

Chaussée béton et tunnels : la juste équation

Amélioration de la sécurité, pérennité de la structure et de l'uni, diminution de l'entretien, réduction des coûts d'exploitation et de construction de l'ouvrage, contribution à la protection de l'environnement... Nombreux sont les arguments en faveur de la chaussée béton dans les tunnels et les tranchées couvertes.



La chaussée en béton armé continu du tunnel de Cointe en Belgique : un revêtement durable, stable en toutes circonstances, clair et sûr.

Points de passage obligés, les tunnels canalisent un trafic toujours plus intense, du fait du recours de plus en plus systématique à l'automobile et du développement du transport routier. Situés à des endroits névralgiques, difficilement contournables, tant en agglomération qu'en site naturel (barrière montagneuse notamment), ces ouvrages en nombre limité sont soumis à la pression croissante d'une multitude d'usagers en quête de mobilité.

Conséquence : les niveaux de trafic observés, les vitesses des véhicules, voire même la nature de certains chargements sont de moins en moins compatibles avec les dispositions prises en matière de sécurité lors de la conception des ouvrages.

■ Enjeu de société

De fait, et même si l'accidentologie est faible, les événements tragiques de ces dernières années, (Mont-Blanc, Tauern, Gotthard...) donnent un coup de projecteur sur les tunnels ou, plus précisément, sur la façon dont ils intègrent la composante sécurité. Il est rare que de simples équipements et ouvrages de génie civil soient devenus, dans l'opinion publique, de véritables enjeux de société. Tant sur le plan de la sécurité que de la protection de l'environnement, comme en témoignent les nombreuses prises de position de représentants ou d'acteurs de la société civile (associations, élus, responsables

politiques ou syndicaux) en faveur d'une interdiction du tunnel du Mont-Blanc aux poids lourds.

Relayées par les médias, ces inquiétudes et revendications imposent aux administrations de prendre dans l'urgence des mesures correctives. Aussi, certaines données techniques ne sont pas prises en compte, et en particulier la nature des composants de la chaussée sur la sécurité des usagers et du personnel appelé à intervenir in situ, le respect de l'environnement, les charges d'exploitation, la fréquence et la nature des actions d'entretien, et même le dimensionnement du tunnel. Le gisement d'économies lors de la phase de construction, mais surtout pour le fonctionnement de l'ouvrage au quotidien, est réellement significatif.

Une approche en coût global le met clairement en évidence.

■ Épaisseur de chaussée et gabarit de percement réduits

À trafic équivalent, il est reconnu que la chaussée en béton optimise le dimensionnement (moindre épaisseur de la structure). Mais cet avantage est encore plus sensible pour les chaussées en tunnel. La raison ? La faible amplitude thermique observée dans l'ouvrage, milieu protégé du gel, des intempéries et de l'ensoleillement. Le dimensionnement de la chaussée en béton peut donc s'affranchir des gradients thermiques. Bénéfice : un gain de 5 à 6 cm sur l'épaisseur de la dalle. C'est le cas du tunnel de Cointe, maillon clé de la liaison entre l'E25 et l'E40 à Liège en Belgique, ouverte en juin 2000. L'épaisseur de la dalle béton a été fixée à 18 cm au lieu des

23 cm requis pour les sections autoroutières courantes. Pourtant, l'ouvrage supporte quotidiennement un trafic de 65 000 véhicules dans les deux sens de circulation.

■ Gestion des matériaux et optimisation des flux de transport

Les économies de matériaux (granulats, eau, ciment, armatures...) qui en découlent génèrent une économie globale en transport et son cortège de nuisances (bruit, pollution, dégradation du réseau routier). Mais ce gain en épaisseur permet aussi d'ajuster au mieux le gabarit de percement du tunnel, quelle que soit la technique employée (tunnelier, haveuse,...). Il en résulte d'importantes économies de mise en œuvre, répercutées ensuite sur la réalisation de nombreux corps d'état (voûte, parements, gaines techniques).

La filière béton prêt à l'emploi, qui dispose d'un grand nombre de sites de production répartis sur le territoire, permet de s'inscrire dans une démarche de maîtrise des transports de matériaux car le béton est souvent formulé à partir de granulats d'origine locale ou régionale.

■ Moins d'éclairage mais plus de visibilité

Indépendamment de ses caractéristiques dimensionnelles, la chaussée béton présente un avantage décisif sur les techniques classiques : sa clarté, une qualité intrinsèque du matériau, obtenue sans ajout de colorant, et par conséquent



La liaison autoroutière entre l'E40 et l'E25 à Liège, en Belgique, est traitée intégralement en béton armé continu (BAC).

sans surcoût. Intérêt : la luminosité du béton et ses caractéristiques de réflectance permettent d'abaisser significativement la puissance d'éclairage installée et donc l'investissement initial et les coûts d'exploitation (luminaires, équipements de distribution et de régulation etc.). Sur le long terme, cet avantage se traduit par des économies d'énergie sensibles, surtout à l'heure de la lutte contre l'effet de serre et de maintenance.

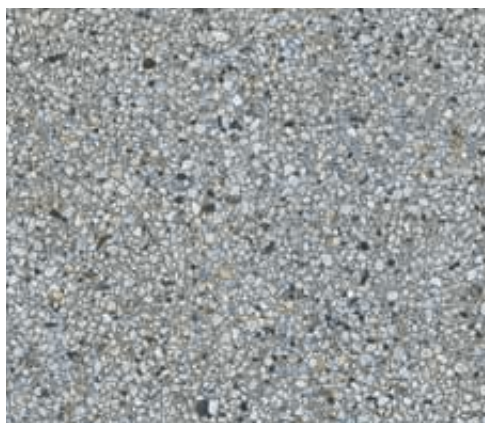
L'intérêt le plus immédiat de la clarté de la chaussée, surtout au regard des problématiques de sécurité routière, est d'améliorer grandement la visibilité. L'automobiliste repère plus rapidement les obstacles éventuels, car ils sont mis en relief par la clarté du béton. De plus, le conducteur visualise mieux la largeur de la voie de circulation. Ainsi, le béton, par la différenciation de l'espace qu'il induit, limite les risques de "suraccidents", grâce simplement à sa composante "sécurité passive".



La luminosité du béton améliore la visibilité et permet d'économiser sur les coûts et les équipements d'éclairage.

■ Inciter le conducteur à la prudence

À la clarté, s'ajoute la perception sonore du matériau béton, paramètre plus subjectif, mais néanmoins déterminant dans



Le choix du traitement de surface et du granulat donne à l'exploitant la possibilité de moduler la perception sonore de la chaussée.

le comportement des automobilistes. Sans être plus bruyante qu'une chaussée souple, la chaussée en béton présente un spectre d'émission sonore différent des structures de chaussées classiques, légèrement décalé des fréquences basses vers les fréquences moyennes.

Il est possible de moduler ce paramètre en jouant sur la finition (bétons balayé, désactivé, grenaillé) et par le choix de granulats de granulométrie spécifique.

L'aptitude du matériau de la chaussée à infléchir le comportement au volant mérite donc d'être considérée, au même titre que les autres paramètres entrant en ligne de compte lors de la conception de l'ouvrage. D'une façon générale, la pertinence du choix de la chaussée béton prend toute sa mesure dans une approche globale, tant sur le plan économique que sur celui de la protection des personnes, des biens et de l'environnement.

■ Pérennité : de multiples répercussions

En tunnel, la canalisation du trafic implique souvent des risques d'orniérage. Ces déformations augmentent les risques d'accidents par perte de contrôle du véhicule.

Pour y remédier, des travaux d'entretien (rabortages et rechargements) sont nécessaires. Ces travaux sont toujours sources de risques pour les usagers, mais surtout pour les équipes d'entretien travaillant en demi-chaussée, exposées aux dangers d'un trafic qui ne peut être interrompu en raison de la position stratégique des tunnels.

Quand la nécessité d'une fermeture pour travaux s'impose, c'est au prix de multiples nuisances (engorgement, pollution atmosphérique et sonore) causées par la mise en place d'un itinéraire de déviation souvent problématique.

En choisissant le béton, le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage ont la garantie d'une pérennité des caractéristiques mécaniques, de la régularité de l'uni et de l'adhérence.



La pérennité des caractéristiques structurales et de surface du béton limite la consommation en carburant.

■ Maintien de l'adhérence et de l'uni : moins de consommation de carburant et de pollution

Le béton désactivé, où les granulats sont rendus apparents par un dénudage chimique (épandage d'un produit qui inhibe la prise du béton en surface), permet d'obtenir une rugosité de surface très précisément définie. Selon la nature et la granulométrie des granulats, il est possible de moduler les caractéristiques d'adhérence en fonction des spécificités du projet. Le choix de granulats durs et non polissables assure la pérennité de la surface de la dalle béton et de ses caractéristiques. Combinée à la durabilité de l'uni de la chaussée, cette qualité se traduit aussi par une moindre résistance à l'avancement des poids lourds. Bilan : la consommation de carburant est notablement réduite, telles que l'attestent des études menées au Canada, aux Etats-Unis, en Inde, en Suède...

Si cette économie ne profite pas, en première analyse, aux exploitants, les retombées d'une consommation moindre sont néanmoins appréciables : la meilleure qualité de l'air et

la réduction de la pollution permettent de moins solliciter les installations de ventilation. De plus, la diminution des émissions de particules et autres résidus de combustion des moteurs encrasse moins le tunnel (plafonds, parois latérales et chaussée) ainsi que les dispositifs de ventilation et de traitement d'air, d'où des économies d'entretien.



Le béton armé continu (BAC) garantit la régularité de l'uni et l'absence de joints.

■ BAC, DALLE GOUJONNÉE, DALLE ÉPAISSE : QUELLE TECHNIQUE CHOISIR ?

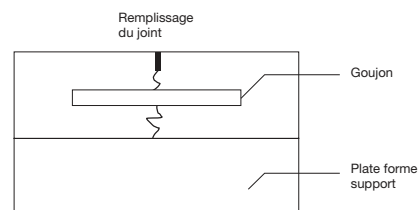
Dans un milieu confiné comme un tunnel et certaines tranchées couvertes, la relative stabilité des températures et l'absence d'exposition aux intempéries et au gel permettent d'optimiser le dimensionnement de la chaussée. La conséquence la plus sensible est une réduction de l'épaisseur de la chaussée en béton de 20 à 25 %. Le choix de la technique et de son mode

de mise en œuvre va dépendre du linéaire réalisé, du trafic, ainsi que des exigences en terme de confort, d'uni, voire d'esthétique.

- Le béton armé continu (BAC) est une chaussée exempte de joints, grâce à la présence d'armatures longitudinales continues. Cette particularité lui confère un confort de roulement très apprécié. Cette technique est utilisée aussi bien en

travaux neufs qu'en réhabilitation d'une ancienne structure.

- Le concepteur peut également opter pour la dalle goujonnée. Cette technique consiste à implanter au droit des joints de retrait des goujons assurant le transfert de charge entre les dalles.



- La dalle épaisse est une dalle béton exempte d'armatures.

À l'exception du BAC, exclusivement réalisé à la machine à coffrage glissant, ces techniques peuvent être mises en œuvre de façon mécanisée.

Selon les exigences en terme de délais de réalisation, il est possible de recourir à des formulations spécifiques de béton offrant des remises en circulation allant de 48 heures à moins de 6 heures, à base de ciments alumineux ou de ciment prompt.



Le béton armé continu est adapté à la réalisation de linéaires importants.

CONTRIBUTION DE LA CHAUSSÉE BÉTON AU CONCEPT DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



Par définition, le choix d'une solution constructive pérenne exercera moins de pression sur l'environnement. Aussi peut-elle s'inscrire dans une démarche de développement durable. Apte à remplir ses fonctions pendant plusieurs dizaines d'années, la chaussée béton préserve les gisements en matériaux. Il n'est plus alors nécessaire de reprofiler, recharger ou régénérer périodiquement.

Lors de la phase de mise en œuvre, le béton est appliqué à froid, qui plus est sans compactage. Ainsi, la phase de

chantier requiert moins d'énergie, limite l'exposition des ouvriers aux risques d'accident et génère moins de nuisances (bruit, vibrations, pollution atmosphérique et rejets des engins de chantier). En fin de vie, une chaussée béton peut être recyclée en granulats qui entreront dans la composition de sous-couches routières, voire de nouveaux bétons.

Pour dresser un bilan exhaustif de l'impact environnemental du béton, il faut prendre en compte l'intégralité de la chaîne de production : fabrication en

centrale, production du ciment en cimenterie et transport.

- Les centrales de béton prêt à l'emploi s'inscrivent dans une démarche de "déchet zéro" : des surplus de fabrication de béton frais, on extrait les granulats qui, après lavage, sont réinjectés dans le process. Les eaux chargées en laitance sont, quant à elles, utilisées comme apport de fines pour une fabrication ultérieure. Il faut signaler que ces installations sont de plus en plus souvent abritées par des hangars afin de limiter les nuisances pour le voisinage (bruit essentiellement).

- Le dernier point à souligner est l'excellente couverture du territoire français par les centrales BPE, elles-mêmes alimentées par les cimenteries, au nombre de 34. Grâce à ce maillage, l'impact environnemental du transport est limité. Le ciment est acheminé en priorité par voie fluviale ou ferroviaire, et il y a toujours une centrale BPE à moins de 30 km d'un chantier. Cette présence au plus près des besoins se double d'un recours privilégié à une main d'œuvre locale, et constitue l'une des composantes de la contribution sociale du béton.

Comportement neutre en cas d'incendie

Grâce à sa composition purement minérale, le béton est un matériau inerte, stable et ininflammable. Aussi le choix de cette solution apparaît-il comme particulièrement opportun. Tels sont les enseignements exprimés très récemment par les sapeurs-pompiers français et européens. En optant pour le béton, le maître d'ouvrage a l'assurance qu'en cas d'incendie, la chaussée ne contribuera pas à aggraver la situation. Ainsi, la bonne intervention des secours ne sera pas compromise. Bien entendu, le rôle des dispositifs actifs que sont la ventilation, le désenfumage, les alarmes et tous les équipements de détection est absolument prédominant. Il faut toutefois avoir conscience qu'un surcroît d'élévation de température peut endommager certains équipements (capteurs, câblage électrique, organes de commande etc.), risquant d'entraîner des pannes d'éclairage et des systèmes de sécurité.



■ Diminuer les facteurs de risques

Même si la contribution de la chaussée au sinistre doit être relativisée, compte tenu de l'important pouvoir calorifique des véhicules et du carburant, la recherche de la diminution maximale du risque paraît légitime. Le bénéfice pour l'exploitant est plus qu'évident : outre l'objectif d'abaisser par tous les moyens le nombre de victimes parmi les usagers, les équipes de secours, les médecins... exposés à la chaleur et aux gaz, la perspective de limiter les dégradations sur l'ouvrage (voûte, équipements), causées par l'apport supplémentaire de combustible, est un enjeu financier important. Plus les dégâts seront importants, plus les travaux seront longs et coûteux. Mais pour être complet, le bilan financier doit aussi intégrer le manque à gagner pendant la fermeture du site dans le cas d'un ouvrage à péage. Un bilan qui n'intègre pas les conséquences de la mise en place d'une déviation sur l'environnement et l'économie locale ou régionale.

L'administration autrichienne a intégré ce souci de réduction

des facteurs de risque en imposant la solution béton dans les tunnels routiers de plus d'un kilomètre. Pour les mêmes raisons, la Slovaquie et la Belgique privilégient également la chaussée béton en tunnel.

■ Régler les problèmes à la source

Le choix de la chaussée béton s'inscrit dans une démarche globale et d'anticipation des désordres et des risques de sinistres. L'intégration le plus en amont possible d'un maximum de paramètres témoigne de la qualité de la conception, tant sur les plans techniques et fonctionnels, appréciables à la réception de l'ouvrage, que sur le long terme (durabilité de l'ouvrage notamment) avec des répercussions économiques (travaux d'entretien et disponibilité de l'ouvrage). Mais limiter l'incidence de la nature de la chaussée à ces aspects n'est pas suffisant, tant elle participe à la sécurité des personnes et des biens. L'absence de déformation de la chaussée, la réduction du nombre d'interventions d'entretien in situ et des risques sous-jacents, la clarté du revêtement et la visibilité qu'il procure, la capacité à infléchir le comportement des automobilistes, la stabilité de la structure en cas de sinistre et l'inflammabilité du matériau se conjuguent en un faisceau de qualités qui assoient de façon indiscutable la pertinence du choix de la chaussée béton dans les tunnels et les tranchées couvertes. Enfin, la limitation des nuisances et des émissions de gaz à effet de serre est aussi un atout complémentaire de la technique béton face aux préoccupations de plus en plus pressantes en matière de protection de l'environnement.



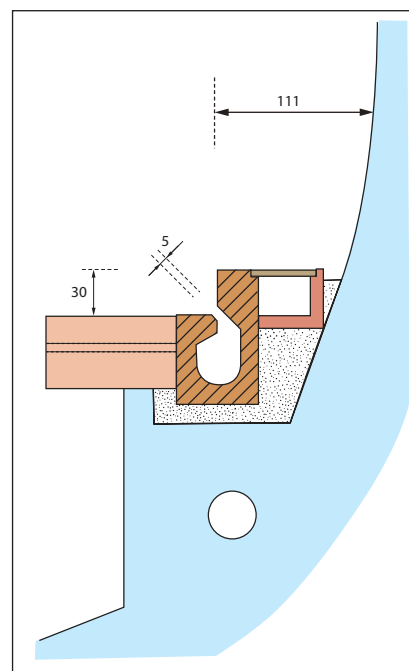
■ CHAUSSEE, BORDURES, CANIVEAUX : UNE NECESSAIRE HOMOGENEITE DE MATERIAUX

Dans les tunnels, l'intensité du trafic soumet la chaussée à de fortes sollicitations. Il n'est donc pas étonnant de constater des déchaussements des bordures et des caniveaux, surtout lors d'embarquées de véhicules "mordant" sur les bas-côtés. Ces "points durs" sont au contact d'une structure souple, qui évolue, se déforme, est sujette au fluage, à l'orniérage... En revanche, le choix d'une chaussée rigide s'oppose à l'apparition de tels désordres. Les raisons ?

D'une part, l'homogénéité de matériaux garantit une "unité" de comportement des ouvrages. D'autre part, les techniques de mise en œuvre du béton permettent d'intégrer les caniveaux et bordures

à la chaussée, ouvrages "fondus" en un élément monolithique.

Autre bénéfice : la garantie d'une étanchéité totale du fait de l'absence de mouvements différentiels entre la chaussée et les ouvrages d'assainissement. Ajoutons que la chaussée est le premier réceptacle de substances comme les hydrocarbures ou les huiles et que le choix du béton permet de se prémunir contre les agressions chimiques qui endommagent les chaussées traditionnelles. Ainsi la fonction d'évacuation des produits dangereux, surtout en cas d'accident, et notamment lorsqu'il s'accompagne d'un incendie, est-elle préservée, quelle que soit la température atteinte dans le tunnel.



Le béton permet d'assurer le monolithisme de la liaison entre chaussée, bordures et caniveaux, tout en diminuant les risques de dégradation.