La solution béton – technique, esthétique, économique, fonctionnelle et durable – retenue pour le trolleybus de la métropole du Grand Nancy

Septembre 2026

La métropole du Grand Nancy continue sa politique de développement des transports collectifs et des espaces dédiés aux piétons et aux mobilités douces. Depuis 2025, la ligne T1 du trolleybus relie Vandoeuvre-Brabois Hôpitaux (sudouest de Nancy) à Essey-Mouzimpré (nord-est de Nancy). Ce projet complexe, d'une longueur de 10 km, dont 6,5 km en site propre, a fait appel à deux solutions techniques pour la structure de la plateforme : le revêtement en dalles de béton non armé et à joints goujonnés BC5g sur une fondation en grave-bitume et le revêtement en béton armé continu. Confiés à deux groupements d'entreprises, les travaux ont été réalisés en un temps record. Ce projet a nécessité un volume de 7 000 m3 de bétons fabriqués et livrés par Béton Vicat.

Situation

La ligne T1 du trolleybus, réalisée sur le tracé de l'ancienne ligne de tramway sur pneus, traverse Nancy du sud-ouest au nord-est : elle relie Vandœuvre-Brabois Hôpitaux à Essey-Mouzimpré, en passant par le centre-ville.

Longue de 10 km, dont 6,5 km en site propre, elle comporte 25 stations, dont 15 avec correspondance (telles que Technopôle, Vélodrome-Callot, Montet-Octroi, Artem-Blandan Thermal, Exelmans, Jean-Jaurès, Mon Désert-Thermal, Gare Saint-Léon, Gare Pierre-Semard, Point-Central,

Deux-Rives – Olympe-de-Gouges, Cristalleries – Stade Marcel-Picot, Mairie de Saint-Max,

Washington-Foch, Essey-Mouzimpré). Cette ligne transporte environ 45 000 voyageurs par jour.

État des lieux

La métropole du Grand Nancy (MGN), comme toutes les agglomérations françaises, fait face à d'innombrables problèmes causés par une démographie croissante, un urbanisme inadapté, le besoin de se déplacer de plus en plus loin et des moyens de transport historiquement axés sur la voiture. Tout cela entraîne des nuisances sonores, des embouteillages, de la pollution, une plus forte concentration de gaz nocifs dans l'atmosphère et, en particulier, de gaz à effet de serre, synonymes de réchauffement climatique.

Pour y remédier, la MGN a élaboré une solution qui met en place une politique de développement des moyens de transport collectifs, l'objectif étant de diminuer la présence de la voiture en ville.

Plan de la ligne T1 du trolleybus qui relie Vandoeuvre-Brabois Hôpitaux (sud-ouest de Nancy) à Essey-Mouzimpré (nord-est de Nancy).

C'est la raison pour laquelle le plan métropolitain des mobilités (P2M) a été lancé dans la MGN, avec pour objectifs de :

- Aménager pour offrir plus de places et d'infrastructures dédiées aux piétons ;
- Encourager la mobilité douce et active ;
- Développer les transports en commun ;
- Limiter l'accès des véhicules au centre de Nancy ;
- Créer des parkings en périphérie de Nancy, à proximité des lignes de transports en commun.

Formidable vecteur de projets urbains, le transport collectif de surface doit aussi sa renaissance et son développement à d'importants progrès réalisés sur le matériel roulant et à des déclinaisons qui le rendent accessible à davantage de collectivités. La MGN a choisi le système de trolleybus pour des raisons à la fois techniques et économiques.

Rappelons toutefois que la solution « trolleybus » n'est pas nouvelle : elle a été utilisée dans bien des villes du monde au début du XXe siècle, puis progressivement bannie à partir de la Seconde Guerre mondiale pour laisser place à la voiture, perçue à cette époque comme un symbole de liberté.

La nouvelle ligne de trolleybus, objet de cet article, relève de cette politique de développement des transports collectifs. Elle a été réalisée, en un temps record, entre mars 2023 et avril 2025, sur l'ancien tracé de la ligne de tramway de Nancy.

Paris. France. Années 1900. Rue du Temple / Place de la République. ©shutterstock

Le projet

Le projet a été conçu en prenant en compte le souhait de la MGN de mieux répartir l'espace entre les différents modes de déplacement urbain. Ce qui a tout naturellement conduit à une réduction de la place de la voiture en ville – afin de diminuer la pollution et les nuisances sonores – et à une augmentation du transport collectif ainsi que des aménagements dédiés aux modes de déplacement doux. L'occasion de transformer le paysage urbain en redonnant de l'espace vital aux cyclistes et aux piétons, en redynamisant les quartiers et en offrant une meilleure qualité de vie aux habitants.

« La MGN a souhaité insérer la ligne T1 en menant une véritable opération de requalification urbaine des quartiers traversés. Les aménagements paysagers visent à les transformer en lieux de vie favorables aux activités économiques, culturelles et sportives. Sur ce nouvel itinéraire, les différents modes de déplacement (à pied, à bicyclette, en transport public, en voiture) sont mieux pris en compte pour faciliter le quotidien de tous », commente Yannick Lebel, responsable du service Aménagement des espaces publics et des paysages à la MGN.

De plus, cette ligne constitue un nœud de correspondance multimodale au terminus de la gare centrale (connexions TER et TGV, connexions lignes de bus), permettant une large diffusion des voyageurs dans l'agglomération.

« Destinée à assurer le transport de 45 000 voyageurs par jour, cette opération a été l'occasion de redessiner les artères et les rues traversées en réduisant la place de l'automobile et en offrant aux piétons comme aux cyclistes des espaces dédiés », ajoute Romain Durcik, responsable du bureau d'études à la MGN.

« La MGN a souhaité insérer la ligne T1 en menant une véritable opération de requalification urbaine des quartiers traversés. Les aménagements paysagers visent à les transformer en lieux de vie favorables aux activités économiques, culturelles et sportives. »

Les grands principes retenus pour le projet T1

Sur l'ensemble de la ligne T1, les grands principes retenus étaient les suivants :

- La reprise du tracé actuel entre Vandœuvre-Brabois et Essey-Mouzimpré, sans rupture de charge, sur une longueur de 10 km, dont 6,5 km en site propre, avec plateforme en béton ;
- Un site propre entre Vélodrome-Callot et Brabois et la création d'un nouveau site propre à Vandœuvre, à l'arrivée de Barrois, de près d'1,2 km supplémentaire ;
- Toutes les stations ont été mises en accessibilité PMR ;
- Plus de 300 arbres plantés sur l'ensemble du tracé afin de favoriser l'évapotranspiration et de lutter ainsi contre les îlots de chaleur urbains (ICU) ;
- Les vélos sont admis sur l'ensemble de la plateforme ;

- Un élargissement de la plateforme à 6,50 m au lieu des 6 m en section courante ;
- La restructuration de la plateforme sur les tronçons en site propre avec un traitement esthétique de la plateforme : démonter le rail, retirer l'ancienne plateforme, la consolider et réaménager qualitativement avec des matériaux neufs ;
- La dépose des actuelles lignes aériennes de contact (LAC) (vieillissantes et usées) – nécessaire pour les travaux et repose ensuite des LAC neuves sur l'ensemble du tracé, excepté le secteur du plan de sauvegarde et de mise en valeur (PSMV) élargi à Kennedy –, soit le tronçon

  Mon Désert – Division-de-Fer ;
- Le remplacement du matériel roulant par des trolleybus électriques de dernière génération, fonctionnant à la fois sur LAC et sur batterie (technologie hybride, dite IMC, permettant de supprimer, sur certains secteurs, la LAC) ;
- Des travaux de restructuration sur les sections en site propre avec un traitement esthétique de la plateforme entre la place du Vélodrome, à Vandœuvre-lès-Nancy, et la place Barrois, à Saint-Max, et, notamment, la mise en œuvre d'un revêtement qualitatif en lien avec le PSMV entre la place de la République et la place de la Division-de-Fer, intégrant une reprise du « S de la gare » et une rectification des virages de la place de la Division-de-Fer ;
- Des travaux d'aménagement de voirie sur les secteurs en site partagé entre la place du Vélodrome, à Vandœuvre-lès-Nancy, et le terminus CHU Brabois et entre la place Barrois, à Saint-Max, et le terminus Mouzimpré à Essey-lès-Nancy ;
- Des travaux d'amélioration de l'espace public, réalisés selon les opportunités ou en fonction de la disponibilité : végétalisation, désimperméabilisation des sols au niveau des trottoirs et des placettes, amélioration des cheminements piétons, etc. ;
- Une reprise de toutes les stations pour, d'une part, élargir la plateforme et, d'autre part, adapter la hauteur des quais aux véhicules (avec palettes rétractables).

Les évolutions avant / après

Plus de 300 arbres ont été plantés sur l'ensemble du tracé afin de favoriser l'évapotranspiration et de lutter ainsi contre les îlots de chaleur urbains.
©MF Drone - Eiffage Route

La conception détaillée par section

Pour prendre en compte à la fois les exigences en matière d'intégration à l'architecture locale et les contraintes techniques au niveau de la plateforme (emprise disponible, encombrement du sous-sol), le projet a été découpé en cinq sections homogènes, bénéficiant chacune d'une solution structurelle adaptée et d'un traitement adéquat à l'espace urbain traversé.

> Section 1 : Terminus Vandœuvre-Brabois – Vélodrome-Callot

Sur cette section, le projet a été conçu avec une approche minimaliste. Les voies de circulation, réservées aux bus et aux autres véhicules, sont en enrobé. Seuls le terminus et les stations ont bénéficié d'un traitement spécifique en béton, selon la technique du béton armé continu (BAC).

> Sections 2 et 4 : Vélodrome-Callot – Gare Pierre-Semard et Division-de-Fer –

Cristalleries – Stade Marcel-Picot

Sur ces deux sections, le projet a été conçu en site propre avec une approche qualitative. La plateforme a fait l'objet d'un élargissement pour la ramener à 6,50 m de large (au lieu de 6 m pour le tramway sur pneus). Puis elle a été conçue en structure composite constituée d'un revêtement en béton à joints goujonnés BC5g et d'une fondation en grave-bitume GB3. Les voies réservées aux véhicules légers ont été recouvertes d'un enrobé bitumineux.

Les ouvrages d'art ont été conçus et dimensionnés en BAC : le pont Foch a été entièrement réalisé au moyen de cette technique, tandis que le viaduc Kennedy l'a été en grande partie en enrobé (pour alléger l'ouvrage), à l'exception du revêtement de la station, traité en BAC.

En matière de traitement de surface, le béton a été prescrit en béton désactivé, à l'exception d'un tronçon à l'approche du centre-ville (entre l'arrêt Gare Saint-Léon et la place de la République), où le béton bouchardé a été préféré au béton désactivé pour des raisons d'intégration au cadre urbain.

> Section 3 : Gare Pierre-Semard – Division-de-Fer (secteur central avec PSMV de Nancy)

Cette section a fait l'objet d'une attention particulière, compte tenu de son inscription au plan de sauvegarde et de mise en valeur (PSMV) de Nancy (cf. encadré « Le plan de sauvegarde et de mise en valeur (PSMV) du centre-ville de Nancy »). La plateforme (initialement prévue en pavés de béton) a été réalisée en béton sablé, avec une technique BC5g, à l'exception de la partie basse (rue Saint-Georges), où le BAC a été privilégié en raison de la présence d'un ouvrage affleurant permettant le passage d'un ruisseau. L'épaisseur disponible ne permettait pas la mise en œuvre d'un revêtement en béton à joints goujonnés.

> Section 5 : Cristalleries – Stade Marcel-Picot – Terminus Essey-Mouzimpré

Comme pour la section 1, cette partie a été traitée de manière minimaliste. Les voies de circulation, réservées aux bus et aux autres véhicules, sont en enrobé. Seuls le terminus et les stations ont été aménagés en béton, selon la technique du BAC.

Le plan de sauvegarde et de mise en valeur (psmv) du centre-ville de Nancy et le choix du revêtement de la plateforme du trolleybus

Initialement, pour répondre aux exigences du règlement du plan de sauvegarde et de mise en valeur (PSMV) du centre-ville de Nancy, le projet prévoyait la mise en œuvre de pavés en béton qualitatif avec incorporation de granulats de granit de provenance locale.

Cependant, cette stratégie a dû être revue en raison de la découverte d'une dalle affleurante, couvrant le ruisseau Saint-Jean, dont l'altimétrie est incompatible avec un revêtement en pavés. La mise en œuvre de matériaux modulaires sur cette dalle aurait eu une incidence sur la tenue dans le temps des ouvrages, sans garantie de pérennité. Cela aurait entraîné une maintenance régulière et coûteuse avec une incidence sur le trafic des trolleys.

Il a donc fallu revoir la typologie de la structure. Celle-ci devait répondre aux exigences du PSMV, selon lesquelles l'usage d'un matériau coulé (autre que bitumineux) au droit de l'aire de roulement du trolleybus est toléré, sous réserve de remplir les conditions suivantes :

- Être réalisé à partir de granulats de pierres naturelles de même type que celles employées dans le site patrimonial remarquable ;
- Avoir une granulométrie et un arrangement granulaire permettant d'obtenir des caractéristiques de surface équivalentes à celles des pierres naturelles de ce site ;
- Reprendre les teintes propres à ses voies pavées ;
- Présenter du relief et un calepinage cohérent en termes d'échelle : l'effet de pavage ou de dallage est recherché.

Le choix s'est alors porté sur le déploiement d'une plateforme en béton, comme sur le reste du tracé, mais réunissant les conditions de qualité esthétique renforcée dans le secteur du centre. Sur l'axe Semard – Saint-Jean – Saint-Georges, en secteur sauvegardé, les pavés initialement envisagés ont été remplacés par un béton présentant une alternance de lignes et de textures différentes, rappelant le calepinage des dalles sur trottoir grâce à un traitement lissé puis sablé. Ce traitement de surface, sur l'ensemble du tracé, permet de :

- Retrouver une sobriété dans l'usage des matériaux de sol ;
- Marquer la plateforme par un revêtement différent de celui des trottoirs mais de calepinage similaire ;
- Proposer une uniformité de revêtement sur toute la longueur de la rue ;
- Créer une ambiance paysagère singulière au sein du secteur sauvegardé.

Comme tout projet de cette envergure, il a été nécessaire :

- De valider le choix du béton ;
- De s'assurer de l'accord de l'architecte des Bâtiments de France (ABF) ;
- De recaler le calendrier avec les entreprises.

Deux techniques de bétonnage sont mises en œuvre sur le chantier, selon l'épaisseur de la dalle de béton :

- Soit en béton à joints goujonnés, avec des barres métalliques uniquement au droit des joints ;
- Soit en BAC, avec mise en œuvre d'armatures filantes en ferraille, en cas de restriction sur l'épaisseur.

Le béton présente trois avantages :

- Il est plus résistant qu'un enrobé traditionnel, notamment en présence d'un trafic de bus important ;
- Il permet une meilleure identification du site propre réservé aux transports en commun (du fait d'une texture et d'une couleur différentes) ;
- Il est plus esthétique : il répond donc aux exigences du règlement du secteur sauvegardé de Nancy.

Choix du matériel roulant

Mûrement réfléchi, le choix du trolleybus permet aux voyageurs de bénéficier d'un transport de surface moderne, rapide et confortable. Il allie l'efficacité du métro et la proximité du bus. En outre, c'est un choix judicieux, puisqu'il nécessite un investissement moindre en infrastructures.
Une solution qui répond également à des contraintes topographiques fortes, le rail ne tolérant pas des pentes supérieures à 7 %. Autre avantage : le trolleybus est plus souple d'utilisation, car il est possible de rouler en mode « batterie », comme le fait un bus, en se déconnectant de l'alimentation électrique. À Nancy, cela concerne 30 % du linéaire de la ligne (traversée du centre-ville sur environ 1,65 km).

Le choix du trolleybus répond également à des contraintes topographiques fortes, le tramway sur rails ne tolérant pas des pentes supérieures à 7%. ©MF Drone - Eiffage Route

Choix du béton dans l'aménagement

Pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, le choix du béton s'est imposé en fin de compte pour des raisons techniques,

économiques et esthétiques. La réflexion menée par la MGN, en concertation avec l'ABF, a conduit à privilégier les matériaux de type minéral, dont la teinte est à dominante claire (ton pierre). Elle s'est traduite en conception associant deux structures en béton et conférant aux lieux une unité esthétique et une cohérence structurelle :

- Le revêtement en dalles de béton non armé et à joints goujonnés BC5g (pour les sections 2 et 4), sauf pour la traversée des ponts Kennedy et Foch, qui ont été traités partiellement ou totalement avec un revêtement en BAC ;
- Le revêtement en BAC (pour la section 3).

« Le choix du béton pour la réalisation de cette plateforme de trolleybus (d'une longueur de 6,5 km au total) est à la fois technique, esthétique, fonctionnel et économique », précise Yannick Lebel.

- Sur le plan technique, le choix du béton a été motivé par deux éléments. D'une part, le béton permet, en raison de sa couleur et de sa clarté, de bien identifier cet espace et en facilite l'intégration paysagère par le concepteur. D'autre part, il offre de nombreux avantages techniques : rigidité et indéformabilité sous l'effet des charges, non-gélivité, résistance à la canalisation des charges, durabilité, intégration facile (grâce aux différentes techniques de traitement de surface) aux matériaux naturels, qui abondent dans les rues adjacentes au projet (pavés et dalles de granit des Vosges), et entretien limité ;
- Sur les plans esthétique et fonctionnel, il fallait un revêtement minéral conciliant trois caractéristiques essentielles requises par la maîtrise d'ouvrage comme par la maîtrise d'œuvre :
- Un revêtement de couleur claire pour, d'une part, faire écho aux trames vertes et au bâti environnant et, d'autre part, tirer bénéfice de la clarté du revêtement (coefficient Albedo élevé) en vue de réduire l'ICU et la consommation énergétique de l'éclairage public ;
- Un revêtement clair, mais pas trop pour qu'il ne soit pas source d'éblouissement, et une surface renforçant la visibilité des salissures ;
- Un traitement de surface du matériau conférant au revêtement des caractéristiques de confort et une adhérence appropriée aux usagers des lieux. Trois traitements de surface ont été privilégiés en fonction du lieu et de l'usage (un béton désactivé pour la plateforme du trolleybus en dehors du centre-ville, un béton bouchardé et un béton sablé dans le centre-ville).
- Sur le plan économique, la solution en béton, du fait de sa durabilité et de son entretien réduit, est plus économique que les solutions alternatives.

L'option du BAC, dévolue aux chantiers routiers et autoroutiers, est assez originale pour une application urbaine mais pleinement justifiée. En effet, le BAC apporte une continuité structurelle au revêtement (en raison de l'absence de joints de retrait) et donc une durabilité accrue ainsi qu'une économie dans la gestion du revêtement (pas d'entretien des joints). Cette absence a de nombreux autres avantages : un bon uni, un confort de roulement et de faibles émissions sonores. De plus, le BAC réduit l'épaisseur de la structure, qualité appréciée et même recherchée dans la section 3, où les ouvrages souterrains et les réseaux affleurent.

« Pour la section 3, la solution passe par le béton et, tout particulièrement, le BAC, que nous utilisons à la MGN depuis plusieurs années, avec succès, pour la construction d'un couloir de bus et l'entretien des arrêts de bus », témoigne Romain Durcik.

Concernant le revêtement en béton, la maîtrise d'œuvre a défini et précisé les qualités des matériaux et les structures de chaussées. Le revêtement doit être en mesure de supporter à la fois le passage des charges (trolleybus, piétons, vélos, trottinettes, skates, etc.) et une formulation propre (classe d'exposition adaptée) pour être durable face aux conditions climatiques spécifiques (pluie, sécheresse, chaleur, gel, salage).

« Le choix du béton pour la réalisation de cette plateforme de trolleybus (d'une longueur de 6,5 km au total) est à la fois technique, esthétique, fonctionnel et économique. »

Conception de la plateforme (solution de base)

Pour les sections 1 et 5, la conception des stations en béton est similaire à celle des sections 2 et 4.

Pour les sections 2 et 4, la plateforme est en site propre entre la station Vélodrome-Callot et la station Gare Pierre-Semard. Puis entre la station Division-de-Fer et la station Cristalleries – Stade Marcel-Picot, la structure proposée en solution de base par la MGN, sur la recommandation de Dominique Saint-Eve du Cerema, est constituée de :

- Un revêtement en dalles de béton (classe BC5) non armé mais à joints goujonnés BC5g, d'épaisseur 18 cm ;
- Une fondation en grave-bitume GB3, d'épaisseur 8 cm en section courante (10 cm au droit des stations) ;
- Une couche de forme en GNT, d'épaisseur 20 cm, permettant d'atteindre un niveau de portance PF2qs ou EV2 ≥ 80 MPa, niveau exigé par la norme NF P98-086 pour les chaussées composites en BC5g/GB3 (norme dimensionnement des chaussées) ;
- Une arase ayant un niveau de portance PF2 ou EV2 ≥ 50 MPa.

Cette structure a été conçue avec une largeur de 6,30 m (élargissement de 0,30 à 0,50 m par rapport à l'ancienne plateforme du tramway sur pneus) et un schéma de calepinage bien précis, comportant :

- Un joint de retrait-flexion transversal tous les 4,5 m ;
- Un joint de construction longitudinal en tenon-mortaise (sur toute la longueur de la plateforme) ;
- Un joint de dilatation transversal tous les 24 ou 27 m.

En outre, à chaque carrefour ou rue traversante, il a été réalisé, de part et d'autre, une dalle de transition de 1,5 m de longueur comportant un chaînage périphérique destiné à renforcer les bords des dalles en béton. Enfin, le traitement de surface préconisé a été le béton désactivé.

Coupe en travers-type de la structure composite en BC5g/GB3 (solution de base).

En outre, entre la station Mon Désert-Thermal et la station Gare Pierre-Semard, la structure de la plateforme et le traitement de surface ont été modifiés. En effet, à certains endroits – tels le pont Kennedy en béton (revêtement en enrobé, sauf sur l'arrêt sur une longueur de 50 m, où le revêtement est en béton) et le pont Foch en métal (revêtement en béton sur la totalité du tablier de 90 m) –, la structure retenue est alors :

- Pont Kennedy : un revêtement en BAC d'épaisseur 20 cm, coulé sur une feuille épaisse en polyéthylène posée directement sur l'étanchéité du tablier ;
- Pont Foch : un revêtement en BAC d'épaisseur 16 cm, coulé sur un géotextile posé directement sur le tablier en métal (plaques métal et connecteurs).

En dehors des deux ouvrages d'art, la structure de la plateforme (secteur République) est identique à celle des sections 2 et 4, à savoir :

Un revêtement en dalles de béton (classe BC5) non armées mais à joints goujonnés BC5g, d'épaisseur 18 cm ;

- Une fondation en grave-bitume GB3, d'épaisseur 8 cm en section courante (10 cm au droit des stations) ;
- Une couche de forme en GNT, d'épaisseur 20 cm, permettant d'atteindre un niveau de portance PF2qs ou EV2 ≥ 80 MPa ;
- Une arase ayant un niveau de portance PF2 ou EV2 ≥ 50 MPa.

Sur cette section, il a été appliqué les mêmes règles en matière de calepinage des joints (excepté, bien sûr, sur le BAC). En revanche, le traitement de surface a été réalisé au moyen de la technique de bouchardage.

Enfin, la section 3 du projet, qui se trouve entre la station Gare Pierre-Semard et la station Division-de-Fer, a été conçue soit

avec une structure en dalles de béton goujonnées (18 cm BC5g/8 cm GB3) ou en BAC (d'épaisseur 18 cm ou 14 cm), en fonction de l'espace disponible en sous-sol (sous-sol encombré par un ouvrage hydraulique).

Sur cette section, le traitement de surface a été effectué avec la technique de sablage.

« Très contraint, ce chantier qui se déroule dans un contexte urbain dense et difficile et qui doit être réalisé dans des délais relativement courts (vingt-quatre mois) a conduit le maître d'ouvrage à découper le projet en deux lots et à lancer deux appels d'offres », poursuit Yannick Lebel.

Coupe en travers-type de la structure en béton armé continu.

Deux marchés de travaux

Les sections 1 et 5 ont été réalisées par plusieurs entreprises sélectionnées via des accords-cadres récurrents avec la métropole. La réalisation des plateformes en béton a été confiée à Sols Confluence, tandis que les ferraillages ont été assurés par Cléma.

Pour pouvoir achever le projet dans les délais impartis (vingt-quatre mois), les travaux de mise en œuvre des sections 2, 3 et 4 de la plateforme du trolleybus ont été divisés en deux lots :

- « Le lot 1 a été attribué au groupement d'entreprises Eurovia (mandataire)/Eiffage Route/Sols et correspond à la section 2 (Vélodrome Callot – Gare Pierre-Semard) et à la section 4 (Division-de-Fer – Cristalleries-Stade Marcel-Picot). Il totalise une longueur de 5,5 km. Sur ce lot, la plateforme a été réalisée en BC5g sur une fondation en grave-bitume, à l'exception de deux ponts où la structure a été remplacée par le BAC », explique Antoine Ciekanski, chef de secteur chez Eurovia Alsace-Lorraine.

- « Le lot 2 a été attribué au groupement d'entreprise Colas Projects (mandataire)/Colas France/Aximum/Sols (sous-traitant) et correspond à la section 3 (Gare Pierre-Semard – Division-de-Fer). Il totalise un linéaire de 1 km, dont 0,4 km en BC5g/GB3 et le reste en BAC », signale Yannick Del Castillo, chef de secteur chez Colas.

Ce lot est très contraint en sous-sol, car la structure se trouve, à certains endroits, au-dessus d'un ouvrage hydrauliqueenterré à faible profondeur.

« Pour ce lot, beaucoup de simulations avec Alizé ont été réalisées par le Cerema afin d'optimiser l'épaisseur de la structure de chaussée (BAC ou BC5g) et de s'assurer qu'elle s'insère dans l'espace réduit et disponible au-dessus de l'ouvrage hydraulique », conclut Romain Durcik.

La ligne t1 en chiffres

- Tracé : 10 km, dont 6,5 km en site propre
- Structure de la plateforme :
- Lot 1 : 18 cm BC5g / 8 cm GB4 / PF2 (en section courante)
- 18 cm BC5g / 11 cm GB4 / PF2 (en station)
- Lot 2 : 18 cm BC5g / 8 cm GB4 / PF2 ou 18 cm BAC ou 14 cm BAC
- Longueur de la plateforme en BAC : environ 0,5 km
- Longueur de la plateforme en structure BC5g : environ 6 km
- Largeur de la plateforme : 6,50 m
- Bordures : plus de 15 000 m linéaires de bordures posées en rive de voirie
- Intersections : plus de 80 carrefours aménagés
- Réfection de voirie : plus de 120 000 m^2
- Entreprises mobilisées : environ 50
- Stations : 25 stations
- Circulation des bus : de 4 à 24 heures, avec un intervalle de 5 min entre deux trolleybus aux heures de pointe et sur la journée (de 5 à 20 heures). Après 20 heures, l'intervalle entre deux trolleybus est de 10 min
- Capacité du trolleybus : 169 places dont 46 assises
- Capacité de la ligne : 45 000 voyageurs par jour
- Volume de béton utilisé : environ 7 000 m^3

Un chantier urbain complexe de 10 km utilisant 2 structures et 3 techniques de traitement de surfaces différentes, avec des délais de réalisation courts de 2 ans, a amené la MGN a découper le chantier en 2 lots. ©MF Drone - Eiffage Route

Conception de la plateforme par les entreprises

Structures de la plateforme

Les entreprises ont procédé à des simulations à l'aide du logiciel Alizé pour optimiser les structures de la plateforme en modifiant légèrement les hypothèses de la solution de base (portance de l'arase, classe des matériaux). Ces études ont conduit à proposer des adaptations aux structures de la solution de base :

Pour les sections 2 et 4, la structure adaptée (par suppression de la couche granulaire de 20 cm) est la suivante (à l'exception du passage sur les ponts Kennedy et Foch) :

- Un revêtement en dalles de béton (classe BC5) non armé mais à joints goujonnés BC5g, d'épaisseur 18 cm ;

- Une fondation en grave-bitume GB4 Opt, d'épaisseur 8 cm en section courante (11 cm au droit des stations) ;

- Un support ayant un niveau de portance PF2 ou EV2 ≥ 50 MPa.

Pour les ponts Kennedy et Foch, les entreprises n'ont pas modifié la solution proposée dans l'appel d'offres (cf. paragraphe 3.5).

Pour la section 3, deux types de structure ont été retenus :

- Une structure en dalles de béton non armé mais à joints goujonnés BC5g sur une fondation en grave-bitume GB4, identique à celle proposée pour les sections 2 et 4 ;

- Une structure en BAC (là où l'on ne dispose pas d'espace suffisant à cause de l'ouvrage hydraulique en sous-sol), identique à celle proposée dans l'appel d'offres (cf. paragraphe 3.5).

Coupe en travers-type de la structure de chaussée composite BC5g/GB4 (variante entreprise).

Études de formulation du béton

Pour tenir compte de toutes les exigences en matière structurelle, esthétique et de durabilité et répondre aux spécifications du cahier des charges, la société Béton Vicat, choisie pour la fourniture des bétons, a été amenée à mettre au point cinq formulations spécifiques pour ce chantier (trois formulations pour la plateforme du trolleybus et deux formulations pour les aménagements urbains (trottoirs, pistes cyclables, voies de bus, etc.)). En partant d'une formulation basique de béton dont dispose la centrale, il a été procédé par ajustements successifs, en faisant varier les différents constituants (nature, couleur et dimension maximale des granulats ; nature et dosage du ciment ; nature et dosage du colorant ; nature et dosage des adjuvants) pour finalement converger, pour chaque formulation, vers un rendu conforme aux souhaits du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre. Les trois formulations élaborées pour la plateforme du trolleybus sont :

- **Formulation 1 (élaborée pour la section 2 du lot 1)** : les exigences du cahier des charges concernaient l'adhérence, la couleur (la clarté) et l'esthétique. Un compromis a été nécessaire pour s'y conformer et équilibrer les propriétés recherchées. Des essais ont été réalisés en partenariat avec Sols afin de converger vers une teinte de béton et un agencement des granulats en surface (couleurs, proportions, taille, mosaïque) qui correspondent bien aux attentes de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre. Cette formulation a été obtenue avec deux types de granulats (silico-calcaires beige-blanc 60 % et une andésite noire Trapp 40 %) et un ciment CEM I permettant une montée rapide en résistance afin de pouvoir réaliser le traitement de surface par désactivation dans de bonnes conditions (gestion des délais à observer avant pulvérisation du produit désactivant et avant lavage). Ce béton "DEFI.CHAUSSÉE DESACTIVÉ BC5 S2.7 D14 S3 CEM I FIBRÉ" est de classe mécanique BC5 (C35/45), de classe d'exposition XF4, de classe de chlorure Cl 0,4, de classe de consistance S3 et d'un Dmax de 14 mm, conformément à la norme NF EN 206+A2/CN.

- **Formulation 2 (élaborée pour la section 4 du lot 1)** : les exigences du cahier des charges concernaient la teinte (claire), l'adhérence (élevée) et la nature des granulats qui sont d'origine alluvionnaire, concassés clairs. Le béton a été formulé, pour des raisons esthétiques et environnementales, avec un ciment CEM III de teinte claire et à faible empreinte carbone et avec

ajout d'un colorant afin d'obtenir un ton « pierre ». Le traitement de surface a été réalisé par bouchardage pour des raisons évidentes d'aspect et d'intégration dans l'espace urbain environnant. Ce béton "DEFI.CHAUSSÉE BOUCHARDÉ BC5 S2.7 D14 S3 CEM III TON PIERRE FIBRÉ" est de classe mécanique BC5 (C35/45), de classe d'exposition XF2, de classe de chlorure Cl 0,4, de classe de consistance S3 et d'un Dmax de 14 mm, conformément à la norme NF EN 206+A2/CN.

- **Formulation 3 (élaborée pour la section 3 du lot 2)** : les exigences du cahier des charges concernaient la teinte (claire), l'adhérence (élevée) et la nature des granulats.

Sur cette section et pour satisfaire les exigences de l'ABF, le béton a été formulé avec trois types de gravillons de roches granitiques en provenance des Vosges. Le béton a été formulé, pour des raisons esthétiques et environnementales, avec un ciment CEM III de teinte claire et à faible empreinte carbone. Pour atteindre les exigences en matière de résistance au polissage, 480 kg de granulats à forte valeur de PSV ont été ajoutés au mélange, conformément à la norme « Chaussée en béton NF P 98-170 ». Ce béton "DEFI.CHAUSSÉE SABLÉ BC5 S2.7 D14 S3 CEM III FIBRÉ" est de classe mécanique BC5 (C35/45), de classe d'exposition XF2, de classe de chlorure Cl 0,4, de classe de consistance S3 et d'un Dmax de 14 mm, conformément à la norme NF EN 206+A2/CN.

« La mise au point du béton – par l'assemblage de sable et de gravillons bien sélectionnés, de couleur adaptée –, le choix de la teinte du ciment (CEM I ou CEM III) et l'adjonction éventuelle d'un colorant de ton pierre et précisément dosé ont permis d'obtenir les nuances visées et répondant aux exigences esthétiques, fonctionnelles et de durabilité de l'aménagement, mais aussi environnementales en privilégiant l'utilisation de granulats et liants de proximité régionale », précise Loïc Dilos, manager technique & qualité de Béton Vicat.

Réalisation des travaux

Les travaux de démolition de l'ancienne plateforme de tramway sur pneus ainsi que l'évacuation des matériaux ont été confiés à Hollinger.

Mise en œuvre du lot 1 (sections 2 et 4)

S'agissant d'un grand chantier urbain qui se déroule de surcroît sur longue période, la MGN et les entreprises ont veillé, avant le démarrage des travaux, à appliquer méticuleusement les règles et les dispositions qui s'imposent dans de telles circonstances : à savoir une information appropriée aux riverains, commerçants et occupants du domaine public. Cette action a été menée par une équipe dédiée, constituée de quatre personnes (trois de la MGN et une représentant les entreprises). En outre, ces dernières ont pris toutes les dispositions pour que les travaux se déroulent dans de bonnes conditions de sécurité et de confort, et dans le respect de l'environnement.

Eurovia, en charge du lot 1 (sections 2 et 4), a piloté le chantier avec Eiffage Route, en coordonnant les différents intervenants et en réalisant les opérations suivantes :

- Travaux d'élargissement de la plateforme ;
- Travaux de terrassement pour mise à la cote du fond de forme, suivis d'un compactage soigné. L'objectif était d'atteindre une portance d'au moins 50 MPa ;
- Travaux d'assainissement et de drainage de la plateforme pour gérer les eaux de ruissellement durant le chantier (mise en place d'ouvrages d'assainissement provisoires) ;
- Mise en place des bordures de chaque côté de la plateforme ainsi que du génie civil des réseaux d'éclairage public et de la signalisation lumineuse tricolore, et réalisation de l'assainissement de surface ;
- Fabrication et mise en œuvre de la couche defondation en grave-bitume GB4 Opt.

« Nous avons réalisé un balisage afin de protéger, d'une part, les riverains et les visiteurs et, d'autre part, le chantier lui-même (mobilier, arbres, bordures) ainsi que les couches mises en œuvre contre d'éventuelles dégradations. En outre, nous avons pris les dispositions adéquates pour réduire les nuisances du chantier et maintenir l'accessibilité des habitations et des commerces », précisent Antoine Ciekanski et Quentin Hognon, conducteur de travaux chez Eiffage Route, région Nord-Est.

☐ Démolition de l'ancienne plateforme du tramway. ©MF Drone - Eiffage Route

☐ Travaux de VRD. ©MF Drone - Eiffage Route

☐ Compactage du support. ©MF Drone - Eiffage Route

Réalisation de la couche de fondation en grave-bitume

La couche de fondation – constituée de 8 cm de grave-bitume GB4 Opt en section courante et de 11 cm en station – a été réalisée, selon le secteur, par Eurovia ou par Eiffage à l'aide d'un finisseur et d'un atelier de compactage. La mise en œuvre de la grave-bitume a été effectuée en pleine largeur (6,50 m).

« L'objectif, pour la grave-bitume, était d'obtenir une compacité minimale de 92 %, conformément aux exigences de la norme NF EN 13 108-1 "Enrobés bitumineux" et aux spécifications données dans le Catalogue des structures types de chaussées neuves (Sétra/LCPC, 1998) », ajoute Antoine Ciekanski.

Réalisation des revêtements en béton

Le chantier « béton » a été conduit par Sols, Eiffage en ayant assuré le suivi. Après avoir réceptionné les travaux de la couche de fondation en GB4 Opt et la mise en place des bordures de chaque côté de la plateforme (point d'arrêt), la mise en œuvre du revêtement en béton a été organisée et planifiée pour que les riverains et usagers ne soit gênés qu'au minimum. Elle a démarré en août 2023 par l'aménagement des carrefours stratégiques, puis elle s'est poursuivie en travaillant par section ou unité de travaux (longueur séparant deux carrefours successifs) et elle s'est achevée au deuxième trimestre 2025. Le bétonnage a été réalisé par demi-chaussée. Au total, 6 000 m3 de béton ont été nécessaires pour le lot 1 et les opérations de mise en œuvre ont suivi le processus suivant :

- Travaux préparatoires ;
- Réalisation des coffrages ;
- Mise en place du chaînage autour des émergences, des paniers de goujons et des joints de dilatation ;
- Fabrication et transport du béton ;
- Mise en œuvre du béton (suivie de la pulvérisation d'un produit de cure pour la section 4) ;
- Traitement de surface par désactivation et cure du béton (section 2) ;
- Traitement de surface par bouchardage (section 4) ;
- Réalisation du calepinage des joints ;
- Protection du béton (section 4).

Travaux préparatoires

Les travaux préparatoires ont consisté à protéger les bordures par un film épais en polyéthylène (bordures déjà mises en œuvre de part et d'autre de la plateforme par Eurovia/Eiffage).

Mise en oeuvre de la fondation en grave bitume GB4. ©MF Drone - Eiffage Route

Réalisation des coffrages

Pour pouvoir réaliser le bétonnage par demi-chaussée, Sols a installé un coffrage (en tenon-mortaise) à l'axe de la plateforme. Ce sont des coffrages en acier (règles de 3 m de long et de 18 cm de hauteur).

« Une fois les coffrages posés et solidement fixés au sol à l'aide de fiches (de 18 mm de diamètre) réparties avec un espacement de 1 m, des voliges en bois ont été posées au niveau des jonctions, entre les règles successives, pour assurer la stabilité du coffrage », explique Sébastien Thiercé, directeur de l'agence Sols Confluence.

Mise en place du chaînage autour des émergences, des paniers de goujons et des joints de dilatation

Autour de chaque émergence, il a été installé un chaînage de renforcement, confectionné avec un reillis soudé ST15C, afin d'empêcher l'ouverture de fissures (susceptibles d'apparaître à la suite de la réduction de la section transversale du béton).

Des paniers de goujons ont été ensuite positionnés avec un espacement de 4,5 m, de telle manière que les goujons soient placés à mi-hauteur de la dalle et se trouvent ainsi à cheval sur les futurs joints de retrait.

« Ces goujons assurent le transfert de charge au niveau des joints de retrait transversaux et maintiennent ainsi les dalles solidaires dans le plan vertical, tout en leur conservant un libre mouvement dans le plan horizontal », précise Fabrice Bonnin, responsable technique de Sols.

Des joints de dilatation ont été installés avec un espacement de 27 m, c'est-à-dire que, toutes les six dalles, un joint de retraita été remplacé par un joint de dilatation. Leur rôle est d'absorber la dilatation du revêtement qui se produit sous l'effet de l'augmentation de la température ambiante.

Nota. Le cas échéant, mise en place des armatures du BAC sur les ponts Kennedy et Foch : les barres d'acier, de diamètre 14 ou 16 mm (selon l'épaisseur du revêtement) et de longueur 6 m, sont ligaturées et positionnées à mi-hauteur du revêtement en béton à l'aide de distanciers.

« Pour ce lot 1, Sols a installé environ 1 100 paniers porte-goujons, soit un total de 22 000 goujons et de 200 joints de dilatation », précise Pierre Nisi, chef de secteur Grand-Est de Sols.

« Ces goujons assurent le transfert de charge au niveau des joints de retrait transversaux et maintiennent ainsi les dalles solidaires dans le plan vertical, tout en leur conservant un libre mouvement dans le plan horizontal. »

Travaux préparatoires avant la mise en oeuvre du béton : positionnement des paniers de goujons, chaînage le long des coffrages. ©Pierre Nisi / Sols

Positionnement des goujons

Le béton est mis en place alors que des paniers de goujons (en fer lisse plastifié ; diamètre 25 mm ; longueur 45 cm ; espacés de 30 cm) ont été préalablement installés avec un espacement de 4,5 m, de manière que les goujons soient placés à mi-hauteur de la dalle et se trouvent à cheval sur les futurs joints de retrait, réalisés ensuite par sciage. Ces goujons assurent le transfert de charge au niveau des joints de retrait transversaux et maintiennent ainsi les dalles solidaires dans le plan vertical, tout en leur conservant un libre mouvement dans le plan horizontal.

Ces paniers gardent les goujons en position (à mi-hauteur de la dalle, à 9 cm sous la surface) pendant le bétonnage. Leur conception doit être telle qu'elle ne crée pas de liaison mécanique entre les dalles au niveau des joints. Il s'agit généralement d'aciers Ø 6, sur lesquels les goujons sont attachés par ligature. Ces paniers, stockés sur le chantier, seront positionnés avec un espacement bien défini de 4,5 m et fixés sur la fondation en grave-bitume, au droit des joints de retrait, repérés par une marque en dehors de l'emprise de la chaussée, juste à l'avant de l'atelier de mise en œuvre.

Fabrication et transport du béton

Pour le lot 1, il a fallu fabriquer quatre formulations de béton faisant appel à deux types de ciments (CEM I et CEM III) et à trois types de granulats (deux types de granulats pour le revêtement de la plateforme : granulats silico-calcaires de couleur beige-blanc 60 % ; granulats Trapp noir 40 % et un type de granulats pour les aménagements annexes). Deux formulations pour le revêtement de la plateforme du trolleybus et deux autres formulations pour les aménagements annexes (voies de bus, pistes cyclables, trottoirs, aménagements non circulés) ont été finalement retenues à l'issue de plusieurs tentatives et recherches. Ces formulations sont :

- **Formule 1.** Pour le centre-ville (secteur République). Le béton a été fabriqué avec les caractéristiques suivantes : BPS – NF EN 206+A2/CN – BC5 (ou C35/45) – XF2 – CEM III – Cl 0,4 – S3 – Dmax 14
- **Formule 2.** Revêtement en dehors du centre-ville. Le béton a été fabriqué avec les caractéristiques suivantes : BPS – NF EN 206+A2/CN – BC5 (ou C35/45) – XF4 – CEM I – Cl 0,4 – S3 – Dmax 14
- **Formule 3.** Aménagements non circulés (trottoirs et pistes cyclables). Le béton a été fabriqué avec les caractéristiques suivantes : BPS – NF EN 206+A2/CN – BC3 (ou C25/30) – XF2 – CEM III – Cl 0,4 – S3 – Dmax 14
- **Formule 4.** Aménagements circulés et voie de bus (secteur République). Le béton a été fabriqué avec les caractéristiques suivantes : BPS – NF EN 206+A2/CN – BC5 (ou C35/45) – XF2 – CEM III – Cl 0,4 – S3 – Dmax 14

Ces bétons ont été fabriqués principalement à la centrale Béton Vicat de Chavigny et, si besoin, à la centrale de Saint-Nicolas-de Port, puis livrés par camion-toupie.

Avant que le béton ne soit livré, deux contrôles ont été immédiatement réalisés :

- Contrôle de la consistance du béton : il a été effectué à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams et le résultat devait être de classe S3 (affaissement compris entre 10 et 14 cm) ;
- Contrôle de la teneur en air occlus : il a été réalisé à l'aéromètre à béton et le résultat devait être obligatoirement compris dans la fourchette de 4 à 6 %.

« La fourniture des 7 000 m^3 de béton s'est étalée sur une période de quinze mois. Le planning de livraison était fixé à la semaine, puis éventuellement ajusté la veille pour le lendemain, selon l'avancement du chantier et les conditions météorologiques », explique Carlos Da Silva, responsable prescription IDF/Est chez Vicat.

Le béton est acheminé à pied d'oeuvre par camion-toupie et déversé sur la fondation en grave-bitume. ©MF Drone - Eiffage Route

Bétonnage le long d'un joint de dilatation. Le béton est tiré à l'aide d'un râteau. ©Pierre Nisi / Sols

Mise en œuvre du béton

Après nettoyage éventuel de la surface de la couche de grave-bitume afin d'assurer l'obtention d'une interface semi-collée entre le revêtement en béton et la fondation en grave-bitume, le bétonnage a été conduit de façon manuelle. Le béton, de formulation spécifique (consistance S3), a été livré à pied d'œuvre et déversé sur la couche de fondation directement par camion-toupie. Il a été ensuite tiré à l'aide d'un râteau, serré à l'aiguille vibrante et réglé manuellement à l'aide d'une règle en aluminium, tout en respectant les repères altimétriques constitués, d'un côté, par les bordures de rive et, de l'autre, par le coffrage axial. Cette opération a été suivie par un lissage de la surface du matériau, réalisé manuellement pour conférer au revêtement en béton un état de surface plan et d'aspect fermé (exempt de cavités ou de trous).

« Cette opération a été réalisée par des applicateurs experts ayant chaussé des bottes spéciales, équipées de tiges de fer de 18 cm de hauteur, ce qui leur permettait de se déplacer dans le béton, sans altérer l'uni du revêtement », précise Pierre Nisi.

« Tous les bétons utilisés pour la construction de la plateforme du BHNS sont de classe BC5, selon la norme NF P 98 170, ou de classe C35/45, conformément à la norme NF EN 206+A2/CN. Ils provenaient de plusieurs centrales de BPE de Béton Vicat et, principalement, de celle de Chavigny. Les ciments proviennent de la cimenterie Vicat de Xeuilley en Meurthe-et-Moselle », précise Loïc Dilos.

« Le chantier était le plus souvent approvisionné par la goulotte des camions-toupies. En revanche, la réalisation de certaines zones d'accès difficile ou présentant des risques de ségrégation du béton dus à la hauteur excessive de chute du béton a nécessité l'emploi de pompes à béton », ajoute Carlos Da Silva.



Vue du dessus des paniers de goujons fixés sur la fondation en grave bitume avec un espacement régulier. ©MF Drone - Eiffage Route

Le béton est régalé au râteau, tiré à la règle puis taloché et lissé. ©Pierre Nisi / Sols

Traitement de surface

• Section 2 : par désactivation

Pour la section 2 (zone en dehors du centre-ville), l'opération de lissage de la surface du béton a été suivie de la pulvérisation, à la surface du béton, d'un produit désactivant Via Stone de chez Via Sols, qui fait office de cure pour le béton, à raison de 300 g/m². Dans un délai habituel de six à vingt-quatre heures après le coulage, selon les conditions météorologiques, le béton a été désactivé par un équipement dédié Mobyclean, qui lave et aspire la laitance et les résidus du désactivant. Puis la surface a été rincée à grande eau jusqu'à l'obtention d'un pparement homogène exempt de laitance.

Après lavage, un produit de cure a été pulvérisé à la surface du béton pour empêcher toute évaporation de l'eau.

• Section 4 : par bouchardage

Pour la section 4 (zone du centre-ville, quartier République), l'opération de lissage a été immédiatement suivie de l'opération de protection, consistant à pulvériser un produit de cure à la surface du béton pour empêcher toute évaporation de l'eau.

Après durcissement (environ sept jours), le béton a été bouchardé avec un appareil pneumatique qui porte des bouchardes. Les reliefs, en frappant la surface, font éclater le mortier de béton et fracturent sensiblement les granulats. Le choix de la dureté, de la taille et de la couleur de ces derniers est essentiel pour la qualité du rendu. Le bouchardage donne l'illusion d'un granit fraîchement coupé et met en valeur cet aspect de roche éclatée. Après nettoyage de surface, le béton bouchardé est protégé contre les salissures par un bouche-pores.

Désactivation à l'aide de Mobyclean. ©Pierre Nisi / Sols

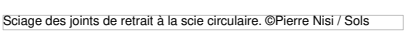
Zoom

Bouchardage. ©Pierre Nisi / Sols

Zoom

Réalisation du calepinage des joints

En plus des joints de dilatation installés avant le bétonnage, Sols a réalisé des joints de retrait, sciés dans le revêtement, au bout d'un délai variant entre six et quarante-huit heures après le bétonnage, délai fixé en fonction des conditions climatiques et de la température ambiante. Des joints de retrait transversaux (espacés de 4,5 m) ont été sciés sur le tiers supérieur du revêtement en béton, à des endroits précis pour que les goujons (déjà noyés au sein du béton) soient à cheval sur les joints. Le scellement des joints a été confié à la société Socotras (cf. encadré « Sciage, élargissement et scellement des joints de retrait »).



Sciage des joints de retrait à la scie circulaire. ©Pierre Nisi / Sols

Sciage des joints de retrait à la scie circulaire. ©Pierre Nisi / Sols

Protection du béton

Pour la section 4, le béton bouchardé a été protégé contre les salissures par application, à la surface du béton, d'un bouche-pores.

Mise en œuvre du lot 2

« Les travaux de mise en œuvre du lot 2 ressemblent à ceux du lot 1, avec toutefois quelques modifications ou particularités » précise Yannick Del Castillo.

Les principales modifications ou adaptations ont concerné les opérations suivantes :

- Installation des distanciers et pose des armatures longitudinales ;
- Fabrication et transport du béton ;
- Talochage du béton ;
- Pulvérisation d'un produit de cure ;
- Traitement de surface par pochage-sablage ;
- Protection du béton.

« Comme pour le lot 1, nous avons réalisé un balisage et pris les dispositions adéquates pour réduire les nuisances du chantier et maintenir l'accessibilité des habitations et des commerces », ajoute Yannick Del Castillo.



Mise en oeuvre du revêtement en BAC ave livraison du béton par pompage. ©Pierre Nisi / Sols

Mise en place des distanciers et pose des armatures longitudinales

La mise en place du chaînage autour des émergences, le positionnement des joints de dilatation, l'installation des paniers de goujons, ont été réalisés de la même manière que pour le lot 1. Sur le lot 2, la nouveauté a été le ferraillage du BAC. En effet, les armatures destinées au revêtement en BAC d'épaisseur 18 cm sont de deux types :

- Des armatures en acier à haute adhérence, de longueur 6 m et de diamètre 14 mm ou 16 mm, qui vont être positionnées, dans le sens longitudinal de la voie, à la fibre neutre du revêtement en [béton ;
- Des armatures en acier à haute adhérence, de diamètre 3 mm à 6 mm, qui vont être assemblées par trois pour créer des supports ou distanciers dont la section est de forme triangulaire et dont la hauteur est exactement de 8 cm.

Ces supports – destinés à être positionnés dans le sens transversal de la voie à bétonner – ont été espacés d'un mètre. Ces distanciers ont été préparés en atelier et approvisionnés sur chantier prêt à l'emploi. Les armatures longitudinales ont été livrées sur chantier en bottes et positionnées sur les distanciers avec un espacement fixe. Les armatures longitudinales ont été ensuite assemblées aux supports et ligaturées à raison d'au moins une fixation sur deux. Ces armatures longitudinales, associées aux supports, ont été soigneusement stockées sur le chantier. Elles seront transportées au fur et à mesure de l'avancement du chantier pour être placées sur le support avant le bétonnage, en observant un recouvrement des armatures longitudinales sur une longueur de 40 fois le diamètre (soit 40 x 16 mm = 640 mm ou 64 cm).

Fabrication et transport du béton

Pour le lot 2, la formulation du béton a été spécifiquement étudiée pour satisfaire les exigences fixées par l'ABF. En effet, pour la réalisation de la plateforme du trolleybus, celui-ci ne souhaitait pas utiliser n'importe quel matériau pour ne pas dénaturer les trottoirs existants et les revêtements dans les rues adjacentes aménagées avec des éléments modulaires en pavés de granit des Vosges. Il a exigé une formulation du béton sur mesure. Béton Vicat et Sols ont donc travaillé à l'élaboration d'un béton composé avec un ciment CEM III bas carbone et un mélange de trois granulats élaborés à partir de trois granits des Vosges (Petitjean Vosges, Blanc des Vosges, Senones). Seul le granulat Blanc des Vosges dispose d'un coefficient de polissage accéléré

(PSV en anglais) supérieur à 50, garantissant au revêtement un niveau d'adhérence durable sous circulation. Il a donc été utilisé à hauteur de 40 % (soit 470 kg/m3 de béton) dans le mélange, comme l'exige la norme NF P 98-170.

Talochage à l'hélicoptère

Le béton a été mis en place à l'aiguille vibrante pour évacuer les poches d'air qui peuvent se former au niveau des armatures et améliorer ainsi son serrage et sa compacité. Puis il a été surfacé à la taloche manuelle. Après qu'il a fait prise, le talochage s'est poursuivi par un surfaçage et un lissage fin à l'aide d'un outil spécial, l'hélicoptère, destiné à fermer et à marbrer la surface du béton.

Cure du béton

Après le lissage à l'hélicoptère, un produit de cure a été pulvérisé à la surface du béton pour empêcher toute évaporation de l'eau.

Traitement par sablage-pochage

Après quelques jours de durcissement, le traitement de surface a été effectué par pochage-sablage afin d'obtenir une trame de bandes successives de largeurs 10, 20 et 50 cm, sablées et non sablées, pour faire écho aux aménagements réalisés dans les rues adjacentes en dalles de pierres naturelles en granit des Vosges.

Protection du béton

Pour le lot 2, le béton sablé a été protégé contre les salissures par application, à sa surface, d'un bouche-pores.

Béton traité par pochage/sablage pour s'harmoniser avec les aménagements en granit des Vosges. ©Joseph Abdo/JA-Consulting

Défis relevés, obstacles surmontés et bilan de l'opération

Le chantier a été réalisé dans les délais fixés, et ce malgré quelques difficultés d'exécution.

Pour Yannick Lebel, représentant de la maîtrise d'ouvrage : « Le bilan est positif. Le chantier a été réalisé dans les délais fixés, et ce malgré quelques difficultés rencontrées lors de son exécution. Globalement, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre sont très satisfaites. Le projet du trolleybus a été une première expérience très enrichissante. Au départ, il y avait beaucoup de questions et d'interrogations sur le béton, le BC5g, le BAC et les qualités de surface (classe de béton, positionnement des goujons et des armatures, leur espacement dans le revêtement, dispositions constructives autour des émergences, petites retouches du béton, uni et adhérence de surface, etc.). Mais ces difficultés ont été surmontées grâce à l'assistance et au soutien du Cerema et de Sols. Le résultat est satisfaisant et l'expérience est qualifiée de "positive" », conclut Yannick Lebel.

Pour Antoine Ciekanski et Quentin Hognon, représentants du groupement d'entreprises adjudicataires du lot 1 :

« Les défis à relever et les difficultés à surmonter ont été :

- *le travail sous trafic, avec tous les problèmes de sécurité à résoudre au quotidien ;*
- *les difficultés d'approvisionnement et, en particulier, concernant le béton, qu'il a fallu livrer par pompage dans certaines zones ;*
- *le morcellement du lot en plusieurs tronçons (de carrefour à carrefour) ;*
- *la gestion d'un béton à forte consistance à mettre en œuvre sur une plateforme présentant parfois une pente de 5 à 6 %.*

Le résultat global est malgré tout satisfaisant. »

Section 3. Le traitement par pochage/ sablage s'inscrit dans la démarche de mise en valeur du centre de Nancy imposé par le PSMV. ©Vicat

Section 4. Aménagement en site propre, plateforme en béton désactivé sur grave bitume. ©MF Drone - Eiffage Route

Pour Yannick Del Castillo, chef de secteur chez Colas, adjudicataire du lot 2 :

« Le défi était de mettre en place une organisation méticuleuse pour réaliser le bétonnage en demi-largeur, sans dévier la circulation et tout en assurant l'approvisionnement du chantier et la sécurité de tous. Les difficultés suivantes ont été surmontées :

- *la gestion d'un chantier sous circulation et l'interdiction de fermer certains secteurs ;*
- *le traitement autour des émergences et la mise en place de dispositions constructives spécifiques (chaînage) pour renforcer le béton vis-à-vis de la fissuration ;*
- *l'exécution du BAC sur le parking au terminus de la ligne, où la configuration du lieu (raquette, virage à très faible rayon de courbure) ne facilitait pas la mise en place des armatures du béton. »*

Pour Sébastien Thiercé, directeur de l'agence Sols Confluence, qui a réalisé le béton sur les lots 1 et 2 :

« Je suis fier et très satisfait d'avoir réalisé ce chantier d'ampleur dans les délais, malgré tous les défis qu'il a fallu relever, avec mon équipe, pour assurer une mise en œuvre conforme aux souhaits de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre.

- *Le premier défi était de mettre en place une organisation rigoureuse afin d'assurer la régularité et la conformité des approvisionnements en béton. Cela s'est traduit par la création d'un plan de contrôle (interne et externe) pour vérifier quotidiennement la consistance l'air occlus et les performances mécaniques du béton.*
- *Le deuxième défi a été la mise au point, avec Béton Vicat, dans des délais très courts (deux mois), d'un béton sur mesure pour le lot 2 pour satisfaire les exigences de l'ABF. Il a fallu aller chercher, dans trois carrières, des blocs de granit, les concasser en laboratoire, effectuer une étude de formulation du béton (en variant les proportions des différents granulats afin de converger vers une composition satisfaisant à la fois les critères de dureté, de résistance au polissage et de rendu esthétique conformes aux souhaits de l'ABF.*
- *Le troisième défi résidait dans le fait que ce chantier est par essence morcelé en petits lots et qu'il fait de surcroît appel à de multiples matériaux et intervenants. Il fallait donc une vigilance accrue pour gérer le problème des interfaces, en plus d'être en mesure d'obtenir des rendus de surface homogènes par tous les temps (été comme hiver). »*

Pour Élodie Clavier et Loïc Dilos de Béton Vicat :

« Ce chantier est vraiment une très belle réussite, tant esthétique qu'environnementale, avec environ 45 000 m2 d'aménagements en béton décoratif et une empreinte carbone réduite. Il s'est parfaitement déroulé. La bonne coordination entre les entreprises et nos centrales de béton a permis d'établir un bon planning des livraisons en amont, d'assurer une bonne gestion des rotations des camions-toupies et un bon suivi sur place par le laboratoire Sigma Béton, par le service technique et par l'équipe commerciale. Le résultat obtenu est le fruit de cette coordination et représente, pour nos équipes, la satisfaction d'avoir répondu aux attentes du client. »

Section 2. Aménagement en béton bouchardé pour s'intégrer à l'espace urbain. ©Vicat

Couverture Routes Info n°47

Cet article est extrait de **Routes Info n°47**

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