

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 130 (2004)
Heft: 06: Roches en AlpTransit

Artikel: Exigences s'appliquant aux granulats à béton
Autor: Thalmann, Cédric
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99290>

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: 30.06.2025

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

Exigences s'appliquant aux granulats à béton

TUNNELS

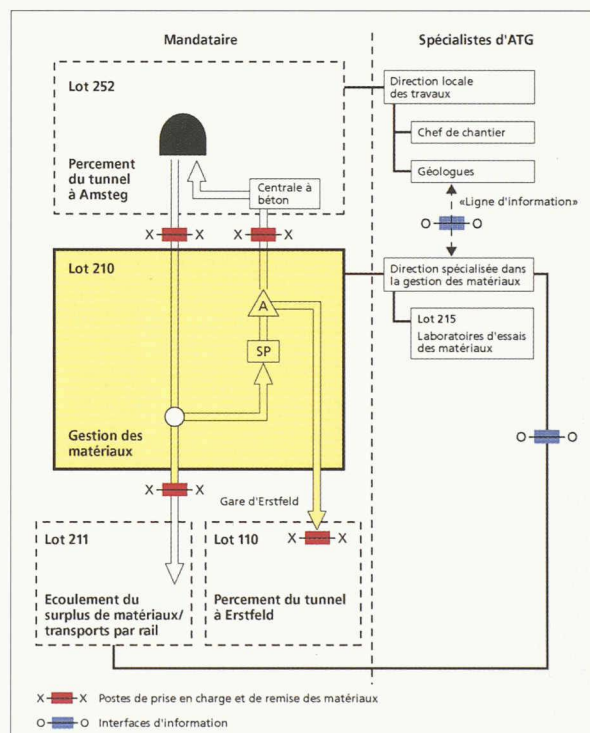
Sur les nouvelles transversales alpines (NLFA), la construction des tunnels fait principalement appel à du béton confectionné avec des granulats issus des matériaux excavés au front de taille. Pour le maître de l'ouvrage, ce procédé se justifie à la fois sur le plan économique - il est plus avantageux de préparer les granulats soi-même que de faire venir des sables et graviers de l'extérieur - et par l'obligation écologique de réutiliser un maximum de matériaux excavés, afin de ménager les ressources en gravier et les capacités des décharges de la région. Cela étant, les matériaux d'excavation qui servent à fabriquer les granulats sont un produit naturel, dont la qualité varie plus ou moins largement selon la lithologie rencontrée. C'est pourquoi la sélection et le maintien de la qualité revêtent une importance particulière lorsqu'on recourt à cette matière première.

Responsabilités et interfaces dans la production des granulats

La confection de béton à projeter et de béton à couler avec des matériaux excavés dans le tunnel repose essentiellement sur trois piliers:

- une sélection judicieuse des matériaux bruts (tri des matériaux);
- une technique de préparation optimisée en fonction des matériaux bruts;
- la maîtrise de la fabrication et de la mise en œuvre de béton comprenant des granulats concassés.

La figure 1 présente les interfaces et les responsabilités relatives à la gestion des matériaux. En principe, chaque intervenant est responsable du produit qu'il livre ou qu'il fabrique. Le maître de l'ouvrage assume par conséquent la responsabilité principale pour la sélection des matériaux bruts en qualité de propriétaire des matériaux d'excavation. En ce qui concerne les granulats, la responsabilité passe aux entreprises mandatées pour la construction du tunnel et à leurs fournisseurs de béton.



Exigences s'appliquant aux matériaux bruts et aux granulats

La délimitation des responsabilités implique qu'on soumette la sélection et la remise des matériaux à des critères objectifs à chaque interface du processus de livraison et de production des granulats. Ces interfaces comprennent d'une part la sélection des matériaux bruts qui seront utilisés dans les préparations (tri des matériaux) et d'autre part la remise des granulats préparés à l'entreprise chargée de la construction du tunnel.

Les matériaux bruts sont classés en trois classes de qualité:

- A : matériaux d'excavation appropriés pour la production de granulats à béton,
- B : matériaux d'excavation non appropriés pour la production de granulats à béton,
- Z : matériaux d'excavation pollués (contaminés par de l'huile ou d'autres substances).

Fig. 1 : Concept de gestion des matériaux d'AlpTransit Gothard (ATG) à l'exemple du tronçon d'Amsteg (SP = stockage provisoire; A = dépôt de matériaux bruts de qualité A)

Tableau A : Critères de tri concernant la dureté de la roche

Tableau B : Critères de tri concernant la pétrographie

A

Type d'essai	Norme d'essai	Indicateur à vérifier	Mesures effectives dans le tube Est à Amsteg (env. 1,3 km)	Remarques	Intervalle entre les tests pour le contrôle courant de la qualité
Indice de broyabilité	AFNOR P 18-579 (procédure modifiée pour les matériaux extraits au tunnelier)	≤ 70 [-] ≤ 75 [-]	48,9 (28,3 - 80,0); N: 27	Valeur indicative Critère obligatoire (si valeur = 70-75: effectuer un essai I_{S50})	Tous les 15 mt (mt = mètres de tunnel)
Indice de résistance au poinçonnement I_{S50}	ISRM 1985 (procédure modifiée pour les matériaux extraits au tunnelier)	I_{S50} parallèle: $\geq 2,5$ [N/mm ²] I_{S50} isotrope: $\geq 3,5$ [N/mm ²]	3,4 (2,6 - 4,1 [N/mm ²]); N: 7 7,4 (5,8 - 9,0 [N/mm ²]); N: 6	Valeur indicative Valeur indicative	Tous les 75 mt

B

Type d'essai	Norme d'essai	Indicateur à vérifier	Mesures effectives dans le tube Est à Amsteg (env. 1,3 km)	Remarques	Intervalle entre les tests pour le contrôle courant de la qualité
Pétrographie à l'échelle macroscopique		Si teneur en phyllosilicates $\leq \approx 20$ [% des pces]; pétrographie: e. o.		Evaluation visuelle sommaire en galerie	Contrôle journalier par le géologue du tunnel et la DSGM (dir. spéc. gestion des mat.)
Pétrographie à l'échelle microscopique (lames minces)		-		Description minéralogique; degré d'altération; risque de RAG	Tous les 150 mt
Composants inadéquats au plan pétrographique: fractions 1/4, 4/22, 22/128mm (sauf phyllosilicates libres)	(Selon définition AlpTransit, par référence à la norme SIA 162/1)	≤ 5 [% pondéraux]	1/4mm: 0,9% (0-2,8%); N: 4 4/22mm: 1,2% (0,2-2,8%); N: 4 22/128mm: 0,3% (0-1,7%); N: 5	Valeur indicative	Tous les 150 mt
Phyllosilicates libres* dans le sable brut (0,25/0,50mm)	(Selon définition AlpTransit)	≤ 40 [% des pièces]	2,9% (0,4 - 5,5%); N: 4	Valeur indicative	Tous les 150 mt
Réactivité potentielle aux alcalins (RAG)	AFNOR P18-588	Considéré non réactif si expansion $\leq 0,11\%$ Réactivité maximale admise: exp. $\leq 0,20\%$	0,080%; N: 1	Si expansion $> 0,11\%$ et $\leq 0,20\%$: utilisation dans un béton de formulation plus stable vis-à-vis des RAG	Tous les 250 à 500 mt (en fonction de la réactivité des matériaux bruts)

* phyllosilicates libres: phyllosilicates dégagés de la roche, non inclus dans celle-ci

Pour s'assurer que les objectifs assignés à la gestion des matériaux soient atteints, le maître de l'ouvrage a institué une « Direction spécialisée dans la gestion des matériaux » appelée à seconder la direction des travaux (fig. 1). La qualité des matériaux bruts est appréciée une première fois au front de taille, en étroite collaboration avec le géologue de la direction locale des travaux.

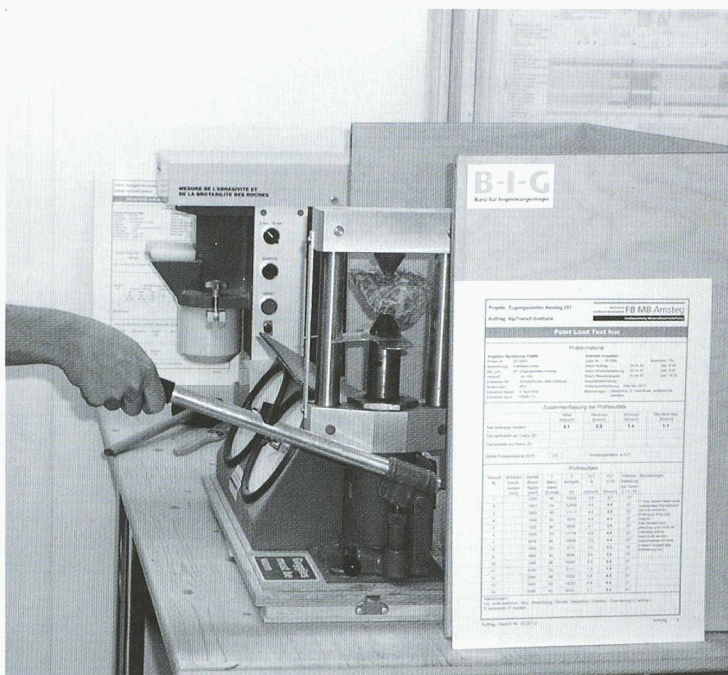
La direction spécialisée dispose de deux laboratoires pour contrôler les caractéristiques des matériaux. Un laboratoire

externe (lot 215, fig. 1) est chargé des contrôles de routine, qui sont effectués à intervalles réguliers (tableaux A à C). Les données recueillies servent à documenter la qualité des matériaux excavés et des grains minéraux préparés. Pour effectuer les essais urgents, la direction spécialisée dispose de son propre laboratoire de chantier au portail du tunnel (fig. 2). Il permet d'appréhender et d'évaluer sur place, en l'espace de quelques heures, les variations inattendues de la qualité des matériaux excavés.

Fig. 2 : Laboratoire de chantier destiné à contrôler la qualité de la roche et des grains minéraux préparés (au premier plan: appareillage pour les essais de résistance au poinçonnement; en arrière-plan: appareillage pour tester la broyabilité et l'abrasivité des matériaux)

Tableau C : Plan de contrôle des grains minéraux

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)



La procédure appliquée par *AlpTransit Gothard SA* pour contrôler la qualité des matériaux rocheux se base sur les résultats de la thèse de doctorat de l'auteur [5]¹. Sur le plan normatif, elle se conforme en premier lieu aux spécifications de l'euronorme concernant les granulats pour béton (EN 12620). Les normes suisses sont prises en compte dans la mesure où elles sont applicables au sable concassé et au gravillon issus des matériaux excavés. Le choix de la méthode repose essentiellement sur la possibilité d'effectuer le contrôle de la qualité sur les matériaux bruts, sans attendre leur traitement. C'est pourquoi il a fallu faire appel à différentes procédures d'essai étrangères. Contrairement au cas des graviers du Moyen-Pays, qui ont subi un processus de tri naturel, les essais physiques (dureté de la roche) et pétrographiques revêtent une importance particulière pour les granulats produits selon la méthode appliquée ici.

Critères de sélection des matériaux bruts

Les exigences et les valeurs indicatives applicables aux matériaux bruts sont fixées de façon à obtenir des granulats appropriés pour confectionner du béton de classe de résistance B40/30 (en admettant qu'on utilise ensuite une technique de préparation adaptée aux matériaux). Les paramètres déterminants pour le tri sont :

- la dureté de la roche (critères décrits dans le **tableau A**)
- la pétrographie (critères décrits dans le **tableau B**).

¹ Les chiffres entre crochets renvoient aux références données en fin d'article.

Exigences de qualité relatives aux granulats

Les exigences et les valeurs indicatives applicables aux granulats préparés et prêts à être livrés doivent garantir que l'entreprise chargée de la construction du tunnel puisse assumer ses responsabilités en ce qui concerne la fabrication des types de bétons susceptibles d'être commandés.

Dans l'accord portant sur la qualité passé entre le mandant et le mandataire (entreprise chargée de la construction du tunnel), il y a lieu de stipuler que le maître de l'ouvrage a parfaitement satisfait à ses obligations en tant que fournisseur de matériaux s'il a respecté les exigences formulées à l'endroit de la qualité des matériaux. Les critères de remise des matériaux, définis dans le **tableau C**, découlent de ces dispositions.

Le non-respect des valeurs indicatives ne signifie pas forcément que le béton ne pourra satisfaire aux objectifs de qualité prescrits. Le cas échéant, il y a cependant lieu d'étudier l'incidence des valeurs excessives sur les propriétés du béton frais et du béton durci en procédant à des essais de préparation et en contrôlant si le béton obtenu se prête bien à l'usage auquel il est destiné.

Traitement du problème des réactions alcalis-granulats (RAG)

Sur le tronçon d'Amsteg, on s'attend à ce qu'environ la moitié des matériaux bruts adéquats soient éventuellement sensibles aux réactions alcalis-granulats. Cependant, on y utilise également des granulats modérément réactifs aux alcalins pour fabriquer le béton, en se basant sur les connaissances récemment intégrées dans les normes et recommandations françaises et canadiennes concernant les RAG [2, 3, 4, 6]. Les mesures suivantes ont été prises sur le tronçon d'Amsteg pour maîtriser ce phénomène :

- contrôle permanent de la réactivité aux alcalins des matériaux bruts et des granulats,
- mise à l'écart des matériaux rocheux très réactifs (expansion > 0,02% à l'essai microbar),
- mise en œuvre de formulations résistantes vis-à-vis des RAG pour le béton,
- application d'étanchéités pour empêcher l'eau d'entrer en contact avec le béton.

Type d'essai	Norme d'essai	Indicateur à vérifier	Mesures effectives (matériaux bruts extraits au tunnelier)	Remarques	Intervalle entre les tests pour le contrôle courant de la qualité
Essai Los Angeles	EN 1097-2	≤45 [%]	32,0% N: 1		Toutes les 10 000 tonnes (gravillon 4/22mm)
Composants inadéquats au plan pétrographique: fractions 1/4, 4/8, 8/16, 16/22mm (sauf phyllosilicates libres)	(Selon définition AlpTransit, par référence à la norme SIA 162/1)	≤5 [% pondéraux]	1/4mm: 0%; N: 4 4/8mm: 0%; N: 4 8/16mm: 0%; N: 4 16/22mm: 0%; N: 4	Valeur indicative Si 5-10%: essai d'aptitude du béton	Gravillon: toutes les 30 000 tonnes Sable: toutes les 6 000 tonnes
Proportion de phyllosilicates: Sable grossier 1/4mm Sable fin 0/1mm	(Selon déf. AlpTransit) (Selon déf. AlpTransit)	≤5 [% des pces] ≤35 [% des pces]	0%; N: 4 2,9% (1,3-4,9%); N: 4	Valeur indicative Valeur indicative	Toutes les 6 000 tonnes
(Indicateurs déterminés pour la fraction 0,25-0,5mm)				Si >35% des pces: essai d'aptitude du béton	
Distribution granulométrique	SIA 162.311	Gravillon: selon SN 670'130 Sable: selon définition AlpTransit et EMPA (LEHMANN et al., 1999) par référence à la norme EN 12620	Pourcentage de granulométries hors de la fourchette [%]: 0/1mm: 0%; N: 6 1/4mm: 33%; N: 6 4/8mm: 0%; N: 6 8/16mm: 0%; N: 6 16/22mm: 33%; N: 6	L'exploitant de l'usine de gravier est responsable du respect des valeurs limites	Sable: toutes les 3 000 tonnes Gravillon: toutes les 10 000 tonnes
Forme des grains	EN 933-3	≤35 [%]	4/8mm: 11,3% (5,1-18,8%); N: 4 8/16mm: 15,8% (9,2-22,1%); N: 4 16/22mm: 16,8% (8,6-25,1%); N: 4	L'exploitant de l'usine de gravier est responsable du respect des valeurs limites	Toutes les 10 000 tonnes (gravillon 4/22mm)
Réactivité potentielle aux alcalins (RAG)	AFNOR P18-588	Considéré non réactif si expansion ≤0,11% Réactivité maximale admise: exp. ≤0,20%	0,086%; N: 1	Si expansion >0,11% et ≤0,20%: utilisation dans un béton de formulation plus stable vis-à-vis des RAG	Toutes les 20 000 tonnes

Remarque finale

Mis en œuvre sur tous les chantiers, le concept de contrôle d'*AlpTransit Gotthard SA* a fourni la preuve de sa parfaite applicabilité. Il offre des garanties élevées que seuls des matériaux bruts appropriés alimenteront la production de granulats. La mise en œuvre d'une procédure d'essais simple assure l'évaluation des matériaux sujets à caution sur le chantier même, en l'espace d'environ deux heures, et leur acheminement vers la destination adéquate. Les grains minéraux préparés présentent une qualité élevée et remplissent les exigences formulées à leur endroit. Ce niveau de qualité se répercute en fin de compte sur les propriétés du béton frais et du béton durci.

Dr Cédric Thalmann, ing. géologue
B-I-G Büro für Ingenieurgeologie, Gurtenbraerei, CH - 3084 Wabern

Références

- [1] ALPTRANSIT GOTTHARD AG: «Gotthard-Basistunnel - Berichte ATG, Materialbewirtschaftung GBT, Teil IIIB/1: «Prüfplan Zuschlagstoffe aus Tunnelausbruchmaterial», Ernst Basler + Partner AG und Büro für Ingenieurgeologie, 1998
- [2] FOURNIER, B., BERUBE, M. A. ROGERS, C. A.: «Canadian Association (CSA) Standard Practice to Evaluate Potential Alkali-Reactivity of Aggregates and to Select Preventive Measures Against Alkali-Aggregate Reaction in New Concrete structures», *Proceedings 11th International Conference*, Québec City, June 2000 (ISBN 2-9806762-0-9)
- [3] LCPC: «Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction», Annexe G: «Test de performance d'une formulation de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction», Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1994
- [4] LEEMAN, A., THALMANN, C., KRUSE, M.: «Gebrochene Zuschläge - Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen - Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard», *Schweizer Ingenieur und Architekt*, Nr 24/1999
- [5] THALMANN, C.: «Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen», *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 91*, 1996 (ISBN 3-907997-24-7)
- [6] THALMANN, C., ZINGG, J., RYTZ, G., STRAHM, K., WYSS, CH.: «Verhinderung von Betonschäden infolge Alkali-Aggregat-Reaktion», *tec21*, Nr. 15/2001