

MODULES DE FORMATION

MODULE 5

TECHNIQUES D'EXPLOITATION MINIÈRE ARTISANALE



Publié par :

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sièges de la société

Bonn et Eschborn, Allemagne

Siège du Cobalt for Development:

Avenue Kalima 426,
Quartier Mutoshi,
Commune Manika Kolwezi-RDC

Désignation du projet:

Cobalt for Development (C4D) est un projet de développement mis en œuvre par la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH et financé exclusivement par un partenariat interindustriel comprenant BASF, BMW Group, Samsung Electronics, Samsung SDI, Stihl, et Volkswagen Group. Son objectif est d'améliorer les conditions de vie et de travail des mineurs artisanaux de cobalt et de leurs communautés. Pour ce faire, le projet travaille directement avec les mineurs par l'intermédiaire des coopératives locales, des pouvoirs publics et de la société civile. En fin de compte, les objectifs du projet seront atteints en renforçant la conformité juridique, en améliorant la santé et les conditions de travail, en gérant les ressources environnementales et en mettant l'accent sur le bien-être économique et social.

Rédaction: Cobalt for Development Team

Maquette: Gungor Genc

Crédits images: Gungor Genc

La GIZ n'assume aucune garantie en ce qui concerne l'actualité, l'exactitude ou l'exhaustivité du matériel cartographique mis à disposition. Toute responsabilité concernant des dommages ayant été provoqués, de façon directe ou indirecte, par leur utilisation est exclue.

Sur mandat de BASF, BMW Group, Samsung Electronics, Samsung SDI, Stihl, Volkswagen Group.

Date de parution: 19.05.2025

Cobalt

pour le Développement



Financé par:



Mis en œuvre par:



Avec la collaboration du :



Modules de formation

Projet Cobalt pour le Développement

Préface

Le projet Cobalt pour le Développement (C4D), mis en œuvre par la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, s'inscrit dans une volonté de créer des chaînes d'approvisionnement responsables à partir de la production minière artisanale dans les zones de production de la République Démocratique du Congo (RDC). Exclusivement financé par un partenariat industriel comprenant BASF, BMW, Samsung SDI, Stihl, et Volkswagen Group, son objectif est d'améliorer les pratiques de production et les conditions de vie des mineurs artisanaux et leur communauté. Son approche consiste à soutenir directement les exploitants miniers artisanaux par l'intermédiaire des coopératives locales qui les encadrent, des autorités officielles et de la société civile. Les activités abordent les difficultés de conformité avec le contexte légal et les normes nationales, notamment celle de l'Entreprise Générale du Cobalt, entité nationale ayant le monopole de la commercialisation des matériaux critiques et stratégiques produits artisanalement en RDC, et qui met en œuvre les sites pilotes artisanaux de cobalt, avec pour objectif la formalisation du secteur.

Un tel soutien se place dans la demande mondiale en forte croissance pour les minerais de cobalt, élément critique pour la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique, puisqu'il est un des constituants majeurs des batteries pour l'électro-mobilité, la production et le stockage de l'énergie renouvelable, entre autres. Or, la RDC détient plus de la moitié des réserves mondiales de cobalt et on estime qu'entre 10 à 30% de cette production provient de ressources exploitées de manière artisanale. Les industries recourant à cette ressource souhaitent garantir une production qui respecte les droits humains, les conditions de travail et minimise les impacts sociaux et environnementaux de ce type de production. Faiblement soutenus et ayant un accès très limité aux ressources nécessaires, les exploitants miniers artisanaux sont très exposés aux risques liés à leur activité, connaissent des difficultés pour travailler en conformité avec la loi, et ne réalisent pas d'activités atténuant les impacts environnementaux. Leur situation leur offre également peu de possibilités pour améliorer leurs techniques d'exploitation.

Dans ce cadre, le projet C4D a souhaité mettre en œuvre une méthode menant vers l'amélioration des pratiques qui puisse être répliquée et diffusée dans tous les modes d'exploitation artisanaux de minerais de cobalt, et de cuivre, auquel il est souvent associé. Un programme de formation a été mis au point et testé auprès de coopératives minières « pilotes », puis affiné dans son contenu et sa forme. L'application s'est accompagnée d'accompagnement des coopératives pour la mise en œuvre de meilleures pratiques sur le plan technique, environnemental et de santé et sécurité au travail. Constitué de cinq modules rédigés en français et accompagnés d'exemples concrets, ces documents pédagogiques sont destinés avant tout à des formateurs participant à un projet, à des organisations de la société civile, et à des personnes ayant une fonction d'encadrement du secteur minier artisanal, comme le Service d'Assistance à l'Exploitation Minière Artisanale et à Petite Échelle (SAEMAPE). Ces modules, disponibles librement sur internet, ont pour visée d'être diffusés, utilisés et améliorés par de futurs utilisateurs. Ils sont accompagnés de présentations au format digital et destinées aux formateurs.

Les contenus abordent en premier lieu l'organisation interne des coopératives, l'organe de base défini par la loi encadrant l'activité minière artisanale, et leurs capacités à gérer un changement progressif dans les pratiques des exploitants miniers, au niveau des équipes indépendantes et des travailleurs.

Ils se basent sur la capacité de ces entités à mettre en œuvre les autres modules, qui abordent les questions relatives à la santé et la sécurité au travail, la protection de l'environnement, les relations sociales avec la communauté, les techniques minières adaptées et le respect des contraintes légales nationales. Les modules introduisent aussi la notion de « chaîne d'approvisionnement responsable » dans l'optique de leur participation à des systèmes mettant en œuvre le devoir de diligence définie par l'OCDE. Présentant des méthodes taillées sur mesure pour ce type d'exploitation, tenant compte d'un accès limité aux technologies et au financement, les modules se veulent pratiques et abordables, utilisant les connaissances d'ingénierie minière « informelle » qui caractérise la manière dont les exploitants miniers artisanaux réussissent collectivement à extraire, traiter et vendre ces minerais si demandés. Les modules de formation viennent également combler un vide de matériel didactique en français et Swahili, destiné à l'appui de la formalisation de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle. Ils couvrent cinq thèmes majeurs, chacun thématisant un domaine clé de l'exploitation responsable en ASM. Précisément, ceux-ci couvrent respectivement les thématiques suivantes : 1. Administration et gestion de l'exploitation par la coopérative minière ; 2. Hygiène, santé et sécurité dans l'exploitation minière et à petite échelle ; 3. Gestion des impacts environnementaux et sociaux ; 4. Équipements de protection individuelle ; ainsi que 5. Techniques d'exploitation minière artisanale.

Ces modules ont été développés à travers les connaissances pratiques glanées par les coopératives ASM et les mineurs eux-mêmes, reflétant ainsi les problèmes réels ainsi que l'expérience de terrain. Ils sont destinés à être améliorés de manière incrémentale et enrichis par les retours d'expérience après une première mise en œuvre. En outre, ils sont expressément destinés à remédier à des problèmes transversaux, tels que l'inclusion de la problématique de genre, dans des versions futures. Enfin, ces modules ont été développés spécifiquement dans le contexte des mines ASM en DRC. Bien que leur focale soit portée sur le secteur du cobalt, ils offrent également – peut-être pour la première fois – une approche tangible et accessible à des parties prenantes francophones dans le secteur ASM, indépendamment de leur contexte d'origine.



Contenu

1. LE CYCLE MINIER ET LA PLANIFICATION MINIÈRE	10
1.1 Le cycle de l'exploitation minière	12
1.2 Planification minière	14
2. MINÉRAUX ET GISEMENTS DE COBALT ET CUIVRE	17
2.1 Les minéraux de cobalt-cuivre	19
2.2 Les minéraux composés de cobalt	20
2.3 Les types de gisement de cobalt-cuivre	22
3. EXPLORATION MINIÈRE	25
3.1 But et principe de mise en œuvre de l'exploration	27
3.2 Informations recueillies au cours de l'exploration	28
3.3 Mise en œuvre de l'exploration en exploitation minière artisanale	29
4. TECHNIQUES D'EXPLOITATION MINIÈRE	39
4.1 Exploitation à ciel ouvert	41
4.2 Gestion des structures à ciel ouvert	45
4.3 Exploitation souterraine	52
4.4 La gestion des structures souterraines	55
5. CONTRAINTES LÉGALES SUR LES ASPECTS TECHNIQUES	65
5.1 Le Code minier	67
5.2 Règlement minier	68
5.3 La norme EGC	69
6. ANNEXES	71
6.1 Réponses aux exercices	71

Sigles et abréviations

BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
DIVIMINES	Division Des Mines
EGC	Entreprise Générale du Cobalt
EMAPE	Exploitation minière artisanale et à petite échelle
GPS	Global Positioning System
SAEMAPE	Service d'Assistance et d'Encadrement de l'Exploitation Minière Artisanale et à Petite Échelle
DIVIMINES	Division des Mines



Objectifs du module

Les techniques d'exploitation minière sont intimement reliées aux autres thèmes qui sont abordés dans ce programme de formation. L'acquisition de techniques d'exploitation adaptées au secteur minier artisanal et à petite échelle (EMAPE) et inspirées des meilleures pratiques existantes permet d'optimiser la production et la valorisation du minerai, de travailler de manière plus organisée et plus sûre et d'assurer une meilleure protection de l'environnement. Les notions abordées au cours de ce module sont :

- Le cycle de l'exploitation minière et les techniques associées ;
- Reconnaissance, exploration
- Les notions de base sur la géologie et les gisements de cobalt-cuivre ;
- La faisabilité du projet ;
- La planification minière ;
- Les notions de base sur les techniques d'exploitation minière (mine souterraine, mine à ciel ouvert) ;
- La fermeture de la mine ;
- Les contraintes légales liées à l'exploitation d'un site minier de type EMAPE.

Ne pouvant être exhaustif, ce module rassemble des notions pratiques qui peuvent être mises en œuvre par une coopérative minière en RDC.



Groupes cibles



Le module s'adresse avant tout aux gestionnaires de coopératives et aux exploitants miniers artisanaux. Il requiert un minimum de connaissances techniques et d'expérience minière dans le secteur EMAPE. Cependant, une attention est portée sur la vulgarisation des notions et la mise en application des techniques mentionnées. Il est aussi destiné aux formateurs issus d'ONG, de programmes d'appui nationaux ou d'agent administratifs de l'encadrement du secteur qui soutiennent des coopératives minières dans l'acquisition de meilleures pratiques.



Introduction

Plus de la moitié des réserves mondiales et de la production de cobalt se trouvent au Sud-Est de la République Démocratique du Congo (RDC) sous la forme de gisements associés au cuivre¹. Sa production se fait principalement sous forme industrielle, sur des gisements de grande taille et avec des moyens mécaniques importants. Cependant, plus de 20 % de la production est réalisée sous forme d'EMAPE², ce qui classe ce type de production parmi les plus gros producteurs au monde.

Pourtant, une large part de l'exploitation artisanale est effectuée dans des conditions difficiles, informelles, avec un accès limité aux capitaux et aux techniques nécessaires pour l'optimisation de l'extraction et du traitement. Le manque de formation et les problèmes d'encadrement contribue également à produire des conditions de travail précaire, dangereuses et peu efficaces. L'amélioration des techniques, de la planification de l'exploitation et de sa gestion peuvent considérablement améliorer la productivité et le rendement sur la qualité des minerais obtenus, tout en offrant un environnement de travail plus sûr pour les travailleurs. L'introduction de tels changements dans les pratiques des exploitants miniers requiert des investissements en matériels mais également dans leurs capacités techniques ; elles nécessitent donc des formations adaptées pour une montée en puissance d'un savoir-faire plus efficace, plus sûr et en accord avec une préservation de l'environnement adaptée.

L'acquisition de techniques se fait à tous les niveaux de la coopérative, tant au niveau de la gestion et planification des opérations qu'au niveau des travailleurs qui extraient et traitent le minéral au quotidien. Ce travail d'amélioration technique est aussi en accord avec les exigences du Règlement minier, notamment *le Code de conduite de l'exploitant artisanal et de la coopérative minière agréée* et de la norme EGC. Il permet aux exploitants d'aborder plus sereinement les stages obligatoires réalisés par le SAEMAPE dans le cadre de l'acquisition de la carte d'exploitant minier artisanal ou de l'octroi d'une autorisation pour une coopérative minière. L'abordage de la question des techniques d'exploitation minière a pour objectif d'aboutir à des meilleurs revenus pour les exploitants miniers, dans un environnement de travail plus sûr et en pleine conformité avec le cadre légal de l'EMAPE.

1 USGS, 2025. Cobalt Mineral commodity summary, USGS (p.2),
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-cobalt.pdf>

2 <https://www.egcobalt-rdc.com/fr/lancement-officiel-des-activites-de-entreprise-generale-du-cobalt-en-republique-democratique-du-congo/>



Le plan du module

Partie	Cible de la séance
Séance 1 Le cycle minier et la planification minière	Il s'agit de présenter l'ensemble des étapes d'une exploitation minière et le principe de la planification, qui est très important pour optimiser son déroulement.
Séance 2 Minéraux et gisements de cobalt-cuivre	On y expose les principaux minéraux du cobalt et du cuivre, et les formes de gisement miniers principaux que l'on peut trouver en RDC.
Séance 3 Exploration minière	L'utilité de l'exploration pour la planification et l'optimisation du cycle de l'exploitation sont exposés. La séance développe une méthode d'exploration adaptée aux opérations d'exploitation artisanale.
Séance 4 Les bonnes pratiques de l'exploitation minière artisanale	Cette séance met en lumière les principales techniques qui peuvent être utilisées dans l'EMAPE pour l'extraction des minerais.
Séance 5 Les contraintes légales sur les aspects techniques de l'EMAPE.	Y sont abordées les dispositions du Code Minier, de son Règlement, et de la norme EGC pour les contraintes de type technique.



SEANCE 1

LE CYCLE MINIER ET LA PLANIFICATION MINIÈRE



Objectifs du séance

- Apprendre à conduire un projet minier avec une vision globale des étapes ;
- Comprendre l'utilité de planifier les étapes de l'exploitation ;
- Mettre en place des notions de base sur la viabilité financière et technique d'un gisement.



Introduction

L'exploitation minière, artisanale ou industrielle, comporte de nombreux risques de type techniques et financiers. Une faible proportion de projets miniers sont rentables sur le plan économique. Au démarrage comme en cours d'exploitation des changements dans la qualité du mineraï ou sa disposition peuvent entraîner des changements qui peuvent remettre en cause l'exploitation et conduire à l'abandon de l'extraction. Dans le secteur de l'exploitation artisanale, le plus souvent une découverte entraîne le démarrage d'une extraction de faible importance, qui ensuite grandit au fur et à mesure de nouveaux arrivants qui tentent leur chance. L'exploration et le développement du site minier se font souvent par à-coups, sans visibilité sur les prochaines étapes et avec peu de moyens de se retourner en cas de problème. Or, les efforts engagés sont importants ! Le manque de prévoyance peut détruire des années de travaux et laisser sans emploi des centaines de travailleurs et de fournisseurs.

La coopérative minière joue un rôle capital de chef d'orchestre dans le développement de la mine. Il est important que ses dirigeants puissent avoir une vision sur le moyen terme, soit au moins 2 à 5 années vers le futur. Cette séance présente des notions de base qui vont être utiles pour les séances suivantes et la mise en place d'un plan d'amélioration des techniques minières.



Testez vos connaissances

Pour commencer cette partie, testez vos connaissances en répondant aux questions suivantes. Lisez ensuite la partie et, à la fin, vous pourrez repasser le test et vérifier si vous vous êtes amélioré.

Cochez dans la case **Vrai** ou **Faux**

Question	Vrai	Faux
1. L'exploration n'est pas une étape importante ni très utile pour l'optimisation de l'exploitation minière.		
2. Le cycle de l'exploitation minière est une donnée importante pendant toute la vie du site minier		
3. Mieux planifier c'est réduire les coûts d'exploitation, optimiser le rendement et réduire les risques pour les travailleurs.		
4. Les mineurs artisanaux négligent souvent la planification minière.		
5. La planification minière n'aura pas d'influence sur les techniques d'extraction et de traitement du mineraï.		

1.1 Le cycle de l'exploitation minière

Comme nous avons déjà pu l'apercevoir au cours du **module 3** sur la gestion environnementale et sociale, l'exploitation minière sur un site suit un cycle qui est toujours plus ou moins le même, quel que soit le projet minier.

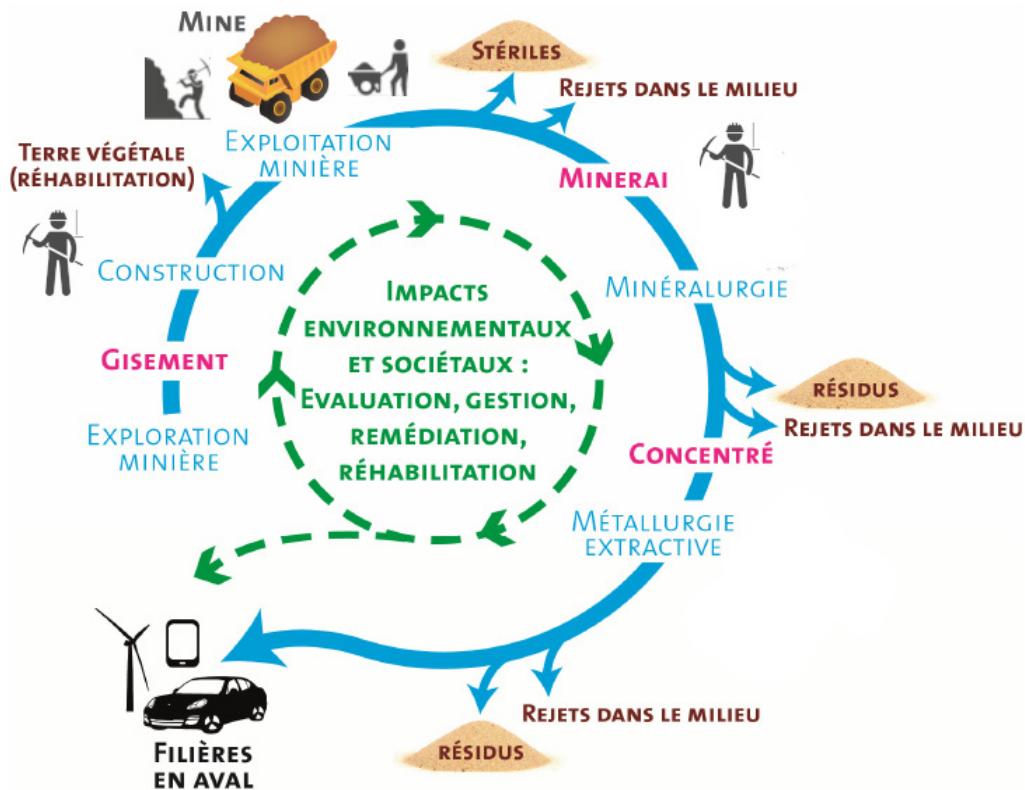


Figure 1. Le cycle minier, modifié d'après BRGM, collection «La mine en France» tome 3, 2017.

Dans le cas de l'exploitation artisanale de cobalt-cuivre et du point de vue d'une coopérative minière, les étapes s'arrêtent au traitement minier, car les étapes de traitement chimique (métallurgie extractive) se font au niveau des entités de traitement nationales. Le cycle de la figure 1 ne montre pas certaines étapes comme la fermeture du site (vue dans le **module 3**) et ne donne pas une idée des efforts d'investissement et de la production au cours du cycle. Chaque étape conditionne les suivantes. En effet, plus l'exploration sera précise, et plus la coopérative aura une meilleure visibilité sur la production et réduira le risque de mauvaises surprises. Une étape de construction bien menée permet de gérer beaucoup plus facilement la fermeture du site et sa réhabilitation. On peut détailler les caractéristiques de chaque étape dans le tableau 1 :



Tableau 1: principales étapes d'un cycle d'exploitation minière.

N°	Étape	Gestion des impacts environnementaux	Investissements	Production et revenus
1	Acquisition de données et identification des zones favorables	Identification des risques	Faibles	Aucuns
2	Exploration du périmètre, évaluation de l'extension de la ressource et de sa qualité	Gestion des risques spécifiques à l'exploration	Élevés	Aucuns à faibles
3	Faisabilité technique et économique	Évaluation des risques sur l'exploitation	Faibles à moyens	Aucuns
4	Développement et construction	Gestion des risques pendant l'exploitation	Très élevés	Aucun à faibles
5	Exploitation	Gestion des risques pendant l'exploitation	Élevés	Élevés
6	Fermeture et réhabilitation	Gestion des risques sur le long terme	Moyens	Faibles à aucun

Dans le cas d'une EMAPE de cobalt, certaines étapes sont peu ou pas développées, alors qu'elles pourraient être améliorées et apporter des informations précieuses pour le développement de l'exploitation.

- En phase de démarrage, une planification des activités minières permet :
 - D'éviter les déplacements répétés de rejets miniers et de roches stériles ;
 - De prévoir l'étape de réhabilitation — ce qui réduit considérablement le coût de l'opération — en mettant de côté les niveaux sensibles du sol et des couches supérieures ;
 - De prévoir les investissements importants à l'avance, par exemple les infrastructures d'accès ou le matériel roulant, évitant ainsi des ralentissements dans la production et réduisant les risques d'accidents ;
- Si la planification minière est poursuivie pendant la vie du site minier, il est alors possible ;
 - De réhabiliter les zones abandonnées au fur et à mesure de la progression de la mine, réduisant aussi considérablement le coût, car il est absorbé par tranches plus petites au cours de la vie du site minier, ce qui contribue aussi à réduire les risques d'accident et l'érosion — et donc la pollution — sur le site et en dehors ;
 - D'optimiser en continu les trajets de minerais (en les réduisant) et du coup les nuisances qui peuvent être associées ;
 - De prévoir les changements nécessaires de techniques de traitement en cas d'augmentation ou de réduction de la production.

Il est important de souligner que les efforts financiers et humains mis en œuvre au début du projet minier seront d'autant plus utiles qu'ils ont été réalisés avec soins et détails. En effet, l'étape d'exploration permet avant de mettre en place un système d'extraction et traitement qui soit en rapport avec la taille, la forme et la profondeur du gisement.

1.2 Planification minière

1.2.1 Utilité de la planification

Lorsqu'on envisage de démarrer une exploitation minière, c'est le signe que certains indices collectés (souvent à même le sol) montrent des minerais qui peuvent être intéressants pour leurs transformation et commercialisation. Dans l'EMAPE, on a souvent une séquence d'étapes initiales s'enchaînant comme suit :

1. Premiers indices,
2. Test d'extraction, traitement et commercialisation à petite échelle,
3. Croissance de l'extraction par augmentation du nombre d'équipes de travail.

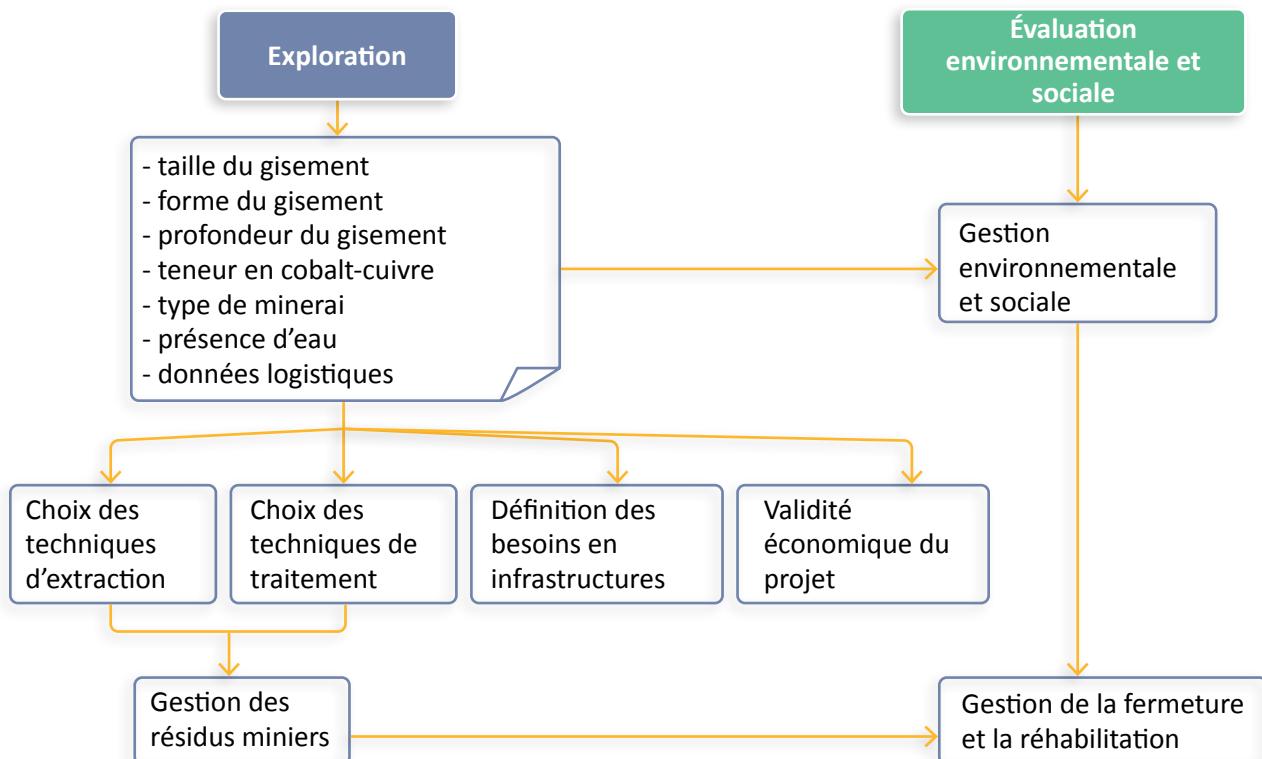


Figure 2. Séquence d'informations collectées importantes pour la planification.

Si le gisement est suffisamment important, le nombre d'équipes de travail peut s'agrandir de manière très importante, et la production devenir conséquente. La difficulté provient alors de la coordination entre ces équipes, du choix du mode d'exploitation et des techniques d'extraction et de traitement les plus adaptées. Nous nous rendons compte que soit cette évolution se fait sans prévision, selon les capacités du moment, ce qui abaisse beaucoup l'efficacité et augmente les coûts d'exploitation, soit elle peut être prévue, en particulier grâce à une bonne connaissance du gisement. Idéalement, cette connaissance initiale conduit à mieux définir les caractéristiques de l'exploitation.

Les choix techniques, d'infrastructures et environnementaux dépendent aussi beaucoup du capital disponible au départ. S'il est faible ces étapes devront être réalisées au fur et à mesure de l'amélioration financière du projet. Mais des capitaux initiaux faibles n'empêchent pas de réaliser un exercice de planification, au contraire, chaque investissement devra être d'autant mieux choisi. Nous avons vu au cours du **module 1**, dans les séances 1 et 3, que la coopérative pouvait se doter d'une organisation adéquate pour suivre les principales caractéristiques de la production et mettre au point un outil simple et efficace de planification.



Le travail de planification, principal outil de pilotage du gestionnaire de site, peut avoir des implications importantes sur le plan technique. Par exemple, il est classique qu'une exploitation à ciel ouvert soit transformée en exploitation souterraine lorsque le décapage des couches supérieures devient trop coûteux au vu du volume de roches à enlever lorsqu'on descend en profondeur.

1.2.2 Application d'une méthode simple de planification

Ceci est la suite de la méthode proposée dans le **module 1, séance 3, chapitre 3.1.2** sur la planification des activités, en travaillant cette fois sur la question de la planification technique. Cette méthode est proposée pour des sites en cours d'exploitation mais peut très bien s'appliquer sur un nouveau site. Elle se base essentiellement sur des règles de bon sens et tient compte des moyens que la coopérative peut déployer. Elle peut être appliquée pendant la formation comme exercice de réflexion et d'application.

Étape 1 : dessiner à main levée un schéma d'ensemble du site minier (temps : 15 min)

- Dessiner une carte simple du site minier tel qu'il existe aujourd'hui, avec :
 - les travaux (puits, fosse d'extraction) ;
 - Les zones de traitement ;
 - Les zones de stockage ;
 - Les caractéristiques importantes autour et dans le site (cours d'eau, routes, bâtiments, habitations, etc.).
- Dessiner la forme des gisements tels que vous les connaissez

Étape 2 : en utilisant les règles de bon sens, discutez entre vous et imaginez l'évolution du site dans deux ans. Dessiner un site tel que vous le verriez dans deux ans, en prenant en compte :

- Le type d'équipement et les méthodes d'extraction et traitement que vous souhaitez mettre en place dans les deux années à venir ;
- Sur la base de votre production actuelle et la taille estimée de votre gisement, imaginez combien de puits ou front d'extraction vous vous attendez à ouvrir d'ici deux années ? Est-ce que ça pourrait une seule fosse d'extraction ? Ou plusieurs puits en parallèle ? Avez-vous pensé à intégrer la réhabilitation progressive des zones abandonnées ou terminées ?
- Dessiner d'abord les éléments du schéma **qui sont fixes** : les rivières, routes, bâtiments ;
- Redessiner le gisement tel que vous l'imaginez, utilisez des pointillés si vous n'êtes pas sûr de son extension ;
- Indiquer où seront les points d'extraction les plus probables d'ici deux ans ;
- Décidez ensuite où seraient les mieux placés les éléments suivants :
 - Les activités de traitement ;
 - les rejets miniers stériles (résultant du décapage et/ou fonçage des puits) ;
 - Les rejets de traitement ;
 - Les sols et couches supérieures (à conserver, voir **module 3**) ;
 - Les nouvelles routes de transport et chemins d'accès si nécessaire ;
 - Les zones de pompage d'eau et de stockage, si nécessaire ;
 - Les bassins de recyclage ou traitement des eaux ;
 - Les autres structures : ateliers, zones de stockage du minerai, bâtiment, etc.

Étape 3 : en vous aidant des 2 schémas, définissez les meilleures méthodes d'exploitation en tenant compte des capacités de la coopérative.

Ce travail devrait vous aider à définir les techniques nécessaires, les formations éventuelles pour leur mise en place et les investissements à prévoir. Cette approche permet ensuite de concrétiser une planification technique simple qui constitue une feuille de route pour les deux prochaines années, sur la base du plan proposé dans le **module 3 (chapitre 3.1.3)**. Bien entendu, ce plan peut être revu à tout instant et peut évoluer avec des paramètres mal maîtrisés, comme l'évolution de la qualité du gisement. C'est une approche néanmoins efficace qui permet d'optimiser les ressources et de mieux piloter le travail d'exploitation.



Que retenir de cela ?

Lors du démarrage d'un site d'exploitation minière et pendant toute la vie du site, il est très important de prendre en compte les différentes étapes du cycle de vie du site minier, par exemple pour intégrer les étapes de réhabilitation.

La planification minière se fait surtout à partir des étapes de reconnaissance et d'exploration et à l'aide de l'évaluation environnementale et sociale. Elle est très efficace pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts et mettre en place des conditions de travail plus sûres.

Une méthode simple de planification, faite sur la base d'une réflexion interne de schéma de la mine actuels et futurs permet de mieux définir les besoins.



Testez vos connaissances

Refaite l'exercice et voyez si vous vous êtes amélioré, Vérifiez les réponses en annexe 6.1.

Question	Vrai	Faux
1. L'exploration n'est pas une étape importante ni très utile pour l'optimisation de l'exploitation minière.		
2. Le cycle de l'exploitation minière est une donnée importante pendant toute la vie du site minier		
3. Mieux planifier c'est réduire les coûts d'exploitation, optimiser le rendement et réduire les risques pour les travailleurs.		
4. Les mineurs artisanaux négligent souvent la planification minière.		
5. La planification minière n'aura pas d'influence sur les techniques d'extraction et de traitement du mineraï.		

SEANCE 2

MINÉRAUX ET GISEMENTS DE COBALT ET CUIVRE



Objectifs du séance

- Mieux connaître les minéraux qui sont riches en cobalt-cuivre dans le contexte de la RDC ;
- Acquérir une connaissance sur les types de gisements de que l'on peut trouver en RDC.



Introduction

Malgré le fait que les EMA soient expérimentés et puissent reconnaître d'un seul coup d'œil la qualité d'un mineraï de cobalt ou de cuivre, il est néanmoins intéressant d'acquérir des connaissances de base sur le mode de formation de ces minéraux et minerais. On peut ainsi avoir une meilleure vue d'ensemble des structures du sous-sol qui contiennent ces minerais.

La connaissance scientifique et technique vient compléter la connaissance pratique des exploitants artisanaux, et leur permet d'évoluer dans leur pratique de l'exploitation minière.

Cette séance consiste en une introduction simple et courte sur les principales caractéristiques des minerais de cobalt-cuivre, la nature des minéraux qui sont exploités, et la mise en place des gisements typiques de la région de Kolwezi.



Testez vos connaissances

Pour commencer cette partie, testez vos connaissances en répondant aux questions suivantes. Lisez ensuite la partie et, à la fin, vous pourrez repasser le test et vérifier si vous vous êtes amélioré.

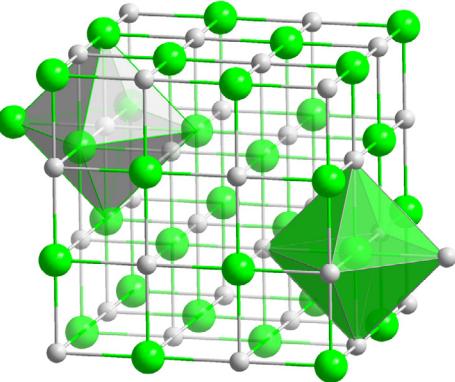
Cochez dans la case **Vrai** ou **Faux**

Question	Vrai	Faux
1. Un minéral est une substance naturelle issue de la dégradation de végétaux		
2. Les roches sont des assemblages de minéraux		
3. L'hétérogénite est le minéral le plus intéressant pour les exploitants artisanaux		
4. Les sulfures peuvent être exploités mais on les trouve en général à plus grande profondeur.		



2.1 Les minéraux de cobalt-cuivre

Définitions

MINÉRAL	C'est une substance chimique formée à la surface ou dans la terre (on parle d'origine « géologique »), dans laquelle les éléments (qu'on définit comme des « atomes »,) sont assemblés ou liés de manière régulière ou géométrique. On parle de formes « cristallisées ». C'est donc souvent une substance qui possède une forme géométrique bien définie.
ATOME	Un atome est la plus petite partie de la matière qui nous entoure. Ils peuvent se combiner ou s'associer entre eux pour former des composés. Les atomes sont les constituants élémentaires de toutes les substances solides, liquides et gazeux.
	
CRISTAL	C'est un solide dont les constituants (atomes) sont agencés selon une géométrie bien définie. Cet assemblage au niveau des atomes se traduit directement dans la forme que peut prendre un cristal à l'état naturel. Les cristaux les plus communs sont : le sucre, le sel. Le quartz est aussi un cristal commun.
	
ROCHE	Assemblage de minéraux.
MINERAI	Roche dont on peut extraire une substance d'intérêt économique.

On peut donc associer les plus petites parties qui constituent la matière, les atomes, aux minéraux. En effet, les minéraux sont formés d'atomes rangés régulièrement, et des assemblages de minéraux forment des roches. Parmi les roches, certaines contiennent des minéraux qui intéressent l'homme, ce sont les minéraux.

2.2 Les minéraux composés de cobalt

Le cobalt est un atome qui a des propriétés voisines de celles du fer et du nickel. C'est un minéral qui est connu de l'homme depuis l'antiquité, à cause de sa couleur bleue naturelle, qui est très utilisée pour les peintures, la céramique et d'autres usages. Historiquement associé au cuivre (un autre atome commun), les artisans du métal cherchaient à s'en débarrasser, car il empêchait d'obtenir un cuivre pur et malléable.

Dans la nature, le cobalt est très fréquemment associé avec de l'arsenic, du soufre ou sous forme d'oxyde, c'est-à-dire uniquement associé avec de l'oxygène (un atome que l'on trouve dans l'air). On le trouve aussi très souvent associé au cuivre, en particulier en RDC, sous plusieurs formes.

La carrolite est composée de soufre, cobalt et cuivre.



Figure 5. Exemple de carrolite de Munusoï, Katanga. Par Didier Descouens — Travail personnel, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6361636>

La **siégénite** est très proche de la carrolite, le nickel remplace le cuivre dans la composition. Ce sont des minéraux que l'on trouve dans des veines formées par la dégradation des gisements de cuivre.

On peut aussi trouver des cristaux composés de cobalt et soufre, c'est donc un sulfure de cobalt appelé **linnaéite** qui peut être plus ou moins riche en cobalt selon qu'il est remplacé par du nickel.



Figure 6. Exemple de siégénite de Shinkolobwe, RDC. © www.dakotamatrix.com.



On trouve aussi dans les gisements de cobalt-cuivre des minéraux issus de la dégradation par érosion et oxydation des cristallisations originales de la roche. Ce processus donne lieu à la formation de nouveaux minéraux, dont l'hétérogénite, qui est un oxyde (donc avec de l'oxygène) de cobalt et de l'hydrogène. On parle d'hydroxyde dans ce cas. L'hétérogénite se forme lorsque que le cuivre est emmené plus en profondeur dans le sol par les eaux de pluies par dissolution et recristallisation. Ce processus donne naissance à la malachite, un des principaux minéraux du cuivre. En ce sens, elle peut être considérée comme un dépôt résiduel de ce processus. Le processus d'altération est très intéressant, car il tend à augmenter la concentration de cobalt dans le minéral. En effet, l'hétérogénite contient jusqu'à 64 % de cobalt, tandis que la carrolite en contient 39 %³.



Figure 7. échantillon de linnaéite brut et en section polie (on voit le brillant métallique). La point du stylo donne une idée de la taille. Par Andrew Silver — http://libraryphoto.cr.usgs.gov/cgi-bin/show_picture.cgi?ID=ID.%20BYU%20Mineral%20Specimens%20722 , Domaine public



Figure 8. échantillon d'hétérogénite provenant de la mine de Kalukuluku, Lubumbashi, RDC. Les zones bleutées sont des cristaux de crysocolle (silice et cuivre). Par Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10141513>

³ Pour aller plus loin: Shengo, M. L., Kime, M.-B., Mambwe, M. P., & Nyembo, T. K. (2019). A review of the beneficiation of copper-cobalt-bearing minerals in the Democratic Republic of Congo. *Journal of Sustainable Mining*, 18(4), 226–246. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.08.001>

2.3 Les types de gisement de cobalt-cuivre



Figure 9. carte schématique du sud de la RDC montrant les grandes zones minières riches en minéraux de cobalt et cuivre. En bleu les ensembles Likasi-Kambove et Kolwezi, en vert l'ensemble Kipushi-Lubumbashi. Les carrés rouges montrent les principales mines et les tirets jaunes et noir les lignes de chemin de fer. D'après Lysippos — signé par l'utilisateur Travail personnel, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=151354580>.

Depuis le démarrage de l'exploitation du cuivre au début du 20e siècle, l'exploitation a été divisée en trois zones principales d'exploitation :

- **L'ensemble Kipushi-Lubumbashi** au sud : les gisements contiennent surtout des minéraux de cuivre associé à du zinc, du fer et du soufre sous forme de divers sulfures. On y trouve aussi de minéraux de cuivre-plomb et cuivre-nickel. Les teneurs typiques en cuivre vont de 2 à 8 % ;
- **Les ensembles de Likasi-Kambove** au centre et de **Kolwezi** à l'ouest : ce sont des gisements de cobalt-cuivre de type sédimentaire, c'est-à-dire issu d'un phénomène d'érosion d'une roche originale. On y trouve des gisements de 3 types différents :
 - Des couches oxydées à la surface ou proches de la surface (moins de 100 m de profondeur), formée d'une gangue de silice (un oxyde de silicium) ou calcaire (un ensemble de minéraux formés de calcium et carbone) et de minéraux de malachite et d'hétérrogénite disséminés dans des fractures ;
 - En-dessous, des couches mixtes formées d'hétérrogénite et d'autres minéraux de cobalt et soufre (des sulfures) ;
 - Plus profondément, des gisements de sulfures avec la carollite comme minéral du cobalt. Ces minéraux apparaissent comme des grains fins dans un ensemble calcaire riche en magnésium.

Lorsque des gisements de sulfures affleurent en surface, le cuivre s'oxyde et il est entraîné avec les eaux de pluies plus en profondeur dans le sol. Au niveau de la nappe d'eau souterraine, ces éléments s'accumulent. Ce sont ces couches qui vont être la plupart du temps ciblées par les exploitants miniers artisanaux à cause de la profondeur plus faible et de la richesse élevée du minéral, ce qui amène des revenus plus élevés. C'est également un minéral très prisé du fait de sa haute teneur en cobalt.

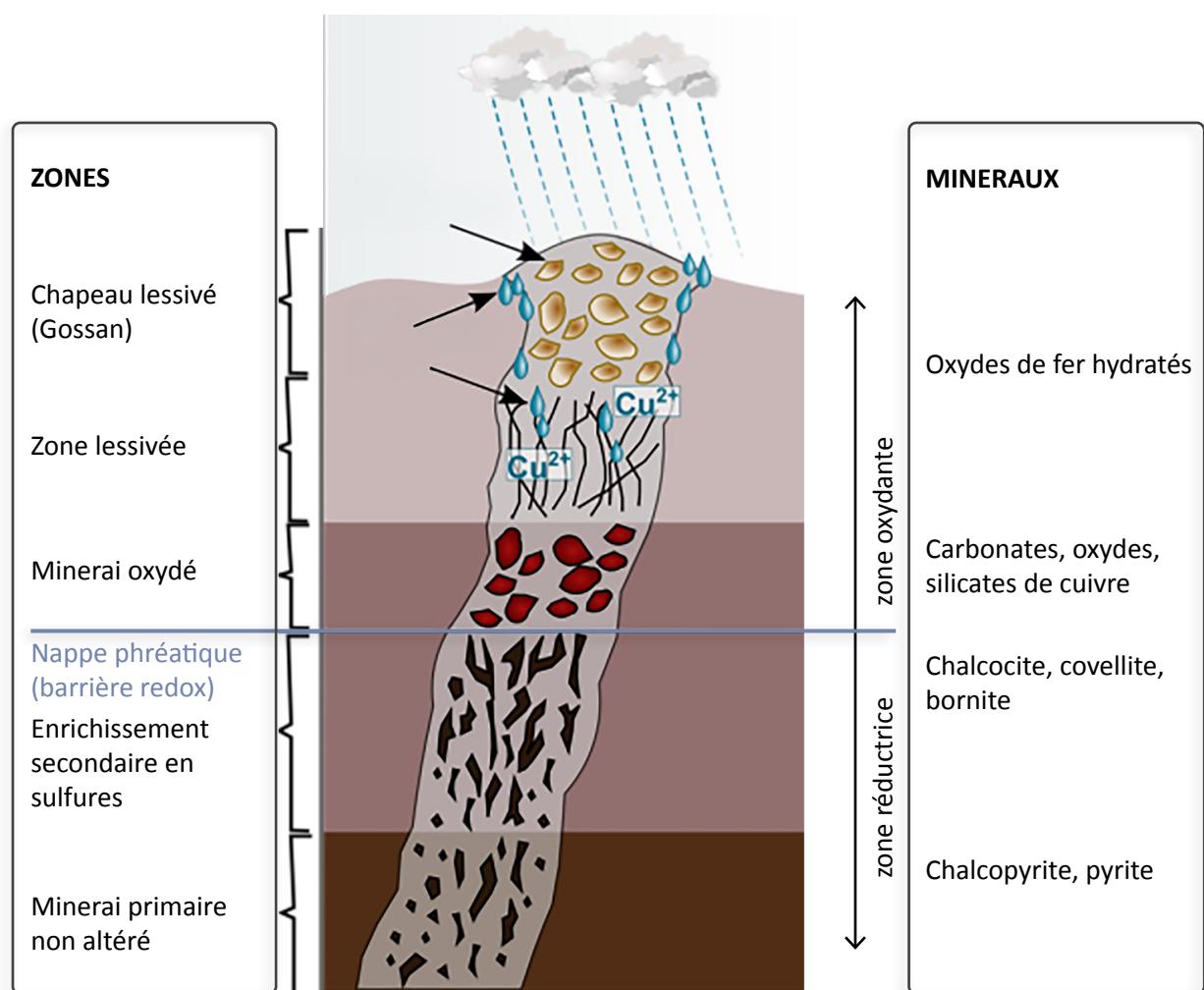


Figure 10. exemple d'enrichissement dû à l'action des eaux de pluies. Le lessivage oxyde les métaux dans les minéraux, en particulier le cuivre. D'après le module de cours Classification des ressources minérales.



Figure 11. chargement de minerai cobalt (hétérogénite) dans la région de Kolwezi.



Que retenir de cela ?

- Les principaux minéraux de cobalt sont des sulfures, principalement composés de soufre, cobalt, cuivre ou nickel ;
- On trouve par altération des oxydes (composé de cobalt, oxygène et hydrogène) comme l'hétérogénite, qui est issu d'un processus d'altération des sulfures ;
- L'hétérogénite est intéressante car elle est relativement superficielle (moins de 100 m) et riche en cobalt ;
- Les principaux gisements sont issus de processus d'altération dus à l'eau circulant dans le sous-sol. Ce processus contribue à enrichir certains niveaux en cobalt et en cuivre.



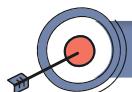
Testez vos connaissances

Maintenant, vous pouvez vérifier si vous pouvez mieux répondre à certaines questions du quiz. Pour vérifier les réponses, reportez-vous à l'annexe 6.1.

Question	Vrai	Faux
1. Un minéral est une substance naturelle issue de la dégradation de végétaux.		
2. Les roches sont des assemblages de minéraux.		
3. L'hétérogénite est le minéral le plus intéressant pour les exploitants artisanaux.		
4. Les sulfures peuvent être exploités mais on les trouve en général à plus grande profondeur.		

SEANCE 3

EXPLORATION MINIÈRE



Objectifs du séance

- Aider à comprendre l'intérêt de l'exploration en toute exploitation minière ;
- Connaitre les grandes étapes de l'exploration minière.



Introduction

Comme nous l'avons constaté au cours de la **SEANCE 1**, l'exploration minière est la première phase du cycle de mise en valeur des minéraux et conditionne l'ensemble de la planification minière. Elle a pour objet la découverte de gisements ayant des caractéristiques favorables pour sa commercialisation. L'exploration peut aussi servir à étendre un gisement déjà en cours d'exploitation mais dont le contour n'est pas bien connu.

Cette séance propose des méthodes d'exploration adaptées aux moyens des coopératives minières, pour pouvoir effectuer une planification minière plus efficace. Un exemple pratique de programme d'exploration est proposé dans le cadre de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle.



Testez vos connaissances

Pour commencer cette partie, testez vos connaissances en répondant aux questions suivantes. Lisez ensuite la partie et, à la fin, vous pourrez repasser le test et vérifier si vous vous êtes amélioré.

Cochez dans la case **Vrai** ou **Faux**

Question	Vrai	Faux
1. L'exploration est une activité qui ne concerne pas l'exploitation minière artisanale.		
2. Pendant l'exploration, il est possible de faire des puits.		
3. L'exploration simplifiée permet seulement de connaître le périmètre du gisement.		
4. L'exploration demande de faire une cartographie de la zone à explorer.		

3.1 But et principe de mise en œuvre de l'exploration

L'exploration consiste à identifier un gisement et en déterminer les caractéristiques principales qui sont :

- La forme du gisement, son étendue, profondeur et volume ;
- La qualité du gisement, ici la teneur en cobalt ou cuivre et la nature des minéraux qui peuvent être plus ou moins faciles à traiter ensuite.

Dans l'industrie minière lourde, les enjeux financiers sont tels qu'il est indispensable de connaître le mieux possible le gisement pour trouver les financements nécessaires à la réalisation du projet. Plusieurs niveaux d'exploration et de sources de données permettent de réduire l'incertitude sur la nature et le volume du gisement, mais cette approche requiert des moyens considérables et souvent des techniques complexes.

3.1.1 Une exploration adaptée à l'EMAPE

Dans le cas de l'EMAPE, l'exploration est réalisée, mais elle n'est souvent pas préparée dans le but de définir les caractéristiques du gisement. On se limite la plupart du temps à identifier la présence du gisement et à s'assurer que les caractéristiques du minéral sont acceptables pour être commercialisées, pour assurer une rentabilité minimale et un revenu aux exploitants artisanaux. L'exploration est toujours une étape complexe pour les EMA du fait qu'elle n'apporte pas de revenus ou très peu. Il est nécessaire d'être financé pour cette opération. Un programme d'exploration peut pourtant être pensé avec des moyens limités, qui demandent de la recherche et de l'implication des mineurs artisanaux.

Tableau 2 : Les étapes d'une exploration adaptée pour l'EMAPE.

Étape	1. Reconnaissance régionale	2. Tests d'indices en surface	3. Estimation du périmètre du gisement
Techniques et méthodes d'évaluation	Documentation Étude de cartes Études d'autres projets Observation régionale	Identification de zones favorables Prélèvement d'échantillons Analyse	Maillage du périmètre ciblé Prélèvement d'échantillons Analyse
Échelle d'observation	Rayon de 10 à 100 km	Rayon de 1 à 10 km	Rayon de 0,1 à 1 km
Objectif	Identifier le gisement	Identifier les zones les plus favorables	Connaître la forme du gisement et les teneurs

La logique des étapes (tableau 2) permettent de maintenir des coûts relativement limités dans les premiers moments, et d'investir une fois qu'un nombre suffisant d'indices permettent d'identifier une zone favorable. Lorsque la zone ciblée est déjà identifiée (étape 1), on peut préciser les zones les plus intéressantes avec un premier échantillonnage en surface (étape 2), qui peut être associé à une analyse chimique rapide. Lorsqu'on connaît mieux la zone d'intérêt on peut faire une campagne d'échantillonnage plus restreinte, avec une maille plus serrée, et éventuellement, si les moyens le permettent, procéder à un ou plusieurs sondages. Ces sondages peuvent être manuels ou réalisés à l'aide d'une foreuse.

3.1.2 Points clefs d'une campagne d'exploration réussie

Dans le cadre de l'EMAPE, l'exploration est efficace et acceptable si les conditions suivantes sont réunies :

- Des coûts acceptables, ce qui se traduit par :
 - La réalisation de la campagne avec outils déjà en possession des mineurs ou ayant un coût acceptable ;
 - Des coûts logistiques abordables, notamment concernant les véhicules et coût en carburant ;
 - Une mobilisation en ressources humaines bien encadrée et limitée ;
- Une période favorable pour sa réalisation : éviter la saison des pluies mais également la pleine saison agricole ;
- Limiter le défrichage et la déforestation, préservation des sols et protection des cours d'eau et des nappes d'eau souterraines ;
- Utiliser des méthodes qui donnent des résultats concrets pour évaluer un projet :
 - Se concentrer sur la délimitation du gisement (y compris en volume et profondeur, si possible) ;
 - Échantillonner et, si possible, obtenir des analyses de pourcentage d'oxydes ou de sulfures de cobalt.

3.2 Informations recueillies au cours de l'exploration

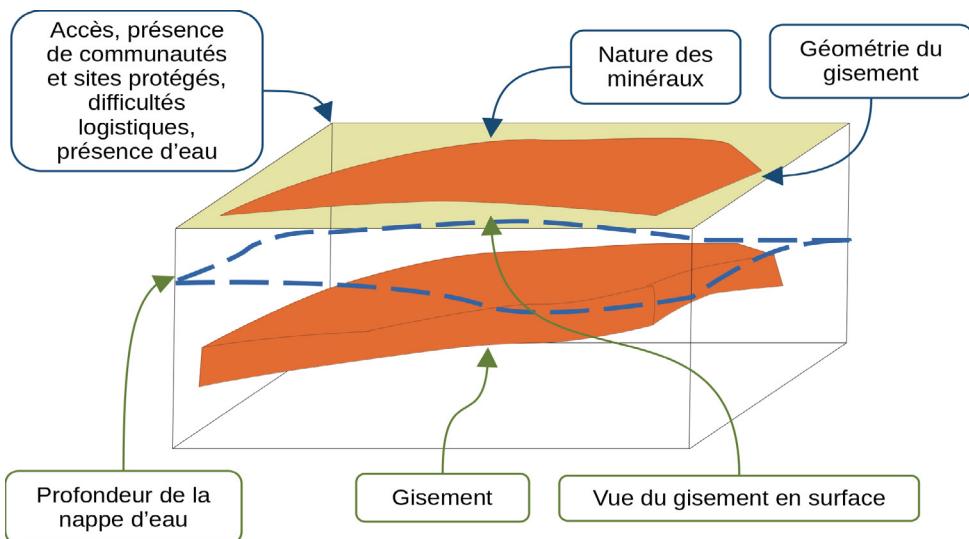


Figure 12. Vue en coupe d'un gisement à identifier et des paramètres qui peuvent servir à mieux connaître le gisement, dans le cadre d'une planification minière.

Pour avoir une idée bien définie du gisement visé pour une exploitation, certaines informations sont très utiles (voir figure 12) :

- La nature des minéraux qui composent le gisement : cela aidera à déterminer la qualité et la teneur en cobalt ou cuivre ;
- La géométrie du gisement, si elle n'est pas connue en profondeur, il est néanmoins intéressant pour la planification de connaître son extension en surface ;
- La profondeur de la nappe d'eau souterraine, qui peut poser des problèmes de pompage lors de l'extraction ;
- Les difficultés d'accès, la présence de communautés aux alentours, la présence de sites protégés ou remarquables, la logistique pour l'énergie, etc.



3.3 Mise en œuvre de l'exploration en exploitation minière artisanale

Il est important de procéder selon les étapes et les échelles, en démarrant avec une vue globale relativement large, puis en resserrant la zone visée jusqu'à atteindre une définition satisfaisante et un périmètre adapté aux capacités de la coopérative.

Les étapes d'une exploration pratique proposée pour une coopérative minière sont au nombre de 8.

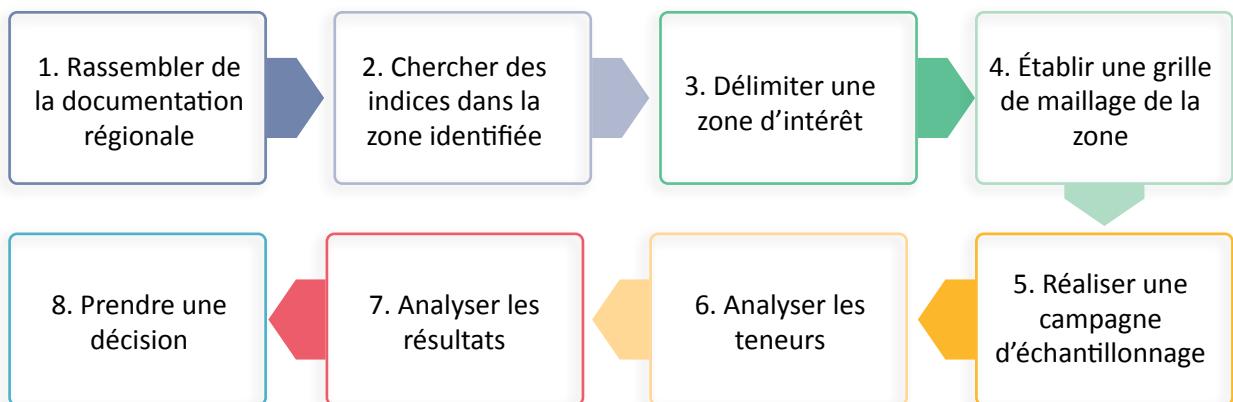


Figure 13. Les étapes d'une campagne d'exploration adaptée pour l'EMAPE.

3.3.1 Se documenter sur les opportunités

Si le projet minier n'a pas d'antécédent, avant toute prospection sur le terrain il est indispensable d'encadrer la zone ciblée et de connaître les restrictions éventuelles qui peuvent s'appliquer. Ce travail doit se faire sur une zone de 10 à 100 km de côté. Une liste incomplète de recherche d'information peut regrouper :

- La consultation de cartes géologiques disponibles (ou demander à un géologue de le faire) pour identifier les zones favorables ;
- L'identification de sites d'exploitation similaires dans la région, des types de gisements exploités et des modes d'exploitation employés ;
- Recenser l'historique minier de la zone considérée ;
- Vérifier la facilité d'accéder à la région en question, y a-t-il des routes praticables ?
- Analyser l'environnement d'ensemble de la zone considérée, et souligner les points difficiles pour une éventuelle exploitation :
 - Les cours d'eau ;
 - La présence de villages et de communautés le long des cours d'eau ;
 - Les aires protégées, les forêts et les zones de production agricoles ;
 - Le relief et les zones instables ou dangereuses (falaises, etc.)
- Identifier les limitations d'ordre social, culturel ou de religion.

Cette étude initiale du contexte peut apporter des informations précieuses pour un projet, en particulier sur les contraintes de l'exploitation, les limitations naturelles ou sociales qui peuvent exister.

3.3.2 Recherche d'indices

Une fois la zone étudiée et identifiée comme favorable, il est indispensable d'aller sur le terrain pour y rechercher des indices de présence de minerai. Plusieurs méthodes sont possibles, mais d'une manière générale les promoteurs du projet peuvent se baser :

- Sur des niveaux de roches qui affleurent à la surface dans la campagne et qui peuvent être favorables (falaises, zones d'éboulements, sillons creusés par l'érosion, etc.) ;
- Sur des lieux indiqués par des personnes comme ayant été exploitées dans le passé pour d'autres ressources similaires (minerais de cuivre, de fer ou de nickel) ;
- Sur des lieux proches d'autres sites d'exploitation récents, dans ce cas cette observation est utile à comparer aux structures du relief.

Sur ces sites, des échantillons peuvent être pris et analysés. Les analyses peuvent se faire :

- De manière visuelle si l'expérience des mineurs est suffisante pour reconnaître des minéraux typiques du cobalt, par leur couleur, leur forme, leur poids et leur dureté, ou des minéraux qui généralement se trouvent associés aux gisements de cobalt, comme les minéraux de fer ou de nickel. Cette méthode ne peut se faire qu'avec l'aide de mineurs expérimentés.
- Par analyse chimique, que l'on va détailler ci-dessous.

3.3.3 Délimitation d'une zone d'intérêt

Les mécanismes d'érosion des roches permettent de déceler des éléments à la surface qui signalent la présence de roches intéressantes en profondeur. Cette présence d'éléments en surface sont appelés des « indices », c'est-à-dire des indications sur la présence de minéraux dans le sous-sol. Souvent la présence d'indices permet de localiser des zones favorables. Les figures ci-dessous montrent des exemples d'indices détectables en surface.

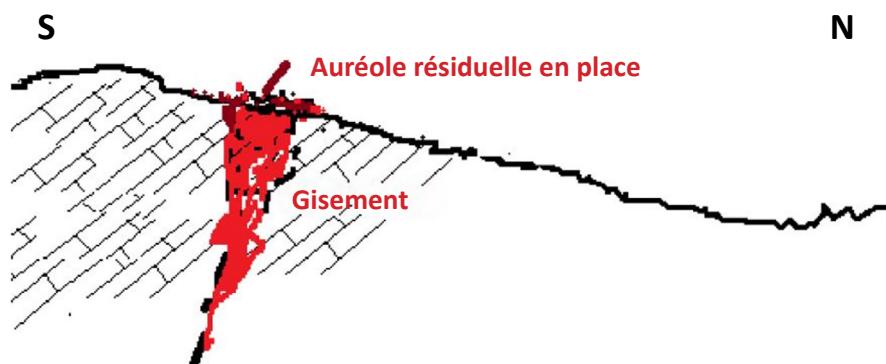


Figure 14. Indices de minéraux résiduels en surface à la verticale d'un gisement. D'après Mezghache, Halimi et Souadnia.

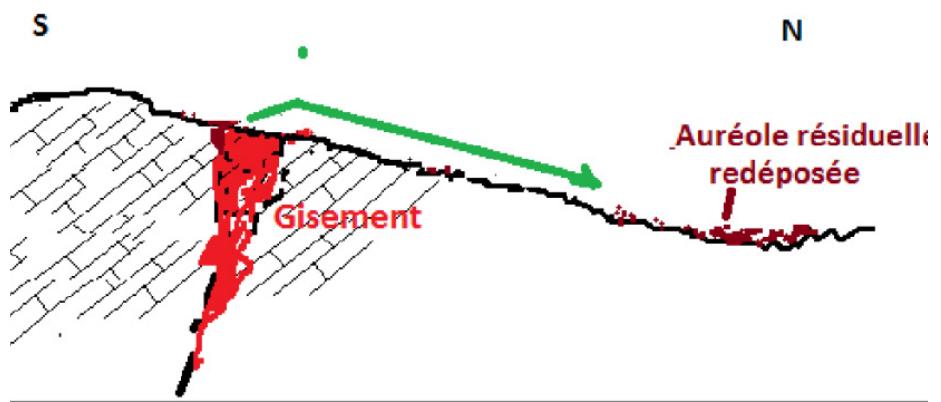


Figure 15. Présence d'indices ayant été transportés par les eaux de ruissellement et indiquant la présence d'un gisement en amont. D'après Mezghache, Halimi et Souadnia.

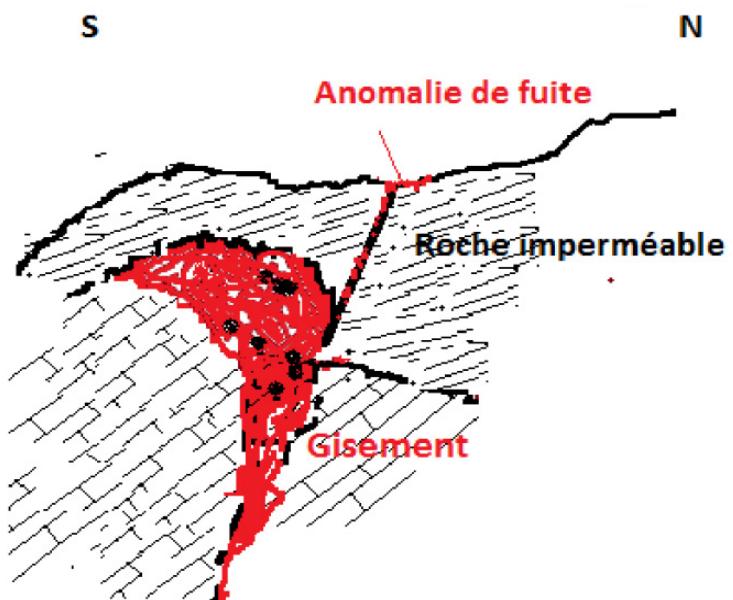


Figure 16 . Indices apparaissant en surface grâce à une fracture dans des roches imperméables, permettant d'identifier un gisement.D'après Mezghache, Halimi et Souadnia.

Les échantillons prélevés au niveau du sol ou dans les premiers centimètres de sols peuvent donc contenir des minéraux enrichis en cobalt-cuivre ou en fer ou nickel (qui accompagnent souvent les minéraux du cobalt).

Dans le cas de l'analyse chimique, il est nécessaire de le faire avec des outils adaptés. Pour l'exploitant minier artisanal, deux possibilités s'offrent à lui :

- Confier les échantillons prélevés à un laboratoire qui fournira un rapport d'analyse des éléments recherchés ;
- Réaliser soi-même une analyse sur le terrain à l'aide d'une méthode d'analyse.

Dans le cas d'une analyse faite soi-même, les appareils adaptés se nomment des appareils portables XRF. Ces appareils permettent de détecter la présence de cobalt, cuivre, fer et nickel avec une précision de 0,1 %, ce qui est adapté aux minéraux recherchés. Ils sont cependant d'un coût élevé (supérieur à 15 000 dollars US), et leur manipulation, même si elle est simplifiée, demande une certaine expérience.



Figure 17. Exemple d'analyseur XRF portatif, © Thermoscientific.

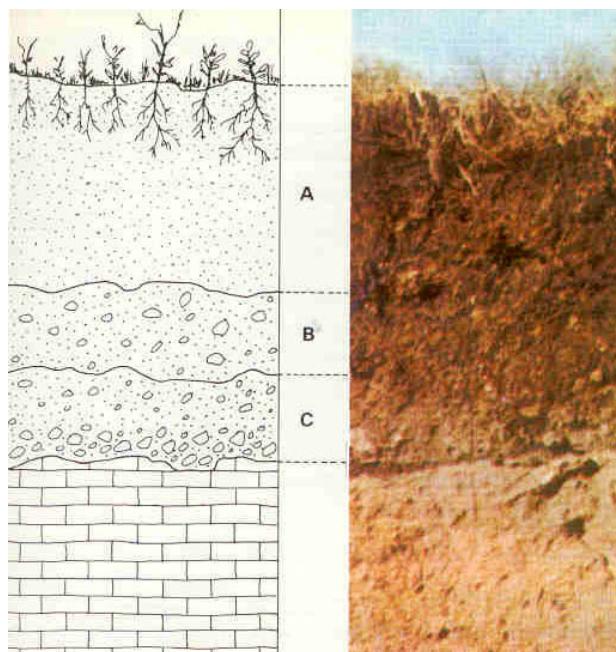


Figure 18. Structure type d'un sol: A) Humus et couche riche en matière végétale, B) Latérite, C) Saprolite, puis en dessous roche-mère peut ou par altérée (Par Carlosblh — Travail personnel, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=563611>).

Les résultats de cette analyse préliminaire servent à repérer les zones les plus favorables, qui sont celles qui pourront faire l'objet d'une prospection plus détaillée. Pour la coopérative en recherche d'un projet, il faudra faire un choix sur la zone qui présente le plus de potentiel et de facilités. Il s'agit d'une zone qui sera analysée avec plus de détail.

3.3.4 Établir une grille de maillage de la zone

La délimitation de la zone se fait directement sur le terrain, en fonction des résultats des étapes précédentes de l'exploration. Plus la zone délimitée sera grande, et plus le travail sera conséquent pour la couvrir, mais en revanche les chances de couvrir complètement la zone d'intérêt seront plus grandes. Pour délimiter la zone, le plus pratique est de réaliser un rectangle qui sera le cadre de la zone à étudier. Cette étape marque le début de la cartographie de la zone étudiée, c'est-à-dire la réalisation d'un dessin sur papier de la zone étudiée. Deux méthodes peuvent être utilisées pour faire la délimitation :

- En utilisant les coordonnées géographiques pour positionner les coins du rectangle. Dans ce cas, à l'aide d'une unité GPS, qui permet de donner les coordonnées géographiques en tout point de la surface de la terre, on repère les coordonnées de la zone qu'on a identifiée sur le terrain et on dessine un schéma qui représente cette zone sur une carte. Puis on dessine un rectangle qui englobe la zone d'intérêt sur la carte (figure 19). On peut ensuite, grâce à l'utilisation du GPS, marquer sur le terrain les coins du rectangle à l'aide de signaux repérables comme des fanions ou des panneaux peints.
- Sans unité GPS, on peut aussi marquer les points d'un rectangle qui englobe la zone d'intérêt. On peut travailler de façon efficace en nombre de pas, par exemple, ce qui permet d'avoir une dimension facile à évaluer lorsqu'on ne dispose pas d'outils électroniques. Si la zone n'est pas trop grande on peut aussi effectuer des mesures avec une longue corde.

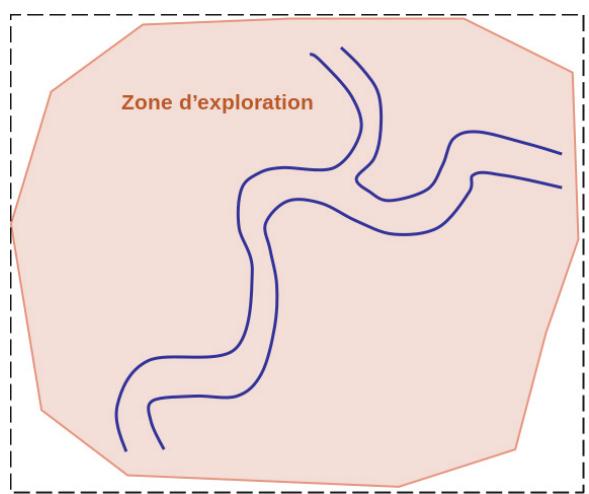


Figure 19 . Cadrage de la zone d'exploitation. Les coins du rectangle sont marqués sur le terrain par des signaux repérables.

On définit ensuite une grille avec un espacement régulier. Chaque point de la grille sera un point d'échantillonnage (figure 20).

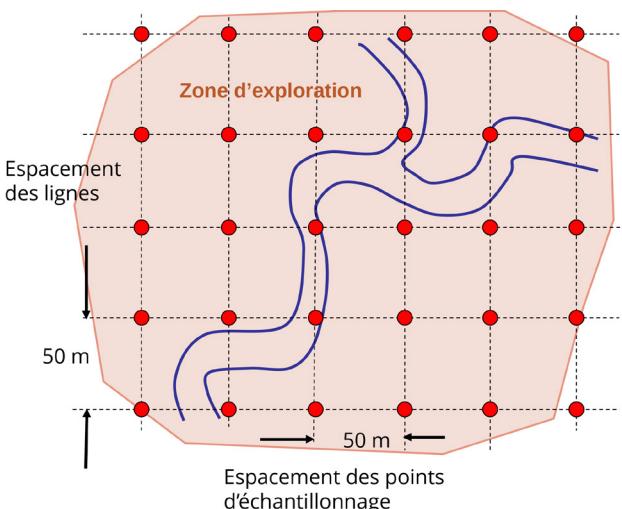


Figure 20. grille des points d'échantillonnage. Ces points doivent être marqués sur le terrain par un fanion ou un panneau et un numéro. Ici on a choisi un espacement de 50 mètres.

Chaque point de la grille est numéroté : par exemple des lignes A, B, C, D, etc. et des colonnes 1, 2, 3, etc. Donc chaque point sera noté par une lettre et un chiffre (figure 21). L'espacement des points de la grille dépend de la taille de la zone à explorer, de la capacité de l'équipe en ressources humaines, temps et moyens à disposition pour réaliser la campagne. Elle dépend aussi de la précision souhaitée pour identifier le gisement. Il faut souligner qu'une exploration peut se dérouler en plusieurs étapes, d'abord avec une maille très large, puis dans un second temps avec une maille plus resserrée afin d'augmenter la précision. Il faut aussi avoir en tête que l'espacement maximum pour une première campagne ne devrait pas être supérieur à 500 m entre 2 points. Classiquement on choisit un espacement de 100 m. L'échantillonnage se fait selon la méthode présentée ci-dessus (chapitre).



Figure 21. Exemple de point d'échantillonnage manuel.

L'interprétation consiste alors à circonscrire sur la carte, qui peut être faite à la main, la zone présentant des teneurs élevées, car elle est supposée contenir une minéralisation en profondeur (figure 22). C'est là que sera concentrée la suite des travaux miniers.

Toutefois, même sans outils informatiques, la position géographique des échantillons qui présentent une teneur élevée correspond à la zone susceptible de contenir la minéralisation en profondeur.

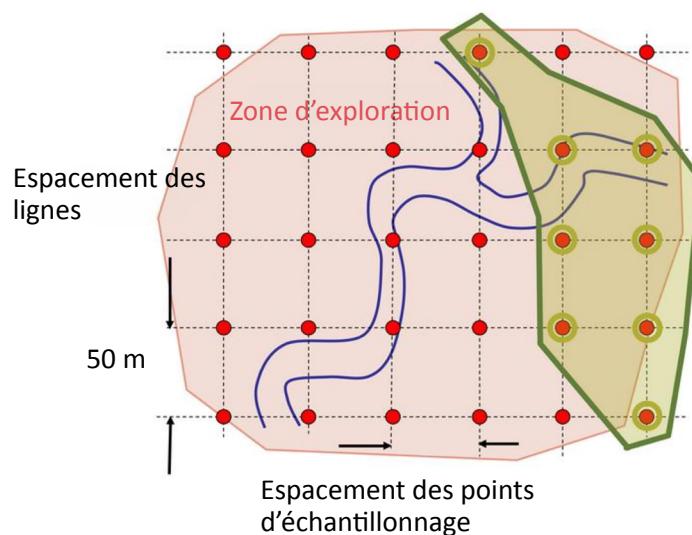


Figure 22. exemple de résultat d'analyse des échantillons aboutissant à la définition d'une aire du gisement en surface.



3.3.5 Réalisation de l'échantillonnage

Pour réaliser un bon échantillonnage, on doit rechercher la couche dans laquelle les minéraux sont préservés, tout en étant proche de la surface du sol. On dépasse la couche d'humus riche en matière organique (figure 18), tout en prélevant dans les niveaux supérieurs. En pratique on recherche le niveau A ou B selon la profondeur des racines de plantes.

Pour réaliser ce type d'échantillonnage plusieurs méthodes existent. Il nécessite l'utilisation de techniques simples et d'un équipement facilement disponible et transportable. Les échantillons peuvent être prélevés rapidement. Bien qu'il en existe plusieurs, deux méthodes d'échantillonnage de sols de faible profondeur sont les plus couramment utilisées : le puits de sondage ou la tarière. L'échantillonnage s'effectue à faible profondeur (moins de 1 m de profondeur).

Méthode par creusement d'un trou de sondage

Le trou d'environ 50 cm à 1 m de profondeur doit permettre le prélèvement d'un échantillon de 2 à 4 kg de sol. Selon la tenue des parois du sol, l'équipe de prélèvement des sols devra faire attention à ne pas prélever du sol qui soit trop en surface.

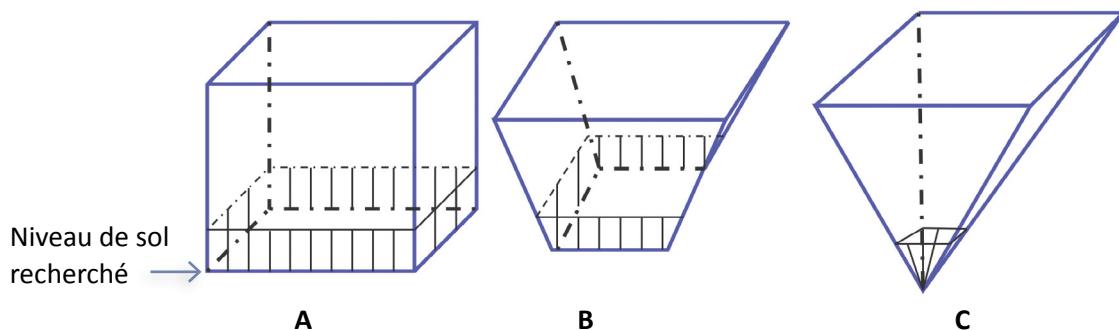


Figure 23. forme du trou de sondage en fonction de la solidité des parois. (A) échantillon le plus représentatif, (B) Le sol a une bonne tenue et on obtient un échantillon un peu moins représentatif, (C) le sol est friable, l'échantillon est moins représentatif.

Le trou doit avoir une bonne surface avec des parois stables afin d'éviter que les sols de surface ne retombent dans le fond et qu'ils soient prélevés. L'échantillon doit être prélevé si possible à la même profondeur, avec des caractéristiques de sols identiques pour chaque trou. L'équipe chargée du prélèvement doit procéder de la façon la plus systématique possible afin de pouvoir reproduire les mêmes conditions d'échantillonnage d'un emplacement à l'autre.



Figure 24. Exemple de trou de sondage dans un sol sableux.

Méthode avec une tarière

Ce système d'échantillonnage comprend une tarière, une rallonge et une poignée en T, reliées ensemble au moyen de raccords permettant de les démonter facilement. Des modèles de tarières sont conçus pour prélever des échantillons dans différents types de sols, allant de sableux à argileux. Leur utilisation est cependant plus difficile dans les sols compacts ou rocaillieux.

Le prélèvement d'un échantillon de sol à l'aide d'une tarière se fait en enfonçant manuellement la tarière dans le sol par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Généralement, deux ou trois révolutions permettent d'enfoncer la tarière d'environ 10 cm. Une fois la tarière enfoncee sur toute sa longueur, elle est retirée du sol et l'échantillon est recueilli en renversant la tarière.



Figure 25. Exemple de tarière en une pièce, pour les sols. © www.geneq.com.



Figure 26. Manipulation d'une tarière manuelle pour sols. © Gexplore.fr.

Bien que la tarière manuelle soit le plus souvent utilisée pour l'échantillonnage de la couche de surface, l'ajout de rallonges supplémentaires peut permettre, à certaines conditions, d'échantillonner plus en profondeur. Toutefois, le risque que l'échantillon se contamine par des particules de sols provenant des couches supérieures lors de la remontée de l'échantillon augmente avec la profondeur. Les tarières dont le diamètre est égal ou supérieur à 5 cm sont recommandées, car elles permettent de récupérer un volume supérieur de sol.

3.3.6 Emballage des échantillons

Les échantillons sont pesés et soigneusement emballés dans un sac plastique solide et qui ferme. Pour chaque échantillon, des données doivent être recueillies dans un carnet. Un système de numérotation unique pour chaque échantillon doit être choisi et doit contenir le point de prélèvement de la grille d'exploitation. Ainsi, le même numéro attribué au moment du prélèvement de l'échantillon est repris lors de son analyse, de son traitement et du stockage de l'information qui lui est attribuée.

Tableau 3: Paramètres à recueillir pour un échantillon d'analyse. Les points marqués d'une astérisque (*) sont nécessaires.

Informations à collecter lors d'un échantillonnage	
Numéro de l'échantillon*	
Nom de la personne qui effectue le prélèvement*	
Localisation (point GPS ou point de la grille de prélèvement)*	
Description rapide de l'échantillon (type de minéraux, grosseur des particules, etc.)	
Notes additionnelles d'intérêt	

Les informations collectées lors de l'échantillonnage sont indispensables pour mener à bien l'interprétation des résultats. Les sachets plastiques doivent être fermés et marqués avec une étiquette qui précise le numéro de l'échantillon et son point de prélèvement, la date et le nom de la personne qui effectue le prélèvement.



Figure 27 . exemple de sachets d'échantillons.



Que retenir de cela ?

- L'exploration est utile pour tout type de projet minier, y compris les plus modestes, car elle permet de mieux connaître le gisement (forme, étendue, teneur en cobalt) ;
- Il est possible de mettre en place une opération d'exploration adaptée pour les projets EMAPE, en 3 étapes : la documentation pour identifier les régions favorables, la recherche d'indices, puis une campagne d'échantillonnage détaillée qui permet de définir le périmètre du gisement ;
- La campagne peut être réussie si l'on prend bien en compte les coûts, la période de réalisation, la minimisation des impacts environnementaux et l'utilisation de techniques adaptées donnant des résultats concrets ;
- La réalisation d'une campagne d'exploration passe par les étapes de :
 - Recherche d'opportunités ;
 - Recherche d'indices ;
 - Réalisation d'une campagne d'analyses chimiques basée sur le maillage d'une zone favorable ;
- Des indices dans le sol peuvent refléter la présence de gisement en profondeur ;
- Une analyse chimique d'échantillons de sols collectés juste en dessous de la surface peut détecter la présence de minéraux de cobalt ;
- Des méthodes manuelles comme la tarière et le creusage de trou sont adaptées pour une campagne d'exploration d'EMAPE ;
- L'analyse des résultats permet de cerner le gisement avec les meilleures teneurs.



Testez vos connaissances

Tentez de répondre aux questions ci-dessous et vérifiez vos réponses en annexe 6.1.

Question	Vrai	Faux
1. L'exploration est une activité qui ne concerne pas l'exploitation minière artisanale.		
2. Pendant l'exploration, il est possible de faire des puits.		
3. L'exploration simplifiée permet seulement de connaître le périmètre du gisement.		
4. L'exploration demande de faire une cartographie de la zone à explorer.		

SEANCE 4

TECHNIQUES D'EXPLOITATION MINIÈRE



Objectifs de la séance

- Connaitre les principales techniques d'exploitation minière adaptées à l'EMAPE
- Gérer la sécurisation des structures pour les mines à ciel ouvert et les mines souterraines ;



Introduction

L'exploitation minière est une activité ancienne qui a connu un développement très important depuis la révolution industrielle il y a 200 ans, puisqu'elle est passée progressivement du stade de l'artisanat à l'industrie lourde. Cette progression s'est accompagnée d'une évolution technique très importante pleinement à l'œuvre actuellement. Ces techniques sont pour la plupart dédiées à l'optimisation des étapes pour extraire à moindre coût les substances qui ont un intérêt économique, mais aussi pour établir des méthodes de travail plus sûres et durables sur le temps de l'exploitation. Ces deux aspects de l'exploitation sont intimement liés, car la sécurité au travail signifie aussi une efficacité opérationnelle.

Les techniques minières classiques sont bien connues et maîtrisées par les exploitants miniers artisanaux. Les plus classiques sont rappelées ici et associées aux points de bonnes pratiques dans le cadre de l'exploitation à ciel ouvert et souterraine. Dans l'EMAPE de cobalt, ces deux systèmes coexistent souvent.



Testez vos connaissances

Pour commencer cette partie, testez vos connaissances en répondant aux questions suivantes. Lisez ensuite la partie et, à la fin, vous pourrez repasser le test et vérifier si vous vous êtes amélioré.

Cochez dans la case **Vrai** ou **Faux**

Question	Vrai	Faux
1. Une mine à ciel ouvert est toujours exploitée selon la technique de la découverte		
2. Dans une mine souterraine le plus important est la tenue des structures pour éviter les chutes de pierres et les effondrements.		
3. L'exploitation souterraine permet de réduire la quantité de roches stériles à dégager.		
4. La gestion des remblais requiert de les éloigner des structures de gradins		
5. Dans une mine souterraine les piliers servent à mieux gérer le filon.		

4.1 Exploitation à ciel ouvert

L'exploitation d'une mine à ciel ouvert consiste à créer une excavation — la « fosse » d'excavation — créée en surface après avoir enlevé les matériaux stériles qui le surmontent. Elles sont mises en œuvre pour des gisements situés proches de la surface, typiquement entre 0 et 400 m de profondeur dans l'industrie, et au plus une centaine de mètres dans l'EMAPE. On doit souligner que les mines exploitées à ciel ouvert comportent souvent une partie exploitée en méthodes souterraines.

Les exploitations à ciel ouvert requièrent généralement de dégager et transporter de grands volumes de roches stériles (sans substance intéressante) ce qui est largement facilité par l'emploi d'engins de chantier lourds et très coûteux. Les mineurs artisanaux font fréquemment appel à la location de tels engins pour gagner du temps et avoir un meilleur accès à la ressource. La conception optimale des ouvrages doit intégrer les concepts de sécurité, de récupération du minerai et de rentabilité. Les opérateurs doivent gérer de très près la stabilité des ouvrages sous peine d'avoir à investir dans le dégagement de zones effondrées ou ayant subi des glissements de terrain.



Figure 28. exemple de fosse d'extraction à ciel ouvert avec des engins lourds et des artisans miniers, et des ouvrages souterrains en base de fosse.

L'exploitation à ciel ouvert comprend généralement les étapes de travail suivantes :

- 1) Décapage ou découverte** : il s'agit de retirer les terrains situés en surface pour mettre à nu les niveaux à exploiter. On retire ainsi la terre végétale, les roches plus ou moins altérées et les roches stériles ;
- 2) Abattage** : cette étape consiste à dégager le minerai des autres roches, soit à l'aide moyen mécaniques, soit par l'usage d'explosifs (dans le contexte industriel uniquement) ;
- 3) Chargement** : il s'agit de déblayer la zone des roches abattues. Qui peuvent être soit des stériles soit du minerai. Dans le cas d'un abattage mécanique, le chargement est combiné à la phase d'abattage puisque les outils utilisés (pioche, pelles, etc., ou pelle mécanique) déblaient directement les roches ;



Figure 29. autre type de fosse, réalisée sans engins lourds pour l'exploitation du cobalt.

4) Transport : il s'agit de déplacer les diverses roches déblayées vers la zone de traitement (Usine de traitement de minerais) ou de stockage. S'il s'agit de roches stériles, elles sont entassées dans des zones spécifiques pour la réhabilitation (voir **module 3** sur la gestion environnementale).

5) Traitement du mineraï.

6) Purge : c'est une activité régulière qui consiste à vérifier les risques d'éboulement, chute de pierres au niveau des gradins (à l'aide de pinces à purger notamment).

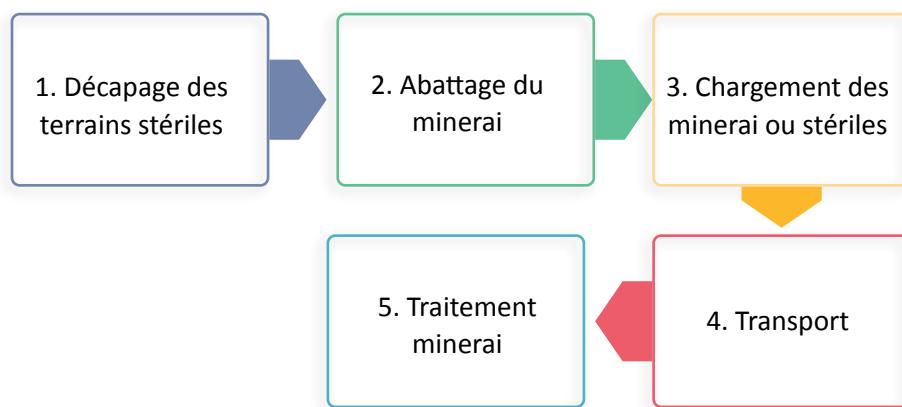
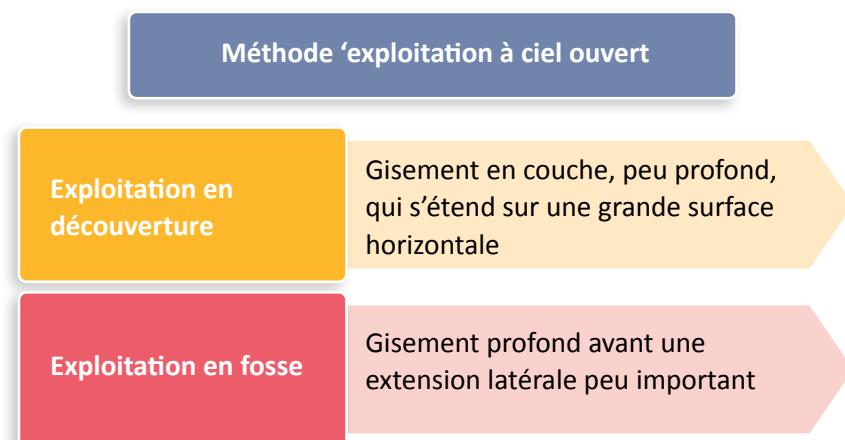


Figure 30. Principales étapes de l'exploitation à ciel ouvert.

On remarquera que le travail de purge n'est pas directement associé à la production mais à l'entretien des structures de l'exploitation, principalement les gradins.

On distingue classiquement deux méthodes d'exploitation minière à ciel ouvert, selon la disposition des zones minéralisées.





4.1.1 Exploitation en découverte

La découverte commence par une tranchée ouverte dans le recouvrement stérile sur toute la largeur du panneau à exploiter jusqu'au toit de la minéralisation, puis elle est élargie progressivement vers les extrémités du panneau (front de découverte). L'exploitation du minerai se fait de la même façon, à partir d'une tranche initiale qui progresse parallèlement à la découverte (front d'exploitation), les stériles étant généralement remis en place au fur et à mesure pour combler l'excavation (front de remblai) (figure 31).

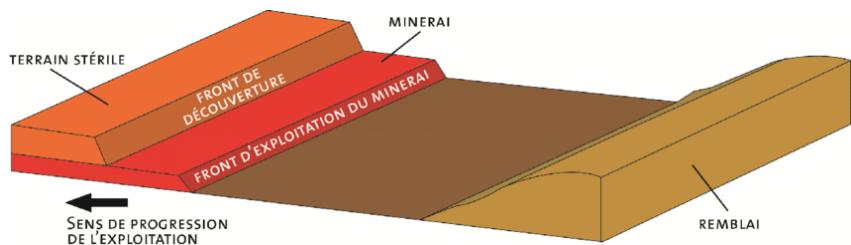


Figure 31. schéma d'exploitation à ciel ouvert d'un gisement horizontal ou faiblement incliné (et peu profond). D'après BRGM, collection la mine en France, tome 6, 2017.

Observée latéralement la méthode permet de minimiser les travaux de réhabilitation, le remblai servant à maintenir une largeur d'exploitation faible. La progression ne requiert pas de stockage trop important de stériles (figure 32).

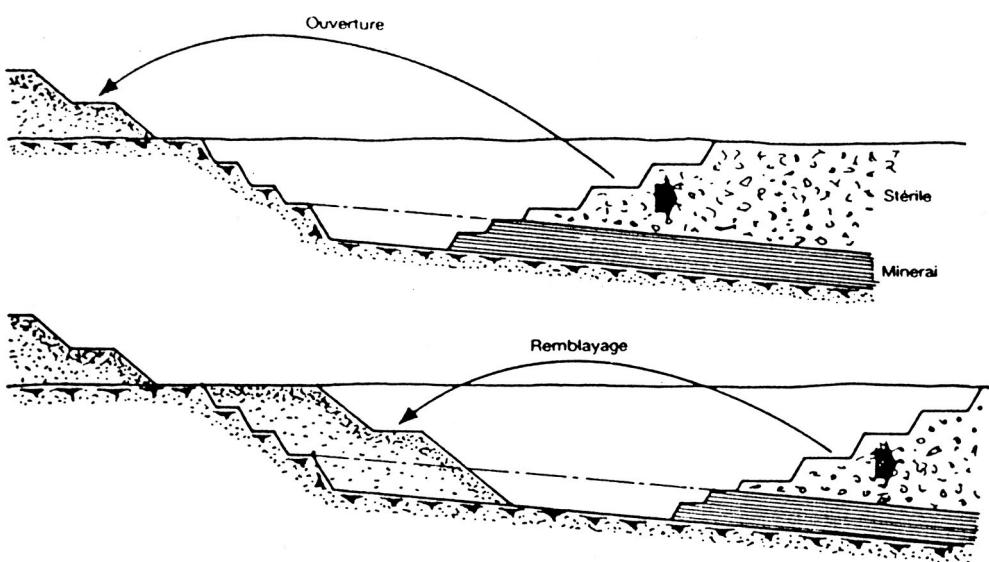


Figure 32. exemple de progression latérale d'exploitation dans le cas d'une couche inclinée.

On peut noter aussi d'après la figure 32 qu'au fur et à mesure de la progression latérale, la couche de roches stériles deviendra très épaisse, et par conséquent le coût du décapage va considérablement augmenter. La bonne connaissance du gisement est un point clef dans ce type de configuration pour une planification qui prévoit ce type de problème. En effet, si l'exploitation souterraine est généralement considérée comme plus coûteuse que celle à ciel ouvert, cela est en fait dépendant de la profondeur, de la qualité de la roche qui contient le minerai et d'autres facteurs. La figure 33 montre une évolution typique de l'exploitation d'une couche inclinée.

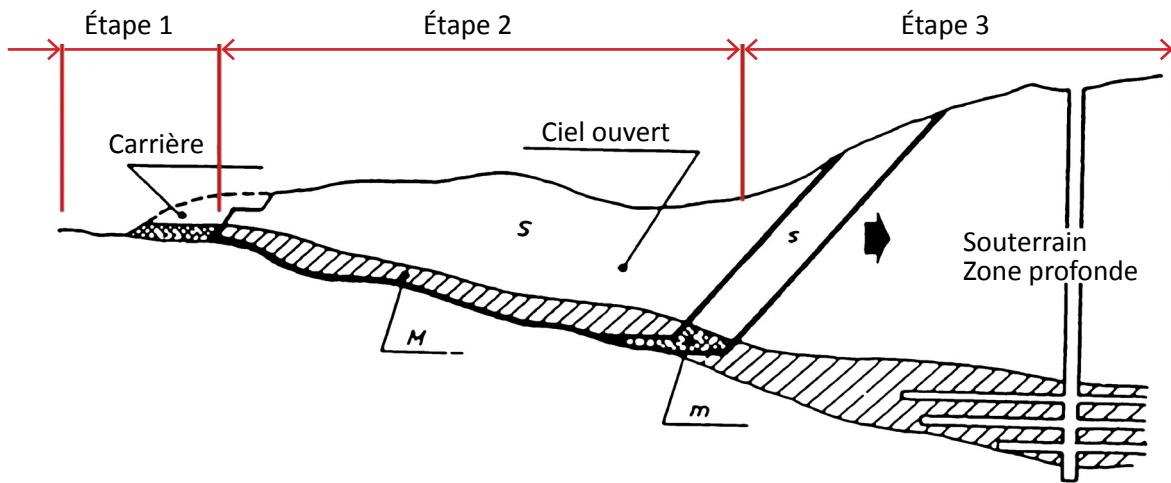


Figure 33. étapes de l'exploitation d'une couche inclinée. Le rapport entre la quantité de matière à découvrir et le minerai exploitable vont décider du changement d'option entre ciel ouvert et souterrain.

4.1.2 Exploitation en fosse

La découverte porte alors sur tout le volume du cône qui constitue la fosse. Tous les matériaux stériles sont évacués hors de la fosse et stockés pour remblayage futur du trou. Cette méthode est réservée aux filons, aux couches fortement pentées et aux amas. Le taux de découverte s'accroît très vite avec la profondeur, ce qui limite l'intérêt économique de la méthode.

La fosse s'étage selon une succession de gradins et de banquettes dont la pente assure la stabilité locale et globale de l'excavation (30° à 75° , selon la nature des roches). Le maintien d'une pente régulière demeure complexe puisque les massifs rocheux traversés sont souvent hétérogènes et fracturés. Les massifs meubles sont relativement plus sensibles à une mauvaise gestion des eaux.

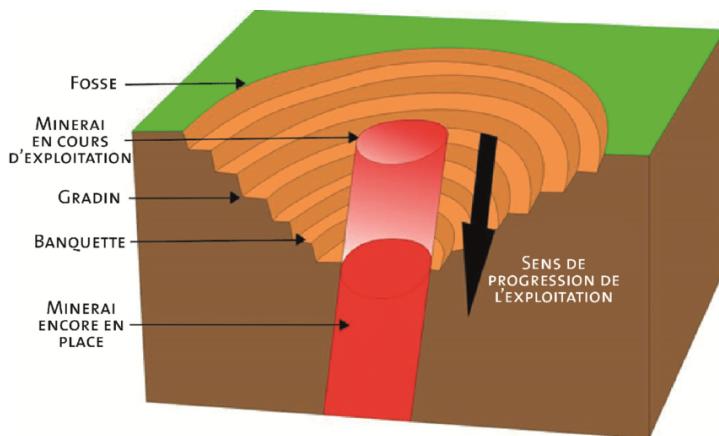


Figure 34. d'une exploitation à ciel ouvert en fosse. D'après BRGM, collection la mine en France, tome 6, 2017.

La progression de ce type d'exploitation peut également conduire à la mise en place d'une exploitation souterraine.

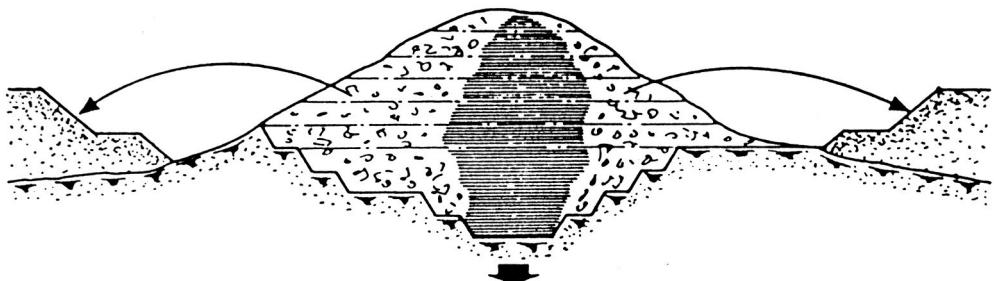


Figure 35. Schéma d'exploitation et repositionnement des stériles pour un gisement vertical de type amas.

Dans le cas particulier de l'exploitation artisanale du cobalt, les mineurs réalisent sur le gisement une « fosse » sur une aire limitée dont la profondeur permet d'atteindre et d'exploiter les parties de celui-ci situées à proximité de la surface topographique (Typiquement entre 0 et 20 m de profondeur). Voir un exemple en figure 28. La réussite de cette technique nécessite le fonçage préalable d'un puits afin de connaître la profondeur à laquelle se situe la minéralisation recherchée, pour ensuite évaluer l'aire de la fosse et le nombre de gradins à réaliser.

4.2 Gestion des structures à ciel ouvert

Dans le contexte d'une EMAPE à ciel ouvert, le potentiel d'instabilité des pentes peut avoir un impact important sur la sécurité des travailleurs et sur les activités de production en général. Les bonnes pratiques techniques requièrent une surveillance régulière des structures telles que les gradins, talus de remblais et structures d'évacuation des eaux. Elles sont effectuées par des exploitants expérimentés. Les techniques recommandent également d'adopter des techniques qui minimisent les accidents et les fragilités dans les structures avec la règle générale suivante :



D'une manière générale on tentera de limiter les instabilités de terrain dues à la fragilité des roches travaillées et à la circulation des eaux. On évitera les surplombs quels qu'ils soient (figure 36).



Figure 36. Exemple de surplomb dans une mine de cobalt.

Pour la forme des gradins, on adoptera la règle simple suivante (figure 37) :

- Pour des roches ou déblais fragiles (meubles), les bancs des gradins doivent être 3 fois plus larges que leur hauteur ;
- Pour les roches ou déblais solides ou durs, les bancs des gradins peuvent être aussi larges que leur hauteur.

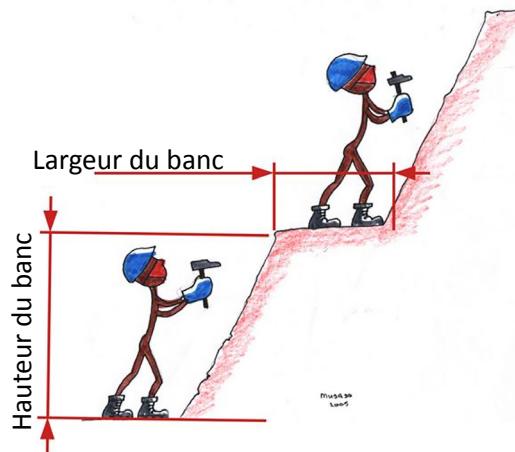


Figure 37. Caractéristique des gradins. D'après le guide de la sécurité et l'hygiène dans les mines artisanales du Katanga, 2005.

4.2.1 Fragilités des gradins

Le repérage de fragilités le long de gradins ou talus exige de pouvoir repérer à l'avance des signes avant-coureurs. On note quatre modes habituels de rupture des bancs de grading selon le type de fragilité.

Rupture plane

Cette rupture se produit par glissement le long d'une cassure ou fragilité longue, ou d'une famille de fissures parallèle au talus et présentant une倾inlaison défavorable dans le sens du talus. Il produit des éboulement de roche importants et dangereux, qui peuvent stopper les travaux pendant plusieurs jours.

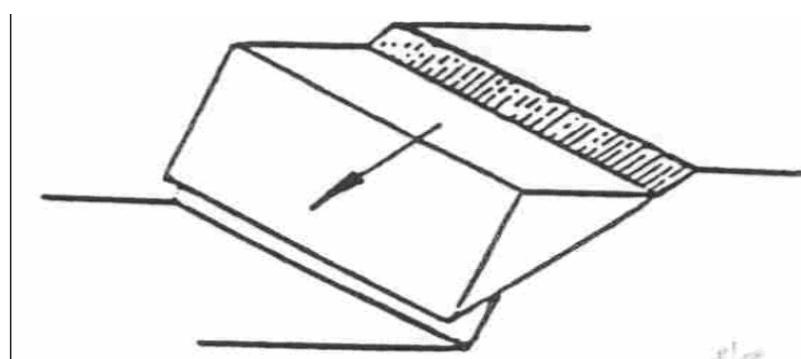


Figure 38. Rupture par glissement des bancs. D'après Hadj-Hassen, École des Mines Paris Fontainebleau.



Rupture circulaire

Cette rupture se produit dans un terrain homogène de faible résistance ou faible cohésion. Le massif ne présentant pas de directions préférentielles de glissement, la rupture se fait par cisaillement du terrain le long d'une loupe de glissement (ligne circulaire).

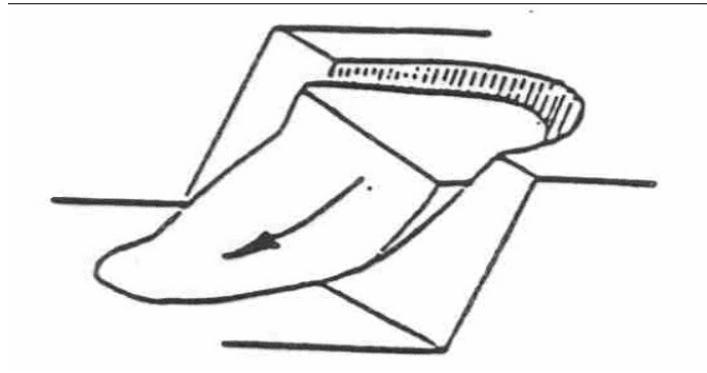


Figure 39. schéma d'une rupture circulaire de gradin. D'après Hadj-Hassen, École des Mines Paris Fontaineblau.

Les terrains favorables à ce mode de rupture sont les sols, les remblais, les roches homogènes peu compétentes ainsi que les roches résistantes, mais dont le niveau de fracturation leur confère des caractéristiques mécaniques en masse très faibles.

Rupture en « dièdres »

Cette rupture se produit lorsque le terrain est découpé par plusieurs familles de cassures qui se recoupent. Ces fissures créent des blocs qui, s'ils sont orientés dans le sens de la pente peuvent se détacher et glisser.

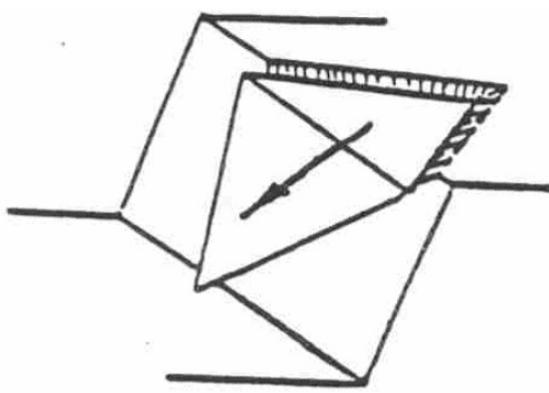


Figure 40. schéma de glissement en dièdre. D'après Hadj-Hassen, École des Mines Paris Fontaineblau.

Ce mode de rupture est moins dangereux que les deux précédents. Il se produit généralement à une plus petite échelle (1 ou 2 gradins), mais il peut causer des dommages importants.

Rupture par basculement

Ce mode de rupture est beaucoup plus rare que les 3 précédents. Il se produit lorsque le massif est découpé par une famille de fissures importantes avec les caractéristiques suivantes :

- Orientation parallèle au talus ;
- Fort pendage ;
- Écartement réduit entre les fissures, ce qui conduit à la formation de plaques de faible épaisseur.

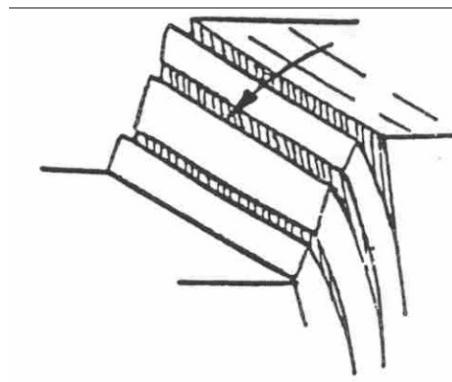


Figure 41. schéma de rupture par basculement. D'après Hadj-Hassen, École des Mines Paris Fontainebleau.

La rupture se produit par décollement des plaques et leur basculement. On verrait ainsi une dégradation progressive des gradins qui pourrait conduire à l'instabilité du talus.

Purge

La purge est une opération qui consiste à éliminer les pierres et les blocs qui sont des éléments instables à l'aide des techniques et outils adaptés (Pinces à purger, par exemple) tout en évitant de déstabiliser la zone à préserver. Elle réduit le risque de chutes à court et moyen terme. Généralement, cette technique est utilisée dans le cas des glissements de tailles modestes et aussi dans le cas où le terrain est en forte pente notamment si la profondeur de rupture est faible.



Figure 42 . schéma purge des gradins, par au dessus et par en dessous. D'après Walle & Jennings, 2001.



Reprofilage

On parle du reprofilage lorsqu'il s'agit de l'adoucissement de la pente du talus dans le but de prévenir la chute de blocs instables. L'exécution du reprofilage se fait à l'aide d'engins mécaniques.

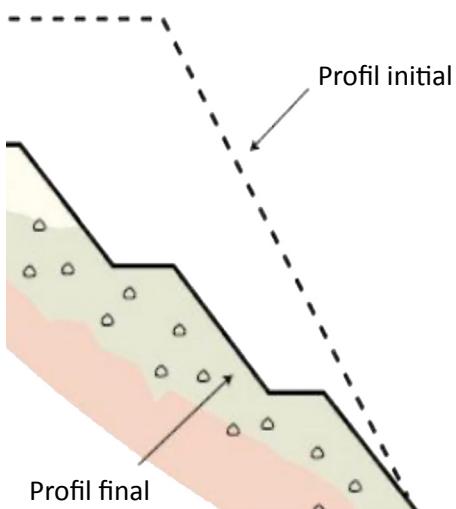


Figure 43. Schéma de reprofilage d'une pente instable et trop haute. D'après Ahmari, 2021.

4.2.2 Gestion des remblais

Les remblais sont produits par l'extraction de roches stériles des fosses et tranchées d'extraction, en général en très grandes quantités. Étant une matière meuble, elle a tendance à être transportée le long des pentes au cours des épisodes de pluie ou simplement lorsque des vibrations sont transmises dans le sol (par exemple par la circulation de camions). Dans l'EMAPE les remblais sont difficilement gérés et peuvent causer des dégâts importants qui sont très coûteux à corriger et dangereux pour les personnes concernées. Le principe de base dans la gestion de ces structures consiste à éviter les risques de glissement, en particulier à proximité de gradins. On veillera donc à éloigner à distance raisonnable des ouvrages à ciel ouvert les zones de dépôts de stériles.



Figure 44. exemple de remblai non géré dans une EMAPE de cobalt.

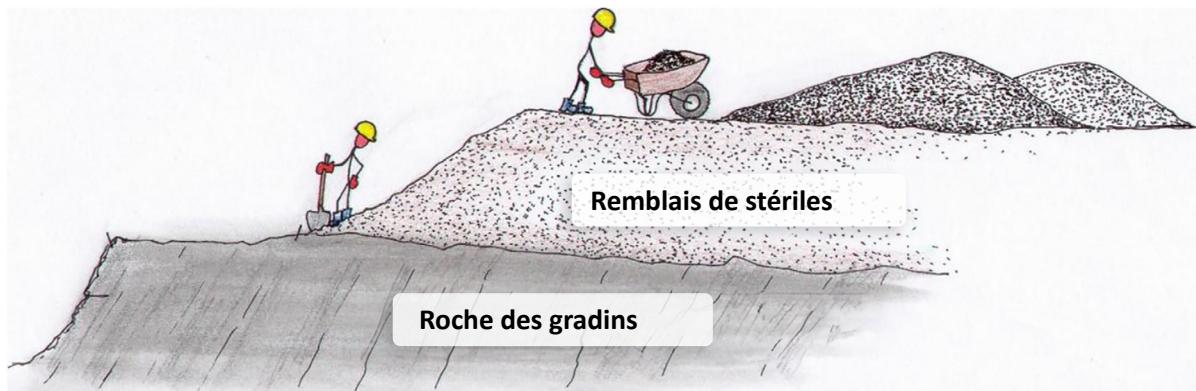


Figure 45. disposition du remblai à distance du bord des gradins.D'après Walle & Jennings, 2001.

On souligne également qu'il existe des dispositions environnementales qui permettent de mieux contenir les remblais, comme la revégétalisation, abordée dans le module 3. Lorsqu'il n'est pas possible de gérer les remblais hors de la zone d'extraction, il devient alors obligatoire de monter des structures de retenue qui doivent être périodiquement surveillées. Dans l'EMAPE, les murs de retenue réalisés avec des sacs des mêmes roches stériles et assez efficaces.



Figure 46. zone de retenue des remblais de stériles faite avec des sacs de remblai, dans une exploitation de cobalt.

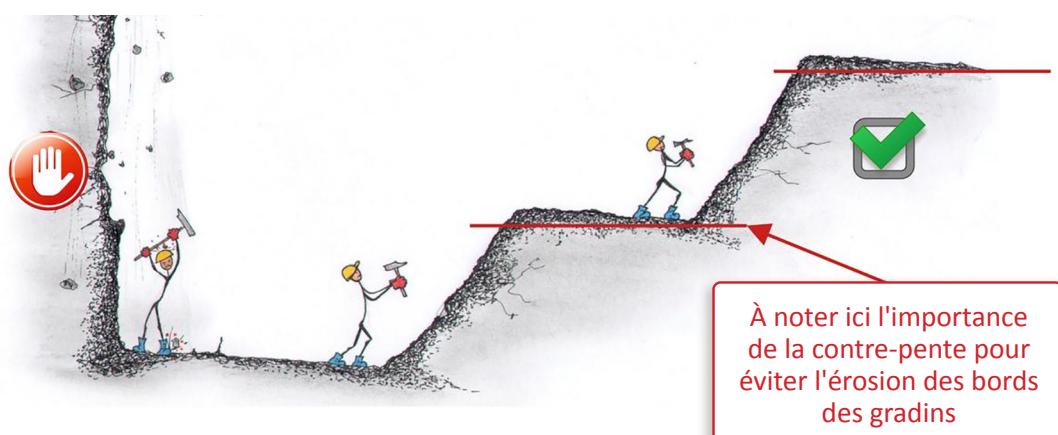


Figure 47. schéma des profils de gradins, avec contre-pente, d'après Walle & Jennings, 2001.

4.2.3 Gestion des eaux dans les sites à ciel ouvert

Les eaux de pluies et les eaux d'infiltration ont des effets néfastes sur les structures à ciel ouvert, en creusant des zones de fragilités qui peuvent conduire à des ruptures, et en réduisant la cohésion des remblais et roches. Lors de la mise en place de gradins, il est indispensable de faire une surveillance rapprochée après chaque pluie importante. Les gradins doivent être conçus de manière à éviter la dégradation du bord du banc (figure 47). Cette gestion oblige les mineurs artisanaux à gérer la collecte des eaux, et éviter toute dégradation technique importante due à l'érosion par les eaux de pluie. Nous avons vu dans le **module 3** des méthodes pour gérer ces phénomènes qui ont un impact important sur l'environnement, ils peuvent aussi avoir des conséquences sur la performance de l'exploitation.



Figure 48. méthode d'installation d'un pompe pour le vidage de la fosse d'extraction.
D'après Walle & Jennings, 2001.



Figure 49. exemple de fosse inondée empêchant tout travail minier.

Dans le cas d'une exploitation en fosse, le risque principal est que les eaux s'accumulent à la base de la fosse, empêchant tout travail minier (figure 49). L'unique solution dans ce cas est de procéder au pompage de l'eau aussitôt que possible afin d'éviter la fragilisation de la base des gradins par l'infiltration des eaux (figure 48).

4.3 Exploitation souterraine

L'exploitation d'une mine souterraine consiste à exploiter le mineraï depuis une excavation créée sous la surface du sol, en souterrain, sans avoir à enlever l'intégralité des matériaux stériles qui le surmontent. Pour une exploitation souterraine, une quantité minimale de roches stériles est donc enlevée pour accéder au gisement. Elle correspond aux travaux des structures d'accès et d'évacuation du personnel, mineraï et matériel comme les rampes, descenderies, galeries, puits, etc. Elles assurent aussi l'aération et l'évacuation des eaux (exhaure). Les travaux souterrains sont très fréquemment utilisés en exploitation artisanale, car ils ne requièrent pas de matériel lourd et cher. Le fait de ne pas avoir à mobiliser trop de roches stériles est aussi un avantage énorme pour les mineurs artisanaux. Bien que la mise en œuvre des travaux miniers souterrains soit restreinte par la réglementation en exploitation minière artisanale, elle est très fréquemment développée dans le secteur du cobalt-cuivre. Des puits et galeries sont parfois créés jusqu'à plus de 80 m de profondeur. Notons que sans ces dispositifs, les mineraïs d'intérêt ne seraient pas accessibles. Des chambres et piliers sont réalisés et renforcés par des dispositifs de soutènement (Boisage, muraillement), de ventilation (Souffleurs électriques) et parfois d'exhaure (pompes immergées) pour pouvoir extraire le mineraï.

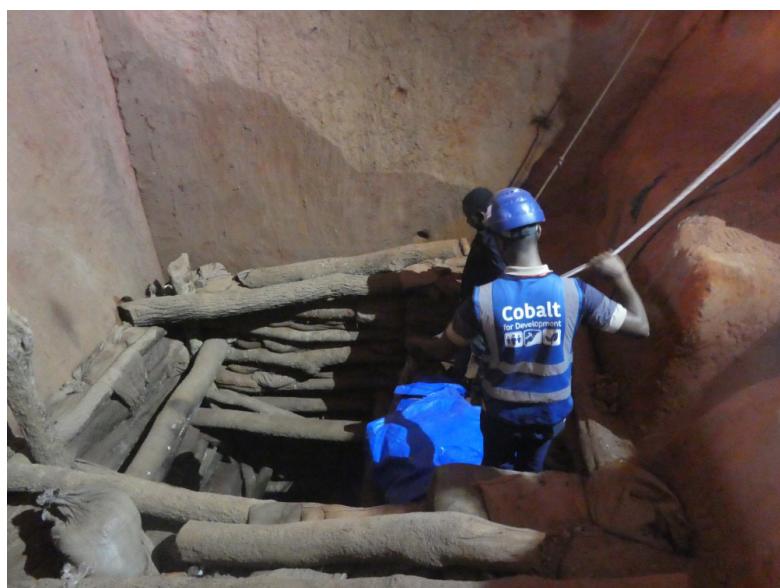
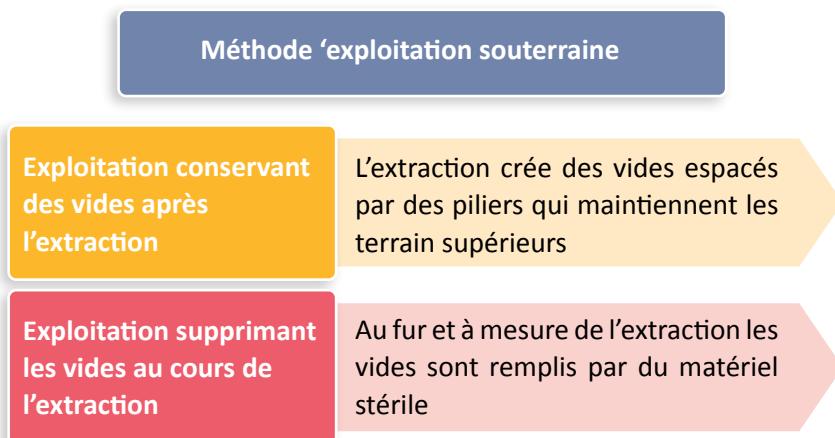


Figure 50. entrée de puits dans une mine de cobalt.

Les mines souterraines ont en commun la recherche de la rentabilité et de la sécurité à travers des techniques spécifiques pour l'abattage et l'extraction du mineraï. Comme précédemment, le choix entre les différentes techniques d'exploitation souterraine dépend du type de gisement et de la roche qui l'entoure (roche encaissante). On doit tenir compte de :

- La géométrie du gisement (couche, amas, filon, subhorizontal, subvertical, épais, mince, positionnement par rapport au relief) ;
- La dureté du mineraï (friable, résistant) ;
- La nature de l'encaissant et sa délimitation avec le mineraï.

On distingue deux grandes familles de modes d'exploitation :



Les étapes classiques d'une exploitation souterraine EMAPE sont les suivantes :

- 1) **Création des structures** : fonçage des puits, mise en place des galeries ou tunnels, installation des mécanismes d'évacuation
- 2) **Abattage** : fait uniquement avec des moyens mécaniques ;
- 3) **Ventilation ou aérage** : permet d'assurer le renouvellement de l'air pour les travailleurs au fond ;
- 4) **Purge** : il s'agit de sécuriser les structures souterraines, notamment après des épisodes de pluies et après chaque période d'abattage sur le front d'extraction, afin d'éviter les risques d'accidents par chutes de pierres ou éboulement ;
- 5) **Changement et transport** : Il s'agit de déplacer le minerai du front d'abattage vers le système d'extraction ;
- 6) **Soutènement ou boisage** : il s'agit de sécuriser l'ensemble des ouvrages souterrains des risques de chutes et d'éboulements.

L'ensemble de ces actions est détaillé ci-dessous. On notera que les actions de ventilation/aérage, purge et soutènement ne sont pas directement liées à la production, mais servent à garantir des conditions de travail acceptables pour les EMA.



Figure 51. exemple de puits de descente équipé d'un treuil électrique pour faciliter la descente du matériel et du personnel ainsi que la remontée du minerai.

4.3.1 Exploitation souterraine d'un gisement horizontal

La méthode classique de **chambre et piliers abandonnés** est très employée dans la mine artisanale. Elle consiste à retirer uniquement une partie du minerai de la couche, en laissant des piliers en place qui supportent le poids des terrains au-dessus et assurent la stabilité globale de la mine. Les chambres servent de voies pour le transport du minerai. Dans le cas de l'EMAPE, il est fréquent de voir des exploitants artisanaux abattre du minerai au pied des piliers ce qui contribue à les fragiliser, jusqu'à provoquer des éboulements mortels.

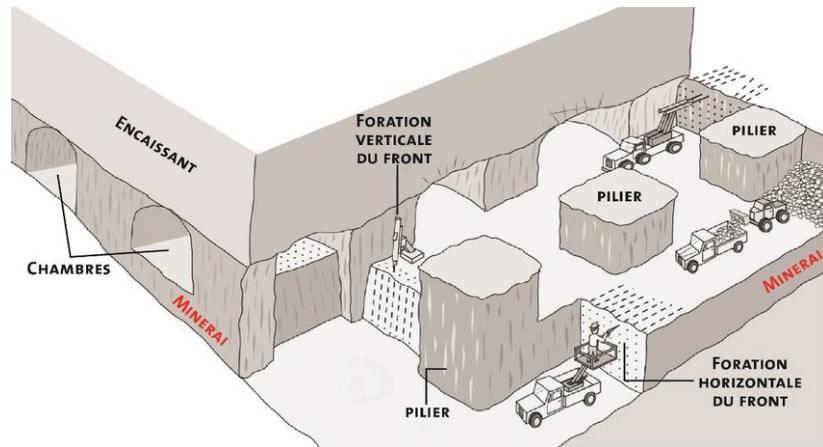


Figure 52. Schéma d'une exploitation par chambre et piliers abandonnés. D'après BRGM, tome 6, 2017.

4.3.2 Exploitation souterraine d'un gisement vertical

Dans le cas d'un gisement vertical, et selon sa position, on peut appliquer la méthode des **tranches montantes remblayées** qui consiste à remblayer avec du stérile les zones de minerai extraits, afin d'avoir toujours un niveau à hauteur du front d'abattage. Ce mode d'exploitation n'est pratiquement pas développé dans les EMAPE africaines. En revanche il est fréquent dans les structures avec du relief comme au Pérou.

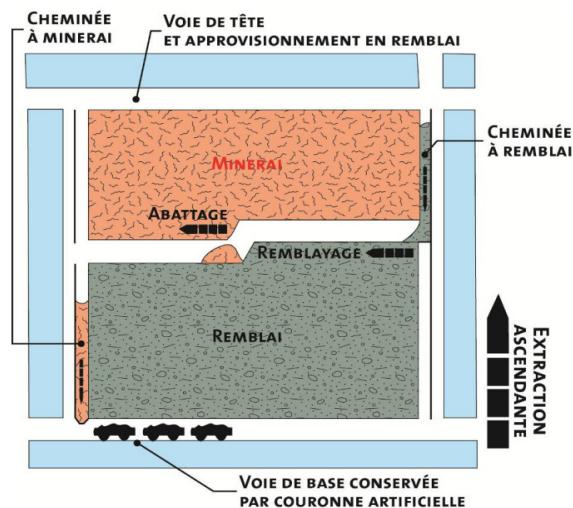


Figure 53. schéma d'exploitation par tranches montantes remblayées. D'après BRGM, Tome 6, 2017.



4.4 La gestion des structures souterraines

Afin d'optimiser l'activité minière souterraine, pour assurer à la fois sécurité et productivité, les structures souterraines, puits et galeries, doivent être souvent renforcées et surveillées. Elles doivent en plus avoir une taille qui permet le déplacement rapide en cas de danger imminent. Plusieurs points essentiels doivent être scrupuleusement observés.

4.4.1 Les ouvrages de soutènement

Les ouvrages de maintien des structures souterraines sont essentiels pour éviter les accidents et maintenir une exploitation en bon état de fonctionnement. Le besoin de renforcement des structures dépend de la qualité de la roche, en particulier son degré de fracturation. Si elle n'est pas fracturée

Roche pas fracturée	Roche peu fracturée	Roche fragile, très fracturée
 <p>Dans la roche dure et stable, les galeries et autres structures peuvent tenir plusieurs années sans aucun support.</p>	 <p>Dans les roches un peu fracturées, les structures auront besoin de soutènements et renforts pour éviter des accidents de type chute de pierres.</p>	 <p>Dans les roches peu solides, les structures ont besoin de beaucoup de renforts pour éviter les chutes de pierres et les éboulements de mine.</p>

Or la pression des roches au-dessus d'un tunnel ou autour d'un puits peut être très importante ! Pour une épaisseur de 100 m de roches au-dessus d'une galerie, la pression peut être de plusieurs centaines de tonnes par mètre carré !

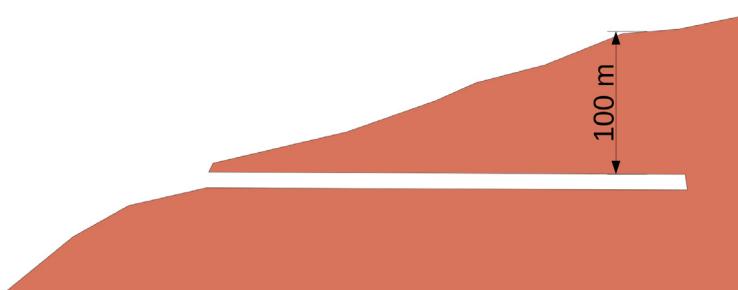


Figure 54. vue en coupe de la hauteur de roche au-dessus d'une galerie souterraine. La pression dépend de la hauteur de roche au-dessus.

Dans la réalité c'est la roche elle-même qui contient la pression en formant une arche autour du vide formé par la galerie. La pression est répartie latéralement autour du plafond puis le long des parois pour être ensuite transmise en dessous de la galerie. C'est une forme de « compensation » du vide créé par la galerie (figure 55).

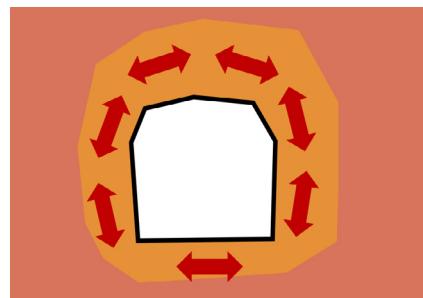


Figure 55. formation d'une « arche » de pression autour de la galerie.

Le rôle du renforcement des structures telles que les galeries va être surtout d'empêcher que les roches fracturées autour de la galerie (au-dessus et sur les côtés) puissent rester en place et ne pas fragiliser l'arche de pression. Comme l'épaisseur de l'arche ne dépasse généralement pas les 1 à 3 m, un renforcement en bois peut généralement supporter cette pression.

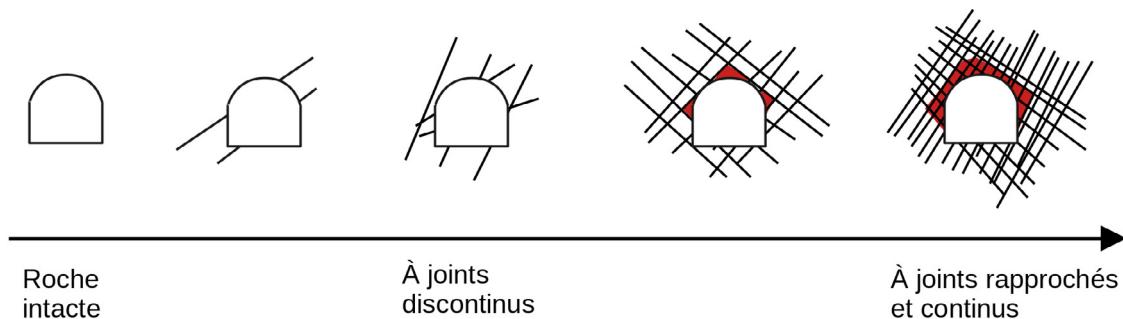


Figure 56. Schéma montrant l'évolution des risques en fonction du niveau de fracturation de la roche.

La répartition et la nature de la fracturation vont augmenter les besoins en soutènement (ou boisage). La figure 56 montre qu'avec un niveau de fractures élevés et interconnectées par croisement de plusieurs familles, va augmenter les risques de détachement de roches et le besoin de soutien.

L'arche existe tout le long de la galerie, elle doit donc être assurée par des structures tout le long, du moins partout là où la roche est fracturée. Dans la pratique on fabrique des cadres composés de deux poteaux pour les parois et d'un chapeau pour le plafond. Cette structure doit être accompagnée de planches ou morceaux de bois qui servent à maintenir serrés les pierres de comblement le long de la paroi, comme montré en figure 57. Le rôle des pierres et des planches le long de la paroi et au plafond est d'éviter le dégagement ou descellement des roches autour de l'arche. Les cadres les plus classiques sont faits en bois dans l'EMAPE. Le plafond et le chapeau sont connectés et maintenus de différentes manières (figure 58).

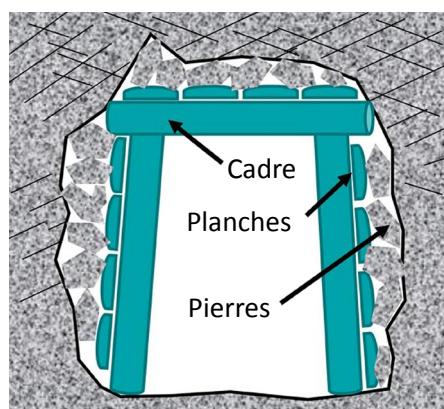


Figure 57. Principe du cadre de soutènement avec la protection latérale par des planches.

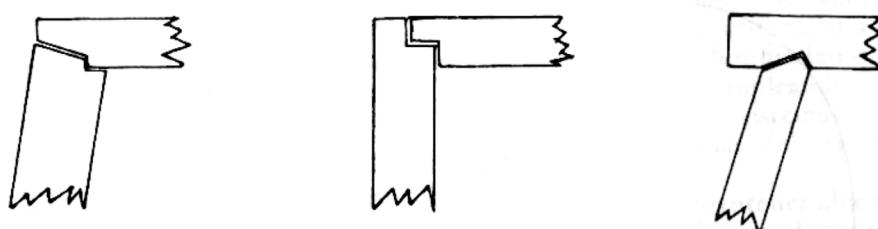


Figure 58. styles de jointures de cadre pour parer à différents types de pressions : à gauche et au centre, plutôt une pression dominante horizontale, à droite plutôt une pression dominante verticale.



4.4.2 Le soutènement de zones d'extraction

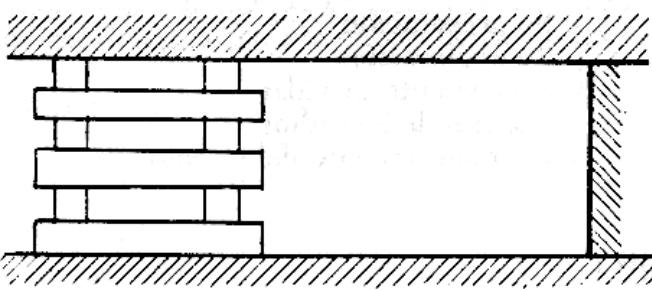


Figure 59. Principe de montage du pilier en bois simple pour le soutien d'une voûte.

Lorsque l'extraction est terminée, il peut rester des chambres ou des fronts qui occupent une grande place vide, qui pourrait subir des pressions et s'effondrer. Pour prévenir ces problèmes, les mineurs installent souvent des piliers en bois (figure 59) ou en pierres (figure 62), ou encore à l'aide de sacs de roches stériles (figure 61). Ces méthodes servent à renforcer les piliers existants et stabiliser les structures sur des périodes plus longues. D'un autre côté, les zones d'extraction, une fois le travail terminé, devraient être effondrées afin de fermer correctement les structures. Il n'est donc pas nécessaire de réaliser des renforts de piliers trop solides, mais simplement pour éviter la fragilisation des voûtes et un effondrement précoce.



Figure 60. Exemple de pilier en bois installé pour retenir une zone fragile. © baguenaudes.net.



Figure 61. Renforcement d'un pilier d'entrée en surplomb d'une galerie par des sacs de roche stérile.



Figure 62. soutènement par bourrage de pierres. © baguenaudes.net.

Les mineurs artisanaux utilisent aussi fréquemment des renforts horizontaux dans le cas de filons verticaux. Ces cas ne sont pas fréquents dans l'exploitation des minerais de cobalt-cuivre, mais peuvent être utiles dans certaines circonstances.



Figure 63. Exemple de renfort horizontal dans une mine artisanale et filonienne d'or.

Les rondins servent également d'alerte. Ils sont disposés en travers de la chambre d'abattage. Si le rondin craque et casse, cela signifie que les parois se rapprochent et inversement si le rondin tombe.

On peut souligner qu'il existe de nombreuses autres méthodes de soutènement et renforcement des structures souterraines, mais elles sont généralement utilisées dans l'industrie et requièrent des moyens importants qui dépassent les capacités d'investissement des coopératives minières. L'accès à ces techniques en RDC est également très complexe. On peut mentionner l'existence de structures de soutènement de galeries en acier : cintres, piliers et cadres en acier, étançons et autres éléments qui supportent des pressions élevées. On peut aussi citer le boulonnage, qui consiste à percer les parois et à y installer des tiges filetées sur lesquelles on boulonne des écrous qui vont maintenir les roches en place.

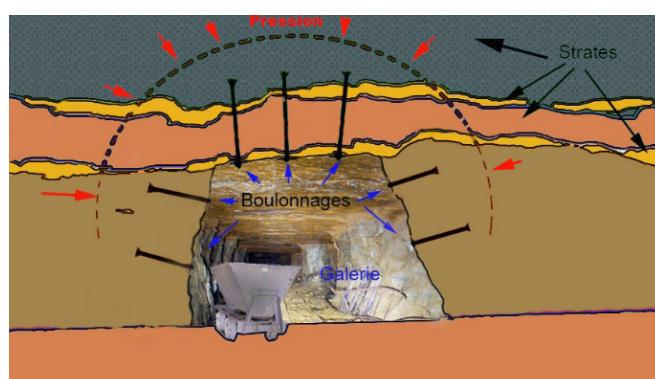


Figure 64. principe du boulonnage dans l'exploitation souterraine. © baguenaudes.net.

La technique de boulonnage peut varier si on combine la densité des fractures qui affectent la roche et le niveau des contraintes que doivent supporter les ouvrages miniers. Parfois on ajoute le béton projeté pour limiter la progression des fissures.

4.4.3 Égrisage ou curage des structures

Si en général, comme nous venons de le voir, les soutènements et autres renforcements de structures cherchent à éviter le détachement de blocs et la fragilisation des plafonds et parois, la purge des structures souterraines peut être nécessaire pour éviter les chutes des blocs qui menacent de se détacher. C'est le cas par exemple après un épisode pluvieux ou une reprise de chantier après une période d'arrêt. La purge intervient aussi après chaque tir d'explosifs (figure 65, qui ne s'applique pas dans le cas l'EMAPE).



Figure 65. travailleur en train de purger après un tir (exploitation industrielle).

4.4.4 Renforcement des puits

Les puits sont souvent réalisés pour accéder au niveau de la zone minéralisée et pour assurer un aérage suffisant. De la même façon que les galeries doivent être renforcées, les puits sont également soumis à des forces qui les détériorent et peuvent engendrer des accidents graves.

Plusieurs éléments doivent être pris en compte :

- Les fragilités dues à la structure de la roche ;
- La chute dans le puits de remblais mal retenus en surface ;
- La détérioration du puits par les eaux de pluies.



Figure 66. exemple de puits boisé.

Les puits doivent être renforcés par le boisage en plein, sans interstices, ce qui évite l'effritement des parois au cours des allers et venues de matériel, minerais et personnes (figure 66). On doit veiller aussi à ce que les bois soient solidement assemblés entre eux. On doit pouvoir y installer des échelles sans aucun problème. Les bois sont taillés de manière à s'emboîter les uns dans les autres. S'ils sont coupés à la taille exacte du puits, alors ils sont comprimés les uns avec les autres et forment une structure très solide.



Figure 67. sacs de stériles qui évitent les problème de glissement de remblais ou de pierres et protègent des ruissellements, dans une mine de cobalt.

Les entrées de puits sont également des zones à protéger, pour éviter les écoulements d'eau et les chutes de pierres ou de remblai. Pour éviter ces problèmes, les entrées de puits sont fréquemment protégées par des sacs de stériles (figure 67).

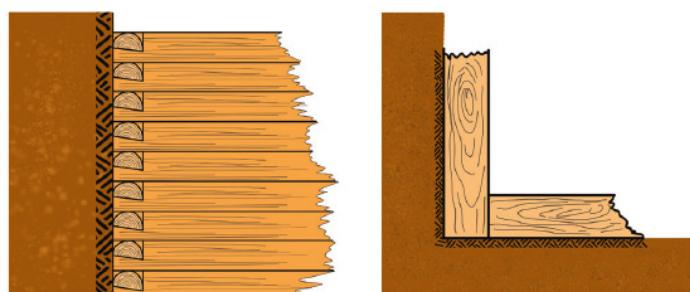


Figure 68. à gauche, technique de taille et d'emboîtement des bois pour le soutènement des puits, à droite montage du cadre supérieur. D'après le mining handbook, Mineral Resource Authority of Mongolia, 2014.

Il est aussi important d'éliminer les eaux de ruissellement. En effet, les eaux de surface peuvent altérer la stabilité des strates des roches et même inonder la mine. Des venues soudaines (tout-venant de boue) de matière fluidisée (par exemple, sable, minerai abattu ou roche) qui est autrement relativement inoffensive à son état sec et des ruptures de pente sont souvent les conséquences de la pénétration des eaux de surface dans la mine. Cela peut constituer un risque grave pour la santé et la sécurité des travailleurs.

Une des solutions est de construire des canaux de drainage autour de l'entrée du puits et de gérer les écoulements d'eau de manière à ce que les eaux remplissent des puits abandonnés ou retournent dans le réseau des eaux de surface, comme abordé dans le **module 3**.

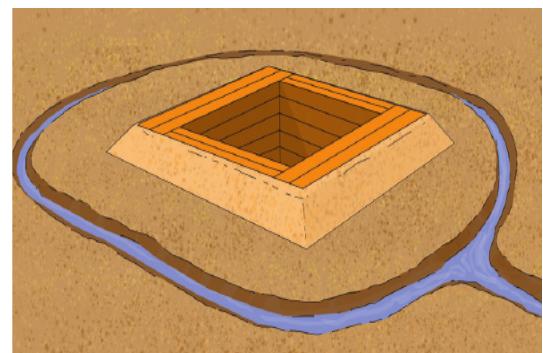


Figure 69. schéma de canal de drainage autour d'une entrée de puits. D'après le mining handbook, Mineral Resource Authority of Mongolia, 2014.



Il est tout aussi utile de couvrir l'entrée du puits avec une toiture ou une bâche pour empêcher l'eau de pluie d'entrer.



Figure 70. toiture en tôle autour d'un puits dans une EMAPE de cobalt.

4.4.5 Aérage

L'aérage est un paramètre indispensable pour la survie des exploitants miniers qui travaillent au fond. En effet comme nous l'avons vu dans le **module 2** (HSST), la qualité de l'air peut rapidement se dégrader, sous l'effet de la respiration des mineurs qui consomme l'oxygène vital, ou sous l'effet de la production ou de l'émergence de gaz nocifs pour la santé. On soulignera qu'en plus de cela, dans les mines de cobalt, les exploitants miniers peuvent être exposés à des poussières de métaux qui peuvent provoquer des maladies et troubles nerveux.

De plus, l'air souterrain peut être rapidement humide, accélérant ainsi la dégradation des structures de soutènement en bois.

Pour parer à ce problème, une solution consiste à créer un mouvement d'air régulier et suffisant pour que l'air soit de qualité suffisante pour garantir la santé des exploitants miniers et protéger les infrastructures. L'aérage peut être naturel ou pulsé par des machines.

Dans le cas de l'aérage naturel, les structures profitent des écarts de température entre l'air et les structures souterraines. Lorsque l'air est chaud et la roche froide, l'air a tendance à remonter les structures, et à les redescendre lorsque c'est l'inverse (figure 71).

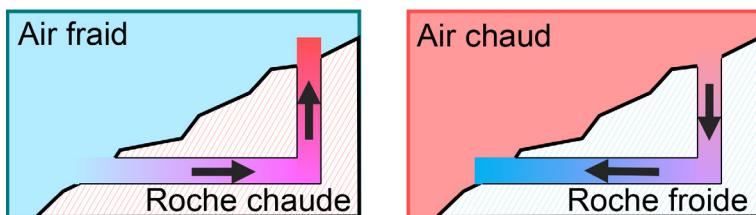


Figure 71. principe de fonctionnement de la ventilation naturelle.

Pour cela il faut naturellement qu'il existe deux entrées dans l'exploitation, et qu'elles soient à des niveaux différents. Remarquons au passage qu'une seconde entrée est une mesure de sécurité très importante.

Ce mécanisme a plusieurs avantages : il est facile à mettre en œuvre, ne coûte pas cher à faire fonctionner, et constitue une mesure de sécurité importante pour les mineurs.

Il a aussi plusieurs désavantages :

- Il ne fonctionne que s'il existe une différence de température entre l'air et la roche, ce qui selon les saisons peut varier ;
- Les mouvements d'air peuvent changer de sens entre la nuit et le jour (variation de température de l'air) avec des périodes transitoires sans mouvement d'air (début et fin de journée) ;
- le flux d'air est relativement faible.

En résumé, ce système est adapté pour les mines artisanales de production modeste qui n'utilisent pas d'outils mécanisés.

La ventilation pulsée, permet un aérage commandé et adapté aux besoins. Il s'agit en général d'un tube d'air dans lequel est poussé de l'air à l'aide d'un ventilateur ou d'une turbine (figure 72). les deux types de machines doivent être alimentées en électricité, ce qui engendre un coût. Les ventilateurs sont les moins employés, car moins efficaces.

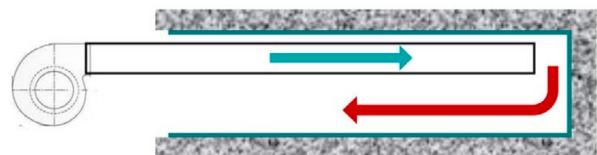


Figure 72. Exemple de turbine d'aérage dans une mine artisanale. On remarque la largeur du tube de transport de l'air.

Les turbines comme celles de la figure 72 font entrer l'air dans l'axe de la turbine et le propulsent à l'aide de pales dans l'axe du tuyau. Ce type de turbine est très solide, facile à trouver et peut même être fabriqué localement. Plus la taille de la turbine est grande et plus la puissance du flux sera élevée. Cependant, il faut souligner que le point le plus important est le diamètre du tube qui conduit l'air. En effet, plus le diamètre est petit et plus la résistance de l'air sera grande et donc le flux d'air frais en bout de tube sera faible. Il est donc impératif **d'utiliser des tubes de grand diamètre** ! La figure 73 montre les avantages et désavantages des 3 types de montages classiquement utilisés dans l'exploitation minière.

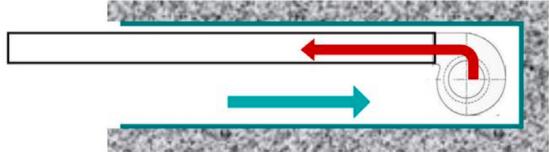
Turbine à l'extérieur

- L'air frais entre rapidement
- L'air vicié sort lentement



Turbine à l'intérieur

- L'air vicié sort rapidement
- L'air frais entre lentement
- L'installation électrique doit entrer dans la galerie
- Le bruit de la turbine est dans la galerie



Turbine à l'extérieur, en expulsion

- Même avantage que la turbine à l'intérieur mais sans le désavantage de la turbine à l'intérieur (bruit, électricité)
- Dans ce cas les tuyaux doivent être rigides.

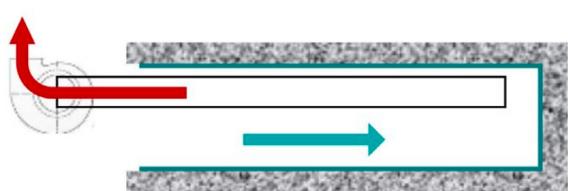


Figure 73. Différents types de dispositions pour l'installation d'une ventilation forcée.



Figure 74. Exemple de turbine utilisée dans une mine artisanale.



Que retenir de cela ?

- L'EMAPE est pratiquée soit en mine à ciel ouvert, soit en mine souterraine ;
- Lorsque le minerai est exploité à ciel ouvert, cela est en général réalisé en découverte ou en fosse ;
- La gestion des structures d'une mine à ciel ouvert doit prendre en compte de nombreux aspects :
 - Éviter les surplombs ;
 - Gérer les gradins : forme, rapport talus et banc, types de cassures et glissements ;
 - Pratique de la purge pour réduire les risques d'accidents ;
 - Gestion des remblais ;
 - Gestions des eaux qui peuvent causer de multiples dégâts ;
- Lorsque le minerai est exploité en souterrain on a souvent affaire soit à une exploitation en piliers si le gisement est horizontal ou presque, ou par chambres ramblayées lorsque le gisement est plutôt vertical.
- La gestion des exploitations souterraines requiert aussi la prise en compte de plusieurs aspects :
 - Les ouvrages de soutènement, leur fonctionnement, les règles à respecter ;
 - Les soutènements spéciaux des chambres d'extraction ;
 - L'égrisage ou curage des structures ;
 - Le soutènement des puits, les méthodes de montage, les règles à respecter ;
 - La gestion des eaux pluviales autour des puits ;
- L'aérage des structures souterraines, avec l'aérage naturel et la ventilation forcée.



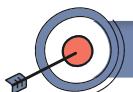
Testez vos connaissances

Refaite le test maintenant que vous avez eu la formation et voyons si vous avez progressé. Les réponses sont en annexe 6.1.

Question	Vrai	Faux
1. Une mine à ciel ouvert est toujours exploitée selon la technique de la découverte		
2. Dans une mine souterraine le plus important est la tenue des structures pour éviter les chutes de pierres et les effondrements.		
3. L'exploitation souterraine permet de réduire la quantité de roches stériles à dégager.		
4. La gestion des remblais requiert de les éloigner des structures de gradins		
5. Dans une mine souterraine les piliers servent à mieux gérer le filon.		

SEANCE 5

CONTRAINTES LÉGALES SUR LES ASPECTS TECHNIQUES



Objectifs de la séance

- Connaître les contraintes techniques qui sont formulées dans le cadre de la loi ;
- Connaitre les exigences techniques d'autres standards et initiatives sur le cobalt-cuivre.



Introduction

Le cadre légal de la RDC impose des méthodes et limitations, mais donne aussi des droits en matière de techniques d'exploitation, et de ventes de minerai. Selon le type d'autorisation ou de permis d'exploitation, les opérateurs peuvent réaliser certaines procédures ou et utiliser certaines ressources. Les organisations minières sont responsables de la conformité avec ces lois. C'est le cas, notamment, des coopératives minières.

Certains standards internationaux qui garantissent une certaine qualité de production peuvent aussi imposer des contraintes. Cependant, ils exigent tous et en premier lieu une conformité avec les lois nationales du pays dans lequel se fait l'exploitation.

Cette séance vise à améliorer la connaissance des contraintes légales.



Testez vos connaissances

Pour commencer cette partie, testez vos connaissances en répondant aux questions suivantes. Lisez ensuite la partie et, à la fin, vous pourrez repasser le test et vérifier si vous vous êtes amélioré.

Cochez dans la case **Vrai** ou **Faux**

Question	Vrai	Faux
1. Dans le code minier de la RDC, il n'y a pas d'article qui fixe les obligations auxquelles sont soumis les coopératives minières et l'exploitant artisanal des mines.		
2. Le règlement minier de la RDC autorise l'exploitant minier artisanal à creuser des tunnels et à réaliser des excavations de plus de 30 mètres de profondeur.		
3. La norme EGC apporte aux coopératives des plans de développement de leur exploitation pour les exploitations qui sont intégrées à son réseau de production.		



5.1 Le Code minier

Le secteur des mines est un domaine vital pour l'économie de la République Démocratique du Congo ; le sous-sol du pays est régi comme une propriété souveraine de l'État congolais. Le législateur y veille scrupuleusement en édictant des lois qui encadrent son exploitation. Il y fournit des définitions des termes utilisés dans les textes, précise les champs d'application et précise les principes garantissant l'organisation de toute activité d'exploitation minière.

L'exploitation minière artisanale est définie dans le Code Minier en vigueur dans le Titre IV⁴. Un résumé du champ d'application est précisé dans le tableau ci-dessous.

Code Minier	
Article	Commentaire
Article 109 du Titre IV	L'exploitation minière artisanale est définie par une Zone d'exploitation artisanale , et ne peut exister que si le gisement ne peut pas être exploité de manière industrielle . Par contre, si une exploitation minière artisanale est définie sur le périmètre concerné, aucun autre permis ne peut y être octroyé (principe d'exclusivité).
Article 112 du Titre IV	Les opérateurs artisanaux (les coopératives et les exploitants miniers artisanaux) doivent respecter des normes en matière de sécurité, d'hygiène, d'utilisation de l'eau et de protection de l'environnement qui sont définies dans le Règlement minier .
Article 113 du Titre IV	Les opérateurs miniers artisanaux doivent demander une autorisation s'ils souhaitent transformer leurs produits miniers . Ils n'ont pas d'attributions pour le faire dans le cadre de l'autorisation d'exploitation artisanale.
Article 114 bis, alinéa i du Titre IV	Les coopératives minières qui font une demande d'autorisation d'exploitation doivent démontrer qu'elles ont les capacités techniques et financières pour effectuer cette exploitation.

⁴ Modifié et complété par l'article 4 de la Loi n° 18/001 du 09 mars 2018 modifiant et complétant la Loi n°007/2002 du 11 juillet 2002 portant Code minier.

5.2 Règlement minier

Le Règlement minier est le principal outil de gestion technique de l'EMAPE, et plus particulièrement l'annexe IV portant sur le *code de conduite de la coopérative minière ou des produits de carrière agréée et de l'exploitant minier*.

Règlement minier	
Article	Commentaire
Article 2	Il définit l'ensemble de mesures, conditions techniques, méthodes de recherches, d'exploitation ainsi que des procédés des traitements minéralurgiques et métallurgiques requis servant à valoriser le gisement et optimiser le rendement global d'extraction dans le respect des règles de sécurité, d'hygiène et de protection de l'environnement.
Article 232	Assuré par l'Administration des Mines, notamment le SAEMAPE et la DIVIMINES, les Services techniques spécialisés. Cet encadrement qui porte, notamment, sur les modalités du respect du Code de conduite, de l'environnement, des règles de l'art, de la sécurité et de l'hygiène, est sanctionné par un test d'évaluation dont les résultats sont transmis pour disposition au Chef de Division provinciale des Mines du ressort.
Article 233	Un stage de formation technique est obligatoire pour les exploitants miniers. On y enseigne les techniques d'exploitation artisanale ainsi que les mesures de sécurité et de protection de l'environnement. À l'issue du stage, le SAEMAPE délivre un certificat de participation aux personnes qui ont suivi l'intégralité du stage.
Annexe IV article 9	la coopérative minière ou des produits de carrières ou l'exploitant artisanal sont tenus de ne pas creuser de tunnels et à ne pas réaliser d'excavations de plus de 30 mètres de profondeur. Par ailleurs ils ne doivent pas faire de descente avec une pente de plus de 15 %. En cas d'exploitation par piliers abandonnés, ces piliers doivent être de 1 m de large pour des espaces vides de 2 m de large. Ce qui veut dire que les opérateurs ne peuvent exploiter plus des 2/3 du mineraï.
Annexe IV article 12	La coopérative minière ou des produits de carrières ou l'exploitant artisanal s'engage à participer au stage de formation en techniques d'exploitation artisanale organisé par les services spécialisés du ministère des Mines.

5.3 La norme EGC

La norme d'approvisionnement responsable de l'Entreprise Générale du Cobalt ('Normes EGC') a été développée dans le respect des lois de la RDC, du Mécanisme Régional de Certification de la CIRGL et du devoir de diligence de l'OCDE. Ces exigences sont obligatoires pour les coopératives et les EMA qui vendent légalement leur production via l'EGC. La norme produit également des exigences pour l'EGC auprès des coopératives.

Norme EGC	
Article	Commentaire
Partie 1 – norme applicable aux travailleurs	<p>La norme reprend les dispositions du Code minier, mais avec des limites plus restrictives, à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'interdiction de creuser des tunnels, • Aucune excavation de plus de 10 m de profondeur, • L'interdiction de travailler en cas de danger.
Partie 2 – norme applicable aux coopératives, Article 2.10	<ul style="list-style-type: none"> • Les excavations ne doivent pas dépasser 10 m de profondeur, • Les parois de l'excavation (gradins, parois de puits, et piliers) doivent être préservés • S'il s'avère que les zones d'excavation dépassent 10 mètres de profondeur ou présentent des parois altérées ou des tunnels, les coopératives minières doivent immédiatement suspendre leurs activités dans cette zone d'excavation jusqu'à ce qu'elle soit sécurisée par l'EGC grâce à l'enlèvement des déblais.
Partie 3 – norme applicable à l'EGC, article 3.5	L'EGC établira des plans documentés de développement et de fermeture de la mine pour chaque site minier de l'EGC.



Testez vos connaissances

Vous pouvez tester à nouveau vos connaissances en répondant aux questions ci-dessous. Les réponses se trouvent dans l'annexe 6.1.

Question	Vrai	Faux
1. Dans le code minier de la RDC, il n'y a pas d'article qui fixe les obligations auxquelles sont soumis les coopératives minières et l'exploitant artisanal des mines.		
2. Le règlement minier de la RDC autorise l'exploitant minier artisanal à creuser des tunnels et à réaliser des excavations de plus de 30 mètres de profondeur.		
3. La norme EGC apporte aux coopératives des plans de développement de leur exploitation pour les exploitations qui sont intégrées à son réseau de production.		

SEANCE 6

ANNEXES

6.1 Réponses aux exercices

Séance 1

Testez vos connaissances

Question	Réponse
1. L'exploration n'est pas une étape importante ni très utile pour l'optimisation de l'exploitation minière.	 Faux : L'exploration est la seule méthode pour réaliser une planification minière dans le cas d'un démarrage de projet.
2. Le cycle de l'exploitation minière est une donnée importante pendant toute la vie du site minier	 Vrai : il permet de mettre en place des activités qui vont servir pour les étapes ultérieures, comme les changements de techniques.
3. Mieux planifier c'est réduire les coûts d'exploitation, optimiser le rendement et réduire les risques pour les travailleurs.	 Vrai : c'est un investissement qui permet de réduire les coûts inutiles.
4. Les mineurs artisanaux négligent souvent la planification minière.	 Vrai : car le plus souvent l'expansion du projet minier n'est pas programmé mais suit une tendance naturelle qui n'est pas pilotée par la direction de la coopérative.
5. La planification minière n'aura pas d'influence sur les techniques d'extraction et de traitement du mineraï.	 Faux : au contraire, la planification va pouvoir mettre en évidence le besoin de changement de techniques en fonction du gisement et des objectifs réalisables.

Séance 2

Testez vos connaissances

Question	Réponse
1. Un minéral est une substance naturelle issue de la dégradation de végétaux	 Faux : un minéral est une substance formée d'atomes qui sont agencés régulièrement selon une forme bien définie. On parle de forme cristallisée.
2. Les roches sont des assemblages de minéraux	 Vrai : ce sont des assemblages plus ou moins consolidés et compacts de minéraux.
3. L'hétérogénéité est le minéral le plus intéressant pour les exploitants artisanaux	 Vrai : il est au moins deux fois plus concentré que les sulfures de cobalt que l'on peut trouver plus en profondeur.
4. Les sulfures peuvent être exploités, mais on les trouve en général à plus grande profondeur.	 Vrai : ils sont généralement soit sous forme originale dans les couches profondes, soit issus d'une recristallisation d'atomes qui ont été transportés par les eaux d'infiltration.

Séance 3

Testez vos connaissances

Question	Réponse
1. L'exploration est une activité qui ne concerne pas l'exploitation minière artisanale.	 Faux : l'exploration est une étape primordiale pour une bonne planification et gestion du projet minier.
2. Pendant l'exploration, il est possible de faire des puits.	 Vrai : c'est une des méthodes simples utilisée pour prélever des échantillons.
3. L'exploration simplifiée permet seulement de connaître le périmètre du gisement.	 Vrai : on ne peut pas connaître le volume total du gisement.
4. L'exploration demande de faire une cartographie de la zone à explorer.	 Vrai : c'est un élément de base pour réussir l'identification du gisement, mais elle peut être réalisée à la main, sans connaissances approfondies.

Séance 4

Testez vos connaissances.

Question	Réponse
1. Une mine à ciel ouvert est toujours exploitée selon la technique de la découverte	 Faux : on peut aussi l'exploiter avec la technique de la fosse.
2. Dans une mine souterraine le plus important est la tenue des structures pour éviter les chutes de pierres et les effondrements.	 Vrai : C'est une des conditions pour une bonne production.
3. L'exploitation souterraine permet de réduire la quantité de roches stériles à dégager.	 Vrai : on ne dégage que ce qui est nécessaire pour creuser les puits et les galeries.
4. La gestion des remblais requiert de les éloigner des structures de gradins	 Vrai : Sinon on risque des éboulements et rupture de structures.
5. Dans une mine souterraine les piliers servent à mieux gérer le filon.	 Faux : les piliers servent à éviter l'effondrement du plafond ou de la voûte.

Séance 5

Testez vos connaissances

Question	Réponse
1. Dans le code minier de la RDC, il n'y a pas d'article qui fixe les obligations auxquelles sont soumis les coopératives minières et l'exploitant artisanal des mines.	 Faux : le titre IV est consacré aux dispositions sur l'exploitation artisanale.
2. Le règlement minier de la RDC autorise l'exploitant minier artisanal à creuser des tunnels et à réaliser des excavations de plus de 30 mètres de profondeur.	 Faux : les tunnels sont interdits et les excavations ne doivent pas dépasser les 30 m de profondeur.
3. La norme EGC apporte aux coopératives des plans de développement de leur exploitation pour les exploitations qui sont intégrées à son réseau de production.	 Vrai : La norme indique des obligations pour l'EGC à aider les coopératives à mettre en place une planification minière et une fermeture.

MODULE 5

TECHNIQUES D'EXPLOITATION
MINIÈRE ARTISANALE



Mis en œuvre par



Avec la collaboration du



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

