

Journée D'étude sur les Techniques  
de Sautage en Génie Civil

Coupe de Roc en Surface

Ingénierie de Sautage

Novembre 1978

Pierre Michaud, ing.  
Directeur Régional des Ventes  
Canadian Industries Limited  
Québec, Québec.

## TABLE DES MATIERES

PAGE

1.	<u>INTRODUCTION</u> .....	1
1.1	Définitions Générales.....	1
1.2	Facteur chargement versus unités d'énergie par verge cube.....	2
1.3	Patron de Forage.....	3
1.4	Patron de Sautage.....	3
2.	<u>COUPE DE ROC</u> .....	4
2.1	Pré-clivage.....	4
2.2	Excavation de masse.....	6
2.3	Choix du patron de forage.....	6
2.4	Détermination du Patron de sautage.....	8
3.	<u>SAUTAGE EN TRANCHÉE</u> .....	8
3.1	Généralités.....	8
3.2	Patron de forage et de Sautage.....	9
3.3	Exemple de Tranchée en bordure de route.....	10

1.1 DEFINITIONS GENERALES

Le schéma no. 1 illustre en plan et en section les différents termes utilisés dans le domaine du dynamitage. Les principaux sont d'ailleurs définis ci-dessous.

- d= diamètre du trou foré
- f= fardeau: distance entre deux trous subséquents mesurés dans la direction du tir.
- e= espacement; distance entre deux trous adjacents mesurée parallèlement au front libre.
- P= profondeur forée.
- h= hauteur du banc ou de l'excavation.
- s.f= sous forage: forage additionnel qu'on effectue afin de s'assurer d'obtenir le niveau requis.
- c= collet, partie supérieure d'un trou foré qu'on ne charge pas avec des explosifs.

- front libre= face verticale vers laquelle est dirigé le dynamitage.
- bourrage= matériel avec lequel on remplit le collet du trou.
- Ce matériel peut consister de sable, de gravier ou encore de copeaux de forage. Le bourrage a pour effet de confiner la charge explosive au moment du sautage.
- charge de fond= Cette partie de la charge a pour but d'assurer un bon amorçage de la charge de montée ainsi qu'un cisaillement adéquat du plancher de l'excavation. Cette charge est normalement constituée d'un explosif puissant .
- Le détonateur est placé dans cette section du roc.

### Charge de montée

La charge de montée ou de colonne assure la fragmentation de la plus grande partie de la masse de roc et on utilise généralement pour celle-ci un explosif moins puissant que la charge de fond.

## 1.2 Facteur de chargement versus unités d'énergie par verge cube

Lorsque l'on compare deux types de chargement, ce n'est pas tant le poids d'explosifs par verge cube de roc qui est important mais plutôt

la quantité d'énergie distribuée dans ce roc. Il faut surtout penser en termes d'unités d'énergie par verge cube plutôt qu'uniquement en termes de livres par verge cube. Ainsi pour un roc donné, un facteur de chargement quelconque avec une sorte d'explosif peut être suffisant. Toutefois, si l'on emploie un explosif plus puissant, on pourra diminuer le facteur chargement tout en gardant le niveau énergétique par verge cube au même niveau. Pour ne pas m'étendre sur ce sujet tous les exemples qui suivront seront calculés par rapport à l'explosif le plus puissant sur le marché, adapté au trou de forage de 2-1/2"  $\phi$ .

### 1.3

#### PATRON DE FORAGE

Le choix judicieux d'un patron de forage est effectué en observant les règles générales suivantes:

- a) L'espacement et le fardeau ne doivent pas être plus grands que la hauteur du banc.
- b) Le sous forage est normalement égal à un tiers de la plus grande dimension du patron de forage (ceci peut varier selon le roc).
- c) Le fardeau doit être égal ou inférieur à l'espacement.

### 1.4

#### PATRON DE SAUTAGE

Les patrons de sautage sont choisis afin de nous permettre d'atteindre des buts qui sont normalement ceux qui suivent

- contrôle de la fragmentation
- contrôle du bris arrière ou du bris secondaire sur le front libre restant.
- contrôle de la direction du tir et de l'épandage du déblai; par exemple, lors de la préparation d'un patron de sautage sur papier si on relie par une ligne droite tous les trous d'une même période, la direction principale du tir est alors perpendiculaire à cette ligne ( cf. Schéma # 2)

## 2.

### COUPE DE ROC

En se référant maintenant au schéma # 3 nous allons procéder à l'excavation à flanc de coteau d'une masse rocheuse (granite) qui doit être dynamitée pour faire place à une route principale.

### 2.1

#### PRÉ-CLIVAGE

Dans plusieurs travaux où se pratique le tir de plusieurs rangées à la fois, on a recours, pour les trous du contour, à des forages très rapprochés, ou au " pré-clivage " pour mieux régler les bris hors profil et ainsi obtenir des parois plus lisses et d'autant plus sécuritaires. Avec le procédé de " pré-clivage " il s'agit de percer sur la ligne extérieure de l'excavation une rangée de trous rapprochés que l'on fait sauter avant l'excavation principale; aux tirs subséquents, le dégagement se

fait jusqu'au plan de fissure créé par ce pré-clivage. La figure # 3.1 illustre cette méthode. Les trous sont forés à 24" cc. Pour le chargement, on a recours à deux types d'explosif.

a) XACTEX

Le XACTEX se présente en tubes rigides enroulés en spirale d'une longueur de 24" et d'un diamètre extérieur de 3/4" garni de joints qui permettent de raccorder les tubes les uns aux autres en colonne continue, de la longueur désirée - 0.22 #/pied.

b) PRIMAFLEX

Le PRIMAFLEX est un cordeau détonant ayant une charge explosive de 57 #/1000' soit environ .06 # par pied. Vu sa charge explosive inférieure au XACTEX il y a lieu d'introduire deux longueurs de cordeau par trou. Le cordeau se présente en longueur de 100 mètres et peut être coupé à la longueur désirée, soit la profondeur du trou.

Pour les deux produits un collet de 3 pieds est généralement gardé et un bourrage adéquat tel que démontré à la figure 3.1 est nécessaire pour ainsi confiner les gaz. L'initiation se fait généralement par du REINFORCED PRIMACORD .

Vu la profondeur et la largeur de coupe il est sage de séparer les dynamitages à effectuer en deux bancs, soit de 30' chacun et d'excaver chaque banc en 3 sautages distincts. Ces étapes à suivre ont pour but principal de:

- 1- Limiter les déviations probables de la foreuse  $\frac{3}{4}$  et ainsi obtenir un meilleur rendement vis à vis le pré-clivage.
- 2- Eviter le refoulement par un trop grand nombre de rangée et ainsi faciliter le travail de l'explosif vers une face libre.

## 2.3

CHOIX DU PATRON DE FORAGE

Dans le granite on peut débiter d'après l'expérience antérieure en choisissant un facteur chargement conservateur de 1.3 lb par v.c.

Les données suivantes sont également connues au départ:

Diamètre des trous : 2-1/2"

Hauteur de banc : 30' = H

Sous forage : 3' = S.F

Profondeur des trous : 33' = P

Collet :  $\pm$  5' = C

Hauteur chargée : 33 - 5 = 28 pieds

A partir de ces données, on peut alors déterminer l'ordre de grandeur du patron de forage en se servant de la formule suivante:



$$F \times E = 27 \frac{W}{H \times FC}$$

ou  $F$  = fardeau en pieds

$E$  = espacement en pieds

$W$  = poids d'explosifs en lbs

$H$  =  $H$  = hauteur du banc en pieds

$FC$  = facteur chargement en lb/v.c.

Seule la charge  $W$  n'est pas connue et se calcule comme suit:

Charge de fond : POWERFRAC 75, 2" x 16"

Charge de montée: CILGEL 70%, 2" x 16"

Généralement, on distribue de la façon suivante la charge totale d'un trou

Charge de fond : 1/3

Charge de montée : 2/3

Dans notre cas, nous savons que la hauteur chargée est de 28 pieds et qu'une cartouche mesure 16 pouces, ceci nous amène à calculer les valeurs suivantes:

	<u>Charge de Fond</u>	<u>Charge de Montée</u>
Hauteur	28' x 1/3 = 9.3	28' x 2/3 = 18.7'
Nbr. de cart.	7 POWERFRAC	14 CILGEL
Poids de la charge	7 x 25 = 17.5 lb	14 x 2 = 28 lb

Nous avons donc un total de 45.5 livres d'explosif par trou.

Il reste donc qu'à calculer d'après la formule déjà établie le " $F \times E$ "

$$\begin{aligned}
 F \times E &= \frac{27 \times W}{H \times FC} \\
 &= \frac{27 \times 45.5}{30 \times 13} \\
 &= 31.5
 \end{aligned}$$

Donc nous pouvons opter vers un patron rectangulaire

$$\text{soit } F \times E = 5' \times 6'$$

Le sous forage du premier banc ( 3 pieds) servira de contrôle lors du forage du deuxième banc c.à.d. en se basant sur le niveau inférieur réel obtenu lors des dynamitages on peut facilement ajuster le sous forage du deuxième banc compte tenu des résultats antérieurs car l'obtention du niveau requis au deuxième palier est très important.

Le contrôle du forage des sautages # 3 et # 6 Fig. # 3 devra être effectué de façon à ne pas atteindre en aucun temps une distance de moins de 2' mesurée horizontalement entre le trou foré et la ligne de pré-clivage ( fig. # 4).

2.4

#### DÉTERMINATION DU PATRON DE SAUTAGE

Suivant le schéma # 2 on peut alors choisir le patron de sautage qui conviendra le mieux au besoin immédiat.

3.

#### SAUTAGES EN TRANCHÉES

3.1

##### Généralités

Le sautage de tranchées est très fréquent

puisqu'il sert à excaver des ouvertures pour l'installation de pipelines, de tuyaux d'égoût et d'aqueduc. Une géométrie défavorable est rencontrée dans la plupart des cas puisque la profondeur de l'excavation est généralement égale ou supérieure à la largeur. Une telle géométrie nécessite alors l'utilisation de facteurs de chargement élevés et ce dépendant de la profondeur et la largeur de tranchée à dynamiter .

### 3.2

#### PATRON DE FORAGE ET DE SAUTAGE

Le diagramme no. 5 nous montre trois patrons de forage et de sautage pour différentes tranchées. Au diagramme 5 A. on a une tranchée de moins de trois pieds de largeur et dans ce cas, on ne fore qu'un seul trou sur la ligne centrale de l'excavation et on utilise une période différente pour chaque trou.

Pour une tranchée de quatre à six pieds de largeur on suggère de forer deux trous de front tel que montré au diagramme no. 5 B. Le patron de délai consiste alors soit à utiliser une période par rangée soit à monter une période entre les rangées tel qu'illustré au diagramme. En sautant une période on obtient généralement un meilleur dégagement du déblai. Quand on rencontre un roc très dur ou des conditions géométriques défavorables

on ajoute un trou au patron précédent, ce qui donne donc un patron appelé " dice five " tel que montré au diagramme 5 C. Le patron est alors tel qu'illustré ou bien en " V " fermé. Pour des tranchées ayant de sept à onze pieds de largeur, on suggère de forer trois trous de front.

Enfin, pour des tranchées ayant une largeur de onze à vingt pieds on doit utiliser quatre ou cinq trous de front selon la dureté du roc rencontré.

## 3.3

TRANCHEES EN BORDURE DE ROUTE

Pour notre exemple ( tranchées en bordure de route) et afin de déterminer le fardeau et les patrons de forage et de sautage, nous avons les données suivantes

ROC	GRANITE (très dur)
Largeur minimum	10'
Profondeur à excaver	10'
Profondeur forée	profondeur à excaver plus sur forage = $10' + 3' = 13'$
Diamètre des trous	2-1/2"
Facteur chargement	3lb/v.c.
Collet	56' (contrôle de projection)
Hauteur chargée	$13' - 5' = 8'$
Charge par trou	4 POWERFRAC 75, 2"x16" (10 #)

Comme la tranchée a plus de sept pieds de largeur, on optera pour le forage de trois trous par rangée

avec un espacement de cinq pieds. Ceci implique que nous aurons alors une charge de ~~30~~ 45 livres d'explosifs par zone d'influence. Nous pouvons maintenant calculer la valeur du fardeau

$$\frac{F}{L \times P \times F.C.} = \frac{27 \times W}{10' \times 10' \times 3 \text{ lb/v.c.}} = 2.7'$$

Nous débuterons donc avec un fardeau de 3 pieds et le facteur de chargement réel sera alors

$$V = \frac{F \times L \times P}{27} = \frac{3 \times 10 \times 10}{27} = 11.1 \text{ v.c. par zone de trois trous}$$

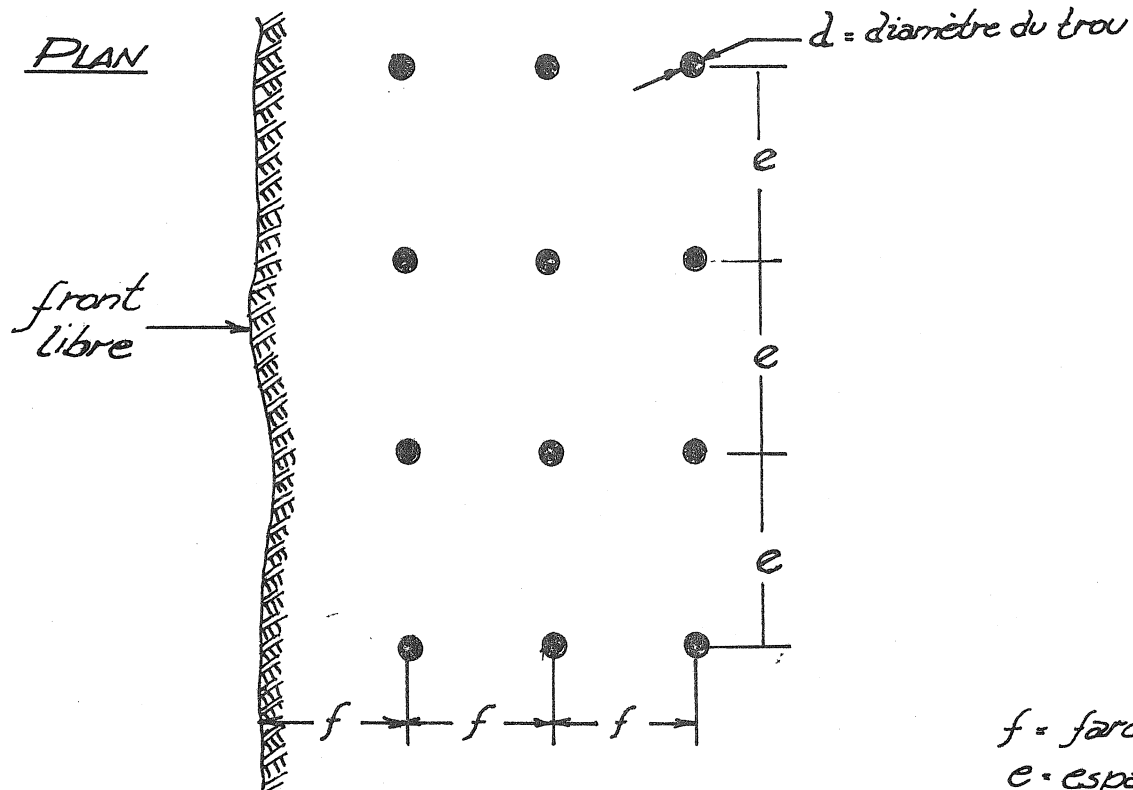
$$F.C. = \frac{W}{V} = \frac{30.0 \text{ lb}}{11.1 \text{ v.c.}} = 2.7 \text{ lb/v.c.}$$

#### REMARQUE

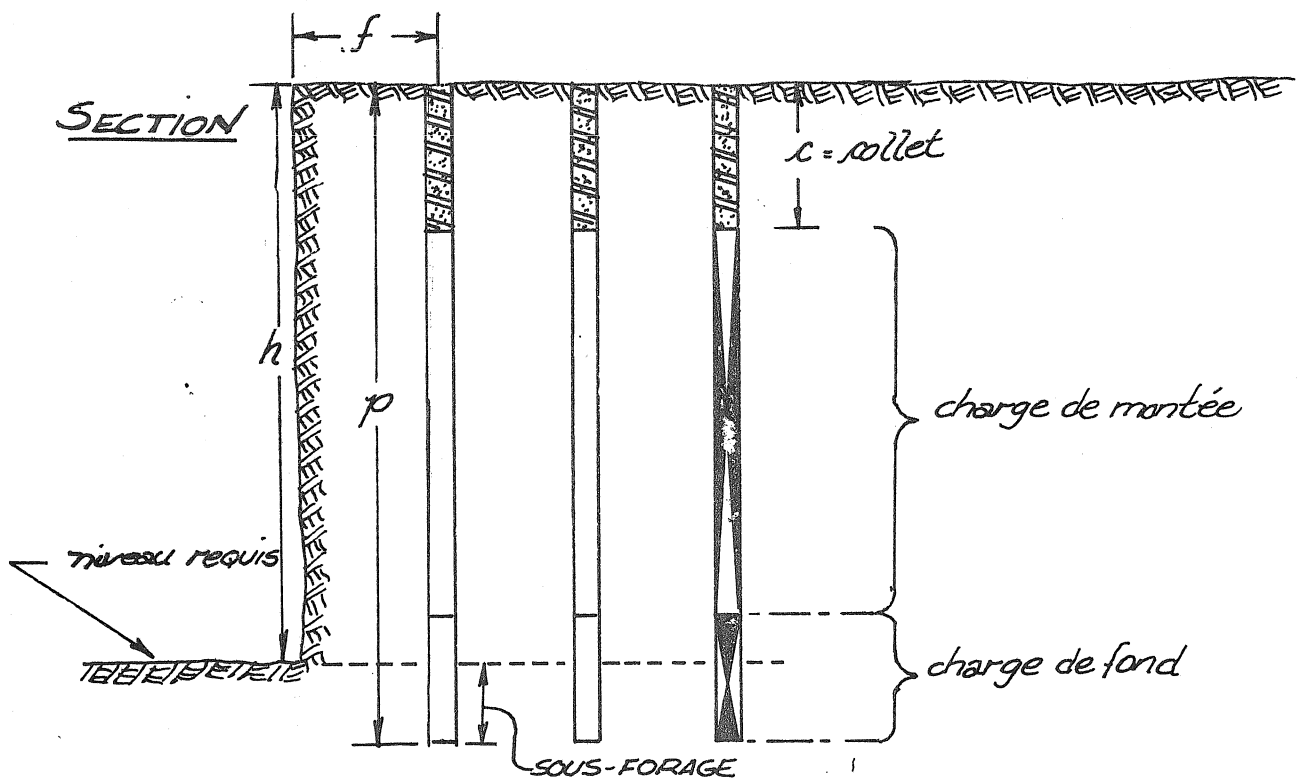
Pour obtenir le niveau requis d'excavation que ce soit pour une excavation de masse ou de tranchée on peut s'imaginer au pire que le fond d'un trou chargé casse le roc en forme de cône inversé ayant une arrête faisant 45° avec la verticale Fig. 6. Ainsi on pourra éliminer les reprises en calculant le sous forage nécessaire pour le fardeau et espacement choisis.

# DIAGRAMME #1

## Definition des termes



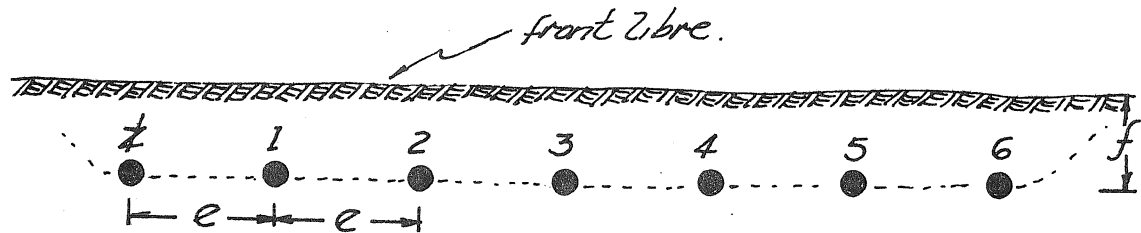
$f = \text{fardeau}$   
 $e = \text{espacement}$   
 $h = \text{hauteur du front}$   
 $p = \text{profondeur du trou}$



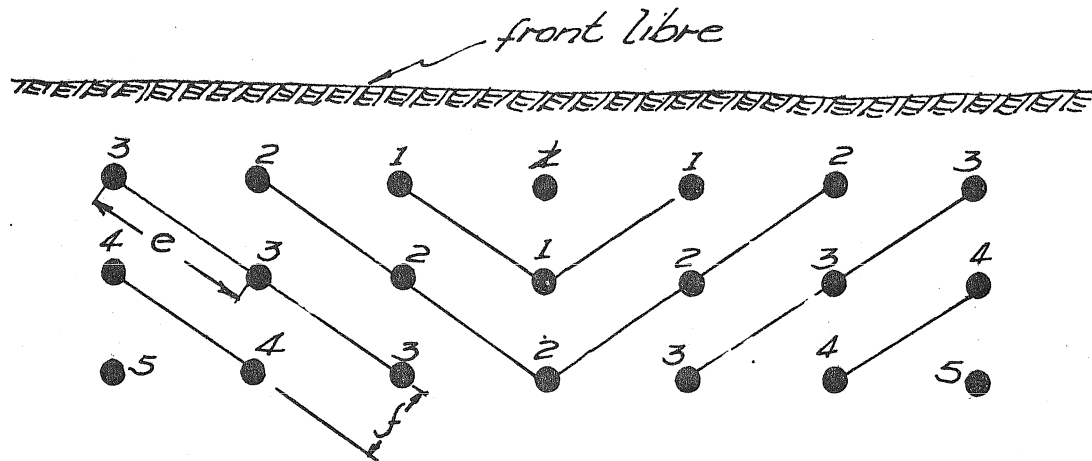
## DIAGRAMME #2

### PATRON DE SAUTAGE (banc)

#### A - SAUTAGE DROIT (une seule rangée)



#### B - SAUTAGE EN "V" SERRE :



#### C - SAUTAGE EN "V" OUVERT

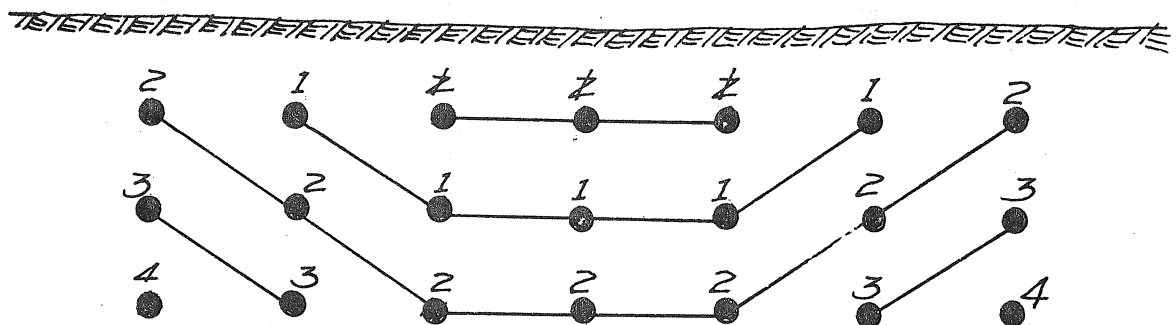
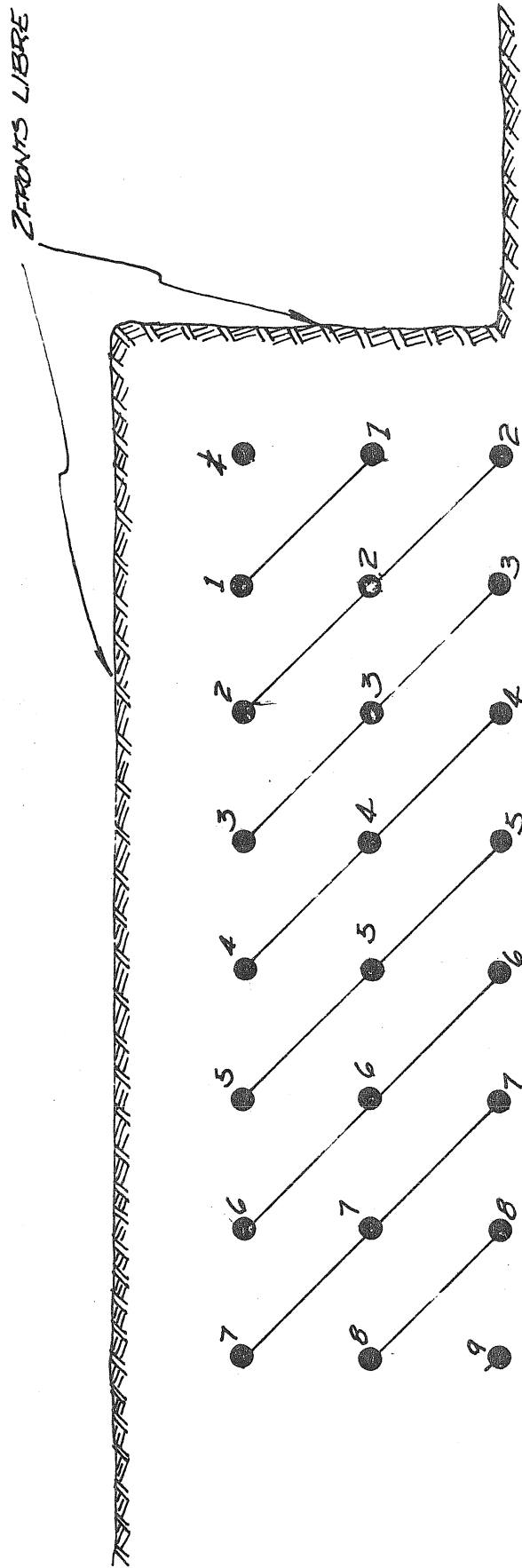


DIAGRAMME # 2 - SUITE

PATRON DE SAUTAGE (banc)

D : SAUTAGE EN ECHELON EN COIN





SCHEMA #3  
COUPE TYPIQUE

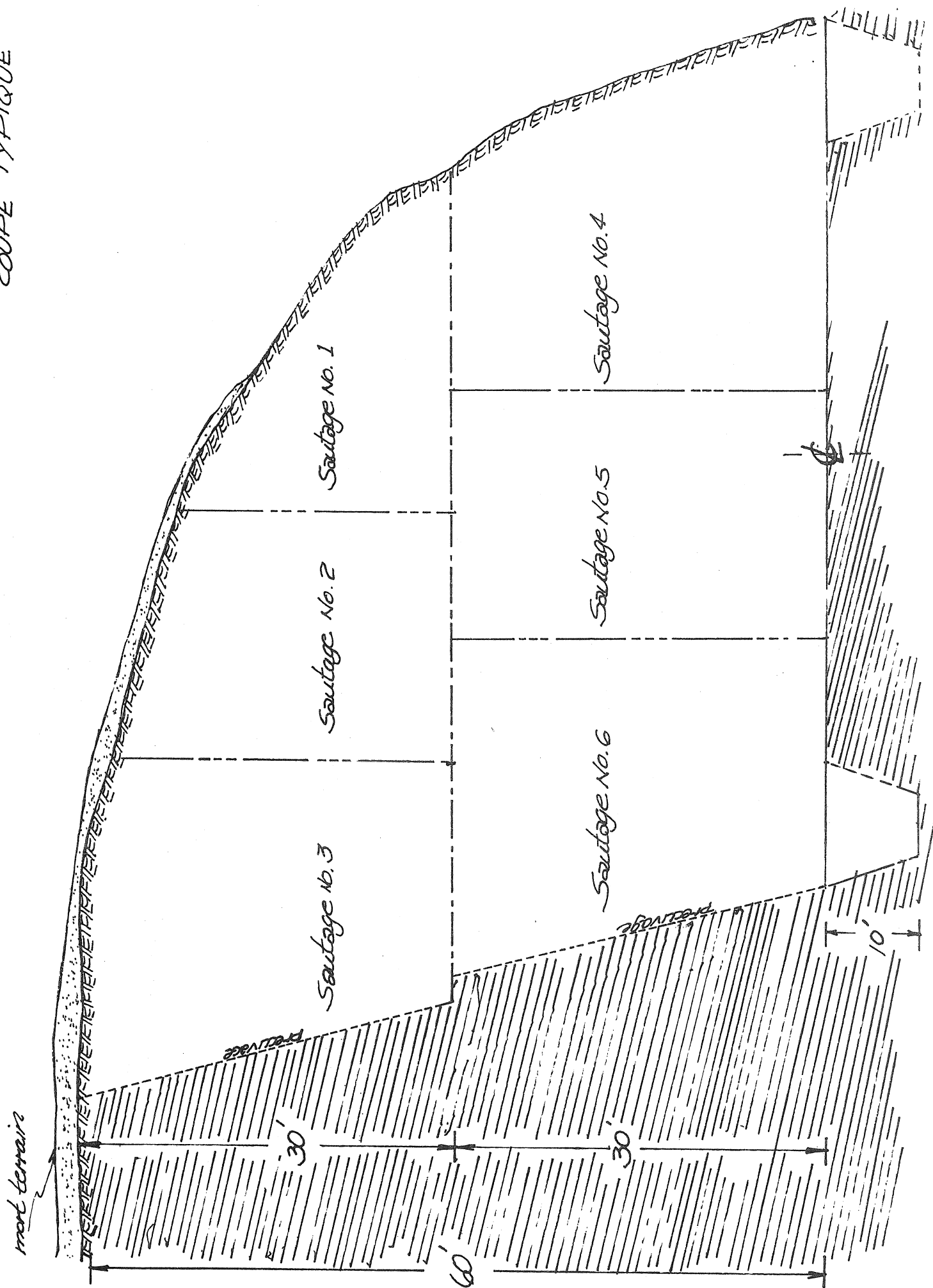
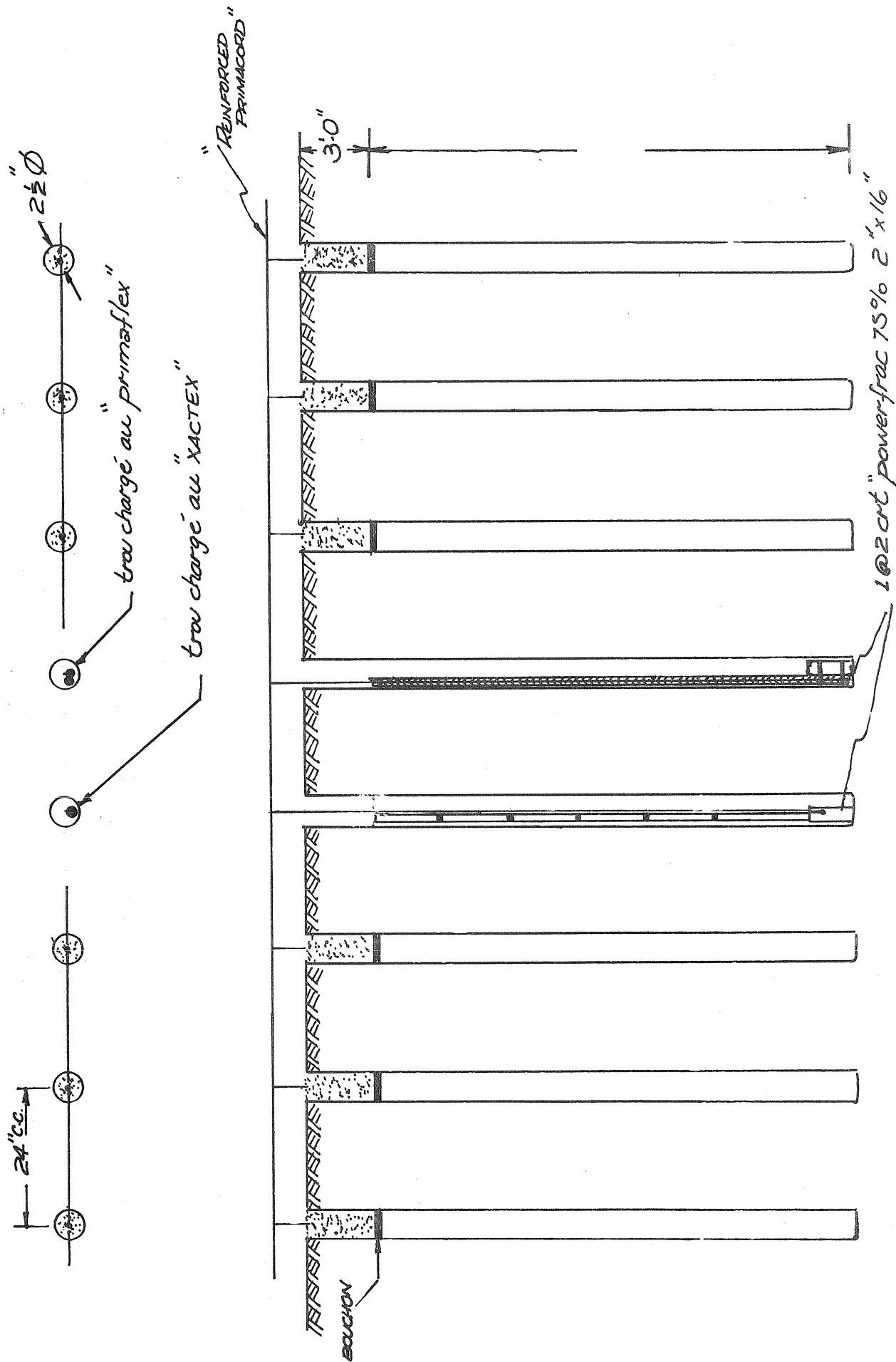


FIGURE 3.1

PRÉ-CLIVAGE



COUPE TYPIQUE - PLAN DE FORAGE - DYNAMITAGE #3

FIG # 4

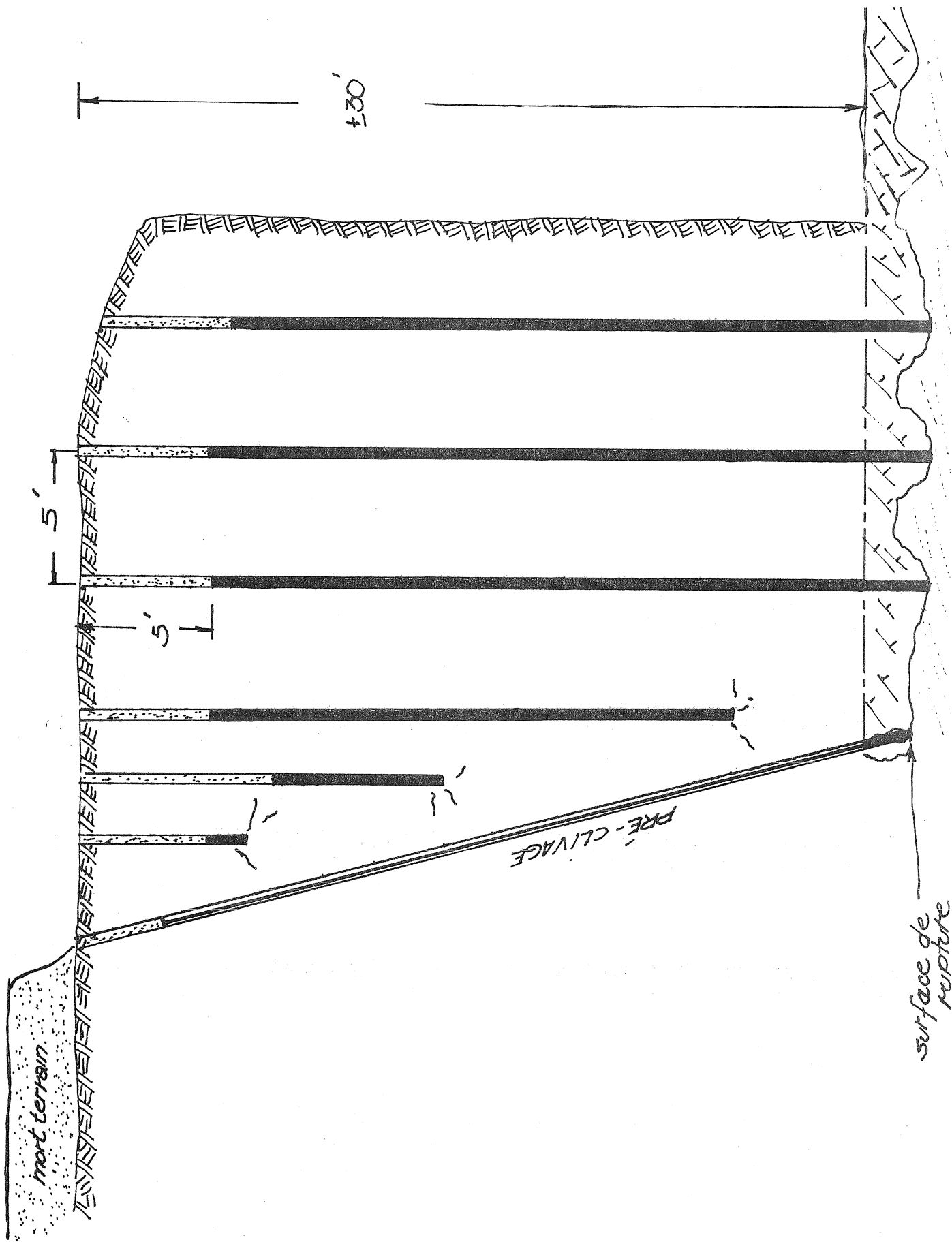
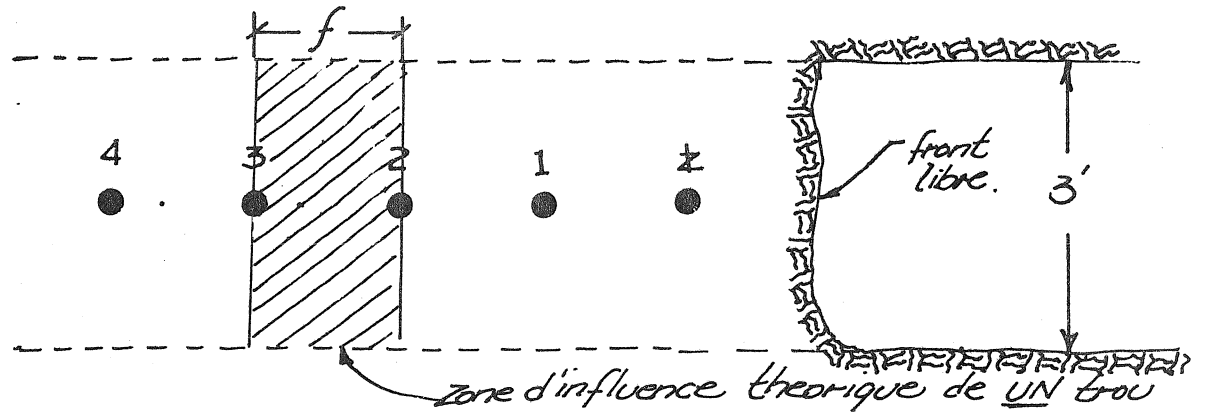


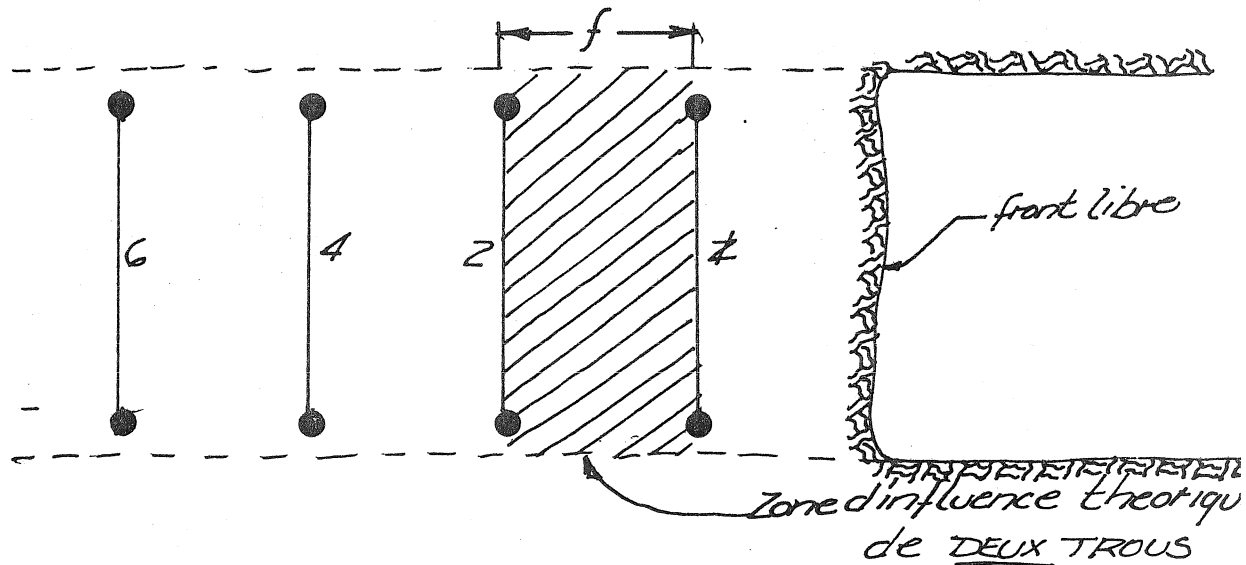
DIAGRAMME No. 5

PATRON DE SAUTAGE & DE DYNAMITAGE EN TRANCHÉE

A. - TRANCHÉES DE 3 pieds de LARGEUR



B. - TRANCHÉES DE 4 @ 6' de largeur



C. PATRON MODIFIÉ "DICE FIVE"

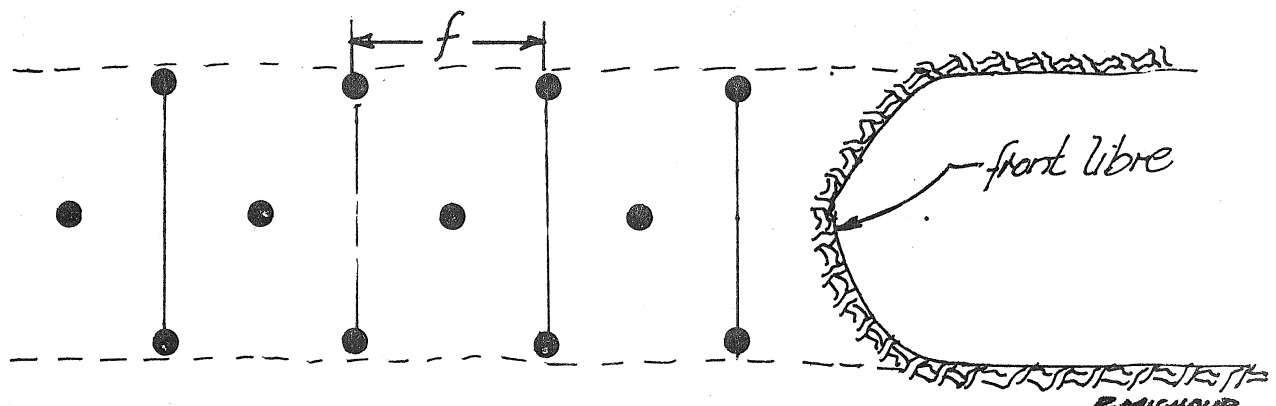
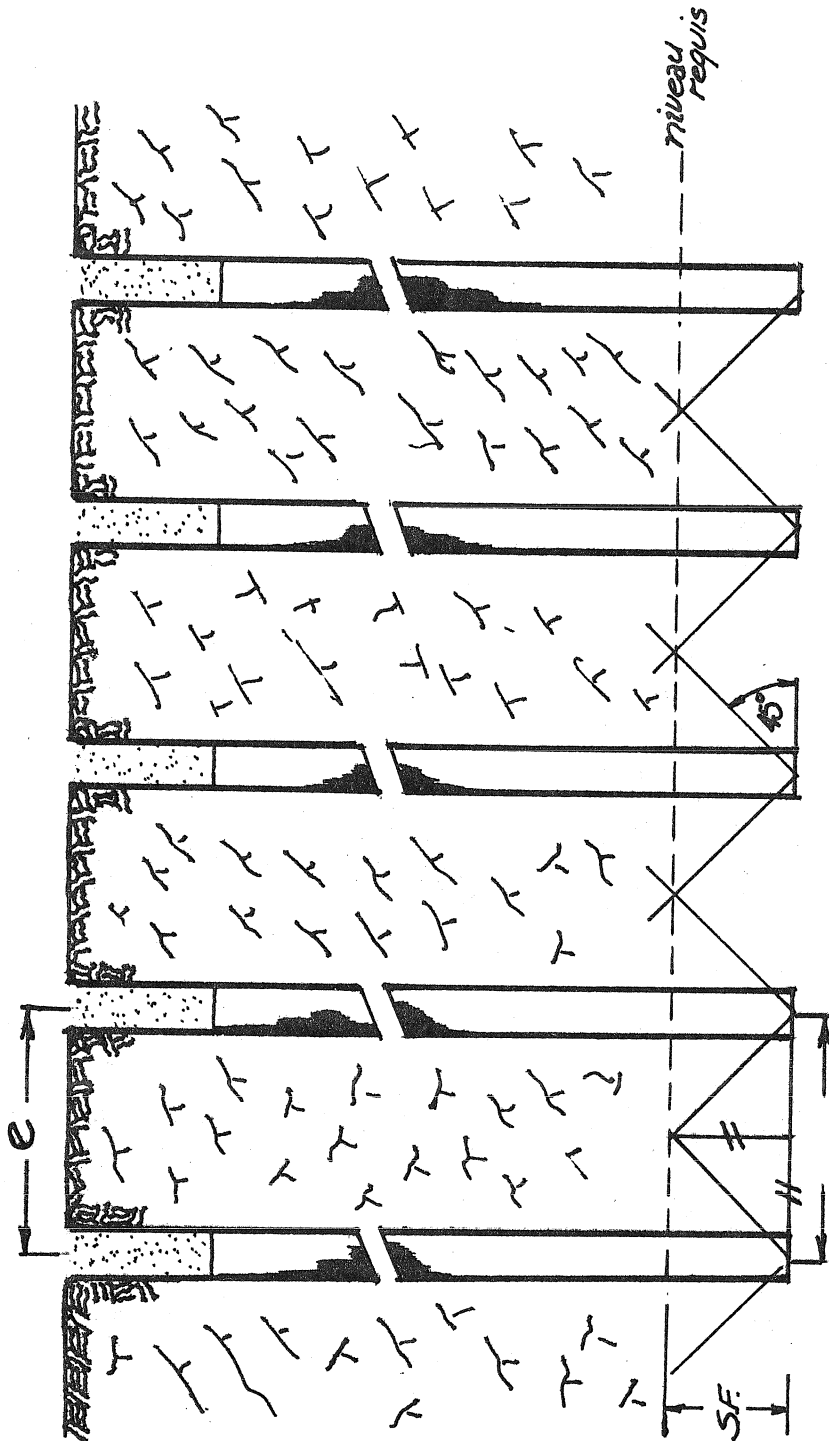


FIGURE N°6

CALCUL DU SOUS-FORAGE (S.F.)  
(ROCK HOMOGÈNE DÉPOURVU DE LITS HORIZONTAUX)



S.F. = SOUS FORAGE  
c = ESPACEMENT  
f = FAIRDEAU

si  $c \geq f$

$$S.F. = \frac{1}{2} c$$

Exemple:  $c = 6'$   
 $f = 5'$

$$\therefore S.F. = \frac{1}{2} c = \frac{1}{2} \times 6' = 3'$$