

Minage

Intérêts techniques et économiques d'une foration de qualité en carrière

RÉSUMÉ

Une parfaite connaissance de la géométrie de la foration dans l'espace est une condition indispensable à la bonne réussite d'un minage.

Les résultats présentés concernent des mesures effectuées pendant plus de deux années sur un ensemble de six carrières de roches massives pour lesquelles les consommations d'explosifs n'ont pas varié. Les améliorations n'ont porté que sur la qualité de la foration.

■ Dans un premier temps, une **revue des causes des déviations de foration** a mis en évidence la nécessité de contrôler parfaitement la position, l'inclinaison, la direction et la profondeur de chaque forage.

■ Afin d'atteindre ces objectifs, des **méthodes et matériaux nouveaux** ont été nécessaires : équipement de la perforatrice d'un système de positionnement combiné à un niveau laser, optimisation des réglages de la machine, achat d'une sonde diadème, sensibilisation et spécialisation des personnels affectés à la foration et au minage.

■ Le **bilan technico-économique** est intéressant et il en ressort trois points positifs essentiels :

- une plus grande longévité des matériaux et des accessoires de foration ainsi qu'un moindre coût d'entretien ;
- une meilleure géométrie de la foration et donc une limitation des longueurs forées ;
- à consommation d'explosifs constante, une amélioration sensible de la blocométrie, qui se traduit, en autres, par une diminution importante de l'utilisation des brise-roches hydrauliques.

MOTS CLÉS : 43 - *Abattage - Explosif - Carrière - Forage (processus) - Roche - Mesure - Erreur - Méthode - Matériel - Économie - Coût - Forage (trou)*.

Hubert HÉRAUD
Ingénieur ENSPM
Chef du groupe Sois, roches et risques géotechniques

Jean-Jacques LEBLOND
Chef de section principal des Travaux publics de l'Etat
Responsable de l'activité minage

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand

Claude SOUCHET
Directeur régional adjoint

Jean-Yves VERONNEAU
Responsable des exploitations Vendée

Jean-Marie BELREPAYRE
Responsable foration-minage
Redland-Granulats Ouest

Introduction

La recherche du meilleur coût de revient des produits abattus est un objectif permanent sur les sites d'exploitation de matériaux rocheux. Elle passe nécessairement par la maîtrise de la qualité de la foration.

Les résultats présentés dans cet article concernent la démarche entreprise sur ce point par le groupe Redland-Granulats Ouest sur six carrières de roches massives exploitées en Vendée.

Dans la pratique, les objectifs de la démarche étaient multiples et portaient sur les points suivants :

- maîtrise de la sécurité des tirs au niveau des projections, certains sites étant particulièrement sensibles de ce point de vue,
- optimisation du ou des matériaux de foration sur l'ensemble des sites de Vendée,
- limitation de l'emploi des brise-roches hydrauliques pour fragmenter les gros blocs produits par les tirs,
- diminution du coût des produits abattus.

La maîtrise de ces différents paramètres dépend pour l'essentiel du couple foration-explosifs. Dans un premier temps, il a semblé inutile de rechercher des améliorations sur les explosifs dans la mesure où les consommations spécifiques sont faibles sur tous les sites.

Seule une parfaite maîtrise de la foration peut répondre aux questions posées. C'est dans cette optique que différents essais et mesures ont été réalisés dans ces carrières en collaboration avec le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Clermont-Ferrand.

L'étude a porté sur les carrières de la Meilleraie, Pontcharron, La Joletière, Albert, Les Roches Bleues, Le Danger, qui produisent annuellement environ trois millions de tonnes de granulats. Les matériaux extraits sont constitués de roches éruptives dures à bon coefficient Los Angeles.

Après une description de la **situation existant avant le début de l'étude**, l'article décrit les méthodes qui ont permis d'aboutir à une **foration de qualité**, puis en dresse un **bilan technico-économique**.

Etat des lieux au début de l'étude

Une foration de qualité est celle qui respecte le plan de foration théorique, c'est-à-dire les paramètres qui suivants :

- ① Emplacement des forages.
- ② Inclinaison et direction dans l'espace.
- ③ Déviations.
- ④ Profondeur du trou.
- ⑤ Diamètre.
- ⑥ Stabilité de la paroi du forage.

Chacun de ces aspects a été analysé sur les différents sites de Vendée, en insistant particulièrement sur l'emplacement des forages, l'inclinaison et la direction dans l'espace, et les déviations. Les mesures de déviation ont été faites à l'appareil Boretrack.

Les résultats présentés ci-après correspondent à des mesures effectuées entre 1994 et 1996.

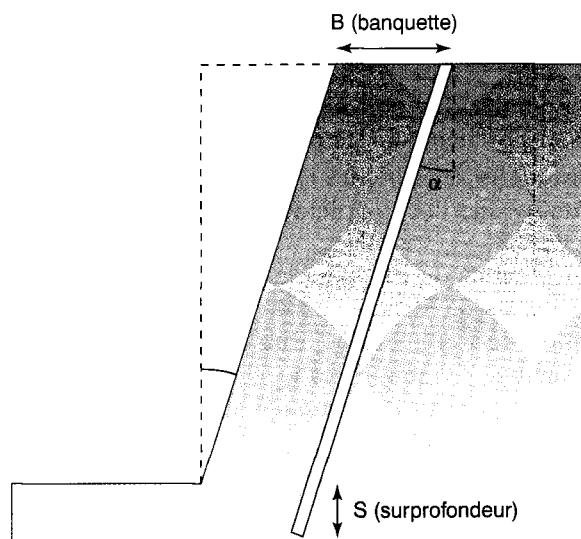


Fig. 1 - Schéma de principe d'implantation des forages.

Emplacement des forages

L'implantation des forages se fait classiquement par la méthode du fil à plomb ou de la « canne à pêche », qui permet de connaître la crête et le pied du front de taille, à partir desquels on définit la position du forage, son inclinaison α et la banquette à prendre en considération (fig. 1). Sur les sites étudiés, la position du forage est généralement bien respectée.

Inclinaison et direction dans l'espace

Un exemple d'erreur en inclinaison et en direction est donné sur la figure 2 (mesures effectuées à l'appareil Boretrack).

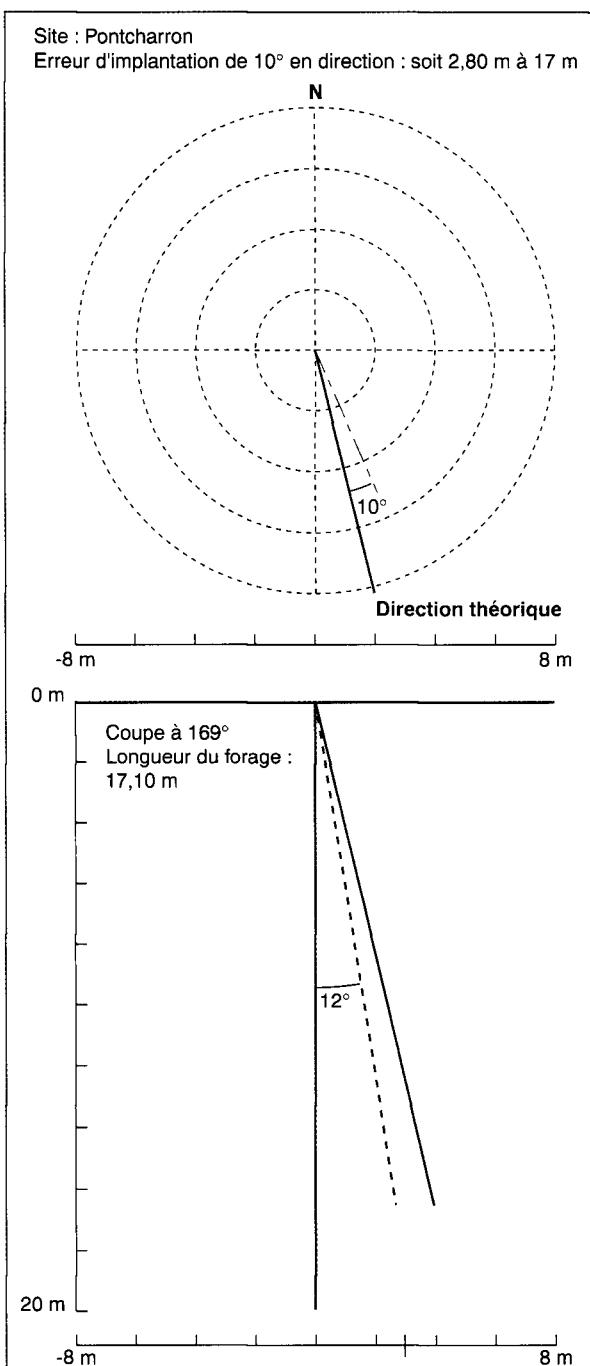


Fig. 2 - Exemple d'erreur en inclinaison et direction.

La partie basse de la figure montre une coupe verticale passant par le sondage avec en pointillé le tracé théorique du forage (inclinaison 12°) et en trait plein le tracé réel du forage. La partie haute de la figure représente la projection du forage sur une cible horizontale. Le point de départ du forage est le centre de la cible, sa projection est figurée par la droite en pointillé.

Un forage parfaitement vertical ne serait représenté que par un seul point au centre de la cible (points de départ et d'arrivée).

Pour une inclinaison théorique de 12°, des variations de 1 à 5° ont été notées. Ces variations conduisent, à 10 m de profondeur, à des déviations de 0,17 à 0,87 mètre.

Des erreurs en direction ont été observées. Elles étaient dues, pour l'essentiel, au positionnement de la foreuse qui varie en azimut d'un trou à l'autre, du fait de son déplacement en « crabe » par rapport aux lignes de trous. Des erreurs de 5 à 20° en azimut en tête de forage étaient fréquentes et aléatoires.

Déviations

Les déviations en cours de forage peuvent être liées au matériel, au massif rocheux ou au foreur.

Matériel

- Diamètre des tiges de foration.** Bien que l'influence de ce seul paramètre soit difficile à cerner avec précision sur les sites étudiés, on peut donner une estimation à partir des mesures effectuées sur des forages de 89 mm de diamètre avec des tiges de 51 et 45 mm, mais avec des foreuses différentes.

Paramètres	Foreuse A	Foreuse B
Diamètre de foration (mm)	89	89
Diamètre des tiges de foration (mm)	51	45
Déviation à 10 m de profondeur (m)	0 à 1	0,21 à 1,19

Une foration réalisée avec des tiges de petit diamètre conduit donc à des déviations plus importantes. On note, par ailleurs, des rotations très nettes des forages en azimut bien marquées avec les tiges de 45 mm de diamètre (fig. 3).

- Tube-guide.** Afin d'essayer d'améliorer la qualité de la foration, la foreuse A a été équipée d'un train de tiges avec un tube-guide de 3,60 m et de 82 mm de diamètre, placé au-dessus du taillant de 102 mm. On a pu remarquer une légère atténuation des déviations sans que le rôle déterminant du tube-guide ait été mis en évidence.

- Stabilisateurs.** Lors des premiers essais de foration, la foreuse A a été pourvue de deux vérins stabilisateurs à l'arrière du train de chenille dans le

but d'éviter que la machine ne s'affaisse vers l'arrière en cours de foration. Les mesures faites sur deux sites, avec et sans vérins stabilisateurs et dans les conditions de réglage de la machine de l'époque, donnent les résultats qui suivent.

Site	Déviation maximale à 10 m de profondeur (m)	
	Sans vérins stabilisateurs	Avec vérins stabilisateurs
Carrière de la Meilleraie	1,26	0,38
Carrière de Pontcharron	0,50	0,34

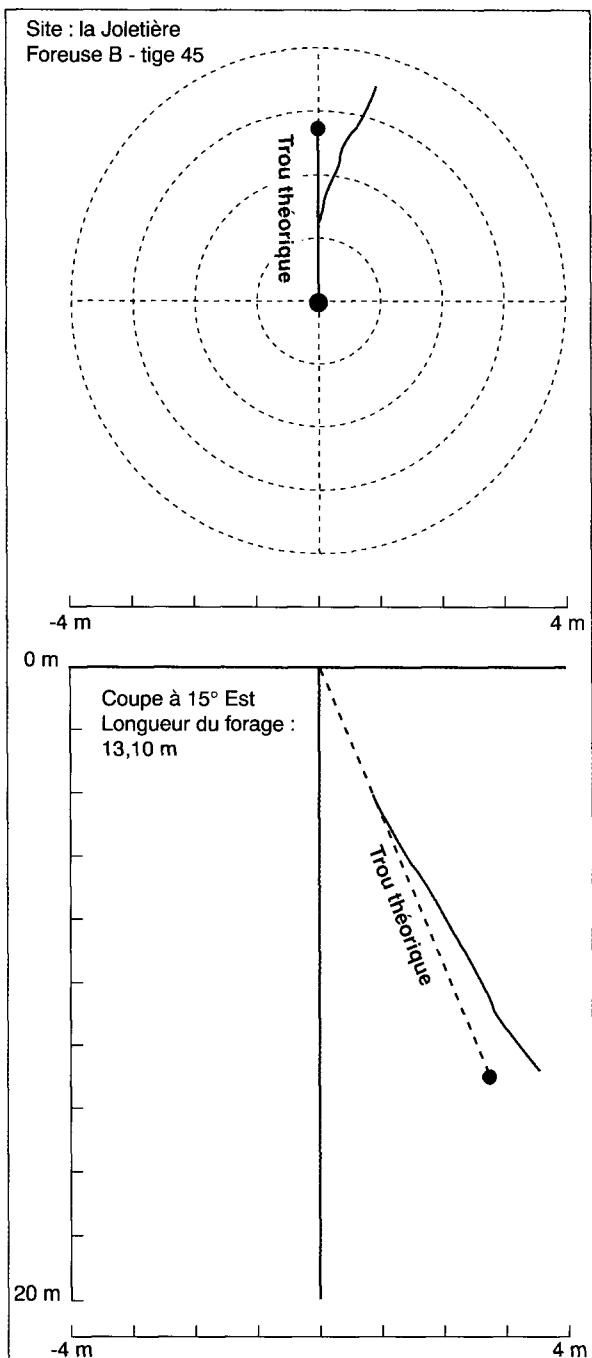


Fig. 3 - Phénomène de rotation du forage dans l'espace avec des tiges de 45 mm de diamètre.

On diminue donc sensiblement les déviations, de 70 % dans le cas de la Meilleraie et de 30 % dans celui de Pontcharron.

Massif rocheux

D'une manière générale, la structure d'un massif rocheux induit des déviations d'origine mécanique dans des directions privilégiées dépendant de l'angle d'incidence du forage par rapport aux discontinuités.

Les mesures de déviation réalisées sur les différents sites montrent des déviations toujours nettement supérieures sur le site de la Meilleraie. L'examen détaillé du front de taille met en évidence de nombreuses diaclases de direction 30°

et de pendage sud-est 60 à 70°. Ce sont ces diaclases qui favorisent des déviations vers le sud-est (fig. 4).

Sur les autres sites, la densité de fracturation, généralement importante mais sans direction majeure privilégiée, conduit à de faibles déviations dues au massif rocheux.

Foreur

Le rôle du foreur est déterminant dans les phénomènes de déviation. Dans le cas présent, on peut considérer que, les forages étant effectués par les mêmes foreurs de l'entreprise, le facteur humain prend une part moins essentielle dans la qualité de la foration. Cependant, la foration est un vrai métier, qui demande une bonne formation et une grande motivation du personnel.

Profondeur du trou

La profondeur des forages peut varier de 10 à 23 m selon les sites. Une surprofondeur de 1,50 à 2 m est généralement réalisée pour tenir compte des incertitudes liées aux irrégularités de la plate-forme de départ. Ceci peut se traduire par des surprofondeurs trop importantes, rendant difficile la reprise de la foration dans le niveau inférieur.

Diamètre

Les forages se font en diamètre 89 ou 102 mm et ne posent pas de problèmes particuliers pour la mise en œuvre des explosifs en vrac ou encartouchés classiquement utilisés.

Stabilité de la paroi du forage

Compte tenu des imprécisions sur les cotes de la base de chaque tranche minée, on peut considérer qu'environ 1,50 à 2 m de matériaux sont désorganisés à la base et posent des problèmes de stabilité à la reprise de la tranche inférieure (fig. 5).

Maîtrise des différents paramètres

L'analyse de la situation existant dans les carrières au début de l'étude a montré que l'amélioration de la qualité de la foration passait par une meilleure maîtrise de la géométrie des forages dans l'espace, notamment pour ce qui concerne la position, l'inclinaison, la direction et la profondeur.

C'est dans ce but que le groupe Redland-Granulats Ouest a fait l'acquisition de deux appareils de mesure :

- ❶ une sonde diadème ;
- ❷ un système de mesure de positionnement et d'alignement de la perforatrice associé à un niveau laser (système TIM 2205).

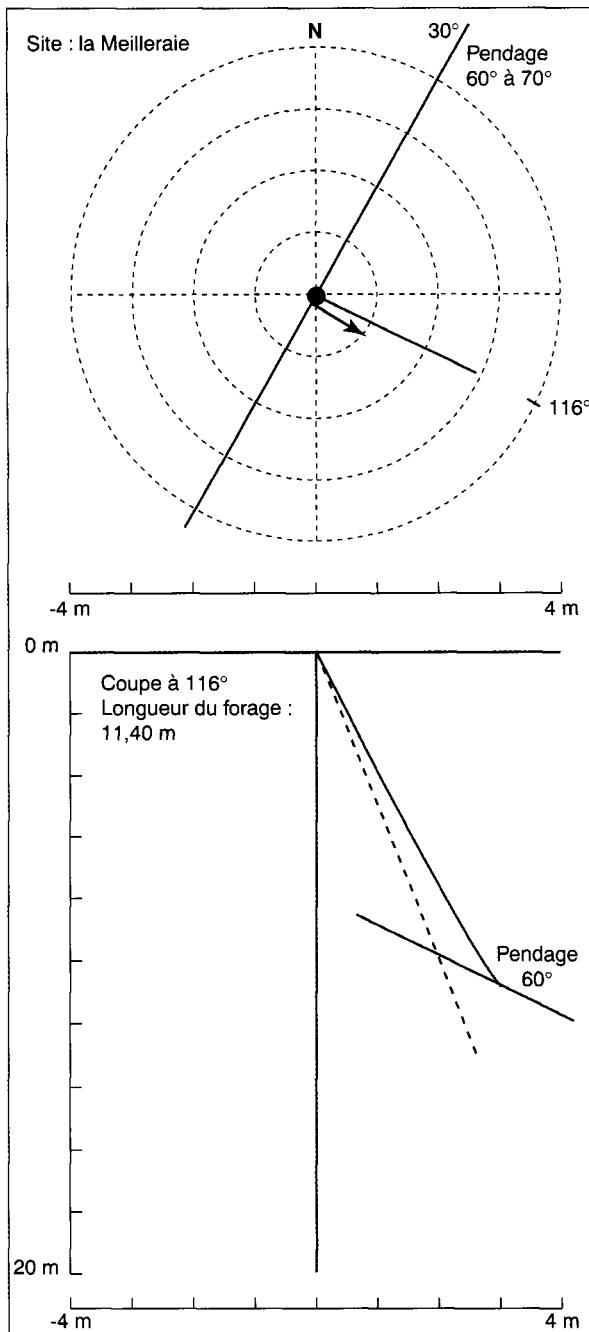


Fig. 4 - Site de la Meilleraie. Incidence du pendage des discontinuités sur les déviations.

Sonde diadème

Les forages sont classiquement implantés par le système de la « canne à pêche » et une mesure à la sonde diadème permet de connaître l'épaisseur réelle des matériaux à la base de chaque forage (fig. 6).

Système de mesure TIM 2205

Le système de mesure TIM est constitué de capteurs prévus pour mesurer l'inclinaison de la glissière de la perforatrice et son orientation, ainsi que les mouvements du marteau (fig. 7 et 8). Les valeurs des différents paramètres sont affichées sur un écran digital à l'intérieur de la cabine.

Le système de positionnement et d'alignement TIM 2205 est couplé à un rayon laser extérieur qui permet de connaître et de respecter parfaitement la cote de fond de trou, donc la cote de la plate-forme à atteindre (fig. 9).

L'ensemble composé de la perforatrice équipée du système TIM 2205 et de l'émetteur laser est représenté sur la figure 10.

Après environ deux ans de fonctionnement des nouveaux matériaux et une recherche permanente de l'amélioration de la qualité de la foration, il est possible d'établir un bilan technico-économique pour tous les sites étudiés.

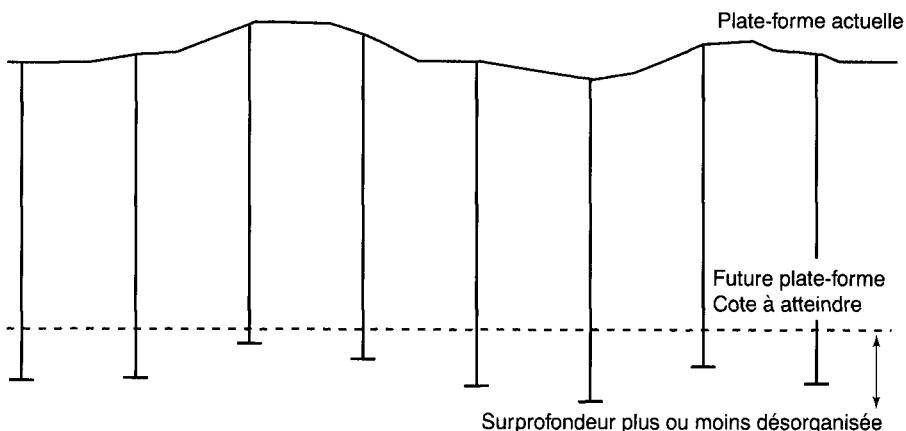


Fig. 5 - Une mauvaise connaissance de la cote atteinte par chaque forage conduit à des difficultés de foration dans la tranche inférieure.

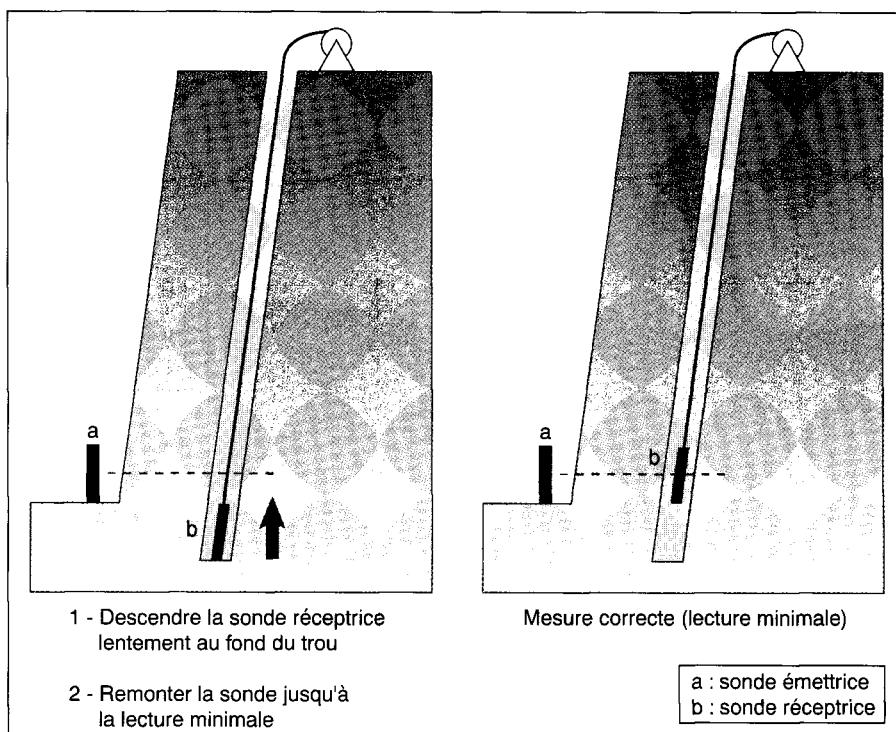


Fig. 6 - Principe de la sonde diadème.

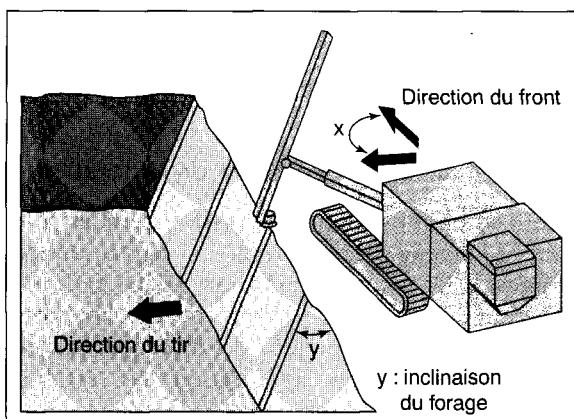


Fig. 7 - Le système TIM permet l'orientation du forage en inclinaison et direction.

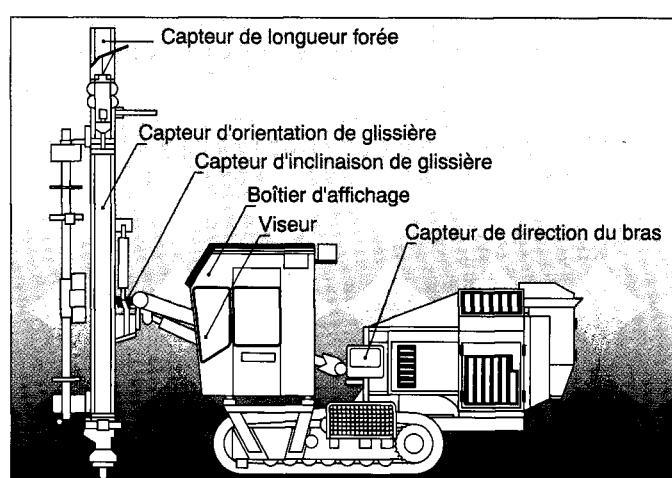


Fig. 8 - Les différents composants du système TIM.

Fig. 9 - Principe de la foration avec niveau laser permettant le contrôle de la profondeur.

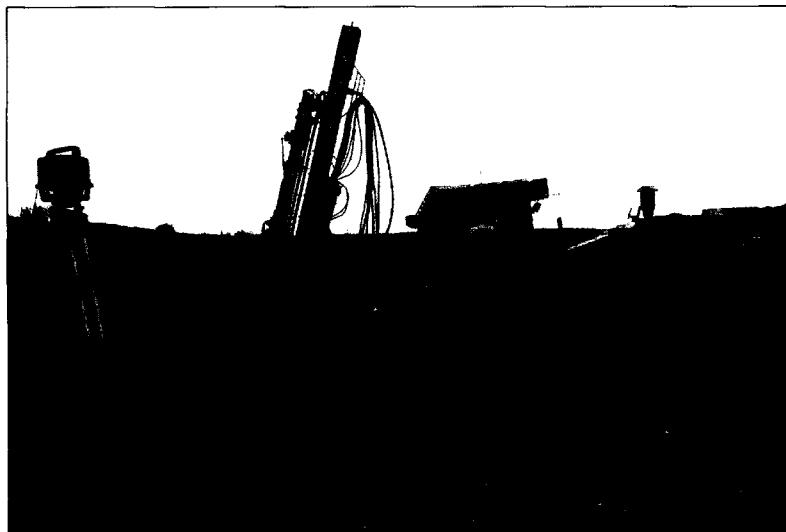
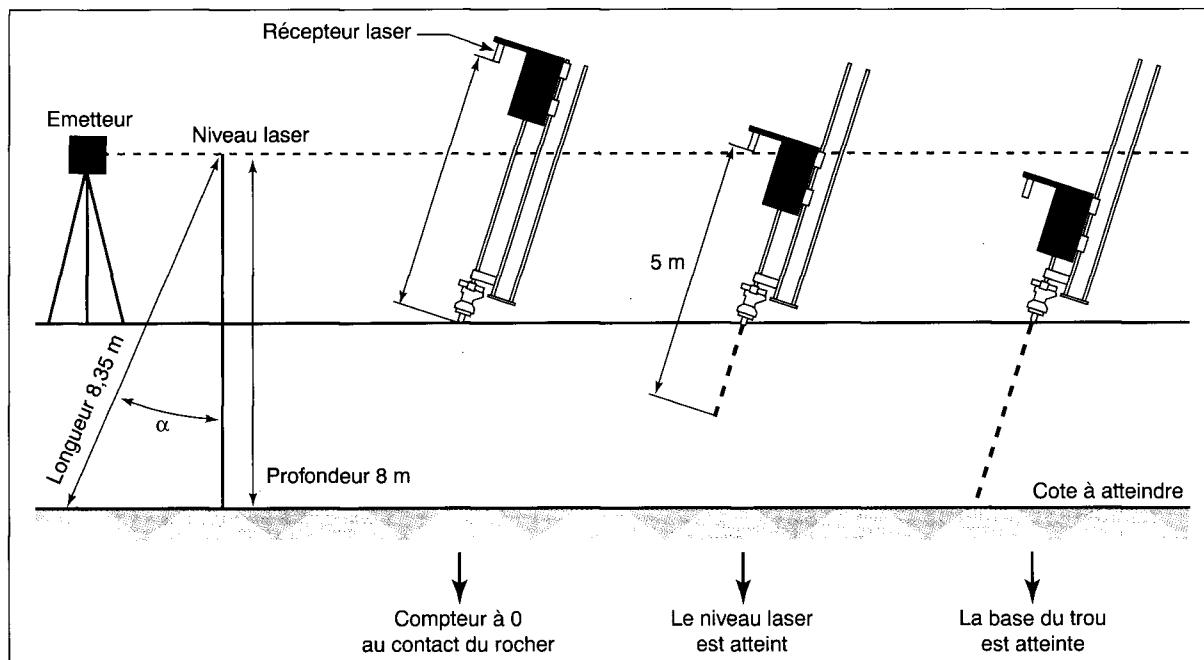


Fig. 10 - Perforatrice équipée du système TIM 2205 et émetteur laser.

Bilan technico-économique

La foration sur l'ensemble des six carrières Redland-Granulats Ouest de Vendée est actuellement assurée par une seule perforatrice équipée de vérins stabilisateurs et travaillant sur deux postes, au lieu de deux machines avant 1994. Le mètrage total annuel moyen en diamètre 102 mm est de l'ordre de 80 à 90 000 mètres par an.

Rôle et importance du bon réglage de la machine

Après optimisation en 1995 et 1996 des paramètres de poussée et de rotation de la machine, en tenant compte de l'ensemble marteau-taillant-tiges-emmanchements-massif rocheux, des améliorations sensibles ont été notées, notamment sur les durées de vie du matériel.

équipement	1994 Durée de vie avant réglage machine (m)	1996 Durée de vie après réglage machine (m)	Amélioration (%)
Raccord tige-marteau (Leyner)	4 200	5 600	33
Tige	1 400	1 660	18

On peut également observer les améliorations suivantes :

- la vitesse d'avancement est supérieure,
- on a supprimé le tube-guide en 1996,
- l'entretien de la machine à 8 500 h après optimisation du réglage des différents paramètres ne coûte pas plus cher que lorsque la machine était neuve,
- le rapport « heures marteau/heures machine » atteint près de 52 %, soit un taux exceptionnel. Le taux moyen est généralement de l'ordre de 40 % en carrière et 30 % en travaux publics.

Ces données montrent clairement le rôle déterminant du bon réglage de la machine pour un type de massif déterminé.

Amélioration de la géométrie de la foration

L'utilisation du système de positionnement combiné au niveau laser permet la réalisation des forages à la bonne inclinaison, dans la bonne direction et à la bonne profondeur. Les améliorations apportées permettent de dire que, sur les sites étudiés, le plan de foration réel est bien conforme au plan théorique.

Généralement, un gain important est réalisé sur la longueur de surforation. Grâce au système laser,

les surprofondeurs initiales de 1,50 à 2 m selon les sites sont ramenées systématiquement à 0,50 m. Pour chaque forage, on économise ainsi environ 10 % du linéaire foré.

Cette zone plus ou moins détériorée de 0,50 m est exploitée lors de l'abattage du gradin suivant. La foration y est effectuée en surface avec injection d'eau afin d'assurer un colmatage par les produits de foration et obtenir ainsi une meilleure stabilité de la paroi et une plus grande facilité de chargement.

Enfin, l'inclinaison des forages a pu être ramenée de 12 à 10° et un redressement des fronts d'abattage a ainsi été réalisé.

Amélioration de la granulométrie d'abattage

Il s'agit d'un paramètre très difficile à chiffrer en l'absence de mesures directes sur les produits d'abattage. Dans la pratique, la contrainte majeure est liée à l'existence ou non de gros blocs produits lors de chaque tir et qu'il est nécessaire de reprendre au brise-roche hydraulique.

Sur les six sites de Vendée, les consommations d'explosifs n'ont pas varié au cours des dernières années et les seules améliorations ont porté sur la recherche d'une foration de qualité.

En 1992, quatre brise-roches hydrauliques étaient utilisés ; en 1997, un seul brise-roche hydraulique suffit pour les six carrières.

On peut donc dire qu'à consommation d'explosifs constante on a obtenu une amélioration très sensible de la blocmétrie d'abattage, relative pour l'essentiel à une répartition plus homogène des explosifs dans le massif, c'est-à-dire à l'amélioration de la qualité de foration.

Investissements effectués

Toutes les améliorations récentes sont évidemment le résultat d'un investissement, dont les coûts peuvent se résumer de la manière suivante :

- création d'un poste de responsable foration-minage,
- achat d'une sonde diadème,
- acquisition d'un système de mesure TIM 2205 couplé à un niveau laser.

Conclusions

La démarche engagée sur les carrières Redland-Granulats Ouest de Vendée est intéressante dans la mesure où elle ne porte que sur la qualité de la foration. Pour une même consommation d'explosifs, elle permet d'aboutir à un meilleur résultat de minage en faisant moins de forage et une foration de meilleure qualité.

On démontre qu'une bonne maîtrise de la foration dans l'espace est possible. Elle suppose, d'une part, une utilisation optimale des matériels de foration et de positionnement et, d'autre part, une compétence et un professionnalisme des personnels affectés à la foration.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que les améliorations apportées ne vont pas dans le sens de la suppression d'emplois mais, au contraire, ont permis la création d'un poste supplémentaire au niveau du minage.

On ne peut évidemment considérer en l'état actuel que tous les problèmes sont définitivement réglés. Des évolutions restent possibles, ne serait-ce qu'en fonction des variations géologiques du front de taille, et un suivi périodique de la qualité de la foration demeure nécessaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HÉRAUD H., MEYER J.-L. (1983), Qualité de la foration - Foration et tir, *Mines et carrières*, numéro spécial Les Techniques, suppl. à avr. 1993, **vol. 75**, pp. 85-90.
- HÉRAUD H., LEBLOND J.-J., DORSEMAINE P. (1994), Étude des déviations de foration. Incidence sur le minage, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **194**, nov.-déc., pp. 21-26.
- SIFRE Y., HÉRAUD H., DENIAU P. (1991), Tirs - Foration, *Mines et carrières*, numéro spécial Les Techniques, suppl. à oct. 1991, **vol. 73**, pp. 35-42.

ABSTRACT

Mining. The technical and economic benefits of high quality blast hole drilling in quarries

H. HÉRAUD - J.-J. LEBLOND - C. SOUCHET - J.-Y. VERONNEAU - J.-M. BELREPAYRE

Accurate control of the geometry of blast hole drilling is essential for successful mining.

The findings in the paper relate to measurements made over a two year period at six homogeneous rock quarries. Over this period the same amount of explosives were used, but the quality of blast hole drilling was improved.

It was necessary to use new techniques and equipment :

A positioning system combined with a laser level, optimization of drilling machine settings, diadem borer, education and specialized training of drilling and mining staff.

The technical and economic evaluation demonstrated that the durability of boring equipment was increased and maintenance costs reduced. In addition, the geometry of drilling was improved which led to a reduction in the lengths of borings. Finally, with use of the same amount of explosive, the size of blocks was considerably reduced so the use of hydraulic rock crushers was much less required.