

Exploitation d'une mine à ciel ouvert au-dessus et à travers les vides d'une ancienne exploitation souterraine : Cas de la mine à ciel ouvert de cuivre de TAZALAGHT

[Operate an open pit over and through the voids of an old underground mining: Case of Tazalaght copper Ore open pit mine]

Y. Tahir¹, S. Rziki², T. Soror², M. Sellami², and M.K. Benhachemi¹

¹Département de Génie des Procédés et Environnement, Equipe Eau, Sol et Environnement, Université Hassan II de Mohammedia, FSTM Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, BP 146 Mohammedia 20650, Maroc

²Reminex Mines et carrières, BP 469, Marrakech, Maroc

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The ore mining Tazalaght open pit is risky because of the presence of empty old underground rooms used by the method of long holes without filling and shrinkage stoping.

To minimize the risk a multidisciplinary approach has been implemented by the engineering REMINEX Mines and Quarries team and the technical team.

The approach began with the compilation and modeling of ancient mining operations followed by a survey by CMS accessible voids followed by a geotechnical study of the deposit which was used to model the zones of influence of voids and dimensioning crown pillars and abutments respect to operate safely.

Several cored geotechnical surveys were conducted to explore the empty and unstable areas. Before starting the operation execution plans were developed followed by a detailed study of blasting patterns and monitoring vibration measurements.

This work aims to present the different approaches used for the safe operation of the deposit for Tazalaght.

These approaches could be of great help to the mining development in Morocco by the re- use of old mines that pose the same risk as the deposit Tassrirt.

KEYWORDS: Empty rooms; subsidence; geotechnical; geophysical; firing pattern; vibration.

RESUME: L'exploitation du gisement de Tazalaght à ciel ouvert est risquée à cause de la présence des vides des anciennes chambres exploitées en souterrain par la méthode des longs trous sans remblayage et la méthode des chambres magasins.

Afin de minimiser le risque, une approche pluridisciplinaire a été mise en œuvre par l'équipe d'ingénierie de REMINEX Mines et Carrières et la direction technique.

L'approche a commencé par la compilation et la modélisation des anciens travaux d'exploitation suivie d'un levé par CMS des vides accessibles puis par une étude géotechnique du gisement qui a permis de modéliser les zones d'influence des vides et de dimensionner les stots et les piliers à respecter pour exploiter en toute sécurité.

Plusieurs sondages carottés géotechniques ont été réalisés pour l'exploration des vides et des zones instables. Avant le démarrage de l'exploitation les plans d'exécution ont été élaborés suivi par une étude détaillée des schémas de tir et d'un suivi des mesures de vibrations.

Le présent travail a pour but de présenter les différentes approches utilisées pour l'exploitation en sécurité du gisement de Tazalaght.

Ces approches pourraient être d'un grand secours au développement minier du Maroc par la ré-exploitation des anciennes mines qui présentent le même risque comme le gisement de Tassrirt.

MOTS-CLEFS: Chambres vides ; affaissement ; géotechnique ; géophysique ; vibration.

1 INTRODUCTION

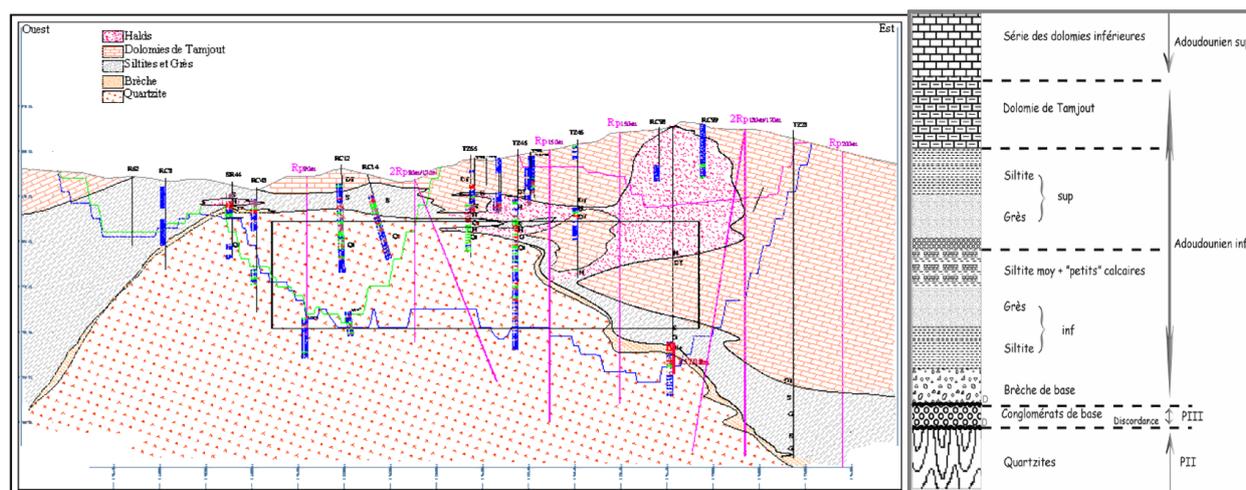
Au niveau de la province métallogénique cuprifère de l'Anti-Atlas, la transgression infracambrienne s'est accompagnée par la genèse de minéralisations stratiformes ou de fractures dont les plus importantes sont Tazalaght, Tizert, Talat Nwamane, Tiferki et Tirhzit. Le gisement de Tazalaght, objet du présent article, est situé à 170Km au SE d'Agadir dans la boutonnière précambrienne d'Ait Abdallah province de TATA. La mine de Tazalaght (figure 1) est l'une des plus anciennes mines de production de cuivre avant 1930, comme l'attestent l'ampleur des vieux travaux et les tas de scories dont le tonnage a été estimé à 133 400 t à 3.20% Cu et 32% Ag [1]. De 1941 à 1943, la société SERMISUD a réalisé deux puits et deux travers bancs. En 1974, les travaux d'exploration menés par le BRPM ont permis d'évaluer un tonnage de (1 578 700 T à 2,69% Cu et 33% Ag) avec une teneur de coupure de 1.86% [2]. Ceci a permis le démarrage d'une exploitation à ciel ouvert qui n'a pu extraire que 260 000 Tonnes à 1.89% Cu à cause de problèmes d'instabilités causés par les vides des anciens travaux miniers. En 1987, la fosse a cédé la place à l'exploitation souterraine plus rentable qui a permis d'extraire 915 000 tonnes à 2.79% Cu et 35 g/t Ag jusqu'à 1992 [3]. A partir de 2006, l'exploration menée par REMINEX a permis la mise en évidence de 2,5 millions de tonnes à 2.08% Cu et 25g/t Ag (figure 2) suivie d'une étude de faisabilité justifiant la reprise de l'exploitation à ciel ouvert du gisement après avoir cerné tous les risques d'instabilités liées aux vides des anciennes chambres magasins levées par CMS, Cavity Monitoring System (figure 3).

2 CADRE GEOLOGIQUE

Au niveau de Tazalaght, le socle est composé de quartzites et de conglomérats dont la paléogéographie se présente sous forme d'une succession de hauts fonds et paléo cuvettes, dans lesquelles se sont déposés les conglomérats du Précambrien III terminal et la série de base de l'infracambrien composée d'un niveau de brèche quartzitique et d'une alternance de siltite et de grès avec passages micro conglomératiques recouverts des dolomies de Tamjout.

La minéralisation est de type « Redbed » (figure 4). Elle est composée de la chalcopryrite, chalcocite, covellite, digénite, bornite, cobaltite, malachite, cuprite, ténorite et azurite. Elle est inter-stratifiée dans les grès et les siltites de la série de base, aux alentours des hauts fonds formés par les quartzites du Précambrien II-inférieur. Au-dessous de la série de base la minéralisation se concentre en lentilles (2-15m) et filonnets sous forme de stockwerk dans des quartzites fracturés formant la charnière d'un anticlinal à axe plongeant vers le SE. Ces lentilles sont contrôlées par des failles d'orientation NNE-SSW et NNW-SSE [4].

L'origine, l'âge et le mode de mise en place de ces minéralisations ont fait l'objet d'interprétations diverses. Elles sont partagées entre une origine "épigénitique-hydrothermale" [1] et une origine "syngénétique" contemporaine de la sédimentation (Pouit,1966). D'autres auteurs proposent une évolution intermédiaire entre ces deux tendances par une remobilisation et une re-concentration ultérieure de minéralisations syngénétiques lors de la phase hydrothermale postérieure, liée au magmatisme jurassique [5].



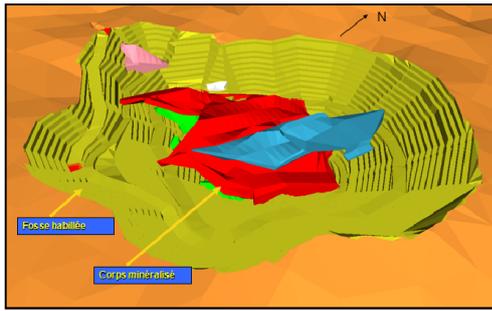


Fig. 2. Vue en 3D de la minéralisation et de la fosse habitée

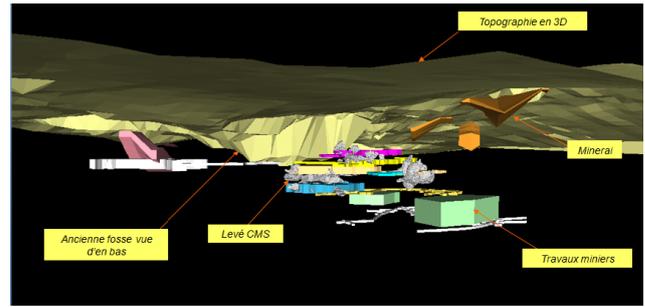


Fig. 3. Vue en 3D des vides levé par CMS et des galeries d'infrastructures habitée

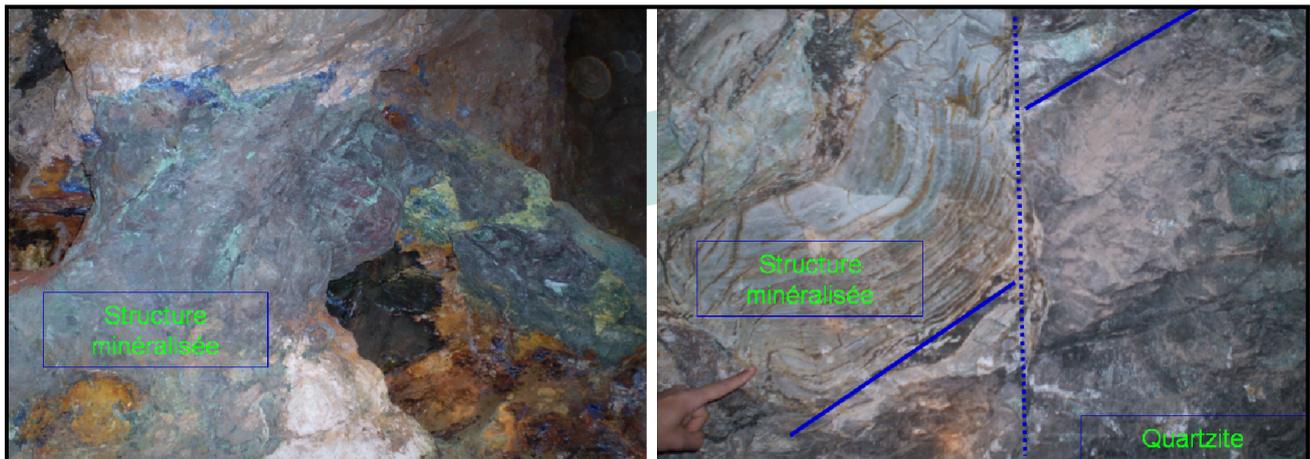


Fig. 4. Photo de la structure minéralisée encaissée par la série de base et affectée par des failles syn-sédimentaires

3 MATERIELS ET METHODES

3.1 IDENTIFICATION DES RISQUES

Au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation de la fosse, les vides de l'ancienne exploitation souterraine peuvent causer des accidents et incidents tel que :

- L'effondrement soudain et inattendu du sol et du mur de la fosse ;
- La Perte de personnel et de matériel suite à un ensevelissement partiel ou total ;
- La projection des blocs (flyrock) due à la surcharge des trous de mine par l'explosif.

Ces risques sont plus importants lorsque les vides ne sont pas comblés.

Et comme ces risques ne sont généralement pas présents au cours d'une exploitation normale d'une mine à ciel ouvert, il est nécessaire de prendre des mesures supplémentaires pour mieux appréhender leur nature et ampleur.

L'identification des risques est une étape importante pour l'exploitation à ciel ouvert au-dessus des vides d'une ancienne exploitation souterraine. Les travaux réalisés pour l'identification des risques sont :

- Analyse de l'historique de l'exploitation souterraine : les plans, les plannings, les lieux et l'origine des accidents et incidents de travail ;
- Analyse des plans et coupes de la mine souterraine ;
- Localisation des chambres vides et estimation de leur envergure ;
- Identification de toutes les instabilités réelles ou potentielles ;
- Modélisation de la mine souterraine en 3 dimensions ;



Fig. 5. Chute de bloc dans les chambres en exploitation.



Fig. 6. Aparition des fissures d'ouverture métrique en surface après l'arrêt de la production.



Fig. 7. Affaissement de la surface.



Fig. 8. Premier percement dans le vide des anciennes chambres d'exploitation

3.2 DETERMINATION DES ZONES EXPLOITEES EN SOUTERRAIN (VIDES)

De nombreuses techniques sont disponibles pour déterminer l'extension des vides et les stots restants, parmi elles, on distingue : les sondages par trous de forage, la méthode de détection géophysique (PP, Géo radar,...), la méthode de détection par CMS « Cavity Monitoring System », la méthode laser de détection EDM « Electronic Distance Measurement », Camera à travers les trous de sondage « Closed-circuit TV ».

Dans le cas de la mine de Tazalaght, plusieurs méthodes ont été combinées :

- Levé CMS qui a permis la reconnaissance des vides accessibles ;
- Le levé PP et les sondages carottés pour la reconnaissance des vides aveugles de taille supérieur à 25m ;
- Le suivi quotidien de l'évolution des ouvertures des fissures existantes et la cartographie des nouvelles fissures qui apparaissent lorsqu'on s'approche d'une chambre vide ;
- Le relevé systématique des vibrations des tirs ;

3.3 FREQUENCE D'INSTABILITE DE LA SURFACE

Les occurrences suivantes d'affaissement de surface ont été enregistrées depuis la cession des productions souterraines en 1992 :

- Chute de bloc dans les chambres d'exploitation avant 1992 (figure 5)
- Apparition d'une fissuration d'ouverture métrique au niveau de la surface (figure 6) après l'arrêt de la production souterraine
- Affaissement de surface à côté du haut fond à deux reprises (figure 7)
- Apparition d'une nouvelle famille de fissuration lors de l'exploitation des premiers gradins
- Percement dans les vides des anciennes chambres d'exploitation sans aucun dégât à plusieurs reprises (figure 8) au fur et à mesure que l'exploitation à ciel ouvert avance.

4 RESULTATS

4.1 STABILITE GEOTECHNIQUE

Le massif rocheux de TAZALAGHT est composé de dolomies compétentes et d'une série sédimentaire composée d'alternance de niveaux gréseux compétents et de niveaux de siltite friables, avec une épaisseur de 20 m.

Le levé de fracturation a permis la mise en évidence de trois familles de discontinuité. La stratification S0 plissée montre une direction NS et un pendage de 41°E et 39°W. Deux familles de discontinuités orientées respectivement N176, 80°W et N87, 86°N.

En plus des différentes familles de fractures, on a cartographié deux familles de failles à remplissage centimétriques de quartz, oxydes légèrement altérés. L'ouverture des failles est de 0,50 à 1,00m dans les zones de tension crack près de la zone effondrée. La première famille des failles majeures est de direction ENE et à fort pendage vers le nord. Les plans de glissement de ces failles montrent des tectoglifés (stries (30°S), triangles d'arrachements,..) qui témoignent d'un jeu décrochant, normal, dextre. La deuxième famille de direction NE montre un pendage de 75°NW.

Une classification géo-mécanique a été réalisée à partir des informations extraites des sondages carottés TAZ.C4/70° ; C6/68° ; C8/68° ; C9/65° ; C10/80° et des levés structuraux. Le système de classification NGI proposé par Barton et al. (1974) [6], le RQD de Deere (1988) [7] et le système RMR76 proposé par Bieniaski Z.T. (1976) [8] ont été utilisés :

Tableau 1: Classification du massif rocheux

	Dolomie	Série de base
UCS (MPa)	25	17
RQD (%)	79	66
Q système	6.5	5.5
RMR76	60.9	59

Après l'analyse de stabilité des talus [9], [10] réalisée avec le logiciel Slide-Unwedge et l'analyse de l'interférence des vides [11] réalisée avec le logiciel phase2. Les résultats obtenus sont les suivants :

- L'angle inter-rampe recommandé est de 66°
- Le Floor pillar moyen est de 20m.
- Le Rib pillar moyen est de 15m.

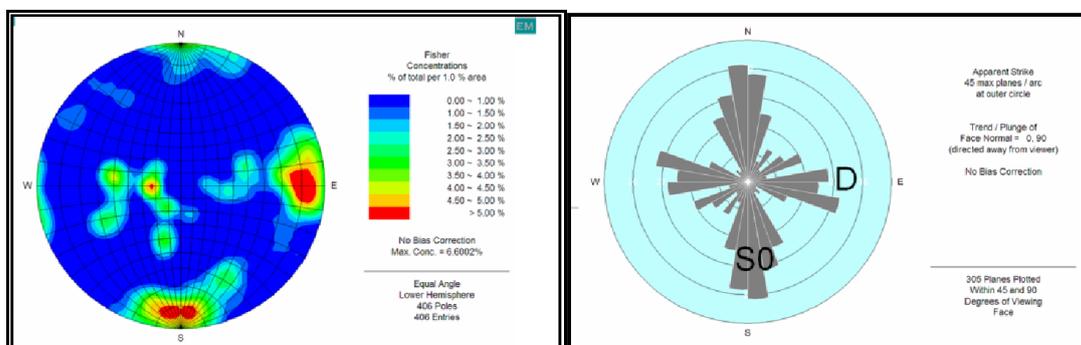


Fig. 9. Projection stéréographique des différentes familles de discontinuités

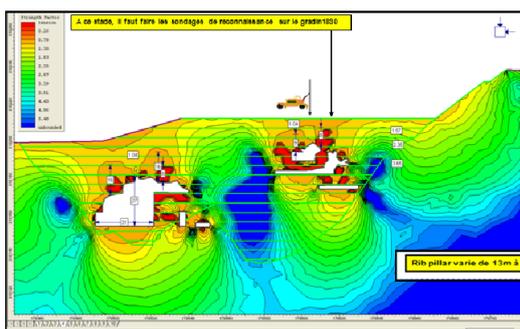


Fig. 10. Modélisation de facteur de sécurité sur la coupe CT12 stage 4 exploitation de 25m

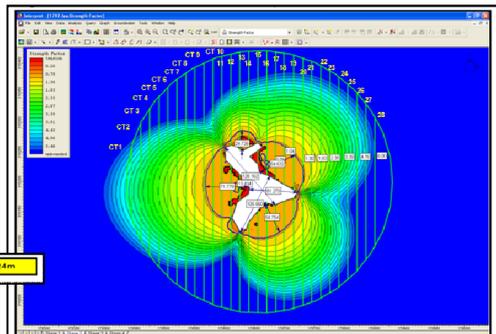


Fig. 11. Modélisation de facteur de sécurité sur le plan du niveau 1797

4.2 SIGNATURE GEOPHYSIQUE

Dans le but de localiser la structure minéralisée et les vides associées (figure 1), un levé de PP/résistivité a été réalisé en mode pôle dipôle avec 8 dipôles et un espacement de 50m (profondeur d'investigation de 160m) sur les 27 profils de la grille (L 6+50 S à L 6+50 N). Les résultats sont présentés sous forme de pseudo-sections de chargeabilité/résistivité (figure 12) et de leurs inversions considérant la topographie. Des cartes en plan des valeurs d'inversion extraites à différentes profondeurs ont également été produites. La carte topographique et la carte géologique ont été superposées aux cartes géophysiques pour faciliter l'interprétation des anomalies géophysiques.

La carrière de Tazalaght a été arpentée par GPS et localisée sur toutes les cartes en plan et sur les pseudo-sections des profils qui la recoupent (L 0+50S, 0+00 N et 0+50 N). Les plans à 10 m montrent clairement que les roches mises à jour dans la carrière sont à la fois résistives (>6000 Ohm-m) et moyennement chargeables (de 6 à 12 mV/V).

Le niveau chargeable mis en évidence par le levé correspond à la minéralisation sulfurée encaissée par les grès, siltites et le socle quartzitique.

La couche très résistive en surface représente les dolomies du Tamjout. Juste sous cette couche, se trouve une formation moyennement conductrice qui représente probablement la série de base (les grès, siltites et conglomérats sont moins résistifs que la dolomie).

Enfin, on assiste à une nouvelle hausse de résistivité à grande profondeur qui est à corrélérer avec le socle de quartzite du Précambrien II.

La signature du gisement de Tazalaght mise en évidence correspond à une hausse combinée de chargeabilité et de résistivité. De plus, le contrôle apparent de la paléogéographie et de la stratigraphie oblige à porter une attention particulière aux points suivants :

- Les anomalies de chargeabilité localisées aux flancs des surélévations de la couche résistive profonde qui pourrait correspondre au paléo hauts-fonds à quartzites du Précambrien II.
- Les anomalies de chargeabilité comprises dans un environnement similaire au modèle des 3 couches sub-horizontales (résistive/conductrice/résistive) qui pourrait correspondre à la présence des vides des anciennes exploitations.

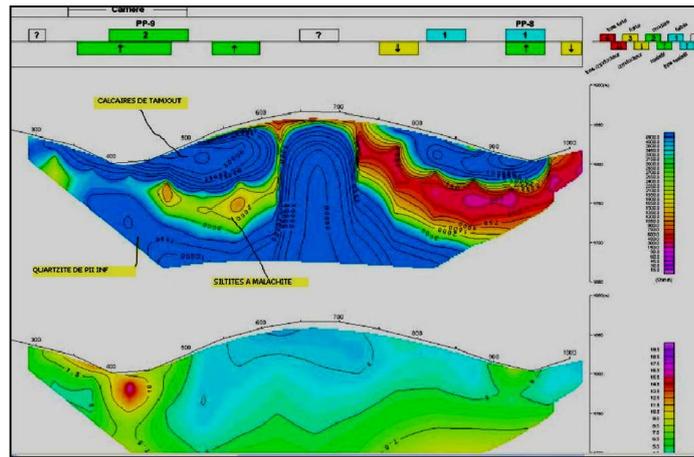


Fig. 12. Interprétation géologique des pseudo-sections et model d'inversion (Chargeabilité et résistivité)

5 DISCUSSION

Le contexte difficile du gisement de TAZALAGHT (présence d'anciens vides, proximité d'un village de faible population) impose de prendre le maximum de précautions lors des différentes phases d'exploitation.

- Sur les coupes CT12, CT13, CT14 et CT15 (figure 11.) où les vides se rapprochent du jour et par conséquent leur influence est importante par le développement de plans de glissement jusqu'au jour et qui peuvent causer l'effondrement des terrains dès le début de l'exploitation, il est nécessaire de faire des sondages géotechniques de reconnaissance de 20m sur les coupes CT12, CT13 et d'au moins 30m sur les coupes CT14 et CT15 avant d'entamer le décapage pour la localisation des vides. Ces zones doivent être exploitées par le côté sans passage des engins au-dessus des zones instables.
- Le nombre total de sondages géotechniques de reconnaissance des vides est de 66 sondages totalisant 1200m.
- Au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation, d'autres sondages de reconnaissance des vides sont à prévoir sur chaque gradin au-dessus des vides les plus proches. Chaque vide intersecté par sondage doit être traité suivant le mode opératoire préétablie (figure 13).
- L'apparition des signes d'instabilités du massif rocheux (perte d'eau, cassures, craquements,...) à n'importe quel endroit de la fosse doit être signalée dans le registre contrôle de terrain et étudiée par le contrôleur de terrain du site.

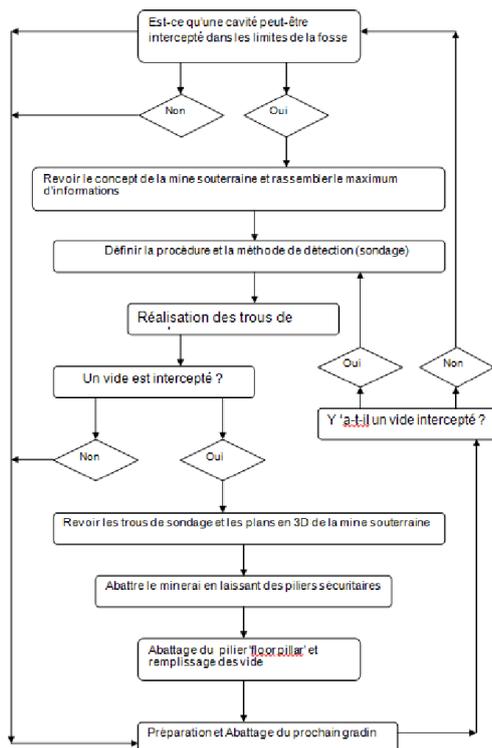


Fig. 13. Mode opératoire des opérations de reconnaissance des vides

6 CONCLUSION

Malgré tous les efforts réalisés pour la localisation des vides par les méthodes directes et indirectes, les vides existants ayant une taille inférieure à 25 m n'ont pas pu être repérés.

La démarche à adopter pour éliminer sinon minimiser le risque de l'effondrement de la paroi ou du plancher de la fosse et poursuivre l'exploitation en toute sécurité se résume essentiellement à :

- Suivre le mode opératoire de reconnaissance des vides afin de les détecter par des sondages et les contourner.
- Laisser des stots (piliers) suffisants pour les planchers de travail, 'Floor pillar' et 'Rib pillar'
- Respecter la séquence d'exploitation pour aborder les zones instables du côté latérale ce qui permettrait de réduire le taux d'exposition.

REFERENCES

- [1] Chazan, Smeykal S., Bilan d'échantillonnage des haldes de Tazalaght : Rapport BRPM, 432-80, Ga 1-44, Rabat, 18p, 1965.
- [2] Skacel, J., *Résultats de recherches par sondages de 1982-1985 sur le gisement cuprifère de Tazalaght: Part II.* Développement géologique du gisement Rapport BRPM 432-80, Ga 1-108. Rabat, pp. 20, 1985.
- [3] Asladay, A., "Note géologique sur le gisement cuprifère de Tazalaght (fin de l'exploitation)", *Rapport BRPM 432-80 Ga 1 - 116*, 40p, 1992.
- [4] Asladay, A., "Bilan et résultats des travaux miniers réalisés à Tazalaght durant la période 1985-1988", *Rapport 168-89*, SODECAT. Rabat, 25p, 1989.
- [5] CLAVEL M., LEBLANC M., *Liaison entre tectonique et minéralisation cuprifère dans les dolomies infracambriennes de la région du Jbel N'Zourk* (Anti-Atlas central, Maroc). pp. 229-232, 1971.
- [6] Barton N.R. et al, "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Rock Support". *Rock Mechanics* Vol.6, pp. 189-236, New York, 1974.
- [7] Deere D.U. et Deere D.W., "The Rock Quality Designation (RQD) index in practice", *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, ASTM STP 984, Louis Kirkaldie Ed., American Society for Testing and Materials. Philadelphia, pp. 91-101, 1988.

- [8] Bieniaski Z.T., Rock Mass Classification of Jointed Rock Masses. Exploration for Rock Engineering. Ed. Balkema. Johannesburg.pp. 97-106, 1976.
- [9] Hoek E., Bray J., *Rock Slope Engineering*, Revised Third edition. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1981.
- [10] Hoek E. 1990. *Practical Rock Engineering 3-Slope Stability and Rockfalls*, Chapter 9.
[www.roscience.com/hoek/Practical Rock Engineering.asp](http://www.roscience.com/hoek/Practical%20Rock%20Engineering.asp).
- [11] Hoek E. and Brown E.T., *Underground Excavations in Rock*, London, Institution of Mining and Metallurgy 527 pages, 1980.