

Informations actuelles sur les routes en béton et l'infrastructure routière
Édition Juin 2022

update 61

Autoroute du Saint-Gothard A2 : un revêtement composite pour les voies de circulation.

Prévue dans le projet de maintenance Amsteg-Göschenen (autoroute du Saint-Gothard A2), la zone de régulation des poids lourds de Naxberg a été réalisée selon une technique de construction composite. Cette solution présente des avantages techniques, économiques et écologiques. Opter pour cette technique de revêtement durable et ne nécessitant que peu d'entretien serait souhaitable sur les routes nationales comme sur les routes cantonales afin d'optimiser l'utilisation des ressources pour la construction routière de plus en plus limitées.

Autoroute du Saint-Gothard A2 : voies de circulation en revêtement composite réalisées dans le cadre du projet de maintenance Amsteg-Göschenen

Gert Müller, Müller Engineering GmbH, conseils et assistance technique concernant les surfaces de circulation en béton, Wäldi, Suisse

Le trafic lourd national et international impose une charge grandissante au réseau routier, et la tendance n'est pas près de s'arrêter. Les techniques de construction standardisées actuelles en asphalte résisteront-elles à cette sollicitation croissante ? Le doute est permis. Nos routes sont en outre soumises à un processus d'usure progressif. Les renouvellements et les vastes travaux de remise en état constituent ainsi la problématique majeure des années à venir. Des solutions innovantes visant une disponibilité durable de l'infrastructure routière pour un entretien le plus réduit possible et un minimum de chantiers déployés sont requises.

Combinaison de deux techniques de construction pour les autoroutes

La combinaison de l'asphalte et du béton dans la construction routière occupe les spécialistes depuis quelques années déjà. En combinant une couche de béton portante à une couche de roulement en asphalte de 3 à 4 cm d'épaisseur, on obtient un système offrant toute une série d'avantages techniques et économiques lors de la réfection et de la construction de routes haute performance.

Le revêtement en béton assume principalement la fonction portante, tandis que le revêtement d'asphalte satisfait aux exigences de faibles émissions sonores. Grâce à sa durée d'utilisation réduite, il est possible de renouveler l'asphalte par intervalles afin de restaurer notamment ses qualités acoustiques. On peut également éviter efficacement les inconvénients techniques liés aux chaussées en asphalte, comme le risque de déformation sous charge (affaissements et ornières), en optant pour une faible épaisseur de l'asphalte dans cette combinaison.

La Belgique et les Pays-Bas ont expérimenté le système. En Allemagne aussi, ce procédé est déjà à l'œuvre et en cours d'expérimentation. La Belgique, qui l'applique depuis plus de 70 ans, jouit d'une réputation de pionnière en matière de chaussées en béton armé continu (avec ou

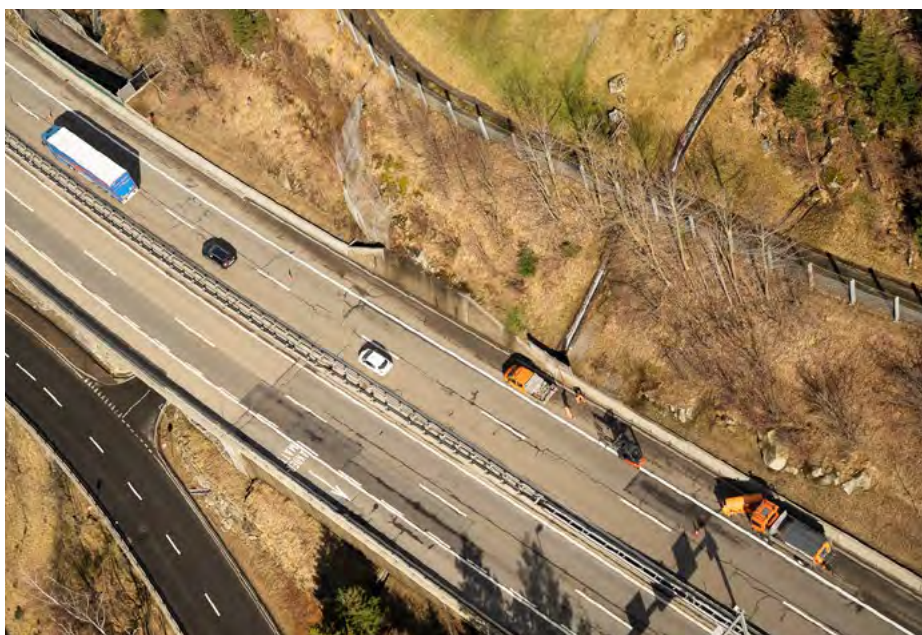
sans revêtement d'asphalte). Les Pays-Bas déclinent eux aussi avec succès différentes variantes de couches de roulement minces en asphalte.

L'examen de différentes variantes de structure permet de conclure que le système composite asphalte/béton revêtu d'une mince couche de roulement en asphalte présente de meilleures qualités de durabilité que la structure classique composée d'une couche de base et d'une couche de liaison en asphalte.

Au total, les expériences accumulées au fil des années avec cette combinaison s'avèrent excellentes en termes de confort de conduite, de longévité et de réduction des émissions de bruit.

« Toutes les parties prenantes du projet considèrent ce tronçon assaini selon la technique composite comme une réussite. La planification conforme au système et le dimensionnement du revêtement en béton armé continu ainsi que sa réalisation complexe ont été réalisés dans un souci de qualité par une équipe d'ingénieurs expérimentés et d'entrepreneurs qualifiés. »

Gert Müller



Des dégâts sur la superstructure autoroutière marquée par des déformations et des ornières sur la voie normale (voie des poids lourds) ainsi que des fissures de contrainte ont nécessité une intervention.



A2, côté droit dans le sens montant, en direction du sud, tronçon autoroutier de la zone de régulation de Naxberg, trafic normal et embouteillage

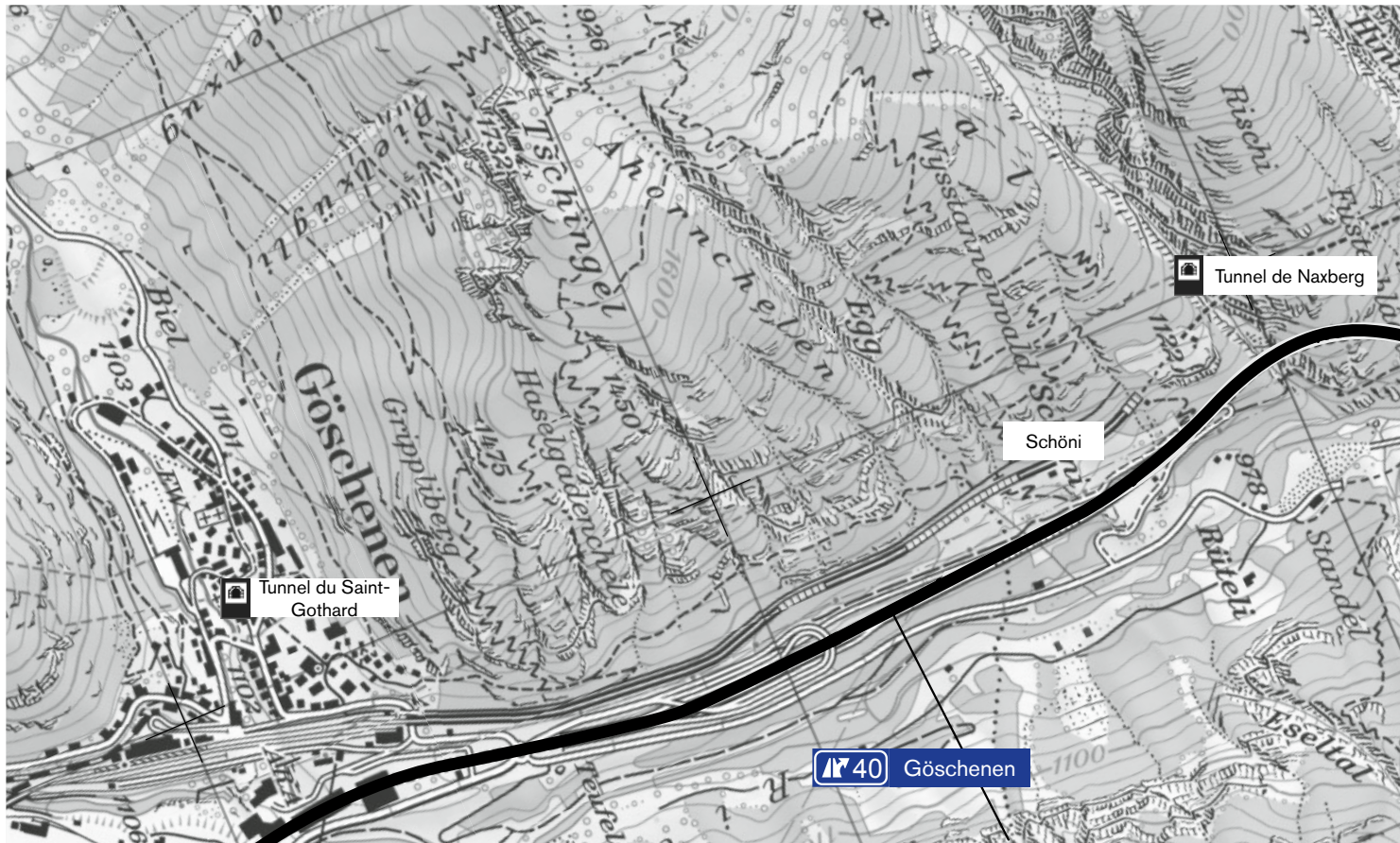
Description du projet et contexte

Le tronçon de la route nationale A2 entre Amsteg et Göschenen sur la rampe d'accès nord du Gothard dans le canton d'Uri a été réalisé entre 1963 et 1980. Sa mise en service s'est échelonnée de 1971 à 1980. Une première remise en état de toute la substance a été entreprise entre 1990 et 2001 et suivie d'une autre phase de renouvellement depuis 2019.

De décembre 2019 à fin 2021, avant le début des travaux d'autoroute proprement dits, des mesures de protection contre les dangers naturels ont été prises sur la totalité du tronçon. Le but était d'agrandir et de compléter les digues et les ouvrages pare-pierres ainsi que de remettre en état les systèmes de protection existants. La mesure concernait en premier lieu la voie en direction du sud.

Le projet de maintenance Amsteg-Göschenen est en effet destiné à assurer l'entretien de ce tronçon de 13,9 km sur l'autoroute A2. Dans l'ensemble, son état est acceptable, voire bon, et pour l'essentiel conforme aux normes et directives en vigueur. En revanche, en matière de protection contre le bruit et les dangers naturels, un certain retard doit être rattrapé. Les couches de roulement et de liaison doivent notamment être remplacées sur tout le tronçon soumis à maintenance.

Plan d'ensemble de Naxberg



Zone de régulation des poids lourds de Naxberg

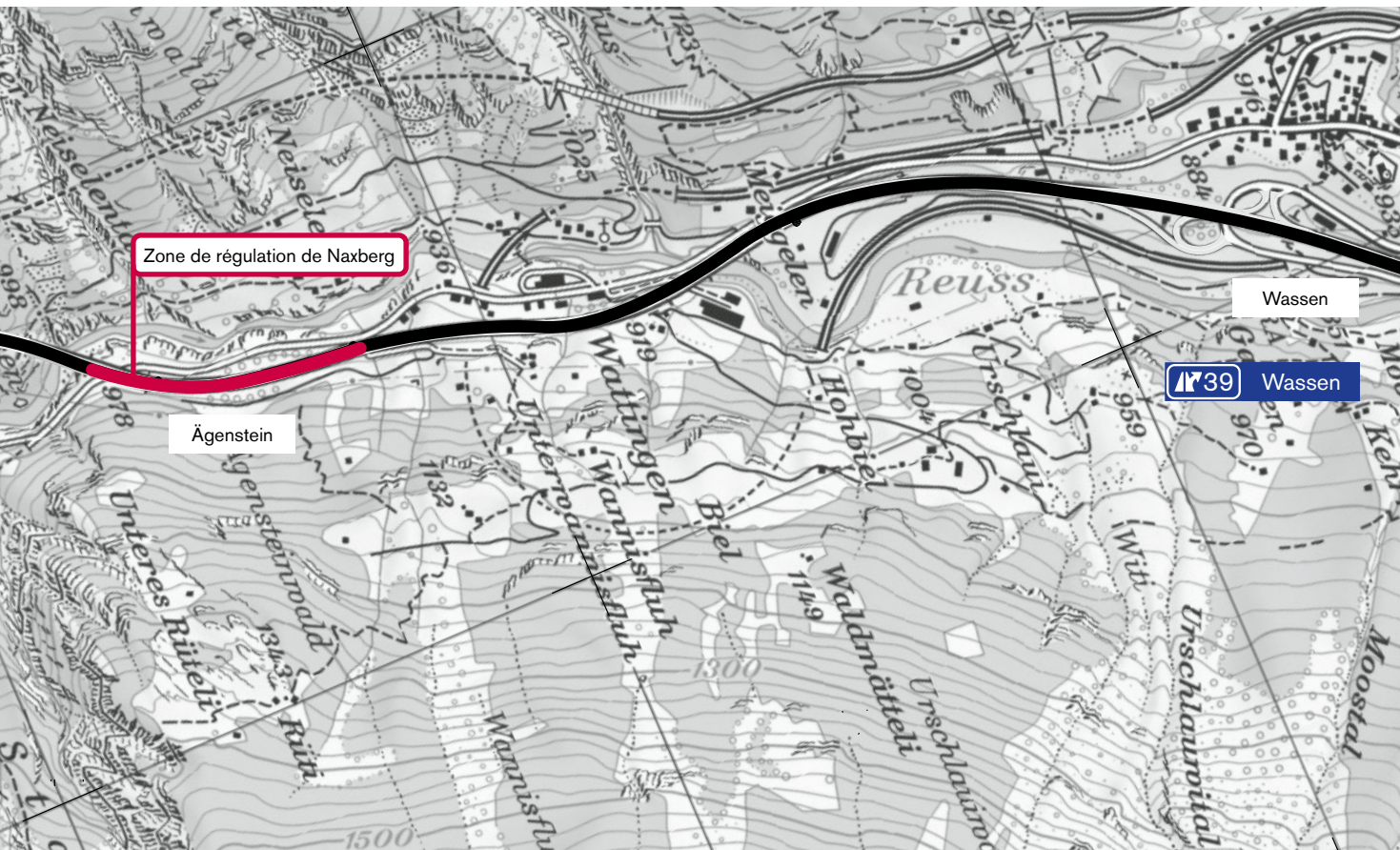
Aux zones dites de régulation, les poids lourds sont stoppés, contrôlés, puis autorisés à pénétrer de manière « régulée » dans le tunnel routier du Gothard. C'était la première fois qu'un revêtement composite en béton armé continu associé à une couche de roulement en asphalte phonoabsorbant devait être réalisé en Suisse, en conformité et selon des procédures fiables, sur une partie du tronçon situé entre les sorties de Wassen et de Göschenen, en direction du sud.

Le choix de cette technique de construction reposait sur le constat que chaque tronçon routier requiert un matériau adéquat. Alors que la voie de dépassement emprun-

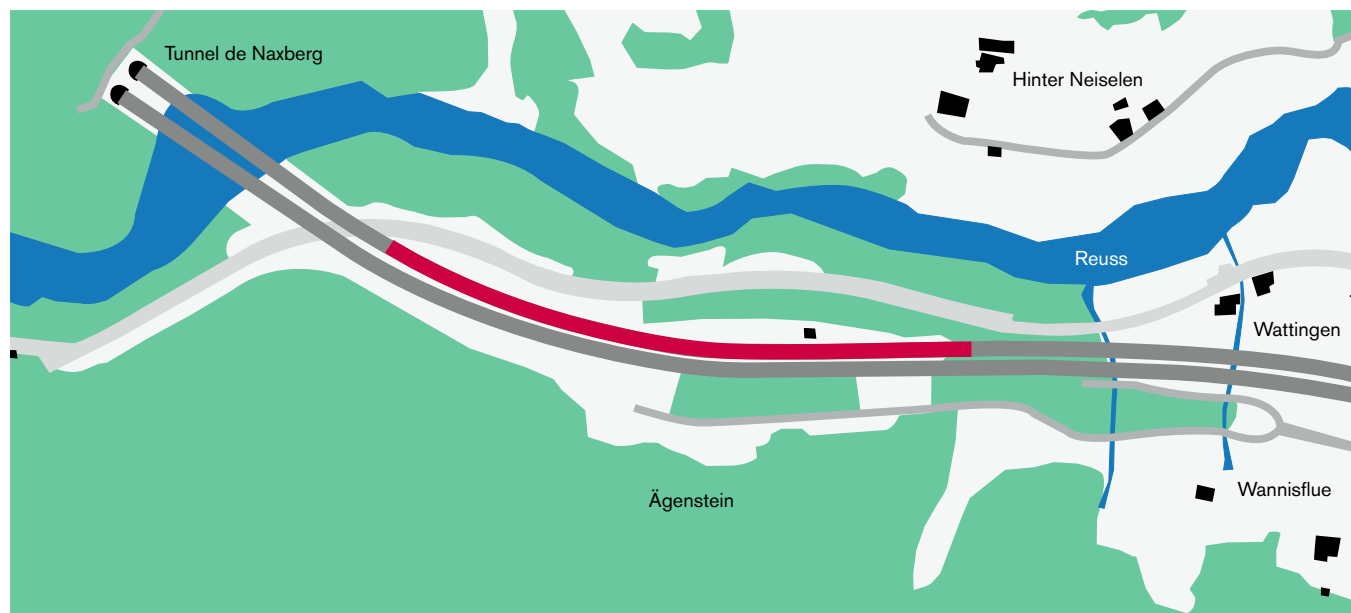
tée majoritairement par les véhicules personnels devait classiquement rester en asphalte, la voie normale très sollicitée par les poids lourds de la zone de régulation de Naxberg a été réalisée en béton armé continu. Les travaux de renouvellement ont été effectués de mi-août à mi-octobre, soit lors de la saison intermédiaire, de plus faible trafic, et de nuit, en l'absence de circulation des poids lourds. Le bétonnage de la voie d'environ 370 m de long a été effectué en une seule phase, entre 21 h et 5 h.

On émet l'hypothèse des capacités suivantes :

Tracé dans le sens montant	entre 1400 et 1500 véhicules motorisés par heure
Tunnel routier du Gothard	900 véhicules motorisés par heure
Part du trafic de poids lourds	12 %



Plan de situation de la zone de régulation de Naxberg

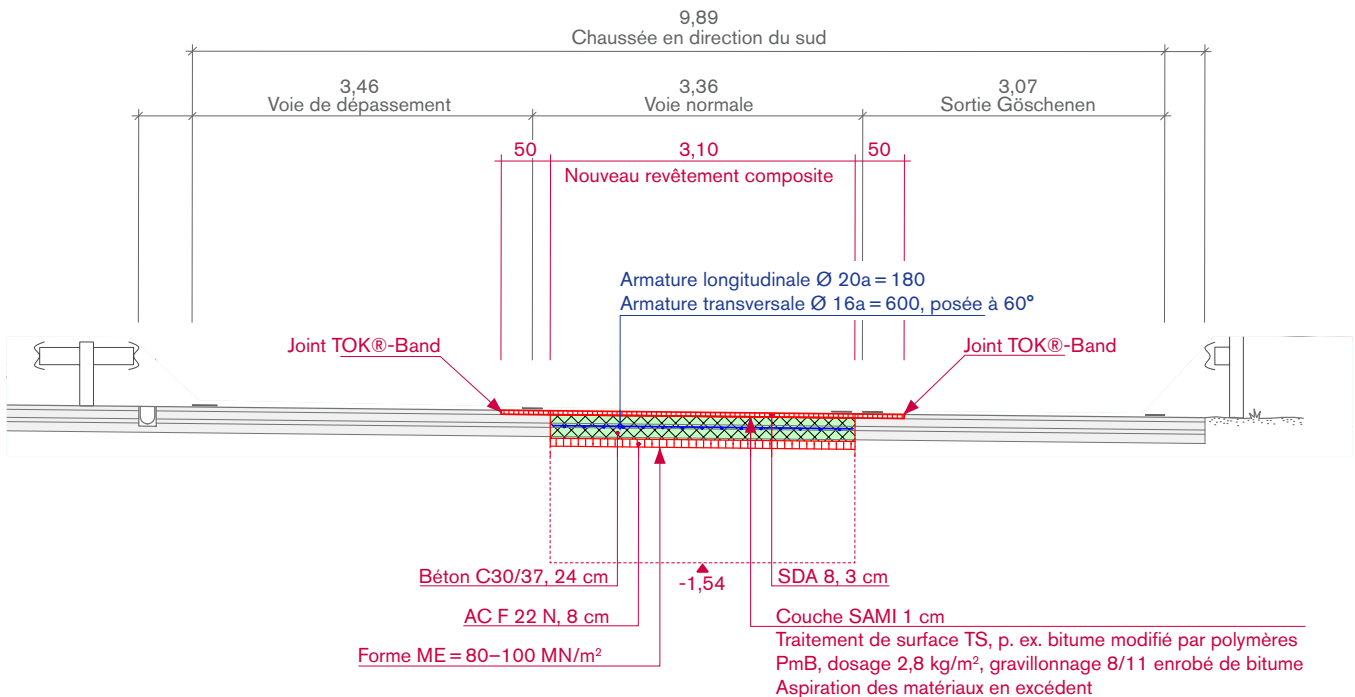


Données techniques :

Longueur du revêtement composite	L = 368,00 m
Largeur de la voie de circulation normale	L = 3,10 m
Altitude du chantier	env. 1000 m

Structure et profil normal

Après analyse approfondie des expériences réalisées en Suisse et à l'étranger, la structure du revêtement composite s'articulait comme suit :



Technique de construction composite et système technique

Couche de roulement en asphalte sur revêtement en béton armé continu

L'avantage du béton armé continu réside dans le fait que le revêtement est légèrement plus mince qu'un système avec joints. En outre, les frais d'entretien et de maintenance des joints sont supprimés, tandis que le confort de conduite s'accroît.

La Belgique, mais aussi les Pays-Bas et l'Allemagne ont à leur actif des expériences positives à grande échelle avec des revêtements en béton armé continu. En Belgique par exemple, des projets appliquant ce procédé ont atteint une durée d'utilisation pouvant facilement aller jusqu'à 50 ans. Cette plus grande longévité par rapport aux revêtements classiques contribue grandement à la durabilité. Le revêtement composite a également été mis en œuvre avec succès dans la zone de régulation de Naxberg. Autant de bonnes raisons de l'utiliser à l'avenir dans le cas de tronçons autoroutiers très sollicités.

Un risque de formation de cloques atténué

Ces dernières décennies, des études menées dans le cadre de mandats de recherche sur des autoroutes en béton en Suisse ont montré que les membranes élastomères (émulsions bitumineuses) utilisées comme agents d'adhérence en combinaison avec des revêtements d'asphalte à pores fermés (pour une teneur en vides d'environ 2 à 6 %) comportaient un risque accru de cloques. La structure du béton servant de support influe également sur la fréquence de formation de ces cloques.

Que faire pour y remédier ? Il est possible d'empêcher les cloques de se former en utilisant une membrane perméable SAMI (SAMI = Stress Absorbing Membrane Interlayer) et un type d'asphalte à teneur en vides élevé $\geq 6\%$.

Une couche de roulement phonoabsorbante SDA 8-12 (asphalte semi-dense) a été utilisée pour la zone de régulation de Naxberg. Du fait de la teneur en vides de sa structure de l'ordre de 12 à 14 %, elle est capable de dissiper en son sein la pression de vapeur émanant du support en béton.

Planification du revêtement en béton armé continu

Dimensionnement et structure choisie

Seule la couche de base en béton a fait l'objet d'un dimensionnement, puisque la couche de fondation non liée a, de même que la couche de roulement en asphalte, un caractère essentiellement fonctionnel. Le dimensionnement de la structure de base en béton a été effectué selon la méthode belge. Quant au second dimensionnement, il a suivi le mode de calcul néerlandais. Les deux méthodes ont donné approximativement les mêmes résultats. L'épaisseur calculée correspondait par ailleurs à l'épaisseur du revêtement dans la norme suisse de dimensionnement SN 640 324 pour la technique de construction des dalles de béton (superstructure de type 12, T6). Le calcul se basait sur une couche de fondation non liée d'une portance de ME1 > 80-100 MN/mm².

Procédé de revêtement en béton armé continu selon la norme suisse SN 640 461

L'épaisseur du revêtement (« couche de surface ») en béton, la qualité du béton ainsi que la structure de la surface et la cure sont choisies généralement d'après les mêmes critères que pour les couches de surface en béton non armées avec joints.

Le revêtement en béton est armé longitudinalement et transversalement. L'armature sert principalement à limiter la fissuration due à la contrainte centrée causée par le retrait et la température. Cette armature permet d'obtenir une fissuration libre avec un écartement des fissures de l'ordre de 0,6 cm à 2 cm. Dans la zone de régulation des poids lourds de Naxberg, on a utilisé, selon le modèle belge, le procédé de pré-incision (Active Crack Control) afin que la fissuration se développe de manière contrôlée.

Armature

Constituée de barres d'acier strié (acier B500B), l'armature a été mise en place au centre de la section (centre de la dalle). Les joints ont été disposés en décalage. Le taux d'armature indiqué a été déterminé sur la base d'expériences de longue durée :

Armature longitudinale :

- Taux d'armature > 0,75 %
- Barre d'acier strié, \varnothing : 20 mm, écartement : 18 cm

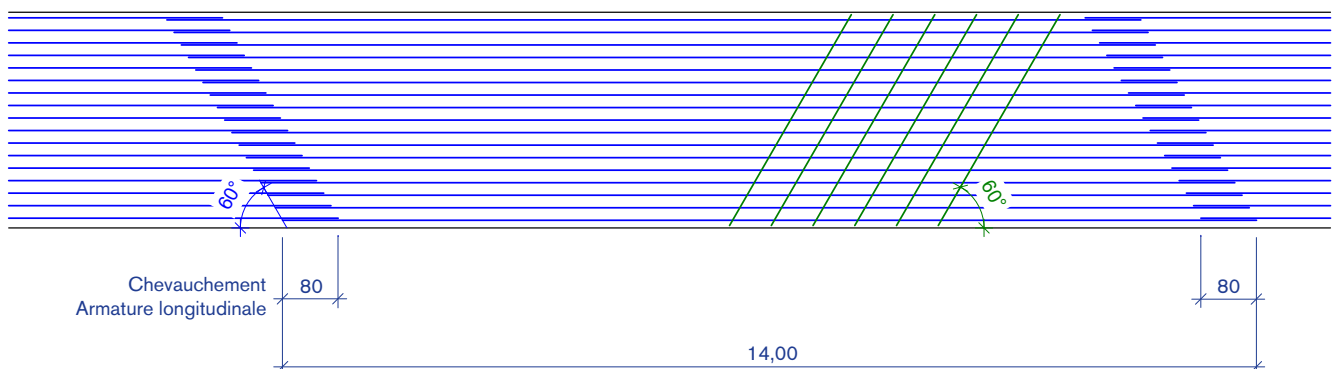
Armature transversale :

- Taux d'armature > 0,15 %
- Barre d'acier strié, \varnothing : 16 mm, écartement : 60 cm
- L'armature transversale est posée avec un angle de 60° par rapport à l'armature longitudinale.

Schéma de l'armature





Armature longitudinale \varnothing 20, a = 180, 1^{re} couche

Armature transversale \varnothing 16, a = 600, 2^e couche

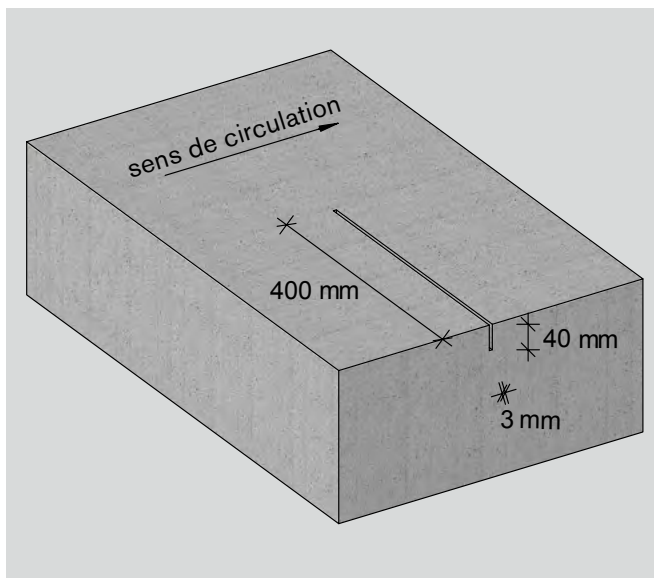


Active Crack Control

Fissures et répartition des fissures dans les revêtements de chaussée en béton en comparaison :

Formation de fissures aléatoires libres	
Joints transversaux coupés définis (technique de dalles)	
Revêtement de chaussée armé en continu sans pré-incision	
Revêtement de chaussée armé en continu, avec pré-incision par Active Crack Control	

Pré-incision Active Crack Control



Avantages d'un « Active Crack Control »

- Fissuration plus rapide
- Largeur des fissures : environ 0,2-0,5 mm
- Formation de fissures régulières et droites
- Écartements entre les fissures : 1,20-2,50 m
- Réduction au minimum du risque de fissures par paquets

Réalisation et contrôle de la qualité

Qualité du béton pour la structure monocouche

Béton pour surfaces de circulation (selon SN EN 206)

Classe de résistance à la compression	C 30/37
Classe d'exposition	XC4 (CH), XD3 (CH), XF4 (CH)
Classe de teneur en chlorure	Cl 0,10
Granulat	D _{max} 32 mm
Classe de consistance	C1 (valeur cible VM : 1,26-1,35) mise en œuvre mécanique C2 (valeur cible VM : 1,15-1,25) mise en œuvre manuelle

Exigences complémentaires (selon SN 640 461)

Teneur en air du béton frais	3-6 %
Résistance à la flexion	après 28 jours : $f_{ctk,t} (t = 28d) \geq 5,5 \text{ N/mm}^2$
Granulats concassés	Part des adjuvants en granulats concassés > 60 % Part des granulats concassés et entièrement ronds (surface de rupture) C 95/1
Valeur PSV	> 50 (résistance au polissage)
RAG-P2	Résistance à la réaction alcalis-granulats (RAG), classe de prévention P2, « béton résistant à la RAG » selon le cahier technique SIA 2042

Le béton livré est un béton régional.

Type : béton G avec 67 % de gravier dur, valeur PSV : 57

Déroulement des travaux :

- Mise en place dans la nuit du **10 au 11 septembre 2020** : début du bétonnage mécanique : 21 h 30, fin du bétonnage mécanique : 4 h 15, zones de mise en place manuelle : de 4 h 15 à 7 h 30
- Rugosification et brossage de la surface du béton : **11 septembre 2020**
- Mesures de l'humidité / évaluation de la répartition des fissures : **24 septembre 2020, 13 jours après la mise en place, taux d'humidité moyen env. 3,2 %**
- Mise en place de la SAMI (SAMI = Stress Absorbing Membrane Interlayer) et revêtement SDA 8-12 : **30 septembre et 1^{er} octobre 2020**



Pose de l'armature longitudinale et transversale du revêtement de chaussée sur couche de roulement en asphalte AC F 22



Armature des ancrages terminaux



Mise en place mécanique au finisseur à coffrage glissant

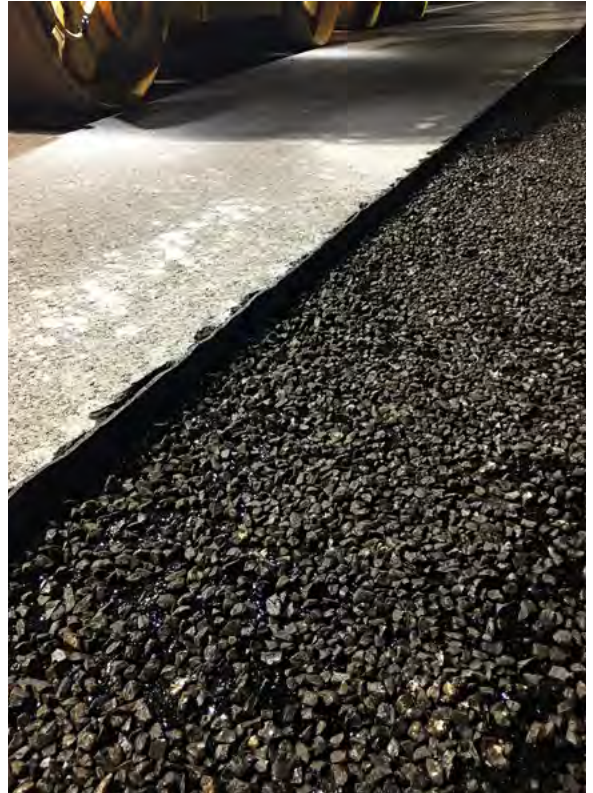


Active Crack Control et répartition homogène des fissures
tous les 1,20 m-2,50 m / largeurs des fissures 0,1 mm-0,5 mm





Surface de béton avec retardateur et suppression de la laitance du ciment (brossée)



Application de la SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer)





Mise en place du revêtement de surface SDA 8-12



Prête pour l'ouverture au trafic
(vue en direction du sud)



Expériences et perspectives

En se basant sur les expérimentations du projet de la zone de régulation des poids lourds de Naxberg, située sur l'autoroute A2 du Saint-Gothard, on peut citer les avantages de la technique composite suivants :

- Si l'on se fie aux expériences belge, néerlandaise et en partie allemande, la combinaison du béton et de l'asphalte peut être considérée comme très durable.
- La réalisation de revêtements en asphalte robustes et minces sur du béton est techniquement possible, étayée par des projets de recherche et décrite dans la réglementation suisse.
- La mise en œuvre se fait mécaniquement en une structure monocouche au moyen d'un finisseur à coffrage glissant. Il est également possible de la réaliser manuellement sur de courts tronçons.
- L'utilisation d'un béton pur de granulats ronds suffit sur toute la section de la dalle. La texture de surface n'étant soumise à aucune exigence, le granulat concassé n'est plus impératif, ce qui ouvre la voie à des économies.
- Les exigences en matière de résistance au gel en présence de sels de déverglaçage et à la réaction alcalis-granulats sont en revanche maintenues pour les revêtements en béton.
- Les exigences d'adhérence et de réduction du bruit ne sont plus pertinentes, si bien qu'il n'y a plus lieu de procéder à un traitement spécifique de la surface ou à une texturisation du béton.
- Les propriétés phonoabsorbantes sont définies par le type de couche d'asphalte et son exécution.

Quel avenir pour le revêtement composite ?

La technique composite associant une couche de roulement en asphalte mince et phonoabsorbante à un revêtement rigide en béton armé continu a déjà fait les preuves de son aptitude. Le pré-requis est une planification objective du système et le respect des prescriptions de qualité lors de son exécution.

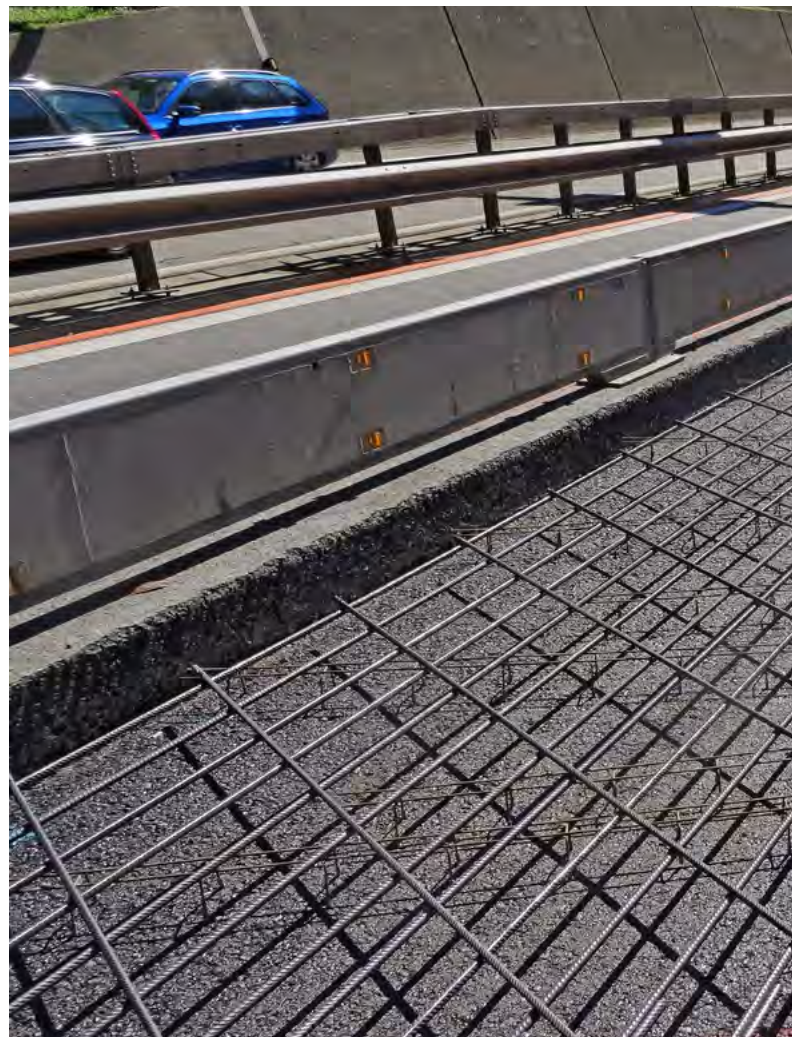
On identifie déjà des approches prometteuses dans le pays. Il serait souhaitable de procéder à des essais supplémentaires sur des routes nationales, mais aussi sur des routes cantonales le cas échéant. Ceci permettrait d'approfondir les connaissances actuelles ainsi que de structurer et d'encourager les compétences des bureaux d'études et des entreprises exécutantes.

Une comparaison européenne portant sur le coût des nouvelles constructions montre que le coût d'une chaussée en

revêtement composite n'est que légèrement supérieur à celui des dalles individuelles classiques. La combinaison du béton et de l'asphalte est ainsi, en termes de rentabilité, d'ores et déjà compétitive dans les constructions nouvelles. Si l'on envisage une durée d'utilisation réaliste de 50 ans jusqu'au cycle suivant de renouvellement total, elle est beaucoup plus économique, sûre et respectueuse des ressources que toutes les techniques de construction utilisées dans la construction routière !

La hausse des coûts de l'énergie dans le monde, en particulier sur le marché du pétrole brut, n'augure rien de bon. La tendance va clairement se poursuivre à la hausse. D'où l'importance aujourd'hui d'avoir une gestion responsable et mesurée des ressources limitées à notre disposition.

Les voies de communication composites, qui présentent des avantages majeurs en termes de rentabilité et de durabilité, devraient de plus en plus se substituer à l'asphalte pur. Une utilisation durable des routes associée à un minimum d'entretien est dans l'intérêt de tous.



« Cette section en composite est en service depuis environ un an et demi et fait l'objet d'une observation attentive de la part de la direction des travaux locale. Au stade actuel, aucune réclamation pour fissuration dans la surface de roulement ni pour décrochements verticaux (degrés) ou formation de cloques n'a été enregistrée. Nous sommes fiers de constater que le système en béton armé continu fonctionne comme prévu. »

Gert Müller



Bibliographie :

Norme suisse SN 640 461, couches de surface en béton pour zones de circulation ; conception, exécution et exigences relatives aux couches en place

Office fédéral des routes OFROU, site internet du projet, brochures d'information relatives au chantier A2 Amsteg-Göschenen (en allemand), www.astra.admin.ch

Contournement de Couvin E420/N5 (Belgique), présentation et visite du chantier, 26 mars 2019 (CEMCO Consult), exemple d'Active Crack Control (Luc Rens, FEBELCEM)

Office fédéral des routes OFROU, N01, Anschluss Oensingen, Monitoring Kompositbelag, 29 mars 2018

Journée FGSV sur les routes en béton les 24 et 25 septembre 2015 à Ulm (Allemagne), exposés du groupe de travail Techniques de construction en béton : « Durchgehend bewehrte Betonfahrbahnen mit dünner flexibler Deckschicht »

« Kompositbauweise – maximale Nutzungsdauer und minimaler Unterhalt », exposé lors de la Journée d'étude suisse sur les routes en béton (BETONSUISSE) le 5 mai 2015, Stefan Höller, ing. dipl., Institut fédéral de recherche routière (BASf)

Office fédéral des routes OFROU, « Blasenbildung im Belagsüberzug, Untersuchung der Ursachen », Tecnotest SA, rapport d'évaluation de A. Bernhard et R. Werner, 2 avril 2011

update 2/12, BETONSUISSE Marketing AG, « Revêtements d'asphalte minces sur dalles de béton », 2012

Office fédéral des routes OFROU, Konzeptstudie Kompositbelag, février 2006

Matériel iconographique :

Gert Müller, Müller Engineering GmbH, Wäldi

Walo Bertschinger SA, construction routière, Zurich

Groupement d'ingénieurs IG AmGö (Bigler AG, dsp AG, Schällibaum AG, B+S AG, Kissling + Zbinden AG)

Office fédéral des routes OFROU, filiale de Zofingen
gotthard-strassentunnel.ch

Groupement d'intérêts des routes en béton

cemsuisse

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

Ebicon AG

Breitloostrasse 7
8154 Oberglatt
Téléphone 043 411 28 20
info@ebicon.ch
www.ebicon.ch

Grisoni-Zaugg SA

ZI Planchy
Case postale 2162
1630 Bulle 2
Téléphone 026 913 12 55
info@grisoni-zaugg.ch
www.groupe-grisoni.ch

Holcim (Schweiz) AG

Hagenholzstrasse 83
8050 Zurich
Téléphone 058 850 68 68
betonstrassen@holcim.com
www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA

1312 Eclépens
Téléphone 058 850 92 14
chausseebeton@holcim.com
www.holcim.ch

Implenia Suisse SA

Thurgauerstrasse 101A,
8152 Glattpark (Opfikon)
Téléphone 058 474 75 00
marketing@implenia.com
www.implenia.com

Jura-Cement-Fabriken AG

Talstrasse 13
5103 Wildegg
Téléphone 062 887 76 66
info@juracement.ch
www.juracement.ch

Juracime SA

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

KIBAG Bauleistungen AG

Construction de routes et travaux publics
Müllheimerstrasse 4
8554 Müllheim-Wigoltingen
Téléphone 058 387 28 18
r.baumann@kibag.ch
www.kibag.ch

Müller Engineering GmbH

Conseil et expertise pour les
surfaces de circulation en béton
Kirchstrasse 25
8564 Wäldi TG
Téléphone 079 247 82 49
gm@muller-engineering.ch
www.müller-engineering.ch

PCI Bauprodukte AG

Im Schachen, 5113 Holderbank
Téléphone 058 958 22 44
info-as.ch@mbcc-group.com
www.master-builders-solutions.ch

Sika Suisse SA

Tüffenwies 16, 8048 Zurich
Téléphone 058 436 40 40
hirschi.thomas@ch.sika.com
www.sika.ch

Specogna Bau AG

Steinackerstrasse 55, 8302 Kloten
Téléphone 044 800 10 60
info@specogna-bau.ch
www.specogna-bau.ch

Synaxis AG Zürich

Thurgauerstrasse 56, 8050 Zurich
Téléphone 044 316 67 86
c.bianchi@synaxis.ch
www.synaxis.ch

Toggenburger AG

Schlossackerstrasse 20
Case postale 3019, 8404 Winterthur
Téléphone 052 244 13 03
info@toggenburger.ch
www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA

Zone industrielle Rondchâtel, 2603 Péry
Téléphone 032 485 03 00
info@vigier-ciment.ch
www.vigier-ciment.ch

Walo Bertschinger SA

Case postale 1155, 8021 Zurich
Téléphone 044 745 23 11
www.walo.ch

Commercialisation :

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
Toulouser Allee 71, D-40476 Düsseldorf
Telefon +49 (0)211 28048-1, Fax +49 (0)211 28048-320
izb@beton.org, www.beton.org



Beton Dialog Österreich
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton
Handels- und Werbeges.m.b.H., Franz-Grill-Straße 9, O 214, A-1030 Wien
Telefon +43 (0) 1 714 66 85-0
zement@zement.at, www.zement.at