Chapitre 2

- TECHNIQUES D'EXTRACTION DES ROCHES ORNEMENTALES

Il existe différentes techniques d'extraction de la pierre de taille qui dépend des caractéristiques du gisement et de la nature de la roche. Dans tous les cas, l'objectif est de préserver au maximum l'intégrité de la roche et de produire des blocs destinés ensuite au façonnage mécanisé et/ou à la taille manuelle.

1-Le choix des technologies d'extraction

Le choix et l'application d'une technologie de coupe dépend de la compatibilité entre l'équipement d'extraction choisi et divers facteurs:
– le type de pierre;
– le type de carrière;
– la méthode d'extraction;
– la configuration topographique du corps exploitable;
– les conditions climatiques de la zone;
– les temps de production;
– les fonds disponibles;
– les coûts de main d'œuvre par rapport au coût des équipements (frais d'achat et d'exploitation).

La configuration de l'extraction

L'aménagement et la configuration géométrique des carrières de pierres ornementales dépendent du type de pierre ornementale extraite, des méthodes d'extraction, des caractéristiques morphologiques, des dimensions, de la géométrie et des caractéristiques structurelles du corps exploitable.

Cependant, les conditions morphologiques et les caractéristiques structurelles et géométriques du gisement déterminent à priori les méthodes d'extraction, le planning et la configuration géométrique de la carrière. Beaucoup de gisements de pierres ornementales induisent une méthode d'extraction à blocs erratiques. L'extraction de blocs erratiques peut représenter la première phase de l'exploitation d'une carrière, chaque fois que l'affleurement du gisement comporte des blocs exploitables. Si les réserves totales du gisement de pierre ornementale consistent en des blocs erratiques, l'extraction de ces blocs peut continuer tout au long de la vie de la carrière. L'extraction suit toujours la géométrie de la masse rocheuse exploitable, qui peut se présenter sous forme de couches, de plans ou d'autres configurations géométriques complexes.

Les carrières à ciel ouvert sont généralement caractérisées par des pentes raides ou presque verticales, car la solidité relativement élevée de la roche de la plupart des gisements ne provoque pas de problèmes de stabilité des pentes. Dans des régions où la topographie

est plate et douce, les carrières à ciel ouvert peuvent avoir une configuration typique en amphithéâtre, avec plusieurs fronts et bases de carrière. Les différentes phases de l'opération peuvent être exécutées en même temps. Si le fond du puits est au-dessous de la nappe phréatique, il faut installer des équipements de pompage et des systèmes de canalisation pour que les aires de travail ne soient pas inondées. Quand on exploite des carrières à ciel ouvert le long de collines ou de flancs de montagne, la forme ressemble à celle d'une portion d'amphithéâtre.

2- Procédés d'exploitation :

La découpe des blocs s'effectue dans deux sens : soit perpendiculaire à la stratification (contre-passe) soit dans le sens de la stratification (passe).
Le procédé général d'extraction est la découpe par bloc au moyen d'un fil diamanté selon les étapes suivantes :

- Etape 1 : forage de deux trous, un vertical (~15m) et l'autre horizontal (~20m), se rejoignant.

- **Etape 2** : Le fil diamanté est ensuite introduit dans le forage sous air comprimé. Il permet la découpe de gros blocs (environ 800 tonnes) à la vitesse de $10m^2/h$.

- Etape 3 : Afin de procéder au basculement, on s'assure que la base du bloc (le lit) "fonctionne" bien (se fracture correctement). Dans le cas contraire, la fracturation est provoquée au moyen de cordeau détonant (câble creux de petit diamètre et rempli avec un explosif brisant - 12gr/m)

- **Etape 4 :** l'abattage. Pour cela, on utilise des coussins pneumatiques gonflés à 3 bars. Un tapis de terre réceptionne le bloc.

La séquence d'extraction

Les opérations d'extraction des pierres ornementales consistent essentiellement en la séparation des blocs du banc originel en les coupant de tous les côtés perpendiculaires l'un à l'autre.

3- Les technologies d'extraction

Les bancs, les tranches et les blocs peuvent être séparés de leurs bancs originaires en utilisant les surfaces de jonction naturelle. S'il n'y en a pas, il faut utiliser des outils mécaniques.

Les technologies de coupe de la pierre les plus fréquemment utilisées peuvent être divisées en trois catégories principales:
– la coupe par perforation;
– la coupe par abrasion;
– la coupe par désagrégation.

- *A- La coupe par perforation*

Cette technique est normalement utilisée chaque fois que la pierre exploitée est caractérisée par un coefficient d'abrasion et de dureté relativement élevés tels la plupart des granits, la quartzite et d'autres roches siliceuses.

La largeur des trous de perforation dépend de la profondeur de la surface de coupe. La profondeur de forage peut varier de 3 à 9 mètres dans les coupes primaires, c'est-à-dire dans la séparation des bancs ou des tranches, ou de 1.5 à 3 mètres quand on coupe des blocs.

Le diamètre du trou correspond au diamètre de la série du fleuret de la perceuse qui varie normalement de 32 à 36 mm; on peut utiliser aussi des séries de fleurets de perforation de 40 ou 42 mm. La coupe par perforation comprend les deux modes suivants:
– canalisation par perforation en ligne: les trous de perforation sont sur le même plan, parallèles l'un à l'autre, peu espacés et se recoupent, de façon à former une coupe à canal;
– perforation en ligne et pré-coupe: les trous de perforation sont sur le même plan, parallèles l'un à l'autre, et percés à distance régulière, distance qui peut varier d'une coupe à l'autre de quelques centimètres jusqu'à 25 cm, avec une moyenne de 15 cm. La roche est ensuite séparée par pré-coupe ou explosion légère .

La canalisation est relativement commune dans les carrières de granit, mais seulement le long de plans de coupe particuliers, comme l'ouverture de canaux, où l'utilisation de la méthode de pré-coupe endommagerait l'intégrité de la roche. Généralement, la coupe extensive du granit n'est pas économiquement viable parce que, vu la dureté relative de ce matériau et la grande quantité de perforations à effectuer, les fleurets de perçage s'usent beaucoup et il faut donc les affûter souvent.

La combinaison entre la perforation et la pré-coupe est la méthode de coupe la plus communément utilisée dans les carrières de granit, mais aussi dans les carrières de marbre ou de calcaire où l'on ne peut pas utiliser de méthodes de coupe par abrasion. La pré-coupe consiste à faire sauter de légères charges linéaires insérées dans les trous. La charge explosive la plus communément utilisée est le cordeau détonant de penta-érythrine (de 8 à 12 g PNT/m).

On utilise aussi des types d'explosifs alternatifs, comme le mélange d'explosif ANFO à base de nitrate d'ammoniaque, de naphte en proportions fixes et de poudre noire. Tous les fils du cordeau détonant sont insérés dans les trous et reliés à un câble principal, de façon à ce que les explosions se fassent de manière simultanée.

La distance entre la charge et la paroi du trou peut être remplie d'eau si l'on désire un effet explosif pour la pré-coupe de la roche. Cela est la procédure normale dans les carrières de granit. Il y a des différences et des nécessités importantes dans les méthodes de pré-coupe de l'extraction des pierres ornementales par rapport à celles des opérations minières normales:
– la charge linéaire est beaucoup plus basse que dans la pré-coupe conventionnelle;
– il faut maintenir l'intégrité de la roche des masses séparées après la précoupe:
il faut éviter les fissures radiales qui se créent autour des trous;
– il faut contrôler le déplacement de la masse rocheuse séparée du banc originel.

Les théories mises au point pour expliquer le mécanisme de pré-coupe convergent vers deux catégories principales:
• la superposition des ondes de choc provenant des trous adjacents;
• la création de conditions de charge de rupture, qui produisent une grande fissure qui relie les trous entre eux.
De nombreux travaux pratiques et expérimentaux sont actuellement en cours afin d'optimiser la consommation des charges dans les techniques de pré-coupe.

B- La coupe par abrasion

La coupe de la roche par abrasion est une technique particulièrement indiquée pour tous les types de roche de dureté relativement basse, comme le carbonate et la serpentinite, mais elle est aussi de plus en plus fréquemment appliquée au granit.

L'un des avantages de la coupe de la pierre par abrasion au lieu de la coupe par perforation consiste en la production de moins de déchets et de plus elle n'endommage pas la roche.

Les blocs qui ont des côtés lisses et réguliers sont produits par des méthodes abrasives de façon à minimiser les volumes des recoupes pendant la finition.

Les techniques de coupe par abrasion incluent:

– la scie à fil hélicoïdal;
– la scie à fil diamanté;
– la scie à chaîne;
– la scie à ruban diamanté;
– la scie circulaire.

B1- La scie à fil hélicoïdal

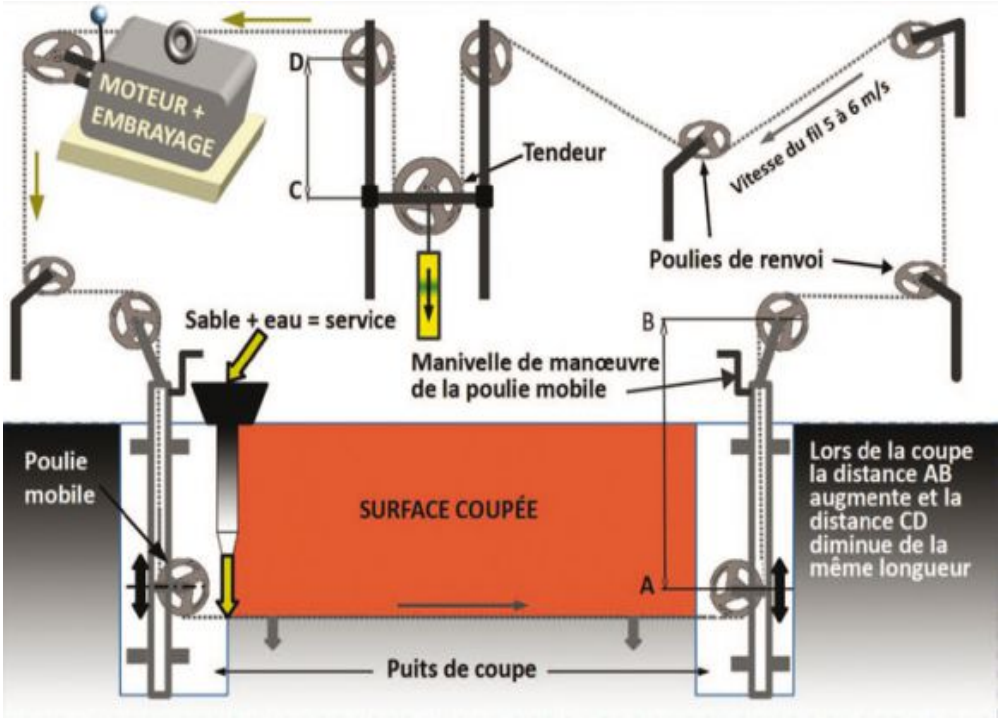
Autrefois, le fil hélicoïdal était la technique la plus commune pour couper le marbre. Aujourd'hui, elle a été remplacée par des méthodes de coupe plus simples et efficientes. Le fil hélicoïdal consiste en un double ou triple toron de fil qui glisse sur des poulies et est inséré sous tension dans la pierre. Le fil porte un flux constant de sable siliceux (ou bien d'oxyde d'aluminium ou d'autres types d'abrasifs) et d'eau et creuse une cannelure ou un canal dans la pierre. Les poulies sont installées sur une tourelle ou un chariot, de façon à pouvoir les mouvoir au cours de la coupe. Pour pousser le fil dans la coupe, il faut que le bloc ou la pierre à couper aient deux côtés libres et parallèles ou bien un grand trou pour y faire entrer les poulies.

Dans tous les cas, le trou doit être assez grand pour permettre l'insertion de l'axe, du moyeu et du bras de support de la poulie. La poulie sert à creuser une rainure au fur et

mesure qu'elle est poussée dans la pierre. Dans certaines carrières, on utilise d'autres méthodes pour creuser des canaux parallèles dans lesquels la pierre est coupée par le fil.

Le fil utilisé peut avoir une longueur de quelques milliers de mètres et on peut utiliser un seul fil pour effectuer plusieurs coupes en même temps, en le guidant par un bon positionnement des poulies. Un moteur électrique fait passer le fil par une poulie guide. Le fil marche à une vitesse de 5-10 mètres/seconde. La vitesse de coupe en utilisant les scies à fil hélicoïdal sur le vrai marbre est de 0.5-1.0 m^2/heure si l'on utilise du sable siliceux et peut dépasser 2 m^2/heure si l'on utilise de l'oxyde d'aluminium comme abrasif.

Une poulie mobile doit au moins être installée dans le circuit du fil avec de convenables contrepoids pour tenir le fil bien tendu. La coupe au fil hélicoïdal est encore préférée à d'autres méthodes de coupe plus modernes dans certaines carrières de pierre où les conditions particulières pour effectuer de grandes coupes primaires rendent cette méthode viable.



B2-PRINCIPE DU SCIAGE AU FIL DIAMANTE

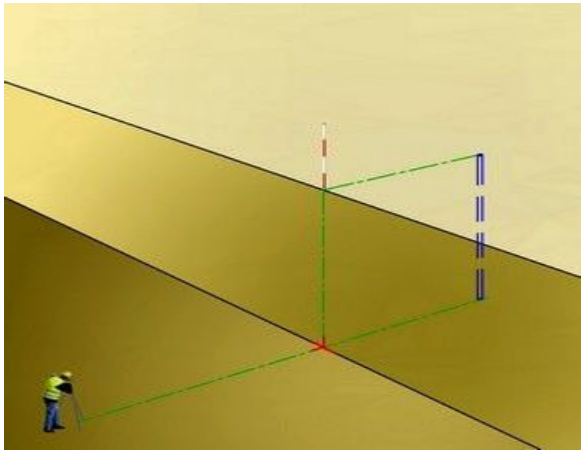
Le sciage au fil diamanté (ou câble électrolytique) est généralement utilisé dans les

carrières de pierres dures ou de granite. Il permet de scier des masses de roches de grande hauteur.

Le fil est composé d'un câble porteur en acier tressée ou sont enfilées des perles en acier sur lesquelles des grains de diamant ont été déposées par électrolyse. Des ressorts sont intercalés entre les perles afin de donner de la souplesse au montage.

Mais avant tout, la masse doit être forée pour le passage du fil. Pour cela, on utilise un **driller** (une foreuse) afin d'effectuer un trou vertical et d'aplomb au dessus de la masse.

L'opération suivante consiste à forer un second trou, horizontal cette fois, et venant à la rencontre du trou vertical. Pour garantir le résultat, des moyens de repère précis doivent être utilisés (tracé au niveau laser ou repérage au théodolite).

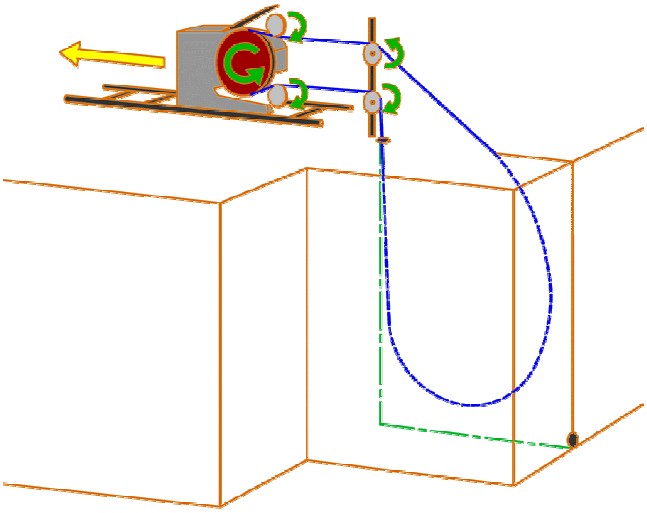


Le forage est ensuite effectué avec un perforateur horizontal ancré au carreau de la carrière. Comme pour la foration verticale, des tiges de forage sont successivement utilisées jusqu'à la rencontre des 2 forations. Les trous sont ensuite soufflés pour être débarrassés de la poussière

Pour passer le câble de sciage, un carrier laisse descendre une corde par la foration verticale jusqu'au fond du trou tandis qu'un autre carrier engage une longue tige d'acier dans la foration horizontale. Elle est munie de son coté d'une manivelle et de l'autre d'un crochet. Lorsqu'il fait tourner la tige à l'aide de la manivelle la corde s'entortille autour du crochet et le carrier n'a plus qu'à extirper la tige d'acier pour attraper la corde.
Le câble de sciage est ensuite attaché à cette corde pour être passé dans les forations. La machine à fil peut être installée.

Une fois passé dans les forations, le câble de sciage est serti de façon à former une boucle.
La machine de sciage au fil est électrique ou thermique. Elle se positionne sur des rails que le carrier prend soin de régler de niveau et d'ancrer au carreau de la carrière.
Ces machines sont généralement dotées d'un système de contrôle automatique de la vitesse de déplacement en phase de coupe garantissant ainsi un contrôle continu de la tension appliquée au câble diamanté. La vitesse linéaire du fil est variable de façon à adapter le sciage aux types de pierre.

La machine est placée sur les rails et le fil est installé et mis en tension. Pour compléter l'installation, une rampe d'arrosage est installée au-dessus de la masse car la coupe " au diamant " nécessite l'apport d'eau de refroidissement.
Lorsqu'il le sciage débute, l'opérateur est positionné à distance de la machine sur un pupitre de commande pour prévenir les risques liés aux projections ou à la rupture éventuelle du câble.
Pour effectuer le sciage des masses complètes un couloir d'entrée doit être réalisé dans le front de taille.
Plusieurs masses sont extraites afin d'obtenir la profondeur satisfaisante. Cette entrée permet d'avancer en dégradant l'extraction des masses et en gardant des dégagements.
Le fil de sciage peut être positionné au pied de la masse, de face ou de coté. Il est également orientable de façon à scier le pied de la masse. Lorsqu'il est placé en haut de la masse, des poulies de renvoi sont nécessaires pour diriger le fil.



B3- *LA SCIE A CHAINE*

La scie à chaîne n'est utilisée que pour couper le marbre, le carbonate non métamorphique, la serpentinite et l'ophicalcite.

La chaîne est pourvue de dents en carbone de tungstène. Généralement, le bras de la scie à chaîne atteint une profondeur de coupe utile de 3mètres.

Le propulseur de la chaîne est un moteur hydraulique, qui est à son tour propulsé par un moteur électrique d'environ 45 kW.

La vitesse de la chaîne peut atteindre 7-8 mètres par seconde, mais dans la plupart des carrières de marbre, une vitesse de 2-3 mètres par seconde est suffisante.
La coupe est effectuée en poussant entièrement le bras de la scie à chaîne dans la roche, perpendiculairement au déplacement de la machine.
Pendant la coupe, la scie à chaîne glisse de façon hydraulique le long d'une barre cylindrique. Cette barre est utilisée pour les travaux souterrains.

La coupe à la chaîne peut être effectuée à sec, mais il faut alors réduire la vitesse de la chaîne et augmenter le couple des engrenages d'entraînement de la chaîne.
La vitesse de coupe de la chaîne est d'environ 5-6 mètres carrés par heure sur du marbre.
Les scies à chaîne servent à effectuer des coupes horizontales et verticales.
Cet outil est souvent utilisé dans les carrières souterraines ou à ciel ouvert, là où l'on peut préparer des surfaces larges et plates de marbre pour faire glisser la scie à chaîne sur des glissières.
A cause de son poids relativement élevé (5-7 tonnes), la scie à chaîne requiert l'utilisation d'outils de manutention mécaniques pendant chaque installation.
Les scies à chaîne et les scies à fil diamanté peuvent être utilisées ensemble: l'une pour les coupes horizontales et l'autre pour les coupes verticales primaires. Cela est possible chaque fois que les méthodes d'extraction incluent l'exploitation de bancs hauts et étroits ou dans les carrières à ciel ouvert.

B4 - LA SCIE A RUBAN DIAMANTE

Il s'agit d'une nouvelle technologie. Elle est applicable à tout type de pierre hormis le granit. Bien que la scie à ruban diamanté soit structurellement comparable à la scie à chaîne, sa mécanique est complètement différente. La scie à ruban diamanté est pourvue d'un ruban en plastique avec des segments imprégnés de diamants disposés à intervalles réguliers. Equipée d'un moteur électrique de 50-55 kW, la scie à ruban diamanté est pourvue d'un dispositif qui règle automatiquement la vitesse de coupe du ruban en fonction de la résistance de la roche.

Le ruban diamanté ne requiert pas d'huile ou de graisse lubrifiante, mais la consommation d'eau est plus élevée qu'avec les scies à chaîne (2-3 litres par seconde). D'une part, la vitesse du ruban est plus élevée, d'autre part il faut refroidir et nettoyer les outils diamantés pour permettre au ruban de glisser sur sa barre à travers un coussin d'eau ("aquaplaning"). La vitesse de coupe est de 4-5 m2 par heure sur du marbre. Le poids de la machine est d'environ 5.5 tonnes.

Elle est très communément utilisée avec les roches carbonatées, le marbre, le calcaire, la serpentinite, l'ardoise et l'arénaire. En outre, il est plus facile de couper les inclusions de matériaux abrasifs, comme des veines ou des noeuds de quartz que l'on trouve parfois dans un certain nombre de types de marbre, par une scie à ruban diamanté qu'avec une scie à chaîne, parce que les dents en carbone de tungstène seraient gravement endommagées par le matériel abrasif rencontré pendant la coupe.

Les frais d'exploitation de la scie à ruban diamanté dépendent avant tout du type de matériau à couper, mais ils sont cependant comparables à ceux de la scie à chaîne.
La scie à chaîne présente les mêmes avantages que la scie à ruban diamanté en ce qui concerne l'augmentation de la productivité. Cependant, dans quelques carrières de pierre, la scie à ruban diamanté a une efficience globale plus importante car la scie à chaîne requiert la présence constante d'un conducteur pour enlever la boue produite pendant la coupe, une

grande quantité de graisse d'un coût élevé pour maintenir la chaîne lubrifiée (environs 1 kg/heure) et des réglages et des remplacements fréquents des dents de la chaîne.
La scie à ruban diamanté utilise l'eau comme lubrifiant et comme refroidissement.
Elle ne nécessite que de brèves pauses de travail pour le remplacement du ruban diamanté usé. L'eau coule hors de la coupe, en emportant les particules de marbre produites pendant la coupe du ruban diamanté.

Il est intéressant de remarquer que la scie à chaîne et la scie à ruban diamanté sont des techniques de coupe plus sûres que le fil diamanté, spécialement pour les coupes horizontales, à cause des difficultés d'installation d'un dispositif de protection approprié en cas de rupture du fil diamanté pendant la coupe.

B5- La scie circulaire

La scie circulaire consiste en un disque d'acier bordé d'abrasif diamanté. Le disque est à propulsion électrique et a un diamètre maximum de 300 cm. La largeur maximum de coupe est de 120 cm, tant horizontalement que verticalement. La scie circulaire se déplace le long de glissières en métal grâce à un dispositif hydraulique. La vitesse de coupe est 5-8 mètres carrés par heure. Il lui faut 1 à 2 litres d'eau de refroidissement par seconde.

Cette machine n'est utilisée qu'en des zones plates, où il est possible de préparer de longues surfaces horizontales de marbre, à cause de la procédure d'installation relativement difficile. En outre, à cause de la basse pénétration de la coupe, la scie circulaire n'est utilisée que pour la production de petits blocs de roches peu abrasives.