



Informations actuelles sur les routes en béton et l'infrastructure routière
Édition septembre 2015

update 43

Une primeur en Suisse : un revêtement antidérapant et phono-absorbant en béton lavé (bicouche), pour un giratoire.

Pour porter la capacité d'absorption d'un croisement routier dans la vieille ville d'Aldorf au niveau tant des besoins du trafic que de la localité en général, le « Tiefbauamt » du canton d'Uri a cherché un type de revêtement à la fois rugueux et phono-absorbant. La solution choisie – en béton lavé – a répondu à cette double exigence.

Une primeur en Suisse : un revêtement antidérapant et phono-absorbant en béton lavé (bicouche), pour un giratoire.

Gert Müller, dipl. Ing. FH, Müller Engineering GmbH, Wäldi/TG

En 2014, les autorités du canton d'Uri (« Tiefbauamt ») se sont résolues pour la première fois à doter un giratoire d'un revêtement en béton lavé (bicouche). Il paraissait, en effet, nécessaire d'innover pour tenir compte de l'accroissement du trafic, surtout lourd, et de la proximité des habitants, sensibles au bruit. Il s'agissait donc de trouver un revêtement à la fois rugueux et phono-absorbant. On attend de celui qui a été choisi – en béton lavé – qu'il conserve sa rugosité, en particulier sur un giratoire de diamètre extérieur modeste.

Même après 10 ans, la surface en béton lavé ne perd guère de sa profonde rugosité.

Depuis des années, les expériences faites en Allemagne et en Autriche, en matière de revêtements routiers bicouche à surface en béton lavé traité à la brosse, ont été positives. Cela a décidé le canton d'Uri à faire le pas en adoptant ce procédé pour un nouveau giratoire. Les exigences posées à l'ouvrage projeté ont été élevées : rugosité marquée et durable, et émissions sonores modestes. De précédentes réalisations de ce type montraient qu'une telle ambition pouvait être satisfaite à condition que l'on veille attentivement à la qualité de l'exécution.

Expériences faites en Autriche

Les qualités phono-absorbantes et antidérapantes des revêtements routiers en béton lavé avaient déjà été constatées en pratique depuis 1990 en Autriche. Aussi ce procédé est-il devenu un standard dans ce pays pour la construction d'autoroutes et d'artères urbaines. Les contrôles les plus récents confirment que ces revêtements se comportent bien à long terme. Constituées d'un granulats de 8 mm au maximum, ceux-ci ne perdent guère de leur rugosité, même s'ils ont largement plus de 10 ans.

Situation de départ

La « Gotthardstrasse » sert de lieu de passage principal au trafic motorisé en plein centre d'Altdorf. La Direction cantonale des travaux (« Tiefbauamt », « Abteilung Strassen ») décida de transformer le croisement de cette rue avec la « Obere Fabrikstrasse », de manière à en élever la capacité d'absorption au niveau tant des besoins du trafic que de ceux de la localité en général. L'ensemble routier « Obere Fabrikstrasse – Hellgasse » gagnera en importance : il assurera encore la desserte du parking « Schützenmatte » et de la zone industrielle avoisinante. En juin 2008 fut mis l'étude un projet qui fit apparaître d'emblée un giratoire d'un diamètre extérieur de 28 m comme la meilleure solution. Compte tenu de l'accroissement escompté du trafic – notamment de camions –, on fut rapidement convaincu que seul un revêtement en béton répondrait à de telles exigences.

Sur d'autres giratoires dans le canton d'Uri on avait déjà tenté, par épandage de granulats durs assez fortement dosés, de rendre la texture du revêtement en surface plus rugueuse et plus phono-absorbante. Ces essais n'avaient toutefois pas donné le résultat souhaité.

Après évaluation de tous les risques, on se décida pour la solution bicouche avec surface en béton lavé. Un tel type de giratoire est généralement réalisé par mise en place manuelle du béton. La Suisse ne dispose encore que d'une expérience modeste dans l'application de cette méthode ; notamment, les entreprises qui se sont spécialisées dans la construction de revêtements en béton n'ont pas encore acquis l'expérience nécessaire dans la réalisation de tels ouvrages en béton lavé. Dans deux essais de mise en place, on a tenté, avec l'entreprise adjudicatrice, de remplir à coup sûr les exigences qualitatives de ce nouveau procédé, d'apprendre à mieux le connaître et d'optimiser le mode opératoire pour la réalisation des surfaces.

Schéma et réalisation du revêtement

On procède normalement en deux étapes, le béton supérieur étant mis en place « frais sur frais ». La surface humide de ce béton est ensuite traitée par application d'un adjuvant composite (retardateur et produit de cure), puis brossée alors qu'elle est à l'état « terre humide ». La profondeur de rugosité dépendra du moment de ce brossage (soit entre 6 et 24 heures après la mise en place). Ce moment doit être choisi en fonction de la température ambiante, sur la base d'essais préliminaires. La profondeur de rugosité souhaitable se situe entre 0,8 et 1,1 mm.

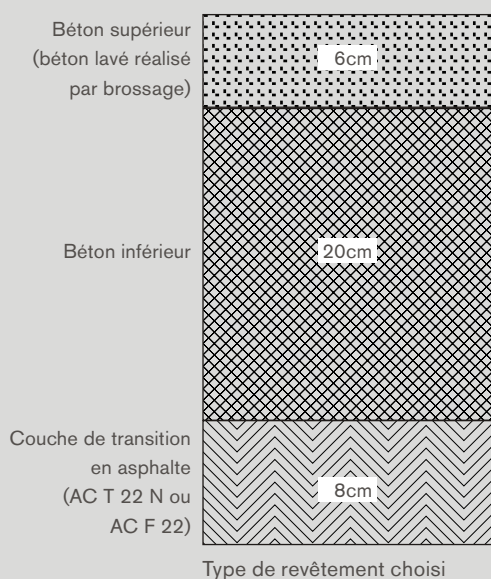
On effectue donc d'abord la mise en place et le compactage du béton inférieur, dont le granulats atteindra au maximum 32mm. Le béton supérieur, lui, doit être composé de granulats concassés 0-8 mm de qualité supérieure ; on le mettra en place sur le béton inférieur encore frais, en évitant toutefois un mélange des deux couches. Le brossage de la surface du béton supérieur jusqu'à l'élimination des granulats non liés améliorera la résistance du revêtement au gel et au sel de déverglaçage.

La solution du béton lavé est une bonne variante par rapport aux revêtements en béton structurés selon le mode usuel, ainsi qu'aux revêtements bitumineux

courants. Elle est convaincante tant sur le plan technique que sur le plan économique.

La construction d'un tel revêtement est techniquement exigeante. Voici les principaux paramètres jouant un rôle important pour l'obtention d'un bon résultat :

- granularité, c'est-à-dire courbe granulométrique permettant une valeur d'angularité élevée en surface
- résistance élevée du granulats concassés au polissage, PSV > 53
- pourcentage, forme des grains et surface de rupture des grains concassés (Le béton doit comporter à 100% du granulats concassés, présentant une surface de rupture des grains de $C_{100/0}$, cas échéant de $C_{90/1}$ si l'on a fait de bonnes expériences. Le sable doit être de la même provenance que le gravillon certifié [jusqu'à 8 mm])
- conditions météorologiques et température au moment de la mise en place du béton, respectivement de l'élimination du mortier de surface
- épaisseur et qualité du mortier de surface
- type du retardateur aspergé en surface, moment du brossage et cure avant et après le brossage.



Exemple d'une surface en béton lavé, granulats 0-8 mm

Construction-Test 1

La première construction servant de test fut entreprise le 28 novembre sur une zone de 3×15 m préalablement aménagée. En raison des conditions climatiques régnant à cette saison, l'essai eut lieu sous un couvert chauffé ; il se déroula ainsi à une température approximative de 10°C . Objectifs de cet essai :

- se familiariser avec le procédé bicouche (définition des étapes)
- traitement en surface du béton lavé
- optimisation de la recette du béton
- résistance à l'arrachement béton supérieur/béton inférieur

Évaluation du traitement de surface

Il s'agissait d'examiner quelle méthode d'élimination du mortier de surface permet d'obtenir le meilleur type de béton lavé en surface:

1. Traitement sans retardateur
2. Traitement avec retardateur et élimination au jet d'eau à haute pression
3. Traitement avec retardateur et élimination au moyen d'une brosse rotative
4. Traitement avec retardateur et élimination au moyen d'une brosse cylindrique

La méthode qui a permis, lors de ces essais, de s'approcher le mieux des valeurs exigées par le maître d'ouvrage fut celle qui comportait l'application d'un retardateur et l'élimination du mortier de surface à la brosse cylindrique.

Détermination de la profondeur de rugosité

Sur chacune des surfaces d'essai, on a testé trois ronds de sable. On a ainsi constaté que sur les surfaces (8) et

Tableau 1 : Profondeurs de rugosité obtenues sur les surfaces d'essai (8) et (13)

Résultats des mesures de profondeur de rugosité	Surface (8) (mm)	Surface (13) (mm)	Exigences (mm)
Essai 1	1,1	0,9	
Essai 2	1,4	0,9	
Essai 3	1,4	1,1	
Moyenne des 3 essais	1,3	0,97	0,8 – 1,1

(13) on obtenait d'emblée une profondeur de rugosité de 1,1 mm (8) et de 0,9 mm (13), correspondant aux valeurs exigées. Pour obtenir une moyenne représentative, deux autres essais ont été effectués sur chacune de ces surfaces (8) et (13).

Évaluation des surfaces d'essai sans retardateur :

On n'a appliqué de retardateur sur aucune de ces deux surfaces. Après une attente de 19 heures, elles furent brossées et traitées au jet d'eau à haute pression. Le résultat quant à la structure de la surface fut jugé insuffisant : la profondeur de rugosité se situant entre 0,4 et 0,6mm. Sans retardateur, on ne pouvait donc obtenir une surface répondant aux exigences.

Conclusions :

La surface (13), après traitement au retardateur et à la brosse cylindrique, a présenté la surface de rugosité la plus proche des valeurs exigées. Elle fut brossée le 29 novembre 2013 à 09 h. 30, soit quelque 18 heures après mise en place du béton supérieur (28 novembre 2013 à 15 h. 30), la température ambiante se situant à 10°C.

- Le procédé comportant le traitement en surface au retardateur, puis le brossage à la brosse cylindrique, a conduit au meilleur résultat ; mais elle doit être ajustée à la température ambiante. Un potentiel d'optimisation existe éventuellement par le choix de l'engin de brossage.
- Utiliser une brosse rotative permet d'obtenir la profondeur de rugosité souhaitée en surface. Là également, il importe de déterminer, sur la base d'essais, le bon moment pour le brossage, en tenant compte de la température ambiante.
- Le procédé de l'élimination au jet d'eau à haute pression a eu pour effet un enlèvement excessif de mortier en surface, si bien que la profondeur de rugosité s'est située entre 1,2 et 1,4 mm, alors que les valeurs à obtenir se situent entre 0,8 et 1,1mm. Dans les conditions réelles de pose d'une grande surface sous une température ambiante relativement élevée (printemps, été), ce procédé nécessiterait vraisemblablement trop de temps.

La difficulté réside dans l'obtention d'une profondeur de rugosité régulière et d'une structure homogène en



Brossage de la surface



Surfaces d'essai soumises à des traitements différenciés

surface. Pour cela, le choix du procédé est déterminant et c'est celui du traitement à la brosse cylindrique qui donna le meilleur résultat – aussi parce que le mode opératoire est plus rationnel.

C'est le traitement de la surface au retardateur et à la brosse cylindrique qui a donné le meilleur résultat.

Indications concernant la planéité et la pose

Sont valables les exigences qualitatives concernant la planéité figurant dans SN 640 520, resp. SN 640 521. Pour le procédé du béton lavé bicouche, la planéité doit être assurée dans le sens longitudinal et transversal, par le recours à des appareils appropriés. Il y a lieu de lisser la surface à la règle vibrante, de l'égaliser à la main, puis de la talocher. Lors de l'essai préliminaire, la consistance du béton supérieur se situait dans la zone C3/C2 ; il pouvait être facilement mis en place et compacté. Plus un béton est plastique, plus il est difficile d'une part de le poser sur une pente et d'autre part de le traiter en surface de manière à répondre aux exigences posées en matière de planéité. Dans le cadre de l'essai préliminaire, la mise en place des bétons inférieur et supérieur a été réalisée de manière acceptable par l'entreprise.

Résistance à l'arrachement sur carottes :

Le contrôle de la résistance à l'arrachement entre les bétons supérieur et inférieur fut effectué sur 6 carottes. La valeur moyenne obtenue lors de ces essais fut de 2,0 N/mm².



Carottes Ø 50mm extraites de la construction-test 1

Tableau 2: Résistance à l'arrachement (DAfStb-Richtlinie-SIB, Teil 3, Anhang C, 2001 / SOP 3066)

Désignation de l'essai (carotte)	Ø (mm)	Force max. (kN)	Résistance à la traction (MPa) (N/mm ²)	Type de rupture
BK 1.1	50	3,8	1,9	A/B
BK 1.2	50	3,9	2,0	A
BK 1.3	50	3,7	1,9	B
BK 1.4	50	4,0	2,0	B
BK 1.5	50	4,7	2,4	A
BK 1.6	50	3,9	2,0	A
Moyenne			2,04	

Description du type de rupture :

- A Rupture structurelle dans le béton supérieur
- B Rupture structurelle dans le béton inférieur
- A/B Rupture inter-couche

Construction-Test 2

Pour bénéficier d'une sécurité additionnelle à l'exécution, on a procédé à une seconde construction test, le 26 mai 2014. L'objectif fut de construire un segment du giratoire en conditions réelles. Il s'agissait, avant de se lancer dans la construction définitive de l'ensemble de l'ouvrage, principalement de déterminer le moment idoine du brossage, en tenant compte d'une part de la température estivale et d'autre part de la composition du béton.

Conclusions

A la suite de retards dans la livraison du béton, on a pu constater que, si les conditions météorologiques sont idéales et la température ambiante légèrement supérieure à 20°C, une interruption d'environ 30 minutes entre la mise en place des deux couches de béton ne nuit pas à la qualité de la liaison entre celles-ci. Les essais de résistance à l'arrachement ont montré que les valeurs exigées étaient atteintes.



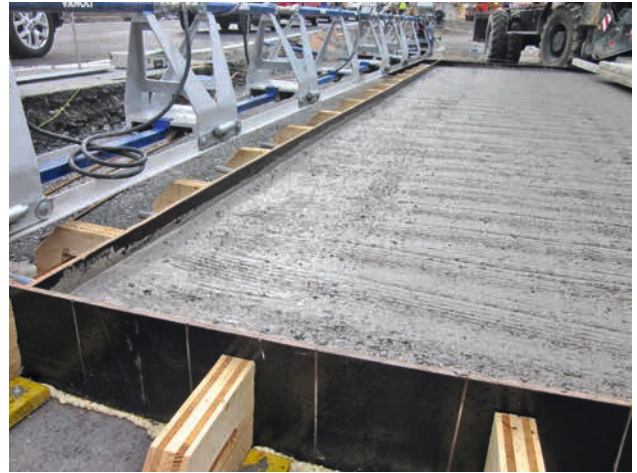
Construction test 2

Exécution de l'ouvrage

La construction devait se dérouler en plusieurs étapes. La première débuta le 5 juin 2014. Il s'agissait de répondre à toutes les exigences qualitatives qui avaient été prises en compte dans les deux constructions-tests.



1. Mise en place du béton inférieur, ép. 20 cm



2. Structuration de la surface de béton encore fraîche



4. Égalisation et contrôle de la planéité



5. Épandage d'un adjuvant composite (retardateur et curing)



7. Brossage du béton en surface et nouvelle application d'un produit contre l'évaporation (curing)



8. Contrôle de la profondeur de rugosité



3. Mise en place du béton supérieur, ép. 6 cm



6. Protection par pose d'un non-tissé et / ou d'une natte

Surfaces en béton lavé :



Immédiatement après le brossage



Après nettoyage

Valeurs contrôlées à réception de l'ouvrage

Profondeur de rugosité

Sur toute la surface du giratoire on a procédé à 12 séries de trois mesures.

En moyenne, on a mesuré une profondeur de rugosité de 0,93 mm, les valeurs isolées se situant entre 0,9 et 1,0mm. Cela indique une texture très régulière de la surface de ce béton lavé. La profondeur de rugosité prescrite, de 0,8 à 1,1 mm, avait donc été atteinte.

Rugosité

Le 1^{er} septembre 2014, soit environ deux mois après achèvement de l'ouvrage, on a mesuré la rugosité de la surface.

On a procédé pour cela à 15 séries de cinq mesures au moyen d'un pendule SRT. Elles ont montré que la micro-texture, comme critère déterminant du niveau de rugosité, permettait d'admettre que la valeur SRT exigée avait été atteinte.

Examen des caractéristiques phoniques

Pour évaluer la situation quant aux émissions de bruit à la croisée de la Gotthardstrasse, de la Gründligasse et de l'Obere Fabrikgasse, on a procédé, à la demande du « Tiefbauamt » cantonal, aux mesures adéquates sur l'emplacement des immeubles exposés, aussi bien avant qu'après la construction du giratoire. Il s'agissait de déterminer si, à cet égard, le nouvel ouvrage, avec sa surface en béton lavé, avait amené un changement significatif. C'est uniquement le trafic sur la Gotthardstrasse qui est déterminant à cet égard.

Tableau 3 : Sources déterminantes de bruit

Nom de la rue	TJM vhc/jour	Nt	Nn	Nt2	Nn2
Gotthardstrasse	18'966	1'096	178	10,0	5,0

Dans le tableau 4 ci-après figurent les niveaux d'évaluation (Lr) de la charge acoustique avant et après la construction du giratoire, ainsi que les changements que cet ouvrage a apportés à cet égard. Les résultats des mesures effectuées ont été normalisés en fonction des valeurs figurant sur le tableau 3.

Évaluation

Après une année de mise en service du giratoire, les mesures montrent qu'avec son revêtement en béton lavé cet ouvrage a permis de réduire de 2 à 4 dBA la charge acoustique à laquelle étaient exposés les immeubles en cause. La raison de cette amélioration réside dans la légère différence de trajectoire des véhicules et les caractéristiques phoniques favorables du revêtement choisi.

Les réactions subjectives positives des habitants du quartier confirment ce qui précède.

Tableau 4 : Niveau d'évaluation (Lr)

No mesure	Emplacement de la mesure	Façade	Niveau d'évaluation Lr (dBA) sans giratoire		Niveau d'évaluation Lr (dBA) avec giratoire		Changement (dBA)	
			Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
1	Gründligasse 1	NO	70	60	66	57	-4	-3
2	Gründligasse 1	NW	66	56	64	54	-2	-2
3	Gotthardstrasse 46	SO	67	57	64	55	-3	-2
4	Gotthardstrasse 46	NO	70	60	67	58	-3	-2



Surface de béton lavé un an après la mise en service de l'ouvrage

Littérature :

- [1] Neubau Kreisel Poli Altdorf, Lärmuntersuchung, Grolimund + Partner AG, Berne, du 29 mai 2015
- [2] Prüfbericht « Bestimmung der Griffigkeit mit dem SRT-Pendel nach SN 640 512-4b », TFB AG, Wildegg, du 22 septembre 2014
- [3] Bericht 8380, « Abnahmemessung der Längs- und Querebenheit und der Griffigkeit », K2 Gotthardstrasse, Kreisel Poli, SACR, Seewen SZ, mars 2013
- [4] Bericht B2-064 « Überprüfung der Oberflächenbeschaffenheit (Rautiefe) », Altdorf, Kreisel Poli, Vorversuch Waschbetonbauweise, Gert Müller, BTS Bauexpert AG, Schlieren, du 5 décembre 2013
- [5] SN 640 461, Revêtements en béton. Couches de surface, conception, exigences, exécution et mise en oeuvre, édit. 2014-12
- [6] RVS 08.17.02 (13.07.2011) Betondecken, Deckenherstellung
- [7] BETONSTRASSEN Das Handbuch, Leitfaden für die Praxis, Zement + Beton Handels- und Werbegesellschaft, Wien, édit. août 2012
- [8] Technischer Bericht Kreisel Poli (Bauprojekt) du 22 septembre 2009, Ingenieurbüro A. Kälin AG, Altdorf

Groupement d'intérêts des routes en béton

cemsuisse
Association suisse de l'industrie
du ciment
Marktgasse 53, 3011 Berne
Téléphone 031 327 97 97
Fax 031 327 97 70
info@cemsuisse.ch
www.cemsuisse.ch

Grisoni-Zaugg SA
ZI Planchy
Case postale 2162, 1630 Bulle 2
Téléphone 026 913 12 55
Fax 026 912 74 54
info@grisoni-zaugg.ch
www.groupe-grisoni.ch

Holcim (Schweiz) AG
Hagenholzstrasse 83, 8050 Zurich
Téléphone 058 850 68 68
Fax 058 850 68 69
betonstrassen@holcim.com
www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA
1312 Eclépens
Téléphone 058 850 92 14
Fax 058 850 92 95
chauseebeton@holcim.com
www.holcim.ch

Implenia Schweiz AG
Binzmühlestrasse 11, 8050 Zurich
Téléphone 058 474 75 00
Fax 058 474 95 15
daniel.hardegger@implenia.com
www.implenia.com

Jura-Cement-Fabriken AG
Talstrasse 13, 5103 Wildegg
Téléphone 062 887 76 66
Fax 062 887 76 69
info@juracement.ch
www.juracement.ch

Juracime SA
Fabrique de ciment
2087 Cornaux
Téléphone 032 758 02 02
Fax 032 758 02 82
info@juracime.ch
www.juracement.ch

KIBAG Bauleistungen AG
Strassen- und Tiefbau
Müllheimerstrasse 4
8554 Müllheim-Wigoltingen
Téléphone 052 762 61 11
Fax 052 762 61 14
p.althaus@kibag.ch
www.kibag.ch

Müller Engineering GmbH
Beratung und Expertisen
für Verkehrsflächen in Beton
Kirchstrasse 25, 8564 Wäldi/TG
Téléphone 079 247 82 49
gm@müller-engineering.ch
www.müller-engineering.ch

Specogna Bau AG
Steinackerstrasse 55
8302 Kloten
Téléphone 044 800 10 60
Fax 044 800 10 80
info@specogna-bau.ch
www.specogna-bau.ch

Synaxis AG Zürich
Thurgauerstrasse 56
8050 Zurich
Téléphone 044 316 67 86
Fax 044 316 67 99
c.bianchi@synaxis.ch
www.synaxis.ch

Toggenburger AG
Schlossackerstrasse 20
Postfach 3019, 8404 Winterthur
Téléphone 052 244 13 03
Fax 052 244 12 24
info@toggenburger.ch
www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA
Zone industrielle Rondchâtel
2603 Péry
Téléphone 032 485 03 00
Fax 032 485 03 32
info@vigier-ciment.ch
www.vigier-ciment.ch

Walo Bertschinger Zürich AG
Postfach 1155, 8021 Zurich
Téléphone 044 745 23 11
Fax 044 745 23 65
kurt.glanzmann@walo.ch
www.walo.ch

BETONSUISSE



BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53, CH-3011 Berne
Téléphone +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

InformationsZentrum Beton GmbH
Steinhof 39, D-40699 Erkrath
Téléphone +49 (0)211 28048-1, Fax +49 (0)211 28048-320
erkrath@beton.org, www.beton.org

Verein Betonmarketing Österreich
Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H.
Reisnerstraße 53, A-1030 Vienne
Téléphone +43 (0) 1 714 66 85-0
zement@zement-beton.co.at, www.zement.at