

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 130 (2004)
Heft: 15/16: Percer AlpTransit

Artikel: Emploi d'explosif liquide sur le versant sud du Gothard
Autor: Muttoni, Andrea
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99332>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Emploi d'explosif liquide sur le versant sud du Gothard

L'utilisation d'émulsions explosives pour l'excavation de tunnels s'est sensiblement accrue au cours de ces dernières années. En regard des explosifs traditionnels en cartouches, ce type de produits présente de nombreux avantages, tant du point de vue de la sécurité lors des manipulations que pour ce qui concerne les vitesses de chargement ou leur efficacité explosive. Cet article présente l'utilisation de ce genre de produit dans le cadre des lots sud du tunnel de base du St-Gothard.

Les explosifs sur les lots de Faido et Bodio

Bien que les percements des lots de Faido (452) et de Bodio (554) du tunnel de base du St-Gothard se fassent essentiellement à l'aide de deux tunneliers TBM (*Tunnel Bore Machine*), de nombreuses excavations - station multifonction de Faido, galeries latérales, etc. - sont exécutées selon la méthode traditionnelle à l'explosif. Les travaux de ces lots, qui portent sur une distance totale de 31 km, se subdivisent en deux phases de chantier bien distinctes.

Phase 1 (Bodio et Faido):

- creusement à l'explosif de la station multifonction de Faido,
- avancement des deux tunneliers à partir du portail de Bodio jusqu'à la station multifonction de Faido,
- creusement à l'explosif, environ tous les 300 m et à la suite de l'avancement des tunneliers, des galeries transversales de liaison entre les tubes.

Phase 2 (de Faido en direction de Sedrun):

- avancement en direction de Sedrun après adaptation des deux tunneliers arrivés de Bodio,
- creusement à l'explosif, environ tous les 300 m et à la suite de l'avancement des tunneliers, des galeries transversales de liaison entre les tubes.

Tant sur le lot 452 que sur le lot 554, les travaux d'excavation à l'explosif se font à l'aide d'émulsions pompables. Le système employé, appelé *Emount* (voir encadré p. 23), a été conçu et développé par *Explotec SA* - fournisseur des matières explosives du Consorzio TAT¹ -, en partenariat avec la société allemande *Sprengstoffwerk Gnaschwitz GmbH* à

Schlungwitz. Ce système prévoit le mélange de trois composants inertes dans le trou de mine, l'explosif résultant de ce mélange (*Emullex B*) ne devenant détonant qu'à l'intérieur des trous de mine. Cette situation présente de nombreux avantages pour le transport, le stockage et la manipulation des composants sur le chantier.

Application et caractéristiques du système

A Faido, le contrat entre la société *Explotec SA* et le Consorzio TAT porte sur la mise en œuvre, pour la station multifonction, de l'explosif dans les trous de mine. La gestion des matières explosives, celle des machines, la surveillance des travaux de chargement ainsi que le contrôle des volées sont des tâches entièrement dévolues au fournisseur d'explosifs, la planification étant quant à elle effectuée en collaboration avec le bureau d'étude *Muttoni & Beffa SA*. Sur le lot de Bodio, l'exécution des travaux de gestion et de chargement est assurée par les collaborateurs du consortium, mais sous la surveillance de la société fournisseuse.

Mise en place du système pour les explosifs

Sur le chantier de Faido, trois camions ont été équipés avec l'appareillage nécessaire pour pomper les composants de l'explosif, chaque camion disposant de deux lignes de chargement (fig. 1). À Bodio, une seule machine a été installée sur un wagon ferroviaire. Compte tenu de la place disponible et de l'ampleur des travaux à effectuer, cette machine a des dimensions sensiblement plus réduites que celles des machines utilisées à Faido.

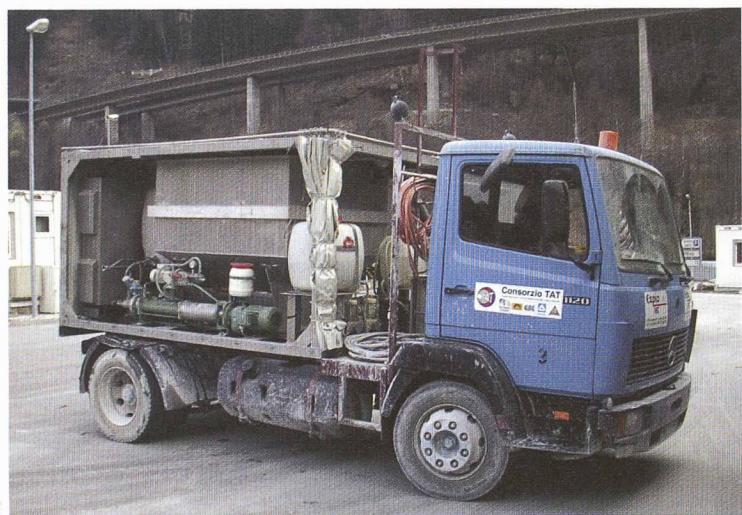
La machine de chargement est mise en position derrière la perforatrice (Jumbo). Le panier de la perforatrice sert également aux opérations de chargement (fig. 2). Suite à leur percement, le chargement des trous de minage comprend les opérations suivantes :

- fixation du détonateur dans le SWG-Primer,
- introduction dans la ligne de chargement du détonateur fixé dans le SWG-Primer (fig. 3),

¹ Zschokke-Locher AG, Hochtief AG, Alpine Mayreder AG, CSC SA, Impregilo S.p.A.

Fig. 1 : Machine pour le pompage de l'explosif (Emount)

Fig. 2 : Chargement de l'explosif



1



2

- introduction de la ligne de chargement - avec le détonateur et le SWG-Primer - dans le trou de mine,
- transmission de l'ordre de chargement de l'*Emullex B* à l'ordinateur de la machine,
- charge du trou de mine.

Le dosage de l'explosif sur le chantier est directement géré par un ordinateur. Un opérateur définit la quantité d'explosif nécessaire pour les trous, alors qu'un mineur donne l'ordre de chargement à la machine avec une télécommande. La machine pompe automatiquement la quantité prévue d'explosif dans le trou de minage, avec une vitesse de chargement d'environ 30 kg/min..

Plans de chargement

Les plans de chargement dépendent de divers facteurs, parmi lesquels on citera les caractéristiques géomécaniques des roches, le type d'explosif ou encore la géométrie du tunnel. Par ailleurs, si la préparation du plan de minage nécessite de solides bases théoriques, l'expérience du concepteur y joue également un rôle fondamental.

La figure 4 illustre des plans de charge et de perforation types. Pour simplifier, seuls deux types de colonnes de

chargement sont utilisées: la première colonne permet d'effectuer les trous de bouchon, les trous d'abattage et les trous de relevage alors que la seconde colonne est utilisée pour les trous de profil.

Pour un diamètre de perforation de 51 mm, la charge de *Emullex B* est de 2,25 kg/m. La haute vitesse de détonation de *Emullex B* ($> 5500 \text{ m/s}$) permet de limiter les quantités d'explosif.

Les expériences faites au St-Gothard montrent que, pour les trous de bouchon, d'abattage ou de relevage, des quantités d'explosif de 0,8 - 1,2 kg/m sont suffisantes, ce qui signifie que le trou de minage contient de l'explosif sur 35 à 55 % de sa longueur. De leur côté, les trous de profil sont remplis avec une charge linéaire d'*Emullex B* correspondant à 10 à 20 % de leur longueur.

Transmission de l'énergie

L'efficacité d'un système d'explosif peut être estimée par la part de l'énergie explosive transmise au rocher environnant:

$$E^* = n_1 \times n_2 \times E$$

avec:

E^* = énergie transmise au rocher

n_1 = coefficient d'influence de l'explosif et du rocher

n_2 = coefficient d'influence du degré de remplissage

E = énergie explosive

Le coefficient n_1 dépend notamment de la densité de la roche et des performances de l'explosif et est obtenu à partir d'essai en laboratoire ou de valeurs tirées d'expérience. Quant au coefficient n_2 , il est fonction des conditions de mise en place de la masse explosive. Il est essentiellement dépendant du vide existant entre le diamètre intérieur du forage et le diamètre extérieur de la masse explosive: moins ce vide est important, plus la valeur de n_2 sera élevée.

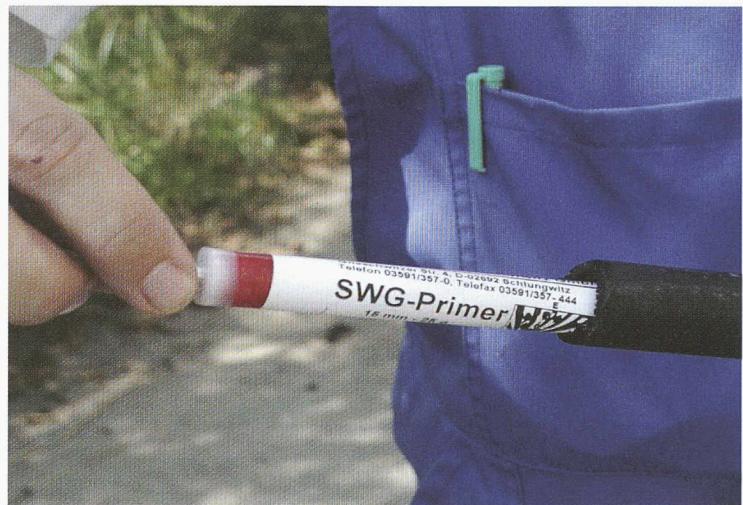
En plus de sa haute vitesse de détonation - qui correspond à la vitesse à laquelle l'explosion se propage dans l'explosif, une vitesse élevée conduisant à une importante force explosive -, un autre avantage de l'*Emullex B* est que la dilatation radiale qui accompagne le mélange des composants (phase de transformation) permet d'atteindre un degré de remplissage des trous de minage proche de 100 %, faisant de la sorte tendre le coefficient n_2 vers une valeur proche de 1. Par rapport à un explosif conventionnel, la transmission de l'énergie explosive au rocher environnant est donc nettement meilleure, ce qui entraîne une diminution de la consommation d'explosif.

Fig. 3: Introduction du détonateur avec SWG-Primer dans la ligne de chargement

Fig. 4a et 4b : Plans types de charge et de perforation

Le diagramme de la figure 5 offre une comparaison de l'énergie transmise au rocher selon que l'explosif est pompé (*Emullex B*) ou mis en place avec de la gelée en cartouches (*Gelamon 40*).

Ces graphiques illustrent le taux d'énergie transmis au rocher en fonction du diamètre des trous de minage. On y observe que la solution pompable (*Emullex B*) présente un taux d'énergie transmise constant d'environ 84 %, alors que ce taux se voit réduit à des valeurs comprises entre 50 et 60 % - selon le diamètre des trous de minage - pour des explosifs en cartouches (*Gelamon 40*). L'irrégularité et les faibles valeurs des taux pour les cartouches s'expliquent par le choix limité des diamètres des cartouches existant sur le marché, qui ne permet pas toujours une optimisation du remplissage qui dépend en outre du diamètre des forages.



3

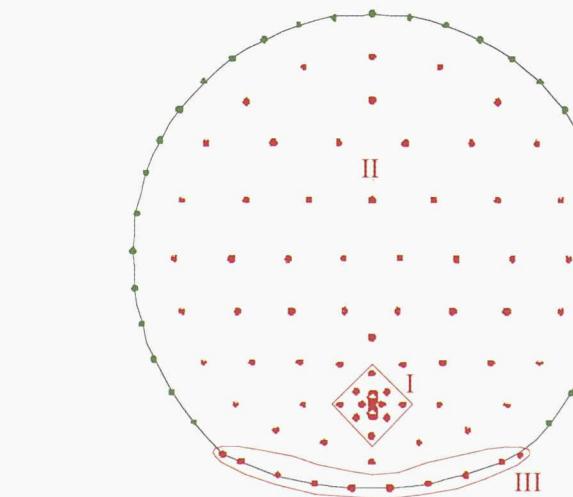
Le système *Emount*

Les matières explosives utilisées par *Explotec SA* pour le système *Emount* utilisé dans le cadre d'*Alptransit* sont les suivants :

- *Indetshock*: Détonateurs non électriques. Série tunnel (TS) avec 30 amores et un retard nominal maximal de 9 000 ms;
- *SWG-Primer*: Booster, petite charge explosive (diamètre = 15 mm, longueur = 135 mm, 22 g de matière explosive) permettant de stabiliser le détonateur à l'intérieur du trou de mine et de rendre optimale la détonation de l'explosif;
- *Detcord*: Cordeau détonnant pour profiler de façon optimale (80 g/m) et pour relier les détonateurs non électriques (12 g/m) en permettant de transmettre la détonation;
- *Emullex B*, qui comprend les trois composants suivants :

1. Matrice de base, à partir de nitrates d'ammonium (env. 70 %)
2. *Gassing 1*, à partir d'acide acétique
3. *Gassing 2*, à partir de nitrate de sodium et de nitrate de calcium

Gassing 1 et *2* sont mélangés à la matrice de base dans une proportion d'environ 2 %. La solution *Emullex B* devient explosive à l'intérieur du trou de mine environ 8 minutes après le mélange de ses trois composants.

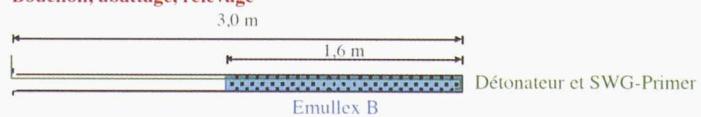


● Bouchon (I), abattage (II), relevage (III)

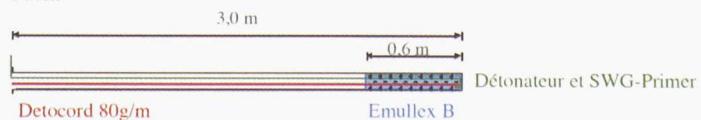
● Profil

4a

Bouchon, abattage, relevage



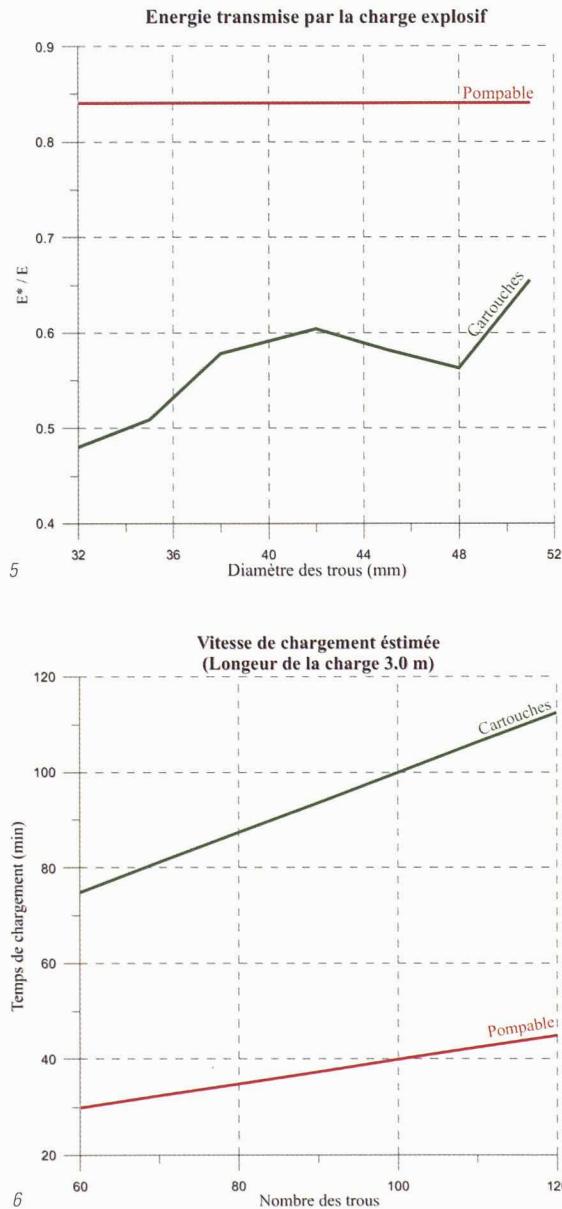
Profil



4b

Fig. 5 : Energie transmise au rocher par de l'explosif pompage (Emullex B) et par de l'explosif en cartouches (Gelamon 40)

Fig. 6 : Vitesse de chargement avec de l'explosif pompage et avec de l'explosif en cartouches (Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)



Vitesse de chargement

Un des éléments capitaux pour le rendement des excavations à l'explosif est la vitesse de chargement, qui correspond au temps nécessaire pour la mise en place des explosifs. La figure 6 illustre la différence entre la vitesse de chargement pour de l'explosif pompage et celle obtenue pour des cartouches d'explosif traditionnelles. Les temps de chargement sont donnés pour une volée de 3,0m, en fonction du nombre de trous à charger : le temps de chargement de l'*Emullex B* est sensiblement inférieur à celui nécessaire pour l'explosif en cartouches, l'écart allant en croissant avec le nombre de trous à remplir.

À signaler que sur le chantier de Faido, avec une équipe bien rodée, des temps de chargement de 20 à 22 minutes par sections ayant 90 à 100 trous ont été atteints, temps sensiblement inférieurs à ceux présentés sur la figure 6.

Conclusions

Les expériences faites dans le cadre des travaux du tunnel de base du St-Gothard confirment que l'emploi d'émulsion liquide est extrêmement avantageux et conduit à de très bons résultats pour les travaux souterrains aux explosifs. Les principaux avantages concernent la technique de pompage, qui permet une grande vitesse de charge, des besoins minimes en personnel et une préparation simplifiée, l'optimisation de l'énergie explosive, par l'intermédiaire d'une haute vitesse de détonation et de l'exploitation effective de tout le volume du trou de mine, et enfin la sécurité, par le transport et le stockage séparés des composants non détonants de l'émulsion.

Andrea Muttoni, géophysicien dipl. EPFZ/SIA
Explotec SA, Industriezone Schächenwald, CH - 6460 Altdorf