

CHAPITRE 4

1- Teneur de coupure et notion de ressources réserves

Teneur :

Concentration d'un minéral utile dans chaque tonne de minerai, exprimée en onces par tonne pour les métaux précieux et en pourcentage pour les autres métaux.

Étude de faisabilité :

Analyse visant à déterminer si l'exploitation d'une mine s'autofinancera et produira des bénéfices.

2- Types de teneur de coupure

Les meilleures définitions concernant les différents types de teneurs de coupure sont présentées par Taylor (1972) et Armstrong (1990).

Tout d'abord, la **teneur** en métal d'un minerai représente la quantité relative de substance utile que contient ce minerai. Cette proportion s'exprime de différentes façons selon les minerais. Ainsi on parlera, par exemple, d'un minerai de cuivre de 2%' d'un minerai d'or de 0,5 once la tonne.

La **teneur de coupure** est une teneur choisie et utilisée afin de démarquer deux lignes de conduite : soit exploiter un gisement ou le laisser en place, soit traiter le minerai ou le rejeter. Ce peut être également une suite de teneurs utilisées pour tronquer une fonction de fréquence de distribution ou pour séparer du matériel minéralisé en fractions graduées.

La **teneur de coupure optimale** est la teneur de coupure, qui par le choix qu'on en fait, permet de maximiser le bénéfice.

La **teneur limite** est la teneur à laquelle le revenu récupérable du minerai est égal aux coûts d'exploitation, de concentration et de mise en marché du minerai.

Les teneurs de coupure sont utilisées pour définir la portion du matériel qui sera extraite de la mine et traitée au concentrateur. Il existe deux types de teneur de coupure, soit la teneur de coupure de planification et la teneur de coupure d'opération.

La **teneur de coupure de planification** est utilisée au cours de la phase d'exploration et aux différentes étapes de la planification de l'exploitation d'un gisement. Cette teneur de coupure est nécessaire pour définir géographiquement et quantitativement les limites du minerai potentiel. Puisqu'aucune information précise sur l'exploitation minière éventuelle n'est encore connue au début de l'exploration d'un site, la teneur de coupure de planification à cette étape est semiquantitative, c'est-à-dire qu'elle vise à prédire de façon satisfaisante la valeur de minerai qui pourra éventuellement être exploité ou traité.

En général, les réserves sont calculées par « enveloppes » pour une gamme de teneurs de coupure. Certaines parties sous la teneur de coupure peuvent être incluses pour des raisons techniques, c'est-à-dire la méthode d'exploitation utilisée.

La **teneur de coupure d'opération** est nécessaire au début de l'exploitation pour déterminer à court terme quelle portion du minerai peut être gardée en réserve et quelle portion peut être acheminée vers le concentrateur. Il existe trois types de teneur de coupure d'opération, soit la teneur de coupure à la mine, la teneur de coupure au concentrateur et, finalement, la teneur de coupure à la fonderie (plus rare).

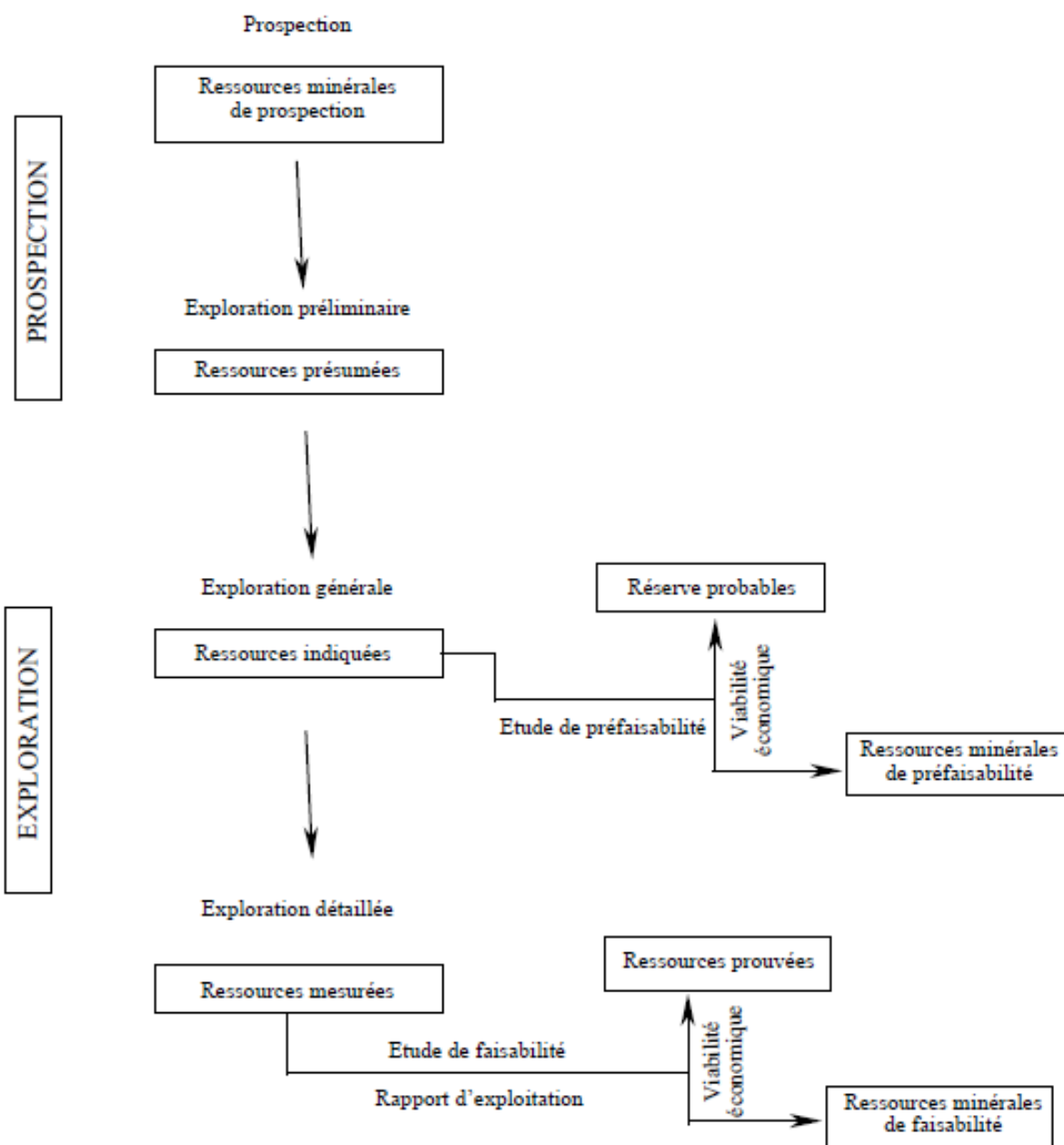
La **teneur de coupure à la mine** signifie que le minerai au-dessus de la teneur de coupure sera exploité et ce qui en dessous restera en place, Un bloc qui peut couvrir les coûts de son extraction, de son traitement et de sa mise en marché est un bloc dont la teneur est supérieure ou égale à la teneur de coupure à la mine. Toutefois, plusieurs blocs en dessous de la teneur de coupure doivent être extraits afin de permettre aux blocs rentables d'être extraits et parmi eux, quelque uns ont une certaine valeur.

La teneur de coupure au concentrateur signifie que les blocs qui ont une teneur supérieure à la teneur de coupure sont acheminés vers l'usine de traitement pour être concentrés et que les blocs sous la teneur de coupure sont jetés comme stérile ou entreposés sur des **haldes** (il n'y a pas de définition précise de ce terme minier. On peut désigner sous cette appellation l'ensemble des déblais pierreux, minéralisés ou non, qui résultent de l'exploitation minière. Il s'agit de résidus miniers) à minerai (faible teneur). Cette teneur de coupure est généralement utilisée pour les blocs qui n'auraient pas été extraits pour leur propre valeur, c'est-à-dire ceux qui sont en-dessous de la teneur de coupure à la mine. Ils ont été extraits comme du stérile, donc leur coût d'extraction a déjà été pris en charge par un autre bloc de minerai. La destination finale de ce bloc n'est influencée à présent que par le coût de traitement et de mise en marché. Donc un bloc qui peut couvrir ces frais a une teneur supérieure ou égale à la teneur de coupure au concentrateur.

Les blocs qui ont été entreposés sur des **haldes** à minerai sont des blocs qui possèdent une très faible teneur et qui ne peuvent pas être traités pour le moment. Ces réserves de minerai à faible teneur pourront être traitées lorsque le prix du minerai sur le marché montera ou encore pour diluer les trop fortes teneurs au concentrateur.

Le concept de teneur de coupure étant maintenant bien défini, nous pouvons revenir au concept de modélisation du gisement. Une fois que la teneur de coupure à la mine est déterminée, chacun des blocs du gisement est identifié comme étant un bloc de stérile ou un bloc de minerai.

Lors de l'extraction du minerai, on tentera le plus possible de laisser les blocs de stérile en place et d'aller chercher le maximum des blocs de minerai. Selon la teneur de coupure au concentrateur, les blocs de minerai iront soit au concentrateur, soit sur des haldes de minerai à faible teneur. Si un bloc de stérile doit être extrait absolument, ce dernier ira directement sur des haldes à stérile. Chaque fois qu'un bloc est extrait, que ce soit du minerai ou du stérile, cela implique des coûts d'extraction et de transport. Si un bloc de minerai est envoyé au concentrateur, il implique des coûts de traitement. S'il est envoyé sur une halde de minerai pour subir un traitement future, il impliquera des coûts supplémentaires de transport pour la manutention des matériaux de la halde vers l'usine de traitement en plus des coûts de traitement.



3- Estimation des ressources et réserves minérales

Qu'est-ce qu'une ressource ?

L'estimation d'un gisement, sur la base des sondages, conduit à calculer le minerai et le métal qu'il contient. Ces valeurs correspondent au potentiel maximal du gisement : ce sont les ressources.

Comment calcule-t-on les ressources ?

Il s'agit d'abord, à partir des données de sondage de définir les contours géométriques du gisement, puis d'en calculer le volume, la concentration (teneur en métal), et enfin le tonnage de métal.

Le géologue, à partir des données de sondages et de sa connaissance du contexte géologique, établit un premier modèle géologique visant à corréler, d'un sondage à l'autre, les différents corps géologiques entre eux, dont les corps minéralisés. Il est nécessaire d'établir une teneur de coupure (teneur minimale en métal) pour définir géographiquement et quantitativement les limites des corps minéralisés. Il convient également de tenir compte de contraintes d'exploitation comme la largeur minimum exploitable. Le modèle géologique, initialement sous forme de coupes interprétées, évolue en modèle numérique à l'aide d'outils de modélisation informatique. Le modèle numérique fournit une représentation spatiale des corps minéralisés. C'est à partir de ce modèle qu'est définie l'enveloppe minéralisée.

L'enveloppe minéralisée est alors virtuellement découpée en blocs. La taille des blocs est choisie en fonction de la maille de sondage et des contraintes d'exploitation. A chaque bloc est ensuite attribuée une teneur en métal basée sur la connaissance fragmentaire des teneurs fournie par les sondages. Cette attribution est réalisée à l'aide de méthodes géostatistiques qui prennent en compte la variabilité spatiale de la teneur et la différence de volume entre les mesures et les blocs. Le résultat de cette étape permet de calculer les ressources.

Il n'y a, dans le calcul des ressources aucune considération économique, ni information précise sur l'exploitation minière éventuelle. La teneur de coupure est à ce stade d'évaluation semi-quantitative et les ressources sont généralement calculées pour un certain nombre de teneurs de coupure. Il n'est pas encore possible de répondre à la question «Combien de métal puis-je récupérer ?».

L'importance des réserves !

L'ensemble des ressources n'est pas exploitable à 100 % du fait de leur répartition et des caractéristiques de l'exploitation minière envisagée (pente de mine à ciel ouvert, piliers en mine souterraine, coût du traitement...). L'intégration des critères économiques (coûts d'exploitation du minerai, de traitement et de commercialisation du métal, coût de réhabilitation ...), techniques (pentes de fosse, largeur de galeries...), ainsi que juridiques, environnementaux, sociaux et gouvernementaux (limite de zone d'exploitation, mesures de protection environnementales, ...) dans les calculs permet de calculer la part exploitable des ressources : ce sont les réserves.

Ces dernières correspondent aux parties des ressources, techniquement exploitables, où la vente du métal récupéré excède les frais d'exploitation. Le terme réserves ne suppose cependant pas nécessairement la mise en œuvre de l'exploitation ni la réception de toutes les approbations gouvernementales. Il signifie qu'il est raisonnable d'espérer de telles approbations.

Les réserves évaluées ne sont valables qu'avec des paramètres et à un niveau de connaissance actuels. Toute modification des paramètres ou de l'environnement conduira à leur évolution, à la hausse ou à la baisse...En effet, qu'en est-il si le prix de vente augmente de 50%? Certaines parties du gisement économiquement non rentables le deviendront, ce qui augmentera d'autant les réserves. A contrario, si les coûts d'exploitation augmentent de 30 %, certaines parties auparavant économiques ne le seront plus et seront déclassés en ressources résiduelles. Ainsi, un gisement n'a de réalité que dans un contexte économique donné.

La teneur de coupure est notamment précisée en fonction de plusieurs paramètres incluant : méthode d'exploitation, dimension des installations, coûts opératoires, prix du métal, calendrier de production, exigences de l'usine de traitement. Les réserves se définissent pour une teneur de coupure à partir de paramètres sélectionnés à un instant donné. Dans une logique financière, les teneurs de coupure varient en cours d'exploitation en raison de la mise à jour de ces paramètres, notamment des considérations économiques. Cette variabilité renforce l'idée essentielle qu'un gisement n'est jamais exploité à 100%.

4- Ressources minérales présumés, indiqués et mesurés

Qu'entend-on par « ressources minérales » et « réserves minérales » ? Y a-t-il une différence ?

« Une ressource minérale est une concentration ou une occurrence de diamants, d'une substance inorganique solide naturelle incluant les métaux de base et les métaux précieux. Cette ressource est d'une teneur ou d'une qualité telle qu'elle présente des perspectives raisonnables d'extraction rentable. La localisation, la quantité, la teneur, les caractéristiques géologiques et la continuité d'une ressource minérale sont connues, estimées ou interprétées à partir d'évidences et de connaissances géologiques spécifiques. »

Les ressources minérales sont généralement découvertes lors de la phase « Exploration » du Processus de développement minéral. Au cours de cette phase, puis de la phase « Mise en valeur », divers travaux et études de plus en plus détaillés permettent de mieux préciser la localisation, la quantité, la teneur, les caractéristiques géologiques et la continuité d'une ressource minérale. Les ressources minérales, ou une partie d'entre elles, pourront successivement être identifiées comme des ressources minérales présumées, indiquées ou mesurées par une personne qualifiée.

Les réserves minérales désignent la partie économiquement exploitable des ressources minérales mesurées ou indiquées, démontrée par au moins une étude préliminaire de faisabilité. L'étude doit inclure les renseignements adéquats sur l'exploitation minière, le traitement, la métallurgie, les aspects économiques et les autres facteurs pertinents démontrant qu'il est possible, au moment de la rédaction du rapport, de justifier l'extraction rentable. Les réserves minérales comprennent les matériaux de dilution et des provisions pour pertes subies lors de l'exploitation.

Elles doivent être démontrées au moins par une étude préliminaire de faisabilité. Cette étude est faite à l'étape de la « mise en valeur » du Processus de développement minéral.

Ressource minérale de prospection :

Une ressource minérale de prospection est issue d'une étude de prospection (étude géologique régionale, levés aéroportés et autres méthodes indirectes, et contrôle préliminaire sur le terrain) ayant pour objet d'identifier des zones à fort potentiel minéral. Une appréciation quantitative ne devrait être faite que si l'on dispose de données suffisantes et qu'il est possible d'établir une analogie avec des gisements connus présentant des caractéristiques géologiques comparables.

Cette appréciation se limite à un ordre de grandeur du potentiel.

Le degré de confiance est inférieur à celui associé à une ressource minérale présumée, et n'est généralement pas suffisant pour une estimation qualitative et quantitative telle que teneur et tonnage.

A- Ressource minérale présumée :

Une ressource minérale présumée est une partie d'une ressource minérale qui a été déterminée à partir d'indications géologiques et d'une continuité géologique supposée mais non vérifiée lors d'une exploration préliminaire. Les informations recueillies sur cette ressource, par des techniques appropriées d'exploration de sites tels que des affleurements, tranchées, puits, ouvrages miniers souterrains et de forage, sont limitées et avec une qualité et une fiabilité incertaines mais permettant d'estimer le tonnage/volume, la qualité et la teneur minérale avec un degré de certitude et un niveau de confiance faibles.

Le niveau de confiance correspondant à une ressource minérale présumée est inférieur à celui qui est associé à une ressource minérale indiquée.

B- Ressource minérale indiquée :

Une ressource minérale indiquée est une partie d'une ressource minérale ayant fait l'objet d'exploration générale, d'échantillonnages et d'essais par des techniques appropriées sur des sites tels que des affleurements, tranchées, ouvrages miniers souterrains et forages, qui sont trop espacés ou situés à intervalles inappropriés pour confirmer la continuité géologique mais qui sont suffisamment rapprochés pour laisser supposer une telle continuité, et où la collecte de données fiables permet d'estimer les tonnage / volume, les densités, les dimensions, la forme, les caractéristiques physiques, la quantité et la teneur minérale, avec un niveau de confiance raisonnable mais non pas avec un degré élevé de certitude.

Une ressource minérale indiquée est estimée avec un niveau de certitude et un niveau de confiance inférieurs à ceux d'une ressource minérale mesurée, mais avec une meilleure fiabilité que pour une ressource minérale présumée.

C- Ressource minérale mesurée :

Une ressource minérale mesurée est une partie d'une ressource minérale ayant fait l'objet d'exploration détaillée, d'échantillonnages et d'essais par des techniques appropriées sur des sites tels qu'affleurements, tranchées, puits, ouvrages miniers souterrains et de forage qui sont suffisamment rapprochés pour confirmer la continuité géologique et qui fournissent des données fiables et détaillées permettant d'estimer avec un degré élevé de certitude le tonnage / volume, la densité, les dimensions, la forme, les caractéristiques physiques, la qualité et la teneur minérale.

Ressource minérale de préfaisabilité :

Une ressource minérale de préfaisabilité est une partie d'une ressource minérale indiquée et, dans certaines circonstances, d'une ressource minérale mesurée dont une étude de préfaisabilité a montré qu'elle n'est pas économique ou est seulement potentiellement économique au moment de l'élaboration de cette étude.

Ressource minérale de faisabilité :

Une ressource minérale de faisabilité, est une partie d'une ressource minérale mesurée, dont une étude de faisabilité a montré qu'elle n'est pas économique ou est seulement potentiellement économique au moment de l'élaboration de cette étude.

5- Réserves minérales probables et prouvés

Réserves minières probables :

Une réserve minière probable, décrite en termes de tonnage / volume exploitable et de teneur / qualité, est la partie d'une ressource indiquée ou mesurée ayant fait l'objet d'étude de préfaisabilité technique et économique et dont les conclusions montrent qu'il est justifié de l'exploiter dans les conditions techniques, économiques environnementales et juridiques du moment.

Réserves minières prouvées :

Une réserve minière prouvée, décrite en termes de tonnage / volume exploitable et de teneur / qualité, est la partie d'une ressource minérale mesurée qui a fait l'objet d'étude de faisabilité technique et économique ou d'un rapport d'exploitation, qui conclut qu'il est justifié de l'exploiter dans les conditions techniques, économiques, environnementales et juridiques du moment.

Présumée : niveau de confiance faible, minéralisation identifiée dans quelques échantillons mais la continuité géologique et la continuité des teneurs ne peut être démontrée. Typiquement, sont disponibles des données d'affleurements, tranchées, développements et forages. La confiance dans les estimations n'est pas suffisante pour permettre une analyse économique. (Il n'y a donc jamais de réserves correspondant à ce niveau de ressources).

Indiquée : niveau de confiance raisonnable. Données suffisamment abondantes pour supposer (sans démontrer) la continuité géologique et/ou de la minéralisation. La confiance dans les estimations est suffisante pour permettre une analyse économique et éventuellement une conversion en réserve.

Mesurée : niveau de confiance élevé. Les données sont assez abondantes et rapprochées pour démontrer la continuité géologique et/ou de la minéralisation. La confiance dans les estimations est suffisante pour permettre une analyse économique et éventuellement une conversion en réserve.

Les réserves minérales, qui sont un sous-ensemble modifié des ressources minérales indiquées et mesurées (montrées à l'intérieur du cadre en tireté de la figure), exigent de considérer des facteurs affectant une extraction profitable et nécessitent d'être estimées avec la participation de plusieurs disciplines.

Références & Bibliographie

- 1- N. Arndt, C. Ganino : Ressources minérales, nature, origine et exploitation, Dunod, Paris, 2010.
- 2- C. Pomerol et M. Renard : éléments de géologie, Edition Armand Colin, 2010.
- 3- G. Beaudoin, géo., PhD : Manuel de gîtologie et métallogénie, Univ Laval, Canada, 2007.
- 4-