

3^e SESSION D'ETUDE
SUR
LES TECHNIQUES DE SAUTAGE

"BLASPA", UN SYSTEME PRATIQUE D'OPTIMISATION
EN SAUTAGE: ETUDE DE CAS

par

R. F. Favreau
Professeur de physique
Collège militaire royal
Saint-Jean, Québec

"BLASPA, un système pratique d'optimisation de sautage"

R.F. Favreau*

Pour présentation à la Troisième Session d'étude
sur les Techniques de Sautage, le 30 octobre 1980
à l'Université Laval, Québec.

BLASPA est le sigle d'un programme d'ordinateur qui peut aider à optimiser rapidement les méthodes de sautage dans une mine à ciel ouvert. BLASPA est fondé sur un modèle mathématique du procédé de sautage; ce modèle a été développé à partir de 1963, grâce à un projet de recherche sur le sautage, au Collège militaire royal de Saint-Jean, projet supporté par le Conseil de Recherche sur la Défense en coopération avec l'industrie minière et l'industrie des explosifs. Le modèle comprend les aspects suivants:

- (1) Géométrie, i.e. espace, fardeau, hauteur du banc, collet, sous-forage.
- (2) Explosifs, i.e. genres d'explosifs, distribution en charge de fond et charge de colonne, diamètre du trou et accouplement à la roche.
- (3) Patron d'initiation, i.e. initiation en rangées parallèles ou en forme de V, retards, position des amorces.

Les coûts d'ordinateur sont très faibles, si on les compare avec certains programmes de l'AEC; ainsi, un grand nombre de simulations peuvent être faites à peu de frais. Ce système a déjà été utilisé pour simuler des milliers de sautages pour plus de 40 mines au Canada et ailleurs. La communication expliquera comment de telles simulations peuvent servir de guide pour un ingénieur en sautage qui veut optimiser ses coûts de sautage et forage.

* Professeur, Département de physique, Collège militaire royal de Saint-Jean, Saint-Jean, Qué., et expert-conseil en optimisation de sautage pour les mines à ciel-ouvert.

le 29 septembre 1980

INTRODUCTION:

Durant les années 1960, la façon de prédire la qualité globale des résultats d'un coup de sautage passa graduellement de celle du facteur poudre (en livres d'explosif par verge cube de roc) à celle du facteur d'énergie (en unité d'énergie d'explosif par verge cube de roc). Cette nouvelle approche représenta une amélioration manifeste, car le facteur d'énergie reconnaît que différents explosifs n'ont pas la même force. Par contre, le choix de la méthode de sautage basé sur le seul facteur d'énergie ne tient pas compte d'un grand nombre d'autres aspects d'un sautage tel les différences entre les propriétés de deux genres de roc, les différences dans la V.D.D. (vitesse de détonation) des explosifs, l'accouplement entre l'explosif et le roc, la géométrie du banc, le patron d'initiation, les retards, etc. Un exemple frappant est le manque d'information fourni par le facteur d'énergie au sujet des différences dans les résultats de deux sautages au même facteur d'énergie mais avec des patrons d'initiation différents, tel par rangée de trous parallèles ou par rangée de trous obliques. Ainsi, il semble raisonnable de proposer que l'industrie du sautage a besoin d'une méthode plus sophistiquée pour prédire la qualité des résultats d'un coup de sautage; de plus, cette méthode devrait tenir compte d'autant d'aspects que possible du phénomène sautage, tout en étant d'usage facile dans des situations réelles dans une mine ou carrière. C'est ce besoin qui motiva le développement de BLASPA, celui-ci étant le sigle d'un modèle programmé sur ordinateur et qui peut mathématiquement simuler un coup de sautage dans une mine à ciel ouvert, et qui est maintenant devenu un outil pratique pour l'optimisation routinière du sautage.

Simulations mathématiques:

Avant de décrire BLASPA en plus amples détails, il est peut-être souhaitable de dire quelques mots sur les simulations mathématiques en général. Dans l'industrie des mines, les simulations mathématiques commencent à peine à jouer un rôle; par contre, dans d'autres industries, elles sont devenues monnaie courante. Dans l'industrie aéronautique, par exemple, la performance d'un avion est largement simulée sur un ordinateur, à un tel degré que des douzaines d'exemplaires du dernier avion de Canadair furent vendus avant qu'un seul avion soit bâti - les clients l'ont acheté en se basant sur sa performance "volant dans l'ordinateur"; un ingénieur en aéronautique m'a expliqué qu'aucun changement de structure, aussi minime soit-il, n'est apporté à cet avion sans l'aide de simulation sur ordinateur.

Voici une courte explication de ce que représente un modèle mathématique. Afin de créer un tel modèle, on assume au préalable des hypothèses au sujet de chacune des actions physiques que comporte le phénomène à être simulé. Ensuite chacune de ces hypothèses est exprimée en langage mathématique, à partir des lois connues de la physique et de la chimie; une solution générale est alors trouvée

pour chacune des descriptions mathématiques, et finalement toutes les solutions sont incorporées dans la mémoire d'un ordinateur afin de créer le modèle complet du phénomène physique. Une simulation, pour un cas spécifique, se fait en solutionnant toutes ces solutions simultanément, à partir des valeurs spécifiques des variables indépendantes propres au cas particulier à être simulé.

Un modèle mathématique du phénomène sautage:

Les hypothèses de base dans BLASPA au sujet des différentes actions physiques que comporte un sautage sont les suivantes. Immédiatement après que la colonne d'explosif a détonné, les gaz de l'explosion imposent une expansion très rapide au volume du trou, tel qu'indiqué à la figure 1(a). Cette expansion rapide est éventuellement arrêtée par la résistance élastique du roc, mais la poussée des gaz a quand même créé une forte onde de compression laquelle se déplace à travers la masse de roc à une vitesse C_R d'environ 15,000 pi./sec.; cette onde étant en compression, elle ne cause que peu de dommage. Par contre, à son arrivée à la paroi libre, cette onde est réfléchiée en tension; elle rebrousse ensuite chemin à travers la masse de roc, infligeant des fissures primaires qui diminuent la résistance du roc à une deuxième expansion des gaz de l'explosion. On peut appeler "Brisance de l'explosif" l'action de celui-ci selon laquelle les fissures primaires sont créées dans le roc. Entre-temps, les gaz ont aussi broyé le roc autour du trou, quoique cette action soit de portée plutôt limitée. L'affaiblissement du roc par les ondes de Brisance permet aux gaz de reprendre leur expansion. Cette nouvelle expansion n'est pas ressentie partout à la fois dans la masse de roc; plutôt, comme l'indique la figure 1(c), elle se produit via un front de fissures secondaires derrière lesquelles il y a du roc fortement brisé et en avant duquel il n'y a que des fissures primaires. Ce front de fissures se déplace à une vitesse C_K d'environ 1,000 pi./sec., et à son arrivée à la paroi libre, la masse de roc éclate, se déplaçant à une vitesse d'éclatement U d'environ 30 à 80 pi./sec. (voir la figure 1(d)); à l'occasion, il s'ensuit une accélération finale de la masse de roc. Ce mouvement de la masse de roc peut s'appeler la "poussée de l'explosif", tandis que les actions de Brisance et de poussée de l'explosif, plus la comminution du roc durant son déplacement final, tous ensemble produisent la "fragmentation" du roc. Des solutions mathématiques furent trouvées pour les différents mécanismes physiques tel Brisance, le broyage autour du trou, la propagation des fissures secondaires, la vitesse d'éclatement, ainsi que pour d'autres aspects du phénomène sautage tel le déplacement du bourrage, les pertes de chaleur au roc, les effets de V.D.D., les effets de la géométrie du banc, le patron d'initiation, et même de l'aspect des roches projetées en missile; chaque solution tient automatiquement compte du genre ou des genres d'explosif utilisé, de l'accouplement de celui-ci au roc, ainsi que des propriétés élastiques de ce dernier. Ainsi, une simulation avec BLASPA veut dire que pour des explosifs donnés et leur distribution, un roc donné, un diamètre de trou donnée, un fardeau et espacement donnés,

un collet donné, une profondeur de sous-forage donnée, un patron d'initiatin donné, etc, les différentes solutions mathématiques sont calculées simultanément sur l'ordinateur, et la simulation fournit des estimés numériques de la qualité attendue de la Brisance, la poussée, la fragmentation du coup de sautage. Ces estimés numériques ne sont pas seulement des valeurs moyennes, mais aussi des valeurs locales à plusieurs endroits-clefs du sautage, tel que au plancher et dans la région du collet; la simulation fournit aussi de l'information au sujet de la distance maximum des roches projetées en missile, l'effet de la V.D.D., et les retards minimums requis.

Validité du Modèle:

BLASPA est un modèle mathématique qui dépend de plusieurs hypothèses de base au sujet des mécanismes physiques qui se produisent durant un coup de sautage; ainsi ses prédictions ne sont valides qu'au degré où ces hypothèses correspondent aux mécanismes réels d'un sautage. Certaines des hypothèses ne peuvent être vérifiées directement, à cause que le procédé de fragmentation qui se produit à l'intérieur de la masse de roc n'est pas facilement accessible aux techniques de mesures expérimentales. Par contre, certains aspects du sautage sont susceptibles d'être mesurés directement, tels que les caractéristiques des ondes qui causent l'action de Brisance, le temps nécessaire aux fissures secondaires pour se propager à travers la masse de roc, et la vitesse d'éclatement U . Par exemple, les caractéristiques des ondes de Brisance furent mesurées par le U.S. Bureau of Mines⁽¹⁾, tandis que le temps de propagation des fissures secondaires et la vitesse d'éclatement ont été mesurés au moyen de caméras rapides. Les solutions comprises dans BLASPA au sujet des ondes de Brisance ont été présentées en détail à la référence (2), où l'on peut voir que les prédictions théoriques coïncident remarquablement bien avec les données expérimentales du U.S. Bureau of Mines; la figure 2 indique une comparaison typique. La figure 3, par contre, montre une comparaison typique entre U tel que mesurée avec une caméra rapide et le U théorique calculé au moyen des solutions comprises dans BLASPA; cette figure indique que les calculs prédisent correctement non seulement U , mais aussi la vitesse des fissures secondaires C_K tel que déterminé par le temps de propagation de ces fissures entre le moment de la détonation et le début du mouvement U de la masse de roc. Si considérés dans leur ensemble, de telles données permettent de croire à la validité des hypothèses de base dans BLASPA.

Un autre point de vue concernant la validité de BLASPA dépend de la foie qu'on peut mettre dans les prédictions numériques faites par ce modèle au sujet de la qualité attendue de la Brisance, poussée, fragmentation, etc. La foie de votre conférencier au sujet de ces prédictions numériques dérive largement du record cumulatif de prédictions de plus en plus précises faites durant une période d'environ 10 ans d'applications pratiques dans les mines, dont quelques exemples seront discutés plus tard; durant ces dix années, des milliers

de simulations ont été calculés pour plus de quarante mines, les résultats prédits devenant de plus en plus précis à mesure que le programme s'améliora et s'agrandit.

Méthode d'application de BLASPA:

Le système de simulation BLASPA peut être utilisé pour calculer beaucoup d'information concernant la qualité attendue des résultats d'un sautage. Par contre, l'expérience suggère que trop de réponses numériques nuit plutôt qu'aider l'utilisateur. Ainsi, BLASPA normalement ne fournit que les prédictions suivantes (voir figure 4), quoiqu'il soit facile de faire sortir plus d'information si on le désire:

Facteur de rupture du plancher - la capacité du sautage à empêcher les bosses au niveau du plancher, aux abords de la paroi libre, à mi-chemin entre deux trous.

Facteur des blocs - la capacité du sautage à empêcher la présence de gros blocs dans la région du collet, à mi-chemin entre deux trous.

Facteur de poussée moyenne - la poussée moyenne fournie à la masse de roc.

Facteur de poussée moyenne au plancher - la poussée moyenne du roc au niveau du plancher.

Facteur de poussée arrière au plancher - la poussée locale du roc au niveau du plancher, en ligne avec la rangée de trous, à mi-chemin entre deux trous.

Facteur de poussée verticale au plancher - la poussée locale du roc vers le haut au niveau du plancher, au centre de l'aire du plancher.

Facteur de roc projeté en missile - la distance maximum de projection de roc en missile, et du haut du banc et de la paroi libre.

Facteur de bris arrière - la capacité du sautage à endommager le banc à l'arrière des trous.

Il est souhaitable que chacun des facteurs soit aussi grand que possible, sauf les facteurs de roc projeté en missile et de bris arrière.

Une simulation requiert la connaissance des valeurs spécifiques des variables indépendants suivants:

Genres d'explosifs, distribution et densité
Patron de forage, i.e. espacement et fardeau

Patron d'initiation, i.e. par rangée parallèle ou oblique
Diamètre du trou, hauteur du banc, longueur du collet, profondeur du sous-forage
Propriétés élastiques du roc
Coûts des explosifs, du forage, de la manutention

En pratique, la première simulation se fait pour une procédure de sautage standard, pour laquelle la qualité des résultats de sautage est connue, e.g. on la décrit de la façon suivante: présence de gros blocs, aucune bosse au plancher, trop de roc projeté en missile, la pile de roc est serrée et ne se pèle pas vite, etc. Cette première simulation établit les valeurs de départ des différents facteurs de qualité; les simulations suivantes cherchent des valeurs des variables indépendantes qui peuvent améliorer les facteurs associés aux aspects déplorable des résultats de sautage, tout en même temps s'assurant que les autres facteurs ne détériorent pas trop. À l'usage, une étude de sautage requiert de 30 à 50 simulations. Les coûts d'ordinateur pour une telle étude sont tout à fait raisonnables, ce qui fait de BLASPA un système pratique.

Exemples de l'usage de BLASPA:

BLASPA peut servir à plusieurs genres d'études d'optimisation, tels que:

Chercher le genre d'explosifs qui rencontre le mieux les propriétés du roc
Comparer différents niveaux d'ingrédients de puissance tels que l'aluminium
Étudier l'effet de l'accouplement explosif/roc dû à un anneau d'air, d'eau, ou de plastique
Étudier l'effet de la distribution des explosifs
Étudier l'effet du collet, du diamètre du trou, de la hauteur du banc, du sous-forage
Étudier l'effet du patron de forage et du patron d'initiation
Étudier l'effet des trous inclinés
Étudier l'effet de la V.D.D.
Calculer les retards minimums requis
Explorer l'usage le plus efficace des explosifs

Quelques exemples typiques d'études de sautage suivent.

(a) Optimisation du sautage:

Afin d'obtenir une production plus rapide sans investissement capital majeur, des simulations ont été calculées pour aider cette mine à obtenir une pile de roc moins serrée, et ceci avec une augmentation minimum de coûts. L'objectif d'une amélioration de 15% avait été décidé au préalable avec la mine, avec la contrainte qu'aucun autre aspect des résultats du sautage ne devait se détériorer d'une façon inacceptable. Les résultats des simulations les plus intéressantes sont présentés au

tableau 1, qui indique trois des diverses façons qui furent examinées pour obtenir une pile de roc 15% moins serrée, tel qu'indiqué par une valeur d'au moins 115 pour chacun des facteurs associés à la poussée de l'explosion. Selon le tableau 1, 15% d'amélioration du déplacement est possible au moyen d'une réduction de patron, mais à des coûts 14% plus élevés, ou au moyen d'une charge de fond plus grande, mais à des coûts 11% plus élevés, ou au moyen d'une charge de colonne comprenant un autre genre d'explosif, et ceci à des coûts seulement 7% plus élevés. Il est à noter qu'il n'y a rien de très spécial au sujet des trois façons d'aborder le problème d'obtenir un déplacement amélioré de 15%; tous les ingénieurs en sautage auraient suggéré d'essayer un patron réduit, une charge de fond plus grande, une charge de colonne d'un explosif différent, ou même plusieurs autres façons d'aborder le problème. Par contre, ils pourraient passer des mois de sautages réels pour vérifier le mérite relatif de chaque façon par la méthode empirique à la mine même, tandis que la disponibilité d'un tableau de résultats de simulations tel que le tableau 1 aide à choisir directement la troisième façon. Au fait, un avantage très marqué en faveur d'utiliser BLASPA est la rapidité avec laquelle les simulations aident à mettre de côté des façons qui ne sont pas prometteuses pour atteindre un but donné, et ceci avant d'avoir à accomplir des essais à la mine, essais qui causent souvent beaucoup d'ennuis; après que les simulations ont aidé à cerner les façons les plus prometteuses d'aborder le problème parmi 8 ou 10 différentes façons d'obtenir les résultats souhaités, alors l'ingénieur en sautage procède comme à l'habitude au moyen d'essais dans la mine. De plus, un deuxième avantage notable de BLASPA est que même si les simulations cherchent à améliorer un aspect spécifique concernant les résultats de sautage, ils vérifient aussi plusieurs autres aspects, s'assurant que leur qualité ne détériore pas; ainsi l'amélioration de l'aspect qui était en litige ne se fait pas aux dépens des autres aspects. Un aspect-clé vérifié à chaque simulation est la portée maximum du roc projeté en missile; ainsi le responsable du sautage reçoit un avertissement qu'il aura peut-être à déplacer son équipement à une distance plus grande du sautage qu'auparavant. Une étude de sautage telle que celle dont les faits saillants sont présentés au tableau 1 requiert habituellement un total d'environ 50 simulations, le tableau 1 ne montrant que quelques exemples. Chaque simulation tient compte de centaines de variables; par exemple, le facteur de poussée moyenne au plancher calcule la moyenne du déplacement local à chaque pied carré dans l'aire du plancher (i.e. la moyenne d'un nombre de calculs égal au fardeau multiplié par l'espacement, tous deux en pieds), tandis que la portée du roc projeté en missile est la portée maximum parmi environ 50 calculs de portée à partir de différents endroits dans la masse de roc participant au sautage. Ainsi le nombre de valeurs calculées durant une étude de sautage est tellement grand qu'il faudrait sans doute des années d'essai à la mine pour explorer les mêmes résultats. Et pourtant une telle étude par simulation

ne coûte que très peu comme elle ne demande qu'environ 4 jours de travail, ce qui inclut un rapport d'étude. De plus, les noms des différents facteurs de qualité qu'utilise BLASPA sont très semblables au vocabulaire utilisé par les ingénieurs en sautage, de telle façon qu'en pratique la communication s'établit rapidement entre le responsable du sautage à la mine et BLASPA; en fait, les études de sautage les mieux réussies à date étaient celles où l'ingénieur de la mine décidait des buts à atteindre au moyen de simulations. Ainsi BLASPA devrait être vu comme un nouvel outil, complémentaire à ceux qu'un ingénieur utilise en sautage, mais très flexible et très efficace, et capable de lui ouvrir de nouvelles opportunités pour ré-examiner sa procédure de sautage courante.

(b) Besoins d'une charge de fond:

L'étude de sautage suivante répond à une question que beaucoup de responsables du sautage m'ont déjà posée, i.e.: "Y a-t-il un besoin réel d'avoir une charge de fond de bouillie quand on utilise de l'ANFO dans les trous secs? "Le tableau 2 présente des résultats de simulations pour une situation typique. Les entrées (1) et (2) donnent les procédures établies, lesquelles fournissent des résultats satisfaisants dans un roc moyen; (1) est utilisé où les trous sont mouillés, (2) où les trous sont secs. Les facteurs de qualité de (1) et (2) sont comparables, sauf que la procédure "sèche" poursuit le roc un peu mieux, tandis que la procédure "mouillée" réduit les blocs mieux mais est plus coûteuse. Les calculs (3) à (11) explorent les changements apportés aux facteurs de qualité si la charge de fond de bouillie est réduite à nul et le patron est graduellement réduit. L'entrée (4) indique les résultats correspondant à un facteur d'énergie constant; on y voit que les coûts sont baissés, le déplacement est satisfaisant, mais les facteurs de rupture au plancher et de blocs se sont nettement détériorés. Si on réduit le patron encore plus, ce n'est seulement qu'au patron ridiculement bas de 5 x 7 que la rupture au plancher reprend sa valeur originale tandis que les blocs ne sont pas encore réduits d'une façon satisfaisante; à ce patron, le roc projeté en missile et les coûts sont rendus inacceptables. La dernière entrée indique un compromis raisonnable où la charge de fond est réduite à 10 pieds, le collet changé de 15 à 14 pieds, et les coûts réduits de 4cts/verge. Comme on peut le voir au tableau 2, il y a de bonnes raisons pour que les ingénieurs en sautage utilisent presque toujours une charge de fond même dans les trous secs; évidemment, si on permet au diamètre du trou de varier, alors les résultats de l'étude de sautage peuvent être différents, en fonction du roc, de la géométrie, etc.

CONCLUSION:

Les exemples de simulations discutés à la section précédente ne représentent qu'une petite partie des études d'optimisation qui peuvent être faites avec BLASPA. Par exemple, on peut explorer les résultats attendus si le rapport espacement à fardeau est varié de 1 à 10, tout en conservant la même charge d'explosif dans un volume constant de roc. Ici la méthode du facteur d'énergie ne peut prédire les changements apportés aux résultats du sautage, car le facteur d'énergie demeure constant; BLASPA, par contre, prédit que dans plusieurs cas, l'augmentation du rapport espacement à fardeau peut être bénéfique, ce qui concorde avec les résultats observés dans les mines. D'autres questions auxquelles BLASPA peut répondre mais auxquelles la méthode du facteur d'énergie n'apporte aucune réponse sont les suivantes: Quel est l'effet de la V.D.D? Quel est l'effet de la position de l'amorce? Quelle est la valeur minimum d'un retard pour une situation donnée? De combien la portée du roc en missile augmente-t-elle? Quel est l'effet de varier le collet, en conservant un facteur d'énergie constant? Quel est l'effet de varier le sous-forage, tout en conservant un facteur d'énergie constant? Quel est l'effet de varier le diamètre du trou, tout en conservant un facteur d'énergie constant? etc. BLASPA peut fournir des réponses numériques à de telles questions, ces réponses numériques présentant l'avantage additionnel de tenir compte des propriétés du roc de la mine pour laquelle les simulations sont faites. BLASPA ne prend pas de décision; plutôt, il fournit des tableaux numériques qui aident le responsable du sautage à la mine à prendre ses décisions; la décision finale dépend habituellement de son expérience en sautage, de ses connaissances des techniques du sautage, tandis que les tableaux fournis par BLASPA sont des outils supplémentaires pour l'aider à choisir quel changement essayer le premier.

BLASPA a été conçu pour aider l'industrie minière; il a déjà été utilisé pour faire des milliers de simulations pour plus de 40 mines au Canada et à l'étranger. Ce programme est disponible aux responsables du sautage qui peuvent y faire appel comme outil complémentaire pour l'optimisation de leurs sautages; ceux qui font ceci découvrent habituellement que BLASPA est un système pratique et efficace; de plus, l'usage de simulations élève le niveau intellectuel de leur travail professionnel en le rendant plus exact et rigoureux. À l'occasion, les simulations indiquent que la procédure de sautage actuelle est déjà optimisée; mais même là les calculs sont utiles, car le responsable du sautage peut montrer les résultats numériques des simulations à son surintendant, ce qui démontre à celui-ci qu'un effort actif est en marche pour améliorer et maintenir la qualité du sautage.

Références:

- (1) Atchison, T.C., et W.E. Tournay, "Comparative Studies of Explosives in Granite", U.S. Bureau of Mines Rept. Invest. 5509, 1959.

- (2) Favreau, R.F., "Generation of Strain Waves in Rock by an Explosion in a Spherical Cavity", J. of Geophysical Research, 74, 4267, 1969.

TABLEAU 1 - Exemple d'une étude d'optimisation de sautage

No	Charge de fond Expl. pi.	Charge colonne Expl. pi.	Espace- ment Fardeau	Fragmen- tation moyenne	Déplace- ment moyen	Déplace- ment moyen au plancher	Blocs dans la région du collet	Portée du roc en missile	Coût total par verge (expl + fo- rage + ac- cessoires)
----	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------	---------------------------	--	---	-----------------------------------	--

ANCIENNE PROCÉDURE QUI NE DÉPLAÇAIT PAS LE ROC SUFFISAMMENT

1. A 6.7 B 26.9 24.6 24.6 100 100 100 100 100

ON CHERCHE UN DÉPLACEMENT SUPÉRIEUR DE 15% EN RÉDUISANT LE PATRON

2. A 6.7 B 26.9 23 23 111 115 110 106 109 114

ON CHERCHE UN DÉPLACEMENT SUPÉRIEUR DE 15% EN AUGMENTANT LA CHARGE DE FOND

3. A 10 B 23.6 24.6 24.6 101 102 104 100 102 102
 4. A 20 B 13.6 24.6 24.6 104 110 114 98 110 107
 5. A 26.6 B 7.0 24.6 24.6 106 115 119 96 116 111

ON CHERCHE UN DÉPLACEMENT SUPÉRIEUR DE 15% EN CHANGEANT LA CHARGE DE COLONNE

6. A 3.3 C 30.3 24.6 24.6 106 114 116 98 116 107
 7. A 6.7 C 26.9 24.6 24.6 106 115 117 97 116 107
 8. A 15 C 18.6 24.6 24.6 107 116 119 97 118 110
 9. A 25 C 8.6 24.6 25 106 116 121 95 120 111
 10. A 33.6 C 0 25 25 105 116 119 93 119 111

Code: A = Bouillie à haute teneur métallique
 B = Bouillie sans métal
 C = Bouillie à basse teneur métallique

TABLEAU 2 - Besoin d'une charge de fond

No de fond	Charge de fond	Charge colonne	Espace-ment	Déplacement moyen	Déplacement moyen au plancher	Déplacement à l'arrière	Blocs dans la région du collet	Rupture au plancher	Déplacement vertical au plancher	Portée du roc en missile	Coût total par verge (expl + forage + accessoires)
1.	HD 30	--	18	16	94	94	141	103	102	102	70
2.	HD 15	ANFO 15	16	14	100	100	100	100	100	100	64
PROCÉDURES STANDARDS DANS LES TROUS MOUILLÉS ET SECS											
AUCUNE CHARGE DE FOND, PATRON RÉDUIT											
3.	--	ANFO 30	16	14	83	84	66	51	91	87	37
4.	--	ANFO 30	15	13	94	94	68	53	100	95	43
5.	--	ANFO 30	14	12	103	106	69	56	113	106	50
6.	--	ANFO 30	13	11	118	120	71	60	128	118	59
7.	--	ANFO 30	12	10	132	137	72	63	148	132	70
8.	--	ANFO 30	11	9	153	158	74	68	173	150	85
9.	--	ANFO 30	10	8	175	184	76	73	204	172	104
10.	--	ANFO 30	9	7	211	217	77	79	246	200	133
11.	--	ANFO 30	7	5	331	318	80	95	382	290	239
COMPROMIS RAISONNABLE (COLLET RÉDUIT DE 15 À 14 PI.)											
12.	HD 10	ANFO 20	16	13	103	104	90	93	108	106	60

Code: HD = Bouillie à haute densité
ANFO = Nitrate d'ammonium/huile

FIG. 1: MECHANISMS OF THE BLASTING PROCESS

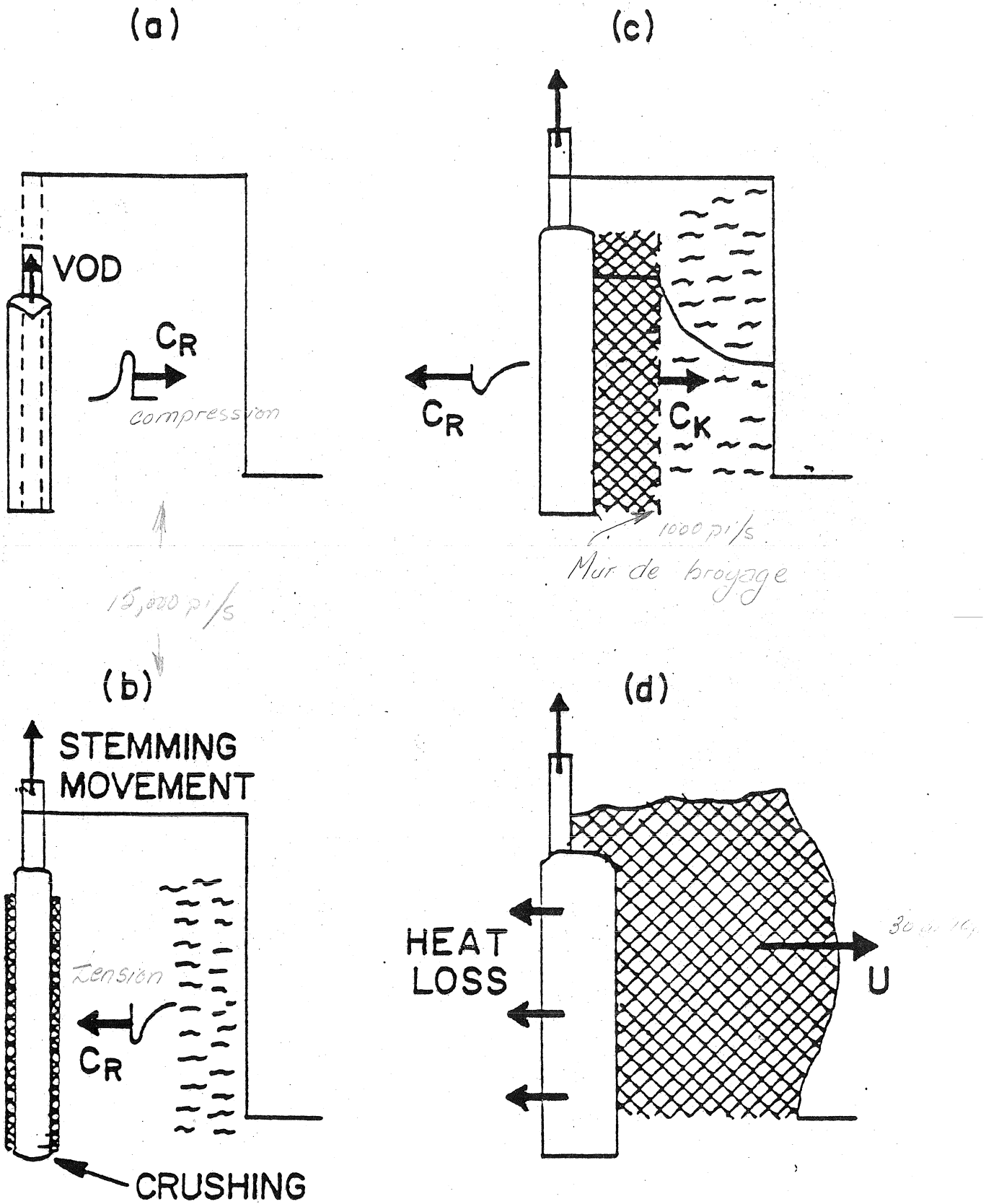


FIG. 2: VALIDITY OF THE BRISANCE THEORY.

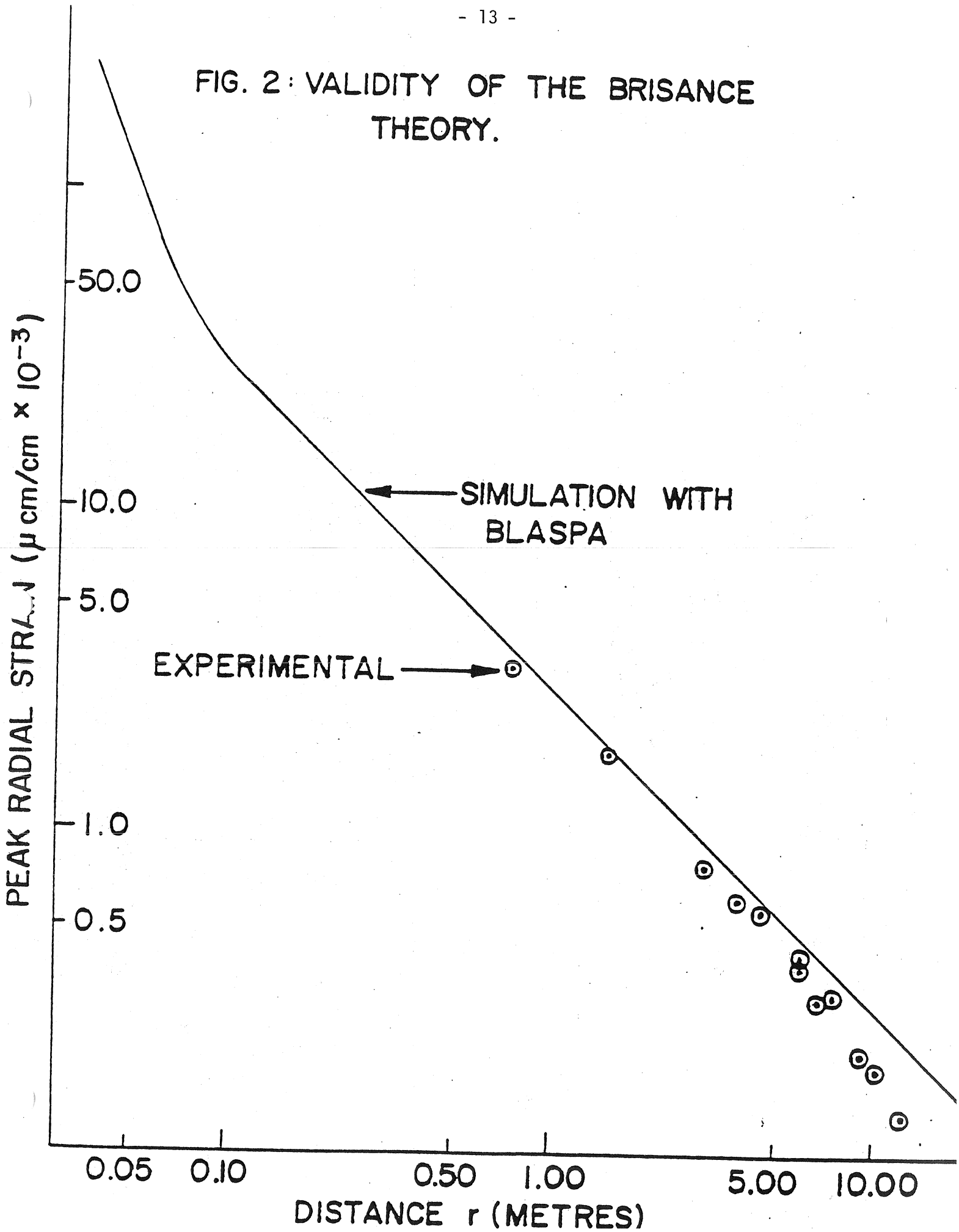


FIG 3 : ROCK MASS MOVEMENT

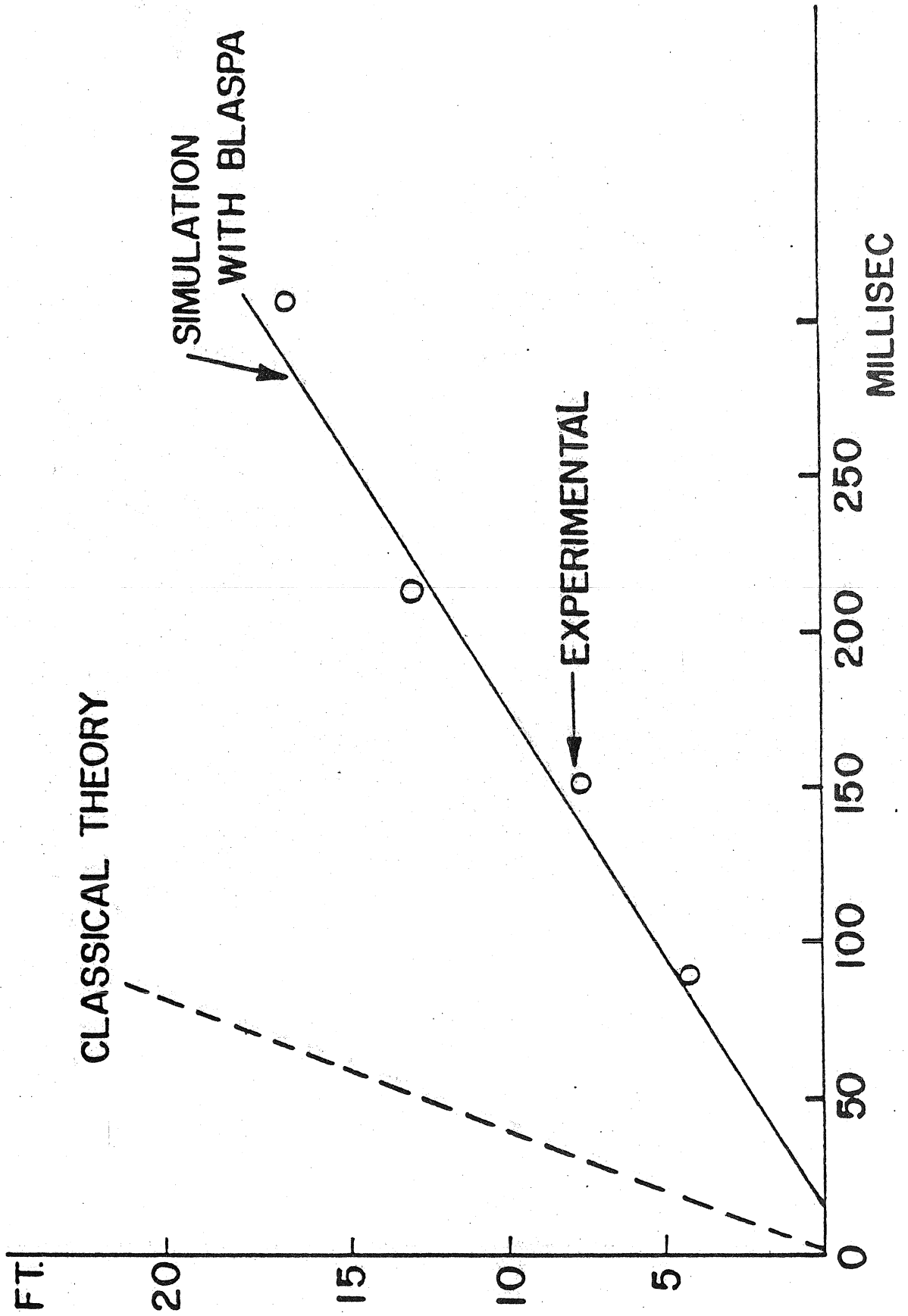


FIG. 4 DEFINITIONS OF QUALITY FACTORS

