

REVUE SEEQ

Société d'Énergie Explosive du Québec

Vol. 28 - No.2

Spécial 45^e Session d'Étude - novembre 2022

(Gratuit aux membres)

www.seeq.qc



Dans cette édition:

- **L'art de la communication et des affaires dans l'industrie des explosifs**
- **Les mécanismes du sautage revisités**
- **Les dangers de l'élimination des explosifs par incinération**
- **Nouvelles d'Harold et de nos foreurs-boutefeux**

Revue SEEQ



SEEQ

La Société d'Énergie Explosive du Québec est un organisme à but non lucratif fondé en 1981 avec comme principaux objectifs de regrouper les fabricants et les utilisateurs de l'énergie explosive et de promouvoir la science, le génie, l'art et surtout la sécurité dans l'utilisation de l'énergie explosive.

ÉDITION SEEQ

a/s Pierre-Luc Deschênes
2700, rue Einstein, F. 2e étage
Québec, Qc, G1P 3W8

Rédacteur en chef et responsable

Pierre Dorval
Revue.seeq.qc@gmail.com

Photo page couverture

EBC – Autoroute 50
Photo courtoisie Martin Cyr

COLLABORATEURS

Francis Trépanier
Pierre-Luc Deschênes
Paul Kuznik
Harold Blackburn
Pierre Dorval
Suzanne Larouche

IMPRESSION

Les Copies de la Capitale Inc.

Sommaire

SEEQquences du Président 3

Chronique Explosifs

L'art de la communication et des affaires
dans l'industrie des explosifs 4

Chronique Sautage

Les mécanismes du sautage revisités :

-Détermination des paramètres de sautage 10

-Caractéristiques des explosifs 15

-Propriétés des matériaux et facteur poudre 19

Chronique Sécurité

Les dangers de l'élimination des explosifs par
incinération 25

Chronique Boutefeu

Nouvelles d'Harold et de nos foreurs-boutefeux... 26

Revue de l'actualité 34

Conseil d'administration 2022

Président	Francis Trépanier	450-673-0102
Vice-président	Yves Gilbert	418-694-1030
Trésorier	Daniel Gros-Jean	514-592-5861
Secrétaire	Mustapha El Dhimni	
Directeurs	Étienne Bibeau	
	Harold Blackburn	
	Nicolas Beaulieu	514-207-8531
	Tommy Boulianne	
	Martin Cyr	
	Pierre Dorval	418-842-6899
	Pierre-Luc Deschênes	581-814-2700, poste 24076
	Marie-Ève Émond	514-355-6190, poste 312
	Paul Kuznik	450-437-1441
	Suzanne Larouche	418-699-0125
	Nadya Michel	
	Marc-Antoine Prince-Larose	
	Daniel Roy	514-866-2111, poste 8581
	David Sibille	819-679-5903
	Éric Simon	514-247-4566
Secrétariat	Geneviève Roux	

SEQUENCES DU PRÉSIDENT

Francis Trépanier

Chers collègues,

Après plus de 2½ ans de mesures de confinement, de restrictions et de nombreux compromis, nous sommes maintenant de retour à une certaine normalité.

C'est avec un immense plaisir que la SEEQ et l'Université Laval vous accueillent à nouveau en présentiel, ces 17 et 18 novembre 2022, pour cette 45^e session d'étude sur les techniques de sautage.

Ces deux dernières années et demi nous ont obligé à revoir nos façons de travailler et à être créatif pour continuer à servir nos clients et leurs projets.

En ces temps de rareté de main d'œuvre spécialisée ou non, la raison d'être de la SEEQ prend toute sa place. En effet, la raison d'être de la SEEQ est, entre autres, de :

- Promouvoir la science, le génie et surtout la sécurité dans l'utilisation de l'énergie explosive
- Promouvoir, par la recherche et l'éducation, l'utilisation des explosifs pour le bien de la société
- Promouvoir le libre échange des idées et expériences pratiques de l'utilisation des explosifs
- Promouvoir la formation de ses membres

Dans cet esprit de changement et de créativité, nos sessions d'étude prennent donc tout leur sens en termes de formation et de partage des connaissances au plus jeunes qui débutent dans ce domaine plein de défis, mais également plein de rencontres exceptionnelles. En tant que président de la SEEQ et comme ingénieur œuvrant dans le domaine des explosifs, je m'engage à promouvoir la transmission de nos connaissances pour le bien de la société et des projets.

L'environnement prend également de plus en plus la place no 1 dans l'élaboration des projets. Notre rôle individuel et collectif peut donc faire une différence.

Ensemble, jeunes et plus expérimentés, nous pourrions accomplir de grands projets.

Francis Trépanier, ing.
Président SEEQ



Photo courtoisie : Samuel Bédard – Castonguay - Malartic

L'art de la communication et des affaires dans l'industrie des explosifs

Par : Joseph A. Meyers, Chef

Unité des Explosifs du FDNY (Fire Department, New-York)

Source : The Journal of Explosives Engineering
Septembre-Octobre 2021, publié avec la permission de l'auteur, traduction libre par la Revue : Pierre Dorval

Résumé

Les techniques et la technologie des explosifs évoluent et s'améliorent constamment, mais les compétences de base en matière de communication et de commerce ne sont pas utilisées régulièrement. De nombreux projets de dynamitage potentiels ne voient jamais le jour en raison de facteurs simples et fondamentaux, tels que le manque de communication. La communication articulée est l'élément clé du processus d'approbation des projets de dynamitage, qui a remarquablement changé par rapport à la façon dont les affaires étaient menées il y a 50 ans. Le processus d'approbation doit impérativement s'appuyer sur une communication décrivant la sécurité et les avantages du projet de dynamitage. L'information et la transparence avec les parties prenantes et l'autorité compétente (soit celle ou ceux qui octroient les permis et autorisent les travaux) (Authority Having Jurisdiction) améliorent considérablement les chances d'approbation d'un projet de dynamitage. Cette communication ouverte commence dès le début du projet, lorsque le protocole d'accord est obtenu, et implique l'autorité compétente à toutes les étapes du processus d'approbation. L'industrie du dynamitage et les organismes de réglementation doivent travailler en collaboration pour améliorer la sécurité, la sûreté, les réglementations et les autorisations. La mise en œuvre de techniques de dynamitage de pointe, de mesures de sécurité, de surveillance des vibrations et d'autorisations strictes permet à l'autorité compétente et à toutes les parties prenantes de rester intégrées et informées, contribuant ainsi à l'approbation du processus. Les opérateurs réglementaires doivent s'efforcer d'atteindre le succès par la communication, la coopération et la conformité, ce qui est accompli par une éducation continue et la transparence. Ces étapes, combinées à des réunions régulières, se sont avérées bénéfiques tant pour l'industrie que pour les

régulateurs. Les relations se construisent par la confiance, le travail d'équipe, la transparence et la communication. Le fait d'inclure les parties prenantes et l'autorité compétente dans le processus d'approbation dès le début permet de consolider ces relations et d'améliorer le travail d'équipe.

Faites-en une affaire personnelle

La communication est la composante la plus importante de l'activité professionnelle et se définit par la manière dont nous envoyons et recevons des messages. Elle peut se faire de différentes manières, en incorporant divers dialogues et styles qui créent des occasions personnelles, formelles, informelles, écrites, verbales et non verbales de transmettre des messages. Les membres de l'industrie du dynamitage et les régulateurs gouvernementaux utilisent souvent toutes les formes de communication de manière interchangeable.

L'interaction personnelle est le moyen le plus efficace d'obtenir l'approbation d'un projet. Avant que les humains n'aient développé un langage discernable, la communication était rendue personnelle par l'expression et les signaux. Le contact se faisait par le toucher, le son et l'odorat, et cette interactivité permettait de développer des relations personnelles. Aujourd'hui, la communication est devenue impersonnelle et binaire, dépendante de la technologie et des appareils de données portatifs. La communication par le biais d'appareils de données laisse peu de place à la connexion humaine et crée un message impersonnel qui manque d'intonation et de connexion significative. Ce dialogue stérile et impersonnel laisse une large place aux erreurs d'interprétation et au manque de clarté qui contribuent au refus du processus d'approbation et au rejet du projet.

Au fil des ans, l'industrie du dynamitage à New York a connu des difficultés directement liées au manque de communication et de collaboration. Il n'y a pas si longtemps, de nombreuses approbations se faisaient avec une poignée de main et une promesse « un gentleman's agreement ». Une confiance inhérente s'est établie entre l'industrie et les organismes de réglementation, ce qui a permis de créer un système qui fonctionnait, était efficace et, surtout, sûr. Les réponses étaient rapides et

promptes et se faisaient en face à face ou par téléphone. La technologie d'aujourd'hui est marquée par des retards dans le processus d'envoi et de réception de courriels, de textes et de formulaires en ligne. Être cordial, sourire et présenter un comportement calme peut faire ou défaire un projet, des émotions humaines qui ont été iconisées par des emoji jaunes impersonnels. Le respect qui régnait autrefois entre l'industrie, les dynamiteurs et les organismes de réglementation était dû à la communication et aux liens humains établis par des personnes qui prenaient le temps d'apprendre à se connaître personnellement et qui vivaient selon un code d'honneur solide et une base de confiance.

Le plus souvent, les personnes impliquées dans le processus d'approbation avaient des antécédents, de multiples expériences de travail en commun et se connaissaient bien. Les expériences antérieures ont permis d'établir un respect mutuel et de jeter les bases de la confiance et de la communication. Les régulateurs de NYC avaient travaillé dans l'industrie en tant que boute-feux et étaient très expérimentés et respectés dans le monde des explosifs. Aujourd'hui, il est moins courant de trouver des régulateurs ayant une expérience en matière de dynamitage et vice versa. Dans l'industrie, il y a des personnes qui font le travail, d'autres qui conçoivent les plans de dynamitage et des régulateurs qui sont inexpérimentés et peu familiers avec l'art pratique du travail sur les explosifs. Les explosifs sont un secteur où l'expérience pratique est inestimable et ne peut être remplacée par un livre ou une recherche sur Internet.

L'histoire du dynamitage à New York est riche en rebondissements et commence avec l'infiltration de l'industrie par des syndicats tels que la section 29 des dynamiteurs, foreurs et mineurs et la section 147 des travailleurs de la construction en souterrain. Pour répondre à l'éternelle question - oui, les syndicats étaient contrôlés et l'industrie influencée par le crime organisé, mais la mission était simple - faire un bon travail, être en sécurité et faire de l'argent. À cette époque, les obstacles réglementaires étaient peu nombreux et les projets étaient achevés dans les délais. Les explosifs étaient un jeu de confiance, et les travaux étaient effectués en toute sécurité.

Pour l'industrie, c'était toujours personnel et il y avait des conséquences à essayer de prendre des

raccourcis, à ne pas suivre le code ou à ignorer les règles mises en place par les régulateurs. Le châtiement était rapide et entraînait des sanctions financières, le licenciement et la révocation des licences et des permis. La société dans son ensemble a perdu le sens de la communication, des contacts interpersonnels, de la construction de relations personnelles et de la création de liens par le travail acharné qui créaient les équipes soudées d'autrefois.

Histoire de la section Local 29

La section 29 (mineurs, foreurs et dynamiteurs) a été créée en 1939 par la « Laborers International of North America (LIUNA) », qui a syndiqué un groupe de travailleurs du secteur des explosifs connu sous le nom de hogs and carriers. Plus tard, la LIUNA a organisé les Hogs et les Carriers pour former l'autre syndicat des explosifs de NYC, le Local 147, les Sandhogs (Travailleurs en construction souterraine). À cette époque, le crime organisé était très puissant et contrôlait les syndicats et l'industrie de la construction. En fait, la section 29 était à l'origine contrôlée par les Lucchese, une famille du crime organisé.

Histoire de l'unité des explosifs FDNY

L'unité des explosifs de New York était en plein essor dans les années 1880 et faisait partie du Bureau des combustibles du service des incendies. Les membres étaient choisis parmi les dynamiteurs agréés pour devenir inspecteurs du FDNY. Ces inspecteurs étaient nécessaires en raison de l'énorme quantité d'explosifs utilisés pour soutenir une infrastructure en évolution rapide qui a permis de créer les premiers métros, les tunnels Lincoln et Holland, l'Empire State Building et une multitude de travaux de fondation.

Une citation tirée d'un ancien manuel de réglementation des explosifs du service des incendies indique que "les titulaires de permis d'explosifs doivent être inspectés à intervalles fréquents et irréguliers. Si un inspecteur découvre une menace sérieuse pour la vie, l'intégrité physique ou la propriété, il doit immédiatement prendre des mesures pour corriger le danger et infliger des sanctions appropriées". La quantité d'infrastructures, d'utilités et de population existantes rendait la situation potentiellement volatile et très dangereuse si les explosifs tombaient entre les mains de professionnels et de personnes

CHRONIQUE EXPLOSIFS

non formées. Il était donc nécessaire de disposer d'un personnel hautement qualifié pour servir de régulateurs, car le danger de ne pas avoir de personnel hautement qualifié pouvait conduire à un désastre. Les approbations de projets d'explosifs se sont déroulées très rapidement en raison des connaissances des régulateurs et de l'industrie, et des niveaux limités d'interférence gouvernementale. Les individus interagissaient à un niveau personnel, face à face, plutôt que par le biais des textes et des courriels modernes. La communication en face à face ne laisse aucune place à l'interprétation, les réponses sont immédiates et le ton de la conversation ne se perd pas dans des mots imprimés impersonnels.

Problèmes actuels

La réglementation est facile lorsque les emplois liés aux explosifs sont ignorés, décomptés ou simplement rejetés. C'est une parodie lorsque des emplois sont refusés par peur de l'inconnu, par manque de compréhension ou par pure ignorance. Le rôle des régulateurs est de rendre un projet sûr grâce à des codes, des normes et des règlements de sécurité, en évaluant chaque projet de dynamitage pour qu'il soit complet et puisse être approuvé. Contrairement au passé, de nombreuses personnes sont impliquées dans l'industrie moderne du dynamitage et sont souvent inexpérimentées dans le travail de terrain. Ce manque d'expérience et d'expertise technique crée un grand fossé de connaissances entre l'industrie et les régulateurs. La société est devenue procédurière et se nourrit de plaintes qui augmentent le risque et dans le passé, les griefs superflus étaient ignorés. La technologie d'aujourd'hui offre moins de possibilités d'exprimer ses préoccupations sur de nombreuses plateformes simultanément. Les plaintes font souvent état de nuisances et de désagréments périphériques tels que les vibrations, le bruit et la poussière, mais il faut néanmoins en prendre acte. Récemment, une plainte a été déposée après que le simple son des sifflets a déclenché une réaction pavlovienne, sans qu'il y ait eu de détonation explosive.

Dans la ville de New York, ces plaintes erronées entraînent le retard ou l'arrêt des projets, qui sont extrêmement coûteux pendant que les préoccupations sont examinées. Les retards sont souvent secondaires à la peur et à l'incertitude manifestées par le profane moyen qui côtoie les explosifs. Les retards prolongés se traduisent par

des années supplémentaires sur le chantier, un risque accru d'accidents liés au travail et les inconvénients qui ont initialement motivé la plainte se poursuivent pendant des années au-delà de ce qui était nécessaire.

La communication doit commencer avec la communauté en tant que partie prenante et avec l'autorité compétente (AHJ) dès le début du processus d'approbation. Un dialogue ouvert et transparent entre l'industrie et la communauté locale peut apaiser de nombreuses craintes et préoccupations, contribuant à ouvrir une voie claire vers la réussite des travaux.

Démarrer le processus dès le départ

La première partie de la formule consiste pour l'entrepreneur à impliquer l'autorité compétente, à obtenir son avis et à maintenir la transparence. Utilisez les quatre « C » de la communication, de la conversation, de la coopération et de la conformité pour établir une relation de travail avec l'autorité compétente. L'étape suivante consiste à impliquer tous les principaux acteurs du projet et à organiser une réunion dans un lieu central de New York. Le bureau de gestion des urgences (OEM- Office of Emergency Management) constitue une toile de fond idéale pour entamer le processus. La discussion sur un projet nécessitant des explosifs doit être factuelle, concise et présentée en termes simples pour s'assurer que toutes les parties prenantes non industrielles comprennent parfaitement les demandes et les exigences du projet. Remplacer des termes comme explosion par "moyens énergétiques" au lieu de dire que quelque chose va exploser. Le professionnalisme et le fait de s'adresser à l'auditoire de manière appropriée dès le début aideront à obtenir l'adhésion nécessaire à l'approbation du projet. La communauté est une partie prenante importante qui doit être impliquée dès le début et recevoir une éducation de base sur le projet, le processus et les explosifs utilisés. Elle doit avoir le sentiment d'être incluse, respectée et de faire partie du processus, et elle doit comprendre que l'autorité compétente sera présente à chaque étape du processus pour répondre aux préoccupations et aux questions qu'elle pourrait avoir. La confiance de la communauté augmentera si l'autorité compétente est présente et disponible pour superviser le projet du début à la fin, y compris à travers toutes les approbations de la conception de l'explosion, de la surveillance des vibrations, de

l'autorisation de l'enquête préalable et postérieure au site, de la sécurité, de la livraison des explosifs, etc. L'organisation d'une réunion du conseil communautaire au début du processus avec l'entrepreneur et l'autorité compétente montre un front uni du groupe, facilite l'explication du processus et permet aux membres de la communauté de poser des questions et d'obtenir des réponses en temps réel.

La communication est une rue à double sens

Le conseil donné aux nouveaux venus dans l'industrie du dynamitage commercial a toujours été de "garder les oreilles ouvertes et la bouche fermée". En d'autres termes, soyez un bon auditeur et prêtez attention. La technologie moderne a créé de terribles auditeurs et communicateurs qui maîtrisent mal la grammaire, les concepts et la communication efficace. La communication par le biais d'appareils électroniques empêche le développement de la compréhension grammaticale et entrave les relations personnelles. Un vieux sage dirait : "Lorsque vous essayez de montrer aux gens tout ce que vous savez, vous ne faites que prouver tout ce que vous ne savez pas". À l'époque des samouraïs, les Japonais savaient que les bavardages inutiles étaient inutiles. Selon les mots du grand samouraï japonais Mi-Yamoto Musashi et du grand général chinois Sun Tzu, "Laissez votre adversaire faire le premier pas - regardez et écoutez simplement. Lorsque votre adversaire vous a montré tous ses mouvements, vous attaquez." Cette citation est souvent reprise, et enseignée, comme une technique commerciale consistant à écouter et à laisser votre adversaire vous donner toutes les informations dont vous avez besoin pour le vaincre. Il est impératif que les régulateurs soient prudents et calculent les informations qu'ils diffusent lors des réunions, et que ces informations soient exactes, honnêtes et diffusables. Une communication ouverte est respectueuse, pointue mais non menaçante. Il s'agit d'une compétence qui s'apprend, s'affine et s'exerce, mais qui, une fois maîtrisée, peut facilement ouvrir la voie à une interaction réussie. Lorsque la communication est rompue, les informations sont mal interprétées, la méfiance s'installe et les relations de travail se dégradent.

Communiquer avec les régulateurs, les autorités compétentes et la communauté est un équilibre compliqué et délicat entre l'ouverture et la capacité

d'adapter l'information et la conversation de sorte que tout le monde dans la pièce comprenne les principes fondamentaux et ait confiance dans le présentateur. Le dynamitage demande de nombreuses années d'expérience et de formation pour devenir un expert. Cette même expérience et cette même formation peuvent être appliquées à l'art de la communication - il est important d'affiner la capacité à transmettre des concepts, des pensées et des idées tout en gardant son calme et en apaisant sa frustration personnelle en cas de manque de compréhension.

Une demande d'approbation n'est rien d'autre qu'un formulaire papier ou électronique. Les régulateurs, en tant que destinataires du formulaire rempli, ne connaissent pas le demandeur, le travail ou le processus demandé et c'est pourquoi il est important d'établir un lien humain et de soutenir la demande. Être un vrai professionnel, c'est la façon de conduire les affaires, de se comporter et de traiter les gens avec respect, ce qui améliore considérablement les chances de réussite dans le monde des affaires. Par nature, les humains sont physiquement chaleureux, personnels et pleins d'émotions. L'utilisation de la technologie comme principal moyen de communication contraint les humains chaleureux et empathiques à se transformer en un objet non descriptif, froid, sombre et sans émotion, comme l'appareil utilisé pour envoyer le message. La technologie joue un rôle important dans l'industrie du dynamitage. Elle comprend diverses applications et listes de contrôle qui peuvent être suivies pour faciliter le processus de demande et augmenter les chances d'approbation.

Bonne affaire

Des compétences professionnelles sont nécessaires pour être un leader. Souvent, les compétences rudimentaires sont acquises par des expériences personnelles au cours de la vie. Les bonnes compétences professionnelles naissent au plus profond de soi et sont nourries par les forces intrinsèques et extrinsèques de l'environnement. Les interactions personnelles et professionnelles doivent être cordiales, amicales, calmes, utiles et professionnelles. Il est important de comprendre la dynamique humaine et de savoir comment lire les autres et répondre de manière appropriée et sans confrontation ni angoisse. Dans le secteur du dynamitage, les informations circulent en temps réel et nécessitent une communication opportune et

appropriée. Répondre rapidement et efficacement et résoudre tout problème imminent, ou répondre aux questions en temps voulu peut désamorcer un environnement potentiellement hostile et faire évoluer la conversation dans une direction positive. Ignorer les courriels, les textes, les lettres et les appels téléphoniques en ne répondant pas en temps voulu est un signe d'irrespect, mais surtout cela retarde les projets. Cela coûte de l'argent et du temps, non seulement au contractant mais aussi aux contribuables. Un leader est aussi bon que son équipe. Si la tête fait défaut, le corps fait défaut et vice versa.

Lorsqu'un travail a été proposé, il est souvent productif de contacter une autre juridiction qui a réalisé un travail similaire avec succès et en toute sécurité. Il est approprié d'inviter l'autorité compétente à rencontrer l'entrepreneur général et l'entrepreneur en dynamitage qui travaille dans cette région afin d'établir une relation et une ressource. Cette technique permet d'éviter des mois, voire des années, d'échanges de courriels. Souvent, le fait de voir un projet en cours de réalisation peut aider à orienter les travaux à venir, et le fait d'établir un lien avec l'autorité compétente et l'entrepreneur en dynamitage peut fournir un soutien plus tard si des préoccupations ou des questions surgissent.

Une règle de bonne pratique est de ne jamais avoir plus de personnes au bureau que sur le terrain. Nous sommes devenus un monde de paperasserie. Dans le secteur des explosifs, la mission et la priorité absolue restent de garantir la sécurité des personnes. De nos jours, l'accent est mis sur l'accomplissement de toutes les formalités administratives, mais cela ne doit pas se faire au détriment de la sécurité. Le fait d'avoir une excellente police d'assurance et les bons documents pour vous protéger contre un procès ne vous donne pas le droit de mettre la vie de quelqu'un en danger. Il faut que des personnes clés sur le terrain travaillent en équipe pour former la nouvelle génération à l'attention, à la communication et aux bonnes pratiques commerciales, afin que rien ne soit oublié et qu'aucun accident ne se produise.

Mot de la fin

Pour citer le célèbre dramaturge, critique, polémiste et activiste politique irlandais George Bernard Shaw, "le plus grand problème de la communication est l'illusion qu'elle a eu lieu". Cette affirmation est tout

aussi vraie aujourd'hui que par le passé. La communication doit être claire et concise, et les termes utilisés doivent être choisis de manière appropriée et avec soin. On dit que l'art des explosifs est composé à 50 % de science et à 50 % d'expérience et on pourrait en dire autant de la communication. En tant qu'industrie, nous devons combler les lacunes et élaborer une stratégie pour rassembler tous les acteurs de l'industrie. L'erreur des experts est de ne pas se rendre compte que ce qui peut sembler basique et simple pour l'industrie peut ne pas l'être pour le commun des mortels. Cette disparité fait que le profane se sent mal à l'aise et hésite à assister à des conférences et à nouer des contacts avec des experts du secteur. Une sensibilisation ciblée de l'industrie peut permettre d'atteindre ces personnes et de les éduquer de manière à ce que l'industrie des explosifs en bénéficie. La compréhension du public, de son humanité, de ses compétences et de ses expériences constituera la base d'une sensibilisation appropriée. Nous devons engager le public et le mettre à l'aise. Souvent, lorsqu'elles assistent à des cours ou à des conférences sur l'industrie, les personnes qui n'appartiennent pas à l'industrie se sentent intimidées et peuvent ne pas participer ou poser des questions sur un sujet qu'elles ne connaissent pas. Ils n'aiment pas admettre ce qu'ils ne comprennent pas. La communication est l'ingrédient essentiel d'un plan de dynamitage mis en œuvre avec succès et en toute sécurité, et le fait de fournir aux parties prenantes extérieures à l'industrie les connaissances nécessaires peut contribuer à ouvrir la voie du succès. En tant que professionnels, l'industrie du dynamitage a l'obligation de former la nouvelle génération aux avantages d'une bonne communication. Les régulateurs doivent travailler ensemble pour avoir des réglementations et des licences de dynamitage uniformes qui amélioreront l'industrie, maintiendront la cohérence et garderont l'industrie du dynamitage entre les mains de professionnels. La seule question qui se pose est de savoir comment inverser la tendance à passer de la communication électronique au contact personnel et développer véritablement une relation personnelle, en remettant la communication verbale et non verbale dans le processus d'approbation.

Liste de contrôle et lignes directrices pour les projets de dynamitage

Pour mener à bien un projet, il faut commencer par partir dans la bonne direction et suivre de près les

CHRONIQUE EXPLOSIFS

paramètres du projet, du début à la fin. La liste de contrôle a été élaborée en tant que ligne directrice pour aider à mener à bien un projet de dynamitage. Veuillez noter que toutes les étapes de cette liste de contrôle ne sont pas forcément nécessaires en fonction de la portée du projet.

En résumé :

Dans un premier temps, il y a la demande de permis et la soumission.

- Avez-vous toutes les licences et les titres de compétence pour effectuer les travaux
- Avant d'effectuer les opérations de dynamitage
 - Avez-vous obtenu toutes les approbations requises.
 - Avez-vous avisé le voisinage de vos opérations
 - Est-ce que tous les relevés et inspections pré dynamitage ont été effectués,
 - Avez-vous installé tous les panneaux d'avertissement, d'avis, etc.
 - Vos sismographes sont-ils calibrés, sont-ils installés conformément aux règles de l'art.
 - Avez-vous un protocole pour les ratés.

Dans un deuxième temps, nous vous recommandons d'avoir une liste de vérification à chacun des sautages pour vous assurer que toutes les vérifications ont été faites avant de procéder à la mise à feu.

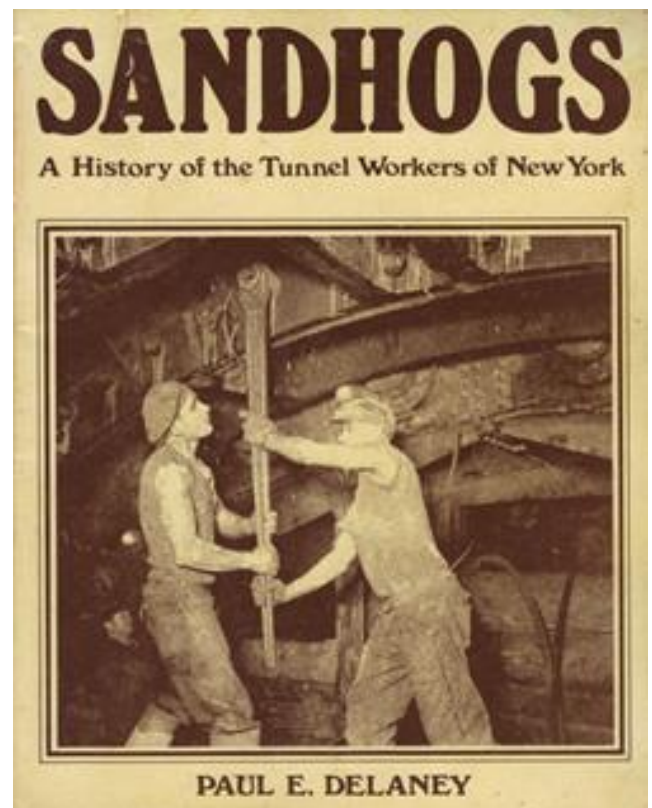
Remerciements

Je dédie ce document à mon père Morton Meyers, qui m'a transmis ses grandes compétences en communication et en affaires et m'a fait comprendre la valeur et l'importance de ces compétences dans la vie. Il a montré l'exemple, a été un grand modèle et une source d'inspiration. Mais surtout, c'était un être humain formidable, un père de famille qui se souciait vraiment des autres. Il était toujours prêt à donner un coup de main et avait le don de rassembler des parties opposées et de faire la paix. C'est à lui que je dois mon succès. Merci, papa!- Joe Meyers

Au sujet de l'auteur

Joseph A. Meyers est le chef de l'unité des explosifs du FDNY.

Cet article a été présenté par les auteurs lors de la 46e conférence annuelle de l'ISEE sur les explosifs et les techniques de dynamitage en janvier 2020 à Denver, Colorado. Ce document a été mis à jour par rapport à sa version originale. Les opinions et les idées exprimées ne sont pas nécessairement celles de l'International Society of Explosives Engineers ou de l'équipe de rédaction/édition du Journal of Explosives Engineering. Voir "The Proceedings of the 46th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique" pour le texte complet et les références de cet article.



(Source : <http://www.sandhogs147.org/history.aspx>)

Les mécanismes du sautage revisités : Détermination des paramètres du sautage

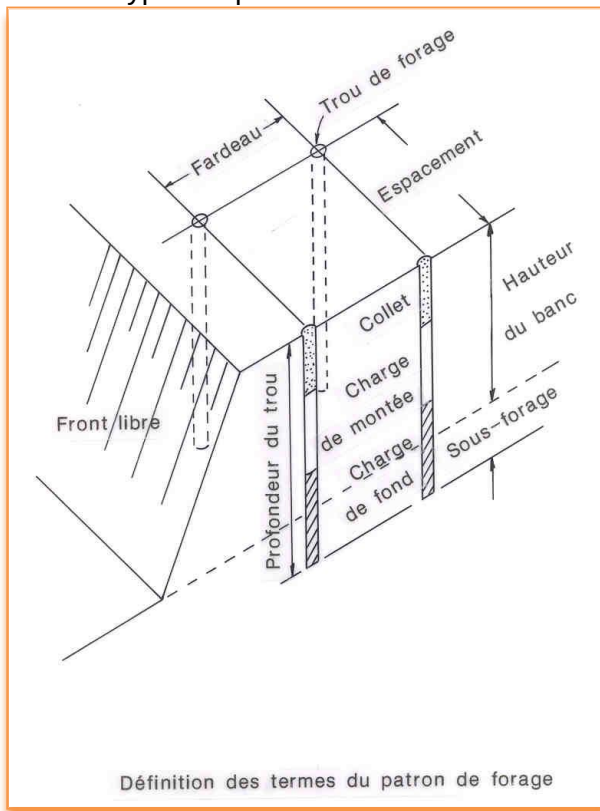
Par : [Anthony Konya](#) et [le Dr Calvin J. Konya](#)

Publié dans Pit & Quarry, Février 2019

(Traduction libre par la revue SEEQ – P. Dorval)

NDLR : La revue SEEQ Vol 28, no.1, Hiver 2022 a publié le premier des 4 articles écrit par les Konya père et fils et intitulé : « Les mécanismes de la fracturation du roc ». Dans le cadre de ce Spécial 45^e Session d'Étude, nous vous offrons les trois autres articles qui complètent ce tour d'horizon de l'évolution des connaissances sur les techniques de sautages depuis les 60 dernières années.

Il y a près de 60 ans, Richard Ash a présenté différents rapports associés aux paramètres des patrons de sautage (diamètre du trou, fardeau, espacement, collet, sous-forage) qui pourraient être appliqués à toutes les conditions de sautage de surface pour permettre des comparaisons entre plusieurs types d'opérations.



Définition des termes du patron de forage

(Image source : Pierre Dorval)

Il ne suffit pas seulement de comprendre ce qui se passe lors d'un sautage. La chose la plus importante à maîtriser est de savoir comment les variables du patron de sautage peuvent être contrôlées pour répondre aux exigences de l'opération.

Lors d'un sautage, un certain nombre de variables sont facilement contrôlable par le boute-feu, incluant le fardeau, l'espacement, le matériel de bourre, le sous-forage et la séquence d'initiation par délais. Afin de simplifier le choix de ces paramètres, des relations entre ces paramètres peuvent facilement être déterminées et adaptées à n'importe quel sautage.

En 1963, cinq relations clés ont été présentées pouvant être appliquées pour toutes les conditions de sautage en surface pour permettre de comparer plusieurs types d'opérations. Richard Ash les a désignées comme des facteurs K, qui ont été le point de départ d'une conception simpliste des sautages.

Ces facteurs peuvent facilement être utilisés pour obtenir des paramètres de départ approximatifs pour diverses situations. Les rapports sont présentés ci-dessous, avec des mises à jour pour une adaptation moderne:

1. Le rapport de Fardeau « Burden Ratio » (KB). Il s'agit du rapport du fardeau (en pieds ou mètres) au diamètre de l'explosif (en pouces ou en mètre) en raison du fait que généralement le fardeau est fonction du diamètre de l'explosif.
2. Rapport Hauteur de banc / Fardeau « Hole depth ratio » (KH). C'est ce que nous comprenons aujourd'hui comme étant le « rapport de rigidité » (Stiffness Ratio) d'un tir, et c'est le rapport entre la hauteur du banc (excluant le sous-forage) d'un tir et le fardeau (H/F).
3. Rapport de sous-forage (KJ). C'est le rapport de la longueur de sous-forage par rapport au fardeau.
4. Rapport de collet ou de bourrage (KT). C'est le rapport de la longueur du collet par rapport au fardeau.
5. Rapport d'espacement (KS). C'est le rapport entre l'espacement et le fardeau.

CHRONIQUE SAUTAGE

Ces relations associées au fardeau seront analysées plus en détail dans cet article, en comparant ce que Ash a écrit en 1963 à ce que nous comprenons aujourd'hui.

Le rapport de Fardeau

La dimension la plus critique et la plus importante du sautage est celle du fardeau.

Le choix du fardeau affectera finalement l'ensemble des performances du sautage. Cela est dû au fait que la dimension du fardeau est la première étape pour concevoir le degré de confinement approprié pour un sautage.

Si le fardeau est trop grand, l'explosif ne fragmentera pas le roc et on obtiendra juste un cratère. S'il est trop petit, l'explosif génèrera des projections de roc.

Le rapport de fardeau d'un sautage peut être utilisé pour aider à déterminer le fardeau approprié par rapport au diamètre du trou (ou de l'explosif). Cependant, la valeur réelle de fardeau dépendra d'une combinaison des caractéristiques de la roche, de la géologie structurale, du type d'explosif et de l'efficacité de l'utilisation de l'explosif. Bien que le rapport de fardeau puisse être contrôlé et enregistré, il est plus important d'observer comment les variations de ce rapport modifient les résultats du sautage.

Le rapport de fardeau de 1963 à aujourd'hui varie généralement entre 20 et 40 selon la situation réelle. Dans la forme la plus élémentaire, un sautage qui utilise un rapport de fardeau de 20 peut connaître un déplacement du roc fragmenté important et une bonne fragmentation. Un sautage qui utilise un rapport de charge de 40 ou plus peut se traduire par peu de fragmentation, des gros blocs et aucun ou peu de déplacement de la masse de roc. On considérerait ce fardeau comme le fardeau effectif maximal d'un sautage.

En règle générale, une exploitation ne voudra pas faire de sautage avec le fardeau maximal effectif car le roc se brisera en gros blocs rocheux et sera difficile à excaver. Les boute-feux préféreront réduire le fardeau dans un ordre de grandeur plus approprié permettant une bonne fragmentation et un bon déplacement du roc lors du sautage.

En 1963, Ash a reconnu que de nombreuses variables entrent dans la détermination du fardeau et que le développement du rapport de fardeau devait donner au boute-feu un outil facile pour déterminer le fardeau à utiliser sur le terrain. À l'époque, les formules pour déterminer le fardeau étaient complexes et nécessitaient la connaissance du module de Young et de la résistance à la traction de la roche, ainsi que la connaissance des pressions entre les trous de forage créés par l'explosif.

Non seulement le boute-feu ne disposait pas de ces informations, mais, dans de nombreux cas, les représentants techniques et les meilleurs scientifiques du domaine des explosifs de l'époque ne les comprenaient pas parfaitement. Ash voulait une méthode plus appropriée et facile à utiliser pour estimer le fardeau qui serait réellement utilisé. Plus tard, Calvin Konya a affiné cette méthode et a développé des équations faciles à utiliser qui pouvaient être résolues au dos d'une enveloppe en précisant la nature de la charge explosive pour la détermination du fardeau, en continuant à utiliser le diamètre du trou de forage pour les explosifs en vrac mais en utilisant le diamètre de l'explosif pour les explosifs en cartouche ou en bâtons.

Généralement, l'utilisation d'un rapport de fardeau de 30 fournit au boute-feu des résultats satisfaisants pour les conditions de terrain moyennes. Avec l'utilisation d'explosifs de faible densité tels que l'ANFO, un rapport de fardeau compris entre 20 et 25 a été recommandé. Aujourd'hui, le ratio de 24 est généralement recommandé pour l'ANFO dans la roche moyenne.

En 1963, les gels aqueux et les dynamites étaient fréquemment utilisés dans le sautage, et le rapport de fardeau recommandé pour ces produits se situait entre 30 et 40 - généralement près de 40 pour la roche moyenne. Avec l'invention des émulsions, le rapport préconisé se situe désormais autour de 30 à 36 dépendant des conditions du roc.

L'utilisation d'un rapport plus petit se traduira par une meilleure fragmentation et des déplacements du roc fragmenté plus grands. Cependant l'optimisation du fardeau devrait être le résultat d'ajustements effectués en fonction des objectifs de l'exploitation.

Par exemple, supposons que trois entreprises différentes exploitent le même type de roc en

utilisant les mêmes conditions de site. L'entreprise 1 désire exploiter le roc afin de produire des matériaux de construction et doit donc utiliser un rapport de fardeau plus faible pour obtenir un meilleur contrôle du tas abattu et fragmenter le roc plus finement pour faciliter le marinage du roc avec de petites excavatrices.

La seconde entreprise, une carrière, utilisera un fardeau légèrement supérieur à celui de l'entreprise 1, car elle peut se permettre d'avoir un calibre de fragments plus grossier qui seront excavés avec un chargeur et des camions pouvant transporter 40 tonnes à la fois. L'entreprise 3, une grande mine de métal ou de charbon dotée de grosses pelles et de camions de transport pouvant facilement transporter 300 tonnes à la fois, pourra se permettre un ratio de fardeau encore plus important car l'équipement qu'elle possède facilite le marinage de roches plus grosses que les entreprises 1 et 2. Le rapport de fardeau doit finalement être ajusté et déterminé pour chaque site spécifique, non seulement en fonction du site et des conditions, mais également sur les objectifs recherchés de chacune des entreprises.

Rapport de hauteur de banc

Le rapport de hauteur de banc est maintenant considéré comme le rapport de rigidité d'un tir. Depuis que le sautage a été étudié pour la première fois au 17^{ème} siècle, il est reconnu qu'une hauteur de banc de faible hauteur résultera en un sautage médiocre par rapport à un banc de bonne hauteur.

À la fin des années 1800, on a découvert que lorsque la hauteur de banc était de la même dimension que le fardeau, ou moindre, le tir ne pouvait être contrôlé. Cela s'est ensuite transformé en rapport de hauteur de banc, pour lequel Ash a recommandé que la hauteur du banc ne soit jamais inférieure à la dimension du fardeau.

Le terme « rapport de rigidité "stiffness ratio" » a été inventé par Calvin Konya au milieu des années 1960. Konya et Ash ont alors recommandé que le rapport de rigidité ne soit pas inférieur à 2. En pratique, le rapport de rigidité d'un tir est généralement compris entre 1,5 et 4, avec une fréquence maximale d'environ 2,6.

Lorsque le rapport de rigidité est de 1, le sautage créera un cratère, ce qui signifie que l'explosion résultera en un souffle violent et des projections

verticales de roc. Avec un rapport de rigidité de 4, les résultats de fragmentation, de suppression d'air, de contrôle des projections et des vibrations seront excellents. On peut l'observer à travers la flexion du massif (rupture en flexion) lors du sautage et le déplacement horizontal de la face libre.

L'effet du rapport de la hauteur de banc favorise le mouvement approprié du tas de déblai et permet une meilleure fragmentation de la masse rocheuse. Au fur et à mesure que le rapport de rigidité est réduit (plus proche de 1), l'effet de cratère s'accroît. Au fur et à mesure qu'il est augmenté, l'effet de hauteur de banc sur les résultats augmente. Il est reconnu qu'il n'y a pas d'augmentation de bénéfice avec un rapport plus grand que 4 et qu'il n'y aura pas d'effets néfastes en autant que la précision du forage est maintenue, évitant ainsi des variations de la dimension du fardeau.

Rapport de sous-forage SF/F (J/B)

La raison principale du sous-forage sous le niveau du plancher désiré est de s'assurer que la hauteur de banc complet à exploiter sera fragmentée, sans qu'un bourrelet ou une bosse ne reste au niveau du plancher. La recommandation de 1963 était que le rapport de sous-forage par rapport au fardeau ne devait jamais être inférieur à 0,2 et était généralement d'environ 0,3. La seule exception à la règle était la présence de structures géologiques favorables à obtenir un plancher régulier comme par exemple un litage subhorizontal ou un joint de faible résistance. Dans ces conditions, le sous-forage n'était pas nécessaire pour un trou de forage vertical.

Aujourd'hui, il est reconnu qu'un sous-forage est requis dans la majorité des exploitations et que le rapport à utiliser est de 0,3. Toutefois, ce rapport pourra être modifié, non seulement en fonction de la géologie, mais également en fonction du rapport de rigidité (H/F). Un banc de faible hauteur, avec un rapport de rigidité d'environ 1, peut ne jamais atteindre le niveau désiré en raison du mécanisme de rupture du roc, il sera donc nécessaire d'augmenter le sous forage. Un banc de bonne hauteur, avec un bon amorçage en fond de trou pourra au contraire n'avoir besoin que d'un rapport d'environ 0,2.

Il existerait aujourd'hui des produits affirmant que, s'ils sont utilisés dans le sous-forage, on n'a pas

besoin d'utiliser d'explosifs dans le sous-forage et le roc se brisera toujours au niveau désiré. Laissez-nous en douter car dans les situations où un tel produit fonctionnerait, il y a fort à parier que le roc n'avait probablement pas besoin d'explosif dans le sous-forage de toute façon pour atteindre le niveau de plancher désiré. Les résultats sont plutôt dus à une interaction de la géologie et du fardeau - et non au dispositif non explosif mis en place dans le sous forage.

Rapport de bourrage (collet)

Le bourrage ou collet fait référence au matériau inerte qui est placé au-dessus de la charge explosive afin de confiner l'énergie explosive. Des études sur le bourrage ont montré que lorsque le bourrage est complètement éjecté du trou de forage, soit à cause d'une mauvaise conception ou soit d'un bourrage inadéquat qui est soufflé prématurément, le fardeau effectif maximum peut être réduite de plus de 30 %.

Ce concept simple peut montrer à quel point le bourrage et la rétention de la pression des gaz du sautage sont importants dans un sautage. Ash l'a reconnu dès les années 1960 en déclarant: *"L'utilisation de matériaux de bourrage aide ensuite à confiner les gaz à haute pression et haute température suffisamment longtemps pour leur permettre d'effectuer le travail nécessaire avant que le mouvement de la roche et l'éjection du matériel de bourrage puissent se produire"*.

Même à l'époque, avec la confusion sur le rôle des ondes de choc dans le sautage, Ash a observé à quel point il était essentiel pour le matériel de bourrage de confiner correctement les gaz suite à la détonation. L'effet réel de la bourre n'est pas de modifier le mode de fonctionnement de l'explosif, mais d'augmenter l'efficacité de l'utilisation d'explosifs dans un trou de forage en le scellant partiellement. Le bourrage doit tenir, non seulement jusqu'à ce que la roche soit fracturée, mais jusqu'à ce que le mouvement de la face libre commence et que le trou de forage soit naturellement dépressurisé à travers les fractures de la roche.

Aujourd'hui, il est reconnu que le gravier concassé est le matériau idéal pour le bourrage, car ce matériau offre une bonne résistance au cisaillement et il permet de créer une bonne résistance avec la

paroi du trou de forage et d'éviter ainsi d'être éjecté prématurément.

Les déblais de forage, l'eau, le béton, le plâtre et autres méthodes ne sont pas recommandés et sont considérés comme des matériaux de bourrage inadéquats.

Les bouchons vendus sur le marché aujourd'hui peuvent améliorer les performances des débris de forage comme matériau de bourrage, mais ils ne se comparent pas à l'utilisation de gravier concassé seul comme matériau de bourrage.

Les règles empiriques sur la longueur du collet restent les mêmes qu'en 1963. Le rapport de bourrage doit être d'environ 0,7 fois le fardeau lors de l'utilisation de pierre concassée. Lors de l'utilisation d'autres matériaux, le rapport de bourrage doit être de 1,0 à 1,2. Cela peut encore entraîner des effets canons par l'éjection du matériel de bourrage avant le temps.

Rapport d'espacement

Le sautage commercial nécessite généralement l'utilisation de plusieurs trous de mine, ce qui oblige les dynamiteurs à savoir s'il existe ou non des effets mutuels entre les charges explosives

L'effet entre les trous de forage est déterminé par le rapport d'espacement dans un sautage. Souvent, les bouteux ne tiennent pas pleinement compte de ce rapport d'espacement. Au lieu de cela, ils vont préférer l'utilisation du facteur poudre ou de modèles de conception de base de patrons de sautage.

Par exemple, un bouteux peut vouloir utiliser un facteur poudre de 1,1 livre par verge (0,65 kg/m³) pour concevoir son patron de sautage. Après avoir déterminé son fardeau en fonction de son diamètre de forage, le dynamiteur définira ensuite l'espacement pour obtenir ce facteur de poudre. Il s'agit d'une mauvaise méthode de conception, car il est bien compris maintenant que le facteur poudre n'est pas un outil de conception approprié. C'est plutôt un outil économique.

Une autre approche courante consiste à utiliser un motif défini de patron de sautage tel qu'un motif en triangle équilatéral. Ces modèles fonctionnent bien dans certaines situations en donnant le rapport d'espacement approprié pour la situation.

CHRONIQUE SAUTAGE

Sur un motif tel que le motif en triangle équilatéral, le rapport d'espacement est d'environ 1,15. C'est à peu près ce qui serait utilisé pour des rapports de hauteur de banc de l'ordre de 2,5 avec une mise à feu d'un trou par délai. Par contre, lorsque vous passez à un rapport de hauteur de banc beaucoup plus élevé, ce modèle fonctionne mal. Les bons dynamiteurs doivent comprendre l'importance du rapport d'espacement au niveau de la conception d'un sautage afin d'obtenir une interaction appropriée entre les trous de forage.

En 1963, Ash a écrit sur l'interaction entre les trous de forage lors d'un sautage qui était basée sur la séquence d'initiation du sautage. Généralement, le rapport d'espacement varie entre 1,0 et 2,0, les règles de base en ingénierie des sautages étant :

1. Pour des délais extrêmement longs, KS (Espacement/Fardeau) doit être égal à 1,0 ;
2. Pour un tir instantané d'une rangée, le KS doit être égal à 2 ;
3. Pour les tirs avec délais, le KS doit être compris entre 1,0 et 2,0 – et généralement entre 1,2 et 1,8.

En effet, le sautage est en quatre dimensions, car la séquence d'initiation est un élément crucial de la conception d'un sautage. Les changements de la séquence d'initiation entraînent différents effets et champs de contraintes dans la roche. L'espacement et la séquence d'initiation déterminent alors la fragmentation. Si l'espacement est trop rapproché en fonction du délai d'initiation, des fines se produiront entre les trous de forage avec des boulders ou blocs surdimensionnés en façade du sautage. Si l'espacement est trop grand par rapport aux temps de délais, des boulders se trouveront entre les trous de forage et le mur arrière sera en dents de scie.

Aujourd'hui, il est reconnu que non seulement la séquence de détonation influence l'interaction du trou de forage, mais que le rapport H/F (hauteur de banc / fardeau) aura une influence majeure sur l'espacement. Il existe un effet d'échelle où plus le rapport de rigidité (H/F) est élevé (jusqu'à un rapport de rigidité de 4), plus l'espacement peut être grand.

Lorsqu'un rapport de rigidité est de 4, l'espacement devient constant et les changements ne sont alors basés que sur la séquence d'initiation trou à trou du sautage. Cela permet au boutefeu de déterminer l'espacement pour un tir spécifique en fonction des différentes variables de conception d'un tir. L'interaction entre la séquence d'initiation, l'espacement et la hauteur du banc sont toutes des raisons pour lesquelles il n'est pas recommandé d'utiliser simplement un facteur poudre ou un patron de sautage type.

On comprend maintenant que l'espacement est un facteur majeur pour la fragmentation et le contrôle des projections d'un sautage. Comme Ash l'a statué dans son article de 1963, "On peut généralement assumer que l'uniformité du tas dynamité est le résultat direct du rapport d'espacement (KS). Si, lors du tir d'un seul trou, le roc est cassé de manière satisfaisante et bien fragmenté sans déplacement excessif, on peut supposer que le fardeau est satisfaisant. Trop souvent, les dynamiteurs réduisent le fardeau plutôt que d'augmenter l'espacement dans leur désir d'éliminer les boulders ou d'uniformiser le calibre des pierres dynamitées.

Sommaire

La plupart des difficultés lors d'un sautage surviennent en raison d'un manque de compréhension de la façon dont la roche est brisée et de l'utilisation de pratiques inappropriées de distribution de la charge explosive et de la séquence d'initiation. De 1963 à aujourd'hui, nous avons exploré les bases de la conception d'un sautage pour une roche typique, à l'exception de la séquence d'initiation. En 1963, les recommandations de Ash étaient:

Un rapport de fardeau (KB) = 20 à 40 fois le diamètre du trou.

Un rapport de hauteur de banc de (KH) = 1,5 à 4

Un rapport de sous forage (KJ) = 0,3 (minimum)

Un rapport de bourrage ou de collet (KT) = 0,5 à 1,0

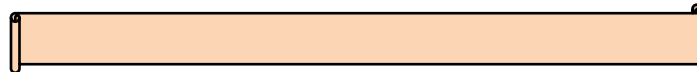
Un rapport d'espacement (KS) = 1,0 à 2,0

Ces relations associées au fardeau déterminé continuent de donner aux boutefeux des valeurs de départ pour la conception de sautage, mais

CHRONIQUE SAUTAGE

demeurent des plages assez larges. Des méthodes existent aujourd'hui pour déterminer des fourchettes de valeurs beaucoup plus exactes, en fonction des objectifs de fragmentation et de déplacement du roc fragmenté, en s'appuyant sur des constats, tels que les règles empiriques originales développées par Ash.

Comme Ash l'a dit un jour, *"Ces règles de bases en ingénierie des sautages se révéleront assez pratiques et utiles, après très peu de pratique, non seulement pour la conception initiale des sautages, mais aussi pour fournir des directives permettant de corriger les difficultés de sautage normales qui se produisent invariablement de temps à autres. Cependant, il faut se rendre compte que les normes en elles-mêmes ne sont pas la panacée, car le sautage en tant que tel dépend fortement de considérations de coût et de sécurité, ainsi que des types d'explosifs utilisés, des caractéristiques du matériau dynamité, et des techniques de sautage employées"*.



Les mécanismes du sautage revisités :

Caractéristiques des explosifs

Par : [Anthony Konya](#) et [le Dr Calvin J. Konya](#)
Publié dans Pit & Quarry Mars 2019
(Traduction libre par la revue SEEQ – P. Dorval)

Les explosifs commerciaux d'aujourd'hui sont des mélanges composés de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

À titre de professeur de génie minier, Richard Ash en 1963, a déclaré : « *un explosif n'est qu'un outil pour effectuer un travail. Choisir le bon outil pour le bon travail est tout aussi critique avec des explosifs qu'avec un marteau.* »

Pour commencer, il est essentiel de comprendre que l'importance des explosifs réside dans leur génération rapide de gaz à haute pression et haute température. Ce fait était compris même à l'époque où on parlait d'onde de choc de rupture, Ash déclarant: « *Le travail effectué [par l'explosif] est*

rendu possible par les pressions de gaz produits lorsque l'explosif détonne ».

En tant que tel, il faut bien comprendre que la raison, pour laquelle les explosifs fabriqués à partir de nitrates d'ammonium sont extrêmement efficaces, est due à la grande quantité de pression de gaz qu'ils produisent. Si l'onde de choc était le principal mécanisme de rupture, les explosifs comme le TNT et la nitroglycérine seraient de loin supérieurs.

De nos jours, les explosifs au nitrate d'ammonium sont le plus souvent utilisés sous forme d'ANFO et d'émulsion. Dans les années 1960, la performance des explosifs reposait sur la capacité d'équilibrer l'oxygène des explosifs pour augmenter la pression de gaz produits. Aujourd'hui, les ingénieurs en explosifs doivent non seulement comprendre les principes de la composition chimique des explosifs, mais aussi les caractéristiques physiques de l'explosif pour s'assurer que les mélanges sont optimisés pour produire une pression des gaz maximale dans les plus brefs délais.

Ingrédients et composition

Lors de l'analyse du meilleur explosif à utiliser pour un sautage, la décision dépend de l'environnement dans lequel l'explosif sera utilisé.



(Source : photo Pierre Dorval)

Les explosifs commerciaux actuels sont des mélanges de composés contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Dans des situations spécifiques, des composés inorganiques tels que le sodium, le calcium et l'aluminium sont ajoutés pour divers effets.

CHRONIQUE SAUTAGE

Souvent, l'ajout de matériaux inorganiques (à l'exception de l'aluminium) est un effort pour réduire le coût de fabrication. Il en résulte des produits explosifs de qualité inférieure.

Le but d'un explosif est de produire une pression de gaz maximale dans les plus brefs délais, et l'ajout de molécules telles que le sodium et le calcium réduit la pression totale de gaz dans un produit. Lorsque ces molécules sont présentes dans une détonation, elles utilisent de l'oxygène et forment des produits solides, privant l'oxygène de former des gaz et la gaspillant dans la formation de solides qui ne fournissent pas de pression supplémentaire pour favoriser la rupture du roc.

L'aluminium est l'exception, car il est généralement ajouté pour augmenter la chaleur de l'explosion, qui, lorsqu'il est correctement ajouté, peut fournir une pression de gaz supplémentaire, même s'il se transforme en un produit solide. L'aluminium libère de grandes quantités de chaleur lorsqu'il réagit et chauffe les gaz formés à partir des autres ingrédients.

Lorsqu'un explosif ne contient pas ces composés inorganiques, trois gaz sont créés. Le premier sera dû à la réaction de l'hydrogène et de l'oxygène pour produire de la vapeur d'eau, qui sera de couleur gris clair à blanche. Le carbone réagit alors avec l'oxygène et, en supposant un équilibre parfait de l'oxygène, du dioxyde de carbone se forme. Enfin, l'azote se combinera pour former de l'azote gazeux. Cela est vrai dans des conditions idéales avec un équilibre d'oxygène exact, mais en raison de formulations explosives médiocres et de problèmes de fabrication, ces conditions sont rarement observées sur le marché actuel.

Lorsque des explosifs présentant des défauts de formulation ou de fabrication sont rencontrés lors d'un sautage, d'autres gaz sont produits qui non seulement ne sont pas idéaux pour la libération d'énergie, mais peuvent être extrêmement toxiques et dangereux pour la santé et la sécurité des travailleurs.

Sous-alimenter un produit explosif (manque de composé servant de carburant à la réaction) entraîne la production de plus d'oxygène que l'explosif n'en a besoin. Cela conduit à la combinaison de l'oxygène avec l'azote libre et à la

formation d'oxydes nitreux (NOx), qui sont de couleur orange rougeâtre à jaune. Les oxydes d'azote sont extrêmement toxiques pour la santé humaine et entraîneront une brûlure des poumons, la création d'acide dans les poumons et l'aspiration de fluides corporels dans les poumons. C'est l'un des gaz les plus toxiques que l'on puisse rencontrer à partir d'un produit explosif.

De plus, le sous-approvisionnement en carburant d'un produit explosif entraîne des diminutions spectaculaires de l'énergie explosive.

Lorsqu'un explosif est suralimenté, il a un excès de carbone et une quantité insuffisante d'oxygène. Cela conduit à la formation de monoxydes de carbone et peut entraîner la formation de petites quantités de carbone. Le monoxyde de carbone est un gaz toxique qui se lie aux globules rouges, remplaçant leur capacité à transporter l'oxygène vers les cellules du corps. Il s'agit d'un gaz cumulatif qui s'accumule dans le corps sur une période de six mois et qui n'a ni couleur ni odeur, ce qui le rend impossible à détecter sans détecteur de gaz.

Pour ces raisons, il est essentiel de s'assurer que les formulations chimiques de l'explosif sont appropriées et que tout explosif utilisé est près de l'équilibre en oxygène. Avec l'ANFO, le bilan d'oxygène est de 5,7 %. Il est normalement indiqué à 6%, huile sur nitrate d'ammonium. Les sites créent ensuite la spécification pour que l'ANFO soit huilé à 6 %, plus ou moins 0,5 %.

COMPARISON OF MAJOR EXPLOSIVE PROPERTIES

PRODUCT TYPE	WATER RESISTANCE	DENSITY	STRENGTH*
ANFO	Poor	0.80 to 0.90	100%
EMULSION	Good to Great	1.15 to 1.25	80% to 95%
HEAVY ANFO	Poor	0.90 to 1.00	95% to 105%
BLENDS	Good	1.10 to 1.20	85% to 95%

*Based on the RWS compared to ANFO

Données basées sur le CMP par rapport à l'ANFO

Avec les émulsions, la quantité exacte varie en fonction de la quantité de nitrate d'ammonium utilisée dans la formulation. Généralement, les produits explosifs sont sous-huilés pour faire économiser de l'argent aux fabricants. Ceci, cependant, peut entraîner des pertes d'énergie extrêmes et la formation d'oxydes d'azote pour le client.

Une méthode simple pour déterminer si l'explosif fonctionne mal est de visualiser l'explosion. Si des vapeurs rouge orangé ou jaune sont présentes, c'est un signe révélateur que le produit explosif est de mauvaise qualité. Dans presque toutes les situations, ce n'est pas la géologie ou l'eau qui provoque la formation de NOx, mais le produit explosif lui-même.

Résistance à l'eau

Le meilleur explosif pour une opération particulière dépend souvent de l'environnement dans lequel il sera utilisé et de ce qui est le plus rentable.

La résistance à l'eau de l'explosif est la principale propriété déterminante dans presque toutes les situations pour la sélection de produits explosifs. En effet, les explosifs modernes ont des propriétés très similaires les uns aux autres à presque tous les autres égards, à l'exception de la résistance à l'eau et du prix de l'explosif.

L'ANFO nécessite un investissement en capital minimal et est extrêmement facile à produire, à stocker et à transporter. En tant que tel, c'est un explosif à très faible coût.

Pourtant, la moindre présence d'eau provoquera la dissolution de l'ANFO, provoquant soit une grande perte d'énergie, soit aucune détonation. Parce qu'il est bien connu que l'ANFO n'a pas de résistance à l'eau, les émulsions sont utilisées dans les endroits où il y a de l'eau dans les forages. Les émulsions ont une bonne résistance à l'eau mais sont plus coûteuses que leur homologue ANFO.

L'utilisation d'ANFO lourd et de mélanges (ANFO et mélanges d'émulsions) ou d'ANFO WR a également permis aux opérateurs de bénéficier de l'énergie supplémentaire et du coût inférieur de l'ANFO tout en ayant une certaine résistance à l'eau de l'émulsion. En règle générale, un mélange 60/40 (émulsion / ANFO) offrira une résistance à l'eau, mais cela ne peut pas être utilisé dans des situations où il y a circulation d'eau entre les trous de forage ou encore si l'explosif doit demeurer dans des trous de forage humides pendant de longues périodes. L'ANFO lourd n'aura généralement pas de propriétés de résistance à l'eau.

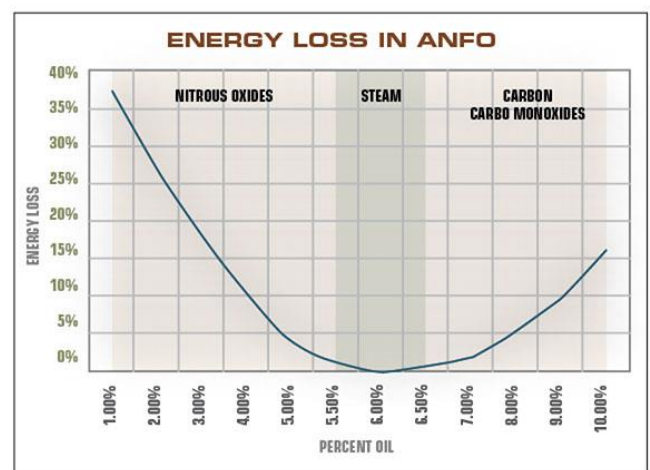
Fumées

L'ANFO et l'émulsion ont généralement de très bonnes qualités de fumée lorsqu'ils sont correctement fabriqués, mais les deux peuvent avoir des performances dégradées et développer des fumées toxiques en raison d'une fabrication incorrecte. Dans la majorité des cas, de grandes quantités de fumées toxiques générées par une explosion sont le résultat direct de formulations ou de fabrications chimiques inappropriées, ou encore d'explosifs détériorés par la présence d'eau.

N'oubliez pas que l'ANFO est très sensible à la teneur en huile et, si la teneur en huile varie, des fumées toxiques seront générées. Les émulsions peuvent également générer des fumées telles que les NOx et le monoxyde de carbone pour un certain nombre de raisons, la première étant des formulations chimiques inappropriées qui n'ont pas un bon équilibre en oxygène.

Pour analyser le problème, les utilisateurs doivent envoyer des échantillons à des laboratoires ou à des consultants pour les tester. D'autres problèmes avec l'émulsion peuvent survenir lorsque des émulsifiants inappropriés sont présents ou qu'une quantité insuffisante d'émulsifiant est utilisée. Cela peut conduire à une dégradation du produit, qui peut être observée dans la formation de fumées.

De plus, la cristallisation de l'émulsion due à une fabrication incorrecte ou à l'utilisation d'un matériau bien au-delà de sa durée de conservation peut entraîner la génération de fumées.



Energy loss to oil content in ANFO

CHRONIQUE SAUTAGE

Les mélanges d'ANFO et d'émulsion présentent généralement des fumées modérées en raison du mélange de ces deux explosifs. Dans presque tous les cas, lorsqu'un mélange (plus d'émulsion que d'ANFO) est créé, le fabricant utilise à la place du nitrate d'ammonium de qualité engrais. Cela peut non seulement provoquer des déséquilibres en oxygène, mais séparer considérablement le carburant du comburant, entraînant une détonation non idéale. Pour cette raison et d'autres, les mélanges génèrent généralement plus de fumées toxiques que l'ANFO ou l'émulsion seuls.

Sensibilité

Perte d'énergie à la teneur en huile dans l'ANFO. Tous les explosifs commerciaux ont aujourd'hui à peu près la même sensibilité, car ils sont classés 1,5. Ces produits nécessitent un renforçateur moulé, communément appelé un «booster» pour exploser, et des études au fil des années montrent qu'un booster de 150 g fait exploser de manière fiable tous les produits sans perte d'énergie pour l'explosion. Ceci indique qu'aucun avantage n'est obtenu en utilisant des boosters de plus de 150 g.

Cependant, si l'ANFO est mal huilé ou s'il est stocké dans des conditions qui provoquent des modifications des granules (prills) qui changent la sensibilité de ces produits, l'ANFO peut devenir sensible au détonateur.

Densité

Le nitrate d'ammonium a une densité de base de 1,73 g / cc, mais les explosifs commerciaux ne présentent jamais de densités proches de celle-ci. En règle générale, l'ANFO varie de 0,80 à 0,90 g/cc, avec une plage moyenne de 0,84 à 0,86 g/cc en raison du fait que les granules emprisonnent de l'air et que les granules ne sont pas finement broyées. Si l'ANFO subit des modifications extrêmes où la taille des granules est considérablement réduite, la densité augmenterait.

L'émulsion a deux gammes différentes de densités. La densité de l'émulsion sensible au booster est généralement comprise entre 1,20 et 1,27 g/cc et l'émulsion sensible au détonateur autour de 1,15 g/cc. La densité des mélanges d'ANFO et d'émulsion sera fonction du pourcentage de chaque produit utilisé.

L'émulsion a une densité d'environ 147% de celle de l'ANFO, ce qui signifie que beaucoup plus de quantité d'émulsion en poids peut être ajoutée à un trou de forage. Cela peut entraîner un agrandissement du patron de sautage, uniquement en raison du fait que plus d'explosifs (en poids) peuvent être placés dans un volume spécifique.

Pourtant, comme l'explosif est payé au poids et non au volume, et parce que l'émulsion est généralement beaucoup plus chère que l'ANFO, il n'est presque jamais économique de passer à un produit en émulsion à des fins d'augmenter la maille du patron de sautage.

Ceci est également vrai avec tous les mélanges. Le seul produit qui peut remplacer l'ANFO pour de légères augmentations de patron de sautage et où l'augmentation du patron compense le coût supplémentaire en explosif est un ANFO lourd où une petite quantité d'émulsion est ajoutée pour remplacer l'air entre les perles d'ANFO.

Coefficient de Puissance

Deux types de coefficient de puissance existent lorsque l'on compare les produits explosifs commerciaux : le CMP, coefficient massique de puissance (RWS, Relative Weight Strength) et le CVP, coefficient volumique de puissance (RBS Relative Bulk Strength).

Des propriétés telles que la pression de détonation et la vitesse de détonation ne sont pas des indicateurs de force, car le choc d'un explosif commercial n'a aucun effet sur la rupture de la roche. Par conséquent, le CMP et le CVP sont utilisés pour comparer les explosifs entre eux.

Le CVP est l'énergie par unité de volume d'un explosif lorsqu'il est comparé à l'ANFO. Ainsi, le CVP de l'ANFO est de 100 ou de 1,00, selon le fabricant. Le CVP des émulsions se situe généralement entre 110 et 140, selon les facteurs de production. Cela signifie que sur une base par unité de volume, l'émulsion est un explosif plus puissant que l'ANFO.

Le CVP d'un explosif est un indicateur de force au sens pratique et constitue un bon outil de vente pour vendre des produits d'émulsion plus chers.

Le CMP est l'énergie par poids d'explosif par rapport à l'ANFO, où le CMP de l'ANFO est égal à 100. Le CMP des émulsions est généralement compris entre 80 et 95, ce qui signifie que, livre pour livre ou kg pour kg, les émulsions sont des explosifs plus faibles que l'ANFO. Cela signifie que vous payez plus cher pour 90% de l'énergie sur une base de poids des explosifs lorsque vous comparez les émulsions à l'ANFO.

Recommandations

Lors de l'analyse du meilleur explosif à utiliser lors d'une opération, la décision sera fonction de l'environnement dans lequel l'explosif sera utilisé et à ce qui est le plus rentable.

La principale considération environnementale est de savoir si les trous de mine seront humides ou secs. Si les trous de forage contiennent de l'eau, les seuls explosifs disponibles sont une émulsion ou un mélange contenant plus de 60 % d'émulsion. Dans ce cas, la décision majeure sera basée sur les capacités de chargement sur le site et le coût des mélanges par rapport aux émulsions.

Il sera également essentiel dans cette phase d'analyser les coûts de forage pour déterminer si des mélanges légèrement moins chers offrent un avantage par rapport à l'émulsion. Les mélanges peuvent nécessiter plus de frais de forage par rapport à l'émulsion.

Si les trous de forage sont secs, l'ANFO est presque toujours le choix le plus économique - à moins que les coûts de forage ne soient extrêmement élevés. Dans presque toutes les situations, le dynamitage dans un roc sec fera de l'ANFO l'explosif le plus économique, le plus facile à charger et le plus faible risque pour la mine en cas de ratés ou de mauvais produit. Par conséquent, l'ANFO a pris plus de 80 % du marché des explosifs ces dernières années.

Considérez également que différents produits entraîneront une fragmentation et un déplacement du roc différents, et que les facteurs environnementaux et les tests appropriés doivent toujours être effectués sur site pour optimiser le choix de l'explosif.

Les mécanismes du sautage revisités :

Propriétés des matériaux et facteur de poudre

Par : [Anthony Konya](#) et [le Dr Calvin J. Konya](#)

Publié dans Pit & Quarry, Avril 2019

(Traduction libre par la revue SEEQ – P. Dorval)

En termes de résistance de la roche, les sautages d'aujourd'hui sont souvent conçus en tenant compte uniquement de la densité de la roche, car la roche devient généralement plus solide à mesure qu'elle se densifie.



(Photo Rte 169, Inter-cité, courtoisie Alexandre Coudé)

De nos jours, la majorité des sautages se font dans des matériaux non homogènes où les types de roc et la structure changent constamment, soit d'un site à l'autre, soit à l'intérieur des limites d'un site.

Dans de nombreux cas, ces changements peuvent être observés sur différents bancs et différentes faces de l'excavation, et chacun d'eux nécessite des modifications uniques du plan de sautage afin d'obtenir les mêmes résultats. Dans cet article, les principales propriétés des matériaux qui peuvent influencer un sautage - ou dont on pensait qu'elles influençaient un sautage il y a 50 ans - seront discutées.

La résistance du roc

Différents aspects de la résistance des roches ont été pris en compte dans les années 1960, notamment la résistance à la traction, l'élasticité, et

CHRONIQUE SAUTAGE

la densité. Aujourd'hui, dans la majorité des situations, le dynamitage est désormais conçu uniquement en tenant compte de la densité de la roche car, généralement, à mesure que la roche se densifie, elle devient de plus en plus résistante.

Par exemple, un grès a une densité plus faible qu'un granite et, en tant que tel, pourra être dynamité avec un patron de sautage ayant un fardeau plus grand qu'un granite.

Lorsqu'un patron de sautage est surexploité, on constate souvent que tous les paramètres de dynamitage seront ajustés en relation avec le fardeau, directement ou indirectement. Par exemple, le collet et le sous-forage seront conçus sur la base de règle empirique en relation directe avec le fardeau. Le rapport de rigidité (hauteur de banc/fardeau) est fonction du fardeau lequel déterminera si on parle de faible hauteur de banc ($1 < H/F < 4$) ou de grande hauteur de banc ($H/F > 4$).

L'espacement est ensuite ajusté en fonction du fardeau selon la hauteur de banc. La séquence d'initiation trou à trou du sautage est déterminée en fonction de l'espacement, ce qui signifie qu'elle est indirectement associée au fardeau. L'initiation rangée par rangée est par contre directement associée au fardeau.

On peut donc voir qu'une fois qu'un fardeau approprié est sélectionné, tous les autres paramètres du patron de forage et sautage peuvent alors être déterminés. Pour cette raison, lorsqu'un ingénieur examine la résistance de la roche pour déterminer comment concevoir le tir, la densité du roc sera prise en compte et utilisée pour déterminer le fardeau pour le tir avec tous les autres paramètres.

Cela permet à un boute-feu ou à un ingénieur de concevoir rapidement les plans de forage et sautage avec une approximation de la résistance du roc en fonction de sa densité et minimiser la quantité d'essais nécessaires pour déterminer d'autres propriétés du roc.

Cela permet également de déterminer les explosifs requis pour briser la résistance en traction de la matrice rocheuse. Cela fonctionne dans tous les cas, sauf lorsque des conditions géologiques

uniques sont présentes par le biais d'une élasticité extrême ou d'une fragilité extrême des roches.

Structures géologiques

La prochaine étape de la conception du sautage consistera à ajuster le fardeau afin de briser efficacement non seulement la matrice rocheuse, mais aussi la résistance à la traction de la masse rocheuse.

Deux différents phénomènes peuvent se produire et influencer la résistance à la traction du roc. Le premier d'entre eux est la nature même du roc et ses structures géologiques. Ceci est généralement appelé la constante K_d et sera directement multiplié par le fardeau dimensionné pour la masse rocheuse. L'importance de la géologie n'est pas directement reliée au type de roc (c'est-à-dire sédimentaire, métamorphique ou ignée), mais plutôt dans l'orientation des plans de stratification ou des structures géologiques principales par rapport à la face libre.

Trois situations sont couramment présentes : soit le litage qui plonge vers l'intérieur du massif, soit vers la face libre ou soit dans d'autres directions. Le fardeau sera ajusté par la valeur de la constante « K_d » trouvée dans le tableau 1. Cela signifie que si une entreprise exploite une carrière dans une région où le litage est plongeant, il est probable qu'il y aura trois manières d'exploiter le banc, soit - un pour le secteur où le pendage du litage plonge vers la fosse, un où il plonge vers l'intérieur du massif rocheux, et un où le sautage suit la direction du litage afin que le pendage soit pratiquement perpendiculaire au litage.

C'est également un élément majeur qui peut être utilisé dans le séquençage de la production, où le déblai de la fosse peut être positionné pour être dynamité vers une zone où le pendage du litage plonge fortement vers l'intérieur du massif, le patron de forage et sautage peut être augmenté pour réduire considérablement le coût du forage et sautage. D'autre part, lorsque le litage plonge fortement vers la face libre, la paroi finale peut facilement être prédécoupée selon le pendage pour réduire le risque de chutes de pierres dans la fosse.

TABLE 1
GEOLOGIC FACTORS BASED ON ROCK DEPOSITION

BEDDING ORIENTATION	K_D
Be steeply dipping into cut	1.18
Bedding steeply dipping into the face	0.95
Other cases of deposition	1.00

Source: Dr. Calvin Konya, "Rock Blasting & Overbreak Control"

Le deuxième type de structure rocheuse qui doit être pris en compte est la structure géologique proprement dite, qui correspond principalement aux différentes discontinuités (joints-diaclases-fractures-etc.) qui traversent la masse rocheuse. Ces structures géologiques seront associées à la constante K_s , et K_s sera appliquée directement au fardeau une fois le degré de fracturation naturelle du roc établi. Ce facteur K_s sera basé à la fois sur la résistance des joints et sur la fréquence des joints pour déterminer les fardeaux exacts. La valeur de K_s peut être approximativement déterminée par le tableau 2.

TABLE 2
GEOLOGIC STRUCTURE CORRECTION FACTORS

GEOLOGIC STRUCTURE	K_s
Heavily cracked frequent weak joints, weakly cemented layers	1.30
Thin well-cemented layers with tight joints	1.10
Other cases of deposition	1.00

Source: Dr. Calvin Konya, "Rock Blasting & Overbreak Control"

Vitesse sismique du roc

Dans les années 1960, il y avait un grand intérêt pour déterminer les différentes vitesses sismiques du roc afin de faire correspondre la vitesse de la roche à la vitesse de détonation de l'explosif.

En plus de cela, certains auteurs ont développé des équations et des modèles pour prédire les hauteurs de banc minimales et maximales en fonction de la vitesse de détonation des explosifs, de la vitesse sismique de la roche et de la position de l'amorce.

Aujourd'hui, nous savons que tout cela n'a pas d'importance dans la conception des sautages, et l'hypothèse de l'adaptation de la vitesse sismique du roc à celle des explosifs est entièrement fausse. Ces théories ont été développées sur la prémisse que l'onde de choc était le principal mécanisme de rupture dans un sautage, et donc l'onde de choc devait être optimisée pour s'assurer que la masse dynamitée se déplaçait vers l'avant plutôt que vers le haut.

Aujourd'hui, l'industrie comprend que l'onde de choc n'a aucun aspect pratique dans la rupture, donc la vitesse sismique du roc n'est pas requise et n'est pas utilisée dans les conceptions de dynamitage.

Facteur de poudre

Le facteur de poudre est la quantité d'explosif (livres ou kilogrammes) par rapport à la quantité totale de roche dynamitée (tonnes ou volume) sur lequel certaines personnes vont se baser pour concevoir un sautage.

Cette façon de faire s'appelle une approche de conception par le facteur de poudre, et c'est une approche extrêmement médiocre pour la conception d'un sautage.

Comme l'a statué Richard Ash dans ses articles de 1963, "En raison de son caractère extrêmement variable, le FP (facteur de poudre) n'est normalement pas un indice solide sur lequel juger l'efficacité du dynamitage ou pour la conception des sautages, contrairement à ce que plusieurs pensent. Différentes valeurs seront obtenues en changeant simplement le patron de forage et sautage, et les valeurs changeront également pour d'autres raisons telles que les profondeurs variables des trous et l'utilisation de charges étagées.

« De plus, les nombreux critères utilisés ont tendance à semer la confusion plutôt qu'à aider les personnes à évaluer les résultats. La valeur la plus pratique de FP réside dans l'analyse des coûts, car les explosifs sont vendus au poids et le paiement des matériaux minés ou extraits est généralement effectué en fonction du poids ou du volume.

Aujourd'hui, nous croyons toujours que le facteur poudre est un outil utile pour l'analyse économique, mais qu'il s'agit d'un outil médiocre pour la conception des sautages car le facteur poudre varie en fonction du type de roche, de la structure de la roche, du type d'explosif, de la configuration du sautage, de la séquence de mise à feu trou à trou, rangée-par-rangée, de la hauteur de banc et du matériel de bourrage.

Ce ne sont là que quelques exemples des différentes façons de faire varier le facteur de poudre lors d'un sautage et le facteur poudre pour un sautage de surface sera généralement de l'ordre de

CHRONIQUE SAUTAGE

0,5 à 2,0 livres par vg^3 , (0,3 à 1,19 kg/m^3), qui représente un large éventail de valeurs.

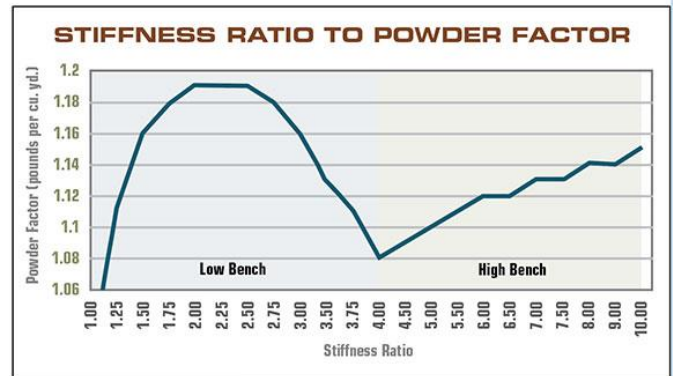
Il n'y a pas non plus de moyen de déterminer exactement quel serait le facteur poudre idéal pour une situation donnée, et c'est pourquoi aujourd'hui la conception d'un sautage commence par évaluer les conditions du site afin de concevoir le sautage pour obtenir des mécanismes de rupture optimaux - pas seulement en choisissant arbitrairement un nombre.

Un certain nombre de situations peuvent être utilisées comme exemple où le facteur de poudre devient un outil de conception inapte. En supposant qu'une petite plage de facteur poudre de $\pm 0,05$ livres/ vg^3 (0,03 kg/m^3) pourrait facilement aider un boutefeu ou un ingénieur à concevoir un sautage, une telle gamme n'existe pas pour optimiser les résultats pour les types de roches tels que le calcaire, les grès, les granites et autres.

Cela a été prouvé par V.M. Kuznetsov dans les années 1950 lorsqu'il a constaté qu'aucun facteur poudre ne pouvait déterminer avec précision le dimensionnement de la fragmentation dans des matériaux homogènes car il variait en fonction d'autres caractéristiques. De plus, cela ne tiendrait même pas compte de la structure géologique et de la nature géologique du roc.

Dans un effort pour aller plus loin dans les utilisations inadéquates du facteur poudre, admettons qu'une telle plage existe et qu'une variation de facteur de poudre de $\pm 0,05$ livre/ vg^3 (0,03 kg/m^3) pourrait être appliqué à divers types de roc et de structures géologiques. Ce ne serait toujours pas approprié, car les dimensions physiques du rapport hauteur de banc / fardeau (le stiffness ratio) modifieront considérablement le facteur poudre.

FIGURE 1
POWDER FACTOR VARIATIONS BASED ON BENCH HEIGHT



Source: Anthony Konya

La figure 1 montre les variations du facteur poudre basées uniquement sur la hauteur du banc en raison des changements dans l'utilisation du patron de forage du sautage. Dans la figure 1, la hauteur du banc peut être vue à partir du rapport de rigidité «Stiffness Ratio», qui est la hauteur du banc divisée par le fardeau. En effet, le rapport de rigidité est sans dimension et permet une comparaison quel que soit l'environnement analysé.

Le facteur poudre change également considérablement en fonction d'autres critères, tels que les changements dans la séquence d'initiation trou à trou du dynamitage pour une fourchette de hauteurs de banc différentes. Le simple fait de changer la synchronisation trou à trou d'un tir instantané en introduisant un petit délai entre les trous peut modifier le FP de plus de 140 %.

FIGURE 2



Source: Anthony Konya

**TABLE 3
SINGLE-CHARGE POWDER FACTOR VARIATIONS**

HOLE LAYOUT	TOTAL NUMBER OF BLAST-HOLES	TOTAL YIELD (CYD)	TOTAL EXPLOSIVE USED (POUNDS)	POWDER FACTOR (POUNDS/CU. YD.)
(b) center cut-hole (2 free faces)	1	29	22.7	0.78
(c) corner hole (3 free faces)	1	29	22.7	0.78
(d) center shear-hole (4 free faces)	1	58	22.7	0.39
(e) block hole (5 free faces)	1	116	22.7	0.19

Source: Anthony Konya

Comme Ash l'a noté en 1963, les méthodes réelles utilisées pour initier un sautage peuvent modifier considérablement le facteur poudre à utiliser. Il s'agit d'examiner la façon dont la roche se brisera en fonction des faces libres, laquelle, pour un dynamitage de production typique, sera influencée par le patron de forage, le fardeau et l'espacement réels du patron de sautage, ainsi que la séquence d'initiation. Si le poids de la charge dans un trou de forage est maintenu le même et qu'un seul trou de forage est analysé, en changeant uniquement le nombre de faces libres, le facteur de poudre peut varier de 300 %.

Dans presque tous les cas de dynamitage aujourd'hui, un patron de sautage contiendra plusieurs trous de forage et aura deux ou trois faces libres. Par conséquent, les facteurs poudre pour les sautages à trous multiples se rapprocheront de la plage de situation « B » ou « C » du tableau 3.

L'analyse des changements de facteur poudre sur des dynamitages à plusieurs trous peut prendre du temps et être extrêmement complexe en raison des changements du nombre de trous dans une rangée, des faces libres, du point d'initiation, de la synchronisation trou à trou et de la synchronisation rangée à rangée - plus des facteurs supplémentaires – vont tous changer le facteur poudre du sautage. Par conséquent, deux scénarios seront analysés où un sautage selon une coupe en V avec initiation centrale est analysé, dans laquelle chaque sautage aura neuf trous de forage où le nombre de rangées changera.

Dans le premier scénario, la coupe en V a deux faces libres - une devant et une sur le dessus. Trois configurations différentes sont ensuite analysées,

où ces trous sont tirés en une, deux ou trois rangées. Le tableau 4 montre les modifications apportées au facteur poudre en fonction de cette configuration. Comme on peut le voir, le facteur poudre peut varier de plus de 133 % en se basant uniquement sur le nombre de rangées dans une explosion.

**TABLE 4 MULTIPLE CHARGES:
V-TYPE THROUGH CUT (TWO FREE FACE)**

HOLE LAYOUT	TOTAL NUMBER OF BLAST-HOLES	TOTAL YIELD (CYD)	TOTAL EXPLOSIVE USED (LBS)	POWDER FACTOR (LBS/CYD)
(f) single row	9	231.5	205	0.89
(g) double row	9	202.6	205	1.01
(h) triple row	9	173.7	205	1.18
(e) block hole (5 free faces)	1	116	22.7	0.19

Source: Anthony Konya

La même situation peut être envisagée avec la seule variante étant qu'il y a trois faces libres, au lieu des deux précédentes, développant une coupe d'angle ou une coupe latérale. Ceci, encore une fois, verra un changement du facteur de poudre de 105 % pour les trois faces libres, et un changement total possible du facteur de poudre de plus de 158 % lorsque l'on examine toutes les situations de scénarios de dynamitage à neuf trous présentés dans les tableaux 4 et 5.

TABLE 5 MULTIPLE CHARGES: V-TYPE SIDE CUT

HOLE LAYOUT	TOTAL NUMBER OF BLAST-HOLES	TOTAL YIELD (CYD)	TOTAL EXPLOSIVE USED (LBS)	POWDER FACTOR (LBS/CYD)
(i) single row	9	260.5	205	0.79
(j) double row	9	275	205	0.75
(k) triple row	9	260.5	205	0.79
(e) block hole (5 free faces)	1	116	22.7	0.19

Source: Anthony Konya

En fonction uniquement de l'orientation des faces libres et du nombre de rangées pour ce tir, le facteur poudre variera entre 0,75 et 1,18 livre par vg^3 (0,45 à 0,7 kg/m^3). C'est à peine une gamme suffisamment petite pour être utilisée dans n'importe quelle conception.

Ces calculs ne prennent même pas en compte toutes les variables qui entrent dans le facteur poudre, c'est pourquoi le facteur poudre ne doit jamais être utilisé comme outil de conception. Sa meilleure utilisation est d'évaluer économiquement différentes conceptions de sautage.

Conclusion

La série "Blasting Mechanics Revisited" se conclut avec ce quatrième et dernier article. (NDLR : La traduction du premier article a paru dans la Revue SEEQ Vol. 28 No. 1 à l'hiver 2022)

L'étape finale d'une conception d'un sautage, avant l'essai initial, consiste à l'adapter aux modifications des conditions géologiques spécifiques au site.

Le fardeau d'un sautage sera dimensionné pour briser correctement la résistance à la traction de la matrice rocheuse. Ensuite, le fardeau devra être ajusté pour s'adapter à la masse rocheuse, au litage et aux structures géologiques présentes dans la roche. Cela peut être facilement fait en sélectionnant les valeurs appropriées des constantes K_d et K_s et en les multipliant par le fardeau adapté à la nature du roc.

Le reste du sautage sera ensuite conçu en fonction de ce fardeau. Il est essentiel qu'aucune conception ne soit basée sur l'approche de conception du facteur poudre. C'est tout aussi vrai aujourd'hui que lors du premier écrit de Ash en 1963.

Le facteur poudre est simplement un outil économique pour évaluer diverses conceptions de sautage, car de nombreuses variables modifieront considérablement le facteur poudre du sautage jusqu'à ce qu'il puisse tomber entre 0,5 et 2,0 livres par vg^3 (0,3 à 1,19 kg/m^3). Il n'existe aucune méthode pour calculer avec précision une plage appropriée de facteur poudre de $\pm 0,05$ livre par vg^3 (0,03 kg/m^3), qui pourrait être appliqué à une situation de conception de sautage.

De nos jours, la conception d'un sautage doit commencer par une compréhension des mécanismes de rupture de la roche, qui sont présentés dans la partie 1 de cette série (voir Revue SEEQ Vol 28. No 1). À partir de ces principes, une conception de base est développée pour optimiser les mécanismes du sautage pour un site et une situation donnée, qui est discutée dans la partie 2. Cette conception de base sera également influencée par la sélection des explosifs, qui est discutée dans la partie 3 de cette série. Enfin, des variations de cette conception doivent être apportées pour s'adapter aux situations spécifiques du site.

De nos jours, l'approche de conception est centrée sur une mécanique de rupture appropriée pour atteindre l'objectif final de l'exploitation ou de l'excavation à réaliser. Cette approche de conception n'est pas apparue du jour au lendemain, mais a commencé en 1963 lorsque Ash a publié pour la première fois sa série d'articles repoussant les limites de la conception des sautages.

Cette série intitulée en anglais "Blasting Mechanic: Revisited" - "La mécanique du sautage revisité" nous a permis de revenir sur l'un des géants qui se tenait debout dans l'industrie des explosifs, ouvrant la voie à notre compréhension moderne des explosifs et de leur relation avec le dynamitage.



À propos de cette série en quatre parties

En 1963, *Pit & Quarry* a publié une série d'articles sur les mécanismes du sautage rédigés par Richard Ash, professeur de génie minier à la School of Mines & Metallurgy de l'Université du Missouri-Rolla. Le contenu de chaque article était en avance sur son temps, mettant en avant des concepts de pointe sur la mécanique de rupture du roc, les normes de conception de sautage, les caractéristiques des explosifs et les propriétés des matériaux, le facteur poudre et le coût du sautage.

L'Academy of Blasting & Explosive Technology, par le biais d'Anthony Konya et du Dr Calvin J. Konya, rendaient hommage aux principes consacrés par Ash, il y a plus de 50 ans, avec une série spéciale en 2019 pour les lecteurs de *Pit & Quarry*.

Dans leur série d'article intitulée "Blasting Mechanics Revisited", les Konya reviennent sur le travail de Ash et explorent comment la technologie et les méthodes modernes s'intègrent actuellement dans chacun des domaines couverts par Ash il y a un demi-siècle.

P&Q a publié ces articles des Konya, père et fils, au cours des quatre premiers mois de 2019, et sont disponibles dans leur version originale sur pitandquarry.com;

[Partie 1. La mécanique du bris de roche \(janvier\)](#)

[Partie 2. Normes de conception des tirs \(février\)](#)

[Partie 3. Caractéristiques des explosifs \(mars\)](#)

[Partie 4. Matériau Propriétés et facteur de poudre \(avril\)](#)

Les dangers de l'élimination des explosifs par incinération

Par : Ressources Naturelles Canada
Publications sur les explosifs

Alertes de sécurité
Janvier 2016

Contexte

Au cours des sept derniers mois, un accident et un incident associés à la destruction d'explosifs par incinération ont été signalés à la Division de la réglementation des explosifs (DRE).

Dans les deux cas, les explosifs en cours de destruction ont détoné de façon inattendue.

Questions

La sécurité doit être la considération principale au cours d'une activité de destruction d'explosifs. Le non-respect des procédures appropriées et le laisser-aller sont des causes courantes d'accidents et d'incidents.

Sauf disposition contraire de la *Loi sur les explosifs* et sous réserve des exemptions prévues par règlement, il est interdit de démonter ou de quelque autre façon briser ou défaire un explosif.¹

Recommandations

La destruction d'explosifs doit être effectuée d'une manière qui n'accroît pas la probabilité d'un allumage accidentel pendant ou après la destruction.²

Destruction par incinération

La destruction d'explosifs industriels détériorés par incinération est une activité qui nécessite une licence ou un certificat émis par la DRE.

Au cours de ce genre d'activité, toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour faire en sorte que :

- des procédures approuvées soient en place et que le personnel ait été adéquatement formé;
- aucun détonateur, quel qu'en soit le type, ne se trouve dans les explosifs détériorés à

incinérer (par ex. explosifs en vrac, cordeaux détonants, relais d'amorçage);

- un seul type d'explosif est incinéré à la fois.

Destruction dans un trou de sautage

Souvent, le meilleur moyen de détruire des explosifs industriels détériorés consiste à les placer dans un trou de sautage (sous l'orifice ou le bourrage) avec d'autres explosifs et d'allumer ces derniers dans le cadre d'une activité de sautage planifiée.

Aucun certificat ou licence n'est nécessaire pour détruire des explosifs industriels détériorés de cette manière, à condition que :³

- les explosifs à détruire et les autres explosifs aient des propriétés semblables (par ex. densité et propension à détoner);
- la présence d'autres explosifs au moment de l'allumage n'accroît pas la probabilité d'effets néfastes pour les personnes ou les biens.

- 1- Loi sur les explosifs, article 6e) (i)
- 2- Règlement sur les explosifs, article 168
- 3- Règlement sur les explosifs, article 141

Date de modification :
2016-08-05



(Photo courtoisie Intercité)

CHRONIQUE BOUTEFEU

Nouvelles d'Harold

Formation



Le contexte du manque de main-d'œuvre fait en sorte que près du 2/3 des étudiants se trouve un emploi aussitôt leur formation complétée et pour plusieurs l'embauche se fait même pendant leur stage. Les minières récupèrent beaucoup de nos finissants et de plus en plus de minières intègrent directement les étudiants lors des stages.

Dans le domaine de la construction, c'est plus difficile pour les compagnies de recruter et d'intéresser les étudiants à moins qu'elles puissent leur offrir des stages en carrière. En effet, dans le domaine de la construction, les étudiants ne peuvent effectuer que des stages d'observation étant donné qu'ils n'ont pas leur carte d'occupation. On comprend donc que c'est difficile pour un candidat de démontrer son savoir-faire et il en est de même pour les compagnies de recruter un candidat sans avoir pu le voir en action autrement que dans une carrière.

Heureusement, de plus en plus de compagnies offrent la possibilité d'accueillir nos étudiants en formation dans leur carrière pour assister à des sautages. Pour moi, ce sont eux les vrais professeurs car le fait de les voir à l'œuvre montre aux étudiants la réalité d'exercer dans ce domaine.

Je profite de cette tribune pour les remercier car, sans eux, la formation ne pourrait être aussi complète et représentative du travail des foreurs et boutefeux ainsi que des autres intervenants du domaine. Lors de ces rencontres on peut sentir leur passion et enthousiasme à partager leurs trucs et expériences apprises au cours de leurs années à exercer ce travail souvent exigeant, mais qui peut être également si gratifiant.

En terminant, le CFP de la Baie-James a formé trois cohortes en 2022 dont une qui se termine en janvier 2023 (avis aux intéressés). Près de 40 étudiants de partout au Québec et même de l'international ont pu bénéficier de cette formation. Par ailleurs le CFP de Sept-Îles a débuté une formation le 10 octobre qui se terminera le 10 avril 2023. Avis aux employeurs éventuels, encouragez nos finissants en les accueillant chez vous pour un stage!



Cohorte du CFP Sept-Îles : Les enseignants Yannick Tremblay (au centre) et Jean-Paul Parisé (à droite). Photo courtoisie Yannick Tremblay.

Finalement, nous avons trois formations de prévues en 2023, soit : l'une débutant le 10 janvier, la seconde le 15 mai, et une troisième le 19 septembre.

Harold Blackburn.

CHRONIQUE BOUTEFEU

La formation au CFP de la Baie-James en images



Visite de Daniel Gros-Jean de Dyno Nobel pour une séance de formation sur les explosifs. Rencontre très instructive et très appréciée des étudiants.



Visite de la Sûreté du Québec. La loi, c'est la loi! Heureusement, le CFP de la Baie James est en règle.



Une partie de l'équipement disponible au CFP de la Baie James



On se prépare pour l'examen de boutefeu!



Sayona, projet Moblan : Les étudiants du CFP de la Baie-James (casques rouge) ont participé à un projet d'échantillonnage de minerai en vrac avec les équipes de Sayona. 2^e à partir de la gauche, Steve Simard, Sayona, Harold Blackburn (casque noir), Gilles Laroche et Yan Larivière, (les deux autres casques blanc)

Nouvelles de nos foreurs-boutefeux Blasteck International inc.



Carrière Havre St-Pierre, photo Dave Parisé, Blasteck



Christine Dupuis, foreuse
finissante du CFP de la Baie
James

Castonguay – Malartic – Canadian Royalties



Samuel Bédard et Anthony Neault



Thomas Devost, foreur avec
Samuel Bédard

CHRONIQUE BOUTEFEU

Castonguay – Malartic – Canadian Royalties.

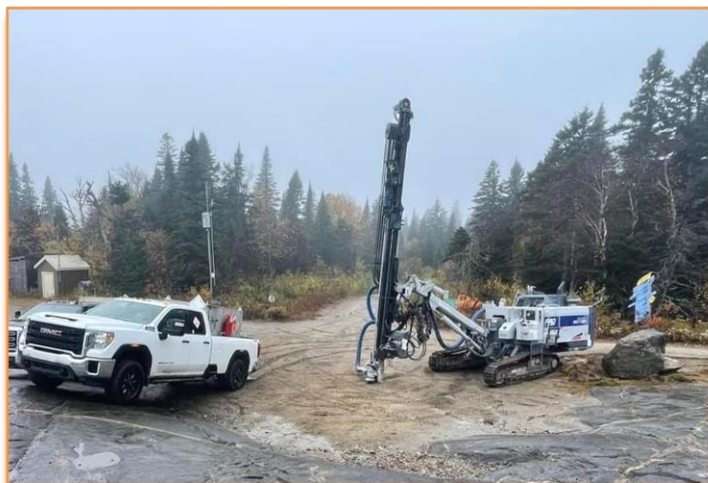


Guillaume Morin et Samuel Bédard
Forage Dynaroc



Photo courtoisie : Éric Charbonneau

Dynamitage Ritchie.



Photos courtoisie Francis Gauthier

CHRONIQUE BOUTEFEU

Forage Beaupied



Saint Côme



Mont Tremblant. Photos courtoisie Forage Beaupied

Kiewit Barnard



Projet de barrage à Boulder au Colorado avec Jean-François Tessier et Xavier St-Cyr

CHRONIQUE BOUTEFEU

Inter-cité Construction

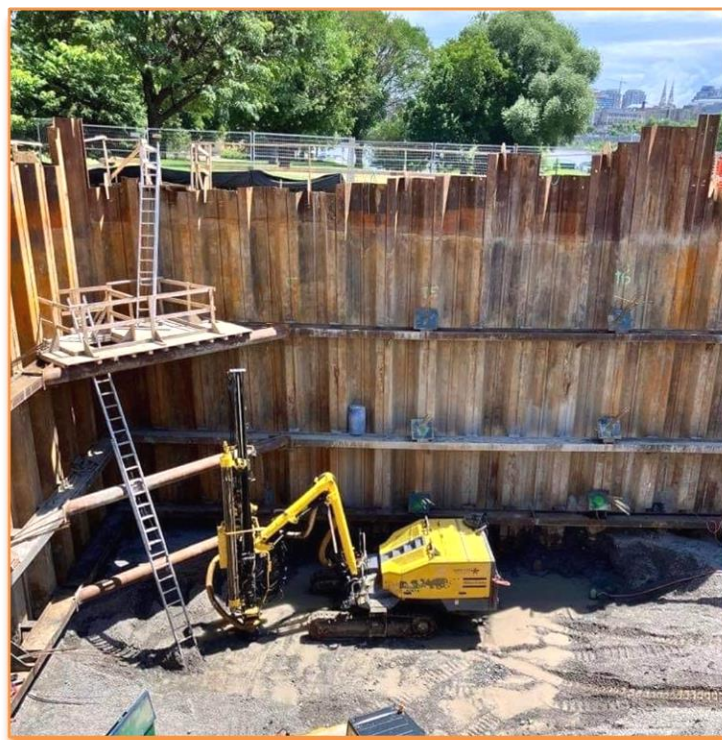


A-85, tronçon 4. Photos courtoisie Pierre-Olivier Coudé



Route 169, Parc des Laurentides. Photo courtoisie Alexandre Coudé

Station de pompage St-Étienne à Gatineau



Photos courtoisie Alexandre Coudé

CHRONIQUE BOUTEFEU

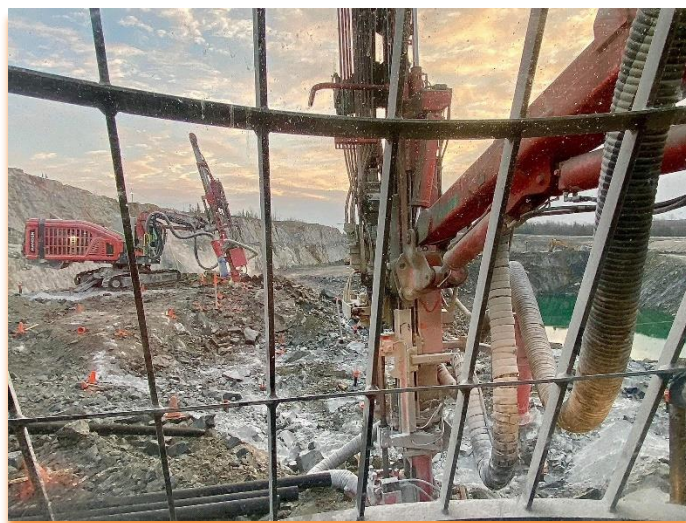
EBC



A-50, photos courtoisie Martin Cyr

Mine Westwood – Abitibi - Cie Galarneau

Photos courtoisie Joanie Doiron



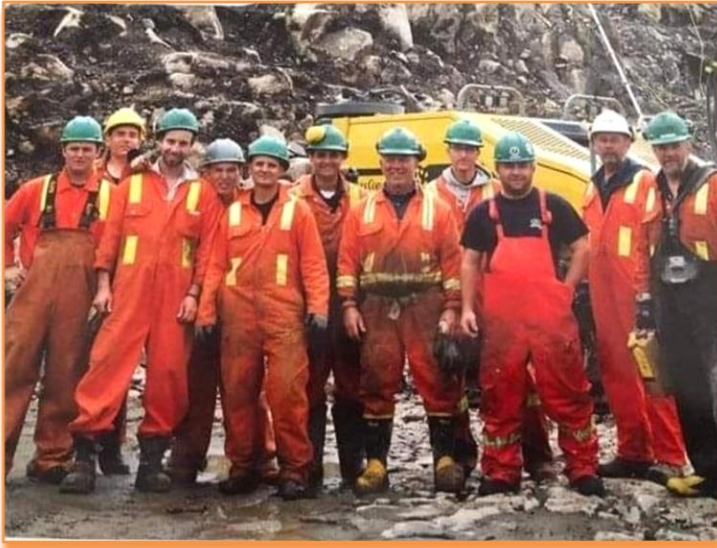
Dynamitage TCG



Route 138, photo courtoisie Dave Bergeron

CHRONIQUE BOUTEFEU

Photos d'archives



Inter-cité Construction : Souvenir 2007-2008
Rte 175 Parc des Laurentides



Photo source : Harold Blackburn



Photo source : Harold Blackburn

Portion souterraine du tramway : l'emploi d'un tunnelier peu probable

Louis Gagné, ICI Radio Canada
avec des informations de Bruno Savard
Publié le 1 juin 2022

Le recours à un tunnelier pour construire la portion souterraine du tramway est difficilement concevable si l'on en croit le directeur du bureau de projet du réseau structurant de transport en commun, Daniel Genest.

En entrevue au *Téléjournal Québec* mardi, l'ingénieur a indiqué que parmi les trois techniques d'excavation envisageables pour construire le tunnel de 2,6 km qui reliera la Haute-Ville et la Basse-Ville, celle du tunnelier était la moins probable.

Le tunnel est tout simplement trop court. Il y a trois courbes importantes dans le tunnel, donc, ce n'est pas en adéquation avec les réalités du projet, a expliqué Daniel Genest.

Le dernier mot au constructeur

Il a précisé que le choix de la méthode d'excavation reviendra au partenaire privé qui sera retenu pour les infrastructures du tramway. Ce dernier sera sélectionné au printemps 2023.

Les deux autres techniques d'excavation envisageables sont le forage-sautage et l'utilisation d'une haveuse. La première permet de fracturer le roc à l'aide d'explosifs, tandis que la seconde consiste à creuser au moyen d'un outil rotatif de coupe, également appelé fraise, monté sur un châssis.

Comparaison des méthodes d'excavation			
Méthode	Avantages	Inconvénients	Adéquation avec le projet
Forage-sautage	Flexibilité ++ Optimisation des sections	Vibrations, fumées	Forte
Haveuse	Flexibilité + Optimisation des sections	Poussières	Forte
Tunnelier	Mécanisation Cadence élevée	Amortissement difficile avant 4-5 km, contraintes de tracé, surexcavation	Faible

Source : Ville de Québec

Mardi soir, la Ville de Québec a tenu une séance d'information virtuelle sur l'insertion du tramway dans le secteur de la colline Parlementaire. Il a

notamment été question des méthodes d'excavation.

Le forage-sautage et le creusement par haveuse ont été décrits comme étant plus flexibles et en meilleure adéquation avec le projet.

Selon les experts de la Ville de Québec, elles présentent également moins d'inconvénients que l'emploi d'un tunnelier.

Tramway: le creusage du tunnel inquiète les citoyens

Stéphanie Martin | Journal de Québec
Publié le 1er juin 2022

Les impacts des vibrations et du creusage pour le tunnel du tramway sous les bâtiments historiques de la colline Parlementaire et de Saint-Jean-Baptiste préoccupent les citoyens du secteur.

La Ville de Québec poursuivait mardi ses séances d'information sur le tramway avec le segment de 1,8 km en tunnel entre le Grand Théâtre et le parc Jean-Paul-L'Allier.

Des résidents se sont inquiétés de dommages potentiels causés aux maisons pendant les travaux. La méthode de creusage sera choisie éventuellement par le consortium qui se chargera de la construction, mais trois sont possibles: par forage-sautage, par machine haveuse ou par tunnelier.

Forage-sautage

La méthode de forage-sautage a été qualifiée de « peu rassurante » par un citoyen. Les responsables ont voulu tempérer les craintes. « Il ne faut pas avoir peur de la méthode », qui est éprouvée, a répondu le consultant Bakar Amara.

Les études préliminaires montrent que les vibrations seront acceptables et des mesures d'atténuation et de contrôle seront mises en place, a-t-il ajouté. « On tient compte de la vulnérabilité des bâtiments. » « Si des dommages s'avéraient, un processus de réclamation peut s'enclencher avec la Ville », a aussi mentionné Maxime Béland, chef de tronçon.

Stations

Les responsables du projet ont présenté les esquisses qui montrent l'aspect des deux stations, celle de la colline Parlementaire, près de l'édifice Marie-Guyart, et celle D'Youville, située au coin Saint-Joachim et Honoré-Mercier. Elles seront «lumineuses» et «sécuritaires», a assuré la Ville. Elles abriteront des œuvres d'art.

Des participants ont regretté que la station de la Colline soit accessible seulement du côté sud de René-Lévesque, alors que les résidences sont principalement situées au nord de l'artère.

Une préoccupation partagée par le Comité populaire Saint-Jean-Baptiste, le conseil de quartier Saint-Jean-Baptiste et la Société de développement commercial du Faubourg Saint-Jean qui ont été «très déçus» et ont fait valoir leur demande pour avoir une meilleure connexion entre les stations du tramway et le Faubourg Saint-Jean.

Le retrait de la station du Grand Théâtre, qui avait été annoncé en 2020, a aussi fait sourciller plusieurs participants, qui auraient aimé que cette destination soit desservie.

De plus, l'ajout d'une scène sur la place publique au coin Cartier a été qualifié de « mauvaise idée » par Michèle Asselin, résidente du secteur. « Cela risque de créer autant de désagréments pour les résidents que ce que nous vivons dans le Vieux-Québec. »

Strasbourg : Dynamitage spectaculaire d'un ancien bâtiment du Port du Rhin, "coucher le bâtiment de la même façon qu'on abat un arbre"

Publié le 29/09/2022 à 18h00 • Mis à jour le 29/09/2022 à 19h53

Écrit par [Lisa Jardini](#).

(Source : <https://france3-regions.francetvinfo.fr/grand-est/alsace/direct-video-strasbourg-170-kilos-d-explosifs-pour-le-dynamitage-spectaculaire-d-un-ancien-batiment-du-port-du-rhin-2624296.html>)

L'ancienne maïserie du Port du Rhin (Strasbourg) a été dynamitée ce jeudi 29 septembre. Ce ne sont

pas moins de 10.000 tonnes de béton qui se sont effondrées.

La maïserie du quartier du Port du Rhin à Strasbourg a été créée en 1956 et a arrêté son activité en 2017. Elle a depuis été rachetée par l'entreprise de transports Chalot. Inoccupée depuis cinq ans, la maïserie a été dynamitée ce jeudi 29 septembre.

Pour dynamiter le bâtiment, un gros travail de curage a été réalisé. Il a fallu retirer le mobilier, faire des travaux de désamiantage et d'affaiblissement. Le but étant de pouvoir miner (percer des trous dans les poteaux pour y introduire de la dynamite) plus facilement. C'est la cave, le rez-de-chaussée et une partie du premier étage qui ont été minés, pour "pouvoir coucher le bâtiment de la même façon qu'on abat un arbre", lors de son explosion.

"Le dynamitage était plus avantageux que la destruction avec une pelle à grand bras : il faudrait sinon un engin tellement gros et tellement coûteux", ajoute Christophe Dietrich, le chef d'entreprise de démolition.

C'est 10.000 tonnes et 48 mètres de hauteur de béton qui se sont effondrés à l'aide de 200 kilos d'explosifs.

Pour voir la vidéo :

<https://youtu.be/AvT-8cMiGWg>





MERCI À NOS MEMBRES CORPORATIFS
