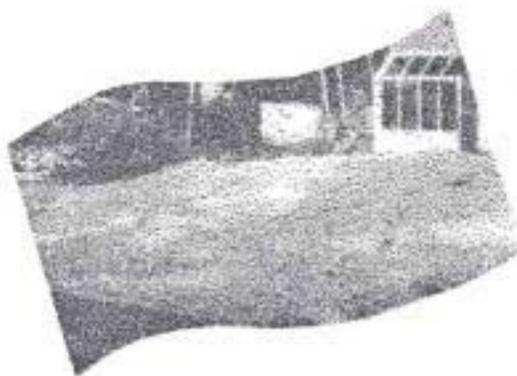


**Observation du comportement
des pare-éclats utilisés
dans les opérations
de sauvetage**



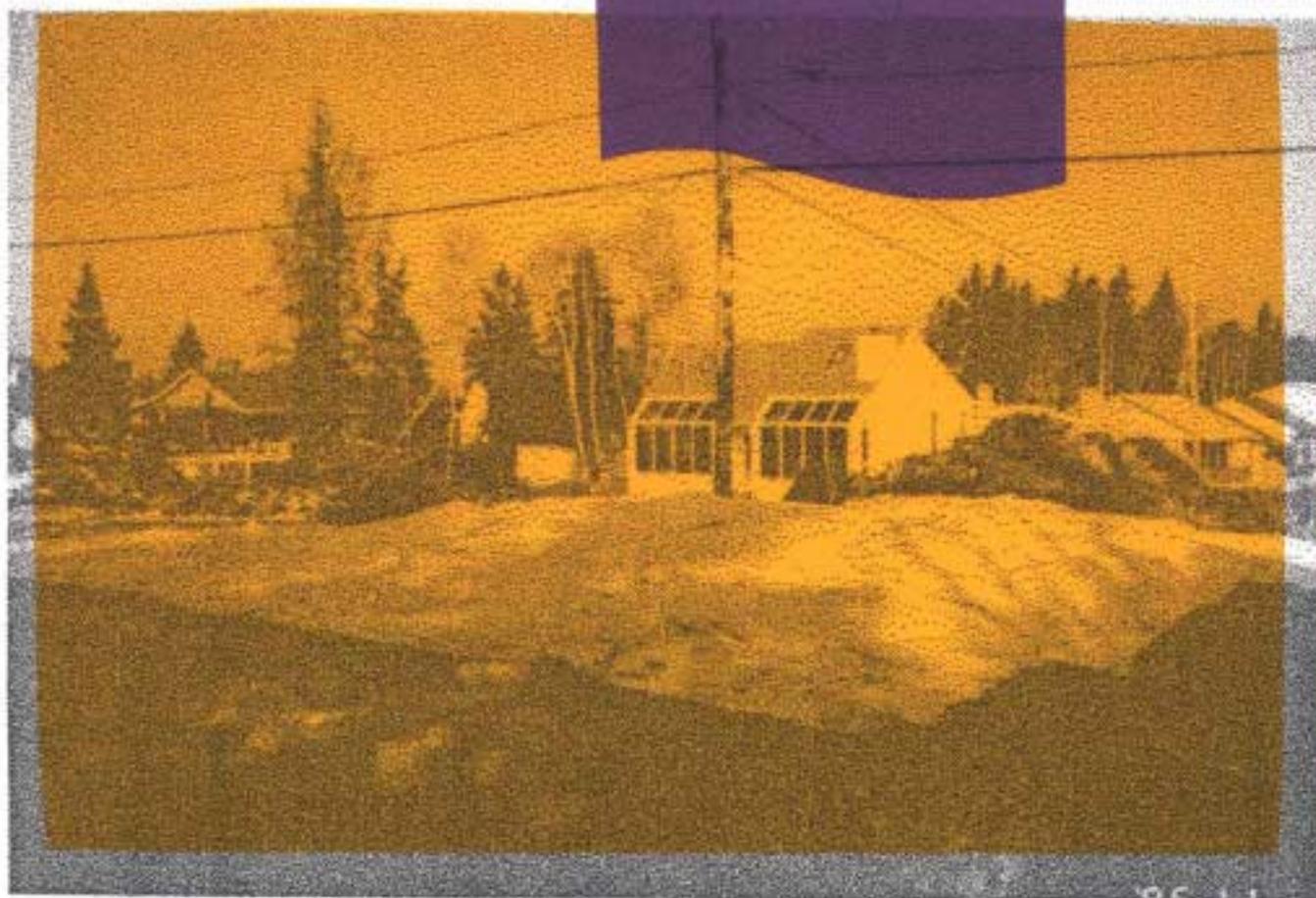
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Dominique Landat
Renaud Daigle
Jean Arteau
Wilfrid Comeau
Jean-Jacques Liard

Mai 1989

R-013

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Observation du comportement
des pare-éclats utilisés
dans les opérations de sauvetage**

Dominique Landat, Renaud Daigle, Jean Arteau
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

Wilfrid Comeau et Jean-Jacques Liard
Société d'énergie explosive du Québec

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

Observation du comportement des pare-éclats utilisés dans les opérations de sautage

Problèmes de santé:

Les blessures dues aux éclats de pierre.

Groupe de travailleurs concernés:

Les travailleurs de la construction.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
TABLE DES MATIÈRES	1
LISTE DES TABLEAUX	2
LISTE DES FIGURES	2
1.0 INTRODUCTION.....	2
2.0 ANALYSE DU PROBLÈME.....	3
2.1 <i>Principes de dynamitage</i>	<i>3</i>
2.2 <i>Principes de la projection</i>	<i>3</i>
2.3 <i>Utilisation des pare-éclats</i>	<i>4</i>
3.0 MÉTHODOLOGIE	4
4.0 RÉSULTATS.....	5
4.1 <i>Pare-éclats lourds</i>	<i>5</i>
4.2 <i>Pare-éclats légers</i>	<i>5</i>
4.3 <i>Sans pare-éclats</i>	<i>6</i>
5.0 DISCUSSION	6
5.1 <i>Synthèse</i>	<i>6</i>
5.2 <i>Poids et perméabilité</i>	<i>6</i>
5.3 <i>Risques reliés à l'utilisation</i>	<i>7</i>
5.4 <i>Paramètres du comportement</i>	<i>7</i>
6.0 CONCLUSION	8
7.0 RECOMMANDATIONS.....	8
REMERCIEMENTS	8
RÉFÉRENCES	8

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Revue de littérature, méthodes limitant le risque de projections..	9
Tableau 2	Type de pare-éclats	10
Tableau 3	Utilisation et sélection	10
Tableau 4	Comportement des pare-éclats et risques de projection	11
Tableau 5	Chantiers observés	11
Tableau 6	Identification des paramètres relevés	12
Tableau 7	Résumé des données techniques relevées/Pare-éclats lourds..	13-14
Tableau 8	Résumé des données techniques relevées/Pare-éclats légers..	15-16
Tableau 9	Résumé des données techniques relevées/Sans pare-éclats ..	17-18

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Détails techniques du chargement	19
Figure 2	Types de projection	20
Figure 3	Comportement type des matelas lourds/un chevauchement	21
Figure 4	Courbes de déplacements vertical et horizontal d'un coin/Pare-éclats lourd	22
Figure 5	Courbes de déplacement vertical et horizontal du centre/Pare-éclats lourd	23
Figure 6	Isochrones de la position du pare-éclats/Comportement enveloppant/Pare-éclats léger	24

1.0 INTRODUCTION

Lors du sautage, le principal risque à l'intégrité physique des personnes et des biens matériels qui entourent le chantier est celui des projections de pierres ou d'autres objets. Pour limiter ce risque, un moyen de protection collectif est utilisé. Il s'agit du pare-éclats dont la fonction est de retenir ou d'arrêter d'éventuelles projections. L'utilisation du pare-éclats est réglementée suivant l'article 4.7.5 de la section IV du Code de sécurité pour les travaux de construction (S-2,1, r.6, mise à jour le 10 février 1987), qui se lit comme suit:

«Lorsqu'un sautage est effectué à proximité d'un bâtiment, d'une voie de chemin de fer, d'une route ou d'une ligne de distribution électrique, on doit limiter la charge et placer un pare-éclats. Le matériau de remblai utilisé comme pare-éclats ne doit contenir aucune particule individuelle ou agglomérée d'un diamètre supérieur à 5 mm. Le pare-éclats doit être déposé et non glissé lorsqu'il est mis en place.»

Plusieurs types de pare-éclats sont présentement disponibles sur le marché. Les deux principaux sont les matelas de pneus sectionnés reliés par des câbles d'acier et les couvertures de géotextile. Bien que les objectifs des pare-éclats soient bien définis, les critères de conception et d'utilisation ne sont pas aussi bien déterminés. Cet état de fait peut entraîner la présence sur le marché de pare-éclats dont la fiabilité n'est pas assurée pour toutes les situations de sautage.

Comme le Comité de révision du Code de sécurité pour les travaux de construction n'a pas réussi à réglementer plus précisément la conception du pare-éclats, une demande de recherche a été présentée par la Commission de la santé et de la sécurité du travail. Dans un premier temps, l'Institut a voulu s'assurer de l'importance du problème et de la méthodologie à choisir, en contactant des intervenants concernés. Le milieu a effectivement reconnu l'importance d'entreprendre des recherches dans le domaine.

Il a été alors convenu que la première étape consisterait à effectuer des observations de chantier afin de pallier au manque d'information sur le comportement des pare-éclats et de mieux cerner le problème.

Les chercheurs de l'Institut, en collaboration avec des experts de la Société d'énergie explosive du Québec, ont effectué des observations de chantier afin d'identifier certains des critères de conception.

Toutes les références sont inscrites à la page 8 du présent document.

2.0 ANALYSE DU PROBLÈME

2.1 Principes de sautage

Lors de l'utilisation d'explosif pour fragmenter un massif rocheux, le boute-feux décidera de plusieurs éléments:

- le choix et la quantité d'explosif suivant la densité du roc, la vitesse de la détonation et l'énergie désirées;
- le choix du patron de forage (carré, rectangulaire, quinconce), le collet, le diamètre et la profondeur des trous, le type de bourrage, l'amorce, la séquence des délais (*figure 1*);
- le type de protection contre les projections.

Ces paramètres vont être sélectionnés principalement suivant les caractéristiques du roc (résistance, densité, fissuration), l'épaisseur et la quantité de roc à sauter ainsi que le degré de fragmentation désiré.

Comme le roc est plus résistant en compression qu'en tension, il sera donc plus facile de le rompre en le mettant en tension. Voyons de quelle façon l'explosion parvient à solliciter le massif rocheux en tension.

Deux éléments de base régissent la rupture du roc soit: l'onde de compression et la formation de gaz. Lors de l'explosion, une onde de compression apparaît. Elle se propage à une vitesse qui est fonction des propriétés du roc (2 000 à 10 000 mètres/seconde). Suite à la détonation de l'explosif, il y a formation de gaz à très hautes pression et température, ce qui crée des contraintes radiales beaucoup plus grandes que la résistance en compression du roc. Un anneau de roc broyé se forme autour du trou et préconditionne le roc pour la fissuration. Quand l'onde de compression atteint la surface libre, elle est réfléchiée vers son point d'initiation sous forme d'onde de tension. C'est alors qu'apparaissent des contraintes radiales de compression et tangentielles de tension, qui entraînent la formation de fissures radiales autour du trou. Les gaz sous pression, s'infiltrèrent alors dans les fissures, les agrandissent et déplacent les fragments de roc ^{1,2,3}.

2.2 Principes de la projection

Les projections sont définies comme étant des fragments de roc ou d'autres débris qui sont accélérés et projetés hors de la zone de sautage. Leurs trajectoires ainsi que leurs vitesses sont difficilement prévisibles car plusieurs paramètres peuvent régir leur comportement. Les blocs projetés peuvent être de grosseurs très importantes et leurs distances de projection peuvent être de plusieurs kilomètres⁴.

Même si le sautage est effectué selon la bonne pratique, il peut quand même y avoir des projections. En fait, d'après Gustafsson ⁵, trois types de projection peuvent être identifiés soit: les projections de surface causées par la pression des gaz, la projection généralisée de la face de la paroi (provenant généralement de la charge de fond de la première ligne de trous) et des projections locales venant de la face de la paroi. La *figure 2* illustre ces trois cas.

Les principales causes identifiées pour ces types de projections sont:

- a) les défauts, les fissures et les zones de faibles résistances qui affaiblissent le roc localement;
- b) une mauvaise appréciation du collet;
- c) un défaut dans la séquence des délais de détonation des explosifs;
- d) une surcharge d'explosifs.

Examinons chacune de ces causes:

a) Fissures et cavités

Lorsque le roc est fissuré naturellement ou par un sautage précédent, la pénétration des gaz dans ces fissures permet à ceux-ci de déplacer des fragments de roc. Les cavités peuvent être accidentellement remplies d'explosif, entraînant ainsi une surcharge locale qui peut impliquer de grandes distances de projection.

b) Le collet

La partie non chargée du trou ou collet est également un point important dans le contrôle des projections. Le rôle du collet est de confiner les gaz à l'intérieur du trou, de telle sorte que le sautage soit plus efficace. Lorsque le collet n'est pas adéquat, le matériau de bourrage ainsi que le roc fissuré autour du trou peuvent être projetés sous l'effet des gaz.

c) La séquence des délais

L'utilisation des délais a pour but de permettre au roc des lignes de trous successives de se déplacer avec moins de restriction et d'éviter par le fait même, des projections indésirables. En effet, la première ligne de trous en se déplaçant crée une nouvelle face libre, permettant au roc de la deuxième ligne de trous de se déplacer plus facilement vers la première. Une mauvaise séquence des délais entraînerait plutôt un déplacement vers la surface et donc des projections.

d) La surcharge

La dernière cause de projection est la surcharge soit par un mauvais calcul de la charge soit par une mauvaise appréciation du fardeau.

Certaines causes de projection étant identifiées, la littérature ^{5,6,7} offre des méthodes pouvant limiter leur apparition. Un résumé est présenté au *tableau 1*. L'emploi de telles méthodes ne fait que diminuer la probabilité d'apparition des projections. Il est donc nécessaire d'en réduire les conséquences en protégeant la zone de sautage, lorsqu'il y a des possibilités de dommages aux personnes ou au matériel, par un moyen de protection: les pare-éclats.

2.3 Utilisation des pare-éclats

Gustafsson ⁵ décrit deux grandes classes de pare-éclats: les lourds et les légers. Il précise leurs objectifs respectifs et présente des exemples ainsi que les avantages et les désavantages de chacun. Le *tableau 2* les résume. Au Québec, le pare-éclats lourd est généralement fabriqué avec des vieux pneus sectionnés reliés entre eux par des câbles d'acier. Il s'agit du type de protection le plus répandu. Le pare-éclats léger quant à lui est fait de géotextile, généralement un non tissé, fait de fibres de polyester ou de polypropylène entrelacées.

Les principaux facteurs qui différencient ces deux genres de pare-éclats sont le poids et la perméabilité. Les pare-éclats de pneus seraient très peu perméables aux gaz et leur poids est élevé (100 à 200 kg/m²). Les géotextiles sont possiblement très perméables aux gaz et légers (0,35 kg/m²). Gustafsson ⁵ décrit également deux principes de fonctionnement possibles, soit la perméabilité aux gaz et la masse qui agit par un transfert de la quantité de mouvement et conclut qu'aucun de ces points de vue n'est complètement correct. En fait, les critères qui déterminent le comportement des pare-éclats ne sont pas bien connus, notamment, la façon dont la perméabilité ou le poids contribuent à l'efficacité du pare-éclats.

Gustafsson ⁵ présente également une grille de sélection et d'utilisation selon le type de travaux et la distance des ouvrages à protéger (*tableau 3*).

Par ailleurs, même lorsque les pare-éclats sont utilisés, des risques résiduels liés à leur comportement demeurent présents. Le *tableau 4* résume les comportements des pare-éclats qui laissent la possibilité de projections, ainsi que les conséquences et les raisons hypothétiques de ces comportements; ce tableau est déduit des références et des témoignages.

3.0 MÉTHODOLOGIE

Le comportement des pare-éclats ayant fait l'objet de peu d'étude, il a été nécessaire de mettre au point une méthodologie d'observation. Nous avons opté pour une approche empirique d'observation du comportement des pare-éclats sur les chantiers. Le but de ces observations était de compiler des données sur les conditions d'utilisation et de circonscrire les éléments qui régissent le comportement des pare-éclats dans le milieu de travail.

Les travaux de sautage ont été choisis de telle façon qu'une gamme de sautages-types soient observés. Parmi ces travaux, trois genres de site ont été identifiés soit:

- la foncée initiale;
- la tranchée;
- le sautage en banc.

Les foncées initiales et les tranchées ne présentent qu'une face libre. Les sautages en banc en possèdent au moins deux, la surface et au moins une des faces du roc, ce qui permet au roc de se déplacer dans deux directions. Le *tableau 5* identifie les types et le nombre de chantiers observés, lors de l'utilisation de pare-éclats en pneus, en géotextile ou sans utiliser de pare-éclats. Notons qu'aucun sautage avec remblai n'a été observé.

Les données suivantes étaient requises pour atteindre le but de l'étude:

- les données techniques sur le pare-éclats (type, dimensions, etc.);
- les données techniques sur le sautage (facteur de charge, patron de forage, délais, etc.);
- les données géologiques (type de roc, orientation des diaclases, etc.).

Les techniques de relevé des données étaient d'une part, une prise de données au moyen d'un vidéo haute-vitesse (200 images/seconde ou 500 images/seconde) afin d'étudier les déplacements du pare-éclats pendant l'explosion, et d'autre part, une grille d'observation pour compléter les informations. Un résumé du type de données relevées par ces deux méthodes est donné au *tableau 6*, et se divise en quatre catégories: les données sur les projections, les pare-éclats, le sautage et la géologie du site.

4.0 RÉSULTATS

Le présent chapitre se divise en trois sections: pare-éclats lourds, pare-éclats légers, et sans pare-éclats. Dans chaque section, la mise en place et les déplacements observés sont présentés.

4.1 Pare-éclats lourds

Deux sautages en banc (BP-11, BP-12), quatre en tranchée (TP-3, TP-4, TP-5, TP-6) et un en foncée initiale (FP-2) ont fait l'objet d'observation. Le *tableau 7* résume les données techniques relevées.

Mise en place

Après avoir complété toutes les opérations de chargements (introduction de l'explosif, bourrage, connexion, etc.), le boute-feu doit diriger la pose des pare-éclats sur la zone de sautage. Les pare-éclats de pneus étant très lourds, ils requièrent l'utilisation d'un appareil de levage pour les mettre en place. Leur nombre et leur disposition varient selon le type (en banc, tranchée, foncée initiale) et la dimension du sautage. Lorsqu'un sautage nécessite plusieurs matelas (surface de sautage plus grande que la surface d'un matelas), ceux-ci sont disposés de façon à ce qu'ils se chevauchent. Dans les cas observés, nous avons relevé des chevauchements de 2,3 m et 0,2 m (FP-2, BP-11).

Pour les tranchées, les matelas sont habituellement disposés de façon à ce que le grand côté soit perpendiculaire à la longueur du sautage quand celui-ci nécessite plusieurs matelas et qu'une longueur de matelas ne suffit pas à couvrir la longueur du sautage. Ainsi, seul un côté du matelas, le plus long, se retrouve chevauché par un autre matelas. Dans le cas d'une foncée initiale, un ou deux côtés du matelas peuvent se chevaucher car bien souvent la longueur du matelas n'est pas suffisante pour couvrir toute la zone de sautage. Cette situation est semblable pour le sautage en banc qui dépend de la largeur de la zone de sautage. Dans ce cas, la surface du roc et le côté de la paroi sont recouverts.

Déplacements

De façon générale, tous les pare-éclats se sont comportés de façon identique. En effet, nous avons observé dans ces situations des déplacements verticaux et horizontaux et également des comportements de fouette-ment. La *figure 3* illustre un comportement-type, sur plusieurs lignes de trous, de deux matelas qui se chevauchent sur un côté.

- Sur la première ligne de trous, le matelas se soulève verticalement et se redépose, avec très peu de déplacement horizontal.

- Sur les lignes subséquentes, il se gonfle et se soulève du côté où il n'y a pas le chevauchement d'un autre matelas, les gaz se libèrent entre les matelas lorsque ceux-ci sont à leur hauteur maximum et lorsqu'ils redescendent.
- Sur la dernière ligne de trous, le matelas se soulève au centre et fouette sur les côtés lorsque les gaz sont libérés.

Les *figures 4 et 5* illustrent les déplacements types du coin et du centre d'un pare-éclats de pneus (FP-2). Les déplacements verticaux sont beaucoup plus importants sur les coins qu'au centre des matelas:

- élévation maximum observée pour les coins des matelas = 1,3 mètre
- élévation maximum observée pour les centres des matelas = 0,8 mètre

On a également observé des vitesses jusqu'à 7 mètres/seconde (25 km/heure), sans déplacements horizontaux majeurs (maximum observé: 0,5 m), alors que des déplacements verticaux maximums de 1,5 m ont été relevés. En moyenne sur tous les sautages, l'apogée des déplacements verticaux est trois fois plus élevée que l'élévation finale du roc au même endroit.

Enfin des observations particulières sont soulignées. Une ouverture a été observée entre les deux pare-éclats dans trois des observations (TP-4, TP-5, TP-6), durant le sautage des lignes subséquentes. De plus, nous avons noté un échappement rapide de gaz (trou canon) (FP-2) ainsi que la projection d'un fragment de pneu (TP-4). La vitesse verticale approximative de l'échappement des gaz est de 27 m/s (100 km/h) et celle du fragment de pneu de l'ordre de 24 m/s (86 km/h).

4.2 Pare-éclats légers

Dans le cas des pare-éclats de géotextile, le *tableau 8* décrit le sautage d'une foncée initiale (FG-1) et de deux sautages en banc (BG-9, BG-10).

Mise en place

La pose des pare-éclats de géotextile est beaucoup plus facile que celle des pare-éclats en pneus. Comme ils sont légers, il n'est pas nécessaire d'utiliser un appareil de levage pour les mettre en place. Deux hommes suffisent pour les déployer sur la zone à couvrir. Ce type d'installation a l'avantage de ne pas risquer de défaire les connexions comme peuvent le faire les matelas de pneus lorsqu'ils sont posés ou glissés sur la zone du sautage.

Le pare-éclats de géotextile est disposé en nappes se chevauchant, lorsqu'un seul n'est pas assez grand pour couvrir toute la zone. Dans les cas observés, nous avons relevé un chevauchement de 0,9 mètre, ce qui est beaucoup plus que pour un matelas de pneus (0,2 m et 0,3 m).

Déplacements

Aucune distinction dans la pose et le comportement des pare-éclats n'a été relevée entre la foncée initiale et les sautages en banc.

Dans les trois sautages, les comportements relevés ont été du type enveloppement du roc. Lors du sautage, le géotextile est plaqué sur la surface du roc et les nappes glissent entre elles sous l'effet de l'expansion du roc. Notons que des nappes en glissant ont découvert certaines zones. Pendant le sautage, les gaz traversent le pare-éclats qui est perméable. Un échappement de gaz se produit à la fin du sautage lorsque le roc redescend jusqu'à sa position finale. Les figures 6a et 6b montrent les isochrones de déplacement du géotextile pour un comportement de type enveloppant.

Pour des facteurs de chargement de 1,11 kg/m³ et 0,96 kg/m³, nous avons relevé respectivement des déplacements maximums de 3,5 m et de 3,1 m, l'élévation finale du roc se situait pour chacun de ces cas à 3,3 m et 2,3 m. Contrairement au pare-éclats de pneus, les déplacements maximums des géotextiles ne sont, en moyenne, que de 1,25 fois plus élevés que les déplacements finaux du roc.

4.3 Sans pare-éclats

Le tableau 9 fournit les observations de trois sautages (TS-7, TS-8, BS-13) pour lesquels aucune protection n'était utilisée. Pour les sautages en tranchées TS-7 et TS-8, il y avait respectivement 2,9 m et 2,77 m de mort-terrain recouvert d'une couche d'asphalte (route). Bien que les déplacements verticaux de la couche d'asphalte furent de l'ordre de 0,3 m, cette couche est restée homogène, si ce n'est l'apparition de quelques fissures entre les trous. Les comportements du mort-terrain et de la couche d'asphalte peuvent être associés à celui d'un pare-éclats lourd (poids du mort-terrain) et non rigide (expansion du mort-terrain et de la couche d'asphalte). Dans ces deux cas aucune projection n'a été observée.

Un sautage en carrière (BS-13) a été également observé. La particularité de ce genre de sautage est que le déplacement du roc se fait essentiellement horizontalement à des distances assez élevées (maximum observé: de l'ordre de 28 mètres).

5.0 DISCUSSION

5.1 Synthèse

Les observations de chantier ne permettent pas de distinguer de comportements vraiment différents entre les divers types de sautages (tranchée, foncée initiale et en banc). Toutefois, les deux types de pare-éclats lourds et légers ont réagi de manières différentes.

En ce qui concerne les pare-éclats de pneus, les déplacements sont à la fois causés par le mouvement du roc et le mouvement des gaz libérés par l'explosion. De fait, la grande différence entre les déplacements verticaux finaux et les déplacements verticaux maximums laisse supposer que le matelas de pneus se soulèverait beaucoup plus que le niveau du roc. Le dégagement de gaz commence à se produire lorsque ceux-ci sont à leur élévation maximum. Les déplacements observés ont surtout été des mouvements verticaux du matelas; un cas particulier de cette situation étant le fouettement des coins du matelas. Par ailleurs, ces déplacements excessifs engendrent certains risques: des ouvertures entre les matelas, des déplacements horizontaux et verticaux combinés qui dégagent une partie de la zone de sautage, et un déplacement vertical qui peut laisser la voie libre à d'éventuelles projections latérales.

Pour les pare-éclats de géotextile, les déplacements sont dus principalement à l'effet d'enveloppement du roc dynamité. Dans ce cas, aucun fouettement n'a été relevé. Par contre, les possibilités de dégagement de la zone de sautage subsistent particulièrement lorsqu'une ouverture entre les pare-éclats se forme.

En ce qui a trait aux observations de sautage sans pare-éclats, la couche d'asphalte et de terre présente dans deux des observations a pu constituer un pare-éclats. De plus, dans le cas de la carrière, très peu de projections verticales ont été identifiées, le mouvement du roc étant principalement horizontal.

5.2 Poids et perméabilité

Ces données permettent de proposer les éléments qui régissent le comportement du pare-éclats. Un de ces éléments est celui des propriétés physiques du pare-éclats. En effet, les différences majeures qui existent entre le pare-éclats de pneus et de géotextile sont: le poids (pneus=lourd, géotextile=léger) et la perméabilité aux gaz (pneus=imperméable, géotextile=perméable). Nous allons tâcher d'identifier lequel ou lesquels de ces deux éléments sont des paramètres importants dans l'efficacité des pare-éclats.

L'hypothèse de départ pour la conception d'un pare-éclats lourd est la suivante: le poids du pare-éclats permet de retenir les projections. Or, les pare-éclats de

pneus se soulèvent relativement plus que ceux de géotextile qui sont légers. Le poids n'empêche donc pas le pare-éclats de pneus de se soulever et n'est donc pas une propriété essentielle à leur efficacité. De fait, ce soulèvement entraîne certains risques. Ce phénomène serait dû principalement à l'imperméabilité aux gaz de ce type de pare-éclats.

Voyons maintenant comment la perméabilité aux gaz peut expliquer le comportement des pare-éclats. Rappelons brièvement, que lors du sautage l'énergie explosive va être transformée entre autres en fragmentation et déplacement du roc, mais également en vibration, bruit et dégagement de gaz. Face à ces gaz, le pare-éclats va se comporter comme un filtre. L'écoulement des gaz à travers ce filtre génère une perte de charge qui est proportionnelle à la résistance à l'écoulement. Cette résistance est causée par des obstructions qui sont en fait, divers solides qui occupent une partie du volume disponible. Comparons les proportions entre le volume des solides et le volume total pour les pare-éclats de pneus et de géotextile. Le pare-éclats de pneus est fait de carcasses de pneus serrées les unes contre les autres par des câbles d'acier; elles occupent presque tout le volume disponible, ne laissant que très peu de vides à travers lesquels les gaz peuvent s'écouler librement. Comme les obstructions occupent presque tout le volume du pare-éclats de pneus, les pertes de charge sont très importantes. Au contraire, le pare-éclats de géotextile est très poreux; les fibres, c'est-à-dire les solides, occupent une faible proportion du volume total. Ainsi, l'écoulement des gaz rencontre peu de résistance et les pertes de charge sont faibles. Notons que les pertes de charge se transforment en forces appliquées sur le pare-éclats. Une grande perte de charge entraîne donc une grande force appliquée sur les pare-éclats. Cette force cause alors le soulèvement du pare-éclats. Cette idée a été confirmée par les observations effectuées puisque, rappelons-le, le pare-éclats de pneus s'est déplacé verticalement, dans certains cas, de plus de trois fois le déplacement final du roc, alors que le pare-éclats de géotextile ne s'est déplacé que de 1,25 fois.

La relation qui existe entre le poids et la perméabilité semble donc être un facteur important dans le comportement des pare-éclats. En effet, plus le matelas est imperméable aux gaz plus l'énergie développée sous forme de gaz par l'explosion peut être transférée au matelas.

5.3 Risques liés à l'utilisation

Parmi les risques inhérents à l'utilisation du pare-éclats déjà identifiés au *tableau 4*, les observations ont confirmé les points suivants:

- les pare-éclats de géotextile peuvent glisser les uns sur les autres et dégager une partie de la zone à protéger (G1);
- les pare-éclats de pneus peuvent glisser les uns sur les autres et dégager une partie de la zone à protéger (P1);
- les pare-éclats de pneus se soulèvent et glissent sur le côté, en dégageant des trous de sautage (P3);
- les pare-éclats de pneus, en se soulevant et en fouettant sous la force d'impact, peuvent laisser libérer des projections sur le côté (P5).

L'étude a démontré que les matelas de pneus avaient tendance à fouetter lorsqu'ils étaient placés sur la dernière ligne de trous. Il faudrait donc attacher plus d'importance au recouvrement des dernières périodes. Notons que dans ce cas, le roc a plus de difficulté à bouger dans le sens du déplacement du roc dynamité, ainsi le risque de projections de surface est-il plus grand. De plus, une attention particulière aux chevauchements et aux distances de recouvrement devrait être apportée afin de limiter les risques P1 et P3 (voir *tableau 4*).

L'utilisation du pare-éclats de pneus peut également, par son poids, gêner le déplacement du roc et, par le fait même, entraîner un risque de projection.

5.4 Paramètres du comportement

Suite aux observations et aux analyses qui ont été effectuées, nous pouvons définir le comportement du pare-éclats comme étant fonction:

- des caractéristiques techniques du pare-éclats (poids, rigidité, résistance, perméabilité aux gaz);
- des conditions de chargement (facteur de charge, patron de forage, délais, etc.);
- des conditions géologiques (type de roc, fissuration, etc.);
- de la longueur et de la largeur de recouvrement;
- du chevauchement.

Dans les deux cas (géotextile, pneus), aucune projection de pierres n'a été observée. Cet état de fait n'implique pas nécessairement que ces deux types de protection collective soient totalement efficaces contre les projections de pierre. En effet, il est difficile lorsque l'on fait des observations en milieu de travail de contrôler les paramètres de l'explosion. Ainsi, nous ne savons pas si des projections sont survenues ou non.

6.0 CONCLUSION

Cette première étape dans l'étude du comportement des pare-éclats nous a permis de recueillir des informations sur le sujet et de mieux cerner la problématique qui l'entoure. Rappelons que les objectifs du projet étaient d'une part, d'établir si certains risques reliés à l'utilisation du pare-éclats étaient effectivement présents et d'autre part, de définir certains de leurs critères de conception et certains des éléments qui régissent leurs comportements.

Les pare-éclats de pneus se soulèvent et fouettent sur les côtés alors que les pare-éclats de géotextile ont un comportement enveloppant du roc. Cette différence dans les déplacements a été identifiée comme étant une conséquence de la faible perméabilité aux gaz des pare-éclats de pneus. Ainsi, cette caractéristique technique est un critère de conception important en plus du poids. Enfin les conclusions de cette étude ont une portée limitée à cause du faible nombre d'observations.

7.0 RECOMMANDATIONS

À l'heure actuelle, on semble relier l'efficacité du pare-éclats avec seulement le poids de celui-ci, alors que les observations portent à penser que la perméabilité aux gaz peut également être considérée comme critère de conception. Nous avons vu au cours de l'étude que l'imperméabilité aux gaz, combinée à un poids élevé pouvait entraîner un comportement dangereux du pare-éclats. Il est donc important de pouvoir à ce stade-ci, définir et quantifier les paramètres qui contrôlent le comportement du pare-éclats. Des études plus systématiques sur le sujet devraient être entamées.

Des tests plus systématiques sur l'efficacité face aux projections devront être effectués. Un banc d'essais simulant les projections (grosseur, vitesse et angle d'attaque variables) serait utilisé afin de vérifier si les pare-éclats remplissent bien leur tâche qui est d'arrêter les projections. Les pare-éclats assumant les conditions suffisantes d'acceptation telles que résistance, déplacements, arrêt des projections, etc., seraient par la suite utilisées lors d'essais en carrière afin de vérifier si pendant l'explosion ces pare-éclats ont des comportements adéquats. L'aspect dynamique de l'explosion

serait ainsi représenté. En procédant d'une telle manière, les comportements des pare-éclats potentiels pourraient être comparés pour une même situation de sautage, ainsi leur efficacité relative serait définie.

D'après ce qui a été publié et ce qui a été observé, il serait opportun de poursuivre les recherches sur les pare-éclats et particulièrement de mettre l'emphase sur les pare-éclats légers car leur utilisation telle que démontrée, présente certains avantages. En outre, ils sont actuellement utilisés alors que leur efficacité n'est pas confirmée.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux et celles qui ont aidé de leurs conseils et ont rendu possible la présente étude. En particulier, la Société d'énergie explosive du Québec qui nous a fait partager son expertise en effectuant les relevés techniques des divers sautages, et la Compagnie Castonguay et Frères, entrepreneur en sautage, qui nous a permis l'accès à ses chantiers.

Références citées

1. COATES, D.F. *Rock Mechanics Principles*, Canmet (Energy, Mines and Ressources) Canada, 1981, p. 8.1-8.45.
2. JAEGER, J.C., et N.G.W. COOK. *Fundamentals of Rock Mechanics*, Chapman and Hall, London, 3^e édition 1979, p. 529-535.
3. HEMPHILL, Gary B. *Blasting Operations*, Montréal, McGraw-Hill, 1981, 258 p.
4. ROTH, J. *A Model for the determination of flyrock range as a function of shot conditions*, Springfield VA, (US) Management Sciences Associates, 1979, 86 p.
5. GUSTAFSSON, Rune. *Swedish Blasting Techniques*, Gothenburg, SPI [(box 20)], 1973, 328 p.
6. FLETCHER, Larry R., et D'ANDREA, Dennis V. *Control of flyrock in blasting*, Montville Ohio, Conference on explosives and blasting techniques, 12th, p. 167-177.
7. DICK, R.A., FLETCHER, L.R. et D'ANDREA, Dennis V. *Explosives and blasting procedures manual*, Bureau of Mines Information Circular/1983, United States Department of Interior, p. 77.

TABLEAU 1: REVUE DE LITTÉRATURE, MÉTHODES LIMITANT LE RISQUE DE PROJECTIONS

D'APRÈS GUSTAFSSON⁶	
Projection de surface	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter de charger très fort le fond et de laisser un grand collet • Limiter la hauteur non chargée (inférieure au fardeau) • Enlever les pierres ou autres matériels susceptibles d'être projetés par l'explosion • Contrôler le diamètre des trous
Projections dues à la charge de fond (le plus souvent sur la première ligne de trous)	<ul style="list-style-type: none"> • Calculer individuellement la charge de la première ligne de trous • Contrôler la charge spécifique entre 0,2 et 0,25 kg/m³ • Contrôler le diamètre des trous (plus le diamètre est grand plus le risque est élevé) • Laisser le roc d'un premier sautage (2 fois le fardeau) • Contrôler des délais (délais adjacents inférieurs à 100 ms)
Projections de la face	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler la charge spécifique, entre 0,2 et 0,25 kg/m³
D'APRÈS DICK ET AL⁷	
Projection de surface	<ul style="list-style-type: none"> • Bon calcul du fardeau • Bon calcul du collet • Utiliser du matériel de 1/4" pour le collet • Délais d'au moins 10 ms par pied de fardeau • Consulter le foreur pour déceler les zones de faible résistance dans le roc • Placer du bourrage dans les zones de faible résistance plutôt que de l'explosif

TABLEAU 2: TYPES DE PARE-ÉCLATS⁵

	LOURDS (H)	LÉGERS (splinter — protective material)
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> • prévenir le jet de grosses pierres (projection importante) • prévenir les déplacements trop grands de la roche 	<ul style="list-style-type: none"> • prévenir le jet de petites pierres • prévenir le jet et la dispersion de la surface
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> • tapis de pneus • rodins retenus par des câbles • matelas de câbles • matelas d'anneaux d'acier 	<ul style="list-style-type: none"> • feutre industriel • «Nitro steel wire blasting mat» • filets de câbles • bâches • tissus de nylon-balistique • etc.
Avantages et désavantages de chaque modèle	<ul style="list-style-type: none"> • tapis de pneus: avantages: poids et durabilité • rodins: avantages: protection autoportante (c'est-à-dire face de tunnels) 	<ul style="list-style-type: none"> • «Nitro blasting mat»: avantages: petites roches • feutre industriel: avantages: petites roches • filets de câbles en plusieurs couches: avantages: petites roches désavantages: conducteur, poids élevé mais perméable aux gaz

TABLEAU 3: UTILISATION ET SÉLECTION

DISTANCE PAR RAPPORT AUX ÉDIFICES, LIGNES...	TRANCHÉE	NIVELLEMENT	BANC
1. À côté des édifices, lignes de transmission etc.	lourd et léger	lourd et léger	lourd et léger
2. 50 à 100 m	lourd et léger	lourd et léger	lourds: (premiers sautages zones faibles, premières et dernières rangées) + légers
3. 100 m	lourd: (complet: difficile sinon partiel) + léger	lourd et léger	lourds: (premiers sautages zones faibles, premières et dernières rangées) + légers
4. Tunnels dans les zones habitées	lourds + légers (complètement les issues du tunnel)		

TABLEAU 4: COMPORTEMENT DES PARE-ÉCLATS ET RISQUE DE PROJECTION

LÉGERS (GÉOTEXTILE)					
Comportement	Glisse l'un sur l'autre G1	Se déchire G2	Se soulève et glisse G3		
Réaction	Ouverture laissant la voie libre aux projections	Ouverture laissant la voie libre aux projections	Dégagement de trous de sautage		
Hypothèse	Mouvement du chevauchement	Manque de résistance	Manque de recouvrement		
LOURDS (PNEUS)					
Comportement	Glisse l'un sur l'autre P1	Se déchire P2	Se soulève et glisse P3	Se déplace horizontalement P4	Se déplace verticalement P5
Réaction	Ouverture laissant la voie libre aux projections	Ouverture laissant la voie libre aux projections	Dégagement de trous de sautage	Dégagement des trous de sautages. Peut heurter des personnes ou du matériel en se déplaçant	Libération de projections sur le côté. Peut heurter des personnes ou du matériel en se déplaçant
Hypothèse	Mouvement du chevauchement	Manque de résistance	Manque de recouvrement	Trop d'énergie transférée au matelas	Trop d'énergie transférée au matelas

TABLEAU 5: CHANTIERS OBSERVÉS

PARE-ÉCLATS			
Type de sautage	Léger/Géotextile (G)	Lourd/Pneus (P)	Sans pare-éclats (S)
Foncée initiale (F)	FG-1	FP-2	
Tranchée (T)		TP-3, -4, -5, -6	avec MT TS-7, -8
Sautage en banc (B)	BG-9, -10	BP-11, -12	Carrière BS-13

MT: Sautage avec mort-terrain de terre et d'asphalte pouvant agir comme pare-éclats.

TABLEAU 6: IDENTIFICATION DES PARAMÈTRES RELEVÉS

Projections	Type Trajectoire Vitesse Dimensions
Données techniques sur les pare-éclats	Type État Nombre Dimensions (longueur, largeur) Longueur de chevauchement Rapports de recouvrement (longueur, largeur, surface) Déplacements maximaux (horizontal, vertical) Déplacements finaux (horizontal, vertical) Vitesse (horizontale, verticale) Classification des comportements Comportement des fumées
Données techniques sur le sautage	Rapport collet-diamètre Maille Facteur énergétique Épaisseur du mort-terrain Nature du mort-terrain Patron des délais
Données géologiques	Orientation de la structure rocheuse par rapport au tir Fissuration Dimensions des blocs Résistance - dureté Type de roche

**TABLEAU 7: RÉSUMÉ DES DONNÉES TECHNIQUES -
PARE-ÉCLATS LOURDS (PNEUS)**

TYPE DE SAUTAGE	FONCÉE		TRANCHÉE			BANC	
N° DU SAUTAGE	FP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	BP-11	BP-12
RELEVÉ TECHNIQUE PARE-ÉCLATS							
État	Bon	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Bon
Nombre	11	4	4	3	4	6	3
Dimensions							
Longueur (m)	4,5	3	3	3	3	4	4,5
Largeur (m)	2,3	2	2	2	2	2,9	2,3
Chevauchement	0,2	=	=	=	=	0,3	=
Rapport de recouvrement							
Longueur	1,3	=	=	=	=	0,9	=
Largeur	2,6	=	=	=	=	1,1	=
COMPORTEMENT PARE-ÉCLATS							
						Ruban effacé	Peu de déplacement
Déplacements maximaux observés:							
Vertical (m)	1,3	1,4	1,1	1,3	1,5	=	=
Horizontal (m)	0,5	0	0	0	0	=	=
Déplacements finaux observés (maximaux) (1):							
Vertical (m)	0,4	0,9	0,7	0,7	0,7	=	-
Horizontal (m)	0,4	0	0	0	0	=	-
Vitesse maximale:							
Verticale (m/s)	7	5	5,3	3,5	6	=	-
Horizontale (m/s)	3,5	0	0	0	0	=	-
Classification	Soulève Fouette	Soulève	Soulève Ouvert.	Soulève Ouvert.	Soulève Ouvert.	Soulève Fouette	Glisse
Fumées:							
à l'apogée du déplacement	oui	-	oui	-	oui	-	-
à la fin	oui	-	oui	-	oui	-	-
Projections et échappement							
	Trou Canon	-	Pneu	-	-	-	-
Vitesse verticale (m/s)	27	-	24	-	-	-	-

(1) Le déplacement maximal et le déplacement final ne sont pas nécessairement observés au même endroit sur le pare-éclats.

= non disponible
- non observé

**TABLEAU 7: RÉSUMÉ DES DONNÉES TECHNIQUES -
PARE-ÉCLATS LOURDS (PNEUS)**

(suite)

TYPE DE SAUTAGE	FONCÉE	TRANCÉE				BANC	
N° DU SAUTAGE	FP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	BP-11	BP-12
RELEVÉ TECHNIQUE SAUTAGE							
Rapport collet/diamètre	22,22	=	=	=	=	34,92	28,57
Maille: Fardeau (m)	1,2	=	=	=	=	1,5	1
Espacement (m)	1,2	=	=	=	=	1,5	-
Facteur de chargement (kg/m ³)	1,52	=	=	=	=	0,39	0,38
Patrons de délais	en V					en V	
Direction	+ côté	=	=	=	=	+ côté	Aucun
Nombre de périodes	26	=	=	=	=	10	0
Nombre de trous	29	=	=	=	=	20	2
Nombre de rangées	9	=	=	=	=	4	1
Mort-terrain							
Type	Terre	Terre	Terre	Terre	Terre	-	-
Épaisseur (m)	0,3	=	=	=	=	-	-
RELEVÉ TECHNIQUE GÉOLOGIE							
Type	Orthogneiss	=	=	=	=	Grès périthifère	Orthogneiss
Orientation de la structure rocheuse par rapport au tir	80°	=	=	=	=	318°	80°
Fissuration	Peu	=	=	=	=	Beaucoup	Peu
Dimension des blocs m ³	0,2 à 0,3	=	=	=	=	0,008	0,2 à 0,3
Dureté	6	=	=	=	=	4,5	6

Codification des numéros de sautage :

F	Foncée initiale	=	non disponible
T	Tranchée	-	non observé
B	Banc		
P	Pare-éclats de pneus		

**TABEAU 8: RÉSUMÉ DES DONNÉES TECHNIQUES RELEVÉES -
PARE-ÉCLATS LÉGERS (GÉOTEXTILES)**

TYPE DE SAUTAGE	FONCÉE		BANC
N° DU SAUTAGE	FG-1	BG-9	BG-10
RELEVÉ TECHNIQUE PARE-ÉCLATS			
État	Bon	Bon	Bon
Nombre	12	9	9
Dimensions			
Longueur (m)	4,1	4,1	4,1
Largeur (m)	3,5	3,5	3,5
Chevauchement	0,9	0,9	=
Rapport de recouvrement			
Longueur	1,4	1,2	1,9
Largeur	1,7	1,6	1,3
COMPORTEMENT PARE-ÉCLATS			
Déplacements maximaux observés:			Sorti de l'écran
Vertical (m)	3,5	3,1	=
Horizontal (m)	=	=	=
Déplacements finaux observés (maximaux):			
Vertical (m)	3,3	2,3	=
Horizontal (m)	=	=	=
Vitesse maximale:			
Verticale (m/s)	=	=	=
Horizontale (m/s)	=	=	=
Classification	Gonfle Glisse	Gonfle Glisse	Gonfle Glisse
Fumées à la fin	oui	oui	oui
Projections	-	-	-
Vitesse verticale (m/s)	-	-	-

= non disponible

- non observé

**TABLEAU 8: RÉSUMÉ DES DONNÉES TECHNIQUES RELEVÉES -
PARE-ÉCLATS LÉGERS (GÉOTEXTILES)**

(suite)

TYPE DE SAUTAGE	FONCÉE		BANC	
N° DU SAUTAGE	FG-1	BG-9	BG-10	
RELEVÉ TECHNIQUE				
SAUTAGE				
Rapport collet/diamètre				
Maille:				
Fardeau (m)	31,43	31,43	31,43	
Espacement (m)	1,22	1,22	1,22	
Facteur de chargement (kg/m³)	1,22	1,22	1,22	
Patron de délais	1,11	0,96	0,85	
Direction	en V	en V	en V	
Nombre de périodes	6	5	5	
Nombre de trous	30	25	24	
Nombre de rangées	6	5	4	
Mort-terrain				
Type	-	-	-	
Épaisseur (m)	-	-	-	

Codification des numéros de sautage :

F	Foncée initiale	=	non disponible
T	Tranchée	-	non observé
B	Banc		
G	Pare-éclats de géotextile		

Note: Données géologiques non disponibles.

TABEAU 9: RÉSUMÉ DES DONNÉES TECHNIQUES RELEVÉES - SANS PARE-ÉCLATS

TYPE DE SAUTAGE	FONCÉE	BANC	
N° DU SAUTAGE	TS-7	TS-8	BS-13
COMPORTEMENT DU ROC			
Déplacements maximaux observés:			
Vertical (m)	0,3	0,3	=
Horizontal (m)	=	=	28
Déplacements finaux observés (maximaux):			
Vertical (m)	-	-	=
Horizontal (m)	=	=	28
Vitesse maximale:			
Verticale (m/s)	=	=	=
Horizontale (m/s)	=	=	=
Classification	Asphalte gonfle	Asphalte gonfle	Déplacement horizontal
Fumées à la fin	-	-	Continue
Projections	-	-	-
Vitesse verticale (m/s)	-	-	-
RELEVÉ TECHNIQUE SAUTAGE	TS-7	TS-8	BS-13
Rapport collet/diamètre			
Maille:			
Fardeau (m)	=	=	18
Espacement (m)	1,5	1,5	3,35
Facteur de chargement (kg/m³)	0,6	0,6	3,96
Patron de délais	1,23	1,41	0,4
Direction	Ligne	Ligne	Côté
Nombre de périodes	10	10	14
Nombre de trous	10	10	18
Nombre de rangées	0	0	3
Mort-terrain			
Type	Terre + asphalte	Terre + asphalte	-
Épaisseur (m)	2,9	2,77	-

Codification des numéros de sautage:

F	Foncée initiale	=	Non disponible
T	Tranchée	-	Non observé
B	Banc		
S	Sans pare-éclats		

**TABLEAU 9: RÉSUMÉ DES DONNÉES TECHNIQUES RELEVÉES -
SANS PARE-ÉCLATS**

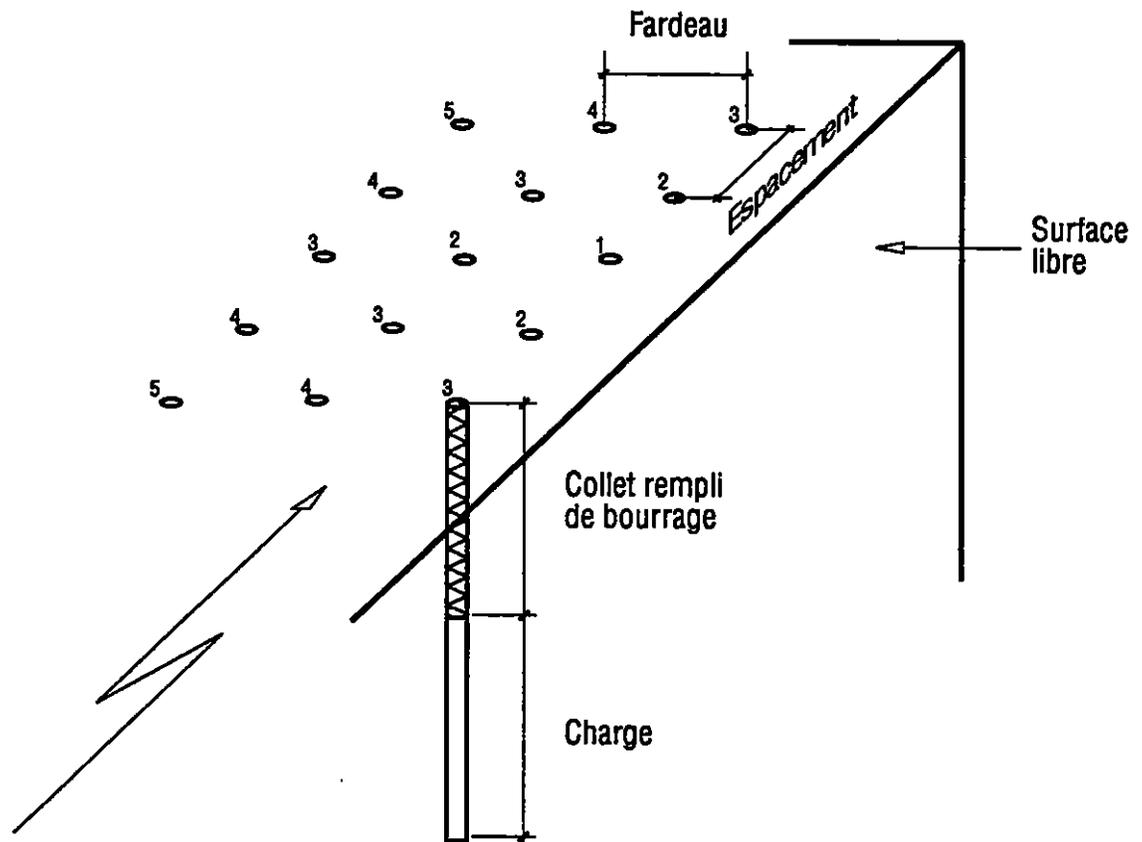
(suite)

TYPE DE SAUTAGE	FONCÉE		BANC
N° DU SAUTAGE	TS-7	TS-8	BS-13
RELEVÉ TECHNIQUE			
GÉOLOGIE			
Type	Schiste	Schiste	Calcaire Trenton
Orientation de la structure rocheuse par rapport au tir	70°	70°	-
Fissuration	Peu	Peu	Diaclase stratifiée
Dimension des blocs m ³	0,5	0,5	0,75
Dureté	2,3	2,3	Moyenne

Codification des numéros de sautage:

F	Foncée initiale	=	Non disponible
T	Tranchée	-	Non observé
B	Banc		
S	Sans pare-éclats		

FIGURE 1: DÉTAILS TECHNIQUES DU CHARGEMENT



Exemple de patron
de forage rectangulaire
(Espace différent du fardeau)

1 à 5 : Exemple de séquence de délais
détonation des trous par ordre chronologique
Les trous 1 sautent en premier
Les trous 5 sautent en dernier

FIGURE 2: TYPES DE PROJECTION

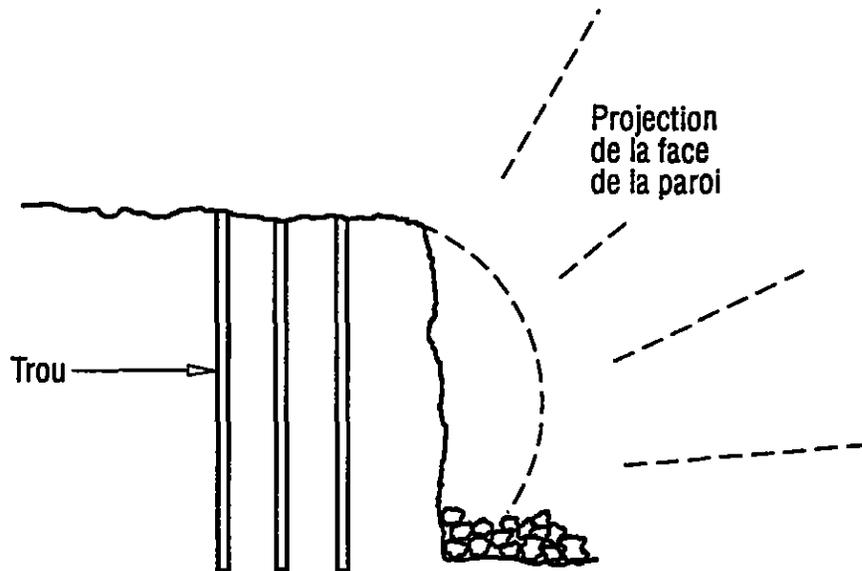
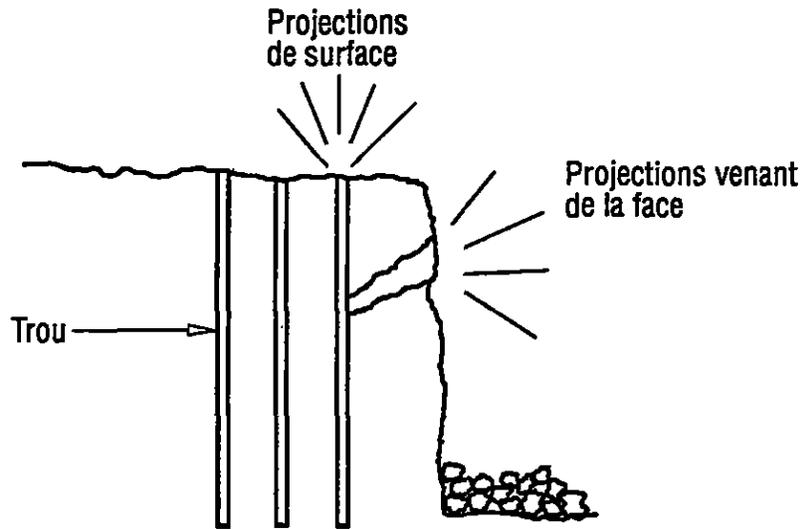
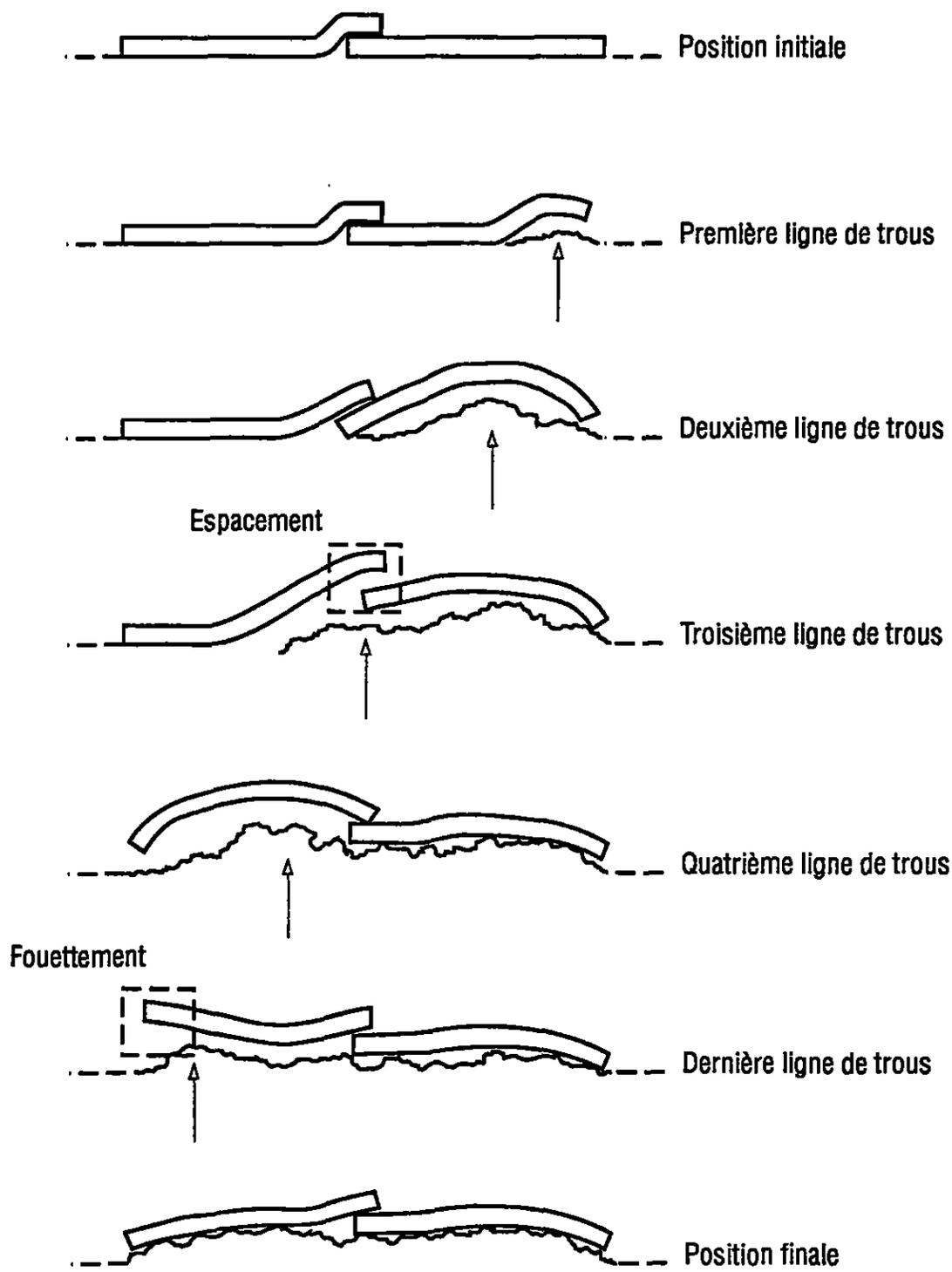


FIGURE 3: COMPORTEMENT TYPE DES MATELAS LOURDS AVEC UN CHEVAUCHEMENT



Légende: ↑ sautage d'une ligne de trous.

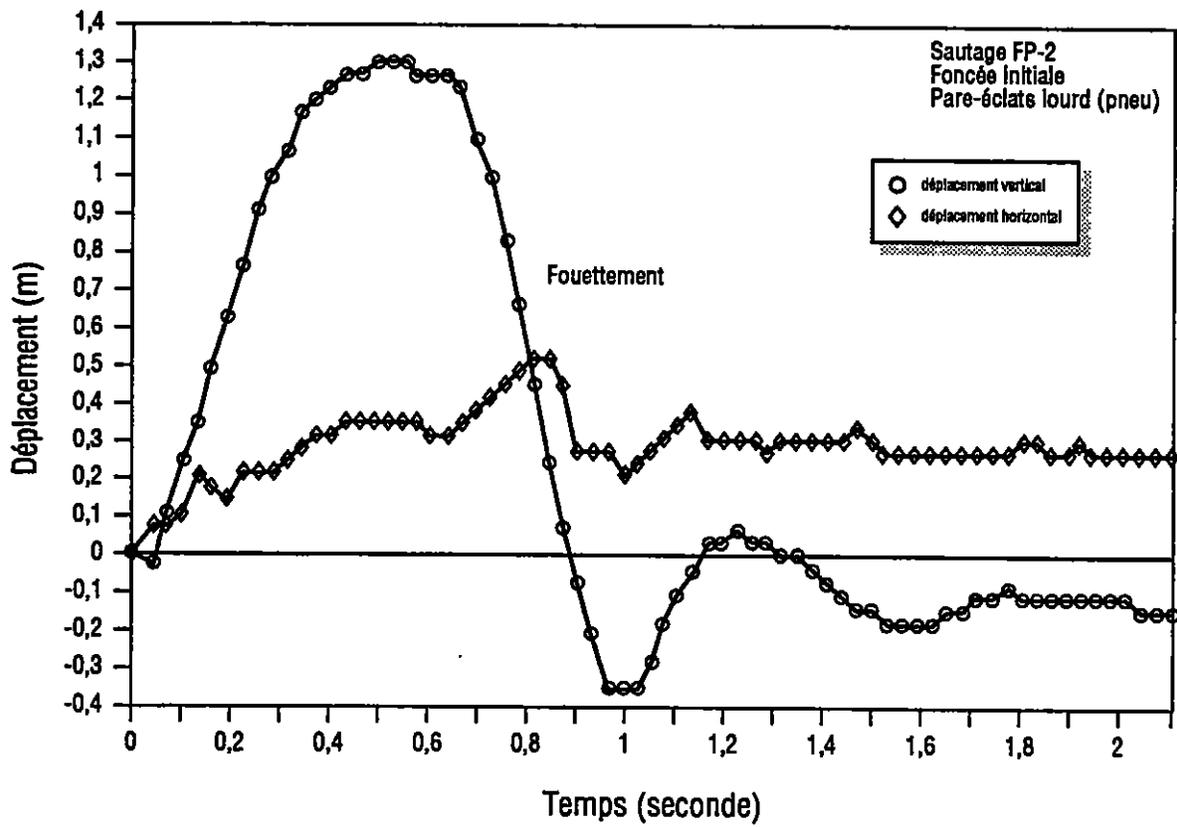
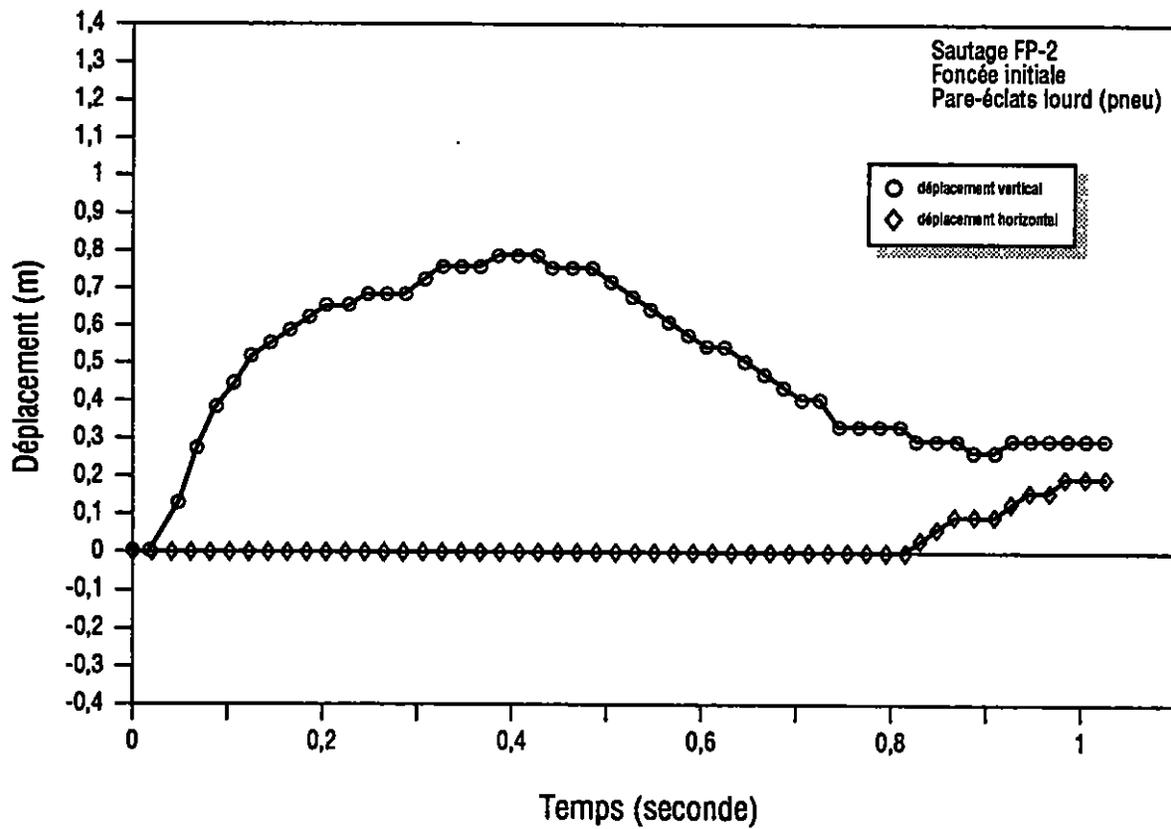
FIGURE 4: COURBES DE DÉPLACEMENT VERTICAL ET HORIZONTAL D'UN COIN

FIGURE 5: COURBES DE DÉPLACEMENT VERTICAL ET HORIZONTAL DU CENTRE

**FIGURE 6: ISOCHRONES DE LA POSITION DU PARE-ÉCLATS/
COMPORTEMENT ENVELOPPANT**

