

Optimisation et Estimation des Réserves de la Mine de Lunsanu dans le Haut-Katanga, en R.D Congo

BANZE WA MUTOMBO Alex^{1,2*}, ILITO LOFONGO Daddy Patrick¹, MONSENGO N'SOLE Roger¹

Paper History

Received : April 19, 2019

Revised : February 10, 2020

Accepted : June 24, 2020

Published : July 27, 2020

Keywords

Optimization, Mineral Reserve Estimation, Whittle, Lunsanu.

ABSTRACT

Optimization and estimation of Lunsanu mine reserves, in Haut-Katanga, D.R. Congo

This study for the optimization and estimation of resources was prepared for Surya Mines for the Lunsanu copper deposit at Lunsanu, Kipese area located in the province of Haut Katanga in the Democratic Republic of Congo. The purpose of the work is to report the estimated resources and mineral reserves of this project, the resulting plant design, financial assessments and ancillary studies associated with the development of an SX / EW / HMS processing plant producing black copper ingots grading up to 95% copper. To achieve this, the Whittle open pit optimization software (version 4.4.1) was used to determine the economic boundaries of mining. For the Lunsanu mine a production limit of 6.2 million tons of ore to supply the plant was estimated, Whittle's term calls for a production schedule of 10.7 full years. The total exploitable reserve is 6.2 Mt tons, at 3.49% Cu, with an overall stripping rate of 4 tons of waste for each tons of ore. The Pay-back period is estimated at around 4 years. The Net Present Value (NPV) is estimated at 575.2M US \$.

¹Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Kinshasa, RD. Congo, 44 Av. De la Démocratie, Kinshasa/Gombe, B.P.: 898, Kinshasa I, RD. Congo.

² Institut Supérieur Pédagogique et Technique (ISPT- Kinshasa), 5 Av. De la Science, Kinshasa /Gombe, B.P. :3287, Kinshasa I, R.D. Congo.

* Corresponding author, e-mail : alexbanze1@yahoo.fr ; alexbanze2011@gmail.com

INTRODUCTION

Les Pour l'exploitation rationnelle d'un gisement dans un projet minier, il est important d'évaluer les réserves car elles permettent de déterminer la faisabilité ou non d'un projet ou mieux encore le choix de type de la méthode d'exploitation à appliquer.

Cette recherche étudie l'optimisation et l'estimation des réserves de cuivre de la mine à ciel ouvert de Lunsanu, située dans le territoire de Kambove, dans la province du Haut-Katanga pour le traitement par SX/EW/ HMS d'une usine produisant de lingots de cuivre noir titrant jusqu'à 95 % de cuivre.

Pour y arriver, l'usage des logiciels d'optimisation a été envisagé. C'est le cas de logiciels Whittle (version 4.4.1) et Surpac Mining qui ont fait des preuves dans l'exploitation des Mines à ciel ouvert et souterraines telles que Kipese, Kamoya,

Lunsanu,[FREMPONG-BOAKYE, 2004 ; DIMITRAKOPOULOS et al., 2007] dans la détermination des limites économiques en tenant compte des informations techniques et financières, du modèle des ressources minérales, de l'extraction minière, de la récupération des unités de traitement, de la limite de production, de la densité de minerais, de pentes de gradins et du talus, de l'angle de talus de liquidation et des paramètres économiques.

MATERIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans le territoire de Kambove dans la province du Haut-Katanga, en République Démocratique du Congo, à plus ou moins 103 kilomètres (à vol d'oiseau), au nord-ouest de la ville de Lubumbashi et à plus ou moins 23 kilomètres au sud- ouest de la ville de Likasi (Figure 1).

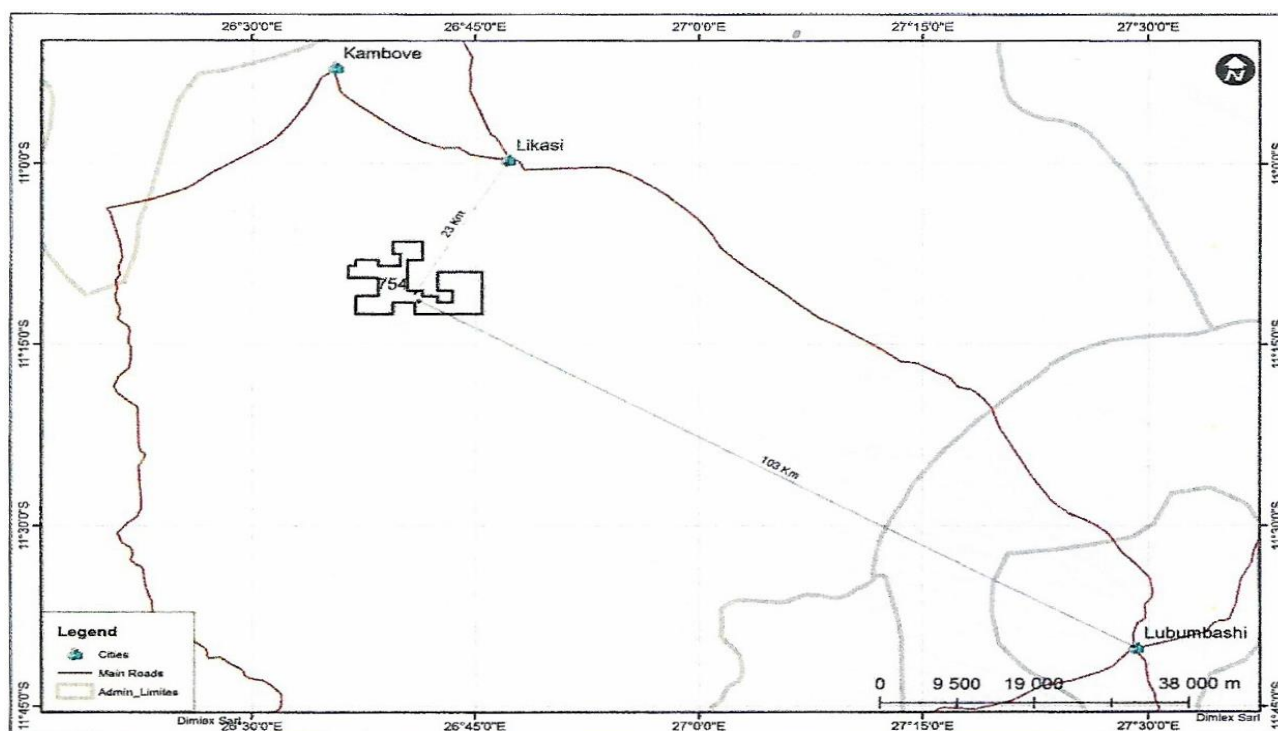


Figure 1. Localisation géographique du gisement de Lunsanu

A partir de la ville de Likasi, sur la référence ayant comme coordonnées S11° 1'9, 95" et 26° 44'8,30"E, l'accès se fait suivant une route en terre battue longue de plus ou moins 34 kilomètres de la ville de Likasi, sur la route qui mène vers la localité de Kilela-Balanda comme on peut le voir sur la Figure 1.

Les travaux de cartographies géologiques antérieurs de KAMPUNZU et CAILTEUX [1999], SELLEY et al. [2005], EL DESOUKY et al. [2010] ont démontré la présence de plusieurs écailles de dimensions et d'orientations variées dans la mine de Lunsanu. Ces écailles sont recoupées par d'importantes fractures et sont liées entr'elles par des brèches tectoniques matérialisant des failles qui ont permis leurs mises en place. Le secteur est couvert par les formations du Nguba anciennement appelé « Kundelungu inférieur » ainsi que les formations du Roan moyen (R2). Ces dernières formations sont potentiellement riches en Cu-Co dans la région.

Matériel

L'étude a porté sur la mine de Lunsanu, elle vise à optimiser l'exploitation minière en utilisant comme matériel sa flotte d'engins et équipements miniers d'une part et d'autre part la concentration gravimétrique, l'extraction minière partant de l'usine de traitement par SX/EW/ HMS en se servant des données existantes pour produire des lingots de cuivre noir titrant jusqu'à 95 % de cuivre.

Méthodes

Le logiciel d'optimisation de la mine à ciel ouvert Whittle (version 4.4.1) a été utilisé pour déterminer les limites économiques de l'exploitation minière. Pour l'analyse, Whittle

nécessite un ensemble complet d'informations techniques et financières. Ces informations comprennent :

- Informations du modèle des blocs ;
- Informations sur la pente de la mine ;
- Dilution minière et perte de minerai ;
- Coûts d'extraction ;
- Récupération des unités de traitement ;
- Exploitation minière, traitement et production de métaux ;
- Coûts en capital ;
- Coûts d'exploitation, y compris les coûts fixes ou variables ;
- Prix des métaux et taux d'actualisation pour l'analyse des flux de trésorerie.

Tableau 1. Résumé du « Block Model »

Attribute Name	Y	X	Z
Minimum Coordinates (m)	-1,300	-100	900
Maximum Coordinates (m)	300	1,900	1,380
User Block Size (m)	12.5	12.5	5
Minimum Block Size (m)	6.25	6.25	2.5
Rotation (degrees)	0	0	0

Le modèle de bloc de ressources (Tableau 1) a été utilisé dans l'optimisation de la fosse à ciel ouvert représenté dans la Figure 2 (modèle de bloc de ressources) et sur l'attribut du cuivre total (% tCu) Le modèle de ressource a été préparé dans une version compatible Whittle en utilisant le dernier logiciel

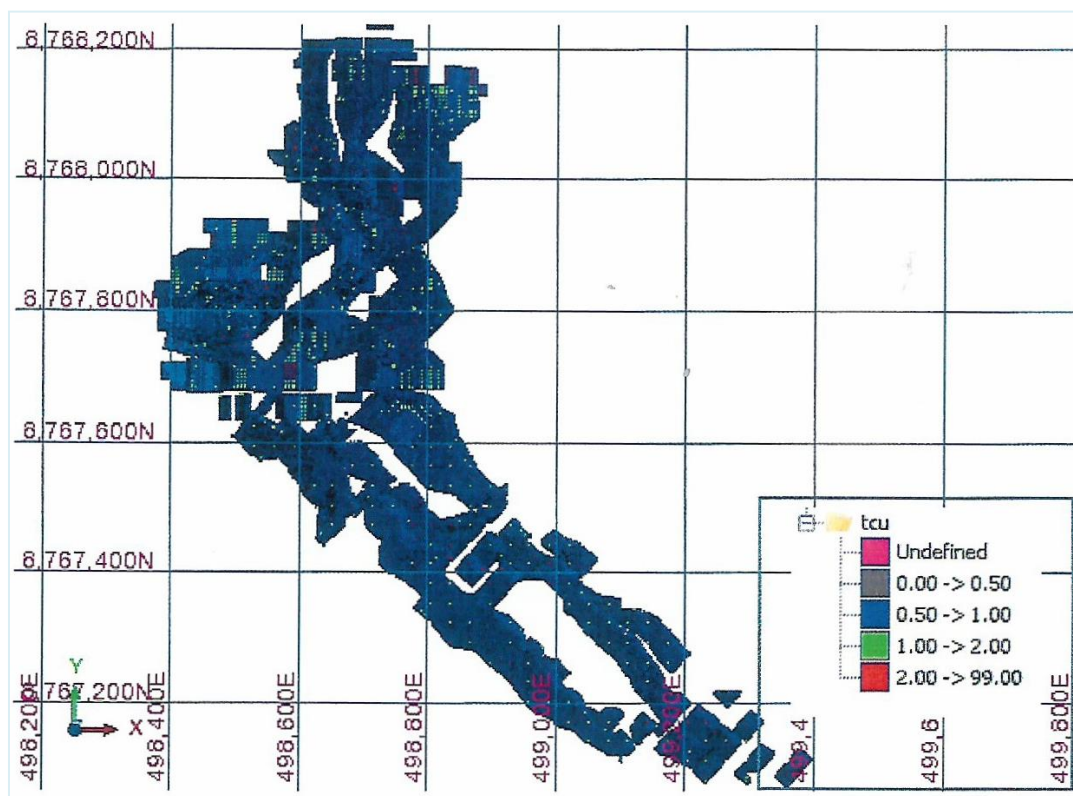


Figure 2. Modèle ressources

d'exploration de Surpac de GEOVIA (Version 6.6.2). En plus des attributs densité (sg), teneur en métal et cuivre total (tCu), les attributs ci-dessus ont été ajoutés pour répondre aux exigences de Whittle.

Type de matériau ("Rock")

Whittle nécessite un attribut de caractère qui classe les blocs de modèle de qualité en tant que déchets, minerais ou air. Un attribut appelé "Rock" a été créé et les valeurs attribuées sont les suivantes :

- "ORE", toutes les ressources mesurées et indiquées avec % tCu > 0,5 ;
- "WASTE", tous les déchets modélisés, ressources inférées, ressources indiquées et mesurées % tCu < 0,5 ;
- "AIR", tous les blocs au-dessus de la surface topographique.

Facteurs d'ajustement des coûts d'extraction et de traitement

Les attributs des facteurs d'ajustement des coûts d'extraction et de traitement ont été créés et affectés au modèle de bloc sous les attributs « MCAF » et « PCAF » respectivement. Les facteurs prennent en compte l'augmentation du coût minier avec la profondeur et tout coût de traitement supplémentaire basé sur les types de roches. Les facteurs estimés sont inclus dans les feuilles de modélisation des coûts à l'annexe.

Pentes

Un attribut entier « pentes » a été créé et des valeurs attribuées en fonction des différentes régions de pente fournies par l'étude géotechnique. L'attribut a été utilisé pour attribuer des angles de pente en Whittle.

Tableau 2. Paramètres de conception de la fosse utilisés pour la fosse finale

Paramètres	Valeurs
Hauteur du talus	5m
Banquette	3m
Angle de talus (Degré)	60
Largeur de la route	12m
Degré de la route	8% (1 in 12.5)

Densité

La gravité spécifique a été modélisée dans le modèle de ressources par type de roche, tel que détaillé dans la section des ressources d'étude.

Angles de talus

Il n'y a pas eu d'analyse de pente détaillée de la fosse de la mine de Lunsanu jusqu'à présent. Les valeurs utilisées reprises dans le Tableau 2 sont basées sur les quelques prélèvements préliminaires sur le site de Lunsanu dans son étude de faisabilité.

Tableau 3. Process recoveries pour les différents types de minerais

TYPE		HMS	Fonderie
Oxyde	Cu	40%	80%
Sulfure	Cu	90%	85%
Mixte	Cu	90%	85%

Extraction minière et récupération des unités de traitement

Les récupérations d'oxyde à travers l'usine de HMS étaient basées sur les performances de l'installation, tandis que les récupérations des mixtes et des sulfures sont basées sur les résultats des tests « définitifs » dans le laboratoire propre de Surya Mines et les récupérations attendues dans le Roaster et l'usine de lixiviation. Le Tableau 3, montre la dérivation de la récupération globale du procédé pour chaque composant de chaque type de minerai, calculée à partir des récupérations individuelles.

Tableau 4. Paramètres d'optimisation technique

PARAMETRES UNITES		VALEURS		
		OXYDE	MIXTE	SULFURE
DENSITE	t/m3	Inclue dans le modèle		
OVERALL SLOPE ANGLES	Degré	35	35	35
RECOVERIES				
Dilution	%	5	5	5
Pertes	%	5	5	5
Taux de récupération totale	Cu %	35	23	7
PRODUCTION LIMITS				
Exploitation (Min&Stérile)	tpa			15700000
Traitement (HMS)	tpa			2920000
Traitement (Fourneau)	tpa			900000

Il importe de noter que ces valeurs ont été affinées par la suite pour être utilisées dans le modèle de production finale, y compris l'hypothèse que les concentrés d'oxyde pourraient être acheminés directement à l'installation de lixiviation. La dilution et la perte ont été présumées à 5 % chacun en l'absence de données historiques fiables.

Limites de production

Les débits de l'usine ont été basés sur les capacités de chaque usine à 90 % de disponibilité. La limite minière, telle que

conseillée par Surya Mines, est basée sur 410 000 BCM de matériaux totaux dans la saison des pluies (novembre à avril) et 700 000 BCM pendant la saison sèche (mai à octobre). Les valeurs utilisées pour les paramètres ci-dessus sont données dans le Tableau 4 et le Tableau 5.

Hypothèses de revenus

L'analyse de l'évolution du prix de cuivre sur le marché international sur une décennie a permis à SURYA MINES de retenir une moyenne de 5 000 US \$/tonne pour le calcul des revenus et de la rentabilité de l'exploitation de la mine.

Coûts miniers

Les coûts unitaires estimés ainsi que les hypothèses de prix sont présentés dans le Tableau 5.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Après la préparation du modèle de bloc dans Surpac Mining, ce modèle a été importé dans la dernière version du logiciel d'optimisation multiéléments Whittle 4 x (Version.4.4.1) en utilisant une taille de bloc minier minimale supposée pratique de 25 x 25 x 5m. Le modèle original de Surpac avait donné 6 290 950 tonnes de minerai. Cependant le modèle de bloc de Whittle importé avait donné un tonnage de 6 290 859 tonnes de minerai, ce qui corrobore très bien le premier modèle. Les attributs de teneur en métal importés dans Whittle pour l'analyse économique étudient le cuivre total (t Cu). Les valeurs pondérées des teneurs moyennes étaient exactement les mêmes entre les modèles Surpac et Whittle : 3,49 % tCu.

Une gamme de facteurs de revenus a été utilisée pour générer une série des fosses optimisées imbriquées. Une analyse des puits de fosse optimaux a été entreprise, en utilisant les prix de référence du cuivre. La Figure 2 montre les résultats de l'analyse en tant que VAN (Valeur Actuelle Nette) du projet actualisé à 10 % pour les meilleurs cas, les cas spécifiés et les moins bons.

Le meilleur cas d'exploitation minière fait référence à un programme d'extraction minière où chaque coquille est forée, chargée, minée et abattue complètement avant la suivante. Ceci est généralement impraticable puisque les « push-backs » sont généralement trop étroits. Le pire des cas se réfère à un calendrier où chaque banc de la fosse est miné complètement avant de commencer le prochain. Ce cas génère la VAN minimale pour le projet. Le cas spécifié tente de générer une VAN ou VPN (Valeur Présente Nette) du projet optimal en cas d'urgence en stipulant un programme de refoulement pratique. Cela signifie que le premier push back ne peut avoir lieu qu'une fois que quatre bancs au moins de la fosse intérieure ont été épuisés. De même, le deuxième push-back ne peut commencer qu'une fois que quatre bancs du premier push-back ont été terminés, et ainsi de suite.

Tableau 5. Paramètres d'optimisation financière

PARAMETRES	UNITES	VALEUR		
COUTS D'INVESTISSEMENT				
	US\$	47190277		
Total	US\$	47190277		
Taux de réduction	%	12		
COUTS D'EXPLOITATION				
Coûts variables				
Sous-traitant (Chargement et transport)	Stérile	US\$/BCM		
	Min.	US\$/BCM		
Forage		US\$/BCM		
Cout différentiel du Diesel		US\$/BCM		
Explosives		US\$/BCM		
Sélectivité		US\$/BCM		
Coûts fixes et variables				
Supervision de l'exploitation		US\$/annum		
Exhaure		US\$/annum		
COUTS DE TRAITEMENT DE MINERAIS		OXIDE	MIXED	SULPHIDE
Variable				
Cout d'opération usine de flottation	US\$/t Ore		13.63	8.77
Cout d'opération HMS	US\$/t Ore	3.92		
Surya Mines Processing Cost	US\$/t Cu	1.187	423	423
COUTS DE VENTE (marketing, shipping, logistics, export taxes)				
	US\$/t (Cu)	539	539	
PRIX DE VENTE				
Base Cu cathode	US\$/t	5000	5000	5000

Avec une limite de production de 6,2 millions de tonnes de minerai à l'alimentation de l'usine, le terme de Whittle prévoit un calendrier de production de 10,7 années pleines. La réserve totale exploitable est de 6,2 Mt tonnes, à 3,49 % Cu, avec un taux global de découverte de 4 tonnes de déchets pour chaque tonne de minerai. La période de Pay-back est estimée à environ 4 années. La VAN est estimée à 575,2 M US \$.

Optimum Pit Shell Selection

Il y a deux critères principalement utilisés pour la sélection de la coquille de la fosse ultime parmi la gamme de coquilles de puits emboîtées [DIMITRAKOPOULOS et al., 2002 ; DIMITRAKOPOULOS et al., 2007].

1. Maximisation de la valeur actuelle nette (VAN) : Ceci est obtenu en sélectionnant la coque de la fosse ayant la VAN la plus élevée, en utilisant le cas spécifié ci-dessus, à la VAN maximale de 575,2

M US\$. Ce critère est principalement utilisé car l'objectif principal des sociétés privées est de maximiser les profits.

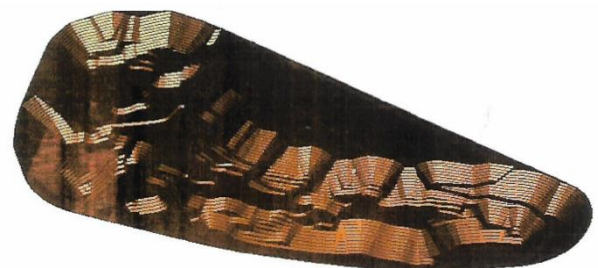


Figure 3. Présentation de la fosse optimale de Lunsanu et la configuration de l'orebody

2. Maximisation de la durée de vie de la mine : Dans ce scénario, une entreprise pourrait être intéressée à maximiser la durée de vie d'une mine le plus longtemps possible, à condition de

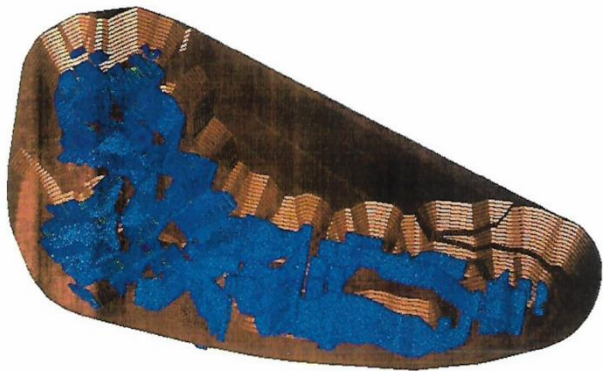


Figure 4. Vue en plan et en perspective de la mine optimale de Lunsanu

maintenir une marge bénéficiaire minimale permettant à l'entreprise d'atteindre des objectifs tels

que saisir les possibilités futures du marché et garder les personnes employées [OSTERHOLT AND DIMITRAKOPOULOS, 2007]. Ceci est réalisé en sélectionnant la coquille de la fosse à un facteur de revenu de 1.

La coquille de la fosse Optimum par rapport au modèle de pente est illustrée aux Figures 3 et 4.

Conception de la mine

Le pitshell 21 de Whittle a été réimporté dans le modèle de blocs Surpac original et a servi de base pour la conception d'une fosse finale.

Les paramètres de conception de la fosse utilisés pour la fosse finale sont présentés dans la Figure 5.

Pit	Minimum Rev Ftr	Rock Tonnes	Ore Tonnes	Strip Ratio	TCU Grade
1	0.60	13571054,41	6004891,33	2.26	3.37
2	0.62	16436600,96	6042868,00	2.72	3.35
3	0.64	16989176,76	6089310,67	2.79	3.33
4	0.66	17342206,04	6127988,00	2.83	3.32
5	0.68	19029565,18	6158435,33	3.09	3.30
6	0.70	19130630,84	6191142,67	3.09	3.29
7	0.72	19244956,72	6228141,33	3.09	3.28
8	0.74	19366882,13	6247381,33	3.1	3.27
9	0.76	19481902,51	6264277,33	3.11	3.26
10	0.78	19660072,53	6281173,33	3.13	3.26
11	0.80	21092826,10	6296366,00	3.35	3.25
12	0.82	21517700,16	6310176,00	3.41	3.24
13	0.84	22094026,67	6330666,67	3.49	3.23
14	0.86	22204317,33	6344090,67	3.5	3.23
15	0.88	22306159,98	6355031,33	3.51	3.22
16	0.90	22474756,93	6366786,67	3.53	3.22
17	0.92	22535352,91	6383952,67	3.53	3.21
18	0.94	23951089,65	6404034,67	3.74	3.20
19	0.96	24111486,29	6412629,33	3.76	3.20
20	0.98	24333305,89	6420397,33	3.79	3.20
21	1.00	24353360,05	6425688,67	3.79	3.20
22	1.02	24365242,96	6428824,00	3.79	3.19
23	1.04	24695308,80	6431070,00	3.84	3.19
24	1.06	24698360,32	6431864,67	3.84	3.19

Figure 5. Résultats d'optimisation Pit by Pit

CONCLUSION

Dans cette étude, les réserves en Cuivre de la mine à ciel ouvert de Lunsanu ont été évaluées dans le territoire de Kambove, province du Haut-Katanga pour la production du cuivre par SX/EW et HMS.

Pour y arriver, des logiciels d'optimisation Whittle (version 4.4.1) et Surpacmining ont été utilisés pour déterminer les limites économiques en tenant compte des informations techniques et financières, du modèle des ressources minérales, de l'extraction minière, de la récupération des unités de traitement, de la limite de production, de la densité de minerais, de pentes de gradins et du talus, de l'angle de talus de liquidation et des paramètres économiques.

L'analyse des résultats révèle que :

Après la préparation du modèle de bloc dans Surpac Mining, ce modèle a été importé dans la dernière version du logiciel d'optimisation multiéléments Whittle 4 x (Version.4.4.1) en utilisant une taille de bloc minier minimale supposée pratique de 25 x 25 x 5m. Le modèle de bloc de Whittle importé avait un tonnage de 6 290 859 tonnes de minerai, ce qui se compare très bien avec le modèle original de Surpac avec 6 290 950 tonnes de minerai. Les attributs de teneur en métal importés dans Whittle pour l'analyse économique étudient le cuivre total (tCu). Les valeurs pondérées des teneurs moyennes étaient exactement les mêmes entre les modèles Surpac et Whittle : 3,49 % tCu.

La mine à ciel ouvert de Lunsanu a une limite de production de 6,2 millions de tonnes de minerai à l'alimentation de l'usine, le terme de Whittle prévoit un calendrier de production de 10,7 années pleines. La réserve totale exploitable est de 6,2 Mt tonnes, à 3,49 % Cu, avec un taux global de découverte de 4 tonnes de déchets pour chaque tonne de minerai. La période de Pay-back est estimée à environ 4 années. La VAN est estimée à 575,2M US \$.

Enfin, le pitshell 21 de Whittle 1 a été réimporté dans le modèle de blocs Surpac mining original et a servi de base pour la conception d'une fosse finale (Figure 3 et 4).

Après ce large tour d'horizon, l'objectif de cette recherche a été atteint et l'hypothèse a été vérifiée.

RESUME

La présente étude sur l'optimisation et l'estimation des ressources a été effectuée pour le compte de Surya Mines pour le gisement du cuivre de Lunsanu, Kipese situé dans la province du Haut Katanga en République Démocratique du Congo. Le but est de rapporter les ressources et les réserves minérales estimées de ce projet, la conception de l'usine résultante, les évaluations financières et les études auxiliaires associées au développement d'une usine de traitement par SX/EW/ HMS produisant des lingots de cuivre noir titrant jusqu'à 95 % de cuivre. Le logiciel


d'optimisation de la mine à ciel ouvert Whittle (version 4.4.1) a été utilisé pour déterminer les limites économiques de l'exploitation minière. Pour la mine de Lunsanu, une limite de production de 6,2 millions de tonnes de minerai à l'alimentation de l'usine a été estimée, le terme de Whittle prévoit un calendrier de production de 10,7 années pleines. La réserve totale exploitable est de 6,2 Mt tonnes, à 3,49 % Cu, avec un taux global de découverte de 4 tonnes de déchets pour chaque tonne de minerai. La période de Pay-back est estimée à environ 4 années. La Valeur Actuelle Nette (VAN) est estimée à 575,2M US \$.

Mots clés :

Optimisation, Estimation des réserves minérales, Whittle, Lunsanu.

REFERENCES

- DIMITRAKOPOULOS R., MARTINEZ L., RAMAZAN S. [2007]. A maximum upside / minimum downside approach to the traditional optimization of open pit mine design. *Journal of Mining Science (Compendex)*, 73-82. <https://doi.org/10.1007/s10913-007-0009-3>
- DIMITRAKOPOULOS R., FARRELLY C.T., GODOY M.C. [2002]. Moving forward from traditional optimization: Grade uncertainty and risk effects in open-pit design. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology* 111(Compendex), A82-A88. <https://doi.org/10.1179/mnt.2002.111.1.82>
- EL DESOUKY H.A., MUCHEZ P.H., BOYCE A.J., SCHNEIDER J., CAILTEUX J.L.H., DEWAELE S., VON QUADT A. [2010]. Genesis of sediment-hosted stratiform copper-cobalt mineralization at Luiswishi and Kamoto, Katanga Copperbelt (Democratic Republic of Congo). *Mineralium Deposita*. <https://doi.org/10.1007/s00126-010-0298-3>
- FREMONG-BOAKYE V. [2004]. Application of Surpac and Whittle Software in Open Pitn, Doctorat Thesis, University of Mines and Technology, Tarkwa, Ghana.
- KAMPUNZU A.B., CAILTEUX J. [1999]. Tectonic evolution of the Lufilian Arc (Central African Copper Belt) during Neoproterozoic Pan African orogenesis. *Gondwana Research* 3(2), 401–421. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70279-3](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70279-3).
- OSTERHOLT V., DIMITRAKOPOULOS R. [2007]. Yadi Channel Iron Ore Deposit, WA and Planning Uncertainty and Risk Management Models, Dimitrakopoulos, R. (ed.), second edition, Implications for Resource Uncertainty" *Orebody Modelling and Strategic Mine Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Book Spectrum Series*, 14, 51.
- SELLEY D., BROUGHTON D., SCOTT R., HITZMAN M., BULL S., LARGE R., MCGOLDRICK P., CROAKER M., POLLINGTON N., BARRA F. [2005]. A new look at the geology of the Zambian Copperbelt. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (Eds.), *Economic Geology – 100th Anniversary*, II, 965–1000. <https://doi.org/10.5382/AV100.29>.

 This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>