

**CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DE LA MISE EN VALEUR
D'UNE MINE A CIEL OUVERT : MODELE PERMETTANT DE
CALCULER LES COUTS PAR UNE SIMULATION QUI TIENT
COMPTE DES POSSIBILITES DE REMBLAYAGE**

J. FRANCOTTE et R. VALLET,
Centre d'Informatique Générale — Bruxelles

A. CASTIAUX, *Générale Congolaise des Mines Lubumbashi.*

1. LE PROBLEME

Lorsque la prospection géologique est terminée, le minerai est repéré dans l'espace et sa teneur peut être estimée en chaque point du gisement. Si un maillage découpe l'espace occupé par le gisement en blocs élémentaires, il est possible de constituer un fichier donnant pour chaque bloc élémentaire les volumes et les teneurs estimées.

Lorsqu'on connaît le cours commercial des produits contenus dans le minerai, les frais de mise sur marché ainsi que le rendement et le coût des traitements que le minerai devra subir avant que les produits qu'il contient soient commercialisables, il est possible d'affecter à chaque bloc une valeur en argent.

Si, par ailleurs, on connaît pour chaque bloc le coût de son extraction, on peut obtenir le profit (positif, nul ou négatif) apporté par son extraction :

$$\text{profit} = \text{valeur} - \text{coût}$$

Or, l'exploitation d'une carrière à ciel ouvert obéit à la loi suivante :

un bloc ne peut être extrait si l'on n'a pas extrait auparavant tous les blocs pleins compris dans un cône renversé, ayant pour pointe le bloc à extraire et pour pente la pente de talutage exigée par la nature du terrain.

On dira qu'un ensemble de blocs respecte la loi d'excavation si l'on peut extraire chacun des blocs de cet ensemble sans avoir à extraire un bloc extérieur à cet ensemble.

On appellera profit d'un ensemble de blocs la somme des profits apportés par chacun des blocs qui le composent.

L'ensemble de blocs qui respecte la loi d'excavation et qui donne le profit maximum représente la forme optimale de la carrière.

Le problème de la recherche d'un tel ensemble a été résolu par MM. Helmut LERCHS et Ingo F. GROSSMANN, ref. TRANSACTION, CIM, Volume LXVIII, 1965, pages 17-24.

La forme optimale de la carrière est alors donnée par l'ensemble des branches fortes d'une arborescence normalisée.

Mais, tel qu'il est posé, ce problème demande que, pour chaque bloc, deux données soient fournies au départ.

La première de ces données, la valeur du bloc, ne dépend que de variables extérieures au problème : cours commerciaux des produits, caractéristiques du traitement que subira le minerai après son extraction. Elle peut donc être fixée à priori.

La deuxième de ces données, le coût d'extraction du bloc, se décompose en deux postes : le coût de fragmentation et le coût de transport.

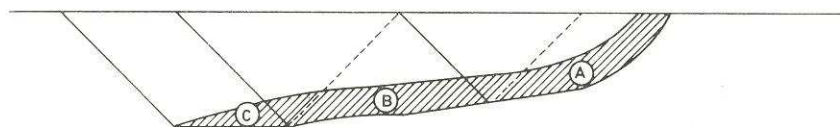
Le coût de fragmentation dépend d'une part de la dureté de la roche, donnée immuable, d'autre part du type de matériel et d'explosif employé, donnée qui peut être fixée à priori, le problème devant apporter une solution pour un type de matériel donné. Le coût de fragmentation pris isolément peut donc être déterminé à l'avance en fonction de la dureté de la roche.

Le coût du transport, quant à lui, dépend également d'un type de matériel qui peut être choisi à priori, mais aussi du trajet que le bloc devra suivre entre la position qu'il occupe in situ et son point de stockage (concentrateur ou remblai de stérile).

Le trajet d'un bloc de minerai entre sa position dans le gisement et le concentrateur est connu. Le coût du transport d'un bloc de minerai peut donc être déterminé à l'avance.

Par contre, suivant la succession chronologique des phases d'exploitation adoptée, un même bloc de stérile sera transporté soit sur un remblai situé hors de la carrière, soit dans la carrière en tel ou tel point qui peut être remblayé.

En effet, soit un gisement tel que celui qui est représenté sur le croquis.



Nous pouvons imaginer entre autres trois façons d'exploiter le gisement :

1. En une seule phase : exploitation simultanée A, B et C.
Tous les stériles sont transportés hors de la carrière.
2. En trois phases :
 - 1^{re} phase : exploitation de A. Les stériles sont transportés hors de la carrière.
 - 2^{re} phase : exploitation de B. Les stériles sont transportés en A.
 - 3^{re} phase : exploitation de C. Les stériles sont transportés en B.
3. En trois phases :
 - 1^{re} phase : exploitation de C. Les stériles sont transportés hors de la carrière.
 - 2^{re} phase : exploitation de B. Les stériles sont transportés en C.
 - 3^{re} phase : exploitation de A. Les stériles sont transportés en B.

Dans tout gisement il sera possible d'effectuer une économie sensible sur les transports si, après avoir exploité une partie du gisement, il est possible de remblayer la partie déjà excavée avec les stériles extraits dans le reste du gisement.

Suivant la forme qu'a la carrière au moment où un bloc de stérile est excavé, celui-ci est transporté soit sur un back-filling en tel ou tel point de la carrière, soit sur un remblai hors de la carrière. Cette forme de la carrière à ce moment-là est elle-même fonction des opérations qui ont précédé, en particulier de la succession des phases d'exploitation.

Le problème est alors de trouver quelle est la succession de phases d'exploitation qui permet d'obtenir le profit maximum pour l'ensemble du gisement et quelles seront les limites de la carrière à la suite de chaque phase.

2. LE PROBLEME SERA RESOLU PAR UNE SIMULATION

Lorsque plusieurs projets, comportant chacun une succession de phases différente, ont été définis, si l'on dispose d'un programme capable de calculer le profit réalisé par l'exploitation de chacun de ces projets, le problème peut être résolu.

La comparaison entre les profits réalisés par chacun des projets proposés permettra de sélectionner le meilleur d'entre eux. On peut procéder à plusieurs sélections successives et obtenir ainsi la définition d'un projet qui, s'il n'est pas théoriquement le meilleur, est toutefois le meilleur de ceux que l'on a pu imaginer.

Mais, pour pouvoir optimiser la forme de la carrière dans chaque projet et pour pouvoir calculer le profit réalisé par chaque projet, il faut pouvoir calculer le coût de transport de chaque bloc. Pour pouvoir calculer le coût de transport d'un bloc de stérile, il faut connaître la forme de la carrière au moment de l'extraction de ce bloc, forme qui pour un même bloc peut varier d'un projet à l'autre.

Cette condition sera remplie si l'on dispose d'un processus de simulation permettant de connaître la forme de la carrière et toutes les conséquences qui en découlent, après l'extraction de chaque bloc.

Cette simulation devra en premier lieu se soumettre aux contraintes propres à l'exploitation d'une carrière.

De plus, les données devront lui être présentées sous une forme appropriée.

Elle simulera enfin un type défini d'exploitation.

2.1. Les contraintes propres à l'exploitation d'une carrière.

211. *Contrainte d'excavation.*

Nous l'avons déjà vu plus haut, un bloc ne peut être extrait si l'on n'a pas extrait auparavant tous les blocs pleins situés dans un cône renversé ayant pour pointe le bloc à extraire et pour pente la pente de talutage exigée par la nature du terrain.

212. *Contraintes de remblayage.*

1. Un bloc vide ne peut pas être remblayé si dans le cône pointe en haut qu'il surmonte, ayant pour pente la pente exigée par la nature du terrain, il se trouve un bloc minéralisé situé au-dessus d'un niveau limite donné.

En effet, si l'on remblayait un tel bloc vide, ce bloc devrait être vidé au moment où l'on excaverait le bloc minéralisé situé dans le cône au-dessous de lui.

2. Plusieurs blocs remblayés peuvent s'empiler les uns sur les autres, mais la pente de talutage d'une roche fragmentée est toujours inférieure à la pente de talutage d'une même roche en place.

3. Un bloc de roches quelconques, une fois fragmenté et transporté, occupe un volume plus grand que le volume qu'il occupait lorsqu'il était en place. Le coefficient de foisonnement est le rapport :

$$(\text{volume fragmenté})/(\text{volume en place}).$$

2.2. Forme sous laquelle les données sont présentées à la simulation.

D'une part, pour faciliter la définition des phases, le gisement est morcelé en gisements partiels.

Par ailleurs, le maillage est conçu pour faciliter la génération des cônes demandés par les contraintes d'excavation.

Enfin, à chaque bloc généré par le maillage sont affectées trois données :

221. Morcellement du gisement en gisements partiels.

Une phase d'exploitation est définie par les limites à l'intérieur desquelles on se propose d'enlever le minerai au cours de l'exploitation de la phase.

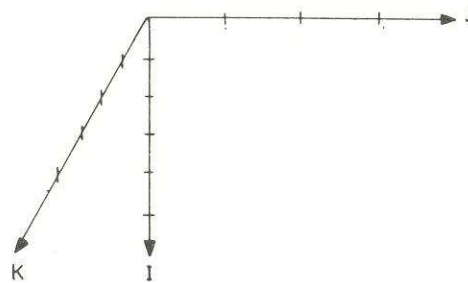
Le gisement est découpé en plusieurs gisements partiels identifiés par un numéro, même si le gisement se présente comme un ensemble continu.

La phase est alors définie par la profondeur que doit atteindre l'exploitation dans chaque gisement partiel.

222. Le maillage dans lequel doivent s'inscrire les données qui caractérisent le gisement.

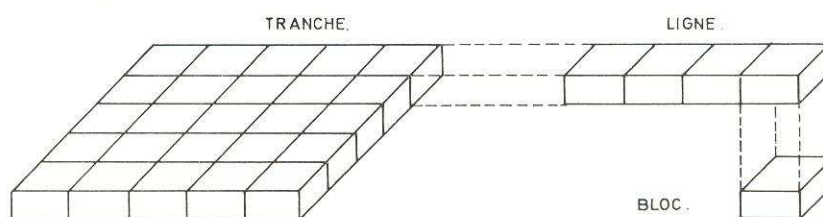
Les données géologiques que l'on possède au départ sont connues dans les trois dimensions.

Soient I, J, K les trois axes de coordonnées rectangulaires. Si l'on découpe chacun de ces trois axes en segments d'une unité de longueur



élémentaire, on obtient un réseau de maillage à trois dimensions qui génère des blocs cubiques ou parallélépipédiques suivant que l'on a adopté ou non la même unité de longueur élémentaire pour chacun des trois axes.

Pour la facilité du langage, on appellera tranche l'ensemble des blocs d'un même niveau I, et ligne l'ensemble des blocs d'une tranche ayant la même ordonnée K.

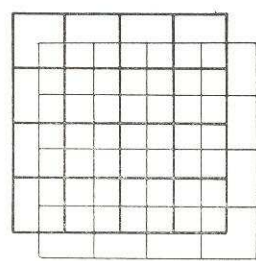
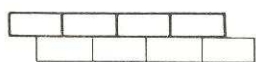


On connaît pour chaque bloc élémentaire les roches qui le composent, la quantité de minerai de chaque catégorie qu'il contient et la teneur de ces minerais. La simulation peut alors être effectuée en considérant le bloc comme unité d'extraction : tel bloc est minéralisé, il doit être extrait ainsi que tous les blocs situés dans le cône renversé qui le surmonte.

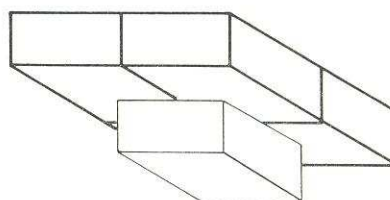
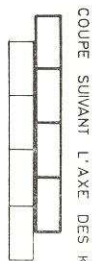
Reste à trouver un assemblage des blocs qui facilite la génération de ce cône.

Si l'on décale horizontalement d'un demi-bloc en J et en K chaque tranche par rapport à la tranche supérieure, on obtient la disposition ci-dessous.

Coupe suivant l'axe des J



Vue en plan des deux tranches.



L'enlèvement d'un bloc nécessite l'enlèvement à la tranche supérieure des quatre blocs qui le recouvrent en partie. En remontant ainsi de proche en proche, on génère non pas un cône mais une pyramide à quatre faces. On considère que la substitution d'une pyramide au cône théorique ne fausse pas d'une manière sensible les résultats pourvu qu'on donne à ses faces les pentes demandées par la nature du terrain.

Si l'on adopte pour l'ensemble de la carrière une pente uniforme de talutage, les dimensions du bloc élémentaire seront choisies de telle sorte que la pente de la pyramide ainsi générée corresponde à la pente de talutage adoptée. (Voir en annexe 1 les pentes générées par le programme en fonction des dimensions du bloc élémentaire).

223. Les données de chaque bloc élémentaire.

La simulation a besoin pour chaque bloc des renseignements suivants :

223.1. Sa valeur argent.

Celle-ci est calculée avec la simulation à partir du tonnage des métaux contenus dans le bloc, du cours commercial des métaux, du coût et du rendement des traitements métallurgiques que le minerai devra subir avant la commercialisation des métaux. La valeur d'un bloc n'est pas changée en cours de simulation.

223.2. Un code fixe qui définit la dureté de la roche.

La dureté de la roche est connue au départ et le code fixe n'est pas changé en cours de simulation.

223.3. Un code variable qui définit le statut momentané du bloc.

1. Au départ tous les blocs sont connus comme ayant l'un des statuts suivants :

- Bloc vide.
- Bloc minéralisé appartenant au gisement partiel n° 1.
- Bloc minéralisé appartenant au gisement partiel n° 2.
- Bloc minéralisé appartenant au gisement partiel n° n .
- Bloc stérile.

Le code variable correspondant leur est attribué.

2. En cours de simulation, le statut du bloc peut changer et de nouveaux statuts qui n'existaient pas au début de la simulation peuvent apparaître.

Un bloc plein (stérile ou minéralisé) peut devenir un « Bloc repéré pour être excavé » avant de devenir un « Bloc vide ».

Un bloc vide peut devenir un « Bloc qu'il est permis de remblayer » avant de devenir, un « Bloc remblayé ».

Chaque fois que le statut du bloc change, le code variable prend la valeur correspondant au nouveau statut du bloc, si bien qu'à tout moment de la simulation l'ensemble des codes variables définit la forme momentanée de la carrière.

2.3. Définition de l'exploitation simulée par le programme.

231. Succession des opérations.

231.1. A l'intérieur d'un projet.

Toutes les opérations demandées par l'exploitation d'une phase sont effectuées avant de commencer la phase suivante.

C'est là l'exigence qui conditionne la variation du profit entre divers projets.

231.2. A l'intérieur d'une phase.

Les tranches sont exploitées en descendant depuis la tranche la plus haute à exploiter par la phase, jusqu'à la plus basse.

Toutes les opérations demandées par l'exploitation d'une tranche sont effectuées avant de commencer l'exploitation de la tranche suivante.

232. Définition de l'exploitation d'une tranche.

1. A la tranche qu'on exploite : extraction de tous les blocs minéralisés appartenant à un gisement partiel que la phase doit exploiter.

2. Aux tranches supérieures : extraction de tous les blocs pleins compris dans les pyramides renversées qui surmontent les blocs minéralisés excavés à la tranche que l'on exploite.

3. LA SIMULATION DE L'EXPLOITATION D'UNE TRANCHE

La simulation de l'exploitation d'une tranche doit se faire en trois étapes :

1. Le repérage des blocs à excaver.
2. Le calcul du coût d'extraction des blocs repérés.
3. L'inventaire des blocs vides qui peuvent être remblayés à la suite de l'exploitation de la tranche.

3.1. Le repérage des blocs à excaver pour l'exploitation de la tranche.

Ce repérage se fera en affectant aux blocs à excaver le code variable correspondant au statut « Bloc repéré pour être excavé ».

Dans la tranche à exploiter, tous les blocs minéralisés appartenant aux gisements partiels qui doivent être exploités par la phase sont repérés.

Dans chacune des pyramides renversées qui surmontent un bloc repéré de la tranche à exploiter, tous les blocs pleins sont également repérés. Ces pyramides peuvent être incomplètes : elles peuvent contenir soit des blocs vides, soit des blocs déjà repérés par l'exploration d'une pyramide voisine.

Or, tout bloc vide est lui-même surmonté par une pyramide vide. Un bloc déjà repéré est également surmonté, si le repérage a été bien mené, par une pyramide ne comprenant que des blocs vides ou des blocs déjà repérés.

Un procédé d'exploration de la pyramide pile par pile permet de n'explorer que la partie de la pyramide qui comporte des blocs pleins non encore repérés.

3.2. Le calcul du profit apporté par l'extraction d'un bloc repéré.

Une fois que sont repérés les blocs qui doivent être excavés pour l'exploitation de la tranche, le programme calcule le profit apporté par l'extraction de chacun des blocs repérés.

Lorsque le profit d'un bloc est calculé, le code variable correspondant au statut « Bloc vide » lui est attribué.

Le profit (positif, nul ou négatif) réalisé par l'extraction d'un bloc est égal à :

$$\text{valeur} - \text{coût d'extraction}$$

Le coût d'extraction se décompose lui-même en coût de fragmentation et coût de transport. La valeur du bloc est donnée. Le calcul du coût de fragmentation est simple. La difficulté réside dans le calcul du coût du transport.

321. Le point de destination du transport du bloc.

Si le bloc est minéralisé, il est transporté au concentrateur.

Si le bloc est stérile, et s'il existe un back-filling en cours de remplissage, le bloc est transporté au point de versement de ce back-filling.

S'il n'y a pas de back-filling en cours de remplissage, mais s'il existe des back-fillings enregistrés dans le catalogue, le programme choisit dans le catalogue le back-filling dont le plancher est le plus bas. Le back-filling choisi est alors supprimé du catalogue. Il est dès lors considéré comme back-filling en cours de remplissage et le bloc de stérile est transporté au point de versement de ce back-filling.

Si enfin il n'y a pas de back-filling en cours de remplissage, et s'il n'existe pas de back-filling enregistré dans le catalogue, le bloc de stérile est transporté sur le remblai situé hors de la carrière.

Lorsqu'un bloc est transporté hors de la carrière, le trajet se décompose en deux parties :

Le trajet 1 : trajet entre le point que le bloc occupe dans le gisement et le point de sortie de la carrière. Le trajet 1 varie pour chaque bloc.

Le trajet 2 : trajet entre le point de sortie de la carrière et le concentrateur si c'est un bloc minéralisé; trajet entre le point de sortie de la carrière et le remblai si c'est un bloc stérile. Le trajet 2 est le même pour tous les blocs. Ses caractéristiques sont données.

Lorsqu'un bloc est transporté sur un back-filling, nous n'avons que le trajet entre le point que le bloc occupe dans le gisement et le point de versement sur le back-filling, trajet qui varie pour chaque bloc. Mais par convention nous appellerons ce trajet le trajet 1, auquel vient s'ajouter un trajet 2 dont les caractéristiques sont nulles.

322. Les paramètres de calcul du coût du transport.

Pour un matériel de transport donné, le coût unitaire du transport, unité de volume/unité de longueur, étant connu, le coût du transport est le produit de ce coût unitaire par le cube transporté et une distance que les mineurs appellent distance standard.

La distance standard est obtenue en ajoutant à la longueur du trajet : d'une part une longueur constante qui tient compte des diverses manœuvres que l'engin de transport doit effectuer au point de chargement et au point de déchargement, d'autre part le produit par un certain coefficient de la dénivellation que l'engin chargé doit franchir en montée et qui représente le supplément d'énergie consommé dans les montées.

La longueur constante et le coefficient qui multiplie la dénivellation varient avec chaque type de matériel de transport. La simulation est effectuée pour un type donné de matériel de transport.

Pour chaque bloc la simulation devra donc déterminer :

D : longueur du trajet

H : dénivellation que le bloc doit franchir dans le sens de la montée.

Soient D1 la longueur du trajet 1, H1 la dénivellation que le bloc doit franchir dans le sens de la montée, au cours du trajet 1; D2 et H2 les valeurs correspondantes du trajet 2 :

$$D = D1 + D2$$

$$H = H1 + H2$$

D2 et H2 sont connus au départ.

La simulation devra calculer D1 et H1.

323. *La longueur du trajet 1.*

Les deux extrémités du trajet 1 étant repérées dans les trois dimensions, la droite qui unit dans l'espace ces deux extrémités représente la longueur minimum du trajet 1, pour autant qu'il ne soit soumis à aucune contrainte.

Mais la pente du trajet 1 ne peut dépasser une pente que l'on s'est imposée pour les plans inclinés de la carrière. La longueur nécessaire à un plan incliné pour franchir toutes les dénivellations qui se présentent le long du trajet 1, aussi bien dans le sens de la montée que dans le sens de la descente, est la longueur minimum résultant de la contrainte de pente.

La plus grande de ces deux longueurs représente la longueur minimum qu'aura le trajet 1.

La longueur D1 qui servira au calcul du coût est obtenue en multipliant sa longueur minimum par un coefficient approprié.

324. *Les dénivellations qui se présentent le long du trajet 1.*

324.1 Si le bloc est transporté hors de la carrière, on considère qu'il n'a pas de seuil à franchir pour atteindre la sortie de la carrière.

Si la sortie de la carrière est plus haute que le bloc, la dénivellation franchie en montée est positive et égale en valeur absolue à la différence des altitudes des deux extrémités, tandis que la dénivellation franchie en descente est nulle.

Si la sortie de la carrière est plus basse que le bloc, la dénivellation franchie en montée est nulle, tandis que la dénivellation franchie en descente est égale en valeur absolue à la différence d'altitude des deux extrémités.

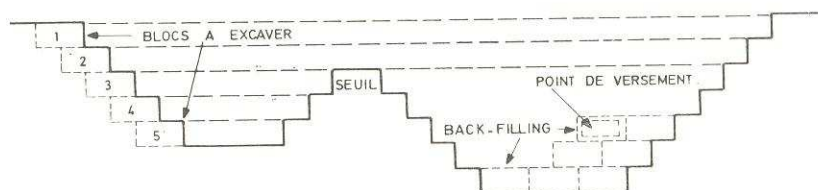
324.2. Si le bloc est transporté sur un back-filling, il arrive fréquemment qu'au cours du trajet le bloc doive franchir un seuil.

Pour connaître les dénivellations qui se présentent le long du trajet, il faut alors connaître dans quelle tranche se trouve le point haut du transport.

La dénivellation franchie en montée est alors la différence d'altitude entre le point haut et le bloc.

La dénivellation franchie en descent est la différence d'altitude entre le point haut et le point de versement sur le back-filling.

Dans le croquis ci-dessous, le point haut du transport du bloc 1 est dans la tranche qui contient le bloc 1. Le point haut du transport du bloc 2 est dans la tranche qui à la fois contient le bloc 2 et tangente le seuil. Le point haut du transport des blocs 3, 4 et 5 est dans la tranche qui tangente le seuil.



La plus basse des tranches dans laquelle peut se trouver le point haut est la plus élevée des deux tranches qui contiennent les deux extrémités du transport. C'est à partir de cette tranche qu'est recherchée en remontant la tranche qui contient le point haut.

La pyramide qui surmonte le bloc à excaver est vide.

Le point de versement a été choisi dans un bloc vide. La pyramide renversée qui le surmonte est donc vide également.

Le trajet, depuis le bloc à excaver jusqu'au point de versement sur le back-filling, devra obligatoirement passer par une tranche dans laquelle il est possible d'aller d'une pyramide à l'autre sans rencontrer de blocs pleins. Or, les tranches qui remplissent cette condition appartiennent à deux catégories :

- d'une part les tranches dans lesquelles les deux pyramides se recourent,

- d'autre part, au-dessous des précédentes, les tranches dans lesquelles les blocs vides appartenant à la première pyramide et les blocs vides appartenant à la deuxième pyramide font partie d'un même ensemble continu de blocs vides.

Le point haut du parcours sera dans la plus basse des tranches qui appartiennent à l'une ou l'autre de ces catégories.

3.3. L'inventaire des blocs vides qui peuvent être remblayés à la suite de l'exploitation d'une tranche.

Il est possible qu'à la suite de l'exploitation de la tranche on puisse remblayer des blocs étagés sur plusieurs tranches superposées. Dans certains cas, l'empilement des blocs qui peuvent être remblayés remonte jusqu'au sommet de la carrière. Or, le remplissage d'une partie vide de la carrière s'effectue en déversant les produits stériles par le haut, mais cette hauteur de déversement a une limite. Pour l'établissement du programme, on a fixé cette limite à trois tranches.

L'ensemble des blocs vides qui pourront être remblayés à partir d'un même niveau de déversement fera l'objet d'un seul enregistrement dans le catalogue des back-fillings.

C'est un tel ensemble que nous désignerons désormais sous l'appellation de back-filling.

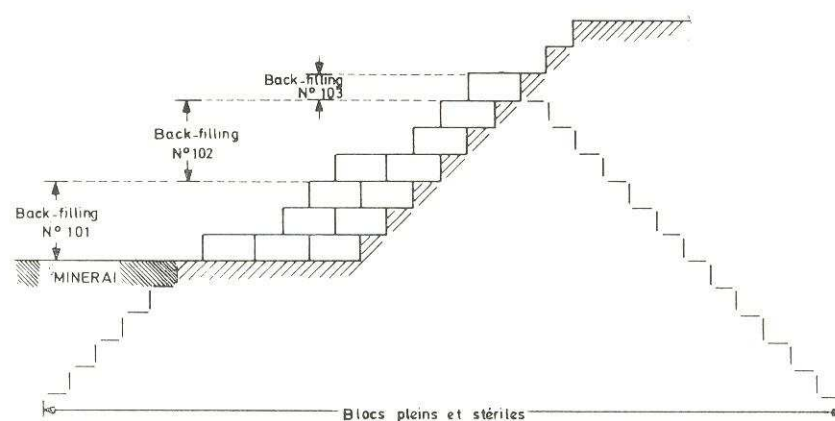
Un back-filling est caractérisé par :

- un numéro
- sa contenance ou nombre de blocs de terrain en place qu'il peut contenir
- son épaisseur ou nombre de tranches superposées qu'il comporte
- les coordonnées de son point de versement.

Comme point de versement sur le back-filling, le programme adopte le bloc qui occupe une position médiane dans la tranche supérieure du back-filling. Si la forme de la tranche est telle que ce bloc ne fait pas partie du back-filling, il choisit le bloc le plus proche faisant partie du back-filling.

L'ensembles des blocs vides qu'il est permis de remblayer, rencontrés dans les trois premières tranches comptées en remontant à partir de la tranche qui vient d'être exploitée, constituera un premier back-filling (back-filling n° 101 du croquis). L'ensemble des blocs remblayables rencontrés

dans les trois tranches suivantes constituera un deuxième back-filling (n° 102 du croquis), etc.



331. Le respect des contraintes de remblayage.

Ces contraintes ont été définies en 212.

331.1. L'empilement des blocs.

L'empilement adopté pour les blocs d'un back-filling est le suivant :

La tranche médiane est décalée d'un bloc et demi par rapport à la tranche inférieure. Toutes les autres tranches sont décalées d'un demi-bloc.

En procédant ainsi, quelles que soient les dimensions adoptées pour les blocs, la pente de talutage du back-filling exprimée en pourcentage (tangente de l'angle de pente) est égale aux $3/5$ de la pente adoptée pour la carrière. (Voir en annexe 1 les pentes de remblai générées par le programme en fonction des dimensions du bloc élémentaire).

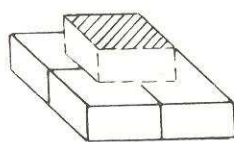
331.2. Conditions pour qu'un bloc vide puisse être remblayé.

Un bloc vide peut être remblayé s'il repose sur des blocs pleins et si l'excavation d'un bloc minéralisé ne demande pas par la suite que l'un de ces blocs pleins soit vidé. L'ensemble des blocs sur lesquels repose le bloc vide, situés dans la tranche immédiatement au-dessous du bloc vide, forme l'assise du bloc vide.

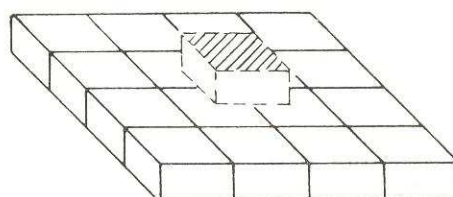
Pour respecter la pente de talutage du back-filling, l'assise du bloc vide aura des dimensions différentes suivant la tranche du back-filling à laquelle

appartient le bloc vide. Si le bloc vide appartient à la première ou à la troisième tranche d'un back-filling, son assise compte $2 \times 2 = 4$ blocs. Si le même bloc appartient à la deuxième tranche de back-filling, son assise compte $4 \times 4 = 16$ blocs.

Dimensions de l'assise d'un bloc vide



Sous un bloc vide de la 1ère ou 3ème tranche d'un back-filling.



Sous un bloc vide de la 2ème tranche d'un back-filling.

Un bloc vide pourra être remblayé seulement si son assise ne comporte que des blocs des catégories suivantes :

- bloc stérile surmontant une pyramide stérile
- bloc stérile surmontant une pyramide minéralisée au-dessous de la tranche limite
- bloc remblayé
- bloc vide qu'il est permis de remblayer.

L'application de cette règle a pour conséquence que l'exploitation d'un bloc minéralisé d'une tranche inférieure, non seulement ne peut pas vider le bloc remblayé, mais encore ne peut pas modifier la pente de talutage adoptée pour le back-filling.

331.3. Le foisonnement.

La contenance d'un back-filling est obtenue en divisant le nombre de blocs repérés pour constituer le back-filing par un coefficient de foisonnement.

Le coefficient de foisonnement adopté par le programme est 1, 3.

332. Les opérations d'inventaire.

Après l'exploration d'une tranche, le problème est d'enregistrer dans le catalogue les back-fillings constitués par les blocs vides qui peuvent être

remblayés à la suite de l'explosion de la tranche. Ces back-fillings enregistrés ne pourront être remblayés qu'au cours des exploitations ultérieures.

Dans la tranche qui vient d'être exploitée, le programme repère les blocs vides qui peuvent être remblayés.

Si ce repérage a trouvé des blocs susceptibles d'être remblayés, le même repérage est effectué à la tranche supérieure et ainsi de suite. Lorsqu'on a repéré les blocs vides de trois tranches consécutives, on a un back-filling complet et les caractéristiques de ce back-filling sont enregistrées.

Lorsqu'enfin le repérage ne trouve pas de bloc à remblayer à une tranche donnée, l'opération de repérage est arrêtée. Reste éventuellement à enregistrer le back-filling constitué par les blocs repérés des tranches inférieures.

4. LES RESULTATS DE LA SIMULATION

Les résultats de la simulation peuvent être présentés sous diverses formes :

4.1. Un tableau numérique dans lequel sont présentées les informations qui permettent de suivre la variation du profit cumulé au cours de l'exploitation du projet.

4.2. Une présentation de la situation de la carrière, à la suite de l'exploitation de chaque phase soit sous forme de plans de niveaux (voir annexe 2), soit sous forme de coupes (voir annexe 3).

4.3. Un fichier des profits qui pour chaque bloc extrait contient le profit positif nul ou négatif égal à la valeur du bloc, diminuée du coût de son extraction.

5. CONCLUSION

Cette simulation employée seule permet de déterminer la profondeur maximum à laquelle il faut exploiter la carrière pour obtenir le profit cumulé maximum, dans l'hypothèse où à chaque tranche exploitée tout le minerai est extrait.

Si, par ailleurs, on veut déterminer la forme optimale de la carrière qui procurera le profit maximum, cette simulation nous fournit pour chaque bloc un coût qui tient compte des possibilités d'économies sur les frais de transport résultant des remblayages effectués par une exploitation dont on a au préalable déterminé les phases.

Il est alors possible d'entrer dans un processus d'optimisation par arborescence, qui nous donnera la forme optimale de la carrière dans les cas où son exploitation s'effectue suivant la succession de phases adoptée pour le calcul des coûts.

ANNEXE 1

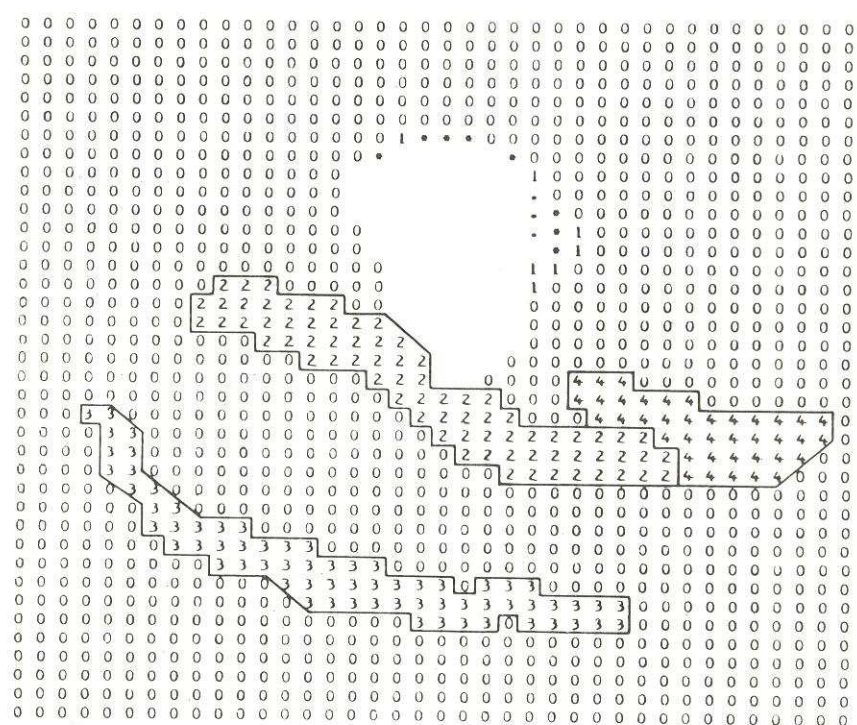
*Pentes générées par le programme
en fonction de diverses dimensions du bloc élémentaire.*

Dimensions des blocs $L \times I \times H$	Pente de talutage de la carrière		Pente de talutage des remblais de back-filling	
	Pourcentage $= 2 H/L$	Angle	Pourcentage $= 6H/5L$	Angle
20 × 20 × 10 40 × 40 × 20	100 % »	45° »	60 % »	30°58' »
25 × 25 × 10 50 × 50 × 20	80 % »	38°40' »	48 % »	25°38' »
30 × 30 × 10 60 × 60 × 20	66,67 % »	33°41' »	40 % »	21°48' »
35 × 35 × 10 70 × 70 × 20	57,14 % »	29°45' »	34,28 % »	18°56' »
40 × 40 × 10 80 × 80 × 20	50 % »	26°34' »	30 % »	16°42' »
45 × 45 × 10 90 × 90 × 20	44,44 % »	23°58' »	26,67 % »	14°56' »
50 × 50 × 10 100 × 100 × 20	40 % »	21°48' »	24 % »	13°30' »

ANNEXE 2

Tranche No 17 — Niveau 1120

Situation à la fin de la phase 6 du projet 2.



1, 2, 3... = N° de gisement partiel d'un bloc minéralisé.

0 = Bloc stérile.

* = Bloc remblayé par un back-filling.

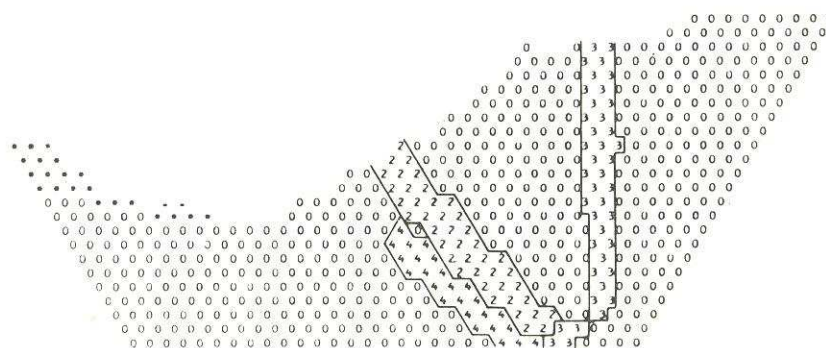
· = Bloc vide disponible pour un back-filling.

Blanc = Bloc vide.

ANNEXE 3

Coupe suivant la section X = 436590

Situation à la fin de la phase 6 du projet 2.



- 1, 2, 3... = N° de gisement partiel d'un bloc minéralisé.
- 0 = Bloc stérile.
- * = Bloc remblayé par un back-filling.
- . = Bloc vide disponible pour un back-filling.
- Blanc = Bloc vide.