



Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)



Marseille

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LE RENOUVEAU DU TRANSPORT COLLECTIF DE SURFACE EN SITE PROPRE



1900 :
le tramway à Angers
(Place du Ralliement)



Années 50 :
après le déclin du
tramway, la ville
ouverte aux voitures



2011 :
le renouveau
du tramway à Angers

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LE RENOUVEAU DU TRANSPORT COLLECTIF DE SURFACE EN SITE PROPRE

Nouveaux enjeux et nouvelles tendances

Enjeux environnementaux

- Raréfaction des ressources naturelles énergétiques
- Changement climatique
- Pollution, nuisance et santé publique

Prise en compte au niveau des décideurs

- Plans de Développement Urbain (PDU)
- Évolution des politiques gouvernementales (2007 : MEDAD... MEEDDAT... Grenelle de l'Environnement... MEDDM...)



Douai

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LES OBJECTIFS

Les infrastructures de transport collectif de surface vont contribuer à :

Minimiser la consommation des ressources naturelles

Réduire la consommation des énergies fossiles

Diminuer les émissions des **gaz nocifs** pour l'environnement et pour la santé

Effectuer une **réhabilitation urbaine** des quartiers traversés



Angers

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LES SOLLICITATIONS

Sont de plus en plus élevées et générées par :

Les nouveaux matériels roulants :

- Tramways sur rails à essieux de 12 tonnes et à plusieurs voitures
- Tramways sur pneus à guidage central
- Bus à haut niveau de service

La canalisation des charges : en particulier, avec les tramways sur pneus

Les techniques de pose des rails



Nîmes



Paris

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LES NOUVELLES EXIGENCES

Une meilleure insertion de la plate-forme dans l'environnement urbain

Un meilleur rendu en matière d'esthétique et de qualité environnementale



Nice



Reims

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LA RÉPONSE DU BÉTON

Le béton de ciment

Matériau parfaitement adapté aux plates-formes de transport collectif en site propre

En particulier : à la problématique des tramways

Raisons

Rigide et indéformable, quels que soient :

- Le trafic (nature et intensité)
- Le temps d'application de la charge (charge à l'arrêt ou à vitesse réduite)
- Les conditions climatiques (température élevée)

Anti-orniérant, par excellence

Esthétique : constitution minérale, multiples déclinaisons et traitements de surface

Béton → Véritablement le matériau façonné pour l'intégration urbaine



Nice

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

Le béton des plates-formes de tramway doit satisfaire aux exigences des normes suivantes :

NF EN 206-1 : Béton - Partie 1 : Spécifications, performances, production et conformité, et son Annexe Nationale

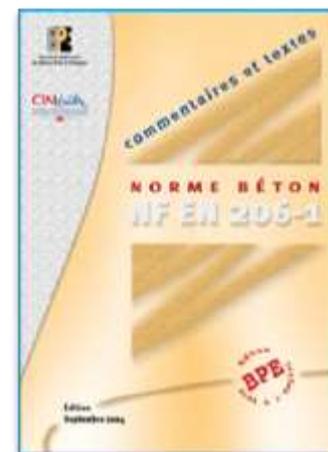
NF EN 13877-1 : Chaussées en béton - Partie 1 : Matériaux

NF EN 13877-2 : Chaussées en béton - Partie 2 : Exigences fonctionnelles pour les chaussées en béton

NF EN 13877-3 : Chaussées en béton - Partie 3 : Spécifications relatives aux goujons

NF P 98-170 : Chaussées en béton de ciment - Exécution et contrôles

Fascicule 28 du CCTG (2002)



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LES SOLLICITATIONS DU BÉTON

Elles sont de deux types

Sollicitations dues au trafic

Sollicitations dues aux agents atmosphériques

Sollicitations dues au trafic → Imposent au béton des caractéristiques mécaniques spécifiques :

- Résistance minimale en fendage
- Résistance élevée à « l'usure » superficielle (aux intersections et carrefours)

Bondy



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LES SOLLICITATIONS DU BÉTON

Sollicitations dues aux agents atmosphériques (vent, chaleur, froid...)

Prises en compte par les classes d'expositions de la norme NF EN 206-1

Pour les bétons de couches de roulement :

- Classes XF2 ou XF4 selon le niveau de gel
- Fabrication du béton : **adjonction obligatoire d'un adjuvant entraîneur d'air**
 - Donne au revêtement béton une résistance élevée au gel en présence de sels de déverglaçage
- Mise en œuvre : **protections obligatoires**
(Cure du béton → Empêche l'évaporation de l'eau)



Lyon



Nîmes

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LA FORMULATION DES BÉTONS

Choix des constituants et définition de leur proportion dans le mélange

→ À déterminer pour obtenir des performances adaptées :

- Au mode de mise en œuvre
- Aux sollicitations particulières auxquelles les matériaux sont soumis
- Aux qualités esthétiques recherchées

Béton destiné aux plates-formes de tramway → Constitué de gravillons, sable, ciment, eau, plastifiant et agent entraîneur d'air



Autres éléments pouvant être incorporés :

- Éléments fins actifs ou non / Fibres / Colorants / Autres adjuvants (vérifier la compatibilité entre eux)

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Définie par la résistance caractéristique atteinte à 28 jours

Les 5 classes de résistance de la norme NF P 98-170

Catégorie NF P 98 -170	Résistance caractéristique (en MPa)	Classe de compression (NF EN 206 -1)	Classe de fendage
BC 2 Uniquement en assises	20	C 20/25	S 1,7
BC 3 Uniquement en assises	25	C 25/30	S 2,0
BC4 Roulement voirie à faible trafic	29	C 30/37	S 2,4
BC 5 Roulement tous types de routes	32	C 35/45	S 2,7
BC 6 Applications aéroportuaires	38	C 40/50	S 3,3

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

SYSTÈMES DE TRANSPORT COLLECTIF EN SITE PROPRE

3 grandes familles



Les tramways sur pneus
(Sénart)



Les tramways sur rails
(Lyon)



Les bus à haut
niveau de service
(Metz)

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

LE TRAMWAY SUR RAILS

Composition d'une structure-type en section courante

Structure en béton

- Couche de fondation
- Couche de base
- Ou couche unique de fondation/base, appliquée sur le fond de forme préparé pour l'obtention de la portance requise

Revêtement

- Assure la double fonction :
- Matériau de remplissage entre les rails
- Matériau d'aménagement (au sens esthétique) et d'intégration à l'environnement urbain



Angers



Reims

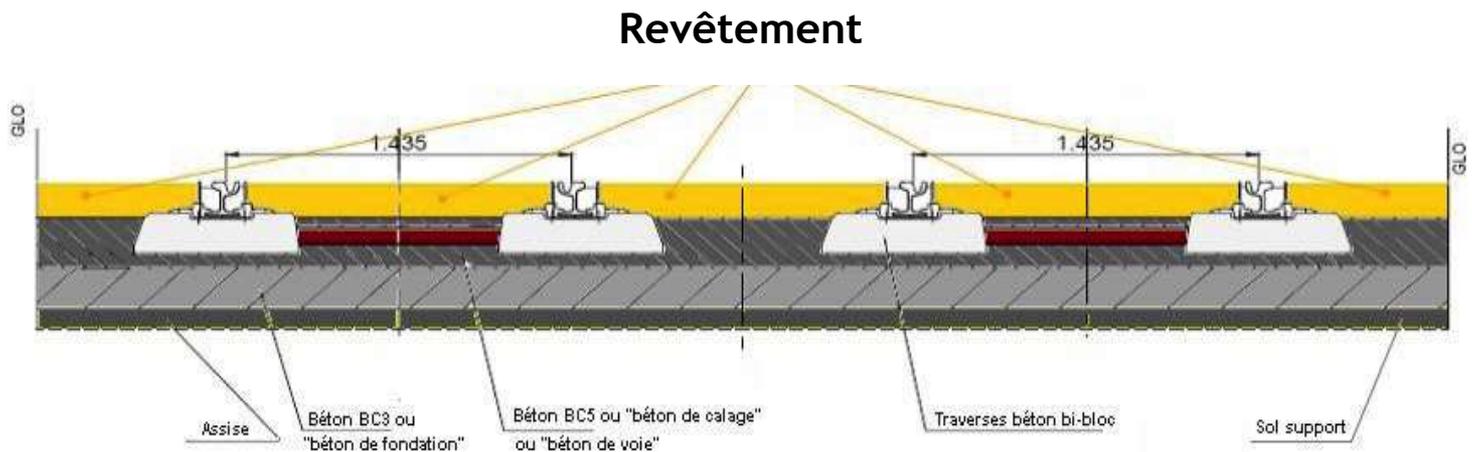
4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Typologies de la plate-forme en section courante

Pose discontinue sur traverses << épingles >>

Pose continue classique



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Pose discontinue

Structure-type et dimensionnement en section courante

Constitution du corps de voirie :

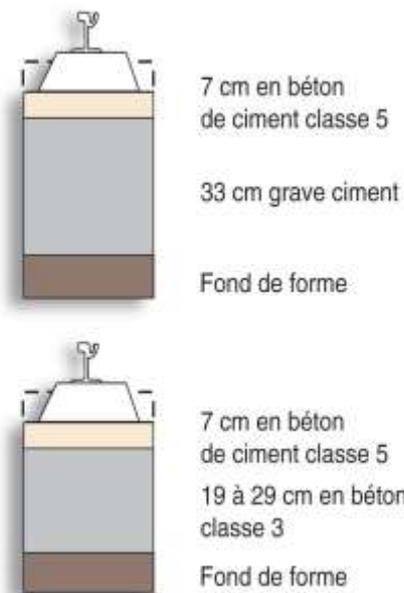
Une couche de base en béton de classe 5 (BC5)

→ Épaisseur 15 à 25 cm = 7 à 10 cm se trouvent sous le blochet, destinés à assurer le nivellement, le calage et le blocage du blochet

Une couche de fondation en grave-ciment

→ Épaisseur 30 à 45 cm selon le niveau de portance du sol support

Ou en béton de classe 3 → Épaisseur 20 à 30 cm selon le niveau de portance du sol support



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Pose continue

Structure-type et dimensionnement en section courante

Rail fixé directement sur le corps de la structure, constitué :

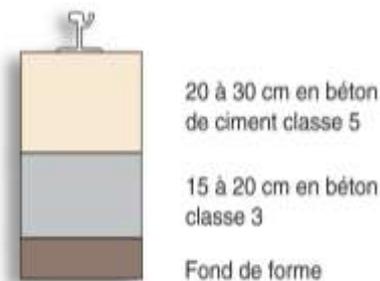
D'une couche de base en béton de classe 5 (BC5)

→ Épaisseur 20 à 30 cm

Éventuellement, d'une couche de fondation en béton

de classe 3 (BC3) → Épaisseur 15 à 20 cm

Ou en grave-ciment → Épaisseur 20 à 25 cm selon le niveau de portance du sol support



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Structure-type et dimensionnement en section courante

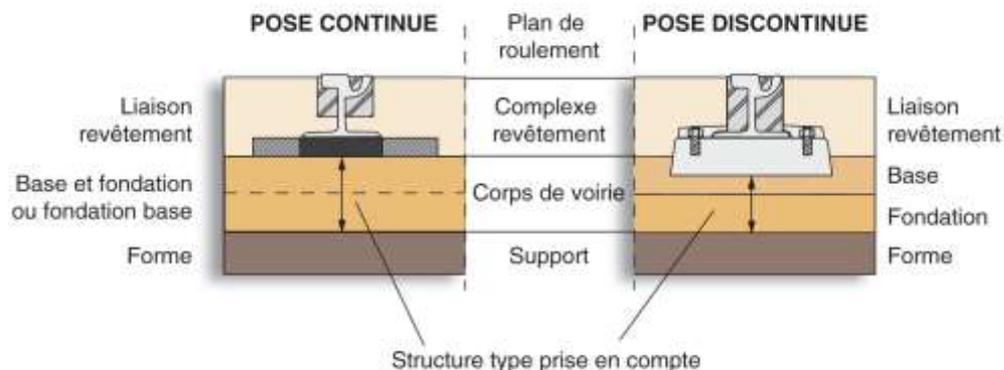
Le dimensionnement ne prend pas en compte le revêtement de surface → À l'inverse des dispositions prises pour les tramways sur pneus

L'interface entre le revêtement et la structure est conçue décollée → Elle doit donc être lisse pour que la fissuration de retrait dans le béton de structure ne remonte pas dans le revêtement

Décollement obtenu à l'aide d'une double couche de cure, d'une émulsion ou d'une feuille de polyane

Technique du « rail noyé »

→ Engravures réalisées dans le béton et rails scellés à la résine (voir plus loin)



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Intersections et carrefours

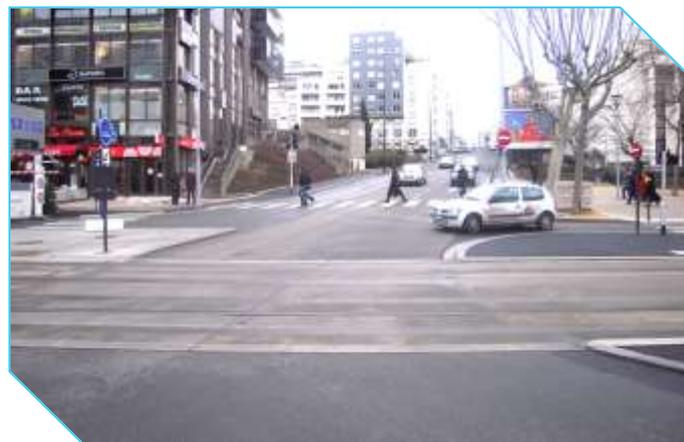
Conception et dimensionnement doivent être menés selon la **méthode routière**

→ Prise en compte du trafic routier qui traversera la ligne de tramway

ATTENTION

Au-delà d'un certain trafic routier, la structure-type de la section courante, avec une interface décollée entre le revêtement et la structure → **Insuffisant pour supporter les sollicitations du trafic** durant toute la période de service prévue

IMPÉRATIF → Le revêtement doit être collé à la couche de base



Clermont-Ferrand



Bondy

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Intersections et carrefours

Technique n° 1 : le « rail noyé »

Mise en œuvre d'une couche en béton → Assure le rôle de couche de base et de couche de surface

Épaisseur du béton → Calculée avec les données du trafic routier

Réalisation des engravures dans le béton → Rails scellés à la résine



Marseille



Bondy

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Intersections et carrefours

Technique n° 2 : la préfabrication

Dalles armées, équipées des rails, conçues et dimensionnées sur mesure → Prêtes à être posées sur le site et liaisonnées aux sections courantes par soudage des rails

Positionnement précis des dalles → Grâce à l'utilisation d'un coulis d'injection à base de ciment

Technique plus onéreuse que celle du « rail noyé », mais plus rapide d'exécution



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Autres pratiques

Système de liaison par connecteurs → Rend solidaires revêtement et structure
Besoin de valider la tenue mécanique à long terme (car transmission des vibrations par ces connecteurs)

Collage du revêtement à la structure sous-jacente par une barbotine de ciment ou de résine

Technique intéressante

Exige d'importantes précautions de mise en œuvre :

- Soigner la mise en place de la résine, rendue difficile par la non planéité du fond de forme
- Procurer au revêtement une protection thermique efficace (pendant plusieurs jours après le bétonnage) → Pour assurer le collage à l'interface entre le revêtement et la structure



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Les matériaux du revêtement

Différents types de revêtements peuvent être utilisés :

Béton

Enrobé

Gazon

Graviers

Pavés

Stabilisé...



Strasbourg



Paris



Clermont-Ferrand

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

En matière de formulation, les bétons de revêtement doivent assurer 3 critères généraux :

Maniabilité

Résistance mécanique

Durabilité de l'ouvrage



Angers

Mais aussi respecter les exigences de formulation de la norme NF EN 206-1 en fonction de la classe d'exposition :

Dosage minimal en ciment

Emploi obligatoire d'un adjuvant entraîneur d'air

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Paris



Autres objectifs

Qualité esthétique

Couleur, texture, association de matériaux divers (pavés, enrobés, asphalte...)

Sécurité

- Amélioration de la sécurité
- Réduction des projections d'eau de pluie
- Identification visuelle des différents composants de la plate-forme : revêtement de la plate-forme, passage piéton, croisement ou carrefour urbain, trottoir, bordure...

Contraintes d'environnement

Réduction du bruit du tramway, des vibrations...

Environnement

Une meilleure intégration du revêtement de la plate-forme dans le site urbain

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur rails

Les joints

Réalisation correcte des joints → Condition essentielle à la pérennité de la plate-forme

Pour les couches de structure :

Pas de joints de retrait/flexion → Uniquement des joints de dilatation : tous les 30 m environ

Joints de construction → À chaque arrêt de bétonnage dépassant une heure

Pour le revêtement :

Des joints de retrait/flexion transversaux (tous les 3 m)

Des joints de dilatation

Des joints de construction

Nota 1 : Joints de dilatation et de construction → Réalisés de la même manière et dans les mêmes conditions que pour la couche de structure

Nota 2 : Pas de joints de retrait/flexion longitudinaux → Largeur disponible entre les rails < 1,5m et largeur disponible entre les voies < 3m

Nota 3 : Les joints de retrait/flexion transversaux peuvent être : des joints moulés, des joints « Réglette » (autorisés uniquement en section courante), des joints sciés (difficiles à réaliser à cause de la présence des rails)

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur pneus et bus à haut niveau de service

Guidés :

Soit par un rail central

Soit par plots magnétiques

Soit par tout autre système de guidage



Clermont-Ferrand



Douai



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur pneus

Principe de dimensionnement

Pour tramways sur pneus, y compris les autobus → **Logique du choix et du dimensionnement des structures routières**

À quelques précisions et adaptations près, afin de prendre en compte :

- **La canalisation des charges**
- **L'agressivité accrue, en situation de croisement des véhicules lorsque les bandes de roulement sont rapprochées**



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur pneus

Principe de dimensionnement

En ce qui concerne la couche de roulement, 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

Revêtements traditionnels routiers → À reconsidérer afin de choisir des matériaux particulièrement résistants au poinçonnement, aux charges statiques et à l'orniérage



Nice

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur pneus

Structure-type et dimensionnement

Solutions possibles

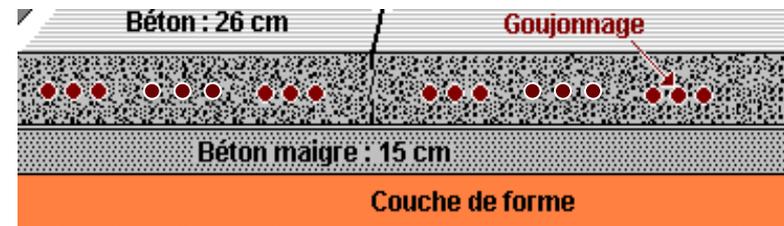
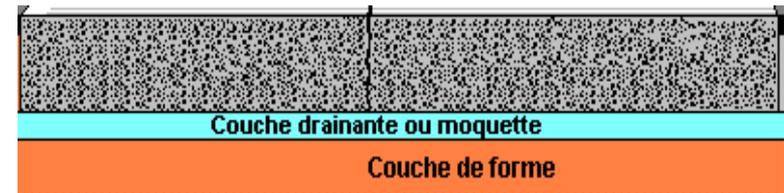
Revêtement en dalles californiennes à joints non goujonnés

Revêtement en dalles californiennes à joints goujonnés

Revêtement en Béton Armé Continu (BAC)

Supprime les joints de retrait

Particulièrement adapté à la configuration du tramway sur pneus guidé par un rail central (lui-même noyé au sein du béton)



4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Le tramway sur pneus

Atouts du béton

Anti-orniérant

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

Grande variété de finitions répondant à toutes les exigences des concepteurs (couleurs, textures, formes)

Sans impact sur l'environnement

Matériau coulé à froid, sans compactage, sans dégagement d'odeur et sans émission de polluant

Durabilité

Absence d'entretien

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Traitements de surface



Strasbourg



Sénart



Douai



Paris

4.3 Le béton dans les transports en commun de surface en site propre (TCSP)

Bibliographie

Les infrastructures de transports collectifs de surface - Structures et revêtements en béton. Collection Technique - CIMBETON, T 59, 2004

Plates-formes de tramway - Pathologie et conception - Tome 1: Matériaux modulaires. CERTU / LROP, 2004

Plates-formes de tramway - Pathologie et conception - Tome 2: Matériaux non modulaires. CERTU / LROP, 2009

Bus à haut niveau de service - Concept et recommandations - CERTU, 2005

Plates-formes de transports collectifs de surface - Inventaire et choix des revêtements et structures - Conseil Général des Hauts-de-Seine, 2003

