des paramètres de productivité permet d'utiliser ces ressources de manière rationnelle, en réduisant les pertes de temps, les interruptions de production et les coûts utilisés.

La productivité joue également un rôle essentiel dans l'atteinte des objectifs de production. Les entreprises minières établissent des programmes de production journaliers, hebdomadaires et mensuels afin de satisfaire les exigences économiques et commerciales. Le respect de ces objectifs dépend de la maîtrise des différentes opérations du cycle d'exploitation ainsi que de la capacité à limiter les facteurs susceptibles de ralentir la production.

Un autre aspect fondamental concerne la maîtrise des coûts d'exploitation. Les opérations souterraines nécessitent d'importants investissements en équipements, en énergie, en explosifs, en ventilation, en soutènement et en maintenance. Toute amélioration de la productivité permet de réduire le coût unitaire de production en optimisant l'utilisation de ces ressources.

La productivité contribue également à renforcer la sécurité des opérations minières.

Une bonne organisation du travail, une planification rigoureuse des activités et une coordination efficace entre les différentes équipes permettent de limiter les situations à risque, de réduire les interventions d'urgence et de maintenir des conditions de travail sécurisées.

Elle participe en outre à l'amélioration de la qualité du minerai extrait. Une maîtrise des paramètres techniques tels que le forage, l'abattage ou le chargement permet de limiter la dilution, de réduire les pertes de minerai et d'assurer une alimentation plus régulière des installations de traitement.

Enfin, la productivité constitue un outil d'aide à la décision. L'analyse des indicateurs de production permet d'identifier les écarts entre les objectifs fixés et les résultats obtenus, de déterminer les causes des insuffisances observées et de proposer des mesures correctives visant à améliorer le fonctionnement global de l'exploitation.

Dans le cas de la section 303 de KAMOA ONE, l'étude de la productivité ne vise pas à porter un jugement sur les performances individuelles des équipements, mais à comprendre comment les différents paramètres intervenant dans le processus de production influencent les résultats de

l'exploitation. Cette démarche permettra, dans les chapitres suivants, d'analyser les données recueillies sur le terrain et de proposer des pistes d'amélioration adaptées aux réalités de la mine.

II.6 Les paramètres influençant la productivité en exploitation souterraine

II.6.1 Introduction

La productivité d'une exploitation minière souterraine est le résultat de l'interaction de nombreux paramètres qui agissent directement ou indirectement sur le déroulement des opérations de production. Ces paramètres peuvent être d'ordre technique, géologique, humain ou organisationnel. Chacun d'eux influence le cycle d'exploitation, la qualité des travaux réalisés, les délais d'exécution, les coûts de production ainsi que l'atteinte des objectifs fixés par l'entreprise.

Dans une mine souterraine telle que KAMOA ONE, où les opérations sont fortement mécanisées et où les exigences de production sont élevées, la maîtrise de ces paramètres constitue une condition essentielle pour garantir une exploitation sûre, efficace et économiquement rentable. L'analyse de ces facteurs permet d'identifier les causes des variations de la productivité et de mettre en place des actions correctives visant à améliorer les performances globales de la section 303.

Les principaux paramètres influençant la productivité peuvent être regroupés en quatre grandes catégories : les paramètres techniques, les paramètres géologiques, les paramètres humains et les paramètres organisationnels.

II.6.2 Les paramètres techniques

Les paramètres techniques regroupent l'ensemble des opérations qui composent le cycle d'exploitation minière. La qualité d'exécution de chacune de ces opérations influence directement la productivité de la mine. Dans la section 303 de KAMOA ONE, ces paramètres comprennent principalement le forage, l'abattage, le chargement et le transport.

a) Le forage

Le forage constitue la première opération productive du cycle d'exploitation. Il consiste à réaliser des trous de mine conformément au plan de forage établi par les ingénieurs de production. La qualité du forage conditionne directement l'efficacité des opérations suivantes.

Un forage correctement exécuté permet d'obtenir une fragmentation homogène du minerai après le tir, de limiter la dilution, de réduire la production de blocs surdimensionnés et de faciliter les

opérations de chargement et de transport. À l'inverse, un forage mal exécuté peut entraîner une mauvaise fragmentation, une augmentation des temps de cycle, une consommation excessive d'explosifs et des retards dans la production.

Dans la section 303, les principaux paramètres du forage susceptibles d'influencer la productivité sont la profondeur des trous, leur diamètre, leur orientation, leur espacement, leur parallélisme ainsi que le respect du plan de forage. La précision de ces paramètres est indispensable pour assurer un abattage efficace et une bonne récupération du minerai.

b) L'abattage

L'abattage est l'opération consistant à fragmenter le massif rocheux au moyen d'explosifs afin de rendre le minerai accessible aux opérations de chargement. La qualité de l'abattage dépend principalement du plan de tir, du type d'explosif utilisé, de la répartition des charges et de la séquence de mise à feu.

Un abattage bien réalisé produit une fragmentation adaptée aux capacités des équipements de chargement et de transport. Il limite également les vibrations, les surcreusements et les pertes de minerai.

À KAMOA ONE, une mauvaise fragmentation peut entraîner une augmentation des opérations de purge, des difficultés de chargement, une réduction du rendement des opérations suivantes et une augmentation des coûts d'exploitation. L'optimisation de l'abattage constitue donc un facteur essentiel d'amélioration de la productivité.

c) L'avancement

L'avancement désigne la progression des travaux de développement ou d'exploitation, exprimée généralement en mètres réalisés pendant une période donnée. Il constitue un indicateur essentiel de la performance d'une mine souterraine, car il permet d'évaluer le rythme d'exécution des travaux par rapport aux objectifs fixés.

Les performances de l'avancement dépendent de plusieurs facteurs, notamment la qualité du forage, l'efficacité du minage, la disponibilité des équipements, les conditions géologiques, l'organisation des travaux ainsi que l'efficacité des opérations de chargement et de transport.

Toute insuffisance observée au niveau de l'une de ces opérations entraîne une diminution du rythme d'avancement et affecte la continuité du cycle de production.

À **KAMOA ONE**, l'amélioration de l'avancement repose sur une bonne coordination des différentes opérations minières, le respect des paramètres techniques et une gestion efficace des ressources humaines et matérielles. Un avancement satisfaisant contribue à l'atteinte des objectifs de production, à l'amélioration de la productivité et à la rentabilité de l'exploitation.

d) Le chargement

Le chargement consiste à récupérer le minerai fragmenté après le tir et à le transférer vers les unités de transport. Cette opération est assurée à la section 303 par des chargeuses souterraines de type LHD.

La productivité du chargement dépend notamment de la qualité de la fragmentation obtenue après le tir, de l'organisation des chantiers, de la distance entre le front d'abattage et le point de déversement, ainsi que de la coordination entre les opérations de chargement et de transport. Une mauvaise organisation du chargement peut provoquer des temps d'attente, des encombrements dans les galeries et une baisse du rythme de production. À l'inverse, une bonne coordination des opérations permet d'assurer un flux continu de minerai vers les installations de traitement.

e) Le transport

Le transport constitue l'étape qui relie les chantiers d'exploitation aux installations de concassage ou aux points de transfert. Son rôle est d'assurer l'évacuation rapide et continue du minerai extrait.

L'efficacité du transport dépend de plusieurs facteurs, notamment l'état des voies de circulation, les distances de roulage, la capacité des camions, l'organisation des itinéraires, les conditions de circulation souterraine et la coordination avec les opérations de chargement.

Lorsque le transport est perturbé par des embouteillages, des interruptions de circulation ou une mauvaise planification, l'ensemble du cycle de production est affecté. Les opérations de chargement sont ralenties, les chantiers restent encombrés et les objectifs de production deviennent plus difficiles à atteindre.

Dans la section 303, une gestion efficace des flux de transport contribue à maintenir une alimentation régulière du concasseur primaire et à assurer la continuité de la production.

II.6.3 Les paramètres géologiques

Les caractéristiques géologiques du gisement influencent directement les conditions d'exploitation et, par conséquent, la productivité de la mine.

a) La qualité du massif rocheux

La qualité géomécanique du massif rocheux détermine la stabilité des excavations et les méthodes de soutènement à mettre en œuvre.

Un massif rocheux compétent favorise des travaux plus rapides et réduit les interruptions liées aux problèmes de stabilité.

À l'inverse, un massif très fracturé ou peu résistant nécessite des opérations supplémentaires de purge, de soutènement et de surveillance géotechnique, ce qui augmente les temps de cycle. **b)**

La fracturation

La présence de fractures influence fortement le comportement des terrains lors du forage, du tir et de l'excavation.

Une fracturation importante peut favoriser la fragmentation naturelle du minerai, mais elle peut également provoquer des instabilités du toit, des éboulements ou des pertes de minerai. Les caractéristiques de la fracturation doivent donc être prises en compte dans la planification des travaux de la section 303.

c) La teneur du minerai

La teneur représente la concentration en métal utile contenue dans le minerai. Elle constitue un paramètre essentiel dans la planification de l'exploitation.

Une bonne maîtrise de la dilution permet de préserver la teneur du minerai envoyé à l'usine de traitement. Une dilution excessive diminue la qualité du minerai et réduit la rentabilité de l'exploitation.

Une bonne maîtrise de la dilution permet de préserver la teneur du minerai envoyé à l'usine de traitement. Une dilution excessive diminue la qualité du minerai et réduit la rentabilité de l'exploitation.

Dans le contexte de KAMOA ONE, où le gisement présente des teneurs élevées en cuivre, le contrôle de la dilution constitue un enjeu majeur de la productivité.

d) Les conditions géotechniques

Les conditions géotechniques regroupent l'ensemble des propriétés mécaniques des terrains influençant la stabilité des excavations.

Elles déterminent le choix de la méthode d'exploitation, des dimensions des ouvrages, du soutènement et de la séquence des travaux.

Une bonne connaissance des conditions géotechniques permet de limiter les interruptions liées aux problèmes de stabilité et d'améliorer la continuité des opérations de production.

II.6.4 Les paramètres humains

Les paramètres humains regroupent l'ensemble des facteurs liés au personnel qui influencent directement le déroulement des opérations minières et, par conséquent, la productivité de l'exploitation. Dans une mine souterraine, où les activités sont réalisées dans un environnement complexe et à haut risque, les compétences, la discipline et l'organisation du personnel jouent un rôle déterminant dans la continuité du cycle d'exploitation.

À la section 303 de KAMOA ONE, plusieurs facteurs humains peuvent affecter la productivité.

a) Les compétences techniques des opérateurs

Les opérations de forage, de chargement des explosifs, de soutènement, de chargement du minerai et de transport exigent une maîtrise des procédures opérationnelles ainsi qu'une bonne connaissance des équipements utilisés.

Des opérateurs correctement formés exécutent les différentes tâches conformément aux procédures établies, limitent les erreurs d'exécution et assurent une meilleure continuité des opérations. À l'inverse, un déficit de compétences peut entraîner des reprises de travaux, une mauvaise exécution du plan de forage, une augmentation de la dilution ou des retards dans le cycle d'exploitation.

Ainsi, le niveau de compétence des opérateurs constitue un facteur influençant directement la productivité de la section 303.

b) L'expérience opérationnelle

L'expérience acquise sur le terrain permet aux travailleurs de mieux interpréter les conditions d'exploitation et d'adapter leurs interventions aux réalités du chantier.

Dans une exploitation souterraine, les opérateurs expérimentés sont généralement capables d'anticiper certaines difficultés liées aux conditions géologiques, d'optimiser l'enchaînement des opérations et de réagir efficacement face aux situations imprévues.

Cette expérience contribue à réduire les interruptions de production et à améliorer la continuité du cycle d'exploitation.

c) L'organisation des équipes de travail

La productivité dépend également de la manière dont les équipes sont organisées sur le chantier. Une répartition équilibrée des effectifs, une définition claire des responsabilités ainsi qu'une bonne coordination entre les différentes équipes permettent d'assurer un enchaînement efficace des opérations du cycle d'exploitation.

À la section 303, les équipes chargées du forage, de l'abattage, de la ventilation, du soutènement, du chargement et du transport interviennent successivement. Toute mauvaise coordination entre ces équipes peut provoquer des temps d'attente et ralentir le rythme de production. **d) Le respect des procédures opérationnelles et de sécurité**

Le respect des procédures de travail et des règles de sécurité constitue un élément essentiel de la productivité en exploitation souterraine.

Les opérations réalisées en dehors des procédures établies peuvent entraîner des accidents, des incidents techniques ou des interruptions de production. En revanche, l'application rigoureuse des procédures garantit une meilleure maîtrise des risques et favorise la continuité des activités.

À KAMOA ONE, la sécurité est intégrée au processus de production. Une exploitation sécurisée réduit les arrêts imprévus et contribue à maintenir un niveau de productivité élevé.

e) La communication entre les équipes

Les opérations minières sont interdépendantes. Une communication efficace entre les différents intervenants permet de transmettre rapidement les informations relatives à l'état des chantiers, aux conditions géologiques, aux travaux de maintenance ou aux contraintes opérationnelles.

Une mauvaise communication peut entraîner des retards dans l'exécution des travaux, une mauvaise coordination des opérations et une diminution de la productivité.

Dans la section 303, la circulation rapide de l'information entre les équipes de production, de maintenance, de géologie et de ventilation contribue à une meilleure organisation des activités.

II.7 Les équipements intervenant dans la productivité de la section

II.7.1 Le Jumbo Boomer H282

Le Jumbo Boomer H282 est une foreuse hydraulique automotrice à deux bras, conçue pour les travaux de forage en exploitation minière souterraine et dans le creusement de tunnels (figure II.1). Développé par Atlas Copco (aujourd'hui Epiroc), cet équipement est destiné à la réalisation des trous de mine nécessaires aux opérations d'abattage, ainsi qu'aux travaux de développement des galeries et des chantiers d'exploitation. Il est reconnu pour sa précision de forage, sa robustesse et sa capacité à travailler dans des environnements souterrains exigeants.



Figure II. 1 Jumbo Boomer H282

Dans la mine souterraine de KAMOA ONE, le Jumbo Boomer H282 intervient principalement dans les travaux de forage des chantiers de production de la section 303. Son utilisation permet d'améliorer la précision du plan de forage, de réduire les temps d'exécution et d'assurer une meilleure préparation des tirs.

II.7.1.1 Description du Jumbo Boomer H282

Le Jumbo Boomer H282 est constitué d'un châssis automoteur articulé sur pneus, équipé de deux bras hydrauliques indépendants (BUT28) supportant chacun un marteau perforateur hydraulique de la série COP. Cette configuration permet d'effectuer simultanément plusieurs opérations de forage, ce qui améliore la productivité des travaux de développement et de production.

L'équipement comprend principalement :

- Un châssis articulé à transmission intégrale (4 x 4) facilitant les déplacements dans les galeries souterraines ;
- Deux bras hydrauliques de forage permettant un positionnement précis des guides de forage ;
- Des guides (feeds) assurant le déplacement et le maintien des perforateurs ;
- Des marteaux perforateurs hydrauliques de type COP ;
- Un système hydraulique de commande directe (DCS) intégrant une fonction anticoincement des tiges de forage ;
- Un groupe diesel utilisé pour les déplacements de la machine ;
- Un système électrique alimentant les opérations de forage ;
- un circuit d'eau destiné au refroidissement des outils et à l'évacuation des déblais de forage ;
- Une cabine de conduite ou une plateforme protégée permettant le contrôle de l'ensemble des fonctions de la machine.

Grâce à cette conception, le Jumbo Boomer H282 est particulièrement adapté aux travaux de forage de front de taille de dimensions moyennes dans les mines souterraines.

II.7.1.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du Jumbo Boomer H282 repose sur la combinaison de l'énergie hydraulique et de l'énergie électrique. Après son positionnement au front de taille, l'opérateur stabilise la machine au moyen de vérins hydrauliques afin d'assurer une parfaite stabilité pendant les opérations de forage.

Les bras hydrauliques sont ensuite orientés suivant le plan de forage établi par le service de planification. Les guides de forage sont positionnés avec précision afin de respecter l'implantation, l'espacement, l'inclinaison et la profondeur des trous.

Les marteaux perforateurs hydrauliques transmettent simultanément une énergie de percussion et un mouvement de rotation aux tiges de forage. Pendant cette opération, de l'eau est injectée dans les trous afin de refroidir l'outil, limiter les poussières et évacuer les déblais vers l'extérieur.

À la fin du forage, les bras sont repliés, les vérins stabilisateurs sont relevés et la machine est déplacée vers une aire de stationnement en attendant les opérations suivantes du cycle d'exploitation.

Tableau II. 1: Caractéristiques techniques du Jumbo boomer H282 (Epiroc 2023.

Boomer H282 – Technical Specification)

LES DONNEES	
Caractéristique du bras de foration	
Extension de la flèche	1 250 mm
Max. angle de levage	+ 65 ° / -30 °
Max. angle de pivotement	+ 45 ° / -25 °
Poids, flèche seulement	1 750 kg
Dimension	
▪ Largeur :	1 990 mm
▪ Hauteur avec cabine :	3 050m
▪ Hauteur du toit haut / bas :	3 000/2 300mm
▪ Longueur :	11 830
▪ Garde au sol :	315mm
Model du moteur :	
Deutz TCD3.6 L4	
Cable électrique recommandé	
▪ Tension 550 V	
▪ Type : Buflex	
▪ Dimension : 3x120 + 3G25 + 2x1.5 mm ²	
▪ Diamètre: 46 mm	
▪ Longueur : 115m	
Système d'eau	
▪ Pompe de surpression à entraînement électronique	10SV13F055
▪ Capacité de la pompe d'alimentation d'eau maximale à 13,5 bars	100 l / min
▪ Pression d'entrée minimum d'eau	2 bar
▪ garde d'écoulement d'eau	

II.7.1.3 Domaines d'utilisation

Le Jumbo Boomer H282 est utilisé dans les exploitations minières souterraines mécanisées ainsi que dans les travaux de creusement des tunnels. Il intervient principalement dans :

- Le forage des galeries de développement ;
- Le forage des chambres de production ;
- Les travaux de préparation des chantiers d'exploitation.

À KAMOA ONE, cet équipement est utilisé pour exécuter les plans de forage des fronts de production de la section 303. Sa précision et sa capacité à réaliser rapidement des trous conformes au plan de forage contribuent à assurer une fragmentation adéquate du minerai lors des tirs et à favoriser la continuité du cycle d'exploitation.

II.7.1.4 Importance du Jumbo Boomer H282 dans la chaîne de production

Le Jumbo Boomer H282 constitue le premier équipement intervenant dans le cycle de production de la section 303. Les opérations de forage qu'il réalise conditionnent directement la qualité de la fragmentation obtenue après le tir, laquelle influence ensuite le chargement, le transport et, de manière générale, la continuité des opérations minières.

Outre les opérations de forage, le Jumbo Boomer H282 peut également être utilisé pour les travaux de purge des excavations souterraines. La purge consiste à détacher et à éliminer les blocs de roche instables qui demeurent accrochés à la voûte et aux parements des galeries après les opérations est indispensable pour garantir la sécurité des travailleurs et des équipements avant la reprise des activités de production.

Les travaux de purge sont réalisés conformément aux procédures de sécurité établies par l'exploitation. Lorsque le Jumbo est équipé d'un dispositif de purge ou d'un accessoire adapté, il permet d'atteindre les zones situées en hauteur et d'éliminer les éléments rocheux instables sans exposer directement les opérateurs aux risques de chutes de blocs. Cette mécanisation améliore la sécurité des interventions, réduit le temps consacré à la mise en sécurité du chantier et favorise la continuité du cycle de production.

II.7.2 Accessoires de forage

a. Les taillants

Dans la mine de KAMOA ONE, on utilise les taillants de 51 mm de diamètre pour tous les trous (figure II.2).



Figure II. 2 Taillant de 51mm

Les trous pilotes sont alésés par les taillants de 102 mm de diamètres (figure II.3).



Figure II. 3 Taillant de 102 mm

b. Barres de Foration

Dans la mine de KAMOA ONE, on utilise les barres de foration de 4,5 m de long, afin de forer de trous de 4 m ; les barres de 5,5 m de long, pour la réalisation de 5 m (figure II.4).



Figure II. 4 Barres de foration

c. Schémas de tir

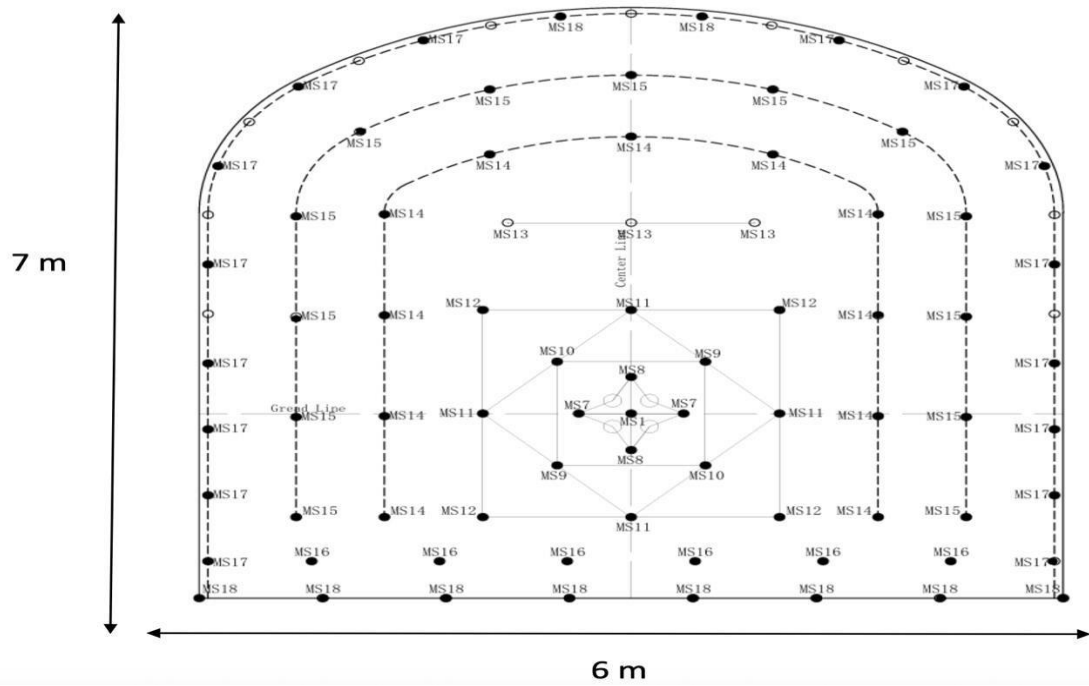


Figure II. 5 Schémas de tir

d. Barres à Purge

La barre à écaillage est une barre utilisée pour faire tomber les mauvais blocs. Pour cette opération on utilise une barre de 3 m de longueur.



II.7.3 Kit de chargement d'émulsion Charmec



Figure II. 7 : Kit de chargement d'émulsion

Le Kit de chargement d'émulsion est un module de chargement composé d'un réservoir d'émulsion, d'un système de pompage, de tuyaux, de commandes hydrauliques et électroniques, ainsi que de différents dispositifs de sécurité. Son rôle est de transférer l'émulsion depuis le réservoir jusqu'aux trous forés afin de les charger avec la quantité d'explosif prévue (Normet, 2023 Charmec Emulsion charger).

II.7.3.1 Principaux éléments du Kit

a) Réservoir d'émulsion

Le réservoir est une cuve destinée au stockage de l'émulsion explosive avant son utilisation. Sa capacité varie selon le modèle du Charmec et peut atteindre plusieurs tonnes d'émulsion afin de répondre aux besoins des opérations de chargement.

b) Pompe à émulsion

La pompe assure le transfert de l'émulsion depuis le réservoir jusqu'au trou de forage. Elle fournit un débit régulier qui garantit un chargement uniforme des trous de mine.

c) Tuyau de chargement

Le tuyau de chargement transporte l'émulsion jusqu'au fond du trou de forage. Sa flexibilité permet d'atteindre facilement les trous horizontaux, inclinés ou verticaux.

d) Dévidoir ou pousse-tuyau

Le dévidoir facilite l'introduction et le retrait du tuyau de chargement. Le pousse-tuyau réduit les efforts physiques de l'opérateur et accélère les opérations de chargement, notamment pour les trous longs.

e) Bras de service (boom)

Le bras hydraulique permet de positionner le panier et le tuyau devant les trous de forage afin de réaliser le chargement dans des bonnes conditions de sécurité et de précision.

f) Système de commande

Les systèmes de commande permettent à l'opérateur de contrôler le débit, la pression et la quantité d'émulsion injectée dans chaque trou. Les modèles récents disposent d'une interface graphique et d'une commande radio facilitant les opérations.

g) Dispositifs de sécurité

Le Kit comprend plusieurs dispositifs de sécurité, notamment l'arrêt automatique en cas de pression anormale, de température excessive ou d'absence de débit. Ces systèmes réduisent les risques d'accident pendant le chargement.

II.7.3.2 Principe de fonctionnement

Le kit de chargement d'émulsion fonctionne selon un système de pompage mécanisé qui permet de transférer l'émulsion explosive depuis le réservoir du CHARMEC jusqu'aux trous de mine préalablement forés. Après le positionnement de l'engin devant le front de taille, l'opérateur déploie le bras hydraulique afin d'orienter le tuyau de chargement vers le trou à charger. (Normet, 2025).

Le tuyau est ensuite introduit jusqu'au fond du trou. À partir du poste de commande, l'opérateur met en marche la pompe qui aspire l'émulsion contenue dans le réservoir et l'injecte progressivement dans le trou. Le débit est contrôlé automatiquement afin de garantir que chaque trou reçoive la quantité d'explosif prévue dans le plan de tir.

Pendant le chargement, le tuyau est retiré progressivement à mesure que le trou se remplit d'émulsion. Cette méthode permet d'obtenir une répartition homogène de l'explosif sur toute la longueur du trou tout en évitant la formation de vides. Une fois le chargement terminé, le tuyau est complètement retiré et l'opération est répétée sur les autres trous du front de taille.

Après le chargement de tous les trous, les détonateurs et les accessoires de mise à feu sont installés conformément au plan de tir et aux procédures de sécurité de la mine. Le front est alors prêt pour les opérations de tir.

Tableau II. 2: Caractéristiques techniques du Charmec (Normet.2023. Charmec Emulsion charger)

Longueur	5 m
Largeur	2.44m
Hauteur	2.59m
Rayon de braquage intérieur	5.77m
Rayon de braquage extérieur	8.66m
Surface couverte	10.0 x 7.3m
Dimensions de de la nacelle	0.97m x 1.83m
Poids de la machine	10.900 kg
réservoir à carburant	250 litres
charge utile d'émulsion	2.5 à 3 tonnes
réservoir à eau	60 litres
réservoir à Gasser	60 litres
Taux de livraison matriciel	20-95 Kg/min
Diamètre du tuyau ou lance	20,4 x 25 mm

Le Kit de chargement présente plusieurs avantages :

- Améliore la sécurité des opérateurs grâce à la mécanisation ;
- Assure un chargement précis et uniforme des trous ;
- Réduit le temps consacré au chargement ;
- Limite les pertes d'explosif ;
- Augmente la productivité du cycle de minage ; □ Améliore la qualité de la fragmentation après le tir ; □ Réduit les efforts physiques des opérateurs.

À KAMOA ONE, le Charmec est utilisé après le forage des trous par le Jumbo. Le kit de chargement d'émulsion permet de remplir rapidement les trous avec l'émulsion en respectant les quantités définies par le plan de tir. Cette mécanisation contribue à améliorer la sécurité des équipes et l'efficacité des opérations de minage.

II.7.4 Généralités sur les explosifs

Le terme « produits explosifs » recouvre l'ensemble des produits et des dispositifs d'amorçage. Un explosif est une substance ou un mélange de substances qui se décompose en entraînant la libération brutale d'une grande quantité d'énergie pendant un temps très court. Le mode de décomposition est fonction de la nature du produit, mais aussi de la nature et de la puissance de l'amorçage de la réaction. Un produit peut avoir plusieurs modes de décomposition (combustion, déflagration, détonation) et, dans certaines conditions, il peut passer d'un mode à l'autre. La détonation est le régime de décomposition le plus rapide : elle génère une très haute température, une onde de choc et le dégagement d'un important volume de gaz, c'est-à-dire les effets mécaniques les plus importants sur le milieu environnant. L'énergie totale de l'explosif, l'énergie de choc et l'énergie de gaz dégagés, ainsi que la vitesse de détonation constituent donc des paramètres théoriques caractéristiques des différents explosifs. Leurs variations constituent les éléments discriminants des gammes des produits explosifs.

II.7.4.1 Caractéristiques principales

Les caractéristiques principales des explosifs sont :

- La résistance à l'eau
- La puissance de brisance
- La vitesse de détonation
- Le diamètre critique, etc.

II.7.4.2 Artifices de mise à feu et amorçage

Les accessoires du tir sont fondamentaux dans la réussite d'un tir puisque ce sont eux qui Apportent l'énergie au démarrage de la réaction chimique des produits explosifs. (Rapport de stage NUMBI WA NUMBI ASTA)

1. Cordeaux détonants

Les cordeaux détonants sont destinés à l'amorçage latéral, tout le long du trou de mine, des explosifs. Ils sont commercialisés aujourd'hui sous 4 formes :

- Cordeau à 6,5 g/m de pentrite, uniquement pour l'amorçage de dynamites et pour le raccord entre trous de détonateurs non électrique (à la place de raccords GT instantanés).
- Cordeau à 10 g/m de pentrite, recommandé pour l'amorçage des explosifs nitrates, des gels et des dynamites, et parfois des nitrates-fiouls les plus sensibles.
- Cordeau à 20 g/m de pentrite, recommandé pour l'amorçage des gels et émulsions et de la plupart des nitrates-fiouls.

- Cordeaux à 40 g/m et 70 g/m de pentrite, surtout destinés aux travaux de découpage en travaux publics.



Figure II. 8 Cordeau détonant cortex (2025)

2. Détonateurs pyrotechniques et électroniques

Les détonateurs initient une détonation dans les explosifs contigus à l'aide d'une charge amorçant de 0,6 g de pentrite, elle-même activée par un explosif primaire très sensible (capable de passer d'une combustion ordinaire à une détonation).

Les détonateurs permettent d'effectuer un amorçage ponctuel des explosifs ; ceux-ci pourront être mis en fond de trou de chantiers souterrains ou dans certains chantiers à ciel ouvert.

L'amorçage ponctuel permet d'obtenir généralement un meilleur rendement des explosifs.

a) Détonateurs pyrotechniques

Tous les détonateurs comportent une poudre retardatrice, dont la durée de combustion s'échelonne : Pour les courts retards, de 0 à 2 000 ms par pas de : □ Pour les détonateurs n°1 à 20 ;

- 100 ms pour les détonateurs n° 24 à 40 ;
- 200 ms pour les détonateurs n° 48 à 80.
- Pour les détonateurs à retard, par pas de 500 ms du n° 1 au n° 12. **b) Détonateurs électriques**

L'énergie thermique nécessaire pour leur initiation est fournie par une perle d'allumage échauffée par un courant électrique.

Les appareils conçus pour alimenter électriquement les circuits de tir sont des exploseurs. Ils sont, aujourd'hui, tous à condensateurs. Pour multiplier les possibilités de « départ » des trous, ou séries de trous de mines, des

Exploseurs « séquentiels » sont disponibles. Ils sont particulièrement utilisés dans les grands chantiers et la démolition. Citons :

- L'exploseur BM-20F-10-ST qui permet de disposer de 10 délais de départ réglables de 1 à 199 ms. Le « pas » est alors fixé entre chaque séquence.
- L'exploseur BM-20F-10-PT qui permet de disposer de 10 délais de départ réglables de 1 à 999 ms. Le pas est, de plus, réglable, donc variable entre chaque séquence.

c) Détonateurs non électriques

L'énergie thermique nécessaire pour leur initiation est fournie par la détonation d'un explosif confiné dans un guide d'onde de choc.

Le système d'amorçage non électrique est composé :

- D'un détonateur pyrotechnique à retard ou microretard ;
- Et d'un tube en matière plastique souple, contenant une pellicule de produit explosif (tube conducteur d'onde de choc TCOC).
- Les détonateurs non électriques peuvent être reliés entre les trous par des raccords de surface (dits raccords GT), dont les retards actuels sont de 25 ou 50 m et vont passer à 17 ; 25 ou 42 ms. De tels retards de surface peuvent permettre alors de mettre en place un seul détonateur non électrique en fond de trou, par exemple 500 ms.
- Dans tous les schémas de tirs, il y a lieu de tenir compte de la durée de transmission du signal dans le tube qui se transmet à une vitesse de 2 000 m/s.
- Un système non électrique dual est apparu plus récemment, constitué :
 - D'un tube en matière plastique souple, contenant une pellicule de produit explosif (TCOC) ;
 - Ayant à une extrémité, un détonateur pyrotechnique à retard ou microretard ;
 - Et à l'autre extrémité, un raccord (un crochet distributeur contenant un détonateur pyrotechnique à microretard, et pouvant recevoir jusqu'à 6 tubes non électriques.



Figure II. 9 Détonateur NONEL Huawaie's (2020)

d) Détonateurs électroniques

Les détonateurs électroniques diffèrent essentiellement des détonateurs pyrotechniques par le retard qui est généré et contrôlé par un circuit électronique. En pratique, chaque détonateur comporte, outre le générateur de retard, un condensateur qui permet d'initier élément amorçant identique à celui d'un détonateur électrique

Instantané. Le composant électronique contenu dans ce type de détonateurs permet une communication bidirectionnelle dans la plupart des cas avec la console de tir.

Ce dialogue permet de contrôler :

- La reconnaissance de la console de tir ;
- La présence d'un ou de plusieurs détonateurs ;
- Les éléments fonctionnels du dispositif ;
- Les retards ;
- Le déclenchement du ou des détonateurs.

Alimentés en basse tension et connectés en parallèle à une ligne bus, les détonateurs Électroniques sont très peu sensibles aux courants électriques vagabonds. Ils demeurent toutefois sensibles aux courants électromagnétiques susceptibles de perturber la communication avec la console de tir.



Figure II. 10 Détonateur électrique

3. Terminator

Il permet de relier le BCU aux détonateurs électroniques, il montre si les lignes à son amont et à son aval sont bonnes ; à la limite, il peut connecter au BCU 200 détonateurs électroniques



Figure II. 11 Terminator

4. BCU

Le BCU (blaste center unity) qui est l'unité centrale de minage ; permet de relier les Terminator à l'ordinateur à la surface en passant par une fibre optique ; il a la capacité de relier six Terminators en parallèle à l'ordinateur.



Figure II. 12 BCU

II.7.5 Initiation finale

Dans cette phase dite finale du minage, à la mine souterraine de KAMOA ONE, l'initiation se Déroule comme suite :

Connections (pyrotechnique) :

Cordeau Détonant → Détonateur électronique → Ligne de tir → Terminator → Ligne de Tir → BCU → fibre optique → ordinateur

Après que le signal soit clairement transmis à la ligne de tir, après tous les contrôles fins, L'accord peut être lancé de miner dans la mine si le signal est faiblement capté à la Surface, mais au cas contraire, on mine à la surface (commande ordinateur).

II.8 La chargeuse souterraine (Sandvik LH621i)

La chargeuse souterraine Sandvik LH621i est un équipement automoteur utilisé dans les exploitations minières souterraines pour assurer le chargement, le transport sur de courtes distances et le déversement du minerai ou des stériles. Grâce à son châssis articulé et à ses dimensions adaptées aux galeries souterraines, elle peut évoluer facilement dans des espaces confinés tout en assurant un débit élevé de manutention (figure II.13). Les Sandvik LH621i sont conçues pour offrir robustesse, sécurité et maniabilité dans les conditions difficiles des mines souterraines.



Figure II. 13 Chargeuse Sandvik LH621i

Dans la section 303 de KAMOA ONE, la chargeuse Sandvik LH621i constitue un maillon essentiel du cycle de production. Elle assure l'évacuation du minerai abattu depuis le front de taille jusqu'aux bennes Sandvik TH663i ou vers le point de déversement appelé grizzly.

II.8.1 Description

La chargeuse Sandvik LH621i est composée de plusieurs organes mécaniques et hydrauliques qui lui permettent d'assurer efficacement les opérations de chargement et de transport. Sa conception compacte lui permet de travailler efficacement dans les galeries tout en garantissant un haut niveau de sécurité pour l'opérateur.

II.8.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de la chargeuse Sandvik LH621i débute après les opérations de tir, de ventilation, de purge et de soutènement. Une fois le chantier déclaré sécuritaire, la machine est conduite jusqu'au front de taille où son godet est introduit dans le tas de minerai fragmenté.

À l'aide de son système hydraulique. Le godet remplit le minerai puis est relevé avant que la machine ne se dirige vers le point de déchargement. Selon l'organisation de la production, le minerai est soit déversé dans le camion bennes, soit directement dans une trémie ou au niveau du grizzly.

Cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à l'évacuation complète du minerai abattu. La rapidité des cycles de chargement et la bonne coordination avec les camions permettent d'assurer la continuité du cycle de production.

Tableau II. 3: Caractéristiques techniques de la chargeuse Sandvik LH621i (Sandvik. 2023. Lh621i)

Données techniques	Valeurs	Unités
Marques, sandvik	--	--
Type toro LH621i	--	--
Dimension (L-I-H)	12,6×3,2×2,9	M
Capacité	21	Tonnes métriques
Capacité du godet	8-11,2	m ³
Poids (opérationnel)	58800	Kg
Effort-d'arrachement	38500	Kg
Effort d'arrachement	35100	Kg
Puissance moteur	352	Kw
Vitesse (en charge)	26	Km/h

II.8.3 Domaines d'utilisation

Les chargeuses Sandvik LH621i sont utilisées dans différentes opérations de l'exploitation minière souterraine, notamment :

- Le chargement du minerai abattu ;
- Le transport du minerai sur de courtes distances ; □ Le chargement des camions bennes ;
- L'évacuation des stériles ;
- Le nettoyage des chantiers après les tirs.

Grâce à leur maniabilité et à leur puissance, elles peuvent intervenir dans les chambres de production, et les galeries de développement.

II.8.4 Rôle de la chargeuse Sandvik LH621i

Dans la section 303 de KAMOA ONE, la chargeuse SANDVIK LH621i assure l'évacuation du minerai après les opérations de forage, de tir, de ventilation, de purge et de soutènement. Elle constitue le lien entre le chantier d'exploitation et le système de transport souterrain.

Son intervention permet de maintenir la continuité des opérations en alimentant régulièrement les camions bennes Sandvik TH663i. En évacuant rapidement le minerai du front de taille, elle libère les chantiers pour les opérations suivantes et contribue au respect de la planification des travaux.

II.9 Camion benne Sandvik TH663i

Le Sandvik TH663i est un camion à benne articulé conçu pour le transport du minerai et des stériles dans les exploitations minières souterraines mécanisées. Il est spécialement développé pour évoluer dans des galeries souterraines de grandes dimensions et assurer le transport de charges importantes entre les chantiers d'exploitation et les installations de traitement ou de concassage.

Grâce à sa conception robuste, sa grande capacité de chargement et ses systèmes de contrôle intelligents, le TH663i constitue l'un des principaux équipements de transport utilisés dans les mines souterraines à forte production (figure II.14). Il est conçu pour offrir une productivité élevée, une sécurité renforcée et un coût d'exploitation réduit.



Figure II. 14 Benne Sandvik TH663i

Dans la section 303 de KAMOA ONE, le Sandvik TH663i assure le transport du minerai chargé par les Sandvik LH621i jusqu'au Grizzly, où le minerai est déversé avant d'être acheminé vers les installations de traitement.

II.9.1 Description

Le camion Sandvik TH663i est constitué d'un châssis articulé renforcé permettant une excellente maniabilité dans les galeries souterraines. Il est équipé d'une benne basculante de

grande capacité destinée au transport du minerai, d'un moteur diesel haute performance, d'une transmission automatique et d'un système hydraulique commandant le levage de la benne. Cette conception lui permet d'évoluer efficacement dans les conditions exigeantes des mines souterraines tout en garantissant un niveau élevé de sécurité et de confort pour l'opérateur.

II.9.2. Principe de fonctionnement

Le cycle de fonctionnement du Sandvik TH663i débute lorsque la chargeuse Sandvik LH621i charge le minerai dans sa benne. Une fois la capacité maximale atteinte, le camion emprunte les galeries de transport jusqu'au point de déchargement.

À KAMOA ONE dans la section 303, le minerai est transporté vers le grizzly, où il est déversé pour alimenter les systèmes de concassage primaire. Après le déchargement, le camion retourne au chantier afin d'être rechargé, assurant ainsi un flux continu de minerai tout au long du poste de travail.

La répétition de ce cycle garantit l'alimentation régulière des installations de traitement et contribue à la continuité des opérations de production.

Tableau II. 4: Caractéristiques techniques de la benne Sandvik TH663i (Sandvik. 2023. TH663i)

Capacité	63 Tonnes métriques
Dimension (L-l-H)	11,6 x 3,5 x 3,5m
Volume benne	24 – 40 m ³
Vitesse (en charge)	33 km/h
Puissance	565 kW

II.9.3. Domaines d'utilisation

Le Sandvik TH663i est destiné aux exploitations minières souterraines à forte capacité de production. Il est utilisé pour :

- Le transport du minerai depuis les chantiers de production ;
- Le transport des stériles issus des travaux de développement ;
- L'alimentation des installations de concassage primaire ;
- Le transport sur de longues distances à l'intérieur de la mine.

Sa capacité élevée en fait un équipement particulièrement adapté aux mines mécanisées produisant des grands tonnages comme KAMOA ONE.

II.9.4 Rôle du Sandvik TH663i dans le cycle de production de la section 303

Dans la section 303 de KAMOA ONE, le Sandvik TH663i constitue le principal moyen de transport du minerai. Après le chargement effectué par les Sandvik LH621i, il assure l'acheminement du minerai jusqu'au Grizzly, où celui-ci est déversé avant son transport vers l'usine de traitement.

Le camion contribue à assurer la continuité de la chaîne de production en évacuant rapidement le minerai des chantiers d'exploitation. Il permet ainsi d'éviter l'accumulation du minerai au front de taille, de maintenir la disponibilité des zones de chargement et de favoriser le respect du programme de production.

II.10 Les équipements auxiliaires

Les équipements auxiliaires regroupent l'ensemble des installations et des matériels qui, sans participer directement à l'abattage ou au transport du minerai, sont indispensables au bon déroulement des opérations minières. Ils permettent d'assurer la sécurité des travailleurs, la stabilité des ouvrages souterrains, la gestion des eaux, l'alimentation énergétique des équipements et la continuité du cycle de production.

Dans la section 303 de KAMOA ONE, les principaux équipements auxiliaires comprennent le système de ventilation, les équipements de soutènement, le système de pompage ainsi que les installations d'alimentation électrique.

II.10.1. La ventilation

La ventilation est l'ensemble des dispositifs destinés à assurer le renouvellement permanent de l'air dans les travaux souterrains. Elle permet d'apporter de l'air aux zones de travail et d'évacuer les gaz nocifs, les poussières, la chaleur et les fumées produites par le tir de mines et

les engins à moteur diesel. Elle constitue l'un des systèmes essentiels à la sécurité et à la continuité des opérations dans une mine souterraine.

II.10.1.1 Description

Le système de ventilation comprend généralement :

- Les ventilateurs principaux ;
- Les ventilateurs auxiliaires ;

II.10.1.2 Dispositifs de contrôle du débit d'air

Pour une bonne circulation et répartition de l'air dans les tunnels, plusieurs dispositifs sont utilisés :

- Rideaux en plastique : Ce sont des barrières flexibles qui guident le flux d'air tout en restant facilement ajustables ;
- Murs de blocs de ciment : Des structures fixes qui compartimentent les galeries et empêchent le mélange des circuits d'air frais et impur ;
- Murs temporaires en bâches jaunes : Installations provisoires qui permettent de modifier la ventilation en fonction de la progression des travaux.
- Régulateur de débit : Ces équipements contrôlent précisément le volume d'air distribué dans chaque secteur.

II.10.1.3 Rôle de la ventilation

Dans la section 303 de KAMOA ONE, la ventilation permet :

- D'évacuer les fumées après les tirs de mines ;
- D'éliminer les gaz toxiques tels que le monoxyde de carbone et les oxyde d'azote ;
- De réduire la concentration des poussières ;
- D'abaisser la température dans les galeries ;
- De fournir un environnement de travail conforme aux exigences de sécurité.

La ventilation conditionne directement la reprise des travaux après le tir. Une ventilation efficace réduit les temps d'attente avant la reprise des opérations de purge, de soutènement et de chargement, contribuant ainsi à la continuité du cycle de production. II.10.2. Les équipements de soutènement

Le soutènement regroupe l'ensemble des équipements destinés à assurer la stabilité des excavations souterraines et à prévenir les chutes de blocs susceptibles de mettre en danger le personnel et les équipements.

II.10.2.1 Description

Les principaux équipements de soutènement utilisés dans les mines souterraines sont :

□ Split set



Figure II. 15 Barre et plaque de soutènement par split set

□ Cable bolt



Figure II. 16 Cable bolt

□ Boulon à résine



Figure II. 17 Boulon à résine

□ Treillis métalliques



Figure II. 18 Treillis métalliques

□ Béton projeté



II.10.2.2 Rôle dans la section 303

Dans la section 303, les équipements de soutènement sont installés après la purge afin de stabiliser durablement les excavations. Il permet de sécuriser les galeries et les chambres de production, de réduire les risques d'instabilité et d'assurer la continuité des travaux d'exploitation.

II.10.3 Le système de Pompage

Le système de pompage est constitué des équipements permettant de collecter, d'évacuer et de contrôler les eaux présentes dans les travaux souterrains.

II.10.3.1 Description

Le système de pompage comprend principalement :

- Les pompes submersibles ;
- Les pompes de relevage ;
- Les bassins de décantation ;
- Les conduites de refoulement ;
- Les dispositifs de commande et de contrôle.

II.10.3.2 Rôle dans la section 303

Le système de pompage permet d'empêcher l'accumulation d'eau dans les galeries, de maintenir les voies de circulation praticables et de protéger les équipements contre les effets de l'humidité. Il contribue également à limiter les risques d'inondation et à assurer les bons déroulements des opérations de production.

II.10.4 Le système d'alimentation

L'alimentation électrique désigne l'ensemble des installations assurant la distribution de l'énergie nécessaire au fonctionnement des équipements de production et des infrastructures minières.

II.10.4.1 Description

Le système comprend notamment :

- Les postes de transformation ;
- Les transformateurs ;
- Les tableaux électriques ;
- Les dispositifs de protection et de commande.

Cette infrastructure fournit l'énergie nécessaire indispensable au fonctionnement des jumbos, des ventilateurs, des pompes, des systèmes d'éclairage et des autres équipements électriques.

II.10.4.2 Rôle dans la section 303

Dans la section 303, l'alimentation électrique garantit le fonctionnement continu des équipements nécessaires au cycle de production. Une alimentation stable réduit les interruptions des travaux et favorise le respect du programme de production.

II.10.5 Le concassage primaire

II.10.5.1 Description du Grizzly

Le Grizzly est un équipement fixe installé dans la mine afin d'assurer le contrôle granulométrique du minerai avant son transfert vers les installations de concassage. Dans une exploitation mécanisée telle que KAMOA ONE, le Grizzly constitue une étape essentielle de production. Il permet d'empêcher le passage de blocs de grandes dimensions susceptible d'endommager les installations de concassage, les convoyeurs ou le système de transfert du minerai.

II.10.5.2 Rôle du Grizzly dans la section 303

Dans la section 303, le Grizzly constitue le point de réception du minerai transporté depuis les chantiers de production.

Après les opérations de forage, de tir, de purge, de soutènement, de chargement et de transport, le minerai est déversé au niveau du grizzly où un premier tri granulométrique est effectué.

Les fragments conformes poursuivent leur chemin vers le concasseur primaire, tandis que les blocs surdimensionnés sont fragmentés par le brise-roche hydraulique avant d'être introduits dans le circuit de traitement.

Ainsi, le Grizzly assure une alimentation continue et sécurisée des installations situées en aval et contribue au maintien du rythme de production de la mine.

Conclusion partielle

Ce deuxième chapitre a permis de présenter les fondements théoriques relatifs à la productivité en exploitation minière souterraine. Les principaux concepts liés à la production, au rendement, à l'efficacité, à l'efficience et à la productivité ont été définis afin de mieux comprendre les mécanismes qui conditionnent la performance globale d'une exploitation minière.

L'étude a également mis en évidence les différents paramètres susceptibles d'influencer la productivité de la section 303 de la mine souterraine de KAMOA ONE. Ces paramètres, qu'ils soient techniques, géologiques, humains ou organisationnels, interviennent à chaque étape du cycle de production et peuvent, selon leur niveau de maîtrise, contribuer à l'amélioration ou à la diminution des résultats de l'exploitation.

Par ailleurs, la présentation des principaux équipements utilisés dans la section 303, notamment le Jumbo Boomer H282, le Kit de chargement d'émulsion Charmec, la chargeuse Sandvik LH621i et les camions bennes Sandvik TH663i, a permis de montrer leur rôle dans le déroulement des différentes opérations du cycle de production. Sans constituer une analyse de leurs performances individuelles, cette présentation met en évidence leur contribution au bon fonctionnement des activités minières.

Ainsi, les éléments théoriques développés dans ce chapitre constituent une base scientifique essentielle pour l'analyse des données recueillies sur le terrain. Ils serviront de référence pour interpréter les résultats relatifs aux paramètres de productivité de la section 303, lesquels seront présentés et analysés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III PRESENTATION, ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

III.1 Introduction partielle

Ce chapitre est consacré à l'analyse des paramètres de productivité des travaux de développement réalisés à la mine souterraine de KAMOA ONE, cas de la section 303, durant la période allant de novembre 2025 à avril 2026. À partir des données collectées sur le terrain, une comparaison est effectuée entre les performances planifiées et les performances réalisées pour les principaux paramètres de productivité, à savoir l'avancement des travaux, les opérations de minage, le chargement et le transport. Cette analyse vise à évaluer le niveau de performance des travaux de développement à travers l'étude des écarts observés et des taux d'atteinte des objectifs, afin d'identifier les principales contraintes influençant la productivité de la section 303.

III.2. Analyse du forage

Le tableau III.1 Présente les données relatives aux opérations de forage

Tableau III. 1:

Mois	Forage Planifiés (m)	Forage Réalisés (m)	Écart (m)	Taux d'atteinte
Novembre	3850	2650	1200	68,83
Décembre	3900	2710	1190	69,49
Janvier	4000	2720	1280	68,00
Février	4050	2780	1270	68,64
Mars	4100	2860	1240	69,76
Avril	4150	2910	1240	70,12
Total	24050	16630	7420	69,15%

Commentaire

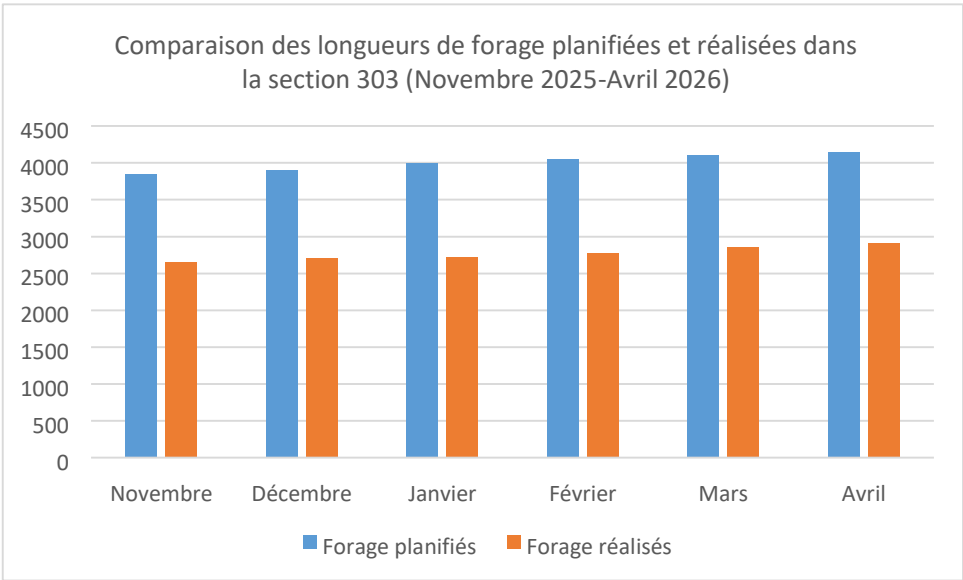
Le tableau présente l'évolution des opérations de forage planifié et réalisé à la mine souterraine de KAMOA ONE durant la période allant de Novembre 2025 à Avril 2026. Les résultats montrent que le forage réalisé est resté inférieur au forage planifié tout au long de la période.

Au total, 16630 m ont été réalisés sur 24050 m planifiés, soit un taux d'atteinte semestriel de 69,15% et un écart cumulé de 7420 m. Ces résultats traduisent des difficultés opérationnelles

ayant affecté les performances du forage et, par conséquent, la productivité globale de la section 303.

Tableau III. 2: Coordonnées du forage

Mois	Forage planifiés	Forage réalisés
Novembre	3850	2650
Décembre	3900	2710
Janvier	4000	2720
Février	4050	2780
Mars	4100	2860
Avril	4150	2910



Commentaire sur le diagramme

Ce diagramme met en évidence une différence constante entre les longueurs de forage planifiées et les longueurs effectivement réalisés durant la période de Novembre 2025 à Avril 2026. Pour chacun des mois étudiés, les réalisations demeurent inférieures aux prévisions, ce qui traduit des écarts persistants dans l’exécution des travaux de forage. Bien qu’une légère progression des longueurs réalisées soit observée au cours de la période, les objectifs fixés ne sont pas atteints. Cette situation peut être liée à des contraintes techniques, organisationnelles ou géologiques ayant limité les performances des opérations et influencé le déroulement du cycle de production.

III.3. Analyse des opérations de minage

Les données des différents minages sont consignées dans le tableau III.4.

Tableau III. 4: Données des minages

Mois	Minages planifiés	Minage réalisés	Écart	Taux d'atteinte
Novembre	102	72	30	70,59
Décembre	108	76	32	70,37
Janvier	116	81	35	69,83
Février	124	87	37	70,16
Mars	126	88	38	69,84
Avril	144	101	43	70,14
Total	720	505	215	70,14%

Commentaires

Le tableau présente l'évolution des minages planifiés et réalisés à la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303 entre Novembre 2025 et Avril 2026. Les résultats montrent que les minages réalisés sont demeurés inférieurs aux objectifs mensuels durant toute la période.

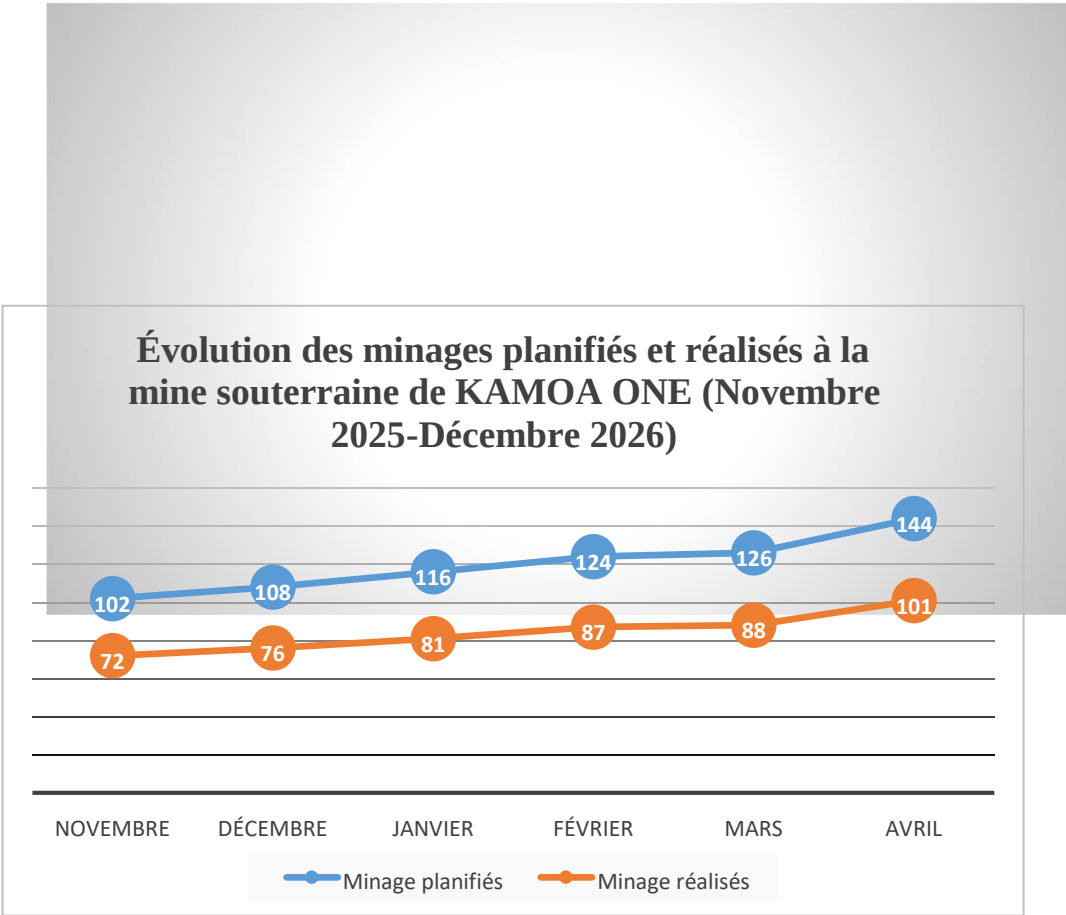
Au total, 505 minages ont été réalisés sur 720 planifiés, soit un taux moyen d'atteinte de 70,14%, avec un écart global de 215 minages. Les écarts mensuels, compris entre 30 et 43 minages, traduisent une sous-performance relativement constante des opérations de minage.

Cette situation peut s'expliquer par les contraintes opérationnelles telles que les retards de forage, les indisponibilités des équipements ou les difficultés d'exploitation, ayant ainsi influencé la progression des travaux de développement.

Tableau III. 5: Coordonnées des minages

Mois	Minage planifiés	Minage réalisés
Novembre	102	72
Décembre	108	76
Janvier	116	81
Février	124	87
Mars	126	88

Avril	144	101
-------	-----	-----



Commentaire sur le graphique

La courbe met en évidence une augmentation progressive du nombre de minages planifiés et réalisés au cours de la période de Novembre 2025 et Avril 2026. Malgré cette évolution positive, les minages réalisés restent constamment inférieurs aux prévisions. L'écart observé montre que les performances de minage n'ont pas permis d'atteindre les objectifs fixés, ce qui a probablement influencé les opérations de chargement, de transport et l'avancement global des travaux de développement.

III.4 Analyse de l'avancement des travaux

Le tableau III.6 aligne l'état d'avancement des travaux.

Tableau III. 6: Données des avancements

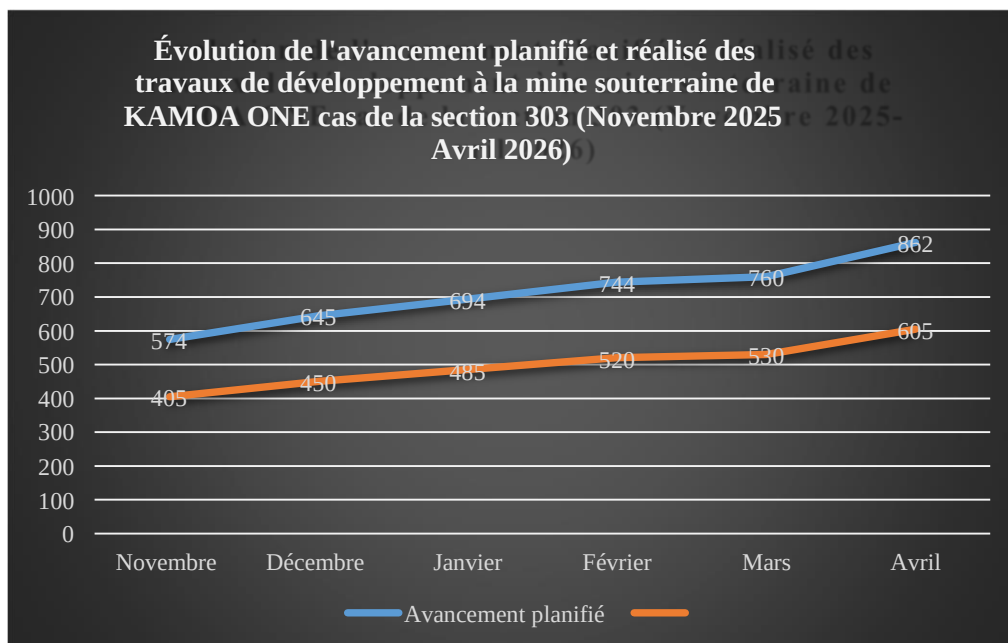
Mois	Avancement planifié (m)	Avancement réalisé (m)	Écart (m)	Taux d'atteinte %
Novembre	574	405	169	70,56
Décembre	645	450	195	69,77
Janvier	694	485	209	69,88
Février	744	520	224	69,89
Mars	760	530	230	69,74
Avril	862	605	257	70,19
Total	4279	2995	1284	70%

Commentaire

Le tableau présente l'évolution de l'avancement planifié et de l'avancement réalisé des travaux de développement à la mine souterraine de KAMOA ONE durant la période de novembre 2025 à avril 2026. Les résultats montrent que l'avancement réalisé est resté inférieur à l'avancement planifié tout au long de la période. Au total, 2 995 m ont été réalisés contre 4279 m planifiés, soit un taux global d'atteinte de 69,99 % et un écart cumulé de 1284 m. Les écarts mensuels, qui varient de 169 m à 257 m, traduisent une sous-performance relativement constante dans l'exécution des travaux de développement. Cette situation peut s'expliquer par des contraintes opérationnelles telles que les retards de forage, les indisponibilités des équipements, les conditions géologiques ou les interruptions d'exploitation, ayant ainsi limité l'atteinte des objectifs fixés.

Tableau III. 7: Coordonnées des avancements

Mois	Avancement planifiés (m)	Avancement réalisés (m)
Novembre	574	405
Décembre	645	450
Janvier	694	485
Février	744	520
Mars	760	530
Avril	862	605



Commentaire sur le graphique

Cette courbe montre que l'avancement planifié est resté supérieur à l'avancement réalisé durant toute la période de novembre 2025 à avril 2026. Les deux courbes présentent une évolution croissante, traduisant une progression continue des travaux de développement. Toutefois, l'écart entre les valeurs planifiées et réalisées demeure important, ce qui révèle que les objectifs mensuels n'ont pas été atteints. Cette situation peut être attribuée à des contraintes opérationnelles telles que les arrêts d'équipements, les conditions géologiques, les retards de forage ou les difficultés liées à l'organisation des travaux.

III.5 Analyse des opérations de chargement

Dans le tableau III.8 ci-dessous apparaissent les résultats des chargements.

Tableau III. 8: Données des chargements

Mois	Tonnage planifié (t)	Tonnage chargé (t)	Écart (t)	Taux d'atteinte %
Novembre	42000	27300	14700	65,00
Décembre	48000	30720	17280	64,00
Janvier	51000	32130	18870	63,00
Février	55000	34100	20900	62,00
Mars	58000	36540	21460	63,00
Avril	66000	41580	24420	63,00

Total	320000	20237	117630	63,24
-------	--------	-------	--------	-------

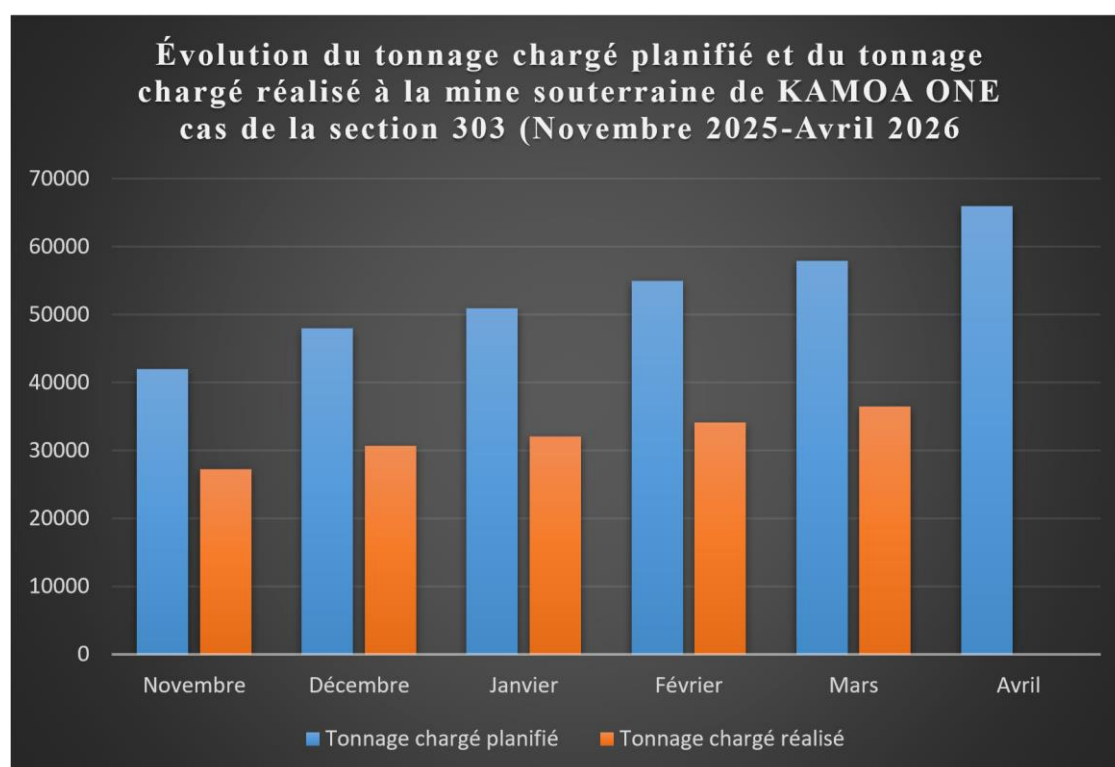
Commentaire

Le tableau présente l'évolution du tonnage chargé planifié et du tonnage chargé réalisé à la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303 durant la période de novembre 2025 à avril 2026.

Les résultats montrent que le tonnage chargé réalisé est demeuré inférieur au tonnage planifié tout au long de la période. Au total, 20237 tonnes ont été chargées sur 320 000 tonnes planifiées, soit un taux global d'atteinte de 63,24 % et un écart cumulé de 117630 tonnes. Les taux d'atteinte mensuels, compris entre 62 % et 65 %, traduisent une sous-performance relativement constante des opérations de chargement. Cette situation peut être attribuée à plusieurs contraintes opérationnelles, notamment les retards des opérations de minage, les indisponibilités des chargeuses, les pannes d'équipements ou les conditions d'exploitation, ce qui a limité l'atteinte des objectifs de production.

Tableau III. 9: Coordonnées des chargements

Mois	Tonnage planifié (t)	Tonnage réalisé (t)
Novembre	42000	27300
Décembre	48000	30720
Janvier	51000	32130
Février	55000	34100
Mars	58000	36540
Avril	66000	41580



Commentaire sur le diagramme

Le diagramme indique une progression régulière du tonnage chargé planifié ainsi que du tonnage chargé réalisé entre novembre 2025 et avril 2026. Cependant, le tonnage effectivement chargé demeure inférieur au tonnage prévu durant toute la période. Cet écart traduit une sous-performance des opérations de chargement, qui peut résulter d'une disponibilité insuffisante des équipements, d'un faible rendement du minage ou de contraintes organisationnelles affectant la production.

III.6 Analyse des opérations de transport

Il apparaît dans le tableau III.10 les données sur les différents transports.

Tableau III. 10: Données des transports

Mois	Transport planifié (t)	Transport réalisé (T)	Écart (t)	Taux d'atteinte%
Novembre	42000	25200	16800	60,00
Décembre	48000	28320	19680	59,00
Janvier	51000	30090	20910	59,00
Février	55000	32450	22620	59,00

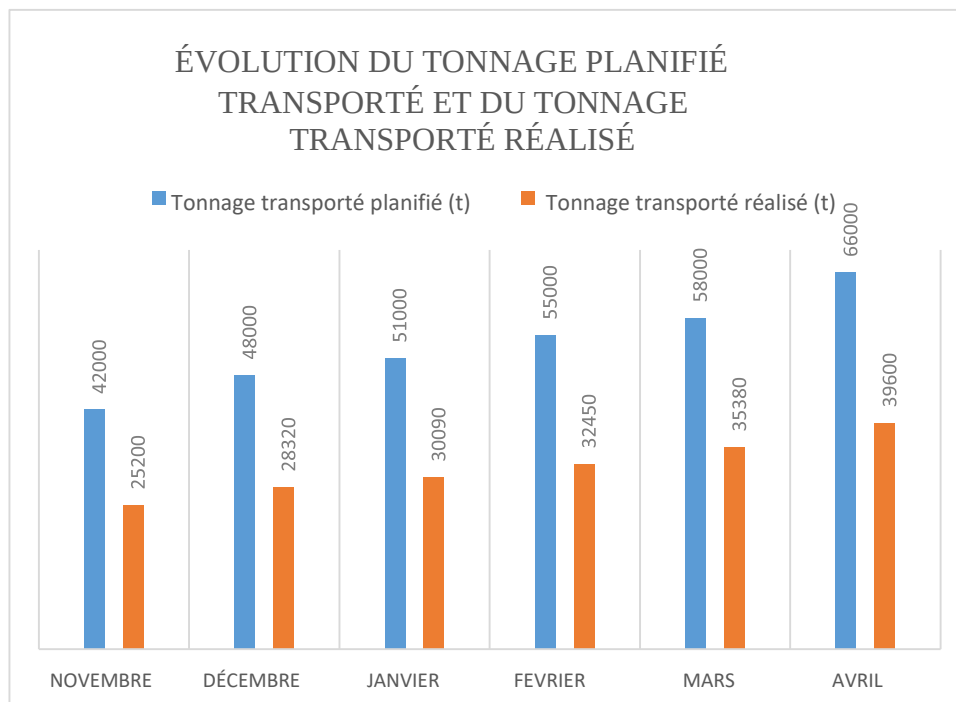
Mars	58000	35380	22620	61,00
Avril	66000	39600	26400	60,00
Total	320000	191040	128960	59,70

Commentaire

Le tableau présente l'évolution du tonnage transporté planifié et du tonnage transporté réalisé à la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303 durant la période de Novembre 2025 à Avril 2026. Les résultats montrent que le tonnage transporté réalisé est resté inférieur au tonnage transporté planifié tout au long de la période étudiée. Au total, 191040 tonnes ont été transportées sur un objectif de 320 000 tonnes, soit un taux global d'atteinte de 59,70 % et un écart cumulé de 128960 tonnes. Les taux d'atteinte mensuels varient entre 59,00 % et 61,00 %, ce qui traduit une performance relativement stable mais insuffisante pour atteindre les objectifs de transport. Cette sous-performance peut être attribuée à plusieurs contraintes opérationnelles, notamment les indisponibilités des camions, les pannes d'équipements, les temps d'attente au chargement et au déchargement, ainsi que l'état des voies de circulation, ayant ainsi limité l'efficacité des opérations de transport.

Tableau III. 11: Coordonnées des transports

Mois	Tonnage planifié (T)	Tonnage transporté
Novembre	42000	25200
Décembre	48000	28320
Janvier	51000	30090
Février	55000	32450
Mars	58000	35380
Avril	66000	39600

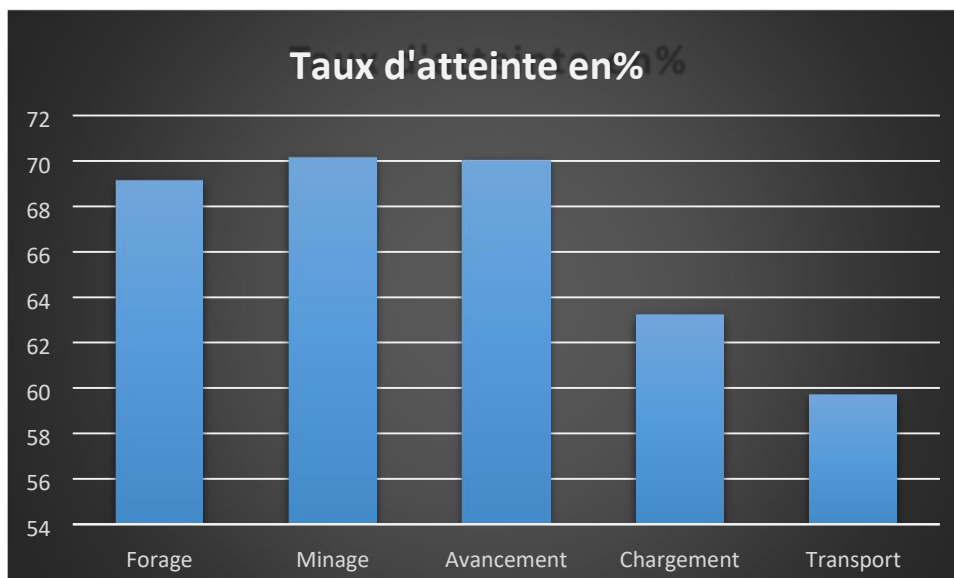


Commentaire sur le diagramme

Le diagramme montre une évolution croissante du tonnage transporté planifié et du tonnage transporté réalisé sur l'ensemble de la période étudiée. Bien que les quantités transportées augmentent progressivement, elles restent en dessous des objectifs fixés chaque mois. L'écart entre les valeurs planifiées et réalisées traduit une insuffisance de performance des opérations de transport, pouvant être liée à la disponibilité des camions, aux temps d'attente, à l'état des voies de circulation ou aux contraintes opérationnelles de la mine.

Tableau III. 12: Coordonnées des taux d'atteinte

Paramètre de productivité	Taux d'atteinte %
Forage	69,15
Minage	70,14
Avancement	70,00
Chargement	63,24
Transport	59,70



Commentaire du diagramme

Le diagramme présente les taux globaux d'atteinte des principaux paramètres de productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE, section 303, durant la période de novembre 2025 à avril 2026. Les résultats montrent que le forage (69,15 %), le minage (70,14 %) et l'avancement (70,00 %) affichent les meilleures performances, avec des taux relativement proches de l'objectif fixé. En revanche, le chargement (63,24 %) et le transport (59,70 %) enregistrent des performances plus faibles, révélant des insuffisances dans ces étapes de la chaîne de production. Ces résultats mettent en évidence la nécessité d'améliorer principalement les opérations de chargement et de transport, notamment par une meilleure disponibilité des équipements, une meilleure coordination des activités et une optimisation de l'organisation du travail afin d'accroître la productivité globale de la mine.

III.7 Interprétation des résultats

L'analyse des paramètres de productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303, réalisée sur la période allant de Novembre 2025 à Avril 2026, met en évidence des écarts entre les objectifs planifiés et les performances effectivement enregistrées. Les résultats obtenus montrent que les cinq paramètres étudiés, à savoir l'avancement des travaux, les opérations de minage, le chargement et de transport, n'ont pas atteint les objectifs fixés, bien que leurs niveaux de performance diffèrent.

L'analyse des opérations de forage révèle un taux d'atteinte semestriel de 69,15 %, ce qui traduit une performance relativement satisfaisante, mais qui demeure inférieure à l'objectif fixé. Les résultats montrent que les travaux de forage ont été exécutés de manière relativement régulière

tout au long de la période étudiée, permettant d'assurer la préparation des chantiers de minage. Toutefois, les performances enregistrées restent limitées par plusieurs facteurs, notamment les temps d'arrêt des équipements de forage, les opérations de maintenance, les conditions géologiques du massif rocheux ainsi que les contraintes organisationnelles. Malgré ces difficultés, le forage présente une performance proche de celles du minage et de l'avancement, ce qui témoigne d'une bonne maîtrise globale de cette opération. Des améliorations portant sur la disponibilité des jumbos, l'entretien préventif des équipements et l'optimisation de l'organisation des travaux permettraient d'accroître davantage les performances du forage et, par conséquent, la productivité globale de la section 303.

Les opérations de minage présentent également un taux d'atteinte proche voisin de 70%. Les résultats montrent que les minages réalisés suivent une évolution similaire à celle des avancements. Cette cohérence laisse penser que le programme de tirs a été globalement respecté, même si les performances obtenues sont restées inférieures aux prévisions. Les minages ont ainsi permis d'assurer la continuité des travaux, mais sans produire les résultats attendus pour atteindre entièrement les objectifs de développement.

En revanche, les performances des opérations de chargement apparaissent moins satisfaisantes. Avec un taux d'atteinte semestriel de 63,24%, les tonnages effectivement chargés demeurent sensiblement inférieurs aux tonnages planifiés. Cette situation montre que les capacités de chargement n'ont pas été pleinement exploitées au cours du semestre. Les écarts observés traduisent une baisse de l'efficacité de cette opération par rapport aux travaux de développement et aux minages.

L'analyse de l'avancement révèle un taux d'atteinte semestriel de 70%, ce qui traduit une exécution relativement satisfaisante des travaux de développement. Les avancements réalisés sont restés inférieurs aux prévisions tout au long de la période étudiée, mais leur évolution demeure relativement régulière. Cette situation montre que les travaux de développement se sont poursuivis, sans toutefois permettre d'atteindre les objectifs établis par la planification.

Les résultats du transport montrent une performance encore plus faible, avec un taux d'atteinte semestriel de 59,70%. Les quantités de minerai transportées restent systématiquement en dessous des objectifs fixés, ce qui indique que cette opération constitue le paramètre le moins performant parmi ceux étudiés. Cette situation réduit l'efficacité globale de la chaîne de production, puisque le minerai disponible ne peut pas être évacué dans les quantités prévues.

Le chargement et le transport sont intimement liés. L'écart entre les 2% signifie qu'il y a eu des pertes en cours de transport

La comparaison des différents paramètres met en évidence une diminution progressive des performances tout au long du cycle de production. Les travaux de développement et les opérations de minage présentent les meilleurs niveaux de performance, tandis que le chargement et surtout le transport affichent des taux d'atteinte plus faibles. Cette évolution montre que les principales pertes de productivité se situent au niveau des opérations de manutention du minerai.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que la productivité de la mine souterraine section 303 de la section de KAMOA ONE dépend de la performance de l'ensemble des opérations constituant le cycle de production. Même lorsque les travaux de développement sont réalisés à un niveau relativement satisfaisant, la productivité globale demeure limitée si les opérations de Chargement et de transport ne permettent pas d'atteindre les objectifs de production.

Par conséquent, l'amélioration de la productivité nécessite une optimisation de l'ensemble des paramètres étudiés, avec une attention particulière portée aux opérations de chargement et de transport, qui présentent les écarts les plus importants entre les prévisions et les réalisations.

III.8 Discussion des résultats

L'analyse des paramètres de productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303 montre que les performances enregistrées au cours de la période de Novembre 2025 à Avril 2026 sont restées inférieures aux objectifs planifiés. Les taux d'atteinte obtenus diffèrent selon les opérations étudiées, ce qui met en évidence l'existence de contraintes à différents niveaux du cycle de production.

Les travaux de développement présentent un taux d'atteinte semestriel de 70%. Ce résultat indique que les objectifs d'avancement n'ont été que partiellement atteints. En exploitation souterraine, l'avancement des galeries constitue un indicateur essentiel de la productivité, car il conditionne l'accès aux nouvelles zones minéralisées et assure la continuité de la production. Un retard dans les travaux de développement peut limiter la préparation des chantiers et réduire progressivement les possibilités d'exploitation.

Les résultats obtenus pour les opérations de minage montrent également un taux d'atteinte voisin de 70%. Cette situation traduit une exécution relativement régulière du programme de tirs, sans

toutefois atteindre les performances prévues. En pratique, la qualité des opérations de forage et de minage influence directement l'avancement obtenu après chaque tir. Ainsi, un nombre de minages conforme au programme ne garantit pas systématiquement un avancement élevé, car les résultats dépendent également de la qualité du forage, de la conception du plan de tir, de la fragmentation obtenue et des conditions géologiques rencontrées.

Les opérations de chargement affichent un taux d'atteinte semestriel de 63,24%, inférieur à celui des travaux de développement. Cette différence montre que les volumes de minerai disponibles n'ont pas été entièrement valorisés par les équipements de chargement. Dans une mine souterraine, le rendement du chargement dépend notamment de la disponibilité mécanique des chargeuses, de leur capacité de production, de l'organisation des postes de travail ainsi que de la qualité de la fragmentation du minerai après le tir. Une fragmentation inadaptée peut ralentir les cycles de chargement et diminuer les performances de cette opération.

Les résultats du transport présentent le taux d'atteinte le plus faible (59,70%). Cette situation suggère que le transport constitue l'une des principales contraintes de la chaîne de production étudiée. En exploitation souterraine, les performances du transport sont influencées par plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des camions, les temps d'attente aux points de chargement, l'état des voies de circulation, les distances de transport et l'organisation des rotations. Une diminution du rendement du transport entraîne généralement une accumulation du minerai dans les chantiers, et perturber l'ensemble du cycle de production.

La comparaison des quatre paramètres montre que les performances diminuent progressivement entre les travaux de développement, les opérations de minage, le chargement et le transport. Cette évolution met en évidence le caractère interdépendant des opérations minières. En effet, la productivité globale d'une mine souterraine dépend de la coordination de toutes les étapes du cycle de production. Une amélioration des travaux de développement, à elle seule, ne suffit pas à garantir une augmentation de la production si les opérations de chargement et de transport ne présentent pas un niveau de performance comparable.

Ces observations sont cohérentes avec les principes de gestion de la production en exploitation minière souterraine, selon lesquels la performance globale est souvent limitée par l'opération la moins performante de la chaîne. Dans les résultats obtenus, le transport apparaît comme le paramètre le plus contraignant, suivi du chargement. Les efforts d'amélioration devraient donc

être orientés prioritairement vers ces deux opérations afin d'augmenter la productivité globale de la mine.

En définitive, l'analyse montre que l'amélioration durable de la productivité à la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303 passe par une meilleure coordination entre les travaux de développement, les opérations de minage, le chargement et le transport. Une gestion efficace de ces paramètres permettrait de réduire les écarts entre les objectifs et les réalisations et d'améliorer les performances de l'ensemble du processus de production.

III.9 Suggestions et recommandations

Au regard des résultats obtenus lors de l'analyse des paramètres de productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303, les recommandations suivantes sont proposées afin d'améliorer les performances des opérations minières.

a) Amélioration des opérations de forage

L'opération de forage a atteint un taux d'atteinte semestriel de 69,15 %, ce qui reste inférieur à l'objectif fixé. Il est donc recommandé de :

- Renforcer la disponibilité mécanique des jumbos par une maintenance préventive régulière ;
- Réduire les temps d'arrêt des équipements de forage (pannes mécaniques, électriques et opérationnelles) ;
- Optimiser les paramètres de forage (vitesse d'avancement, pression, consommation des outils) en fonction des conditions géologiques ;
- Assurer une meilleure organisation des équipes de forage afin d'augmenter les heures effectives de production ;

Suivre quotidiennement les indicateurs de performance de forage pour corriger rapidement les écarts observés

b) Amélioration des travaux de développement

Bien que les travaux de développement présentent un taux d'atteinte relativement satisfaisant de 70%, des efforts doivent être poursuivis afin de réduire les écarts entre les objectifs et les réalisations. Il est recommandé de renforcer le suivi quotidien des avancements, d'optimiser la planification des travaux et d'améliorer la disponibilité des équipements de forage.

c) Optimisation des opérations de minage

Afin d'améliorer l'efficacité des opérations de minage, il est recommandé de veiller au respect des paramètres de forage et de tir, notamment la profondeur des trous, leur espacement et de la qualité du chargement des explosifs. Une meilleure fragmentation du massif rocheux facilitera les opérations de chargement et contribuera à améliorer la productivité globale.

d) Amélioration des opérations de chargement

Les résultats montrent que le chargement constitue l'un des paramètres limitant la productivité de la mine. Il est recommandé de :

- Améliorer la disponibilité mécanique des chargeuses par une maintenance préventive régulière ;
- Réduire les temps d'arrêt non planifiés des équipements ;
- Optimiser l'organisation des opérations de chargement afin de diminuer les temps d'attente ;
- Assurer une bonne répartition des équipements entre les différents chantiers.

e) Amélioration des opérations de transport

Le transport étant le paramètre présentant les performances les plus faibles, il est recommandé de :

- Renforcer la maintenance des bennes afin d'améliorer leur disponibilité ;
 - Améliorer des voies de circulation souterraine ;
 - Optimiser les itinéraires et les rotations des bennes
 - Réduire les temps d'attente entre le chargement et le déchargement ; □ Assurer un suivi régulier des indicateurs de performance du transport.
- f) Renforcement du suivi des performances**

Il est recommandé de mettre en place un système de suivi des indicateurs de productivité, notamment l'avancement, le nombre de minages, le rendement du chargement et le rendement du transport. Ce suivi permettra d'identifier rapidement les écarts entre les objectifs et les réalisations et de prendre des mesures correctives en temps opportun.

g) Renforcement de la coordination des opérations

Les différentes opérations du cycle de production étant interdépendantes, une meilleure coordination entre les équipes de développement, de minage, de chargement et de transport est nécessaire afin d'assurer la continuité des travaux et de réduire les pertes de temps opérationnelles.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude consiste à « Analyse des paramètres de productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303, avait pour objectif d'évaluer les performances des principales opérations du cycle de production, à savoir les opérations de forage, les opérations de minage, les travaux de développements (avancements), le chargement et le transport, afin d'identifier les paramètres influençant la productivité de la mine.

Pour atteindre cet objectif, une analyse des données de production couvrant la période de novembre 2025 à avril 2026 a été réalisée. Les indicateurs retenus, notamment les forages, le nombre de minages, les avancements, les tonnages chargés et transportés, ont été comparés aux objectifs planifiés, afin de déterminer les écarts de production et les taux d'atteinte correspondants.

Les résultats obtenus montrent que les performances des différentes opérations restent inférieures aux objectifs fixés. Les opérations de forage traduisant d'atteinte semestriel de 69,15% traduisant une performance relativement satisfaisante, mais insuffisante pour atteindre le programme prévu. Les opérations de minage affichent également un taux d'atteinte voisin de 70%, ce qui montre une exécution relativement régulière des tirs. Les travaux de développement présentent un taux d'atteinte semestriel de 70%, traduisant une performance relativement satisfaisante, mais insuffisante pour atteindre le programme prévu. En revanche, les opérations de chargement enregistrent un taux d'atteinte de 63,24%, tandis que le transport présente le taux le plus faible, soit 59,70%.

L'analyse met ainsi en évidence que, même si les opérations de forages t, de minage, des travaux de développements progressent de manière relativement stable, les performances globales de la mine sont principalement limitées par les opérations de chargement et de transport. Ces résultats confirment que la productivité d'une mine souterraine dépend de la coordination de l'ensemble des opérations du cycle de production. Une contre- performance à une étape du processus peut avoir des répercussions sur les étapes suivantes et réduire l'efficacité globale de l'exploitation.

Au regard de ces résultats, plusieurs recommandations ont été formulées. Elles concernent notamment le renforcement du suivi des travaux de développement, l'amélioration de la qualité des opérations de minage, l'augmentation de la disponibilité des équipements de chargement, l'optimisation des opérations de transport, ainsi que la mise en place d'un système de suivi régulier des indicateurs des performance. La mise en en œuvre de ces actions contribuerait à

réduire les écarts entre les objectifs et les réalisations et à améliorer durablement la productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303.

En définitive, cette étude a permis de mettre en évidence les principaux paramètres influençant la productivité de la mine souterraine de KAMOA ONE cas de la section 303 et d'identifier les opérations nécessitant une attention particulière. Elle constitue une base d'analyse pouvant contribuer à l'amélioration de la gestion des opérations minières et à l'optimisation des performances de production.

Enfin, ce travail pourrait être approfondi par des recherches futures portant sur l'analyse détaillée des causes des pertes de productivité, l'évaluation de la disponibilité et de la fiabilité des équipements miniers, ou encore l'étude de l'impact des conditions géologiques sur les performances des opérations souterraines. Qui permettraient de proposer des solutions encore plus ciblées pour améliorer durablement la productivité de la mine.

BIBLIOGRAPHIE

- Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (2006). Rock Mechanics for Underground Mining (3rd ed.). Springer.
- Epiroc. (2023). Boomer H282 – Technical specification.
- Fundamentals and International Case Studies. Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME).
- Hartman, H. L., & Mutnansky, J. M. (2002). Introductory Mining Engineering (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Hustrulid, W., Bullock, R., & others. (2001). Underground Mining Methods: Engineering
□ Ivanhoe Mines Ltd. (2023). KAMOA-KAKULA Integrated Development Reports. Vancouver, Canada.
- KAMOA Copper S.A. (2020). Étude d'Impact environnemental et Social (EIES) du projet KAMOA-KAKULA Kolwezi, RDC.
- KAMOA Copper S.A. (2024). Rapports internes de production de la section 303. Document interne.
- Normet. (2023). Charmec Emulsion Charger -Technical Manual.
- Prokopenko, J. (1987). Productivity Management: A Practical Handbook. International Labour Office (ILO), Geneva.
- Sandvik Mining and Rock Solutions. (2023a). Sandvik LH621i Loader – Technical specification.
- Sandvik Mining and Rock Solutions. (2023b). Sandvik TH663i Underground Truck
□Technical specification