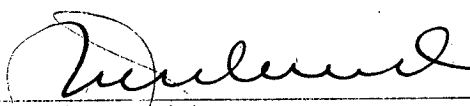


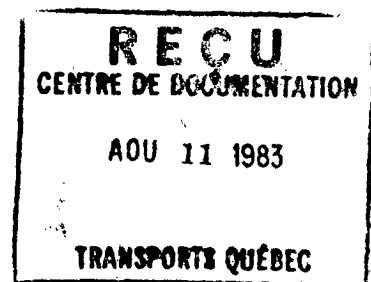


Direction générale GENIE		N° de classement RTQ-83-04	
Titre du rapport La production d'enrochements à la carrière Thibault à Ruisseau-Castor			
Auteur du rapport Jean-Marie Mathieu		Rapport d'étape ☐ An Mois Jour Rapport final ☐	
But de l'étude ou de la recherche Optimalisation de la production d'enrochements dans une carrière		N° de dossier N° du contrat 	
Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) Service des Sols et Chaussées Direction Expertises et Normes		Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Service des Sols et Chaussées Direction Expertises et Normes	
Renseignements supplémentaires Ce rapport est une étude de cas de l'application des règles de l'art en matière de production d'enrochements dans une carrière. Il s'agit d'une première étape dans la cueillette de données visant à optimiser la production d'enrochements.			
Résumé du rapport Ce rapport traite d'un projet routier le long de la route 132 entre St-Joachim de Tourelle et Ruisseau-Castor. Dans un premier temps, la section-type du remblai rocheux est décrite ainsi que les matériaux (quantité, pourcentage et prix). Dans un deuxième temps, les sources de matériaux sont discutées, à savoir quelles sont les carrières en exploitation ou disponibles dans la région, pourquoi la carrière Thibault a été choisie et comment elle a été exploitée. L'intérêt du projet et de l'article réside dans l'exploitation de la carrière et la technique de production des enrochements de 1 tonne à 2 tonnes. Les règles de l'art en matière d'utilisation d'explosifs pour la production d'enrochements sont exposées ainsi que les techniques utilisées sur le terrain. L'évolution des techniques de sautage est montrée. Ce rapport s'adresse à ceux qui oeuvrent dans le domaine routier et dans l'exploitation des carrières, autant le concepteur que l'entrepreneur.			
Mots-clés Route, carrière, méthode d'exploitation, enrochements explosifs.		☒ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite  Signature du directeur général	
		Date 83 07 28	

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24^e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1

PRODUCTION D'ENROCHEMENTS

JEAN-MARIE MATHIEU



Ministère des Transports
Direction Expertises et Normes
Service des Sols et Chaussées

Juillet 1983

1. REAMENAGEMENT DE LA ROUTE 132

Dans la péninsule gaspésienne, sur une distance de 100 kilomètres entre Ste-Anne-des-Monts et Grande-Vallée, la route 132 est désignée sous l'appellation de «route des quais». Ce nom lui vient du fait qu'elle est construite sur des caissons de bois lesquels longent le pied des falaises. Ces caissons, construits il y a quarante ans, ont bien résisté aux intempéries, mais les matériaux de ballast n'ont pas aussi bien supporté les vagues et l'évidement des caissons, dans certaines zones, ont rendu la route hasardeuse.

C'est dans le cadre du programme de réfection de la route 132 qu'il fut décidé de réaménager le tronçon situé entre les municipalités de St-Joachim de Tourelle et de La Martre. La carte géographique de la figure 1 montre la localisation des quais, des sources de matériaux disponibles dans ce secteur et du projet en question. Ce tronçon de route de 3,9 kilomètres est construit sur un remblai-digue à talus en enrochements au coût de 3 300 000\$ (en dollars de 1981) soit 850 000.00\$ par kilomètre.

2. DESCRIPTION DU PROFIL EN TRAVERS

Le tracé de la nouvelle route est soumis aux mêmes contraintes que l'ancienne; il doit épouser le contour du pied des falaises sans quoi toute déviation dans les falaises implique des quantités considérables de terrassement tandis que toute déviation dans le mer exige des pierres de protection de poids supérieur.

Pour la construction du remblai-digue à talus en enrochements, il fut décidé que tous les éléments composant le remblai proviendraient de la carrière de pierre de manière à en utiliser tous les produits. Le profil en travers de la figure 2 montre quels sont les divers éléments du remblai et quel est leur agencement. Il convient de noter la gradation des matériaux de l'intérieur du remblai vers l'extérieur et cela tant du point de vue qualité que du point de vue granulométrie. La première étape de construction consiste à enlever le caisson existant et à mettre en place une couche de matériaux schisteux «Y». Ce matériau est extrait des lits de schiste qui chapeautent la carrière. Dans une deuxième étape, le remblai est complété par un enrochement de grès de 0 à 600 millimètres. La protection contre la mer est obtenue par la mise en place d'une carapace de pierres de grès de 1 tonne à 3,5 tonnes. La détermination du poids des enrochements dépend de la pente de la plage devant l'ouvrage et de la profondeur d'eau existant au pied de celui-ci. Le tableau I montre quelle est la répartition des enrochements en fonction des différents chaînages du projet. Il ressort de l'examen de ce tableau que la majorité des enrochements ont un poids de 1 tonne alors que le pourcentage restant varie entre 2 et 3,5 tonnes. La quantité totale de pierres d'enrochements nécessaire est de 167,000 tonnes.

Le tableau II a été réalisé dans le but de donner une image plus complète du projet. Il contient des extraits du bordereau des prix et des quantités de certains matériaux utilisés pour les coupes de roc et la protection contre la mer.

3. SOURCES D'ENROCHEMENTS

La recherche des sources d'enrochements disponibles pour l'ensemble des secteurs des quais montre l'absence de matériaux d'enrochements près de la côte. Seule, la formation de Tourelle affleure à la côte et est propice à la production d'enrochements. Les autres endroits identifiés sont les Monts McGerrigle, les Mines de cuivre de Gaspé, la formation de Val-Brillant (Rivière-Madeleine). La carte de la figure 1 réfère à ces endroits.

3.1 LES MONTS MCGERRIGLE

Localisés à plus de 25 kilomètres à l'intérieur des terres, les roches ignées intrusives des Monts McGerrigle offrent des possibilités intéressantes, mais l'exploitation d'une carrière dans cette région est assujettie à la construction d'un chemin d'accès.

3.2 LA FORMATION DE VAL-BRILLANT

La formation de Val-Brillant est composée d'une bande de quartzite qui a déjà été exploitée comme source d'enrochements pour la construction du brise-lames de Grande-Vallée. La carrière de la Ferme et la carrière Madeleine peuvent produire des blocs de 1 à 5 tonnes.

3.3 LES MINES DE CUIVRE DE GASPE

Par contre, le long de la route 198, on trouve un site exceptionnel pour la production de pierres; les stériles des Mines de cuivre de Gaspé avec leurs roches cornéennes. La pierre extraite est de qualité exceptionnelle (densité de 2.85) et les frais de production sont réduits au minimum, i.e. seulement ceux occasionnés par le tri de la pierre. Toutefois, un problème majeur existe et il est relié à la logistique du transport des blocs. En effet, comment assurer le transport de ces quantités de pierre sur une distance de 42 kilomètres lorsque la dénivellation du terrain est de 600 mètres. Il ne faut pas oublier également que le transport affecte le territoire de six municipalités.

3.4 LA FORMATION DE TOURELLE

La lithologie de la formation de Tourelle est décrite ainsi: «Grauwacke, un peu de conglomérat à petits cailloux, de schiste argileux noir, rouge et vert et un peu de calcaire rubanné et de siltstone calcareux» (1). Les lits de grauwacke (grès impur et verdâtre) sont massifs et regroupés en quelques bandes importantes, lesquelles sont entrecoupées de schiste. Actuellement, ces bandes sont exploitées dans deux carrières, soit la carrière Lévesque et la carrière Thibault à Ruisseau-Castor. Même s'il existe beaucoup de points de similitude entre ces deux carrières, la carrière Thibault offre à la fois une blocométrie et des quantités supérieures.

4. CARRIERE THIBAUT

La carrière Thibault est une exploitation située dans la falaise et elle fait plus de 20 mètres de dénivellation avec la route existante. L'avantage que ce site offre par rapport aux autres est qu'il est situé à même l'emprise

de la route ce qui représente une diminution considérable des frais de transport. Le profil en travers de la figure 3 montre la topographie des lieux, la localisation du plancher de la carrière et celle de la route 132.

Comme le grès est une pierre de nature sédimentaire très souvent associée avec les schistes, une attention particulière doit être apportée à la sélection des zones exploitables. Ceci explique pourquoi beaucoup d'information a été amassée avant de finaliser notre choix sur cette carrière. Une étude géologique détaillée fut entreprise. Les données furent, par la suite, corroborées par une campagne de forage destinée à vérifier la qualité du massif et les quantités disponibles. Les blocs laissés sur le plancher de la carrière, les blocs utilisés comme ballast de quai, les faces d'exploitation de la carrière, les affleurements de la falaise et ceux de l'estran furent également examinés. L'évaluation de la compétence du massif rocheux fut réalisée en utilisant la classification de Deere. Selon le pourcentage de récupération des carottes de longueur supérieure à 100 millimètres, la qualité du massif est déterminée. Dans le cas présent, le calcul de l'indice de carottage RQD (Rock Quality Designation) fut de 72 et 78% pour les forages 1 et 2 tel que le montrent les courbes de fracturation de la figure 4. Le tableau III montre les résultats des analyses qualitatives des pierres d'enrochements en provenance des carrières Thibault et Lévesque. Les résultats des analyses de la pierre des Mines de cuivre de Gaspé inclus dans ce tableau permettent de comparer la qualité de cette pierre par rapport à celle de Ruisseau-Castor.

La synthèse de l'information recueillie permet de tracer le portrait suivant de la carrière Thibault: le massif est entouré de schiste dans la partie supérieure; les lits ont une direction parallèle à la route et un pendage de 45° vers la falaise; le potentiel estimé est de 1,500,000 tonnes de pierre de qualité acceptable dans une région dépourvue de matériaux d'enrochements; les séquences de grès exemptes de schiste peuvent fournir des blocs de 1 tonne jusqu'à 5 tonnes tandis que la blocométrie définie par les plans de fracturation est surtout favorable à l'extraction de blocs de 1 tonne à 2 tonnes.

5. PRINCIPES DE PRODUCTION D'ENROCHEMENTS

Voici les règles de l'art concernant la production de pierres d'enrochements telles qu'elles ont été énoncées lors de la 4ième session sur les techniques de sautage par Denis Dauphinais (2).

- la face d'exploitation est à la fois haute (10 à 15 mètres) et longue;
- le rapport FARDEAU: ESPACEMENT est compris entre 1,8 et 2,5;
- le facteur de chargement est de l'ordre de 0,25 kg/m³;
- la colonne de chargement est conforme à celle montrée à la figure 5;
- une seule rangée de trous est sautée et la mise à feu est instantanée.

L'application de ces règles à la carrière Thibault donne, pour une hauteur de banc de 12 mètres et un fardeau de 2,5 mètres, le plan de tir de la figure 6. La charge de fond est calculée suffisamment puissante (2,57 kg/m x 1,3F) pour permettre le déplacement du pied du banc alors que la charge de montée est réduite à la quantité requise (0,49 kg/m²) pour cisailer le roc entre les trous.

CH 571
Les patrons de sautage des figures 7, 8, 9 et 10 montrent ceux qui ont été proposés et utilisés au cours des travaux. Le mode de chargement de la figure 7 a été proposé avant le début des travaux. Il est conçu en fonction d'un facteur de chargement (F.C.) de $0,07 \text{ kg/m}^3$ pour un patron de forage de $3,35 \text{ m} \times 3,35 \text{ m}$. Sur le terrain, ce premier patron n'a pas été utilisé et a été modifié immédiatement. Les modifications sont présentées à la figure 8. Le chargement est identique à celui de la figure 7, mais en réduisant la maille de forage de $3,35 \text{ m} \times 3,35 \text{ m}$ à $2,13 \text{ m} \times 2,13 \text{ m}$, le taux de chargement passe de $0,07 \text{ kg/m}^3$ à $0,18 \text{ kg/m}^3$. A quelques occasions, le patron de la figure 9 a été utilisé pour maintenir le rythme d'avancement des travaux de remblayage. En comparant ce patron à celui de la figure 8, on constate que la charge de fond ainsi que la charge de montée sont doublées. Il en résulte un facteur de chargement qui est le double de celui de la figure 8. Puisqu'il s'agit d'un patron de production, l'extraction d'enrochements est faible.

Tout au long des travaux, cette recherche d'un patron permettant l'obtention d'un maximum d'enrochements s'est poursuivie. Le dernier patron utilisé fut celui de la figure 10. Il se compare avantageusement avec le patron théorique de la figure 6. Le tableau IV reprend d'ailleurs les points de comparaison existant entre ces patrons. Il est à noter que les différences se situent au niveau de la répartition des charges utilisées; la charge de fond de la figure 10 est de 28% inférieure à la charge théorique alors que la charge de montée est 23% supérieure à celle théorique. Ceci aurait pu occasionner des problèmes puisque lors de sautages, il fut noté que le roc au pied du banc se déplaçait très peu. Il est toujours plus avantageux d'utiliser une charge de fond adéquate.

Une autre façon de visualiser l'évolution des sautages consiste à examiner les facteurs de chargement (F.C.) utilisés. A l'aide de données recueillies sur le terrain et celles fournies par l'entrepreneur, le graphique de la figure 11 fut réalisé. Pour chacun des tirs, le taux de consommation d'explosifs est indiqué en ordonnée. De plus, en fonction de chacun des mois d'opération, le facteur de chargement moyen fut déterminé. Ainsi, de mois en mois, le facteur de chargement moyen diminue passant de $0,33 \text{ kg/m}^3$ à $0,20 \text{ kg/m}^3$. Les pics du graphique représentent des sautages de production réalisés dans des zones peu propices à l'enrochement ou encore des tirs réalisés pour maintenir le rythme des travaux.

Ces modifications apportées au patron de sautage, au cours des travaux d'exploitation, avaient pour but immédiat d'augmenter le taux de récupération de blocs d'enrochements. Au début des travaux, les patrons employés ont permis d'obtenir une récupération de blocs pouvant atteindre 20% et un certain nombre de ces blocs avaient des poids supérieurs à ceux demandés. L'adoption du patron de la figure 10 a augmenté le nombre d'enrochements et la récupération dans les zones propices a atteint 30 à 40%. En calculant la quantité de blocs extraits de la carrière par rapport à la qualité totale de roc, le taux de récupération moyen pour l'exploitation est de l'ordre de 30%. Ce taux est supérieur à celui obtenu dans des exploitations identiques alors que le taux est de l'ordre de 20%. Cela s'explique par la grosseur de blocs requis pour le projet dont 50% avaient un poids de une tonne (le diamètre correspondant à ce poids est de 800 millimètres).

6. CONCLUSION

Les résultats obtenus à la carrière Thibault montrent la justesse des principes établis pour obtenir un maximum d'enrochements par sautage. D'un premier patron de sautage éloigné de la théorie, l'évolution s'est faite graduellement vers un patron similaire au patron théorique.

7. BIBLIOGRAPHIE

- (1) BIRON, Serge. Géologie de la région de Ste-Anne-des-Monts, Rapport préliminaire DP-242. Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, 1972, 7 p., 30 cm.
- (2) DAUHPINAIS, Denis. La production de pierres de carapace. Québec, Société d'Energie Explosive du Québec, Comptes rendus de la 4ième journée d'études sur les techniques de sautage, 1981, 30 p., 30 cm.
- (2) DAUPHINAIS, Denis. La production de pierres de carapace. Québec, AQTR, Routes et Transports, 1983, no 34, p.11-ss

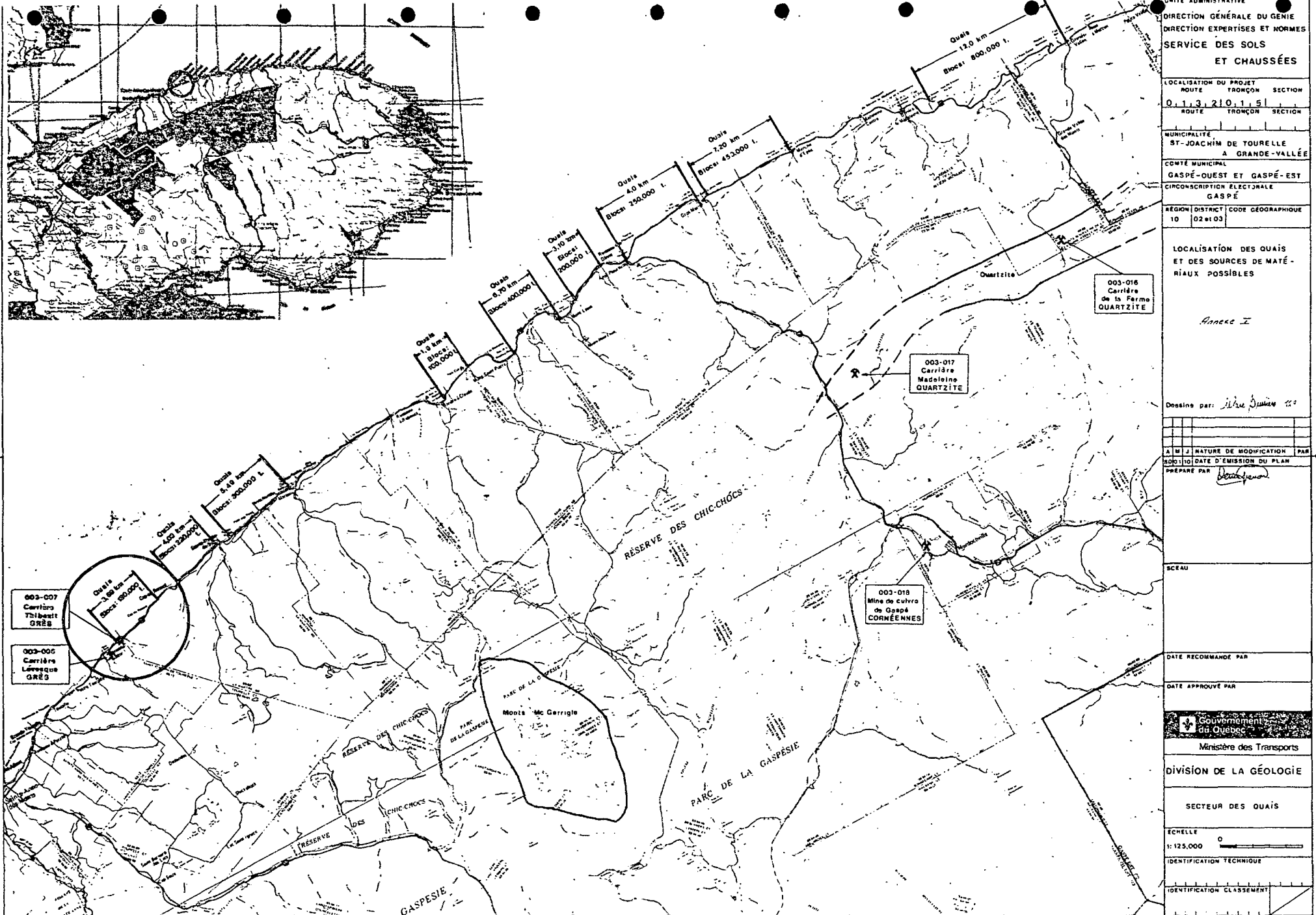
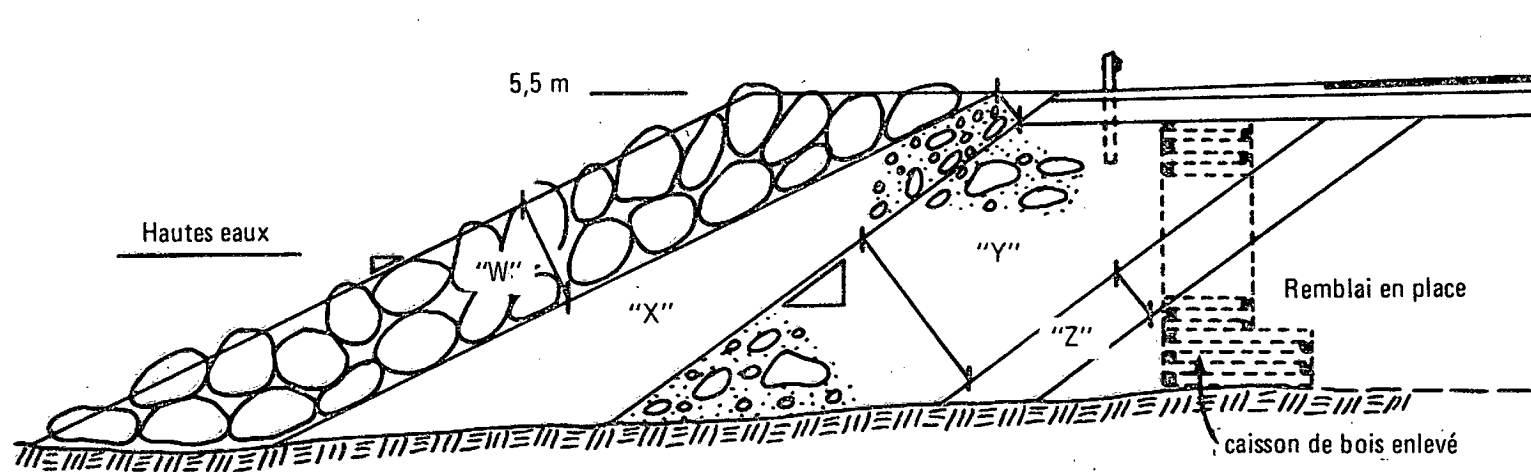


Figure 1 — Localisation du secteur des quais, des sources d'enrochements et du projet de réfection de la route 132 entre les municipalités Cap-au-Renard, St-Joachim-de-Tourelle et de La Martre.



DESCRIPTION DES MATERIAUX

- "W" – Carapace – enrochements de grès 1 tonne à 3,5 tonnes (voir tableau I)
- "X" – sous-couche - pierre de grès de 0–600 mm (D50 = 400 mm)
- "Y" – noyau de roc – schiste de 0–900 mm (D50 = 600 mm)
- "Z"* – couche de transition entre le noyau de schiste et le remblai en place
* si nécessaire.

Figure 2 – Profil en travers de la protection contre la mer

CHAINAGE	ENROCHEMENT POIDS (tonnes métriques)	DIMENSIONS (millimètres)	QUANTITE (tonnes métriques)	POURCENTAGE (%)
235-00 à 249-00 251-50 à 253-50 257-00 à 265-00 293-00 à 308-00 315-50 à 325-00 327-00 à 354-00	1	800	83 500	50
255-00 à 257-00 354-00 à 361-00	2	1 000	13 360	8
253-50 à 255-00 271-50 à 293-00 325-00 à 327-00	2.5	1 075	39 245	23.5
249-00 à 251-50 265-00 à 268-00 268-00 à 271-50	3	1 175	15 030	9
308-00 à 315-50	3.5	1 200	15 865	9.5

Tableau I - Quantités et dimensions des enrochements selon les chaînages

	MATERIAUX	QUANTITE	PRIX ESTIME	PRIX MOYEN SOUMISSIONNE
COUPE DE ROC	Déblai de 1ère classe* (Roc dynamité)	88 000 mètres cubes	\$5.00	\$4.95
	Déblai de 2ième classe** (Emprunt)	72 000 mètres cubes	\$1.50	\$3.79
	Prédécoupage	39 350 m. lin.	\$5.50	\$6.74
PROTECTION CONTRE LA MER	Enrochements "W" 1 tonne à 3.5 tonnes	167 000 tonnes	\$4.50	\$3.85
	Mat "X" Grès de 0-600 mm	90 700 tonnes	\$3.50	\$3.55
	Mat "Y" 0-900 mm Schiste, grès	182 000 tonnes	\$3.25	\$3.52
	Mat "Z" 0-100 mm	29 700 tonnes	\$4.00	\$5.11

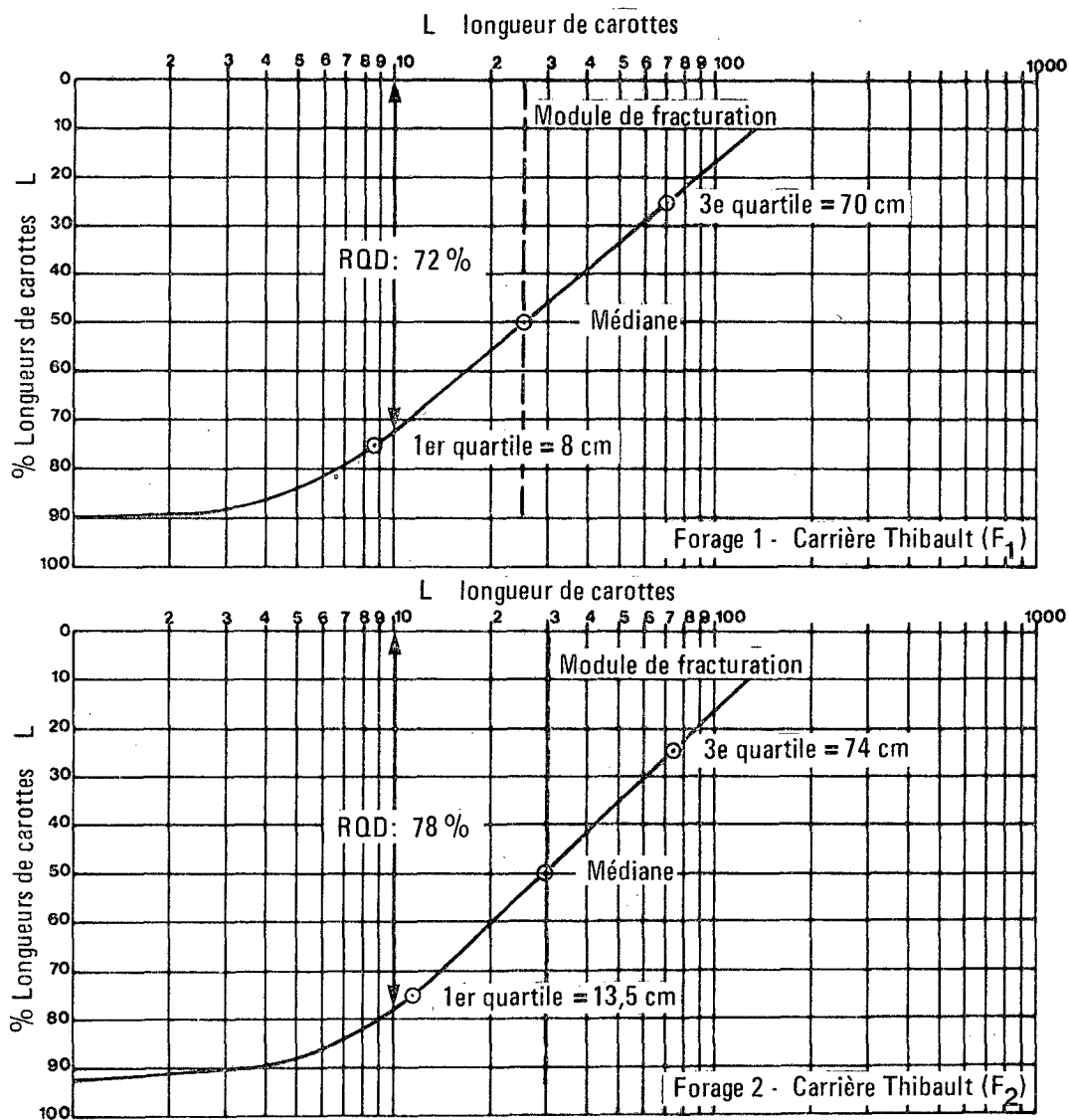
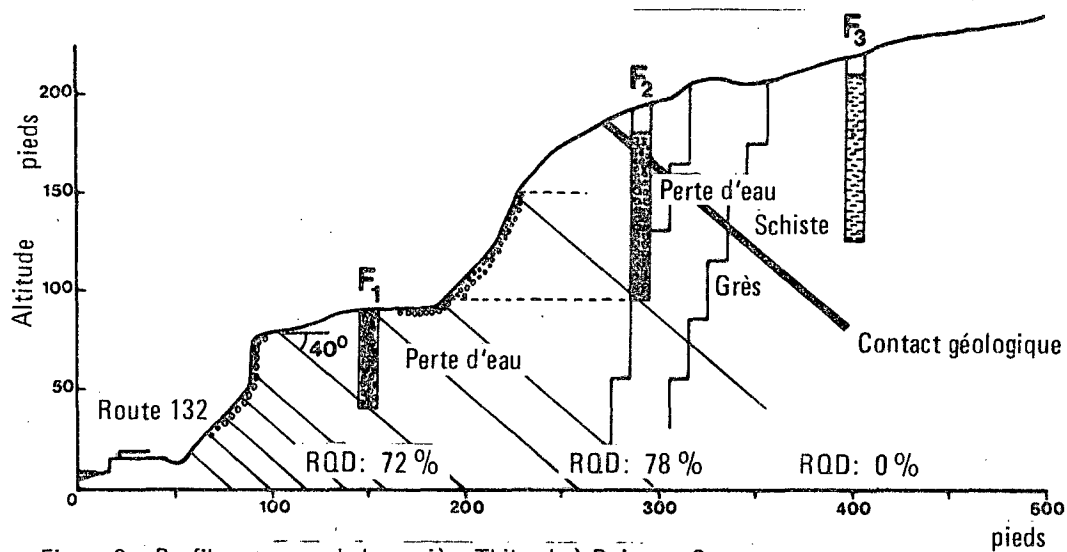
* déblai de 1ère classe — comprend le roc solide et les blocs de roc détachés qui ne peuvent être brisés ou délogés de leur position sans l'aide d'explosifs (Cahier des Charges et Devis Généraux, Art. 26.04.2).

** déblai de 2ième classe — comprennent les déblais qui ne sont pas décrits comme déblais de 1ère classe (C.C.D.G., Art. 26.04.4).

Tableau II - Bordereau des quantités et des prix des matériaux

ESSAIS	NOMBRE PETROGRAPHIQUE	%MgSO ₄ (5 CYCLES)	DENSITE	ABSORPTION (EN %)
Exigences	< 150	< 10	> 2.5	< 2.0
<u>Murdoch</u>				
AP-238-78	100	0.3	2.83	1.6
AP-234-75	106	0.93	—	0.79
—	100	0.5	2.94	0.64
<u>Ruisseau Castor</u>				
Carrière Lévesque	147	5.1	2.64	0.72
Carrière Lévesque	100	0.9	2.60	1.56
Carrière Thibault (forage F1)	121	7.1	2.59	1.62
Carrière Thibault (forage F1)	114	2.0	2.63	1.16
Carrière Thibault (forage F2)	106	1.6	2.62	1.36
Carrière Thibault (forage F2)	100	0.5	2.37	0.97
Carrière Thibault (forage F2)	100	0.4	2.64	0.96

Tableau III - Analyses qualitatives de la pierre d'enrochement



Règles empiriques pour la
production d'enrochements

- 1— la face d'exploitation est élevée (10 à 15 mètres et longue)
- 2— le rapport fardeau: espacement est compris entre 1,8 et 2,5
- 3— le facteur de chargement (F.C.) est de l'ordre de 0,25 kg/m³
- 4— la colonne de chargement est conforme à celle montrée à la figure 5
- 5— une seule rangée de trous est sautée et la mise à feu est instantanée.

Source: Denis Dauphinais, C-I-L
4ième journée (1981)

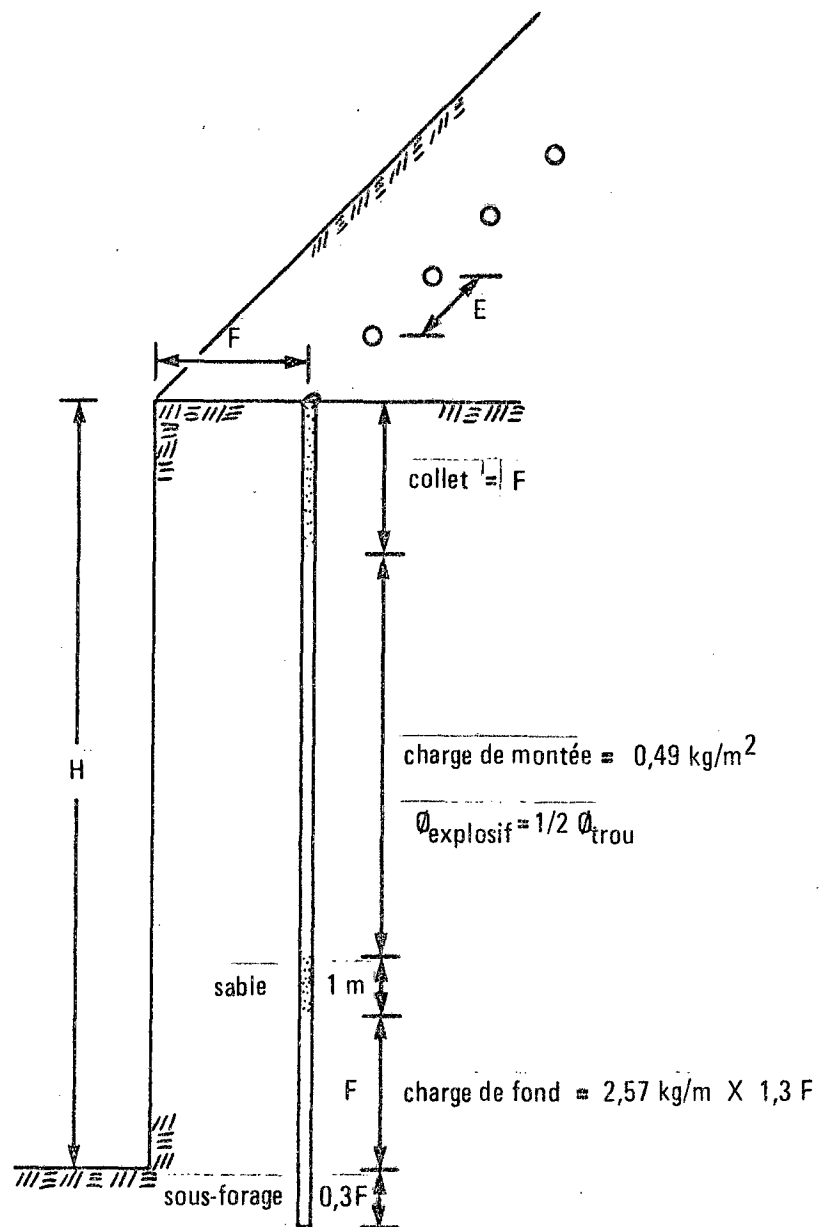
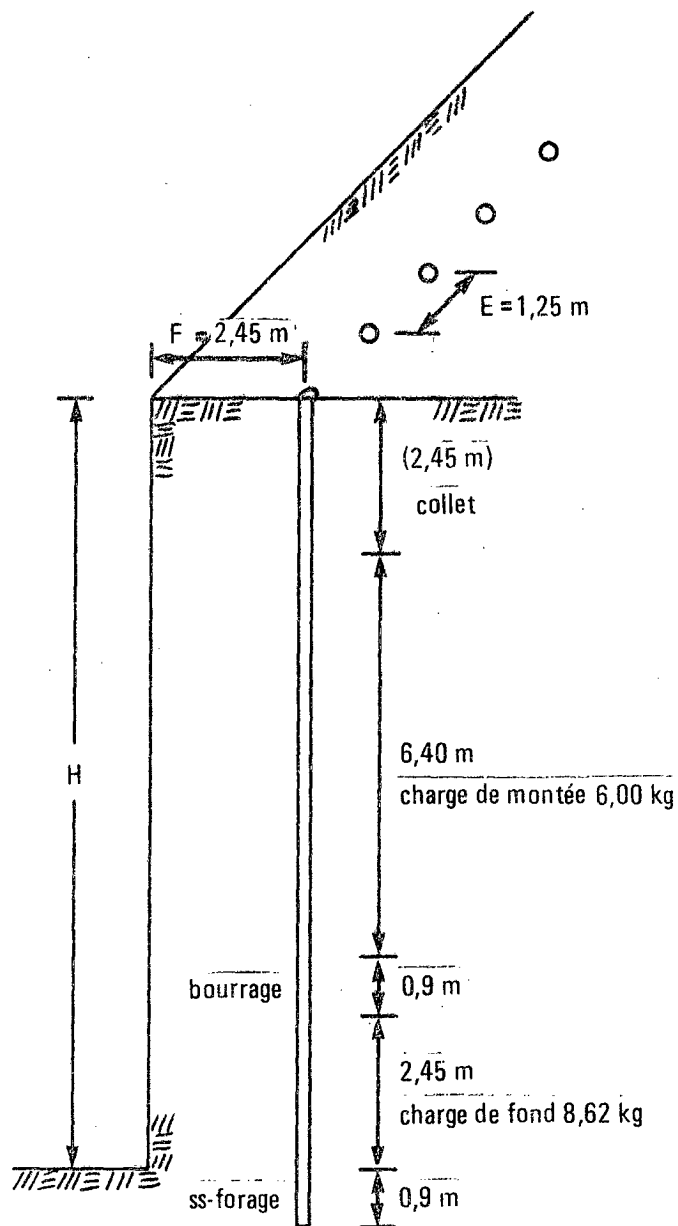


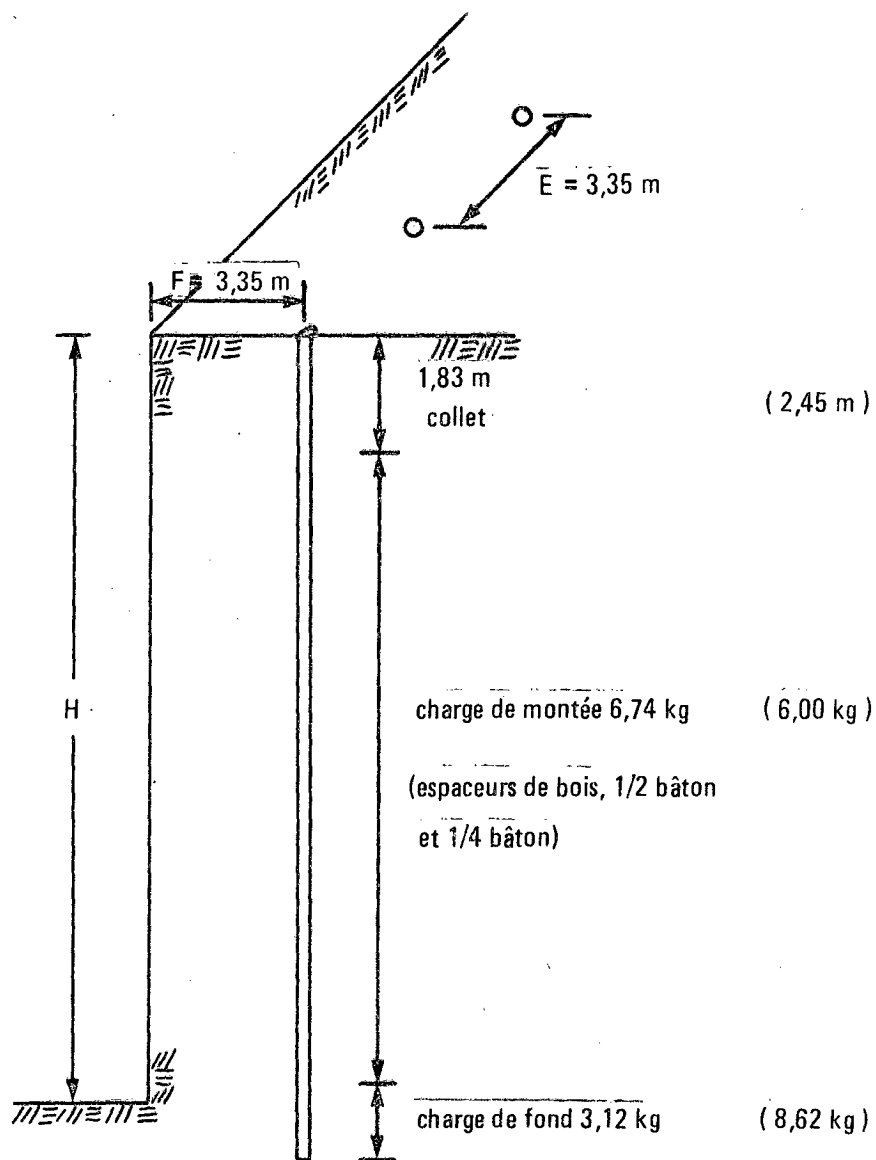
Figure 5 - Mode de chargement



Patron $2,45 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$

$$\text{F.C.} = \frac{\text{charge}}{\text{volume}} = \frac{14,62 \text{ kg}}{72,49 \text{ m}^3} = 0,20 \text{ kg/m}^3$$

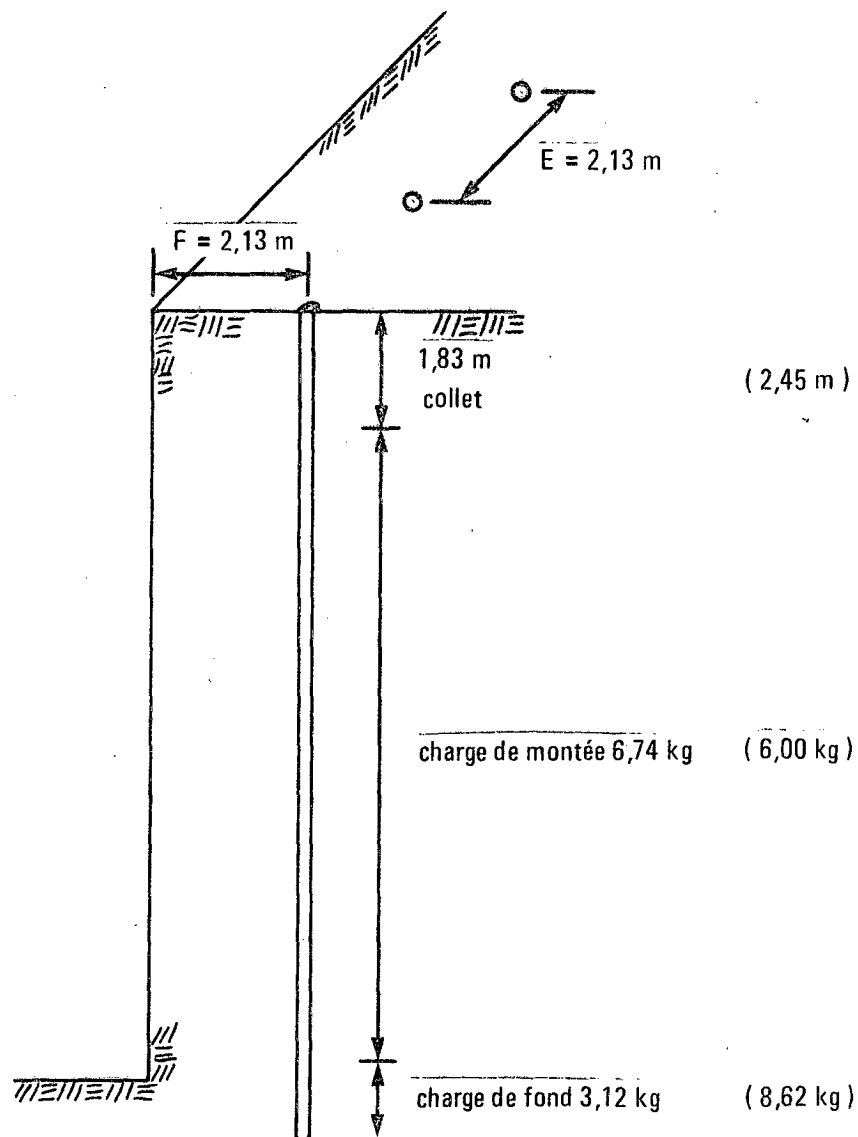
Figure 6 - Application des principes énoncés



Patron $3,35\text{ m} \times 3,35\text{ m}$ ($2,45\text{ m} \times 1,25\text{ m}$)

$$F.C. = \frac{9,86\text{ kg}}{137\text{ m}^3} = 0,07\text{ kg/m}^3 \quad (0,20\text{ kg/m}^3)$$

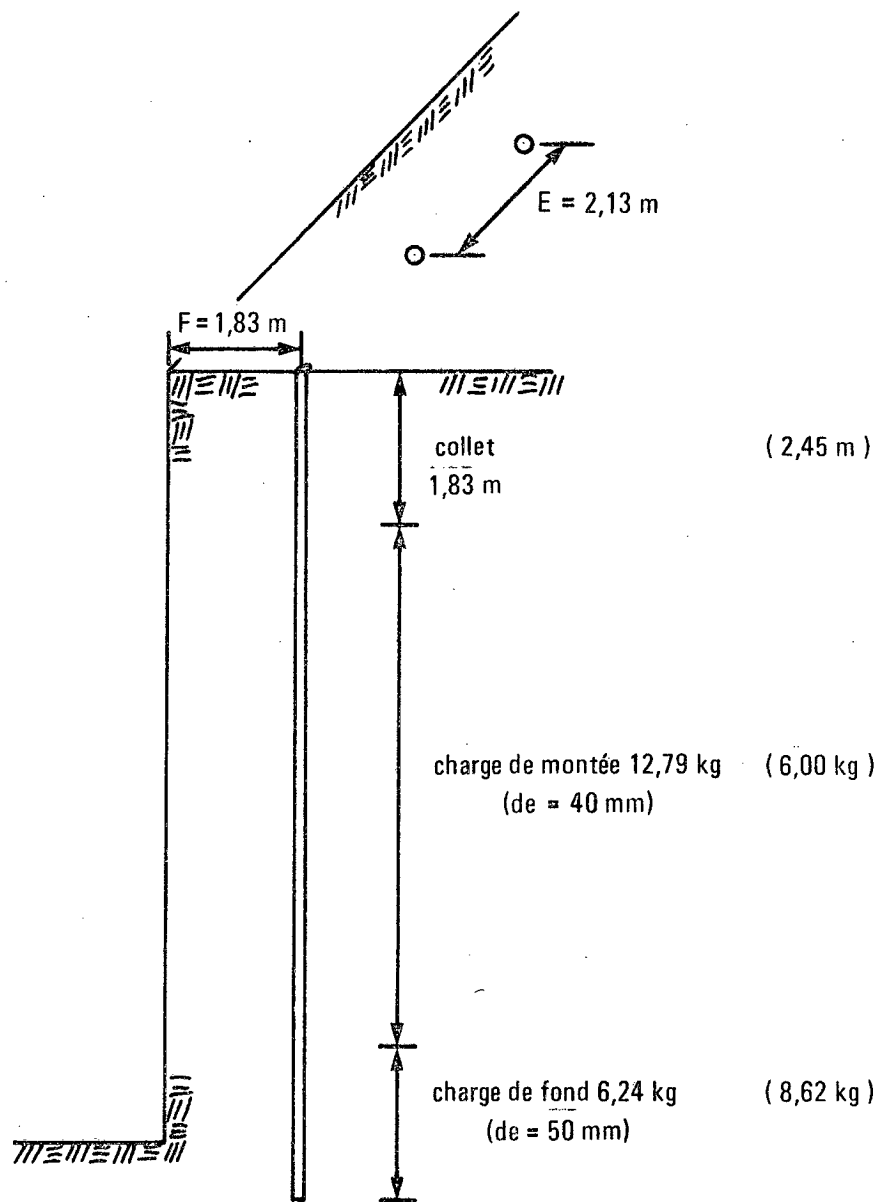
Figure 7 - 1^{er} mode de chargement proposé



Patron $2,13 \text{ m} \times 2,13 \text{ m}$ ($2,45 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$)

$$\text{F.C.} = \frac{9,86 \text{ kg}}{55,51 \text{ m}^3} = 0,18 \text{ kg/m}^3 \quad (0,20 \text{ kg/m}^3)$$

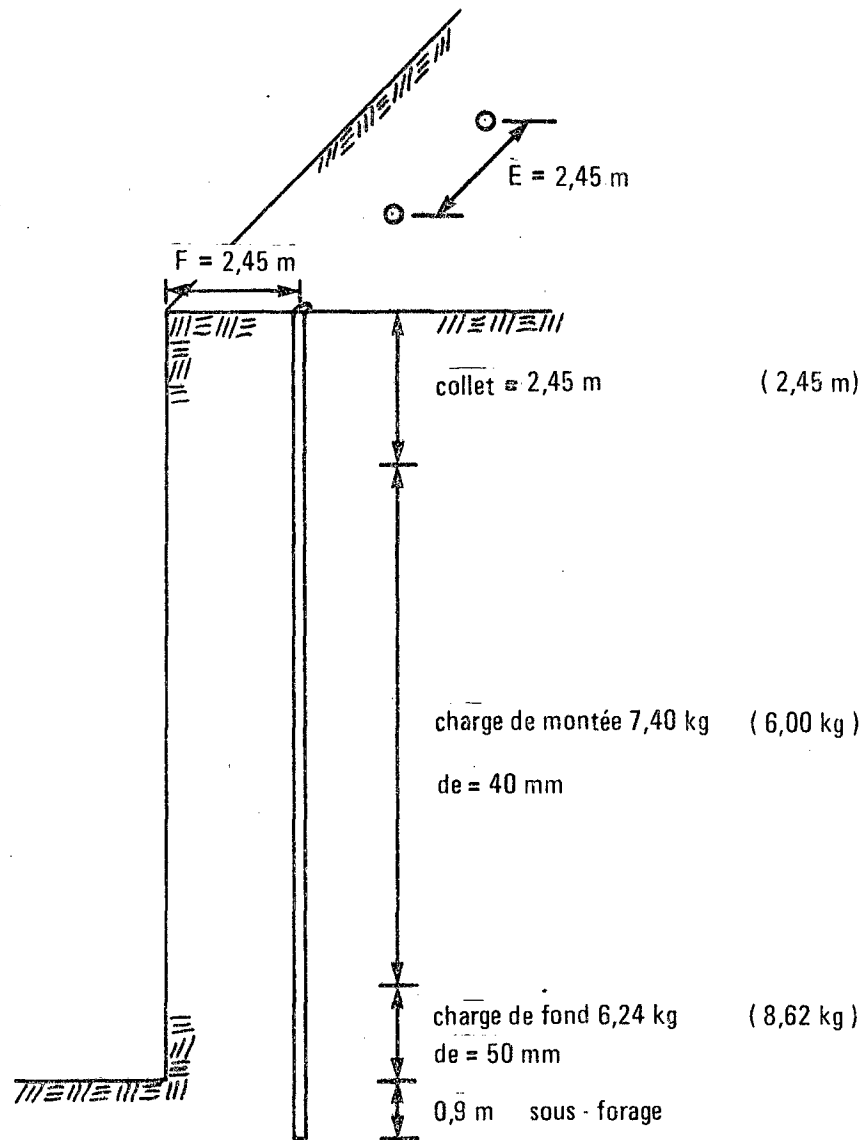
Figure 8 - 2ième mode de chargement proposé



Patron $1,83 \text{ m} \times 2,13 \text{ m}$ (inversé) $(2,45 \text{ m} \times 1,25 \text{ m})$

$$\text{F.C.} = \frac{\text{charge}}{\text{volume}} = \frac{19,03 \text{ kg}}{47,56 \text{ m}^3} = 0,40 \text{ kg/m}^3 \quad (0,20 \text{ kg/m}^3)$$

Figure 9 - 3ième mode de chargement proposé



Patron de $2,45 \text{ m} \times 2,45 \text{ m}$ ($2,45 \text{ m} \times 1,25 \text{ m}$)

$$F.C. = \frac{13,64 \text{ kg}}{72,49 \text{ m}^3} = 0,19 \text{ kg/m}^3 \quad (0,20 \text{ kg/m}^3)$$

Figure 10 - 4ième mode de chargement proposé

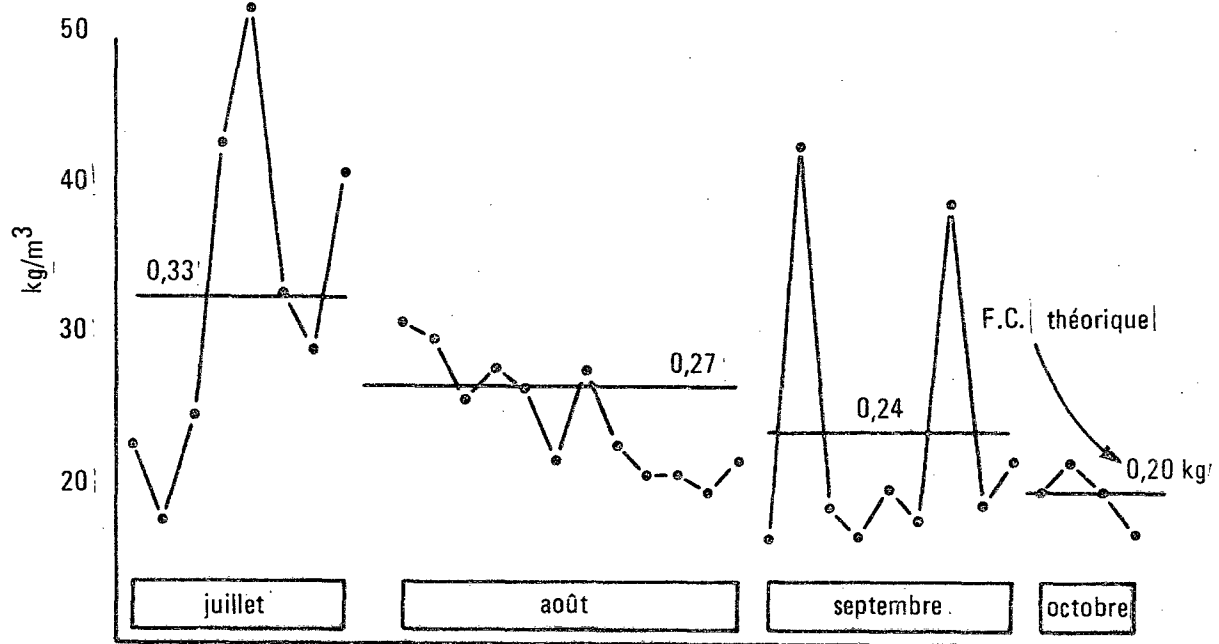


Fig. 11 - Taux de consommation d'explosifs en fonction des mois d'opération

Points de comparaison	Théorie (figure 6)	Proposé (figure 10)
charge de fond	8,62 kg	6,24 kg
charge de montée	6,00 kg	7,40 kg
charge totale	14,62 kg	13,64 kg
volume de roc	72,49 m ³	72,49 m ³
facteur de chargement	0,20 kg/m ³	0,19 kg/m ³
rapport de couplage $d_e = 1/2 d_T$	0,5	0,6
tir instantané	1 rangée	2 rangées

Tableau IV - Comparaison entre les modes de chargement