Avignon : le béton, champion des solutions « tramway »

Octobre 2018

Le tramway est de retour dans la Cité des papes. Pour lui permettre de circuler de nouveau, le béton est largement mis à contribution. Le but : réaliser différents types de revêtements, végétalisés ou minéraux, en fonction du tracé. Avec des solutions innovantes comme la pose des rails en jaquette ou la plate-forme en « ladder track », totalement inédite en France.

C'est la fin d'une longue absence de près de neuf décennies. L'ancien réseau avait été fermé en 1932. Quatre-vingt-sept ans plus tard, le nouveau tramway entrera en exploitation en 2019.

L'idée de renouer avec ce moyen de transport urbain remonte à 2010. Elle a été concrétisée par un vote à l'unanimité des élus de la communauté d'agglomération du Grand Avignon. Après consultation de la population, à l'été 2011, le tracé de deux lignes a été dévoilé en 2012. Mais, en 2015, pour tenir compte des nouvelles contraintes budgétaires, le Grand Avignon a décidé de phaser le projet initial, en ne réalisant qu'une seule ligne pour commencer.

Vues d'artiste du tramway du Grand Avignon. La ligne 1 reliera le centre historique (la porte Saint-Roch et les remparts, en médaillon à droite) aux quartiers périphériques situés au sud et à l'est (ci-dessus).

La genèse du projet de nouveau tramway

En octobre 2016, la première phase des travaux (rénovation et déviation des réseaux) a débuté dans le secteur de Saint-Ruf, au sud de l'agglomération.

En mai 2017, un groupement composé de NGE et d'Alstom Transport a été choisi par la communauté d'agglomération du Grand Avignon, et le maître d'ouvrage délégué, Tecelys, pour réaliser les travaux de plates-formes de génie civil, de rails et de revêtements. Outre NGE et Alstom Transport, ce groupement rassemble quatre filiales de NGE : TSO (mandataire choisi et proposé par Edeis, MOE mandataire et en charge de la voie et des systèmes), Guintoli, EHTP et Agilis. Cette deuxième phase a débuté à la mi-mai 2017 et s'achèvera en janvier 2019. Après l'essai du matériel roulant, l'entrée en service de la ligne 1 est prévue pour la mi-2019. Aux heures de pointe, le tramway circulera toutes les cinq ou six minutes, mettant le parking-relais de Saint-Chamand (station Saint-Chamand, située à l'extrémité sud-est) à une quinzaine de minutes du centre historique de l'agglomération (stations Gare Centre et Saint-Roch, près de la porte Saint-Roch). Le réseau de tramway fera l'objet d'une extension de 3,2 km qui sera livrée en 2023.

Schéma 1 // Pose voie courante. Larges de 6,20 m, les plates-formes du tramway d'Avignon sont constituées d'une couche de forme de 40 cm en grave non traitée (portance de 50 MPa au minimum), d'une couche de fondation en BC3 (de 19 cm ou 29 cm, selon les cas), sur lequel est posé sans ancrage un béton de calage BC5 (19 cm).

Schéma 2 // Tracé de la ligne 1 du tramway d'Avignon, avec le nom des stations.

Schéma 3 // Longue de 5,2 km, la ligne 1 reliera les remparts du centre historique (Saint-Roch) au quartier de Saint-Chamand, où se situe la gare d'Avignon-Sud, avec un parking de transit et le futur centre de maintenance. Elle alternera revêtements végétalisés et minéraux. (Source : Le Moniteur).

Le tramway, un choix ambitieux

Outre l'amélioration de l'offre de transports publics, le retour du tramway est, pour la communauté d'agglomération du Grand Avignon, un moyen très efficace de transformer la ville et de « repenser » les espaces. C'est une des composantes stratégiques de l'opération, inspirée par les réflexions de l'agence lyonnaise Ilex et de son président, l'urbaniste-paysagiste de renom, Guerric Péré. *« Faire d'Avignon une ville apaisée, unifiée et confortable »*, résume-t-il. Parmi les objectifs visés : la reconnexion et la clarification des zones urbaines ; la limitation des émissions de **gaz à effet de serre** ; l'amélioration du **bilan carbone** ; la réduction des « îlots de chaleur »…

Dans une Cité des papes très minérale, dotée d'un patrimoine historique exceptionnel, c'est notamment l'occasion de créer une « promenade urbaine verte » permettant l'embellissement des remparts, en incitant la population à se réapproprier les lieux. Plus au sud, dans la deuxième couronne urbaine de l'agglomération, c'est également la possibilité de valoriser le quartier Saint-Ruf, riverain de la RN570, et de le « pacifier » du point de vue de la circulation automobile. En fin de tracé, vers l'est, c'est aussi l'opportunité d'entamer la transformation de la rocade Charles-de-Gaulle en créant un « boulevard végétal » (avec un contournement routier est-ouest en cours d'étude) et d'accompagner le renouvellement urbain des quartiers La Barbière et Saint-Chamand.

Schéma 4 // Conçus par l'allemand DW Schwellen, les modules préfabriqués de type « ladder track » (« voie échelle ») sont longs de 6 m et creux au centre. Ils laissent un plus grand accès à la terre. C'est la première fois qu'ils sont utilisés en France.

Schéma 5 // Le procédé en jaquette consiste, en dehors du chantier, à envelopper les rails dans une chambre d'éclissage en caoutchouc recyclé. Transportés et installés sur le site, les rails ainsi conditionnés sont coulés dans le béton de revêtement, sans l'adjonction de traverses latérales ni de blochets.

Schéma 6 // Pour obtenir un gain jusqu'à – 20 dB, un tapis antivibratile d'une épaisseur de 28 mm est posé entre le béton de propreté et le béton de fondation. Il remonte jusqu'à la surface du revêtement, le long des longrines, pour assurer une bonne isolation.

Schéma 7 // Les rails sont maintenus par des traverses biblocs en béton. Celles-ci sont noyées (blochets y compris) dans du béton de calage. Un revêtement recouvre l'ensemble jusqu'au niveau du plan de roulement.

Un chantier innovant

Pour la réalisation de ce vaste projet, le maître d'ouvrage a également imposé une règle stricte : le respect absolu du budget, impliquant une maîtrise parfaite des coûts. *« C'est un leitmotiv que nous n'avons cessé de relayer auprès de tous nos interlocuteurs »*, soulignent ensemble Maryan Paitry, directeur de projet pour Edeis, mandataire pour la maîtrise d'œuvre, et Jean-Claude Butstraen, directeur du projet pour TSO, mandataire pour les entreprises. Cette exigence a un corollaire : l'obligation d'optimiser chaque aspect du chantier, notamment ceux liés au **béton**, afin de respecter un **planning** exigeant.

« Les contraintes d'un chantier aussi important, auxquelles il faut ajouter l'impératif de causer le moins de nuisances possible aux Avignonnais, nous ont obligés à faire preuve d'imagination pour proposer les meilleures solutions possible, soulignent les deux directeurs de projet. *Nous avons pu valider des solutions qualitatives et innovantes qui visent soit à rationaliser ou à accélérer la mise en œuvre, soit à améliorer le fonctionnement ou la maintenance des équipements. »* C'est notamment le cas pour la signalisation, l'énergie, l'éclairage ou le centre de maintenance (initialement prévu sur une superficie de 4 hectares et finalement limité à un seul hectare).

Un chantier « créatif », donc, sur bien des aspects. Mais c'est dans le domaine de la plate-forme et des voies mettant en œuvre du béton que les innovations ou les adaptations sont les plus nombreuses et notables.

Les travaux

Pour la construction de la ligne 1, le groupement NGE et Alstom a été chargé de mener à bien la réalisation de 5,25 km de plate-forme, soit 10,5 km de voies, avec dix stations et un centre de maintenance (voir le schéma 1). Les travaux, d'une durée de vingt mois, sont prévus pour prendre fin en janvier 2019. Le projet comprend les études, la fourniture et le montage des plates-formes de génie civil et des rails. Un découpage précis du tracé en six séquences a été adopté (voir schéma 2).

Un rail enrobé dans son complexe en caoutchouc (« jaquette »). Après coulage du béton de calage (vue des connecteurs en surface), en attente du coulage du béton de revêtement.

Deux rails en jaquette positionnés sur le béton de fondation, avec adjonction d'une nappe de treillis soudé, en attente du béton de calage.

Les caractéristiques des plates-formes

Tout au long du tracé en cours de réalisation, la largeur des plates-formes est fixée à 6,20 m. La portance minimale de la couche de forme (40 cm de grave non traitée) a été mesurée partout à 50 MPa. *« La géologie du sous-sol ne pose pas de problème, même si les nappes phréatiques ne sont pas très profondes »*, indique Jean-Claude Butstraen, directeur du projet pour TSO. La couche de **fondation** est constituée d'un **béton** BC3 (19 cm pour une pose classique et 29 cm pour une pose

avec atténuation), sur lequel est posé sans **ancrage** un béton de calage BC5 (sur 19 cm).

Les rails

Longs de 18 m, ils sont fournis par la société autrichienne Voestalpine, dont le siège se trouve à Linz. Sur les lignes droites et les courbes d'un rayon supérieur à 150 m, ils sont de nuance R 26 (sur l'échelle de Brinell). Dans les courbes plus serrées, ils sont de nuance R 290 GHT, plus résistante.

En ce qui concerne les revêtements, la ligne 1 comporte principalement deux types de matériaux.

Le revêtement végétal

Pour la majorité des séquences (4 sur 6, 70 % du tracé, sur une superficie de 25 000 m²),
le Grand Avignon a souhaité que son tramway circule sur une plate-forme végétalisée (hors stations et carrefours), comme c'est déjà le cas dans de nombreuses agglomérations, par exemple à Paris. *« Un mélange spécifique de graines produisant un gazon peu gourmand en eau et adapté au climat avignonnais a été choisi »*, précise Maryan Paitry, le directeur de projet d'Edeis, MOE (mandataire). Il s'agit des séquences 1 (le long des remparts, longueur : 920 m), 4 (sur la rocade, longueur : 1 670 m), 5 (dite La Barbière, longueur : 800 m), 6 (dite Saint-Chamand, longueur : 320 m).

Longueur totale : 3 185 mètres linéaires de voies échelles (« ladder track »).

Pour réaliser ces plates-formes, TSO a proposé de mettre en œuvre un nouveau type de « voie environnementale ». Mis en œuvre pour la première fois en 1997, en Allemagne, par DW Schwellen, ce procédé a été adapté aux techniques de pose françaises par Sateba, la filiale française de Consolis. Il s'agit de dalles en béton préfabriquées d'une longueur de 6 m et d'un poids de 8 t. Évidées en leur centre, elles sont alignées pour former deux poutres longitudinales continues, sur lesquelles sont fixés les rails. Des poutres transversales renforcent l'assemblage. L'ensemble doit être minutieusement calculé et calepiné afin de respecter le tracé de la ligne.

Outre un gain de temps non négligeable, cette architecture en « ladder track » dite « perméable » laisse plus de place pour le substrat. Elle permet une épaisseur de terre trois fois supérieure aux méthodes traditionnelles. *« Le gazon a accès à davantage de nutriments et d'eau. En principe, le couvert végétal n'a donc pas besoin d'être renouvelé. Ce dispositif permet même, dans certains cas, d'envisager de se passer de l'arrosage automatique »*, commente Jean-Claude Butstraen, le directeur du projet pour TSO. Fabriqués dans l'usine de Bonna Sabla (également filiale du groupe Consolis) à Vendargues (Hérault), les modules sont disposés par grue et directement sur le chantier. Cette technique est utilisée pour la première fois en France.

Le revêtement minéral

Pour deux séquences sur six (30 % du tracé), les rames évolueront sur des plates-formes minérales. Il s'agit des séquences 2 (Saint-Ruf-Nord, longueur : 960 m) et 3 (Saint-Ruf-Sud, longueur : 580 m).

Longueur totale : 1 540 m. Par ailleurs, les stations et les carrefours disposent également de plates-formes minérales.

Pour les réaliser, plusieurs méthodes sont mises en œuvre, parfois de façon combinée, selon l'environnement urbain et les contraintes spécifiques.



Plate-forme en « ladder track », destinée à accueillir une couverture végétale sur la séquence 1, le long des remparts historiques.

Plate-forme en « ladder track », destinée à accueillir une couverture végétale sur la séquence 1, le long des remparts historiques.

Pose en jaquette pour les voies propres ou les zones de faible trafic

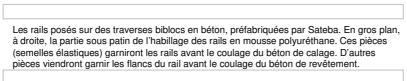
Sur le tracé très linéaire de l'avenue Saint-Ruf (séquences 2 et 3), la circulation automobile, précédemment à double sens, est désormais limitée à une seule voie dans le sens descendant. Ici, partout où le tramway circule en voie propre ou dans les zones où le trafic partagé est faible, TSO a proposé de réaliser une pose de voie en jaquette. Ce nouveau procédé s'accompagne notamment de la disparition du « plat métallique ». Il s'agit d'un fer plat de **section** rectangulaire, disposé de chaque côté du rail dans les zones de revêtement minéral circulé ; sa fonction est de protéger le complexe d'habillage du rail (chambres en polyuréthane et joints) contre les agressions dues au passage des roues de véhicules.

L'utilisation de chambres de haute densité, conjuguée à l'exécution de joints dits « routiers », permet de s'affranchir de la mise en place de fer plat ou « plat métallique » et des traverses. *« Le plat métallique est une technique, héritée de l'utilisation des enrobés et encore répandue, qui ne se révèle plus justifiée avec le recul. L'ensemble de ces éléments a même tendance à générer plus de problèmes qu'il n'en résout (épaufrures, fissurations, problème de la gestion de la dilatation). De plus, ils complexifient la mise en œuvre du **béton** »*, relèvent ensemble Jean-Claude Butstraen, le directeur du projet pour TSO, et Christophe Chevalier, le directeur technique d'Agilis.

Comme son nom le suggère, ce procédé en jaquette consiste, en dehors du chantier, à envelopper les rails dans une chambre d'éclissage en caoutchouc. Transportés et installés sur le site, les rails, ainsi conditionnés, sont fixés dans le béton de calage et maintenus dans le béton de revêtement, sans traverses ni blochets. *« Tout se prépare en amont du chantier. Il n'est pas nécessaire de coffrer, ni de ferrailler, ni de bétonner les longrines sur place… Il y a beaucoup moins de matériaux à provisionner, notamment les traverses. Seuls les rails et le matériel de **réglage** sont nécessaires. Le temps de mise en œuvre est très réduit »*, insiste Jean-Claude Butstraen, le directeur de projet « tramway » de TSO. Ce procédé optimisé,*« bien adapté aux tracés linéaires et homogènes »*, permet de réaliser jusqu'à 200 m de voies par semaine, soit un gain de temps de 50 à 75 % par rapport à une pose classique. Précaution obligatoire : *« Disposer des connecteurs sur la couche de béton de calage pour assurer une bonne liaison avec le béton de revêtement »*, souligne Christophe Chevalier, le directeur technique d'Agilis. Avantages complémentaires de cette méthode « économique » : *« L'absence de blochets évite le phénomène d'engrènement (encastrement de fragments les uns dans les autres), et la disparition des traverses limite l'apparition de fissures. Cette méthode peut même être utilisée dans des zones circulées et dans les carrefours, si l'on prend la précaution de poser un **treillis** sous le béton de revêtement pour assurer une bonne répartition des contraintes au niveau des connecteurs »*précise le directeur technique d'Agilis.

Utilisation de dispositifs antivibratiles à proximité des habitations

Dans certains tronçons étroits des séquences 2 (Saint-Ruf-Nord) et 3 (Saint-Ruf-Sud), la plate-forme minéralisée du tramway passe à proximité immédiate des habitations (à moins de 7 mètres linéaires). Le bruit et les vibrations générés par le futur passage des rames excéderaient les 60 décibels (dB) autorisés. Il a donc fallu prévoir une mise en œuvre particulière, combinée ou non avec la pose en jaquette. *« Pour limiter les nuisances les plus importantes et les abaisser de 20 dB, un tapis antivibratile d'une épaisseur de 28 mm a été posé entre le **béton de propreté** et le béton de **fondation***, expliquent Jean-Claude Butstraen, directeur du projet pour TSO, et Maryan Paitry, directeur de projet pour Edeis. *Conçu par l'entreprise Getzner, ce type de tapis résilient contient notamment deux couches de polyuréthane qui absorbent les vibrations. Il remonte jusqu'à la surface du revêtement, le long des longrines, pour assurer une bonne isolation. Pour obtenir des gains moindres (– 10 dB), un dispositif d'amortissement – tapis – peut être installé directement sous les rails, y compris sur les plates-formes végétalisées. »*



Les rails posés sur des traverses biblocs en béton, préfabriquées par Sateba. En gros plan, à droite, la partie sous patin de l'habillage des rails en mousse polyuréthane. Ces pièces (semelles élastiques) garniront les rails avant le coulage du béton de calage. D'autres pièces viendront garnir les flancs du rail avant le coulage du béton de revêtement.

la partie sous patin de l'habillage des rails en mousse polyuréthane. Ces pièces (semelles élastiques) garniront les rails avant le coulage du béton de calage. D'autres pièces viendront garnir les flancs du rail avant le coulage du béton de revêtement.

Méthode de pose classique

En dehors des zones végétalisées, celles permettant une pose en jaquette et celles nécessitant la pose d'un dispositif antivibratile, les autres voies sont réalisées selon une méthode classique. Les rails sont maintenus par des traverses biblocs en **béton**. La société Sateba en a fabriqué 7 000 pour ce projet. Elles sont disposées au-dessus de la couche de**fondation**, avant d'être noyées (blochets y compris) dans le béton de calage. Un revêtement recouvre l'ensemble jusqu'au niveau du plan de roulement. Dans tous les cas, TSO et Agilis ont préconisé la suppression du « plat métallique ». Pour les carrefours, TSO a privilégié la « pose noyée » avec résine. Après coulage de la plate-forme (béton de fondation, béton de calage, revêtement), une engravure est réalisée pour positionner le rail, qui est noyé dans une résine polyuréthane (type Corkelast). Ce type de pose présente un bon affaiblissement vibratoire (– 10 dB) et permet son installation à une distance des habitations comprise entre 7 et 11 m. **Contrainte** : *« Pour couler la résine, il est impératif d'attendre que le béton soit bien sec (vingt-huit jours) »*, indique Jean-Claude Butstraen, le directeur du projet pour TSO.

« En tant que MOE, Edeis a joué son rôle dans ce projet et dans ses évolutions (plate-forme verte drainante avec Ilex, réactivité et technicité avec TSO), Je suis fier d'avoir porté personnellement ces sujets », conclut Maryan Paitry, le directeur de projet pour Edeis.

Lavage à haute pression du béton désactivé.

Lavage à haute pression du béton désactivé.

Le chantier en chiffres

- Béton de propreté (ép. 10 cm) : 8 650 m²
- Béton de fondation : 22 300 m³
- Béton de calage : 5 200 m³
- Carrefours aménagés : 20
- Surface totale de voiries refaites : supérieure à 10 500 m²
- Volume des terrassements : 14 500 m³ (plales-formes) 46 910 m³ (voiries)
- Rails en acier (poids total : 1 040 t) : 20 000 mètres linéaires
- Stations de tramway créées : 10
- Massifs végétaux créés : 17 000 m² (850 arbres, 7 350 arbustes, 110 000 vivaces et granulés, 4 300 bulbes)



En gros plan, le béton désactivé intégrant deux types de granulats : beige (6/16 SCV à 60 %) et noir (6/16 La Môle à 40 %).

Types de bétons et formulations

- **Béton de propreté**
  BPSCC C16/20 S3 X0 Dmax 22,4
  BPSCC C16/20 pompable S3 X0 Dmax 22,4

- **Béton de propreté**
  C20/25 G3 et C20/25 G2

- **Béton en couche de base**
  BC3 – C23/30 XF2 S3 Dmax 22,4

- **Béton de voie (ou béton de calage)**
  BC5 – C35/45 XF2 S3 Dmax 22,4

- **Béton désactivé (carrefours)**
  BC5 – C35/45 XF2
  Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/16 SCV (beige) (30 %) – 6/16 La Môle (noir) (70 %)

- **Béton désactivé (zones circulées)**
  BC5 – C35/45 XF2
  Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/16 SCV (beige) (60 %) – 6/16 La Môle (noir) (40 %)

- **Béton désactivé (plates-formes non circulées – petites zones)**
  C30/37 XF2
  Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/16 SCV (beige) (100 %)

- **Béton désactivé (zones non circulées)**
  C30/37 XF2
  Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/22 SCV (beige) (100 %)

- **Béton désactivé (divers)**
  C25/30 XF2
  2/6 SCV (beige) + 0/4 Beaucaire

Principaux intervenants

Maîtrise d'ouvrage Communauté d'agglomération du Grand Avignon - **Maîtrise d'ouvrage déléguée** Tecelys - **Maîtrise d'œuvre** Edeis (mandataire), Ilex (architecte), Safege, SCE - **Entreprises** TSO (groupe NGE, mandataire), EHTP, Agilis, Guintoli, Alstom Transport - **Mise en œuvre du béton décoratif** Agilis - **Fournisseur du béton** Cemex - **Fournisseur du ciment** Calcia

Routes n°145

Cet article est extrait de **Routes n°145**

Auteur

Cimbéton

Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 27/11/2026 © infociments.fr