

Chapitre 1. Introduction aux techniques de creusements souterraines

I. Introduction

L'exploitation minière nous permet d'obtenir diverses substances minérales, jouant un rôle très important dans le développement de l'économie du pays. A l'avenir, le potentiel économique de chaque pays sera déterminé sur la base du niveau de la production des métaux et les diverses substances minérales.

Dans notre pays, l'industrie minière est implantée un peu partout sur le territoire national. La demande des matières premières naturelles ne cesse pas d'augmenter, ce qui oblige à accentuer les travaux d'extraction, tout en préservant l'environnement. Pour cela, dans les prochaines années, d'une manière technique et scientifique, doivent être résolues d'importantes questions liées à l'exploitation minière : utilisation complète des ressources naturelles ; perfectionnement de la technologie, des paramètres constructifs, des modes de mécanisation, établissement d'une technologie d'extraction avec le minimum de déchet ; automatisation des principaux processus technologiques ; établissement et introduction d'un système de contrôle électronique, des processus technologiques et leur complexe, ainsi que l'ensemble de la mine.

Historiquement, l'homme a commencé le ramassage des minéraux utiles affleurant à la surface. Au fil du temps, pour ses besoins, l'homme par son suivi des minéraux dont il a besoin, a commencé le creusement de fosses de profondeurs limitées accompagnées de mécanisations primitives, figure.1.



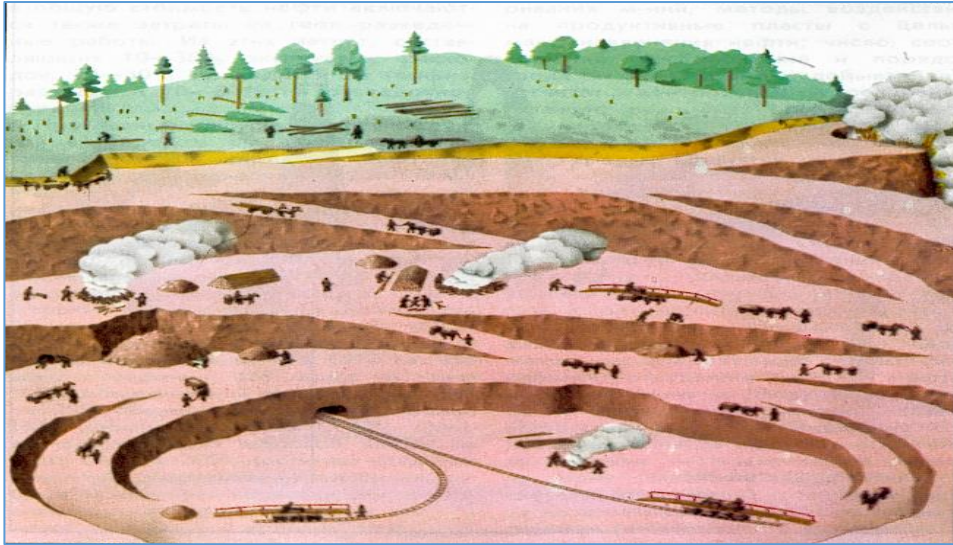


Figure.1.Schéma d'une technologie d'extraction des minéraux utiles par fosse.

Seulement avec le temps, la quantité des minéraux utiles qui se trouve à la surface atteint son extinction et pour poursuivre l'extraction, il faut décaper plus de volume de roches stériles recouvrant les minéraux utiles, ce qui a poussé l'homme à revoir la technologie d'exploitation, et procéder à l'application d'une autre technologie avec le décapage du minimum de roches stériles (exploitation souterraine), figure.2.

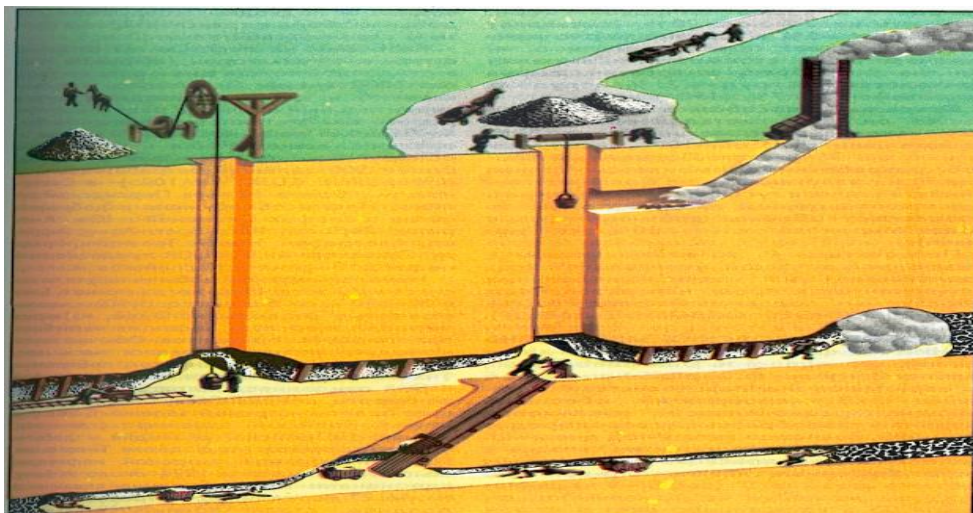


Figure.2. Schéma d'une technologie d'extraction des minéraux utiles par voie souterraine.



Actuellement, dans notre pays les gisements des minéraux utiles solides sont exploités soit par application d'une technologie à ciel ouvert, soit par application d'une technologie souterraine. Néanmoins, dans la pratique minière, les gisements solides peuvent être exploités par application de technologies à ciel ouverts, souterraines, combinées et sou marines.

Le minerai est un agrégat minéral contenant un composant (ou des composants) de valeur en proportion suffisante pour son extraction industrielle. Ainsi, toute accumulation naturelle de matière minérale ne constitue pas nécessairement un gisement de minéraux utiles. La quantité de matière première contenue dans le sous-sol est appelée réserves. La disposition des gisements dans l'espace et leurs dimensions est déterminée par les éléments suivant lesquels ils se sont formés. On distingue les éléments suivant : La direction, l'angle de pendage, la puissance, et la profondeur à partir de la surface terrestre jusqu'au sommet du gisement, et celle jusqu'à la limite du gisement en profondeur. Figure3.

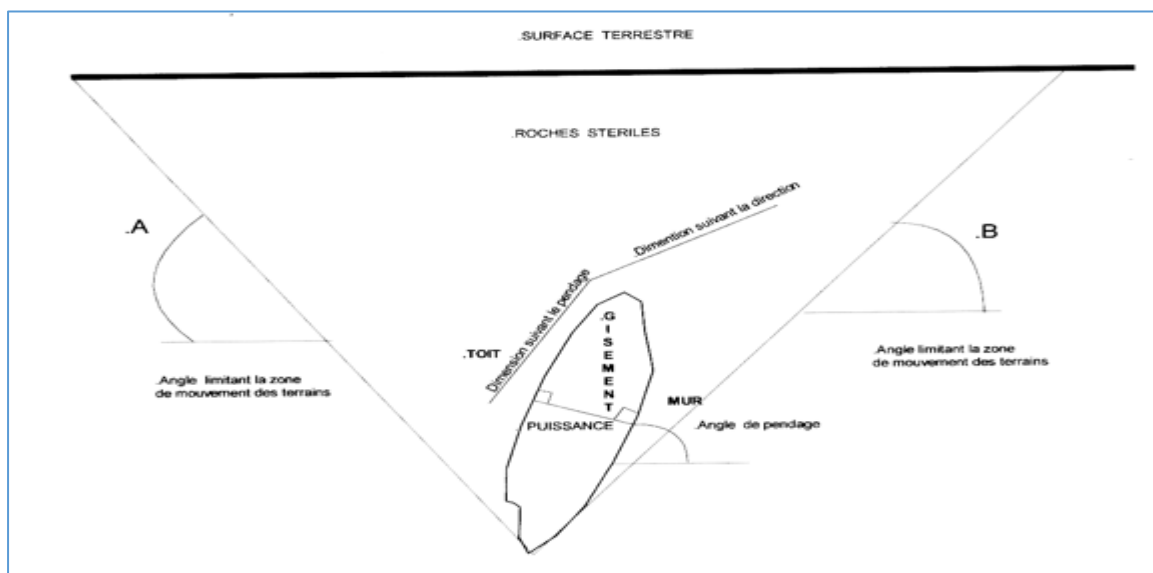


Figure.3 .configuration d'un gisement des minéraux utiles avec ses différents éléments.



I.1- Conditions techniques et minières des gisements minéraux.

Tous les gisements des minéraux utiles possèdent les éléments suivants :

La direction ; le pendage ; la puissance ; le toit ; le mur et la portée suivant le pendage.

I.1-1-Forme et dimensions des gisements. Souvent les gisements de minerai métallique, possèdent des formes irrégulières tout à fait loin des formes géométriques connues. Les dimensions des gisements, suivant la direction et le pendage varient de quelques dizaines de mètres jusqu'à des centaines de mètres ; Il existe des cas, ou des gisements possèdent des portées pouvant aller jusqu'à quelques kilomètres. Les réserves d'un gisement se composent de quelques centaines de milliers de tonne, jusqu'à des milliards de tonnes.

Les gisements de manganèse et de sels minéraux possèdent des formes régulières sous formes de couches. La configuration d'un gisement des minéraux utiles avec ces éléments est indiquée dans la figure 3.

I.1.2.Puissance d'un gisement. C'est la distance orthogonale entre le toit et le mur du gisement. Elle varie de quelques centimètres, jusqu'à 300 – 400 m, et peut, dans des cas atteindre un kilomètre et même plus. Sur la base de la classification des normes technologiques de projection des mines, établis par l'institut de recherche russe GUIPROROU, on distingue les gisements suivants :

A- Gisement faiblement puissant ;

dont la puissance peut aller jusqu'à 5m. Cette catégorie de gisements renferme les gisements minces dont la puissance peut atteindre 0,8m, suivant laquelle, lors



de la conduite des travaux miniers, elle nécessite l'abattage des roches stériles avec le minerai.

B- Gisement de puissance moyenne ;

dont la puissance varie entre 5 – 15m, suivant laquelle les blocs d'exploitations sont disposés le long de la direction du gisement.

C- Gisement puissant ;

dont la puissance est supérieure à 15m. Cette catégorie de gisement renferme les gisements puissants, dont la puissance est supérieure à 50m. Suivant cette catégorie de gisements, les blocs d'exploitation sont disposés suivant le pendage du gisement.

I.1.3- Pendage d'un gisement.

Il est déterminé en fonction de la disposition du gisement dans l'espace, et le plan horizontal. Cet angle varie de 0 – 90°.

Suivant cet élément, le chercheur russe V. IMINITOV, en collaboration avec des instituts de recherche et de projection des mines, a proposé la classification suivante :

A- Gisement dressant ;

dont l'angle de pendage est supérieur à 45 – 50°.

B- Gisements inclinés ;

dont l'angle de pendage varie entre 20 – 25 jusqu'à 45 – 50°.

C- Faiblement inclinés ; dont l'angle de pendage peut atteindre 20 – 25°. Cette catégorie de gisements, renferme les gisements plateaux, dont l'angle de pendage peut aller jusqu'à 3°.

Cette classification des gisements des minéraux utiles, permet dans une certaine mesure de nous faciliter la tâche durant l'établissement d'un projet de mine.



La forme (morphologie), les dimensions et les conditions de formation des gisements, influent directement sur le choix de la technologie l'extraction de ces derniers.

I.1.4.La forme des corps minéralisé peut être divisée en trois groupes :

A- Forme isométrique ; les gisements se développent d'une manière identique suivant les trois dimensions dans l'espace.

B- Forme de poutre (stot) ; les gisements de cette catégorie, se développent suivant une seule dimension dans l'espace.

C- Forme de couche ; Les gisements se développent suivant deux dimensions dans l'espace.

I.2 – Choix d'une technologie d'extraction.

Actuellement, le choix d'application de telle ou telle technologie d'exploitation d'un gisement donné se fait sur la base d'une étude technique et économique. Généralement dans la pratique minière, lors du choix du mode d'extraction, on peut rencontrer quatre cas :

- A-Gisements puissants, faiblement inclinés ou plateaux gisants à de faibles profondeurs. Ces gisements sont exploités par application d'une technologie à ciel ouvert.
- B-Gisement gisant à de profondeur importante. Ce type de gisement est exploité par application d'une technologie souterraine.
- C-Gisements gisants dans des conditions, qui peuvent permettre leurs extractions par application de technologies à ciel ouvert ou celles souterraines.



- D-Gisements gisant dans des conditions, nous permettant d'extraire leurs parties supérieures par application de technologies à ciel ouvert, et leurs parties inférieures par application de technologies souterraines (technologie combinée).

Dans le premier, le deuxième et le troisième cas, la limite du mode d'extraction est exclue. Mais dans le quatrième cas, il est nécessaire d'arrêter la limite des travaux d'extraction entre la conduite des travaux d'exploitation à ciel ouvert et celle souterraine.

II. Construction des excavations minières

II.1 Généralité

La conduite des travaux miniers est caractérisée par la création, dans l'écorce terrestre, de diverses cavités de dimensions et de dispositions dans l'espace suivant un large diapason.

Ces excavations minières nous permettent d'explorer, d'étudier et d'extraire la matière minéralisée du sein de la terre.

Une excavation minière, est une construction technique réalisée dans l'écorce terrestre, ou bien à sa surface, crée par suite de la conduite des travaux miniers. Dans le but de remplir sa fonction technique suivant la durée déterminée, l'excavation minière doit être renforcé par une construction spéciale appelée soutènement, et par divers procédés de transport et techniques ingénieurs.

Les excavations minières réalisées au fond de l'écorce, sont appelés excavations minières souterraines, et celles réalisées à la surface de l'écorce terrestre sont appelés excavations à ciel ouvert.



En fonction de la tâche à accomplir par projet, nous distinguons des excavations minières destinées pour l'exploration et la recherche des gisements des minéraux utiles, et celles destinées pour les travaux d'extraction de ces derniers.

En fonction de leurs destinations dans le processus technologique, les excavations minières peuvent être d'ouverture, de préparation et de défilage.

Suivant leurs dispositions dans l'espace, les excavations minières peuvent être horizontales, verticales ou inclinées.

La forme de la section transversale des excavations minières peut être circulaire, rectangulaire, en voûte, en arc, trapézoïdale, elliptique et d'autres.

Les excavations minières peuvent posséder deux sorties au jour – tunnels ; une seule sortie au jour, les puits de mines, galeries au jour, fouilles, descenderies ; aucune sortie au jour, les travers – bancs, les galeries d'exploitation, les bords, les plans inclinés, les menteries.

En fonction du rapport de la surface de la section transversale et la portée, les excavations minières se divisent en excavations de portées (puits, galeries, travers – bancs etc.) et volumiques (chambres, recettes, niches etc.)

Les roches limitant l'excavation minière à sa partie supérieure s'appellent toit de l'excavation, celles-là limitant à sa partie inférieure s'appellent semelle (sol, pied), de l'excavation, et celles latérales s'appellent les parois de l'excavation.

Par front de taille d'une excavation minière, nous comprenons le déplacement dans l'espace des roches affleurent lors de la conduite des travaux de creusement.



Le début d'une excavation minière est appelé embouchèrent, et l'intersection de deux excavations minières est appelée jonction.

II.2 Excavations minières souterraines.

Suivant leurs dispositions dans l'espace, les excavations minières souterraines peuvent être horizontales, verticales ou suivant des inclinaisons bien déterminées.

Aux excavations horizontales, nous rapportons les excavations suivantes :

Galerie au jour : excavation minière, possédant une sortie immédiate au jour (surface terrestre), construite suivant un léger pendage (0,02 %) vers le jour, afin de faciliter l'écoulement des eaux et le mouvement des engins à chargés. Par rapport aux gisements des minéraux utiles, les galeries au jour peuvent être creusées suivant la direction ou suivant un certain pendage à ces derniers.

Galerie d'exploitation : excavation minière horizontales, ne possédant pas de sortie immédiate au jour, creusée, dans le cas de gisements inclinés ou dressant, suivant leurs directions, et dans les cas de gisements faiblement inclinés ou plateures, suivant n'importe quelles directions.

Travers – banc : excavation minière horizontale, creusée dans les roches stériles suivant un certain angle par rapport à la direction des gisements, ne possédant pas de sortie immédiate au jour, et servant à la réalisation des processus technologiques.

Recoupe : excavation minière horizontale, ne possédant pas de sortie immédiate au jour, creusée uniquement, suivant un certain angle par rapport au toit et au mur de la couche minéralisée, dans les limites de la puissance du gisement.



Salle : excavation minière horizontale, ne possédant pas de sortie immédiate au jour, dont les surfaces des sections transversales sont beaucoup plus importantes aux portées, et servant pour l’emmagasiner des engins miniers et leurs accessoires ainsi qu’au dépôt des matières explosives.

L’ensemble des excavations minières disposées dans un seul niveau et servant la conduite des travaux miniers, est appelé horizon.

Aux excavations verticales, nous rapportons les excavations suivantes :

Puits de mine : excavation minière verticale, possédant une sortie immédiate au jour (puits capital ou secondaire) ou sans sortie immédiate au jour (puits aveugle (bure), servant l’ouverture des horizons du gisement des minéraux utiles (puits capital, bure) ou les travaux auxiliaires (puits d’aérage, descente et montée des mineurs et d’autres travaux.)

Montage (Menterie): excavation minière verticale, possédant deux ou plusieurs compartiments servant pour la dégringolade du minerai (roches stériles), montée et descente des mineurs, aérage et d’autres travaux. Dans le cas d’une excavation minière verticale, possédant un seul compartiment destiné pour une seule fonction, alors elle est nommée d’une manière relative à la fonction qu’elle réalise. Le montage peut être creusé dans la puissance du gisement ou en dehors des limites de cette dernière ; il peut aussi servir plusieurs horizons (cas de l’ouverture des horizons d’un gisement donné par des travers - banc de groupe.)

Fouille : excavation minière verticale de faible profondeur servant les travaux miniers auxiliaires (aérage, descente et montée des mineurs, issue de secours etc.)

A l’exception des descenderies, *aux excavations inclinées* nous rapportons les mêmes excavations verticales.



Descenderie : excavation minière creusée suivant une certaine inclinaison, possédant une sortie immédiate au jour, et servant les travaux d'ouverture des horizons des gisements des minéraux utiles.

L'ouverture des gisements des minéraux utiles, consiste à creuser et construire, à partir de la surface terrestre, des excavations minières qui vont donner un accès à cette dernière, figure .4.

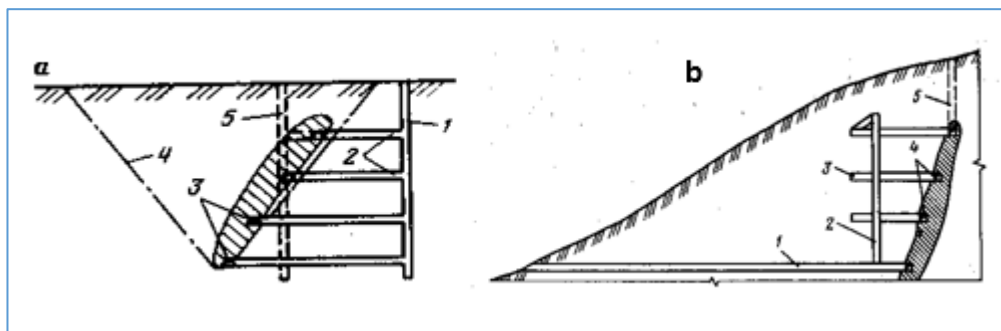


Figure.4. schémas d'ouverture des gisements des minéraux utiles.

a)– ouverture par puits de mines ;

1 – puits de mine capital, 2- travers banc, 3 – galerie, 4 – zone de mouvement des terrains, 5 – puits de mine secondaire.

b)– ouverture par galerie au jour ;

1 – galerie au jour, 2 –montage (cheminée) capital, 3 – travers banc, 4 – galerie, 5 – fouille

Les puits de mines, et les galeries au jour sont les principales excavations minières d'ouverture des gisements des minéraux utiles. Parallèlement à ces excavations minières, on distingue les puits de mines secondaire, qui servent pour l'aérage, et sortie secondaire à la surface ; les travers banc liant le puits capitale, et celui (ceux) secondaire (s) au gisement. Pour l'ouverture des horizons inférieurs d'un gisement donné, ainsi que des portions de ce dernier, on creuse



et on construit des puits aveugles, des montages, des plans inclinés, et d'autres excavations minières.

Les ouvrages souterrains regroupent un grand nombre d'ouvrages comme des puits et des galeries pour l'exploitation minière et pétrolière, des conduites, des canalisations et des collecteurs d'assainissement, des parkings, des réservoirs souterrains, des usines et des gares souterraines, des tunnels autoroutiers et ferroviaires, des galeries de métro etc. Ces ouvrages souterrains présentent la particularité d'être entièrement construits dans un massif de sol ou de roche.

II.3. Importance des ouvrages souterrains :

Les ouvrages souterrains constituent la solution la mieux adaptée à la création de nouvelles infrastructures en zone urbaine et au franchissement des zones montagneuses. En zone urbaine, le sous-sol devient une alternative quasi incontournable aux problèmes d'occupation et d'encombrement de surface.

La réalisation des travaux en souterrain permet de s'affranchir des obstacles, d'utiliser au maximum l'espace souterrain quasi illimité et de libérer la surface au sol.



Figure. 5.Espace souterrain



La multiplication des travaux souterrains et les difficultés rencontrées conduisent à une sophistication des méthodes d'investigation, de modélisation, de conception et d'exécution. De nos jours, il existe même de grands ouvrages sous mers : (Le tunnel sous la manche et plusieurs tunnels sous les fjords en Norvège ...etc.). Cependant, contrairement aux projets de structures tels les bâtiments ou les ponts, les ouvrages souterrains sont entièrement construits dans les terrains et requièrent des informations géotechniques précises concernant le massif environnant et plus abondantes tout au long du tracé. Ces conditions, chacun le sait, sont rarement satisfaites et rendent la réalisation des ouvrages souterrains d'autant plus difficile. Ce problème se pose de manière plus aiguë encore dans le cas des tunnels profonds.

Les problèmes majeurs liés à la construction des ouvrages souterrains sont :

- La stabilité de terrain pendant les travaux notamment au front de taille
- Le choix de type de soutènement et de revêtement à mettre en œuvre pour assurer la tenue des parois à court terme, puis à long terme
- La maîtrise des mouvements engendrés en surface par le creusement particulier lorsque l'ouvrage est construit à une faible profondeur ou à proximité d'autres structures (en site urbain)
- Maîtrise les problèmes hydrauliques (présence d'une nappe phréatique).

II.4. Utilisations de l'espace souterrain :

Pour la bonne compréhension des raisons d'aller en souterrain, il est nécessaire de citer quelques caractéristiques essentielles du sous-sol :



- Le sous-sol est un espace qui peut recevoir des infrastructures difficiles, impossibles en surface.
- Le sous-sol offre un espace naturel protégé mécaniquement, thermiquement et acoustiquement.
- Le sous-sol offre l'avantage de protéger l'environnement extérieur des risques et nuisances liés à certains types d'activités.
- Le sous-sol est généralement invisible, sauf aux points de liaison avec la surface.

Donc l'intérêt qui est porté à l'utilisation de l'espace souterrain urbain est grandissant car il peut être la solution à bien des problèmes actuels. Les aménagements possibles de cet espace peuvent répondre à des notions de valorisation des centres anciens figés dans leur historique et dans leur bâti inadapté à la vie urbaine actuelle. Cette utilisation rationnelle du sous-sol devrait être aussi appliquée aux villes nouvelles afin de répondre, de manière anticipée, aux logiques constructives qui font défaut à nos villes anciennes ; mise en galeries des réseaux concessionnaires, dessertes par des voies rapides, parkings,...etc.

III. Classification des ouvrages souterrains:

Les ouvrages souterrains sont des ouvrages enterrés construits par percement dans les terrains vierges sans ou avec déblaiement des masses de terres supérieures. Parmi les différentes classifications qui sont présentes, nous citerons celle de qui classe les ouvrages souterrains suivant leur destination, en caractérisant la sécurité requise par ordre croissant comme il est illustré dans le tableau 1.



Tableau 1. Classification des différents ouvrages souterrains

Classe	Description
A	Excavation minière à caractère temporaire (mines souterraines)
B	Puits verticaux
C	Galeries hydrauliques, Collecteurs d'assainissement, Galeriers de reconnaissances
D	Cavité de stockage, stations de traitement d'eau, tunnels routiers et ferroviaires, tunnels d'accès
E	Usines souterraines (plus souvent hydroélectrique), tunnels autoroutiers. Tunnel ferroviaires. Galeriers du métro, Abries de défense civile
F	Centrales nucléaires souterraines. Gares souterraines.

III.1.Construction des ouvrages souterrains :

C'est la stabilité du terrain pendant la construction qui impose le choix des procédés de construction. Deux situations se présentent :

– Au cours du creusement, les variations de contraintes sont telles que le sol cohérent, ou le massif rocheux, reste stable dans son ensemble. Les dimensions de l'excavation ne sont alors limitées que par des conditions géométriques, telles que la proximité de la surface, l'épaisseur de la couche favorable, la présence de grandes fractures. Des instabilités locales de surface, dues à la fracturation, peuvent néanmoins se produire. Une protection de l'intrados doit donc être assurée vis-à-vis du chantier et, ultérieurement, en fonction de l'utilisation de la cavité. Les coûts les plus faibles sont obtenus lorsque le terrain est insensible à l'eau ou n'évolue pas à long terme. Cela est fréquent dans les calcaires ou les roches cristallines massives, jusqu'à une certaine profondeur.



– Le creusement perturbe les conditions d'équilibre du terrain encaissant, de telle sorte que la surface de l'excavation devient instable, soit localement, soit sur tout son périphérique.

III.2. Techniques de construction des ouvrages souterrains :

Depuis une trentaine d'années de nouvelles méthodes de construction ont été introduites sur les chantiers, elles permettent de réaliser des ouvrages en site urbain dans des terrains meubles et aquifères sans occasionner de dégâts importants en surface du sol, la simulation d'un ouvrages souterrain est liée étroitement à la méthode d'excavation et la réponse du massif, la connaissance des techniques de construction est importante pour arriver à des phasages de modélisation satisfaisante.

Les ouvrages souterrains peuvent être creusé dans différents types de massif rocheux , depuis l'argile jusqu'aux roches les plus dures, et les techniques d'excavation dépendent de la nature du terrain. Quelques notions de base sont nécessaires avant de parler à proprement dit des techniques de constructions des ouvrages souterrains. Toute construction dépend du lieu où elle va être réalisée. Pour les excavation minières, il faut donc prendre en compte diverses données, comme le type de sol, la stabilité de celui-ci, la profondeur à laquelle on souhaite arriver, etc. C'est ainsi que les techniques de construction doivent tenir compte de l'hydrologie et la géologie du sol. Pour déterminer les caractéristiques du sol.



III.3.Les différentes méthodes d'exécution des ouvrages souterrains :

Dans l'exploitation et géotechnique minière, quatre principales méthodes d'exécution des ouvrages souterrains peuvent être utilisées. Le choix de la technique à employer résulte d'un compromis entre les exigences liées à la géométrie de l'ouvrage à réaliser, les caractéristiques du terrain à creuser, les spécificités du site et de son environnement et les contraintes géologiques et hydrogéologiques (présence ou non de la nappe phréatique).

Les progrès de ces dernières années dans les techniques de creusement, de soutènement et de revêtements permettent maintenant de réaliser des ouvrages dans tous les types de terrain.

- A- ouvrages souterrains dans le rocher:
 - Méthode traditionnelle à l'explosif;
 - Méthode par attaque ponctuelle.
- B- ouvrages souterrains en terrain difficile:
 - Méthode par prédécoupage mécanique;
 - Méthode de creusement au tunnelier.

