

L'effet de la géologie et des propriétés mécaniques du roc sur les résultats d'un sautage

R. F. Favreau Ph. D.
Professeur émérite, Royal Military College, Kingston, Ontario

P. Favreau, Bac. Ing. minier, Blaspa inc.

40^e Session d'étude sur les techniques du sautage', Université Laval, 18 et 17 novembre 2017.

A) Introduction :

Selon le dictionnaire, la géologie est la science dont l'objet est l'étude de la structure et de l'évolution de l'écorce terrestre. Comme cette écorce comprend du roc, on associe la géologie aux rocs ; d'ailleurs une fonction des géologues est de donner des noms géologiques aux divers types de roc présent sur un site d'excavation.

Suite à la découverte des explosifs par Nobel en 1867, on a commencé à utiliser les explosifs afin d'excaver les divers types de roc. Comme il n'existait pas alors d'équations fondamentales qui expliquent ce qui se passe dans le massif rocheux lors d'un sautage, et comme on associait la géologie aux divers types de roc, il semblait a priori normal que la géologie devait jouer un rôle lors de la planification d'un sautage, surtout quand le massif rocheux comprend des discontinuités majeures des types de roc. Car, dès le début, il était évident que la façon d'excaver le roc à l'explosif pouvait varier pour les divers types de roc.

B) Planifier et dessiner le tir :

La première étape consiste à identifier le type de roc dans les diverses zones du massif, e. g. à l'aide du nom géologique du roc. La deuxième étape consiste à dessiner la méthode de sautage, patron de forage, chargement d'explosifs, etc. pour le type de roc dans chaque zone du massif rocheux, tenant compte que le forage assez souvent doit varier proche des faces libres, et tenant compte des dérangements importants du massif rocheux non fragmenté dans les régions environnantes du tir.

Ensuite on effectue le tir afin d'obtenir la fragmentation et le déplacement du roc par l'explosion des explosifs dans le massif rocheux.

Comme déjà mentionné, dès le début de l'usage des explosifs, il était évident que la façon d'excaver le roc à l'explosif pouvait varier pour les divers types de roc. Même que certaines études ont tenté d'établir des corrélations statistiques entre le facteur poudre et le nom géologique du roc. Mais ces corrélations ne sont pas fondamentales, et ne sont qu'un palliatif, car maintenant qu'il existe des équations fondamentales qui expliquent de façon fiable ce qui se passe dans le massif rocheux lors d'un sautage, on reconnaît que le nom géologique d'un roc n'est pas ce qui peut décider de la façon d'excaver un roc de type donné.

Plutôt que le nom géologique, ce qui décide vraiment la façon d'excaver le roc d'un type donné se sont les propriétés mécaniques de ce roc, soit les valeurs du Module de Young 'Y', du coefficient de Poisson 's', de sa densité 'd', et de sa résistance en

compression 'Sc'. Ainsi, en réalité le type de roc est décidé par ses valeurs de Y, s, d et Sc, et non par son nom géologique.

Y, s et Sc peuvent être définis de la manière suivante. Si des pressions P sont exercées à chaque bout d'un cylindre de roc de longueur L, alors la longueur du cylindre diminue d'une quantité 'a', tandis que son diamètre hausse d'une quantité 'b'. La valeur de 'a' est donnée par l'équation $P=Y \times 'a'/L$; ainsi si on varie P et on fait un graphique de P en fonction de 'a'/L, alors Y est la pente de ce graphique. Par contre, $s = 'b'/'a'$ est le rapport de 'b' divisé par 'a', dont la valeur pour le roc est habituellement d'environ 0,3. Sc est la valeur de P à laquelle le cylindre fracture. Ainsi les valeurs de Y et s sont des mesures de la déformation du roc sous l'action de contraintes, tandis que la valeur de Sc est une mesure de la résistance maximum du roc sous l'action d'une contrainte. La valeur de la densité du roc est d.

Il est pertinent que depuis le début de sa carrière dans le domaine du sautage il y a 50 ans, l'auteur a remarqué que chaque fois que les résultats d'un tir étaient mauvais ou dangereux, il a entendu l'excuse que "C'est la faute de la géologie". Or, suite à une étude rigoureuse de chaque cas, la faute n'est essentiellement jamais la géologie, mais plutôt la faute est le fait que la planification du tir a) s'est trop fiée sur le nom géologique du roc, b) n'a pas tenu compte des propriétés mécaniques du roc Y, s, d et Sc, et c) n'a pas tenu compte adéquatement de l'effet des faces libres et du type d'explosif.

C) Pourquoi le nom géologique ne décide pas comment excaver un type de roc :

Les paragraphes suivants expliquent pourquoi le nom géologique d'un roc n'informe pas par lui-même sur comment le tir doit être effectué.

Les informations relatives aux noms géologiques des divers types de roc en place ne permettent pas de calculer les valeurs des paramètres de sautage, i. e. le patron B fardeau x espacement S, le collet C, le diamètre du trou de mine D, le souforage G, la longueur de la charge Lx, chacune pour une hauteur de banquette H donnée, valeurs qui peuvent assurer que le roc brise jusqu'au plancher, qu'il n'y a pas de gros blocs, que la granulométrie soit adéquate, que le marinage soit facile, qu'il n'y a pas de projections dangereuses, qu'il n'y a pas de vibrations et surpressions dépassant la réglementation.

La raison que les noms géologiques sont insuffisants est la suivante. Un roc donné comprend des agrégats qui sont cimentés ensemble par une matrice entre les agrégats. Or, c'est le type d'agrégats sur lequel un géologue se base afin de décider du nom géologique du roc rencontré durant le forage exploratoire. Mais c'est la nature de la matrice qui cimente les agrégats ensemble qui décide des valeurs de Y, s et Sc, lesquelles valeurs déterminent la dureté du roc relativement à son excavation à l'explosif.

Ainsi le nom géologique par lui-même n'informe pas l'entrepreneur sur la dureté du roc relativement à son excavation à l'explosif, car des rocs dont le nom géologique peut être commun peuvent de fait avoir des valeurs de Y, s et Sc très différentes. Par exemple, selon la référence 1 à la fin de l'article, cinq différents rocs que les géologues nomment 'Granite' à cause des agrégats qu'ils contiennent ont des valeurs de Y et Sc qui varient énormément à cause de la nature de la matrice qui cimente les agrégats ensemble, e. g. :

$$Y = 110 \text{ Kb à } 738 \text{ Kb} ; \quad Sc = 0.38 \text{ Mpa à } Sc = 276 \text{ Mpa}$$

Il est évident, à partir des variations ci-dessus des valeurs de Y et de Sc pour des rocs que les géologues nomment toutes 'Granite', que la connaissance du nom géologique Granite n'informe aucunement relatif aux valeurs de Y et Sc ; or, ce sont les valeurs de Y

et Sc qui sont nécessaires à un responsable du sautage afin de calculer et prévoir les conséquences de la méthode d'excavation du roc. Pour un roc donné présent lors des excavations, les valeurs de Y et Sc pour ce roc doivent être disponibles, telles que mesurées sur un échantillon dans un laboratoire de mécanique des roches, cet échantillon étant choisi judicieusement à partir des forages exploratoires afin d'assurer des valeurs fiables de Y , s et Sc .

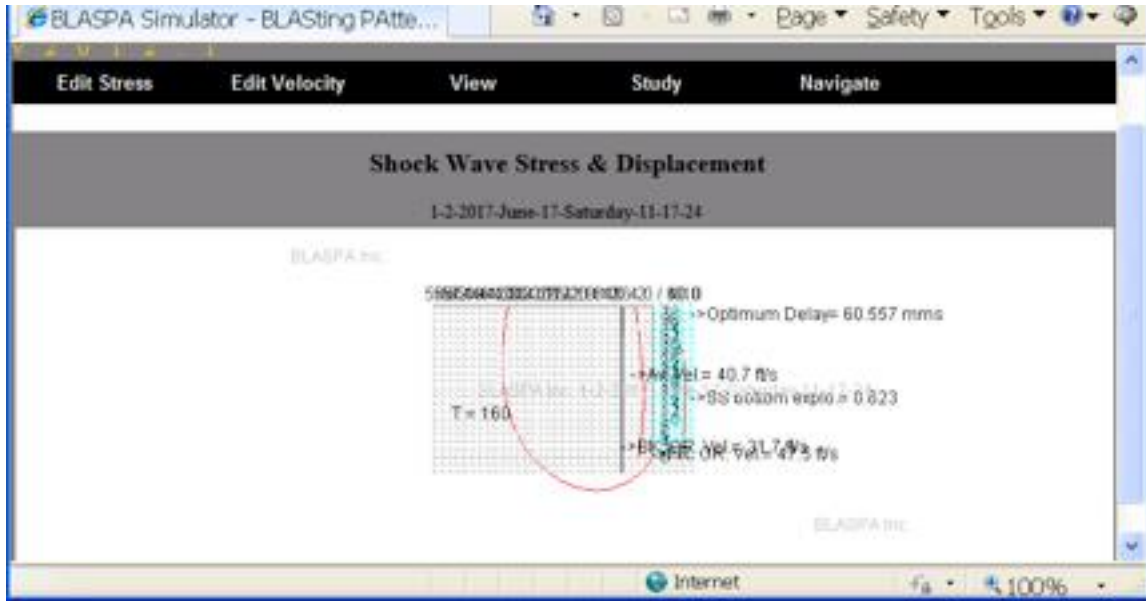
D) Pourquoi il faut connaître les valeurs de Y , s , d et Sc :

L'aspect clef est que la connaissance des valeurs de Y , s , d et Sc du roc à excaver permettent de calculer les valeurs appropriées des paramètres de sautage, i. e. le patron fardeau $B \times$ espacement S , le collet C , le diamètre du trou de mine D , le souforage G , la longueur de la charge d'explosif Lx , chacune pour une hauteur de banquette H donné, valeurs qui assurent que le roc brise jusqu'au plancher, qu'il n'y a pas de gros blocs, que la granulométrie soit adéquate, que le marinage soit facile, que le concassage soit facile, qu'il n'y a pas de projections dangereuses, qu'il n'y a pas de vibrations et surpressions dépassant la réglementation.

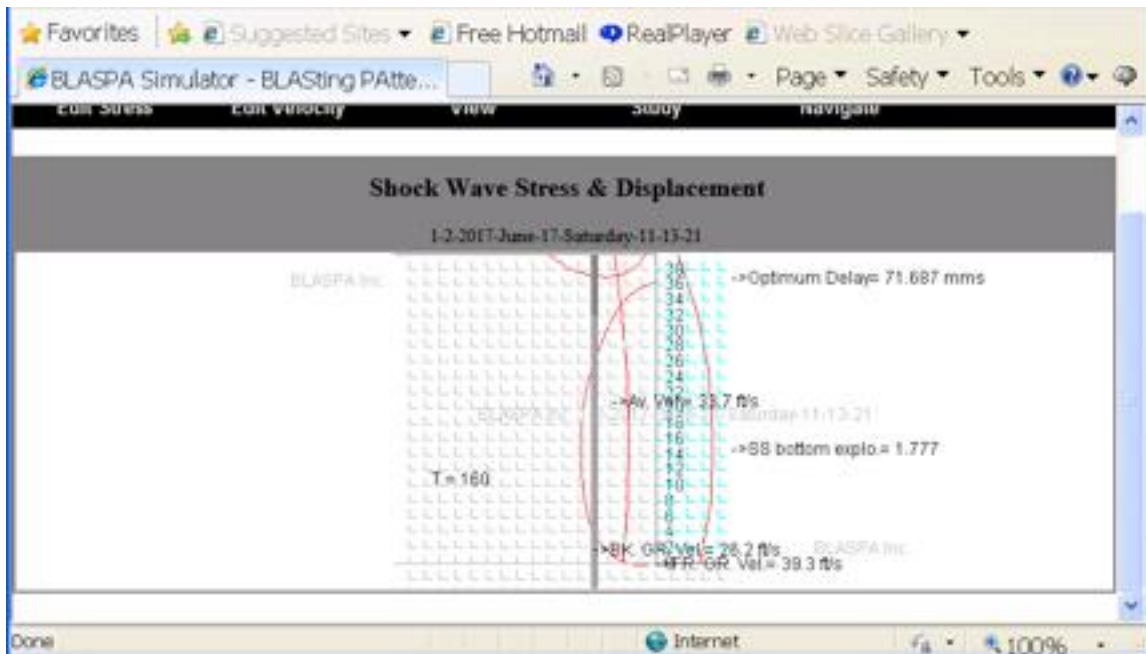
La raison est que ce sont les ondes de choc et le champ de contrainte semi-statique SS qui fracture et déplace le roc. Or, ce sont les valeurs de Y , s , d et Sc avec lesquelles on calcule les ondes de choc créées partout dans le massif par l'explosif, avec lesquelles on calcule le champ de contrainte semi-statique SS créé partout dans le massif par l'explosif, et avec lesquelles on calcule les vitesses de déplacement de chaque fragment créée partout dans le massif par l'explosif. Mais ce sont ces valeurs des ondes de choc, des contraintes SS , des vitesses de déplacement qui décident de la qualité des résultats du tir, soit que le roc brise jusqu'au plancher, qu'il n'y a pas de gros blocs, que la granulométrie soit adéquate, que le marinage soit facile, que le concassage soit facile, qu'il n'y a pas de projections dangereuses, qu'il n'y a pas de vibrations et surpressions dépassant la réglementation.

Pour une méthode de sautage donnée, les valeurs des ondes de choc, des contraintes SS et des vitesses de déplacement créées par l'explosif dépendent des valeurs de Y , s , d et Sc du roc excavé. Comme exemple, les dessins A et B ci-dessous comparent les valeurs des ondes de choc et des contraintes SS pour la même méthode de sautage, mais dans deux types de roc dont les valeurs de Y ne sont pas les mêmes ; les valeurs de Sc sont les mêmes.

Simulation A : Y= 200 Kbars



Simulation B : Y= 1 300 Kbars



Dans les dessins la courbe de T à gauche de la face libre indique l'étendue effective de l'action de l'onde de choc, tandis que les valeurs de SS indiquent l'action du champ de contrainte SS. Les différences importantes de ces courbes et des valeurs de SS entre les deux dessins démontrent que pour la même méthode de tir les conséquences de l'action

de l'explosif diffèrent énormément pour deux types de roc dont les valeurs de Y varient. Ceci démontre absolument que ce sont les valeurs des propriétés mécaniques du roc qui décident de comment on doit dessiner un tir dans un roc de type de valeurs Y, s, d et Sc donnés.

D) Calcul de la méthode de tir pour chaque type de roc :

Donc, quand on parle de l'effet du type de roc et de la géologie sur comment on doit dessiner un sautage dans un massif rocheux donné, après avoir examiné le massif afin d'identifier les régions des divers types de roc (chaque type caractérisé par ses valeurs de Y, s, d et Sc), et avoir identifié les failles ouvertes majeures, on doit ensuite calculer les valeurs des ondes de choc, des contraintes SS, et des vitesses de déplacement, tout en tenant compte des particularités proches des fissures majeures. Les calculs doivent être effectués avec un système fiable dont la preuve est faite qu'il donne les vraies réponses (voir la référence 2 à la fin de l'article; les calculs doivent être refaits jusqu'à ce que les valeurs des ondes de choc, des contraintes SS et des vitesses de déplacement assurent que le roc brise jusqu'au plancher, qu'il n'y a pas de gros blocs, que la granulométrie soit adéquate, que le marinage soit facile, que le concassage soit facile, qu'il n'y a pas de projections dangereuses, qu'il n'y a pas de vibrations et surpressions dépassant la réglementation.

Les dessins A et B ci-dessus sont des exemples ; au dessin B l'action de l'onde de choc est inadéquate car elle laisse des gros blocs et du pied. Ces calculs sont très facile à effectués. Il est pertinent qu'une vingtaine de boutefeux ont appris à les effectués lors d'un cours à Chibougamoux.

Relativement aux failles, elles ne sont pertinentes que si leurs ouvertures sont importantes et visibles. Des calculs rigoureux démontrent que si une faille n'est pas manifestement ouverte, elle n'affaiblit que peu l'intensité de l'onde de choc qui la traverse, et donc on peut raisonnablement la négligée lors des calculs. Par contre, si la faille est manifestement très ouverte, alors on doit en tenir compte. Souvent, le plus simple est de dessiner des tirs différents de chaque côté d'une faille ouverte majeure.

E) Nouvelles exigences de la société relativement aux sautages :

Présentement il y a des tirs qui sont dangereux. Il est pertinent que la société n'accepte plus que les tirs soient dangereux ou dérangent excessivement la qualité de vie. Le danger causé par des projections hors du site d'excavation est totalement défendu ; les vibrations et le bruit doivent respecter les normes réglementaires dans la région du sautage.

Historiquement, avant l'existence d'équations fondamentales qui expliquent de façon fiable ce qui se passe dans le massif rocheux lors d'un sautage, beaucoup de tirs ont été effectués par la méthode de 'Trial and Error', soit qu'on décide de la façon de forer et charger le sautage basé sur l'expérience du responsable du tir, qu'ensuite on effectue le sautage, et que suite au tir on constate s'il était sécuritaire ou non ; s'il n'était pas sécuritaire, alors on effectue le tir suivant avec des forages et chargements différents, pour lesquels on espère que les résultats seront maintenant sécuritaires cette fois-ci. Or, la société n'accepte plus cette approche, car 'Trial and Error' accepte intrinsèquement que périodiquement il y aura des 'Errors' dangereuses. Les 50 ans de l'auteur dans le

domaine du sautage lui permettent d'avoir constaté qu'avec l'approche 'Trial and Error' il y a périodiquement des 'Errors' dangereuses.

F) Importance de l'expérience du boutefeu :

De dessiner un tir à partir de calculs des ondes de choc et des contraintes SS ne veut pas dire que l'expérience du responsable du sautage n'est plus utile. Bien au contraire. C'est toujours basé sur son expérience qu'un responsable du sautage propose une première façon de faire les forages et les chargements. Mais avant d'effectuer le tir dans le massif rocheux, il vérifie avec un simulateur qui donne les bonnes réponses si cette méthode pose des risques dangereux. Si les calculs avec un système fiable indiquent que non, alors il effectue le tir dans le massif rocheux. Mais si les calculs indiquent des risques, il modifie les forages et les chargements, et il refait les calculs fiables jusqu'à ce que ceux-ci indiquent des résultats sécuritaires. Effectivement, c'est la méthode de 'Trial and Error', mais avec vérification de la sécurité par des calculs fiables avant le tir lui-même dans le massif rocheux. Ainsi cette approche tire avantage des deux aspects, appel à l'expérience du responsable du tir, plus vérification de la sécurité à l'aide de calculs fiables. L'avantage de cette approche est évident, mais uniquement si les calculs utilisent un système fiable qui a fait ses preuves (voir la référence 2 à la fin de l'article).

Il est pertinent que le coût ajouté par les simulations avec le simulateur fiable est plus que compensé par la hausse de la qualité des résultats des tirs, e. g. meilleur planché, réduction des blocs, marinage plus facile, meilleure granulométrie et concassage plus facile, ainsi que meilleur respect de la réglementation pour les vibrations et les surpressions qui évite les plaintes et les actions judiciaires. De plus, l'usage du simulateur fiable par un responsable des tirs hausse le prestige de son travail, et même sa rémunération.

G) Résumé :

Le nom géologique d'un roc ne permet pas de dessiner un sautage. L'aspect du roc qui permet d'effectuer des tirs sécuritaires et efficaces est l'usage des propriétés mécaniques Y , s , d et Sc du roc dans des calculs avec les équations fondamentales qui expliquent de façon fiable ce qui se passe dans le massif rocheux lors d'un sautage, équations qui sont maintenant disponibles sur le Web.

Référence 1 : Coates and Parsons, 'Rock substance classification', 1966.

Référence 2 : R. Favreau, P. Favreau, 'Étude de sautage à l'aide de simulations sur le modèle informatisé BLASPA via le Web', 27^e Session d'étude sur les techniques du sautage', Université Laval, octobre 2004.

Référence 3 : R. Favreau, P. Favreau, 'Causes for dangerous flyrock from blasting', Conférence de la ISEE, Las Vegas, février 2016.