

LES INFRASTRUCTURES
DE TRANSPORTS COLLECTIFS DE SURFACE

Structures et revêtements en béton



LES INFRASTRUCTURES

DE TRANSPORTS COLLECTIFS DE SURFACE

Structures et revêtements en béton

Les contributions à l'ouvrage

<i>Joseph</i> ABDO	CIMBÉTON
<i>Alain</i> CAMUS	RMC
<i>Armand</i> CORVIOLE	UNIBÉTON / CALCIA
<i>Alain</i> DEPETRINI	SPECBEA
<i>Pascal</i> DUMUR	HOLCIM France
<i>Éric</i> GRAND	CALCIA
<i>Patrick</i> MANZANERO	HOLCIM BÉTONS
<i>Jean-Marc</i> POTIER	VICAT
<i>Jean-Christophe</i> REDON	LAFARGE CEMENTS
<i>Benoist</i> THOMAS	SNBPE
<i>Éric</i> VIEVILLE	TRANSBÉTON
<i>Yohann</i> VITRÉ	SNBPE Sud Est

Sommaire

1. Historique	7
---------------	---

2. Les spécificités liées aux plates-formes de transport collectif de surface	9
2.1 - Au niveau des gabarits et des charges du matériel roulant	9
2.2 - Au niveau du trafic, des vitesses et des sollicitations	11
2.3 - Au niveau des structures et des revêtements des plates-formes	12
2.4 - L'intégration au niveau urbain	14
2.5 - La mise en œuvre des matériaux constituant les structures et revêtements pour les véhicules de transport collectif de surface	15
2.6 - Les contraintes dues à l'encombrement du sous-sol urbain	16

3. Structures et revêtements : les solutions béton	17
3.1 - Structures et revêtements pour les tramways sur rails	17
3.2 - Structures et revêtements pour les tramways sur pneus à guidage central	19
3.3 - Structures et revêtements pour les bus, trolleybus...	20

4. Bibliographie	23
------------------	----

● Bordeaux, Clermont-Ferrand, Caen, Grenoble, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Orléans, Rouen, Saint-Étienne, Strasbourg, Paris... Quelle agglomération n'a pas développé son réseau de tramway ou projeté de le faire prochainement? Emblématique du renouveau urbain de collectivités souhaitant tourner la page du tout voiture, ce mode de transport collectif est chaleureusement accueilli par les usagers, une fois dissipés les tracas inhérents au chantier.

Esthétique, durable, résistant, le béton accompagne depuis l'origine le renouveau des infrastructures de transport collectif et en particulier les tramways, grâce à une palette de solutions répondant aux contraintes spécifiques de ce transport collectif d'avenir.

LES APPORTS DU BÉTON

- > Anti-orniérant: grâce à la rigidité intrinsèque du béton, le revêtement ne se déforme pas sous l'effet des charges lourdes et canalisées, quelle que soit la température ambiante.
- > Matériau de proximité, de fabrication courante, facile à mettre en œuvre en milieu urbain (épouse les formes complexes).
- > Esthétique: une grande variété de finitions répondant à toutes les exigences des concepteurs (couleurs, textures, formes).
- > Sans impacts sur l'environnement: matériau coulé à froid, sans compactage.
- > Durabilité, absence d'entretien.

1. Historique

L'histoire raconte que dès 1820, aux USA, l'idée naquit de mettre en place des « longrines » dans les rues des villes afin de créer des chemins de roulement spécifiques pour les roues des véhicules lourdement chargés. De même, c'est à partir de 1852, toujours aux USA, que se développèrent les réseaux de « tramways » à l'origine à traction hippomobile sous l'impulsion d'un français, M. Loubat, qui exporta ensuite son idée en Europe. La voie du tramway avec rails fut ainsi, au fil des évolutions de la traction mécanique, vapeur, air comprimé, électricité (vers 1900), de l'augmentation des charges à l'essieu et des vitesses de circulation croissantes, de plus en plus soumise à des sollicitations importantes.

*Ancien tramway
de Marseille*



En parallèle, se développa au début du xx^e siècle le concept du « trolleybus », véritable autobus à alimentation électrique aérienne utilisant les voiries classiques. Ce système se développa dans plusieurs villes de France et dans quelques-unes des banlieues parisiennes mais pas dans Paris intra-muros (probablement à cause des problèmes d'installation de lignes électriques complexes et peu esthétiques...). C'est le « bus », généralement à moteur thermique (diesel) qui se généralisa le plus dans les grandes villes françaises avec, il y a peu de temps encore, la création de voies réservées afin d'accroître la régularité de passage et d'éviter les embouteillages générés par la prolifération des voitures particulières.

En fait, le déclin du tramway se produisit, en France, après la seconde guerre mondiale où seuls subsistaient, au début des années quatre-vingt, quelques segments de réseaux comme à Saint-Étienne (6 km), Lille (15 km), Marseille (3 km), etc.



Tramway de Marseille

Le renouveau des transports collectifs de surface, autre que celui concernant les autobus, est survenu depuis 1985 par la création de nouvelles lignes de tramways sur rails à Nantes, Grenoble, Rouen, Strasbourg... puis sur pneus à Caen, Nancy... suite à un changement de mentalité des populations vis-à-vis de l'automobile (qui avait perdu l'aspect « véhicule de tourisme » pour devenir « plus utilitaire et véhicule de tous les jours ») dont la multiplication conduisait à l'asphyxie des villes avec les conséquences bien connues au niveau de la pollution et des nuisances sonores. Les élus de ces villes ont vite compris le message et ont cherché à satisfaire aux besoins très forts en matière de déplacements. Au-delà de la nécessité de déplacement, le choix du tramway a été l'occasion de repenser l'urbanisme du centre ville. Les évolutions technologiques du matériel roulant et des matériaux de construction ont permis de concrétiser cette politique de développement.

C'est ainsi que, pour répondre aux sollicitations de plus en plus élevées générées par les nouveaux matériels roulants (cas des tramways sur rails à essieux de 12 t et à plusieurs voitures, tramways sur pneus à guidage central...) et aux exigences



Tramway de Lyon

des architectes et urbanistes en matière d'esthétique et de qualité environnementale, le béton de ciment s'est révélé être un matériau parfaitement adapté à la problématique des structures et des revêtements pour les véhicules de transports collectifs de surface de tout type, tout en démontrant sa capacité à résister à l'usure du temps.

2. Les spécificités liées aux plates-formes de transports collectifs de surface

2.1 - Au niveau des gabarits et des charges du matériel roulant

Pour les tramways sur rails

Depuis les années 1990, les nouvelles générations de tramway se caractérisent par une augmentation des performances fonctionnelles, un meilleur confort, un accroissement de la sécurité pour les usagers et une plus grande capacité. Ainsi, peut-on rencontrer des systèmes à 2, 3 ou 4 caisses s'appuyant sur 2,3 ou 4 bogies.

Par rapport aux tramways anciens, les puissances et les poids ont considérablement augmenté. On trouve ainsi :

- des rames composées de 2, 3 ou 4 caisses avec un PTAC allant de 48 à 52 t ;
- une version de 43 m de longueur avec 7 caisses articulées et 4 bogies ; le PTAC est de 74 t et la charge à l'essieu de 9,25 t.



Tramway sur rails.

Les tramways sur rails modernes sont, malgré les efforts des constructeurs, plus lourds à l'essieu que ceux des générations précédentes. Ils ont des charges à l'essieu comprises entre 9 et 10 t et sont toujours groupés par paires en bogies. Les véhicules du début du xx^e siècle faisaient 4 t à l'essieu ; ceux de la génération des années soixante, de l'ordre de 7 t. Il faut donc garder à l'esprit que les sollicitations dues aux matériels roulants d'aujourd'hui sont beaucoup plus fortes que celles d'autrefois et que les matériaux destinés à la construction des plates-formes doivent être de nature à supporter ces sollicitations.



Tramway sur pneus.

Pour les véhicules sur pneus (bus traditionnels et tramways sur pneus)

Les véhicules sur pneumatiques y compris les systèmes guidés sur pneus (tramways sur pneus) présentent généralement les caractéristiques suivantes.

- La largeur maximale est de 2,55 m et les longueurs maximales sont de :
 - 12 m pour des véhicules constitués d'une seule caisse ;
 - 18 m pour des véhicules articulés constitués de 2 caisses ;
 - 25 m pour des véhicules articulés constitués de 3 caisses.

- Le poids total autorisé en charge (PTAC) peut atteindre les limites suivantes :
 - véhicules à 2 essieux : 19 t ;
 - véhicules à 3 essieux : 26 t ;
 - véhicules à 4 essieux ou plus : 32 t ;
 - ensemble articulé : 4 essieux maximum 38 t ;
 - ensemble articulé : plus de 4 essieux 40 t.

Comparativement aux poids lourds, pratiquement aucun véhicule muni de pneumatiques (systèmes routiers et systèmes guidés sur pneus) ne dépasse les charges maximales autorisées par le code de la route (essieu standard 13 t).

CLASSEMENT DES SYSTÈMES DE TRANSPORTS COLLECTIFS DE SURFACE

Les systèmes routiers (bus, trolleybus, autocars...)

Ces véhicules sont exploités, en général, sur la voirie routière, en site banalisé, en couloir réservé ou en site propre protégé totalement ou partiellement. Ce sont :

- les minibus ou bus à gabarit réduit ;
- les autobus standards et articulés à 2 ou 3 caisses ;
- les trolleybus standards à 2 caisses ;
- les autobus ou autocars périurbains ou interurbains.

Les systèmes guidés sur pneus (tramways sur pneus)

Ils circulent généralement en site propre, protégé et franchissable. À titre d'exemple, on peut citer :

- le CIVIS de IRIBUS et Siemens Transport ;
- le TUR de Bombardier Transport ;
- les versions SE de la gamme Translohr.

Les tramways (sur rails)

Il s'agit de véhicules à roulement fer sur fer. Les tramways circulent en site propre, en général protégé, franchissable et parfois partagé avec des systèmes d'exploitation routière courante ou occasionnelle.

2.2 - Au niveau du trafic, des vitesses et des sollicitations

Les cadences de passage sont, pour les voies très fréquentées, au maximum de :

- 6 à 10 minutes pour des minibus et autobus en site banalisé ;
- 3 à 5 minutes pour des autobus en site propre ;
- 3 minutes pour des systèmes guidés sur pneus et sur rails.

Les vitesses de ces véhicules sont, en général, modérées. En y intégrant les arrêts, elles sont de l'ordre de :

- 15 à 25 km/h pour les systèmes guidés sur pneus et sur rails ;
- 15 à 20 km/h pour les autobus en site propre ;
- 10 à 20 km/h pour les autobus en site banalisé.

Les systèmes de transports collectifs se caractérisent aussi par des arrêts nombreux avec autant de phases de décélération, freinage puis accélération. Les distances inter-stations sont généralement entre 300 et 500 m.

Le matériel roulant est appelé à circuler toujours au même endroit, donc avec une agressivité extrêmement forte sur le revêtement et les matériaux de chaussées.

2.3 - Au niveau des structures et des revêtements des plates-formes

Pour les tramways sur rails, les structures des plates-formes sont, dans la majorité des cas, confectionnées avec un béton coulé en place. Le revêtement peut être soit un béton coulé en place, soit une couche bitumineuse, soit des éléments modulaires, soit des matériaux stabilisés, soit enfin de la terre végétale.

Pour les tramways sur pneus, y compris les autobus, la logique du choix et du dimensionnement des structures est celle des structures routières à quelques précisions et adaptations près pour prendre en compte, d'une part la canalisation des charges et, d'autre part, l'agressivité accrue en situation de croisement des véhicules lorsque les bandes de roulement sont rapprochées.

En ce qui concerne le revêtement, la principale conséquence est que le matériau est particulièrement sollicité par la canalisation extrême des charges, les vitesses moyennes modérées, des arrêts fréquents, des zones de freinage et d'accélération. Les revêtements traditionnels routiers seront donc reconsidérés afin de



Tramway de Caen, surface bitumineuse ornierée.

Surface BAC parfaite.



choisir des matériaux particulièrement résistants au poinçonnement, aux charges statiques et à l'orniérage.

Les réponses du béton

Le béton de ciment, par sa rigidité (et donc sa résistance au fluage) et son aptitude à bien répartir les contraintes au niveau de la plate-forme est le matériau idéal pour faire face à ce type de sollicitations. En particulier, pour les tramways sur pneus, l'utilisation de chemins de roulement en béton apporte une garantie de tenue à l'orniérage et, le cas échéant, un bon calage du rail de guidage.

Le béton est le matériau par excellence qui résiste aux charges lourdes, répétitives et canalisées...



Tramway de Nantes

2.4 - L'intégration au niveau urbain

Un transport collectif moderne faisant appel aux matériels roulants techniquement sophistiqués et au « design avant-gardiste » (voir les voitures du tramway de Bordeaux, de Lyon, de Caen, etc.) doit s'accompagner d'infrastructures agréables à l'œil et répondant au vœu des architectes et urbanistes tout en s'intégrant à l'environnement proche. Ainsi, les voies de circulation, les voies ferrées ou les voies avec système de guidage doivent-elles être discrètes tout en étant visibles. À ce sujet, la plupart des architectes s'accordent à considérer qu'un revêtement clair s'intègre mieux en centre ville.

Les réponses du béton

Là aussi, le matériau béton de ciment apporte une réponse adéquate en offrant une grande palette de techniques de traitements de surface et de coloris durables dans le temps.

LES TRAITEMENTS DE SURFACE DU BÉTON

Observation d'un grand cabinet d'architectes et d'urbanistes: « on constate, de la part des maîtres d'ouvrage, une sensibilité très aiguisée et une demande de diversification des couleurs de revêtement afin de bien identifier les fonctions des espaces... ».

La surface du béton peut être déclinée grâce:

- à plusieurs combinaisons de granulats (calcaire blanc, silico-calcaire, porphyre, basalte, etc.);
- à une plage de granularité étendue (jusqu'au 6/20);
- à une plage d'indice de concassage extrême (du matériau roulé au matériau 100 % concassé);
- à plusieurs procédés de traitements de surface:
 - sablage,
 - désactivation,
 - bouchardage,
 - polissage,
 - impression,
 - ponçage;
- à une palette très large de pigmentation du mortier (coloration dans la masse).



Béton sablé.



Béton désactivé.

2.5 - La mise en œuvre des matériaux constituant les structures et revêtements pour les véhicules de transports collectifs de surface

Contrairement à une voirie classique, l'inclusion dans la chaussée de rails de circulation ou de guidage pour un tramway sur pneu ne facilite pas la mise en place des matériaux par compactage. En outre, en plein cœur de la ville, le compactage des matériaux d'assise peut générer des désordres aux réseaux enterrés et aux bâtiments à proximité.

Les réponses du béton

Un béton coulé en place supprime ces inconvénients et apporte une grande souplesse d'exécution au niveau des chantiers.



Mise en œuvre du béton.

2.6 - Les contraintes dues à l'encombrement du sous-sol urbain

Par suite de l'encombrement du sous-sol, certains réseaux sont enfouis à des profondeurs faibles avec impossibilité de les déplacer, rendant obligatoire l'utilisation dans les structures de chaussées de matériaux rigides aptes à répartir les charges et d'épargner ainsi les réseaux enterrés de toute sollicitation excessive.

Les réponses du béton

La solution béton, par l'effet de dalle qu'elle apporte, répond de façon appropriée à cette problématique.

3. Structures et revêtements : les solutions béton

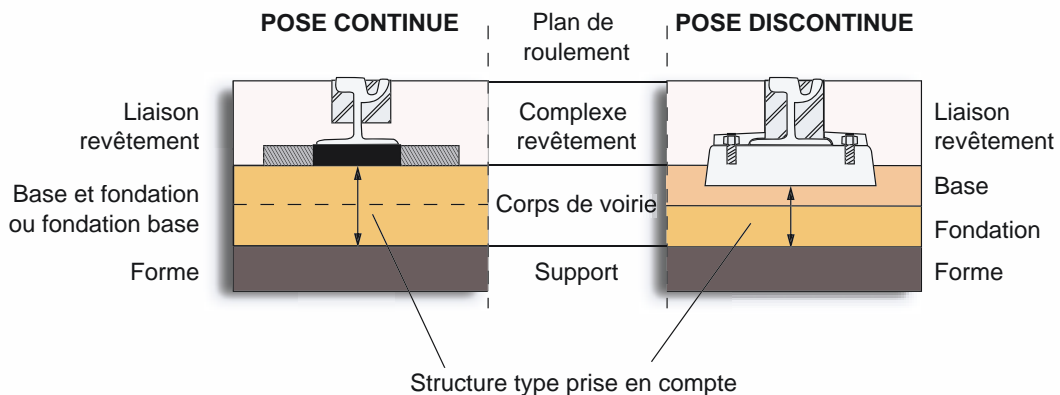
3.1 - Structures et revêtements pour les tramways sur rails

La structure type d'une plate-forme de tramway se compose généralement :

- d'un corps de voirie ou de chaussée constitué d'une couche de fondation et d'une couche de base ou d'une couche unique de fondation - base appliquée sur le fond de forme préparé pour l'obtention de la portance requise ;
- d'un complexe de surface constitué d'une couche de liaison et d'un revêtement.

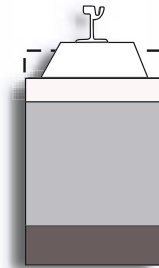
Le dimensionnement des structures types, proposées pour les tramways sur rails, ne prend pas en compte le complexe de surface, à l'inverse des dispositions prises pour les tramways sur pneus.

La nature des matériaux envisagés dans le corps de voirie, leurs caractéristiques et leurs épaisseurs varient en fonction du système retenu pour la pose des rails.



Dans le cas d'une pose discontinue, le corps de voirie est constitué :

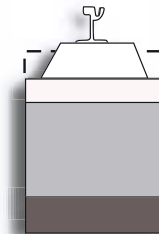
- d'une couche de base en béton de classe 5, d'épaisseur comprise entre 15 et 25 cm, mais dont une partie (7 à 10 cm) se trouve sous le blochet, destinée à assurer le nivellement, le calage et le blocage du blochet ;
- d'une couche de fondation en grave-ciment (d'épaisseur 30 à 45 cm selon le niveau de portance du sol support) ou en béton de classe 3 (d'épaisseur 20 à 30 cm selon le niveau de portance du sol support).



7 cm en béton
de ciment classe 5

33 cm grave ciment

Fond de forme



7 cm en béton
de ciment classe 5

19 à 29 cm en béton
classe 3

Fond de forme

Dans le cas d'une pose continue, le rail étant fixé directement sur le corps de voirie, ce dernier est constitué :

- d'une couche de base en béton de classe 5, d'épaisseur comprise entre 20 et 30 cm,
- éventuellement, d'une couche de fondation en béton de classe 3 (environ 15 à 20 cm) ou en grave-ciment (environ 20 à 25 cm selon le niveau de portance du sol support).



20 à 30 cm en béton
de ciment classe 5

15 à 20 cm en béton
classe 3

Fond de forme

Le cas du tramway de Montpellier est original puisque la couche de base a été réalisée en « béton compacté », technique s'avérant intéressante sur le plan économique et pouvant être mise en œuvre avec les moyens traditionnels généralement utilisés par les entreprises routières lorsque les conditions de mise en œuvre sur le site le permettent.

*Tramway de Montpellier
réalisé en béton compacté.*



- Le complexe de surface des plates-formes de tramway peut être constitué :
- d'une couche de béton coulé en place, traitée en surface pour conférer au revêtement l'intégration esthétique et architecturale recherchée ;
 - d'une couche en éléments modulaires (pavés ou dalles en béton) ;
 - d'une couche en terre engazonnée ;
 - d'une couche en matériaux bitumineux (BBSG, BBM, BBTM).

3.2 - Structures et revêtements pour les tramways sur pneus à guidage central

En plus des techniques de dalles californiennes à joints goujonnés ou non, le Béton Armé Continu (BAC) supprimant les joints de retrait, est particulièrement adapté à la configuration du tramway sur pneus guidé par un rail central (lui-même noyé au sein du béton). C'est la technique innovante qui a été retenue à Caen sur une partie du tronçon (3 km de Béton Armé Continu sur 11 km).



*Tramway de Nancy.
Traces d'ornières visibles dans
les bandes de roulement.*

3.3 - Structures et revêtements pour les bus, trolleybus...

En travaux neufs, la technique du béton de ciment à dalles, goujonnées ou non, convient particulièrement aux couloirs, arrêts et gares terminales réservées aux bus et trolleybus (dimensionnement correspondant à une durée de vie élevée, insensibilité au phénomène de fluage et d'orniérage dans les bandes de roulement, insensibilité aux hydrocarbures, couleur claire se différenciant des voies classiques de circulation...).

En réhabilitation, la technique du Béton de Ciment Mince Collé (BCMC), introduite en France en 1996, a été testée avec succès à Paris, à Grenoble, à Marseille, à Rennes et à Nice et offre une solution intéressante lors de la réhabilitation de chaussées bitumineuses déformées.



Arrêt de bus en BCMC.

LA SOLUTION BÉTON : UNE QUALITÉ DE RÉALISATION ASSURÉE

Caractéristiques générales du béton

Le béton pervibré satisfait à 3 caractéristiques pour le mélange hydraulique :

- résistance mécanique du béton à 28 jours (norme XP P 18-010)
- résistance au gel et aux fondants
- consistance du béton (norme NF P 18-451)

Les granulats satisfont aux exigences de la norme XP P 18-540 (ou XP P 18-545) et l'annexe A de la norme NF P 98-170.

Le ciment satisfait à la norme NF EN 197-1.

Le béton satisfait à la norme NF EN 206-1 et aux exigences de la norme NF P 98 170.

La mise en œuvre est réalisée manuellement ou avec l'emploi de machines à coffrages glissants (machine de type C de la norme NF P 98-170) chaque fois que la géométrie, la facilité d'accès au chantier et l'importance des travaux le permettent.

Exemple de formulation pour 1 m³ béton de dalle non armé et non goujonné pour voirie urbaine :

Sable 0/4 700 kg
Gravillon 4/20 concassé 1 200 kg
Ciment CEM II/B 32,5 N ou R 330 kg
Eau 160 l
Entraîneur d'air 0,2 kg
Plastifiant 1,65 kg

La maîtrise des phénomènes liés à la présence de rails (de roulement ou de guidage)

Le béton doit cohabiter avec « l'élément rail en fer » et le réseau composite associé, à la mise en place et dans son fonctionnement, des matériaux différents soigneusement sélectionnés [produits pour joints, systèmes antivibratiles en caoutchouc (ou en mousse), colles et résines, etc.].

Tous ces dispositifs de construction ont été pensés et élaborés suite à un important travail en partenariat entre collectivités publiques, exploitants, concepteurs, équipementiers, producteurs de matériaux... offrant ainsi une garantie de la durabilité de l'ouvrage.

4. Bibliographie

1. Ouvrages

Guide technique des chaussées en béton, SETRA/LCPC, 1997.

Voies départementales 92 – plates-formes de transports collectifs de surface : inventaire et choix des revêtements et structures, juin 2003.

Cours de chemin de fer, ESTP.

Voie tramway et roulement fer, Cogifer, janvier 2002.

Une solution durable contre l'orniérage – Le Béton de Ciment Mince Collé « BCMC », CIMBÉTON.

2. Contributions et articles

« Le point sur les structures et revêtements pour tramways : état des lieux ». *Revue Routes (Cimbéton)*, décembre 2003, N° 86

« Bordeaux : un tram pour Noël ». *Revue Rail et Transport*, 17 décembre 2003, N° 311.

CHRISTORY (J.-P.), CLUZAUD (J.-M.), OURY (J.-R.). « Les plates-formes de transports de surface. Nouveaux besoins, nouvelles perspectives. Le cas du matériau béton ». *Revue générale des routes (RGRA)*.

Illustration de la couverture

David Lozach

Maquette et réalisation

Amprincipe – Paris

R.C.S. Paris B 389 103 805

Crédit photographique

Romualda Holak

Impression

Gibert Clarey

Édition, juillet 2004