

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Herausgeber:** Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)  
**Band:** 64 (1996)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Granulats composés de matériaux extraits par tunnelier  
**Autor:** Hermann, Kurt / Egmond, Bram van  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-146403>

#### **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:** 13.01.2026

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

# Granulats composés de matériaux extraits par tunnelier

**Les matériaux provenant du percement de tunnels peuvent en principe être considérés comme propres à remplacer le gravier alluvial.**

On estime que lors de la construction des nouveaux tronçons du projet d'AlpTransit Gothard entre Arth-Goldau et Lugano, le percement des tunnels produira 35 à 40 millions de tonnes de matériaux [1], dont quelque 24 millions de tonnes pour le tunnel de base du St-Gothard seulement. De telles quantités posent de hautes exigences quant à la gestion des matériaux. Cette gestion est basée sur trois objectifs principaux [2]:

- réutilisation aussi complète que possible des matériaux extraits
- pollution de l'environnement aussi faible que possible
- rentabilité

En ce qui concerne les matériaux d'excavation produits par la tête de forage des tunneliers, cela signifie qu'il faut les valoriser au maximum: il est préférable de les utiliser comme granulats du béton ou comme remplacement de la grave plutôt que comme matériaux de remblai.



Matériaux extraits par tunnelier provenant de la galerie de Polmengo.

Photo: Empa, Dübendorf



Grave provenant du Plateau suisse.

Photo: Empa, Dübendorf

A une époque où les réserves de gravier alluvial exploitables deviennent toujours plus rares en Suisse, les matériaux extraits par tunnelier peuvent prendre une grande importance pour remplacer la grave. Leur aptitude à être utilisés comme granulats doit toutefois être établie de façon probante.

## Géologie et pétrographie

La composition, et donc aussi la qualité des matériaux d'excavation provenant du percement d'un tunnel peuvent varier très rapidement, ce qui est dû à des modifications de la structure géologique des montagnes. Dans la zone centrale des Alpes, une partie des sé-



**Matériaux extraits par tunnelier provenant du Kandertal (largeur de la truelle = 12 cm).**

Photo: Empa, Dübendorf

ries de couches traversées se compose de roche cristalline qui, en ce qui concerne la fabrication du béton, contient des composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises. Citons par exemple les feldspaths frais non altérés, et surtout certains silicates feuilletés, dont les deux principaux représentants sont la biotite (mica noir) et la muscovite (mica blanc).

Les matériaux provenant du percement de tunnels peuvent contenir trois sortes de silicates feuilletés:

- silicates feuilletés dégagés en fractions sable
- silicates feuilletés à la surface des roches
- silicates feuilletés en agrégats

Dans la norme SIA 162/1 [3], les pourcentages de composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises admissibles dans les granulats sont limités (voir tableau 1). On sait cependant par expérience que dans un mélange de grave,

des lamelles de mica dégagées, même représentant moins de 1 % de la masse, peuvent amoindrir de 10 à 30 % la résistance à la compression à 28 jours d'un béton. Des composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises sont toutefois admis dans les bétons > B 30/20 jusqu'à 5 % de la masse. C'est pourquoi il est dangereux de reprendre sans contrôle préalable les valeurs limites figurant dans le tableau 1. La teneur en composants non appropriés est de toute façon fréquemment déterminée sous le binoculaire en % du nombre de grains, ce qui est beaucoup moins coûteux que de la déterminer en % de la masse.

Lors d'analyses prospectives des matériaux qui proviendront du per-

cement des tunnels d'AlpTransit, c'est principalement dans la fraction sable fin que l'on a trouvé les silicates feuilletés dégagés. Si l'on procède de façon appropriée, le lavage pendant la préparation des matériaux extraits par tunnelier permet de considérablement réduire la teneur en mica.

### Béton fabriqué avec des matériaux extraits par tunnelier

Les matériaux extraits par tunnelier ne répondent pas à certaines des exigences des normes SIA et SN (forme du grain, composition granulométrique, teneur en composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises, etc.). Une préparation adéquate permettrait d'en tirer une grave répondant mieux aux normes, mais elle coûterait cher et entraînerait des pertes élevées. En ce qui concerne les offices compétents d'AlpTransit, ils défendent le principe de la performance: ce qui doit être défini en premier lieu n'est pas la composition précise d'une grave ou d'un béton, mais ses propriétés et qualités. Cette philosophie

Béton	Pourcentage admissible de composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises	Pourcentage de composants non appropriés exigeant le contrôle des propriétés du béton durci
≥ B 30/20	5% de la masse	5 à 10% de la masse
B 25/15 B 20/10	10% de la masse	10 à 15% de la masse

Tab. 1 Exigences quant aux qualités pétrographiques auxquelles doivent répondre les granulats pour des bétons normalisés selon norme SIA 162/1 [3].

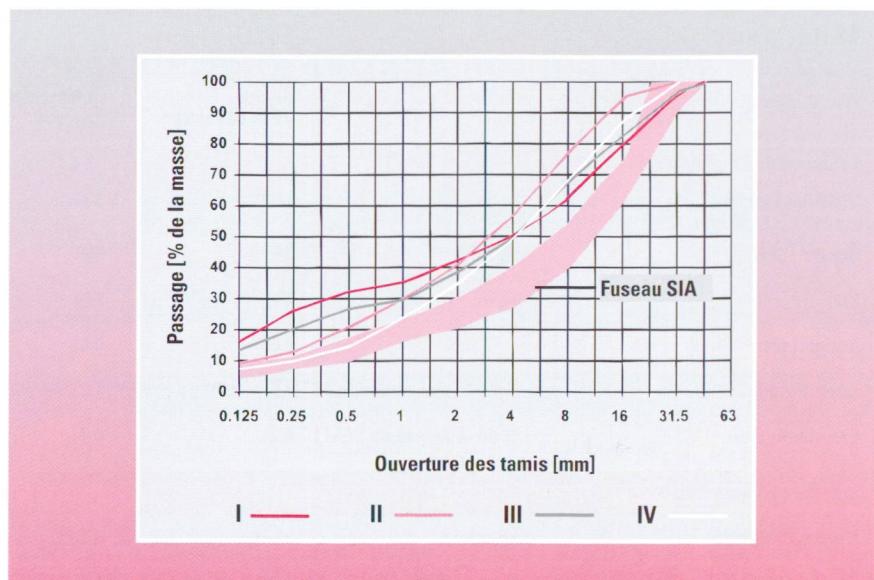


Fig. 1 Composition granulométrique des matériaux extraits par tunnelier I à IV (voir texte) [5].

est aussi compatible avec la norme SIA 162 [4] actuellement en vigueur, qui a fait ses preuves lors de la mise en œuvre de gravier roulé. Les concassés et autres matériaux non conformes peuvent être utilisés comme granulats, à condition que leur convenance soit contrôlée au moyen d'essais préliminaires. Il est fait largement usage de cette possibilité lors de l'utilisation de matériaux extraits par tunnelier.

### Béton fabriqué avec des matériaux extraits par tunnelier «bruts»

Pour une série d'essais à l'Empa de Dübendorf [5], on a utilisé quatre sortes de matériaux extraits par tunnelier, qui provenaient de travaux

préparatoires pour les NLFA (Nouvelles lignes ferroviaires alpines) et d'une exploitation souterraine dans le Kandertal (*tableau 2*). Le but principal de ces essais était de fabriquer avec ces granulats des bétons B 30/20 facilement pompables. Pour ces essais, on a sorti les composants > 32 et > 40 mm des matériaux extraits par tunnelier. Le reste de ces matériaux a été utilisé tel quel. Leur pourcentage de sable est nettement plus élevé que celui de la grave alluviale suisse (voir courbes

granulométriques de la *figure 1*). Les matériaux extraits par tunnelier se caractérisent par un fort pourcentage de grains non cubiques et, en vrac, par une teneur élevée en vides (*tableau 2*).

L'importante teneur en vides exige des dosages en ciment et adjuvants beaucoup plus élevés que pour les bétons fabriqués avec du gravier alluvial (*tableau 3*). On a fabriqué à chacun des essais 6–8 m<sup>3</sup> de béton, que l'on a transportés environ 15 minutes dans un camion bétonnière, puis coulés dans le coffrage au moyen d'une pompe. Les propriétés du béton frais et du béton durci en ayant résulté figurent également dans le *tableau 3*.

Le vidage des silos remplis de ces matériaux humides ne s'est pas fait sans peine, et a exigé parfois un important travail manuel. Les autres étapes de mise en œuvre n'ont pas posé de problèmes. Les principaux résultats de cette série d'essais sont les suivants:

- On a obtenu des bétons préparés sur le chantier facilement ouvrables; sauf avec l'essai IV, la classe

Désignation	Provenance	Teneur en vides % en volume	Pourcentage de grains non cubiques (fraction 8–16 mm) % du nombre de grains
I Gneiss de la Leventine	Galerie de sondage de Polmengo Mètres de tunnel: 387...390 m	36,6	74
II Schiste calcaire argileux	Zone du Kandertal	42,1	76
III Gneiss à biotite de la zone du Lukmanier, schisteux, légèrement porphyrique	Galerie de sondage de Polmengo Mètres de tunnel: 4600	37,2	77
IV Schiste ardoisier	Galerie de sondage de Frutigen Tronçon 100...1500 m	42,3	65

Tab. 2 Matériaux extraits par tunnelier, utilisés autant que possible tels quels pour la fabrication de béton [5].

Matériaux		Essai			
		I Gneiss de la Leventine	II Schiste calcaire argileux	III Gneiss à biotite	IV Schiste ardoisier
<b>Formules de béton</b>					
Matériaux extraits par tunnelier (secs) 0-32 / 40 mm	kg/m <sup>3</sup>	1680	1660	1630	1610
Ciment (CEM I)	kg/m <sup>3</sup>	380	380	385	390
Eau	kg/m <sup>3</sup>	239	230	235	250
Rapport e/c		0,63	0,61	0,61	0,64
Superfluidifiant	% de la masse de CEM I	1,5	1,2	1,5	1,4
Entraîneur d'air	% de la masse de CEM I	0,2	0,4	0,25	0,3
<b>Valeurs du béton frais</b>					
Massé volumique	kg/m <sup>3</sup>	2219	2252	2312	2239
Teneur en air	% en volume	4,8	3,3	2,4	3,8
Degré de compactabilité		1,26	1,13	1,14	1,25
Étalement	mm	360	390	340	370
Teneur en eau du béton frais	kg/m <sup>3</sup>	240	249	235	260
Rapport e/c		0,63	0,66	0,61	0,67
<b>Valeurs du béton durci</b>					
Résistance à la compression $f_c$ , âge de 28 jours	N/mm <sup>2</sup>	30,5	34,4	37,1	23,9
Module d'élasticité, âge de 28 jours	N/mm <sup>2</sup>	13 500	19 700	17 800	11 800
Perméabilité à l'eau	g/m <sup>2</sup> h	19	23	17	25
Coefficient de retrait <sup>1)</sup> à 28 jours	%	0,47	0,52	0,24	0,90
Teneur en air LP, couche extérieure	% en volume	5,71	1,80	2,41	4,28
Résistance au gel, couche extérieure LP / n – $U_{kr} = FS$		1,5...1,7	0,5...1,1	1,1...1,2	1,2...1,5
Evaluation		élevée	faible à moyenne	moyenne	moyenne à élevée
Résistance aux fondants chimiques $\Delta m_{30}$	g/m <sup>2</sup>	700...4400	14 500	8400	9100 <sup>2)</sup>
Evaluation		moyenne à faible	faible	faible	faible

<sup>1)</sup> sur éprouvettes confectionnées séparément, à 20 °C/70 % hum. rel.

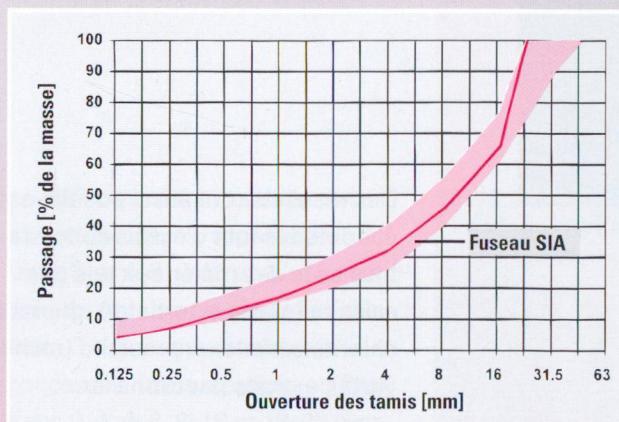
<sup>2)</sup> après 20 cycles de gel/dégel

Tab. 3 Formules de béton, valeurs du béton frais et du béton durci pour des bétons fabriqués avec des matériaux extraits par tunnelier utilisés tels quels [5].

- de résistance B 30/20 recherchée a toujours été obtenue.
- Pour une même résistance, les modules E ne se sont élevés qu'à environ 50 % des valeurs obtenues avec des granulats provenant du Plateau suisse.
  - Les déformations dues au retrait ont été en partie nettement plus importantes qu'avec un béton «normal» (causes: modules E plus bas et pourcentages de pâte de ciment durcie plus élevés).
  - L'effet des entraîneurs d'air a varié en fonction de la nature des granulats.
  - La résistance au gel a été de moyenne à élevée, la résistance aux fondants chimiques de faible à moyenne seulement.
- Il ressort de ce qui précède qu'il est possible de fabriquer des bétons B 30/20 pouvant être préparés sur le chantier avec des «chips» extraits par tunnelier non traités. Le schiste ardoisier fait exception (essai IV), et ne s'y prête que sous réserve. Le béton B 30/20 étant suffisant pour la plupart des utilisations dans le bâtiment, il existe ici une possibilité de remplacer le coûteux gravier alluvial par des matériaux extraits par tunnelier.

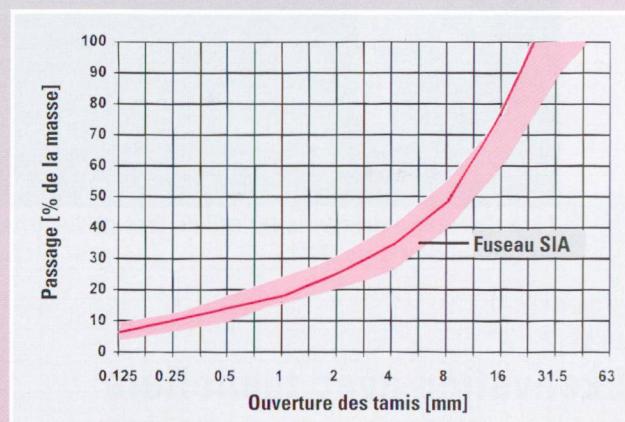
## Bétons fabriqués avec des matériaux extraits par tunnelier

Granit de l'Aar



Courbe granulométrique des matériaux extraits par tunnelier utilisés

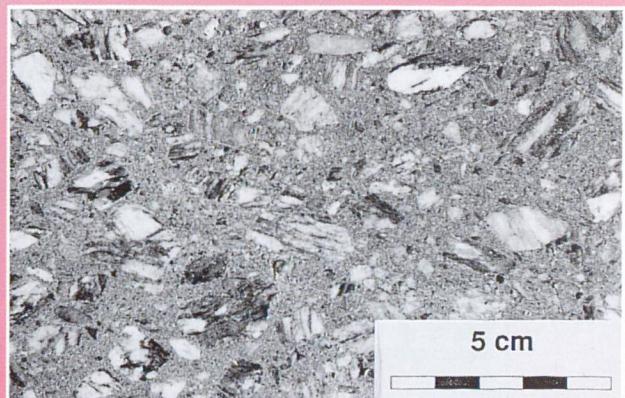
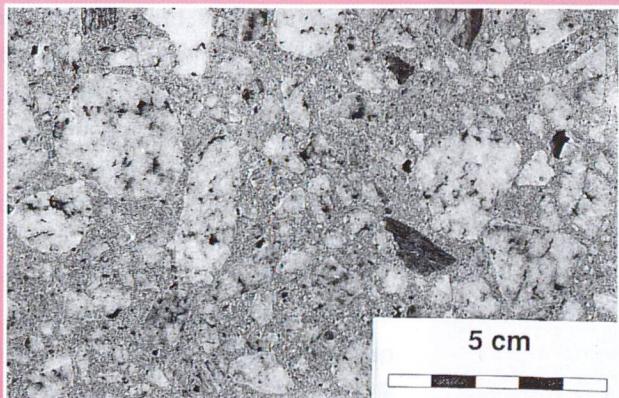
Gneiss de la Leventine

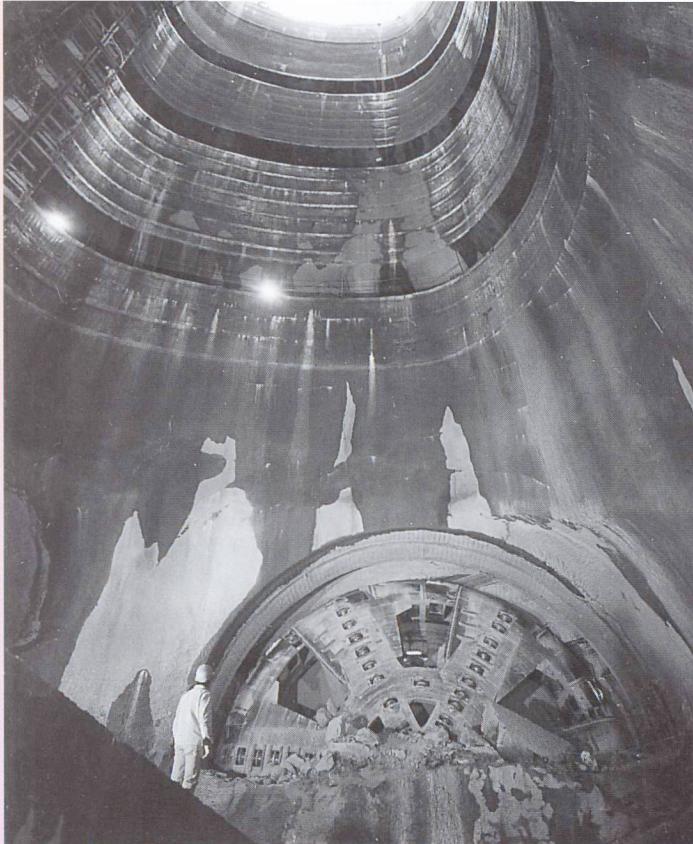


Courbe granulométrique des matériaux extraits par tunnelier utilisés

Teneur en ciment	320 kg/m <sup>3</sup>
HBV	1,0% de la masse de CEM I
LP	0,04% de la masse de CEM I
Rapport e/c	0,50
Teneur en air	6,0% en volume
Degré de compactabilité	1,13
Etalement	400 mm
Résistance à la compression	47 N/mm <sup>2</sup>

Teneur en ciment	350 kg/m <sup>3</sup>
HBV	1,2% de la masse de CEM I
LP	0,06% de la masse de CEM I
Rapport e/c	0,50
Teneur en air	4,8% en volume
Degré de compactabilité	1,16
Etalement	370 mm
Résistance à la compression	40 N/mm <sup>2</sup>





**Tête de forage du tunnelier utilisé lors de la construction du tunnel de Pomy (N1).**

Photo: CPT / C. Cuendet, Clarens

## Excavation avec tunneliers

La tête de forage d'un tunnelier pleine section est équipée de nombreux outils de coupe disquoides (molettes) espacés d'environ 60 à 85 cm. La tête de forage pénètre dans la roche de 2 à 10 mm par tour de roue du tunnelier. Une pression allant jusqu'à 25 t est exercée sur chaque outil, lesquels roulent en cercles concentriques autour de l'axe de rotation de la tête de forage.

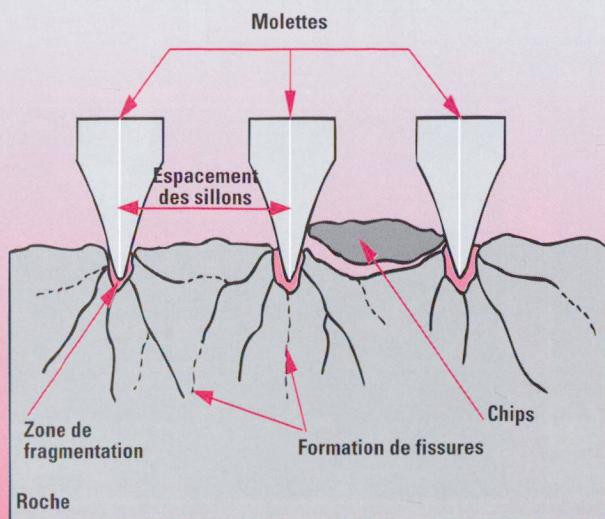
Au point de contact, l'outil pulvérise la roche et creuse un sillon; en outre, des fissures radiales se forment à la surface (voir schéma ci-dessous). Lorsque les fissures de deux sillons se rejoignent, la roche éclate sous forme de «chips». Avant la formation de ces chips, des fragments de roche plus importants peuvent se détacher; en particulier dans les roches anisotropes (roches crevassées, zones disloquées, surfaces de discontinuité), des blocs nettement plus grands peuvent se produire (leur dimension maximale dépasse parfois 500 mm).

Les chips produits par les tunneliers actuels ont 100 à 300 mm de longueur, 55 à 70 mm de largeur et 15 à 25 mm d'épaisseur. Leur dimension maximale dépend de nombreux facteurs, mais c'est l'espacement des sillons qui est déterminant.

Sources: [9, 10]

### Formation de chips avec les tunneliers modernes selon [9].

Dessin: TFB / S. Einfalt, ZSD



Des résultats tout aussi positifs ont été obtenus lors d'essais comparables avec des matériaux tels que calcaire (malm et tertiaire), gneiss à chlorite-séricite ou prasinite (roche verte), extraits par tunnelier.

### Béton fabriqué avec des matériaux extraits par tunnelier «améliorés»

Les matériaux extraits par tunnelier se caractérisent par un pourcentage élevé de sable et de composants non cubiques, ainsi que par un pourcentage relativement élevé de composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises dans la fraction fine. On peut augmenter la quantité de composants cubiques en concassant les matériaux avec ménagement dans un broyeur à chocs ou un concasseur vertical. Les constituants nuisibles (lamelles de mica) se trouvant principalement dans la fraction sable < 0,5 mm, ils sont éliminés, au moins partiellement, lors des opérations de lavage. Avec des matériaux provenant de la galerie de Polmengo et d'une zone de gneiss d'Erstfeld, on a mis au point des essais permettant d'améliorer plus ou moins fortement la qualité des granulats [1]:

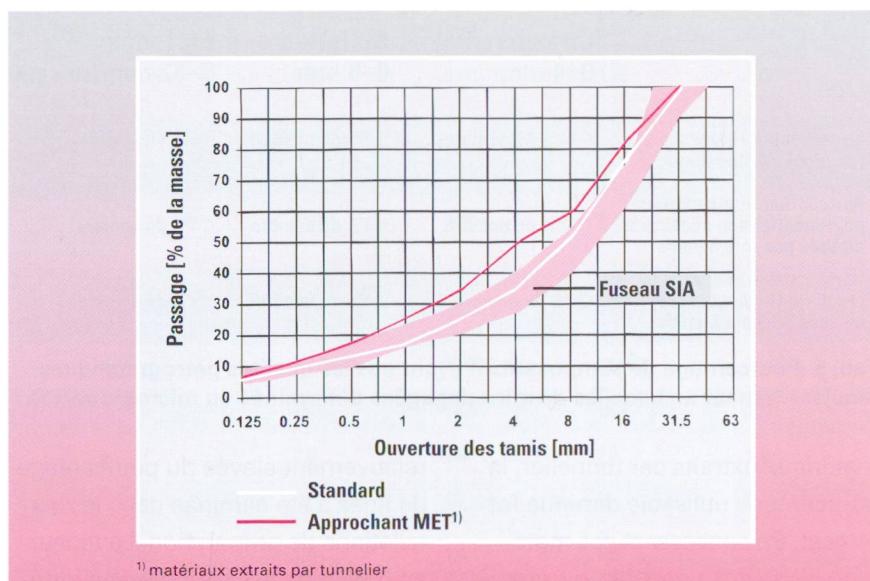
- sorte 1 = matériaux bruts non traités, dont les composants  $\geq 32$  ou  $\geq 40$  mm ont été sortis

- sorte 2 = graviers et sables non concassés, lavés, séparés en fractions 0–4, 4–8, 8–16 et 16–32 mm, puis de nouveau mélangés
- sorte 3 = graviers et sables concassés, lavés, séparés en fractions 0–4, 4–8, 8–16 et 16–32 mm, puis de nouveau mélangés

Pour les sortes 2 et 3, on a composé des mélanges de grave dont les courbes granulométriques se situaient dans le fuseau SIA pour les uns, et au-dessus du fuseau SIA (à grains plus fins) pour les autres (figure 2).

Les matériaux d'excavation de la galerie de Polmengo utilisés pour les essais se composent d'un gneiss de la Leventine légèrement micacé, que le percement du lot sud du tunnel de base du St-Gothard fournira en grandes quantités. Des feldspaths (40–45 % du volume), du quartz (30–35 % du volume) et du mica (muscovite et biotite; 0–15 % du volume) en sont les principaux constituants. Les essais analogues effectués avec un gneiss à chlorite-séricite/schiste provenant de la zone géologique du gneiss d'Erstfeld ne sont pas décrits ici.

Le tableau 4 donne des indications sur la forme du grain des matériaux extraits par tunnelier. Il permet de constater que le pourcentage de composants non cubiques diminue



<sup>1)</sup> matériaux extraits par tunnelier

Fig. 2 Courbes granulométriques des granulats pour essais de bétonnage avec des matériaux extraits par tunnelier «améliorés» (modifié, selon [1]).

fortement lorsque ces matériaux sont concassés avec ménagement avec des broyeurs à chocs et des concasseurs verticaux (la teneur en vides ne change en revanche que peu). L'inconvénient est que le pour-

centage de fraction 16–32 mm est relativement faible. C'est pourquoi lorsque des granulats du béton 0–32 mm, avec une courbe granulométrique se situant dans le fuseau SIA, se composent exclusivement de

	Fraction 4–8 mm	Fraction 8–16 mm	Fraction 16–32 mm
Chips extraits par tunnelier non concassés (sortes 1 et 2)	63–70%	72–85%	79–96%
Chips extraits par tunnelier concassés (sortes 3)	26–57%	26–63%	31–75%

Tab. 4 Pourcentage de composants non cubiques, déterminés selon SN 670 710 d (voir [7, 8]), dans les granulats utilisés pour les essais [1].

	<b>Composants 0–4 mm</b>	<b>Mélange 0–8 mm</b>	<b>Mélange 0–32 mm selon SIA</b>
<b>Sorte 1: matériaux extraits par tunnelier non lavés</b>	$\leq 14\%$ du nombre	$\leq 9\%$ du nombre	$\leq 5\%$ du nombre
<b>Sorte 2: matériaux extraits par tunnelier non concassés, classés par voie humide</b>	$\leq 12\%$ du nombre	$\leq 8\%$ du nombre	$\leq 4\%$ du nombre
<b>Sorte 3: matériaux extraits par tunnelier concassés, classés par voie humide</b>	$\leq 9\%$ du nombre	$\leq 4\%$ du nombre	$\leq 2\%$ du nombre

Tab. 5 Pourcentage de composants n'ayant pas les qualités pétrographiques requises (teneur en lamelles de mica dégagées déterminée au microscope) [1].

matériaux extraits par tunnelier, le pourcentage utilisable diminue fortement. En concassant ces matériaux de façon à obtenir un grain maximal de 26 mm seulement, on peut augmenter le pourcentage des composants cubiques désirés. Les silicates feuilletés, qui n'ont pas les qualités pétrographiques requises, se trouvaient principalement dans les fractions sable des matériaux extraits par tunnelier. Une part

relativement élevée du pourcentage de fines a été éliminée dans les installations de préparation. La teneur en mica s'en est ainsi trouvée fortement diminuée (tableau 5) avec, simultanément, une diminution de la teneur en fines (12–15 % de la masse dans la fraction sable 0–4 mm); elle n'a pas été augmentée par l'apport de matériaux étrangers. Le dosage en ciment a été choisi en fonction de la teneur en vides relati-

vement élevée. La quantité minimale de ciment de 330 kg/m<sup>3</sup>, valable pour le pompage de concassé, a été nettement dépassée. Les entraîneurs d'air utilisés ont amélioré aussi bien la résistance au gel que l'ouvrabilité. Un choix de formules de béton appropriées, ainsi que les valeurs du béton frais et du béton durci pour des granulats composés de gneiss de la Leventine, figurent dans le tableau 6. Des résultats comparables ont été obtenus également avec le gneiss à chlorite-sérice/schiste.

Tous les matériaux analysés ont permis la fabrication d'un béton de bonne ouvrabilité. Avec l'utilisation de granulats préparés, le rapport e/c était d'environ 0,5. On peut conclure des essais effectués avec des matériaux préparés (mélanges B à E, tableau 6), qu'il est possible de fabriquer des bétons des classes de ré-

## Bibliographie

- [1] Kruse, M., et Weber, R., «Beton aus TBM-Ausbruchmaterial – Aufbereitungs- und Betonversuche im Hinblick auf AlpTransit Gotthard», Die Schweizer Baustoff-Industrie **1995** [8], 26–30, resp. Schweizer Ingenieur und Architekt **1995** [47], 1082–1086 (1995).
- [2] Zbinden, P., et Hitz, A., «Die Materialbewirtschaftung beim Projekt AlpTransit Gotthard», Schweizer Ingenieur und Architekt **1995** [47], 1080–1081 (1995).
- [3] Norme SIA 162/1: «Ouvrages en béton – Essais des matériaux», édition 1989.
- [4] Norme SIA 162: «Ouvrages en béton», édition 1989 (rév. 1993).
- [5] Olbrecht, H.P., et Studer, W., «Kiessubstitution durch Tunnelausbruchmaterial», Die Schweizer Baustoff-Industrie **1995** [8], 32–35.
- [6] Olbrecht, H.P., et Studer, W., «Beton aus TBM-Chips», Schweizer Ingenieur und Architekt **1995** [47], 1087–1090 (1995).
- [7] Norme SN 670710 d: «Sables, graviers, gravillons et pierres concassées pour revêtements – Prescriptions de qualité», édition octobre 1988.
- [8] van Egmond, B., et Hermann, K., «Les granulats», Bulletin du ciment **64** [7/8], 3–11 (1996).
- [9] Thalmann, C., «Optimale Wiederverwertung von TBM-Ausbruchmaterial», Schweizer Ingenieur und Architekt **1995** [47], 1091–1096 (1995).
- [10] Thalmann, C., «Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem konventionellen und maschinellen Tunnelvortrieb zu Kiesersatzprodukten – eine Herausforderung an die Kieswerke», Die Schweizer Baustoff-Industrie **1994** [6], 24–32.

Granulats		Sorte 1: MET <sup>1)</sup> bruts	Sorte 2: MET <sup>1)</sup> non concassés, classés par voie humide		Sorte 3: MET <sup>1)</sup> concassés, classés par voie humide	
Courbe granulométrique (voir fig. 2)		non classés, source [6]	approchant MET	selon fuseau SIA	approchant MET	selon fuseau SIA
Masse volumique à l'état sec	kg/m <sup>3</sup>	1609–1713	1696–1757	1636–1753	1768–1817	1600–1784
Teneur en vides à l'état sec	% en volume	36–39	37–43	33–40	33–44	33–41
Mélange		A	B	C	D	E
Granulats secs	kg/m <sup>3</sup>	1680	1750	1800	1780	1800
Ciment (CEM I)	kg/m <sup>3</sup>	380	330	350	330	330
Superfluidifiant	% de la masse de CEM I	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Entraîneur d'air	% de la masse de CEM I	0,20	0,15	0,15	0,20	0,15
Rapport e/c	–	0,63	0,54	0,50	0,55	0,50
Valeurs du béton frais						
Degré de compactabilité	–	1,08	1,11	1,12	1,15	1,13
Etalement	mm	–	320	360	390	430
Valeurs du béton durci						
Résistance à la compression à 28 jours	N/mm <sup>2</sup>	30,5	50,1	54,6	45,3	51,1
Module d'élasticité à 28 jours	N/mm <sup>2</sup>	–	23 200	23 600	23 400	24 600
Porosité totale	% en volume	–	15,9	14,3	15,8	13,0
Pourcentage d'air n – U <sub>E</sub>	% en volume	–	2,0	1,6	2,0	1,8
Perméabilité à l'eau	g/m <sup>2</sup> h	19	12	10	15	8
Résistance au gel	–	ca. 1,6 élevée	1,4 moyenne	1,4 moyenne	1,5 élevée	1,6 élevée
Résistance aux fondants chimiques Δm <sub>30</sub>	g/m <sub>2</sub>	≤ 4400 moyenne à faible	100 élevée	60 élevée	400 élevée	30 élevée
Retrait à 91 jours	%	–	–	–	0,39	–

<sup>1)</sup> matériaux extraits par tunnelier

Tab. 6 Mélanges pour béton sélectionnés avec propriétés du béton frais et du béton durci s'y rapportant selon SIA 162/1 [1].

sistance B 40/30 à B 45/35, témoignant de faibles perméabilités à l'eau ( $q_w < 12 \text{ g/m}^2\text{h}$  est tenu pour étanche à l'eau) ainsi que de résistances au gel et aux fondants chimiques moyennes à élevées. Comme lors d'autres analyses déjà, on a mesuré des modules E quelque 40 % plus bas que ceux obtenus avec un béton plastique comparable fabriqué avec des granulats alluviaux provenant du Plateau.

### Perspectives réjouissantes

Les analyses dont il est ici question prouvent que les matériaux extraits par tunnelier permettent de fabriquer un béton répondant à différentes exigences. Plus les exigences sont élevées, plus il faut traiter les matériaux d'excavation et plus il faut prendre de mesures en matière de technologie du béton. Le fait qu'il suffise de sortir les composants de grain d'un diamètre de

plus de 32 mm pour pouvoir préparer des granulats permettant de fabriquer un béton préparé sur le chantier de la classe de résistance B 30/20 ouvre de réjouissantes perspectives: les matériaux extraits par tunnelier peuvent en principe être considérés comme propres à remplacer le gravier alluvial.

Bram van Egmond et  
Kurt Hermann, TFB