





#mieuxcirculer

#mieuxprotégerlaplanète

#chantier

#voiriesetaménagementsbéton

CIMbéton a le plaisir de vous adresser le numéro 4 de *Routes La Revue*. En quatre reportages, nous vous présentons toute la richesse des solutions techniques à base de liant hydraulique routier (LHR) et de béton. En effet, l'utilisation du LHR est illustrée par trois reportages de chantiers sur la technique de traitement des sols en place pour stabiliser durablement les plates-formes supports de chaussées :

> Gimont – Gers (32). Déviation de Gimont : une couche de forme traitée au LHR (RI #15).

> Strasbourg – Bas-Rhin (67). Traitement des loëss et des lehms pour les travaux de terrassement du contournement ouest de Strasbourg COS (RI #16).

> RCEA/A79 – Allier (03) et Saône-et-Loire (71). Traitement des sols pour les travaux de terrassement de l'A79 entre Toulon-sur-Allier (03) et Digoïn (71) (RI #18).

Quant à l'utilisation du béton, elle est illustrée par un reportage de chantier faisant appel à la technique du béton compacté routier (BCR), technique simple, rapide et durable :

> La Seyne-sur-Mer – Var (83). Du béton compacté routier pour une plate-forme de stockage de véhicules en transit (RI #17).

Nous sommes sûrs que vous saurez apprécier ces quatre reportages montrant toutes les potentialités de l'utilisation des LHR et des bétons pour construire, entretenir et aménager les infrastructures de la mobilité de demain. Vous pouvez, bien entendu, retrouver l'ensemble des reportages *Routes* et des cahiers techniques sur : www.infociments.fr/publications/routes

Bonne lecture!

Joseph ABDO



SUR LA TOILE

Il répond ainsi au besoin des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre, des bureaux d'études et des entreprises de disposer d'un outil leur permettant d'établir un bilan économique et un bilan environnemental pour chacune des solutions techniques envisagées pour un projet, afin de justifier leur choix final.

PERCEVAL est un éco-comparateur conçu spécialement pour la route (terrassements routiers, chaussées routières et autoroutières, aménagements urbains et ouvrages annexes). Il permet d'effectuer une évaluation économique et environnementale d'une solution technique ou une comparaison économique et environnementale entre deux solutions techniques alternatives pour un ouvrage routier.

Pour y accéder gratuitement :
<https://www.infociments.fr/calculateur-perceval>



#mieuxcirculer

#mieuxprotégerlaplanète

#mieuxvivre

#chantier

#lianthydrauliqueroutier



Liant
hydraulique
routier



Recyclage
en place



Surface traitée
au LHR :
260 000 m²



Gers

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage
Dreal-Occitanie

Maîtrise d'œuvre
Dirso

Entreprise
Roger Martin – Agence Grands Travaux

Fournisseur du LHR
LafargeHolcim

PHOTO D'OUVERTURE : Vue d'ensemble d'un tronçon du chantier du contournement de Gimont. Il permettra de relier Toulouse à Auch, tout en évitant la ville.

Avant-dernier tronçon du vaste chantier d'aménagement de la RN124 et l'un des plus grands chantiers de terrassement de France en 2020, la déviation de la commune de Gimont a fait massivement appel à la technique de traitement des sols en place pour réaliser les remblais, renforcer l'arase et confectionner la couche de forme. Confié à l'entreprise Roger Martin, le projet a mis en œuvre des solutions hors normes pour s'adapter à la nature des sols. Parmi celles-ci, la réalisation d'une couche de forme traitée au liant hydraulique routier (LHR) qui a nécessité 10 000 tonnes de Rolac Premier Lafarge.

SITUATION

La route nationale 124, qui relie Toulouse à Auch, traverse actuellement la ville de Gimont. Bastide du XIII^e siècle, cette commune du Gers (32) se situe à environ vingt minutes d'Auch et trente-cinq minutes de Toulouse. « Fief du foie gras et de la croustade », elle compte un peu plus de 3 000 habitants.

La RN124 est aussi appelée « route de l'A380 », puisqu'elle fait partie de l'itinéraire à grand gabarit (IGG) qui permet d'acheminer, de Langon à Blagnac, les pièces de l'A380 fabriquées à Hambourg et à Saint-Nazaire et assemblées dans l'atelier d'Airbus, sis près de Toulouse.

ÉTAT DES LIEUX

La RN124, qui part de Toulouse et traverse une bonne partie du Gers, est l'axe routier le plus emprunté du département. À Gimont, ce sont plus de 7 000 véhicules dont 10 % de poids lourds qui passent par la commune chaque jour. Avec cette circulation continue et intense, la ville est véritablement coupée en deux, les franchissements de la RN étant difficiles et dangereux.

Le contournement de la ville est un projet de longue date, très attendu des habitants, qui espèrent retrouver à la fois tranquillité et sécurité.

PROJET

« Le projet de déviation de Gimont s'inscrit dans le cadre du programme d'aménagement de la RN124, entre Auch et Toulouse, déclaré d'utilité publique par décret en conseil d'État du 3 août 1999, prorogé par décrets en 2009, puis en 2019 et jusqu'en août 2024. Ce projet s'inscrit également dans le tracé de l'itinéraire à très grand gabarit (ITGG), déclaré d'utilité publique en date du 30 mai 2002 », explique Raphaël Pasco, de la Dirso, maître d'œuvre de ce projet.

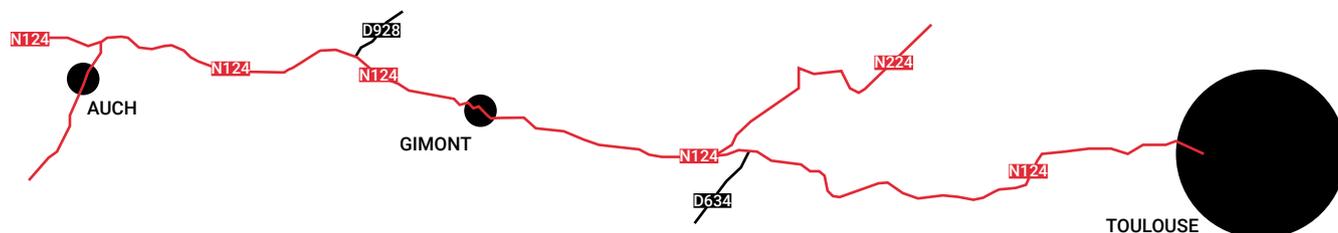


7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00
E-mail : centrinfo@cimbeton.net

L'opération consiste à créer un tracé neuf à 2 x 2 voies, contournant la ville de Gimont par le sud, sur un linéaire de 9,6 km, entre le giratoire de raccordement actuel de la déviation d'Aubiet (à l'ouest de Gimont) et le lieu-dit de La Guérite (à l'est de Gimont). Cette nouvelle voie aura le statut de « route express ».

L'objectif général de ce projet est de fiabiliser et de sécuriser les déplacements. Les services de la Dreal-Occitanie, maître d'ouvrage, précisent que cette déviation doit notamment permettre « de désenclaver le département du Gers en facilitant les échanges entre Auch et Toulouse, de desservir de manière fine les territoires traversés, mais également d'améliorer les conditions de déplacement des usagers ».

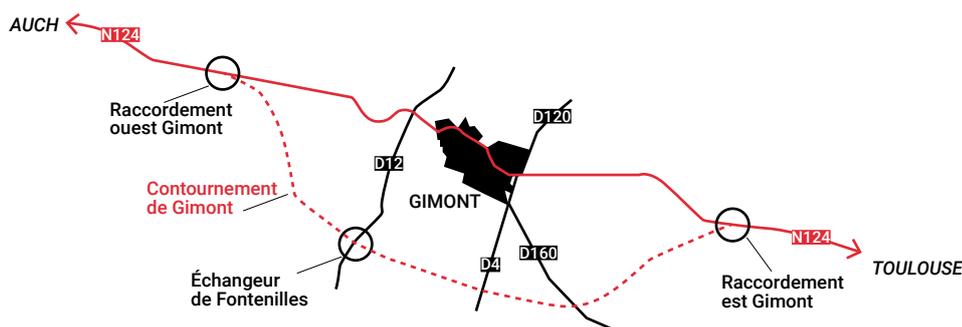
▼ Programme d'aménagement de la RN124 entre Auch et Toulouse.



Le coût global de cette opération est estimé à 106,70 M€. Inscrite au contrat de plan État-Région 2015-2022, elle est cofinancée par l'État (45 %), la région Occitanie (32 %) et le conseil départemental du Gers (23 % dont 2,88 % par la communauté d'agglomération du Grand Auch).

À l'issue de la déviation de Gimont, il restera une dernière section de linéaire pour finaliser l'aménagement de la RN124 : celle située entre Gimont et L'Isle-Jourdain, longue de 14 km et dont le démarrage des travaux est prévu à partir de 2023.

➤ Plan de situation illustrant le projet de déviation de Gimont.



C'est l'agence Grands Travaux du groupe Roger Martin qui a été choisie pour réaliser la totalité des travaux de terrassement, d'assainissement et de chaussée de la déviation. Une première pour cette entreprise, plus souvent en cotraitance sur les marchés de cette ampleur.

BON À SAVOIR

CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

- > Contournement de la ville de Gimont par le sud
- > Tracé neuf
- > Longueur totale : 9,6 km
- > Essentiellement en 2 x 2 voies de 22 m de large (4 x 3,50 m de voies circulées, 3 m de terre-plein central, 2 x 2,50 m de bandes d'arrêt d'urgence. Seul le raccordement à l'extrémité est se fera en bidirectionnel sur les quatre cents derniers mètres, dans l'attente de la construction de la future section entre Gimont et L'Isle-Jourdain)
- > Une voie qui descend parfois à 22 ou 23 m en dessous du terrain naturel
- > Création du diffuseur de Fontenilles, échangeur complet permettant d'assurer le raccordement avec la RD12 vers Gimont, côté nord, et vers Saramon, côté sud, et le raccordement à la VC10
- > 7 ouvrages d'art routiers se répartissant en 6 passages inférieurs et 1 passage supérieur, permettant le rétablissement des voies interceptées
- > 1 pont-route franchissant la voie ferrée Auch-Toulouse
- > 2 franchissements de cours d'eau (la Gimone et la Marcaoue)
- > 20 ouvrages hydrauliques assurant le rétablissement des écoulements naturels
- > Trafic estimé à la mise en service : 14 000 véhicules par jour dont 10 % de poids lourds

Objectifs

- > Diminuer le trafic de véhicules traversant Gimont et redonner de la tranquillité aux habitants ;
- > Fluidifier le trafic sur la RN124, en particulier aux heures de pointe ;
- > Réduire le nombre d'accidents et améliorer la sécurité ;
- > Mieux connecter le département du Gers aux autres territoires et faciliter les échanges entre Auch et Toulouse.

Études

> Le contexte géotechnique

Le tracé de la déviation de Gimont traverse trois types de sols :

- Des argiles ;
- Des matériaux marneux ;
- Des marnes indurées.

> Les reconnaissances géotechniques

Une mission G3 géotechnique a été réalisée. Les différents matériaux ont été identifiés et classés conformément au *Guide des terrassements routiers* et à la norme NF P 11 300. Il s'agit de matériaux argileux classés A1/A2 et marneux classés R33/R34.

> Les études de traitement

Les études de traitement aux liants hydrauliques routiers (LHR) ont été réalisées sur les matériaux du site.

L'objectif était d'obtenir un matériau traité de classe 5 au sens du GTS, dont les performances mécaniques à 90 jours se situent en zone 4, soit : résistance à la traction à 90 j = 0,33 MPa ; module d'élasticité à 90 j = 3 820 MPa.

Conception

L'objectif principal du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre (Dreal-Dirso) était de valoriser au maximum les matériaux naturels présents sur le site et de réduire ainsi l'utilisation des matériaux d'apport granulaires. Cela a conduit à préconiser le traitement des sols en place pour réaliser les remblais, pour améliorer l'arase et pour confectionner la couche de forme.

L'appel d'offres, qui autorisait les variantes, a été lancé avec la solution de base suivante :

- > Arase de terrassement (hors remblais) traitée à la chaux vive (1,5 %) : 35 cm.
- > Remblais : le projet prévoyait que les corps de remblai devaient être traités intégralement à la chaux.
- > Couche de forme traitée au LHR (5 %) : 35 cm.

L'objectif fixé pour la plate-forme support est une portance de niveau PF3, soit un module d'élasticité : $120 \leq EV2 < 200$ MPa. Le trafic envisagé était de TC5.

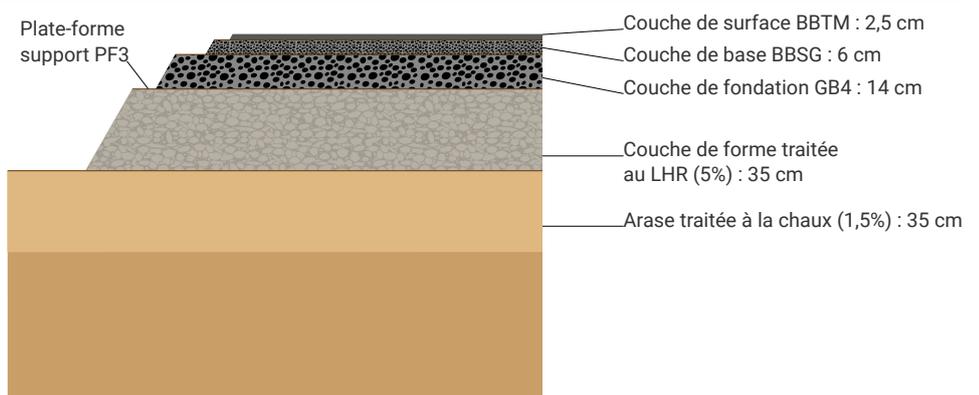
« L'appel d'offres était ouvert aux variantes pour ce qui concerne la structure de chaussée. Par contre, la couche de roulement, le fil rouge de la chaussée, et les caractéristiques de la couche de forme ne pouvaient pas être modifiées, ont indiqué la Dreal et la Dirso. L'entreprise a donc proposé dans son offre variante une adaptation des couches intermédiaires, notamment via le recours à une GB4 qui permettait de réduire les épaisseurs d'enrobés, tout en vérifiant le dimensionnement initial (à savoir un dimensionnement à trente ans pour une classe de trafic TC5). »

Sur la couche de forme traitée, la structure de la chaussée est alors la suivante :

- > Une couche de fondation en grave-bitume GB4, de granulométrie 0/20 et d'épaisseur 14 cm.
- > Une couche de base en béton bitumineux semi-grenu BBSG de classe 3, de granulométrie 0/10 et d'épaisseur 6 cm, collée sur la couche de fondation.
- > Une couche de surface en béton bitumineux très mince BBTM de classe 1 et d'épaisseur 2,5 cm.

“L'entreprise a donc proposé dans son offre variante une adaptation des couches intermédiaires, notamment via le recours à une GB4 qui permettait de réduire les épaisseurs d'enrobés, tout en vérifiant le dimensionnement initial.”

➤ Coupe en travers-type de la chaussée.



Études d'exécution

Menées pendant cinq mois, de juillet à novembre 2019, les études d'exécution ont montré que le découpage géographique initialement envisagé nécessiterait le déplacement et le stockage dans des dépôts provisoires de plusieurs milliers de mètres cubes de terre ainsi que des travaux supplémentaires pour assurer la gestion des eaux pluviales.

En concertation avec le maître d'œuvre (Dirso), Roger Martin a proposé de réaliser le projet par métier : une solution plus économique et sécuritaire, limitant l'impact sur l'environnement. Elle demandait cependant une très fine connaissance du terrain en amont et la réalisation d'un planning strict.

Pendant les cinq mois d'études, l'entreprise a donc réalisé la géométrie du projet, redessiné les profils en travers, défini les volumes... Puis elle les a attribués par ouvrage. Les études géotechniques ont permis de finaliser l'extraction des volumes par couches et le plan des mouvements des terres.

Ainsi, tous les matériaux déblayés ont été réutilisés. *« Nous n'avons rien évacué mais tout réutilisé sur place. Cela n'a pas été facile par rapport à la géotechnique »*, a indiqué Thierry Hugon, directeur de travaux de l'agence Grands Travaux chez Roger Martin. Au total, ce sont 1 400 000 m³ de matériaux qui ont été déplacés.

Solution retenue pour les remblais

Initialement, le projet prévoyait que les corps de remblai devaient être traités intégralement à la chaux.

Mais la nature des matériaux (marnes indurées) et les difficultés d'extraction ont remis en question cette solution. L'ingénierie technique et les compétences de l'entreprise Roger Martin lui ont permis de proposer une autre solution qui consistait à ne traiter que les parties supérieures des terrassements (PST) et les assises de certains remblais (en fonction de leur hauteur) et de conserver un corps de remblai en matériaux du site non traités, à condition d'apporter un soin tout particulier à leur mise en œuvre. En effet, pour éviter le gonflement sous la chaussée, l'entreprise a mis en place du matériel spécifique : broyage puis fragmentation avec un tamping ; compacteur à pics ; compacteur à bille polygonale en complément d'un réglage au bull D7 ; fermeture au V5 à bille lisse... et de l'eau. Ces matériaux secs nécessitent en effet un apport d'eau important.

Pour autant, le besoin en eau a été considérablement inférieur au niveau réclamé par la solution initiale « 100 % chaux », laquelle aurait nécessité environ 200 000 m³ d'eau. *« Cette solution était impossible à mettre en œuvre. Elle aurait vidé tous les plans d'eau des alentours et, même avec cela, il n'y en aurait pas eu suffisamment »*, a souligné Emmanuel Mangematin, responsable du contrôle externe chez Roger Martin. Finalement, la solution proposée par Roger Martin offrait un résultat similaire à la solution de base pour un moindre impact environnemental.

La solution retenue a donc été un traitement des remblais sur une épaisseur variable en fonction de leur hauteur :

- > Pour les remblais de hauteur inférieure à 10 m, la PST sera traitée sur 1 m d'épaisseur à 1 % de chaux, avec un surdosage à 1,5 % sur les 35 derniers cm.
- > Pour les remblais de hauteur supérieure à 10 m, l'épaisseur de la PST sera passée à 1,5 m, toujours avec un traitement à 1 % de chaux et un surdosage à 1,5 % sur les 35 derniers cm.

RÉALISATION DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Travaux de terrassement généraux

Roger Martin a reçu l'ordre de démarrer les travaux en décembre 2019. Malheureusement, les très mauvaises conditions météo de cette période, où se sont succédé les jours de pluie, ne permettaient pas de mettre en œuvre les remblais avec des matériaux argileux. Les travaux n'ont donc réellement débuté qu'en février 2020 et ont été rapidement arrêtés par l'épidémie de Covid-19 et le premier confinement, le 16 mars 2020.

L'activité a finalement repris le 18 mai 2020.

Il s'agit d'un chantier classique de création de voies neuves. Le traitement de sol s'impose, comme l'a prescrit la maîtrise d'œuvre. Mais la particularité de cette réalisation, c'est qu'il s'agit d'un chantier d'envergure, d'une longueur de 9,6 km et d'une superficie supérieure à 220 000 m². *« Il s'agit d'une route sur un terrain vierge. Ces derniers mois, nous avons réalisé les travaux de terrassement qui ont engendré des mouvements de terre dont le volume a dépassé 1 400 000 m³ de matériaux. Plutôt que d'être évacués, ces matériaux ont été gardés sur place. Les talus ont été enherbés et les déblais ont été traités pour pouvoir être réutilisés »*, soulignent les services de la Dreal-Occitanie.

“Nous n'avons rien évacué mais tout réutilisé sur place. Cela n'a pas été facile par rapport à la géotechnique.”

“Nous avons réalisé les travaux de terrassement qui ont engendré des mouvements de terre dont le volume a dépassé 1 400 000 m³ de matériaux. Plutôt que d'être évacués, ces matériaux ont été gardés sur place. Les talus ont été enherbés et les déblais ont été traités pour pouvoir être réutilisés.”

Phasage du chantier

Les travaux de terrassement ont commencé par les opérations de décapage de la terre végétale et de mouvement des sols pour modeler le terrain.

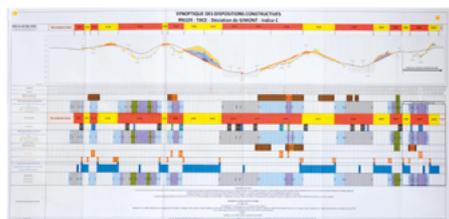
Le tracé de la déviation de Gimont traverse trois types de sols, qui ont chacun nécessité une solution d'extraction différente :

- > Des argiles extraites par les ateliers de scraps et de pelles ;
- > Des matériaux marneux extraits par des ateliers de pelles ;
- > Des marnes indurées dont l'extraction est très difficile. La solution la plus efficace aurait été d'utiliser d'explosifs, mais c'est interdit. Or, la plus grosse butte du chantier (800 000 m³) était composée pour moitié de marnes indurées. Le bull D10 en mode « ripage » étant inefficace, Roger Martin a mis en place une pelle CAT 385 (90T) équipée d'une dent de déroctage de 3T, une pelle CAT 385 (90T) équipée d'un BRH de 7,5T et deux pelles 50T équipées de BRH de 4,5T.

Grâce à une organisation spécifique et adaptée à ce chantier, tant humaine que matérielle, l'entreprise a pu maintenir une moyenne de 20 000 m³ par jour durant la réalisation des principales buttes de déblais.

Au total, le chantier aura nécessité près de 1 400 000 m³ de déblais, dont 1 300 000 m³ ont été réutilisés pour la création des remblais routiers et paysagers.

Lors de cette phase, les différents ouvrages d'art et les autres – hydrauliques, notamment – ont été réalisés.



▲ Phasage du chantier.

Travaux de réalisation des remblais

Les remblais ont été réalisés en deux étapes :

> **La première** pour la réalisation du corps du remblai. Il a fallu acheminer les matériaux sélectionnés et stockés sur site (les marnes indurées), les régaler par couches successives d'épaisseur maximale de 30 cm. Après vérification et ajustement de la teneur en eau, chacune des couches a été compactée à l'aide de plusieurs ateliers de compactage et de fragmentation constitués de :

- Compacteur VM5 à bille lisse
- Compacteur V6 à bille hexagonale
- Compacteur VP5 à pieds dameurs
- Compacteur VPM5 à pics
- Tamping

L'objectif était d'atteindre un niveau de fragmentation acceptable au regard du GTR.

> **La seconde** a permis la réalisation de la PST du remblai. Ce sont les matériaux argileux qui ont été utilisés. Ils ont été acheminés et régaler par couches successives d'épaisseur maximale 35 cm. Après vérification et ajustement de la teneur en eau, chaque couche a été compactée à l'aide d'un atelier de compacteurs constitué de VP5 à pieds dameurs et de V5 à bille lisse. L'objectif était, pour cette étape, d'atteindre un niveau de compactage q4.

Travaux de l'arase traitée à la chaux

Le chantier s'est poursuivi avec les travaux de l'arase. Après la scarification, la chaux a été épanchée et le malaxage du matériau et de la chaux a commencé. « Une étape-clé a été la parfaite humidification du matériau. Pour obtenir une teneur en eau optimale, nous avons employé une arroseuse à enfouissement », rappelle Thierry Hugon de chez Roger Martin. Un réglage avec une niveleuse équipée d'un GPS a ensuite été effectué, puis un compactage à l'aide d'un compacteur VP5.



▲ L'arroseuse à enfouissement garantit une teneur en eau optimale.

← Après scarification et épandage de la chaux, le matériau est malaxé.

Travaux de mise en œuvre de la couche de forme

Sur le chantier, une fois l'arase traitée, la portance de la partie supérieure des terrassements (PST) s'élevait à 100 MPa (en moyenne), ce qui était deux fois supérieur à la valeur minimale requise : 50 MPa. Ensuite, pour réaliser la couche de forme, il a fallu, dans un premier temps, acheminer les matériaux préalablement sélectionnés, stockés et prétraités à la chaux.

Cette réserve de matériaux, permettant de ne pas puiser dans les ressources minières locales, avait été constituée dans un but bien précis : être réutilisée pour construire la couche de forme traitée au LHR. Les matériaux sont repris sur le stock à l'aide d'une pelle sur chenilles et de tombereaux articulés, puis mis en œuvre sur 40 cm pour une épaisseur finale de 35 cm (bull assisté par GPS) afin de tenir compte du compactage et de la recoupe ultimes. Enfin, un préréglage avec une niveleuse asservie GPS est réalisé de façon à obtenir une épaisseur homogène avant traitement. Cette phase est importante, car un bon réglage ne peut être garanti que s'il y a une recoupe de la couche après traitement. « *Aucun apport n'est possible dans la phase de réglage* », explique Emmanuel Mangematin de l'entreprise Roger Martin.



▲ Épandage du LHR Rolac Premier à la surface du matériau (à l'aide d'un épandeur asservi avec contrôle pondéral) et malaxage du matériau du LHR par un malaxeur Wirtgen WR 240i avec injection d'eau dans la cloche.

▲ Réglage.



▲ Les matériaux sont repris sur le stock à l'aide d'une pelle sur chenilles et de tombereaux articulés, puis mis en œuvre sur 40 cm par des bulls assistés par GPS.

▲ Apport d'eau par un tracteur directement dans la citerne pour éviter l'arrêt des engins.

▲ Compacteur vibrant à pieds dameurs (VP5).



“Une niveleuse assistée par théodolite motorisé effectue le réglage par recoupe de la couche traitée, pour obtenir un résultat au centimètre près. On obtient ainsi un très bon uni et un profil en long très régulier.”

Cette opération a été suivie du traitement proprement dit, réalisé en deux étapes successives :

- > Un épandage du LHR Rolac Premier à raison de 5 % (soit plus de 32 kg/m²) à la surface du matériau, à l'aide d'un épandeur asservi avec contrôle pondéral (Panien, Akera, Streumaster).
- > Puis le matériau et le LHR ont été intimement mélangés sur une épaisseur de 40 cm par un malaxeur Wirtgen WR 240i avec injection d'eau dans la cloche.

Le matériau a ensuite été remis en forme. La teneur en eau a été contrôlée et réajustée en direct. Après réglage, un atelier constitué de trois compacteurs vibrants à pieds dameurs (VP5) s'est chargé du compactage avec huit passes afin d'atteindre l'objectif q3.

« Une niveleuse assistée par théodolite motorisé effectue le réglage par recoupe de la couche traitée, pour obtenir un résultat au centimètre près. On obtient ainsi un très bon uni et un profil en long très régulier », ajoute Emmanuel Mangematin.

Un compacteur à pneus PS500 effectue un lissage pour donner un bel uni.

Enfin, un enduit monocouche prégravillonné a été appliqué pour protéger la couche de forme et pour assurer une bonne prise hydraulique du mélange. À noter que la circulation des véhicules sur la couche traitée a été neutralisée pendant un délai de vingt-huit jours, pour ne pas rompre la prise hydraulique.



▲ Le Scrap extrait les argiles pour ré-utilisation.



▲ Un compacteur à pneus PS500 effectue le lissage pour donner un bel uni.



▲ Un enduit monocouche prégravillonné a été appliqué pour protéger la couche de forme et assurer une bonne prise hydraulique du mélange.



▲ Contrôle de l'épandage par pesée de bêche.



▲ Contrôle du compactage au PANDA

Contrôles

La majorité des contrôles a été conduite par le laboratoire Roger Martin. D'autres, plus spécifiques, ont été confiés en externe à des laboratoires spécialisés et, en complément, la maîtrise d'œuvre a organisé ses propres contrôles, délégués à divers intervenants : Cérema (laboratoire du ministère), Gracchus (laboratoire privé) ou encore Ectaur (cabinet de géomètres).

Le contrôle de la teneur en eau naturelle du sol a été réalisé avant, pendant et après traitement par Roger Martin et le Cérema.

Le contrôle de l'épandage s'est fait par pesées de bâches et contrôle des recouvrements par Roger Martin et le Cérema.

Pour le contrôle du malaxage, le contrôle de la finesse de la mouture a été réalisé par Roger Martin et le Cérema.

En ce qui concerne le compactage, l'objectif était q3 pour les couches de forme et q4 pour les PST et les remblais courants. Les sondages ont été réalisés au pénétromètre dynamique par Roger Martin et le laboratoire Gracchus.

Les contrôles géométriques – par levés topographiques au théodolite par profils – ont été exécutés par Roger Martin et le cabinet de géomètres Ectaur.

Roger Martin ainsi que le Cérema ont également réalisé des contrôles de portance et des mesures de déflexion pour les terrassements (couches de forme et PST) ainsi que des contrôles de la macrotexture et de l'uni longitudinal sur les couches de roulement des chaussées.

Le laboratoire Roger Martin a aussi effectué des mesures de l'uni sur les couches intermédiaires, tandis que le laboratoire Gracchus a assuré le contrôle des stocks de granulats pour les enrobés fabriqués en centrale mobile.

10 000 TONNES DE LHR LIVRÉES PAR LAFARGE

Du fait des intempéries et de la crise sanitaire liée au Covid-19, la date de démarrage du chantier a été repoussée de plusieurs mois, tout en conservant la date de mise en service prévue. « Il a donc fallu accélérer les cadences par la mise en œuvre de moyens supplémentaires et par une augmentation de la cadence de production et de livraison de la chaux et des liants hydrauliques routiers », explique Thierry Hugon.

« Au niveau des LHR, la période la plus intensive s'est concentrée sur deux mois, de mi-avril à mi-juin 2021. Les livraisons tournaient autour de 200 à 250 t/j, avec des pointes à 550 t/j, ce qui représente une pointe à 18 camions-citernes par jour », explique Christophe Saulenier, responsable des travaux publics chez Lafarge Ciments. Cela sous-entend une logistique irréprochable et la nécessité de créer un stockage tampon sur le chantier.

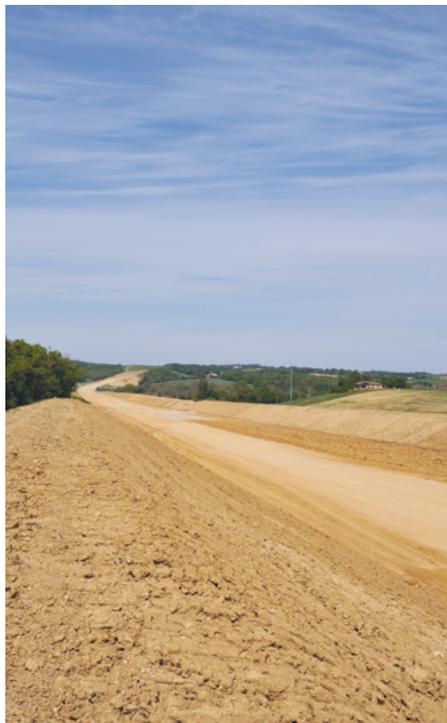
« Nous avons une large gamme de produits avec une palette d'utilisations étendue à beaucoup de sols différents, commente, de son côté, Jean-Christophe Redon, le responsable national des ventes (marchés Routes et environnement) de LafargeHolcim. Les entreprises clientes s'y retrouvent en fonction de l'usage qu'elles en font. Dans le cadre spécifique du chantier de la déviation de Gimont, Roger Martin a utilisé le Rolac Premier dosé à 5 %. Il a une excellente réputation et donne entière satisfaction à nos clients. Il s'agit d'un liant polyvalent et à cinétique rapide, car nous considérons que nos clients recherchent en premier lieu un bon rendement. »

BILAN

Malgré un démarrage difficile dû aux intempéries puis au confinement, le chantier a finalement rattrapé son retard grâce à la forte mobilisation de moyens humains et matériels de la part de l'entreprise Roger Martin, en charge de ce vaste projet, mais aussi de ses sous-traitants et fournisseurs. Les solutions techniques qu'ils ont su proposer et mettre en œuvre ont permis de gagner en temps, en coût et en impact environnemental.

De l'avis de tous, de la maîtrise d'ouvrage à l'entreprise, en passant par la maîtrise d'œuvre, le choix du traitement de sol au LHR a été bénéfique. Il a permis de réutiliser et de valoriser les matériaux du site, mais aussi de limiter le recours aux matériaux extérieurs au chantier, abaissant les coûts et les impacts du transport. Une solution qui se révèle plus économique et respectueuse de l'environnement, mais qui a néanmoins ses contraintes. En effet, le temps de prise, relativement long (vingt-huit jours), nécessite de bien phaser les travaux.

Pour autant, Roger Martin a su relever le défi et envisage une livraison au début de l'année 2022, comme demandé par la maîtrise d'ouvrage, alors que le délai initial était fixé au printemps 2023. ■



▲ Vue du chantier.

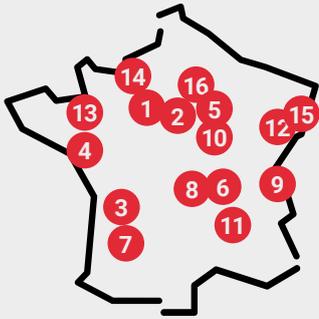
EN QUELQUES CHIFFRES

- > Longueur : 9,6 km
- > Déblais : 1 400 000 m³
- > Remblais routiers et paysagers : 1 300 000 m³
- > Chaux : 16 000 t
- > Liant hydraulique routier : 10 000 t
- > PST traitée à la chaux : 165 000 m³
- > Couche de forme traitée : 90 000 m³

LIENS UTILES

- > Dreal-Occitanie
<http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr>
- > Dirso
<http://www.dirso.fr>
- > Roger Martin – Agence Grands Travaux
<https://www.rogermartinsa.com>
- > LafargeHolcim
<https://www.lafarge.fr>
- > Infociments Routes
<https://www.infociments.fr/route>

Quelques références de chantiers de traitement des sols



Vidéos et logiciels

À retrouver sur infociments.fr

Journées techniques LHR

À retrouver sur infociments.fr

Ces journées d'information sur la valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques routiers s'adressent à tous les acteurs concernés par la construction et l'entretien des routes : les élus et leurs services techniques, les bureaux d'études et tous les professionnels de la route.

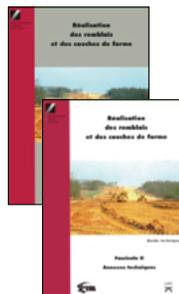
Bibliographie

À retrouver sur infociments.fr

T 70

Terrassements et assises de chaussées
Traitement des sols aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013

Références SETRA/LCPC



Guide technique

Réalisations des remblais et des couches de forme
Fascicule I et fascicule II
SETRA / LCPC, 2000

Guide technique

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000

Guide technique

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises de chaussées
SETRA / LCPC, 2007

Direction de la publication : François Redron

Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo

Reportages, rédaction : Magali Suinot, Sôa/Studio L&T, Étienne Diemert

Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T

Crédits photos : Fenêtre sur cour

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton : 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01 55 23 01 00 - E-mail : centrinfo@cimbeton.net



#mieuxcirculer #mieuxprotégerlaplanète #mieuxvivre #chantier #lianthydrauliqueroutier



Liant
hydraulique
routier



Recyclage
en place



Surface traitée
au LHR :
960 000 m²



Bas-Rhin

Le très vaste chantier du contournement ouest de Strasbourg (COS) met à l'honneur deux techniques : le traitement en place des sols, composés essentiellement de loess et de lehms, et l'utilisation des liants hydrauliques routiers (LHR) pour le traitement de la partie supérieure des terrassements et de la couche de forme. Un liant confectionné sur mesure pour un projet hors normes, dont les enjeux sont importants pour l'agglomération de Strasbourg.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Arcos

Maîtrise d'œuvre

Ingérop, IUR, CBDI

Entreprises

Dodin Campenon Bernard (mandataire),
Vinci Construction Terrassement Grands Projets,
Sogea-Est, GTM Hallé, Eurovia, Cegelec Mobility

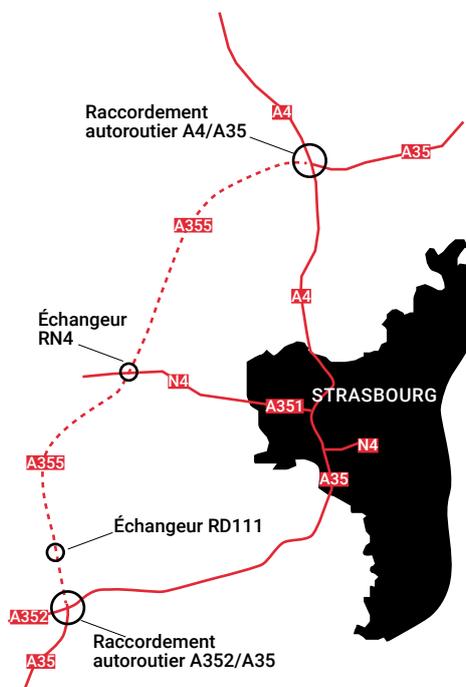
Fournisseur du LHR

EQIOM

PHOTO D'OUVERTURE : Vue d'ensemble d'un tronçon achevé du chantier du contournement de Strasbourg.



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00
E-mail : centrinfo@cim beton.net



▲ Plan de situation du réseau routier autour de Strasbourg pointant la nouvelle liaison A355.

SITUATION

Le contournement de Strasbourg se fera par l'ouest, à travers le Kochersberg. Principalement conçue pour capter le trafic de transit et réduire ainsi la congestion de l'A35, cette liaison autoroutière de 24 km, baptisée A355, reliera, au nord, la jonction A4-A35 et, au sud, la bifurcation A35-A352.

Déclarée d'utilité publique par décret en conseil d'État du 28 janvier 2008, l'A355 est un PPP (partenariat public-privé) qui a fait l'objet de la signature d'un contrat de concession avec la société Arcos, filiale à 100 % du groupe Vinci, le 31 janvier 2016, pour une durée de cinquante-quatre ans. À la suite de quoi, l'ouvrage sera remis gratuitement à l'État.

Le projet de l'autoroute A355 et du contournement ouest de Strasbourg (COS), d'un montant de 553 M€, est financé grâce au concours de la Banque européenne d'investissement (BEI).

En tant que maître d'ouvrage en charge de financer, concevoir, construire, puis exploiter, entretenir et assurer la maintenance jusqu'au terme de la concession, Arcos a confié à un groupement d'entreprises, Socos, la conception et la construction de l'A355.

Ce groupement, dont la mission s'achèvera à la mise en service de l'A355, rassemblait toutes les compétences indispensables au bon déroulement des opérations techniques. « Le sous-groupement Infrastructure (SGI), composé des entreprises Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction Terrassement Grands Projets, Vinci Construction France et Eurovia, a été chargé de la réalisation des terrassements, des structures autoroutières, de l'assainissement et des ouvrages d'art », explique Jean Pandraud, directeur de travaux chez Vinci Construction Terrassement Grands Projets.

➤ Organigramme du concessionnaire Socos.



ÉTAT DES LIEUX

Au cœur de l'Europe, l'Alsace s'étend sur environ 190 km de long et sur 50 km de large ; elle est bordée par les Vosges à l'ouest, par le Rhin à l'est, par la Lauter au nord et par la Suisse au sud. Cette position géographique fait de l'Alsace une véritable plate-forme de transit et d'échanges.

Le transport, qu'il s'agisse de personnes ou de marchandises, s'effectue principalement sur :

- > L'autoroute gratuite A35, qui assure la liaison nord-sud, de Lauterbourg à Saint-Louis/Bâle (Suisse), en passant par Strasbourg, Colmar et Mulhouse ;
- > L'autoroute à péage A4, reliant Paris à Strasbourg, en passant par Reims et Metz. Cette autoroute devient gratuite sur son dernier tronçon, entre Hochfelden et la place de Haguenau à Strasbourg.

À Vendenheim, l'A4 récupère le trafic provenant de l'A35 nord et poursuit son itinéraire jusqu'à la place de Haguenau à Strasbourg. Pour les usagers en direction du Sud-Alsace et de la Suisse, le tracé se prolonge par l'A35, qui prend directement le relais sur une bretelle depuis l'A4.

Le réseau routier actuel de l'Alsace, essentiellement structuré en étoile autour de Strasbourg, engendre une circulation locale dense et continue, qui étouffe l'agglomération. Une situation aggravée par les très nombreux poids lourds étrangers qui livrent les marchandises en provenance du port de Rotterdam, le plus grand d'Europe, et qui transitent par l'A4 et l'A35 afin d'éviter de payer les taxes « poids lourds » instaurées depuis 2005 en Allemagne.

L'A35 est l'un des axes les plus fréquentés de France, avec pas moins de 160 000 véhicules/jour, dont environ 15 % de poids lourds.

Le COS a donc pour objectif d'aménager un nouvel itinéraire nord-sud à haut niveau de service et de qualité. Un itinéraire qui sera obligatoire pour les poids lourds en transit.

L'A355 permettra alors de réduire la congestion sur l'A4 et l'A35, en séparant le trafic local du trafic de transit, mais aussi de diminuer la pollution dans le centre de l'agglomération.

Concrètement, la liaison A355 consiste en la création d'une nouvelle autoroute à 2 x 2 voies, contournant la ville de Strasbourg par l'ouest. Longue de 24 km, elle se caractérise par une densité élevée d'ouvrages d'art (47 ouvrages d'art courants, deux viaducs et une tranchée couverte).

L'ensemble du tracé a suivi un couloir non bâti, évitant ainsi la destruction de toute habitation. Néanmoins, l'impact environnemental d'un tel ouvrage n'est pas neutre, en particulier parce qu'il crée un nouvel obstacle pour les déplacements de la faune locale. Pour réduire cet impact, le concessionnaire a dû intégrer à son projet de nombreuses compensations environnementales et, notamment, la réalisation de plusieurs ponts réservés au passage de la faune ainsi qu'une centaine d'ouvrages plus petits (1 x 1 m) destinés à la petite faune afin de maintenir les continuités écologiques.



⤴ De nombreux ouvrages ont dû être installés pour maintenir une continuité écologique autour de la nouvelle route et garantir le déplacement de la faune locale.

PROJET

Caractéristiques du projet

- > Route à 2 x 2 voies ; tracé neuf contournant par l'ouest l'agglomération de Strasbourg
- > Longueur : 24 km
- > Trafic estimé à la mise en service : de 20 000 à 34 000 véhicules en moyenne chaque jour
- > 47 ouvrages d'art courants (soit environ un tous les 500 mètres), deux viaducs en charpente métallique et une tranchée couverte
- > Une centaine d'ouvrages (0,8/1 m x 1 m) pour la petite faune
- > 9 cours d'eau franchis
- > 22 communes traversées

Objectifs

- > Diminuer le trafic de poids lourds sur l'A35 et redonner de la tranquillité aux habitants de Strasbourg
- > Fluidifier le trafic local et, en particulier, aux heures de pointe
- > Diminuer la pollution en cœur d'agglomération
- > Réduire le nombre d'accidents et améliorer la sécurité

Contraintes

- > Contraintes environnementales (respecter la nature et les paysages ; maintenir les corridors écologiques ; réduire les impacts sur l'environnement pendant les travaux et durant l'exploitation de l'autoroute)
- > Contraintes d'exécution (phasage des travaux ; gestion de l'eau ; gestion du matériel ; gestion des déblais, etc.)

ÉTUDES

Le contexte géotechnique

Le tracé de l'A355 traverse deux types de formations (gisements importants et homogènes) :

- > Les lœss : roche sédimentaire détritique meuble formée par l'accumulation de limons issus de l'érosion éolienne, qui constitue la quasi-totalité des gisements en matériaux du site.
- > Les lehms : limons argileux qui résultent de la décalcification des lœss par les eaux d'infiltration.

Les reconnaissances géotechniques

Pour les besoins des études de terrassement (mouvement des terres et études de traitement des sols), une campagne de reconnaissance géotechnique globale des ouvrages d'art et des terrassements a été menée en deux phases : la première, pour la phase de projet, a été réalisée de septembre 2016 à mars 2017 ; puis une seconde, pour la phase d'exécution, a été faite de septembre 2017 à mars 2018.

Lors de cette campagne, 330 sondages géotechniques, tous types confondus, ont été réalisés : 90 sondages avec essais pressiométriques tous les mètres, 35 sondages carottés, 130 essais au pénétromètre de type CPT, 45 piézomètres, etc.

Ces sondages ont été descendus à des profondeurs comprises entre 15 et 40 m. Les différents matériaux ont été identifiés et classés conformément au GTR et à la norme NF P 11 300.

Il s'agit de :

- > Pour les lœss : limons silteux et silts – classification A1 selon le GTR.
- > Pour les lehms : limons argileux – classification A2 selon le GTR.

Les études de traitement

La présence des lœss sur l'ensemble du tracé a permis d'identifier rapidement les gisements potentiels en matériaux pour la partie supérieure des terrassements (PST) et la couche de forme (CDF).

La stratégie, imaginée dès la phase d'étude, s'est fondée sur le fort taux de réemploi qu'offraient les matériaux lœssiques du site. En effet, grâce aux possibilités du traitement des lœss à la chaux ou aux liants hydrauliques routiers (LHR), permettant leur réemploi dans les couches nobles, telles que la CDF ou les PST, un mouvement des terres optimisé a été bâti, réemployant la quasi-totalité des déblais du site en remblais courants, mais également en PST et en CDF.



▲ Les techniques utilisées ont permis le réemploi de la majorité des déblais du chantier afin de préserver les gisements locaux.

La présence des lœss sur l'ensemble du tracé a permis d'identifier rapidement les gisements potentiels en matériaux pour la partie supérieure des terrassements et la couche de forme.

“Le liant fourni a été formulé spécifiquement pour le projet du COS, en lien avec les équipes techniques du client. Il devait pouvoir répondre à ses attentes du point de vue de la composition, des performances mécaniques et du délai de maniabilité. Après plusieurs propositions et échanges entre nos laboratoires, le ROC COS a été validé.”



▲ Un liant spécifique (ROC COS) a été développé par EQIOM en lien avec les équipes du projet, puis livré entre 2019 et 2021 en fonction du phasage du projet.

Ainsi, les matériaux présents sur le site ont fait l'objet d'une batterie de tests, avec de la chaux vive et avec une quinzaine de LHR différents (produits déjà existants ou adaptés spécialement pour le projet). L'objectif était de trouver un LHR adéquat aux matériaux loessiques afin de garantir les performances mécaniques visées et de surmonter les contraintes climatiques régnant en Alsace (plus particulièrement le gel) ainsi que les contraintes spécifiques de mise en œuvre du chantier. Finalement, c'est un LHR à prise rapide, dont le délai de maniabilité était cohérent avec les exigences du traitement en place, qui a été retenu.

La solution retenue pour la plate-forme support de chaussée

> **PST inférieure** : matériau loess ou lehm traité à la chaux (dosage : 2 %) et sur une épaisseur de 35 cm.

- Objectifs :
 - Matériau peu gélif avec pente de gonflement au gel $\leq 0,25$ (soit $Q_g = 4$)
 - Densification : q3
- Critères de réception :
 - Compacité conforme à densification q3
 - Portance EV2 ≥ 40 MPa

> **PST supérieure** : matériau loess ou lehm traité au LHR (dosage : 3 %) et sur une épaisseur de 35 cm.

- Objectifs :
 - Matériau non gélif ($R_{tb} \geq 0,25$ MPa)
 - Densification : q3
- Critères de réception :
 - Compacité conforme à densification q3
 - Déflexion : $d \leq 70/100$ mm

> **CDF traitée au liant hydraulique routier** : matériau loess traité au LHR (dosage : 5 %) et sur une épaisseur de 35 cm.

- Objectifs :
 - Matériau non gélif ($R_{tb} \geq 0,25$ MPa)
 - Densification : q3
 - Matériau de classe mécanique 4
- Critères de réception :
 - Compacité conforme à densification q3
 - Déflexion : $d \leq 20/100$ mm

Le choix du liant

« Le liant fourni a été formulé spécifiquement pour le projet du COS, en lien avec les équipes techniques du client. Il devait pouvoir répondre à ses attentes du point de vue de la composition, des performances mécaniques et du délai de maniabilité. Après plusieurs propositions et échanges entre nos laboratoires, le ROC COS a été validé », explique Jaouad Nadah, chargé de projet et de développement chez EQIOM.

Ce liant contient majoritairement du clinker ainsi que du laitier de haut-fourneau. Sa composition permet d'obtenir une cinétique de montée en performance rapide, tout en bénéficiant d'un délai de maniabilité dans les standards, ce qui permet une mise en œuvre adaptée.

Au total, ce sont 45 000 tonnes qui ont été livrées sur la période concernée, relativement longue, compte tenu de l'importance du chantier, mais également des conditions restrictives dues à la pandémie. Les livraisons, qui ont débuté fin 2019, se sont achevées en août 2021. Cependant, l'activité a connu son pic entre le second semestre 2020 et le début de l'année 2021. Les cadences de livraison ont été très variables selon l'avancée des travaux, mais la mise en place d'un silo tampon de 400 tonnes par Vinci Construction Terrassement Grands Projets a permis une gestion optimale des flux de LHR sur le chantier. « Certaines cadences journalières ont pu atteindre 700 tonnes », souligne Jaouad Nadah.

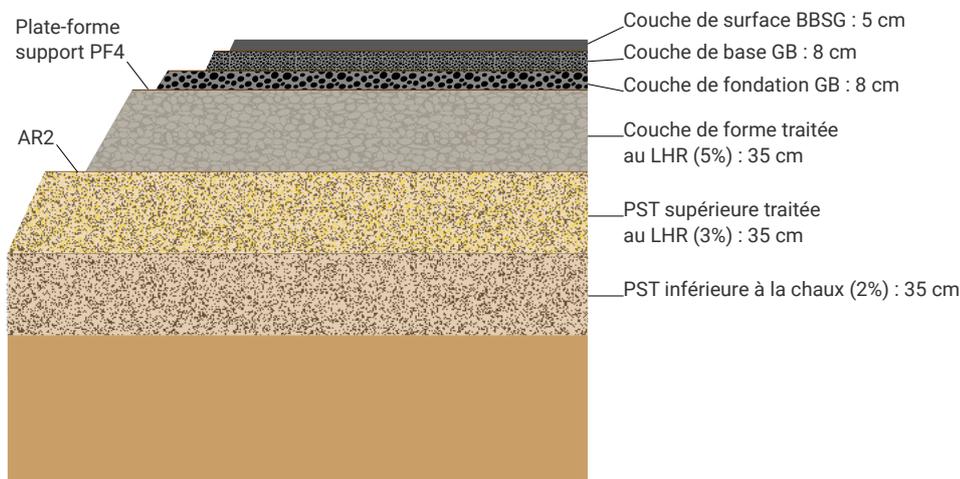
La logistique a été un élément-clé de la réussite de ce chantier pour EQIOM. La bonne communication entre les équipes de traitement du groupement et la logistique d'EQIOM a permis la fluidité des livraisons, qui démarraient généralement très tôt le matin (aux alentours de 4 heures). « EQIOM, par son implantation locale et ses différents métiers, a été un acteur important du COS. Non seulement des LHR ont été utilisés, mais aussi des ciments et des bétons, notamment pour la réalisation des ouvrages d'art », précise Bruno Loncle, responsable de marché des liants géotechniques chez EQIOM.

CHOIX DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE

Compte tenu des performances escomptées de la plate-forme support de chaussée, la structure est la suivante :

- > Couche de fondation en grave-bitume, de granulométrie 0/20 et d'épaisseur 8 cm ;
- > Couche de base en grave-bitume, de granulométrie 0/20 et d'épaisseur 8 cm ;
- > Couche de surface en béton bitumineux semi-grenu BBSG, de granulométrie 0/10 et d'épaisseur 5 cm.

➤ Coupe en travers-type de la structure de l'A355.



RÉALISATION DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Phasage du chantier

Les travaux ont commencé en 2018 par les opérations de déboisement. Les travaux de terrassement, quant à eux, ont été entamés en 2019 par les opérations de décapage de la terre végétale et de mouvement des sols pour modeler le terrain.

Pour faire face à un linéaire de 24 km, imposant de longues distances à parcourir, en particulier par la route, mais également parce que le chantier était « coupé » par la traversée de la route nationale (RN4), de deux échangeurs sur le linéaire et deux canaux qu'allaient enjamber les deux viaducs en cours de réalisation, le groupement a dû s'adapter et mettre en place une organisation spécifique, tant humaine que matérielle. En effet, les équipes et le matériel ont été scindés en deux grandes zones Nord et Sud et une gestion fine du planning a été mise en place pour coordonner le transport des matériaux traités. De plus, le peu d'emprises foncières a imposé au groupement d'optimiser la gestion et le stockage des matériaux sur l'ensemble de la trace.

Grâce à son expérience et à son savoir-faire, l'entreprise a maintenu une cadence soutenue avec des pics pouvant aller jusqu'à 350 000 m³ de matériaux excavés par mois. « C'est un très grand chantier de terrassement. Au total, il aura généré près de 4 300 000 m³ de déblais et 4 200 000 m³ de remblais, dont 3 500 000 m³ ont été réutilisés pour la création des remblais routiers et paysagers, et 700 000 m³ pour la PST supérieure et la couche de forme. Aucun matériau n'est sorti des emprises du chantier », indique Jean Pandraud.

C'est lors de cette phase que les différents ouvrages d'art et de perméabilité écologique ont été réalisés.

Les travaux de terrassement se sont divisés en trois étapes : travaux de la PST inférieure (35 cm), travaux de la PST supérieure (35 cm) et travaux de la CDF (35 cm). Ce dimensionnement particulier est dû aux contraintes de gel, la région de Strasbourg possédant un fort indice de gel, et il impose une structure au travers du couple CDF et PST, ayant une épaisseur importante. Cependant, les techniques de compactage ne pouvant pas être réalisées sur des épaisseurs supérieures à 40 cm, il a été choisi de réaliser le traitement en trois couches successives de 35 cm chacune.



⤴ L'A355 se caractérise par une densité élevée d'ouvrages d'art. Ici, un exemple de franchissement de canal.

Un pré réglage avec une niveleuse asservie GPS a été réalisé, de façon à obtenir une épaisseur homogène avant traitement. Cette phase est importante, car un bon réglage ne peut être garanti que s'il y a recoupe de la couche après traitement.

Travaux de la PST inférieure traitée à la chaux

Dans un premier temps, dans les déblais, le niveau de l'arase décapée sur une épaisseur de 70 cm a été mis en dépôt provisoire. Sur cette première couche, après la scarification, la chaux a été épanchée et le malaxage du matériau et de la chaux a commencé. Cette étape a été réalisée avec un malaxeur et une arroseuse équipée d'un enfouisseur avec DPA. « Une étape-clé, même si les matériaux présents étaient relativement humides et qu'il n'y avait donc pas besoin de beaucoup d'eau », souligne Romuald Chassagnol, conducteur de travaux au sein de Vinci Construction Terrassement Grands Projets. Un compactage à l'aide d'un compacteur VP5 a été ensuite effectué, puis un réglage avec une niveleuse équipée d'un GPS.

Travaux de la PST supérieure traitée au LHR

Une fois la PST inférieure traitée, le chantier s'est poursuivi par les travaux de la PST supérieure, d'une épaisseur identique à la précédente. Les travaux ont été les mêmes qu'à la phase précédente, les matériaux ont été acheminés depuis le dépôt provisoire et mis en place sur site pour une épaisseur finale de 35 cm, après compactage et recoupe. L'utilisation de ces matériaux existant sur le tracé et issus des déblais a permis de ne pas puiser dans les ressources minières locales. Un pré réglage avec une niveleuse asservie GPS a été réalisé, de façon à obtenir une épaisseur homogène avant traitement. Cette phase est importante, car un bon réglage ne peut être garanti que s'il y a recoupe de la couche après traitement. Enfin, traité au LHR, le matériau a ensuite été malaxé à l'aide d'un malaxeur. L'eau a été ajoutée à l'aide d'arroseuses-enfouisseurs avec DPA, et non dans la cloche du malaxeur, et un compactage aux pieds dameurs VP5 ou au Tamping SP2 a été effectué.



⤴ Acheminement des matériaux depuis le dépôt provisoire et mise en place sur le site pour une épaisseur finale de 35 cm.



⤴ Pré réglage à l'aide d'un bull asservi GPS afin d'obtenir une épaisseur homogène avant traitement.



⤴ Après scarification, épanchage du LHR.



⤴ Malaxage du matériau avec le LHR par un malaxeur Wirtgen.



⤴ L'arroseuse à enfouissement garantit une teneur en eau optimale.



⤴ Compactage au Tamping SP2.

Travaux de mise en œuvre de la couche de forme

Sur le chantier, une fois l'arase traitée, la portance de la PST a été contrôlée par des mesures de déflexion. Ensuite, pour réaliser la couche de forme, il a fallu, dans un premier temps, acheminer les matériaux du dépôt provisoire (approvisionnement avec reprise sur stock à l'aide d'une pelle sur chenilles et de tombereaux articulés) et, dans un second temps, puis mettre en œuvre le matériau sur 40 cm pour une épaisseur finale de 35 cm, afin de tenir compte du compactage et de la recoupe finale. Puis un préréglage avec une niveleuse asservie GPS a été exécuté.

Cette opération a été suivie du traitement à proprement parler. Celui-ci a été réalisé en deux phases : un épandage du LHR, à raison de 5 % (soit plus de 32 kg/m²) à la surface du matériau, a été pratiqué par épandeur (Streumaster SW18SCI B25) ; puis un malaxage à l'aide d'un malaxeur (Wirtgen 2400). Le matériau a été ensuite remis en forme. Trois types de compacteurs se sont chargés du compactage (14 passes de SP2 ou 8 de VP5) afin d'atteindre l'objectif q3 fixé : à bille lisse, à pieds dameurs (pour supprimer le feuilletage), puis à pneus (après réglage).

« Pour obtenir un résultat précis au centimètre près, une niveleuse assistée par guidage théodolite effectue le réglage par recoupe de la couche traitée. Ainsi on obtient un très bel uni et un profil en long très régulier », ajoute Romuald Chassagnol. Un enduit de cure et un gravillonnage ont ensuite été appliqués pour protéger la couche de forme (en évitant l'évapotranspiration et en garantissant ainsi la bonne teneur en eau) et pour assurer la prise hydraulique du mélange. À noter que la circulation des véhicules a été neutralisée pendant quatorze jours, pour ne pas rompre la prise hydraulique.



↗ Trois types de compacteurs se sont chargés du compactage afin d'atteindre l'objectif q3 fixé : à bille lisse, à pieds dameurs et à pneus.

Contrôles

De nombreux contrôles ont été réalisés au cours du processus afin d'atteindre les objectifs de caractéristiques mécaniques fixés. Ce sont tous les services qui ont été sollicités (topographie, laboratoire, géotechnique, etc.) pour le suivi et le contrôle du projet.

Des contrôles de portance ont été réalisés pour la PST inférieure, traitée à la chaux vive, afin de valider la classe d'arase obtenue.

Lors des travaux de la PST supérieure, traitée au LHR, des contrôles de déflexion ont permis d'obtenir la validation de la classe d'arase. Cette méthode a été préférée aux mesures de portance in situ, car elle était mieux adaptée au traitement au LHR. C'est la même méthode qui a été utilisée pour valider la classe de plate-forme de la couche de forme, celle-ci ayant également été traitée au LHR.

Pour l'ensemble des couches, la qualité de compactage (q3) a été validée par des essais fréquents de densité en place.

Au cours de l'ensemble du chantier, afin de maîtriser notamment la teneur en eau des matériaux, des analyses en laboratoire et des contrôles ont été réalisés quotidiennement. D'ailleurs, un laboratoire dédié a été installé sur le chantier, dans lequel une dizaine de techniciens et d'opérateurs se sont relayés et se sont partagé les 24 km du tracé.

LES CONTRAINTES TECHNIQUES DU CHANTIER

Approvisionnement en eau

Point crucial dans la mise en œuvre des matériaux traités : la teneur en eau. L'humidification et l'arrosage doivent être constamment contrôlés afin de maintenir le bon état hydrique des matériaux. Plusieurs points d'approvisionnement ont donc été aménagés tout le long du tracé. Mais, parfois, c'est une trop forte humidité qu'il est aussi nécessaire de gérer. « Plusieurs fois au cours du chantier, nous avons dû faire face à de gros orages qui ont rendu inutilisable le matériau prévu. Il a fallu s'adapter et aller chercher des matériaux secs à un autre endroit du chantier », explique Romuald Chassagnol.



⤴ Forte sensibilité des matériaux loessiques : exemple d'une poche de matériau sec dans un dépôt après un épisode de forte chaleur.

Délai de maniabilité du LHR

Quatre heures : c'est le délai de maniabilité pour les opérations de traitement au LHR, qu'il faut absolument prendre en compte dans la cadence du chantier.

Compactage

Après plusieurs planches d'essais, la présence des matériaux loessiques sur le site a conduit les équipes à privilégier des compacteurs statiques (du type Tamping SP2 et compacteur à pneus P2) et des compacteurs vibrants (à pieds dameurs VP5) pour les opérations de compactage. Ce chantier a notamment été l'occasion de mettre en pratique le plan de balayage des compacteurs suivi par GPS, une innovation.

BILAN

« Ce chantier a été un défi tant d'un point de vue organisationnel – en particulier, au regard de la longueur du tracé et des nombreux ouvrages qui le jalonnent – que du respect des enjeux environnementaux », souligne Jean Pandraud.

Un chantier long (de presque quatre ans) impacté par la crise du Covid-19 et par une météo pas toujours clémente... « Les équipes soudées et un bon enchaînement dans les diverses étapes du processus ont permis de relever ce défi ! », se félicite Romuald Chassagnol.

La couche de forme a été terminée le 13 août 2021, pour une mise en service prévue en fin d'année. ■

EN QUELQUES CHIFFRES

- > Longueur : 24 km
- > Déblais : 4 300 000 m³
- > Remblais routiers et paysagers : 3 500 000 m³
- > Chaux : 25000 t pour la PST inférieure
- > Liant hydraulique routier : 45 000 t
- > PST traitée à la chaux : 350 000 m³
- > PST traitée au LHR : 340 000 m³
- > Couche de forme traitée au LHR : 330 000 m³

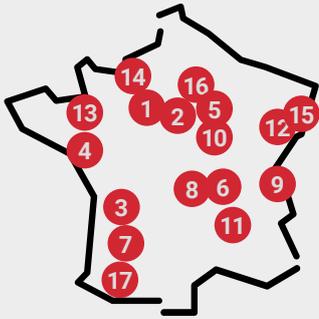
LIENS UTILES

- > Arcos et Socos
<https://www.contournement-ouest-strasbourg.fr>
- > EQIOM
<https://www.eqiom.com>
- > Infociments Routes
<https://www.infociments.fr/route>

⤵ Les aménagements paysagers permettent d'intégrer la nouvelle route au paysage existant (ici, une des bretelles d'accès).



Quelques références de chantiers de traitement des sols



Vidéos et logiciels

À retrouver sur infociments.fr

Journées techniques LHR

À retrouver sur infociments.fr

Ces journées d'information sur la valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques routiers s'adressent à tous les acteurs concernés par la construction et l'entretien des routes : les élus et leurs services techniques, les bureaux d'études et tous les professionnels de la route.

Bibliographie

À retrouver sur infociments.fr

T 70

Terrassements et assises de chaussées
Traitement des sols aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013

Références SETRA/LCPC



Guide technique

Réalisations des remblais et des couches de forme
Fascicule I et fascicule II
SETRA / LCPC, 2000

Guide technique

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000

Guide technique

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises de chaussées
SETRA / LCPC, 2007

Direction de la publication : François Redron

Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo

Reportages, rédaction : Magali Suinot, Sôa/Studio L&T, Étienne Diemert

Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T

Crédits photos : Fenêtre sur cour

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton : 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01 55 23 01 00 - E-mail : centrinfo@cimbeton.net

LA SEYNE-SUR-MER

VAR (83)



#mieuxcirculer

#mieuxprotégerlaplanète

#mieuxvivre

#chantier

#bétoncompactéroucier



Béton compacté
roucier



Surface :
4 000 m²



Var

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Chambre de commerce et d'industrie (CCI)

Maître d'œuvre

Chambre de commerce et d'industrie (CCI)

Entreprise

Colas

Fournisseur du béton compacté routier

Béton Vicat

PHOTO D'OUVERTURE : Vue générale du port de Brégaillon et de la baie de Toulon (© Vicat).



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00
E-mail : centrinfo@cimbeton.net

Performances techniques, durabilité, optimisation structurelle, préservation des ressources, réduction des coûts, protection de l'environnement, remise en circulation rapide... Autant d'avantages qui expliquent l'engouement pour la technique du béton compacté routier (BCR) ! En voici un nouvel exemple avec la plate-forme de stockage de véhicules en transit, réalisée sur le site du Comptoir général maritime varois (CGMV) du port de Brégaillon, à La Seyne-sur-Mer.

ÉTAT DES LIEUX

Sur la façade maritime française, le port de Brégaillon de La Seyne-sur-Mer est niché au sein de la rade de Toulon, qui compte parmi les sites les mieux abrités de la Méditerranée occidentale et les plus sûrs en raison de la présence de la marine nationale.

Spécialisé dans le fret intraméditerranéen, il se situe à la croisée des axes de communication de l'Europe : il permet de connecter la vallée du Rhône au nord, l'arc méditerranéen Espagne-Italie et l'Afrique du Nord. C'est l'un des sites logistiques majeurs de l'Europe du Sud avec le port de Toulon, le port Saint-Louis du Mourillon, Fos Distriport, plate-forme logistique maritime, la plate-forme rail-route Clésud de Miramas et l'aéroport international de Marseille-Provence, première plate-forme de fret aérien après Paris.

Offrant déjà un accès rapide et direct au réseau autoroutier (l'A50 est située à dix minutes environ), le port a récemment fait l'objet d'importants travaux pour le connecter au réseau ferré national. Menés par la chambre de commerce et d'industrie (CCI) du Var, ceux-ci ont renforcé l'intermodalité du site et la compétitivité du port. Apprécié pour sa flexibilité opérationnelle (le port est ouvert 24/24 h et 365 jours par an), il cherche à répondre aux divers besoins des industriels européens et mondiaux ainsi qu'à ceux des prestataires de transport et des distributeurs. Il consolide ainsi la position stratégique du Var sur le marché de la logistique du sud de l'Europe.

Aujourd'hui, le port de Brégaillon s'enrichit d'une nouvelle plate-forme de stockage de véhicules en transit, construite sur un ancien site industriel de concassage de granulats. La CCI du Var a assuré à la fois la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre du projet. Pour le réaliser, c'est à l'entreprise Colas (agence de La Seyne-sur-Mer) qu'elle a fait appel. Le béton compacté routier (BCR), technique choisie pour réaliser cette nouvelle plate-forme, a, quant à lui, été fabriqué et livré par la société Vicat.

PROJET

Ce projet de transformation et de remise en état du site du CGMV s'inscrit dans la politique de diversification et d'intensification de l'activité et des échanges maritimes sur le port de Brégaillon.

« Au départ, nous avons conçu la plate-forme de stockage comme une structure de chaussée conventionnelle, c'est-à-dire en matériaux bitumineux. Mais, après réflexion au sein de nos services techniques, la décision a été prise de penser l'aménagement différemment, afin de mieux prendre en compte les particularités du projet (stockage de véhicules, charges statiques, risque de fuites de carburant et d'huile de moteur), les objectifs fixés par la CCI en matière de politique d'investissement (durabilité, optimisation des coûts des projets), d'exploitation et d'entretien des infrastructures (mise en service rapide sous soixante-douze heures au maximum, peu de travaux d'entretien) et l'engagement de la CCI en faveur de l'environnement (préservation des ressources naturelles, limitation des impacts) », explique Jean-Christophe Barbagelata, directeur des Opérations et Travaux de la CCI.

RECHERCHE D'UNE SOLUTION TECHNIQUE ADAPTÉE

« Le site nécessitait tout d'abord d'importants travaux de terrassement, sur lesquels nous voulions réaliser une structure de chaussée solide, homogène, capable de résister à la fois aux charges des véhicules et aux embruns marins », poursuit Jean-Christophe Barbagelata. Or, le BCR est réputé pour ses performances mécaniques et sa durabilité face aux sollicitations provoquées par les charges et les conditions climatiques. Il résiste également aux fuites de carburant et d'huile de moteur. En outre, grâce à ces qualités, le BCR ne nécessite que très peu d'interventions, d'où un coût d'entretien faible. Cela représente, aux yeux d'un gestionnaire, un avantage économique non négligeable.

« Nous savions que le BCR avait été utilisé pour refaire les quais de maintenance du port de La Ciotat en 2007 et, plus récemment, pour rénover les quais du port de La Rochelle. Nous avons donc rencontré Olivier Piselli, manager de la société Béton Vicat, ainsi que Christophe Fontaine, directeur de la société Colas (Var), qui nous ont proposé une étude personnalisée pour la réalisation du projet. Après réflexion, nous avons décidé que la technique du BCR était la plus adaptée à notre ouvrage comme à notre budget », conclut Jean-Christophe Barbagelata de la CCI.

ÉTUDES

La formulation du BCR

La formulation du BCR a été menée conformément à la norme NF P 98 128 « Béton Compacté Routier », afin de satisfaire aux deux objectifs suivants :

- > Un mélange le plus dense possible pour une maniabilité optimale ;
- > Un mélange ayant les performances mécaniques adéquates et d'un coût minimal.

La formule du BCR retenue se compose de :

- > Granulats : 0/2 C, 6/16 C, 11/22 C – Granulats concassés Someca Le Revest.
- > Ciment : CEM II/A-LL 42.5 R CE NF Vicat Peille.
- > Eau.
- > Adjuvants : plastifiant et retardateur de prise.

Les propriétés du mélange ont été mesurées en laboratoire, avant le début des travaux :

- > À l'état frais, la mesure de la masse volumique a donné la valeur de 2,33 t/m³ ;
- > À l'état durci, les mesures de résistance à la traction et du module ont permis de déterminer la classe mécanique du BCR, conformément à la norme NF P 98 128 « Béton Compacté Routier ». Il s'agit de la classe T4.

Le dimensionnement de la structure

Le dimensionnement de la structure a été effectué avec les hypothèses suivantes :

- > Trafic estimé à la mise en service : T5 = 25 PL/j
- > Portance de la plate-forme : PF2 = 50 MPa

Classe mécanique du BCR : T4

- > Durée de vie : vingt ans

Le calcul mené avec le logiciel Alizé donne la structure de chaussée suivante :

- > Couche de forme constituée de deux couches :
 - Une couche inférieure en GNT 0/60, d'épaisseur 25 cm ;
 - Une couche supérieure en GNT 0/20, d'épaisseur 15 cm.
- > Revêtement en BCR : 25 cm.

« Le choix du BCR et le dimensionnement de la structure de la plate-forme de stockage ont été

FORMULATION DU BCR

La production du BCR a été assurée à la centrale de BPE de Béton Vicat. Une centrale discontinue ELBA, avec malaxeur horizontal de 2 m³, assurait le malaxage à froid des constituants.

DEFIPERF BCR 10 % D3 S1 CEMII/
A-LL 42,5 R CE NF VICAT

- Granulats : 0/2, 6/16 et 11/22 – Granulats concassés Someca Le Revest.
- Ciment CEMII/A-LL 42,5 R CE NF VICAT.
- Eau.
- Adjuvants : plastifiant et retardateur de prise.



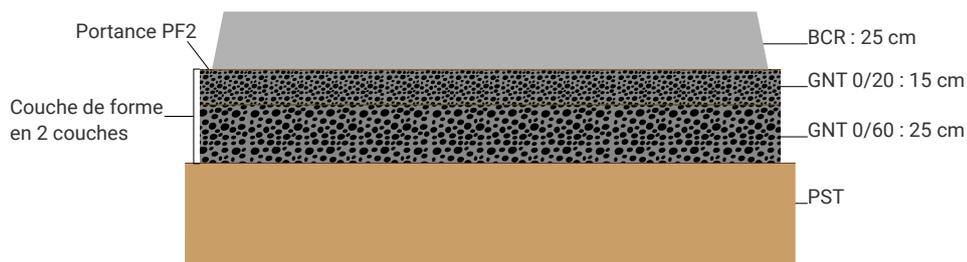
Formules
&
données



▲ Centrale Béton Vicat, où le BCR a été étudié pour optimiser sa formulation et fabriqué. (© Béton Vicat)

faits afin de créer une assise solide, durable et homogène », explique Jean-Christophe Barba-gelata.

➤ Coupe en travers-type de la structure de BCR retenue.



LE BCR : UN CHOIX JUDICIEUX

« La solution du BCR a permis de résoudre simultanément toutes les problématiques posées par la construction de la plate-forme de stockage des véhicules en transit », résume Olivier Pisselli, manager de Béton Vicat. Cette solution offre trois avantages déterminants :

// Sur le plan technique

Il s'agit d'une structure de chaussée confectionnée avec un béton compacté routier (BCR). Le BCR est constitué des mêmes ingrédients (granulats, ciment, eau, adjuvants) qu'un béton traditionnel, dit « plastique », mais il diffère par sa composition (proportions des différents constituants). En effet, il contient plus de gravillons, moins de sable et, surtout, beaucoup moins d'eau qu'un béton plastique. De ce fait, c'est un matériau « sec », à forte densité granulaire et avec une faible teneur en fines. Il requiert, pour sa mise en place, une énergie de compactage élevée.

Bien formulé, le BCR permet de rapidement développer des résistances mécaniques élevées, souvent plus fortes qu'un béton traditionnel et, de surcroît, avec un dosage en ciment plus faible.

// Sur le plan structurel

Un revêtement en BCR est un ouvrage possédant les mêmes qualités structurelles (module d'élasticité, performances mécaniques, tenue à la fatigue) qu'un revêtement en béton dit « plastique ». Il est donc conçu et dimensionné selon les mêmes critères.

// Sur le plan financier

À performances mécaniques égales, les revêtements en BCR sont moins chers que les revêtements en béton dit « plastique ». En effet, en comparaison, un revêtement en BCR bénéficie des avantages suivants :

- > Un dosage en ciment plus faible, de l'ordre de 20 % ;
- > Une plus grande rapidité de mise en œuvre ;
- > Une remise en service plus rapide.

En outre, les revêtements en BCR ne requièrent pas l'emploi de goujons, ni d'armatures, ni l'utilisation de coffrages, contrairement aux revêtements en béton plastique.

MISE EN ŒUVRE DE LA STRUCTURE EN BCR

La mise en œuvre de la structure en BCR s'effectue à l'aide d'un matériel habituellement utilisé pour la construction de chaussées souples ou semi-rigides (niveleuses, finisseurs, compacteurs, etc.).

« Avant le démarrage des travaux, nous avons remis au maître d'œuvre, pour validation, un plan précisant l'organisation de la mise en œuvre du BCR. Ce plan définit le séquencage de la mise en place du matériau (sens de bétonnage, longueur et largeur des bandes, réalisation des bandes en peigne c'est-à-dire une bande sur deux) et l'emplacement des joints de construction », précise Sébastien Martin, chef de service technique PACA de Colas Sud-Est.

La mise en œuvre de la structure en BCR s'effectue à l'aide d'un matériel habituellement utilisé pour la construction de chaussées souples ou semi-rigides.

« L'objectif, pour nous, est d'assurer une mise en œuvre continue, de maîtriser les délais d'exécution et de minimiser les joints de construction », ajoute Christophe Fontaine, directeur de l'agence Colas de La Seyne-sur-Mer.

Pour la plate-forme de stockage de véhicules en transit du port de Brégaillon, la mise en œuvre s'est déroulée en trois étapes :

- > Les travaux préparatoires ;
- > L'exécution de la couche de forme ;
- > L'exécution du revêtement en BCR, qui comprend plusieurs opérations : production et transport du BCR ; régilage du matériau ; nivellement ; compactage ; protection et exécution des joints de retrait.

De la production du BCR jusqu'à sa mise en place, l'entreprise a pris des précautions afin d'éviter la ségrégation et la variation de la teneur en eau du matériau.

Les travaux préparatoires

Les travaux préparatoires ont consisté à réaliser les opérations suivantes :

- > Un nettoyage soigné du site ;
- > L'exécution du support de la plate-forme par déblais /remblais, à l'aide d'un chargeur à chenilles,
- > Un relevé topographique détaillé ;
- > Des travaux d'assainissement ;
- > Un compactage soigné à l'aide d'un compacteur de type V4, suivi éventuellement de purges et d'un comblement ;
- > Des contrôles (uni, dévers, etc.).

Exécution de la couche de forme

Après avoir effectué les travaux préparatoires, l'entreprise a réalisé une couche de forme en grave non traitée (GNT), d'une épaisseur totale de 40 cm, en vue de conférer à la plate-forme support de chaussée une portance minimale PF2 ($50 \leq EV2 < 80$ MPa). Cette couche de forme a été réalisée en deux temps :

- > Une couche inférieure en grave non traitée GNT 0/60 mm, d'épaisseur 25 cm ;
- > Une couche supérieure en grave non traitée GNT 0/20 mm, d'épaisseur 15 cm.

Chacune des deux couches a été mise en œuvre en réalisant successivement les opérations suivantes :

- > Régilage de la GNT à la niveleuse ;
- > Humidification ;
- > Compactage soigné.

« Cette dernière opération est très importante, car elle vise à conférer à la plate-forme support un niveau de portance permettant ultérieurement le compactage efficace de la couche du BCR (effet d'enclume). À la suite du compactage, la plate-forme support a fait l'objet d'un contrôle de la portance, effectué par l'essai à la plaque. Les mesures ont été réalisées en plusieurs points de la plate-forme afin de vérifier que l'objectif visé pour la portance a bien été atteint (homogénéité et niveau). Toutes les valeurs obtenues se situaient dans la plage de portance visée (de 50 à 80 MPa) et étaient donc conformes aux spécifications du cahier des charges », poursuit Christophe Fontaine.

Exécution du revêtement en BCR

La mise en œuvre du revêtement en BCR comprend deux étapes :

- > Fabrication et transport du BCR ;
- > Mise en œuvre du BCR.

Fabrication et transport du BCR

Le BCR a été fabriqué à la centrale de BPE de Béton Vicat. Pour assurer l'homogénéité du mélange, le temps de malaxage a été augmenté par rapport à celui d'un béton dit « plastique » : il est de l'ordre de trois minutes par gâchée.

« Comme le BCR est pauvre en pâte, la hauteur de chute du matériau, lors du chargement des camions à benne ainsi que lors du déchargement dans le finisseur, a été réduite au minimum pour éviter la ségrégation du matériau », précise Olivier Piselli.

Le BCR est ensuite acheminé depuis la centrale jusqu'au chantier, par camions à semi-benne.

« Comme le BCR est très sensible aux variations de la teneur en eau, les camions sont équipés de bâches pour réduire l'évaporation de l'eau du matériau sous l'effet des conditions climatiques », ajoute Olivier Piselli.

« Cette dernière opération, le compactage, est très importante, car elle vise à conférer à la plate-forme support un niveau de portance permettant ultérieurement le compactage efficace de la couche du BCR. »



▲ Un camion-benne, bâché durant le transport du BCR, déverse le matériau dans le finisseur. Celui-ci répand, nivelle et compacte le BCR.

Mise en œuvre du BCR

Avant la mise en œuvre du BCR, l'entreprise a procédé systématiquement à l'arrosage de la couche de forme afin d'éviter que le BCR ne perde son eau par percolation. Cette opération a été suivie par la mise en œuvre du BCR, en deux couches successives séparées d'un délai de 24 heures minimum (pour garantir l'obtention d'une portance suffisante de la première couche, permettant la réalisation de la deuxième couche), et respectant le processus suivant :

- Répandage d'une première couche de BCR, à l'aide d'un finisseur, d'épaisseur 15 cm en sortie de table.
- Compactage de cette première couche à l'aide d'un atelier de deux compacteurs vibrants (un compacteur vibrant tandem VT2 et un petit compacteur vibrant PV2) afin d'obtenir la compacité visée. « Nous avons réalisé une planche d'essai en début de chantier, explique Sébastien Martin. Elle nous a permis de définir l'atelier de mise en œuvre. »
- La protection de cette première couche de BCR contre la dessiccation a été obtenue par humidification de la surface à l'eau et non par la pulvérisation d'un produit de cure qui aurait engendré un décollement à l'interface entre les deux couches de BCR et par conséquent une fragilité structurelle.
- Avant la mise en place de la deuxième couche de BCR, la surface de la première couche a été légèrement scarifiée et grattée à l'aide d'un peigne puis arrosée à l'eau sans laisser de flaques.
- Répandage de la deuxième couche de BCR, à l'aide d'un finisseur, d'épaisseur 17 cm en sortie de table.
- Compactage soigné du BCR à l'aide des deux compacteurs vibrants VT2 et PV2.
- La protection du revêtement en BCR contre la dessiccation par la pulvérisation d'un produit de cure filmogène pour prise hydraulique, à raison de 250 g/m².
- Les joints d'arrêt de fin de journée sont réalisés par une coupure verticale sur toute l'épaisseur du béton. Le lendemain, un simple recalage et l'humidification du joint suffisent lors de la reprise du chantier.
- Afin d'éviter la fissuration anarchique liée au retrait du béton, l'entreprise a réalisé, le lendemain du bétonnage, des joints de retrait transversaux par sciage du revêtement en BCR sur le quart de son épaisseur, espacés de 4 m (maillage 4 m x 4 m ou largeur d'application de la bande).
- Sciage des joints de construction longitudinaux et de reprise pour un rendu plus esthétique.



⤴ Pendant que la première couche de la première bande de BCR est compactée par un VT2, l'entreprise effectue les mesures pour positionner une nouvelle bande en respectant le plan de bétonnage en peigne. (© Béton Vicat)

➤ PHOTO DE GAUCHE

Compactage du BCR à l'aide de deux compacteurs vibrants VT2 et PV2. (© Colas)

➤ PHOTO DE DROITE

Pour la reprise de bétonnage, le joint de construction est scié proprement sur toute l'épaisseur de la couche de BCR, puis humidifié. On voit bien la qualité de compactage (homogénéité et compacité) obtenue sur toute la hauteur de la couche. (© Colas)



BON À SAVOIR

LE BÉTON COMPACTÉ ROUTIER (BCR)

Le BCR est obtenu avec les mêmes constituants de base que le béton classique, à savoir un mélange de :

// Ciment : conforme à la norme NF EN 197-1, de type CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ou CEM V.

// Granulats : conformes aux normes NF EN 12620 et NF P 18 545. Ils constituent de 75 à 85 % du volume total et peuvent être roulés (sable siliceux) ou concassés (sable calcaire, gravier, grave, etc.). Pour limiter les problèmes de ségrégation et en vue d'une meilleure qualité de surface, la dimension maximale du granulats doit être inférieure à 20 mm et le fuseau granulométrique divisé en plusieurs fractions ou coupures granulométriques (par exemple : 0/3-3/8-8/16). Toutes les fractions doivent avoir un indice de concassage supérieur à 30 % dans le cas d'un trafic faible et d'environ 100 % dans le cas d'un trafic élevé. Ces granulats ont un indice de plasticité non mesurable et une teneur en matière organique inférieure à 0,2 %.

// Eau : conforme à la norme NF P 98 100. Le BCR est un béton sec à affaissement nul. Sa teneur en eau doit donc être faible.

// Adjuvants, éventuellement : dans des proportions spécifiques et avec précaution. De fait, la courte durée du malaxage et la faible quantité d'eau limitent l'effet de ces adjuvants, d'où une augmentation du dosage pour en accroître l'efficacité.

Les plus courants sont des retardateurs de prise, permettant d'augmenter la durée de transport et de mise en place du béton, de maintenir longtemps la consistance recherchée du BCR ou de ménager la contrainte des reprises de bétonnage. D'autres sont des réducteurs d'eau, permettant une amélioration de l'homogénéité de la pâte. Les accélérateurs de prise sont peu utilisés et les fluidifiants sont exclus, car ils peuvent provoquer un ressasse ou une déformation excessive à la suite du compactage.

Contrôles

Qualité oblige, l'entreprise a mis en place une série de contrôles pour vérifier :

- > Régulièrement la teneur en eau du BCR, afin de garantir l'obtention d'un mélange homogène et compact.
- > L'épaisseur du revêtement en sortie de table et par calcul de Q/S (Tonnage mis en œuvre / Surface exécutée).
- > La compacité en place au gamma densimètre. La compacité mesurée a été supérieure à la compacité visée : C% > 98%.

BILAN

L'entreprise Colas a réalisé un revêtement en BCR, d'épaisseur 25 cm, sur une surface de 4 000 m². « Au total, ce chantier aura nécessité 1 050 m³ de BCR, soit environ 250 tonnes de ciment », résume Olivier Piselli.

Le chantier s'est déroulé durant le mois de décembre 2020. Les travaux ont été réalisés dans les délais et le résultat est très satisfaisant. La mise en œuvre s'est achevée en décembre 2020. Après trois jours sans circulation, le trafic de poids lourds a été de nouveau autorisé.

La réussite de cette opération est due à l'implication totale de l'ensemble des acteurs de l'opération (la CCI, Béton Vicat, Colas).

Le cas de la plate-forme de stockage de véhicules sur le port de Brégaillon n'étant pas isolé, l'utilisation de la technique du BCR pourrait être envisagée, à l'avenir, sur de nombreux sites partageant les mêmes problématiques. ☰



- ⤴ Le BCR acquiert rapidement une stabilité structurelle autorisant le stationnement des véhicules légers. (© Colas)

☰ LIENS UTILES

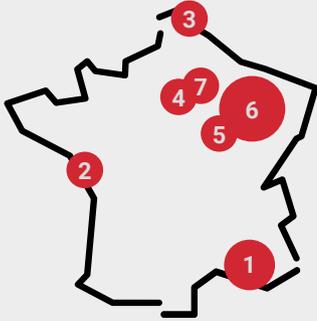
- > CCI du Var
<https://www.var.cci.fr>
- > Colas
<https://www.colas.com>

- > Béton Vicat
<https://www.vicat.fr>
- > CIMbéton
<https://www.infociments.fr/route>

- ⤴ Vue aérienne de la plate-forme de stockage des véhicules en transit sur le port de Brégaillon. (© Béton Vicat).



Quelques références de chantiers en BCR



Bibliographie

À retrouver sur infociments.fr

Revue Routes N°24

Documentation technique
Les Bétons Compactés
Joseph Abdo / CIMbéton,
Décembre 1987

Revue Routes N°102

Documentation technique
La maîtrise de la fissuration
des graves hydrauliques
Joseph Abdo / CIMbéton,
Décembre 2007

Références CEREMA

Note d'information N°18

Note technique de conception et
de dimensionnement des bétons
compactés
SETRA/LCPC, Décembre 1985

Document technique

Recommandation pour la réalisation
des bétons compactés
SETRA/LCPC, Novembre 1985

Normalisation

Norme NF P 98 128

Assises de chaussées et plates-formes
Bétons compactés routiers et graves
traitées aux liants hydrauliques à hautes
performances – Définition, composition
et classification.

Norme NF P 98 115

Assises de chaussées
Exécution des corps de chaussées –
Constituants – Composition des mélanges
et formulation – Exécution et contrôles

Direction de la publication : François Redron

Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo

Reportages, rédaction : J. Abdo, M. Suinot, Sôa, Étienne Diemert

Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T

Crédits photos : © Béton Vicat, © Colas

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton : 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01 55 23 01 00 - E-mail : centrinfo@cimbeton.net



#mieuxcirculer #mieuxprotégerlaplanète #mieuxvivre #chantier #lianthydrauliqueroutier



Liant hydraulique routier



Recyclage en place



Surface traitée au LHR: 1 100 000 m²



Allier / Saône-et-Loire

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Concédant
État (DIT)

Maîtrise d'ouvrage
Aliae

Maîtrise d'œuvre
EGIS Villes et Transports

GIE concepteur-construteur
CLEA, Eiffage Génie civil

Exploitant
APRR

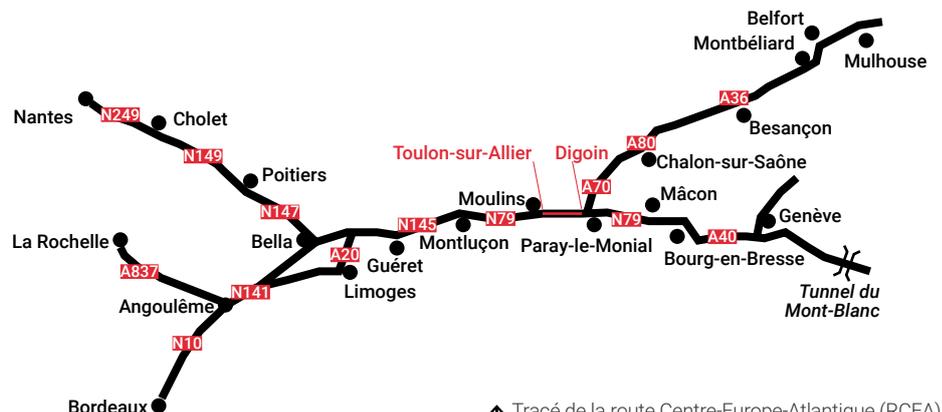
Fournisseur du LHR (Ligex M4)
Ciments-Calcia

PHOTO D'OUVERTURE: vue générale du chantier de mise à 2x2 voies de la RN79 entre toulon-sur-allier et digoin.

Important tronçon du vaste chantier d'aménagement de la route Centre-Europe-Atlantique (RCEA) et l'un des plus grands chantiers de terrassement réalisés en France en 2021, la liaison entre Montmarault (Allier) et Digoin (Saône-et-Loire) fait massivement appel à la technique de traitement des sols en place au liant hydraulique routier (LHR) pour le renforcement de l'arase et pour la confection de la couche de forme. Confié à l'entreprise Eiffage, ce projet a requis des solutions hors normes pour s'adapter à la nature des sols et aux cadences du chantier. Pour la partie est, de Toulon-sur-Allier à Digoin, les travaux ont nécessité 35000 tonnes de Ligex M4, un LHR confectionné sur mesure par Ciments-Calcia.

SITUATION

Le tronçon de la future A79 entre Toulon-sur-Allier (03) et Digoin (71) s'inscrit dans le plus large cadre de l'aménagement de la route Centre-Europe-Atlantique (RCEA). Une fois achevée, la RCEA reliera Bordeaux et la façade atlantique à l'Europe centrale et septentrionale, en s'intégrant dans un vaste réseau continental de voies express et d'autoroutes. Il s'agit de construire 1 850 km de voies en France, dont 400 km d'autoroutes et 800 km de routes express qui seront transformées postérieurement en autoroutes.



↗ Tracé de la route Centre-Europe-Atlantique (RCEA).



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél.: 01 55 23 01 00
E-mail: centrinfo@cimbeton.net

Le tracé de la RCEA est situé majoritairement en France. Il comporte plusieurs branches : deux à l'est et deux à l'ouest ainsi que d'autres, d'importance moindre. Elles se rejoignent toutes en une section centrale, de Guéret à Paray-le-Monial.

La RCEA présente l'avantage de rester au-dessous des 500 mètres d'altitude, de réduire le trajet Mulhouse-Bordeaux (de 970 à 830 km) et d'être gratuite. L'immense succès de l'itinéraire a induit un trafic beaucoup plus dense que les estimations de départ et un flux très important de poids lourds sur des routes construites, à l'origine, principalement à 1x2 voies. La mise à 2x2 voies, rendue indispensable par un taux d'accidents graves ou mortels beaucoup plus élevé que sur le reste du réseau français, est commencée dès les années 1990, mais elle bute en Saône-et-Loire et dans l'Allier sur un manque de financements publics.

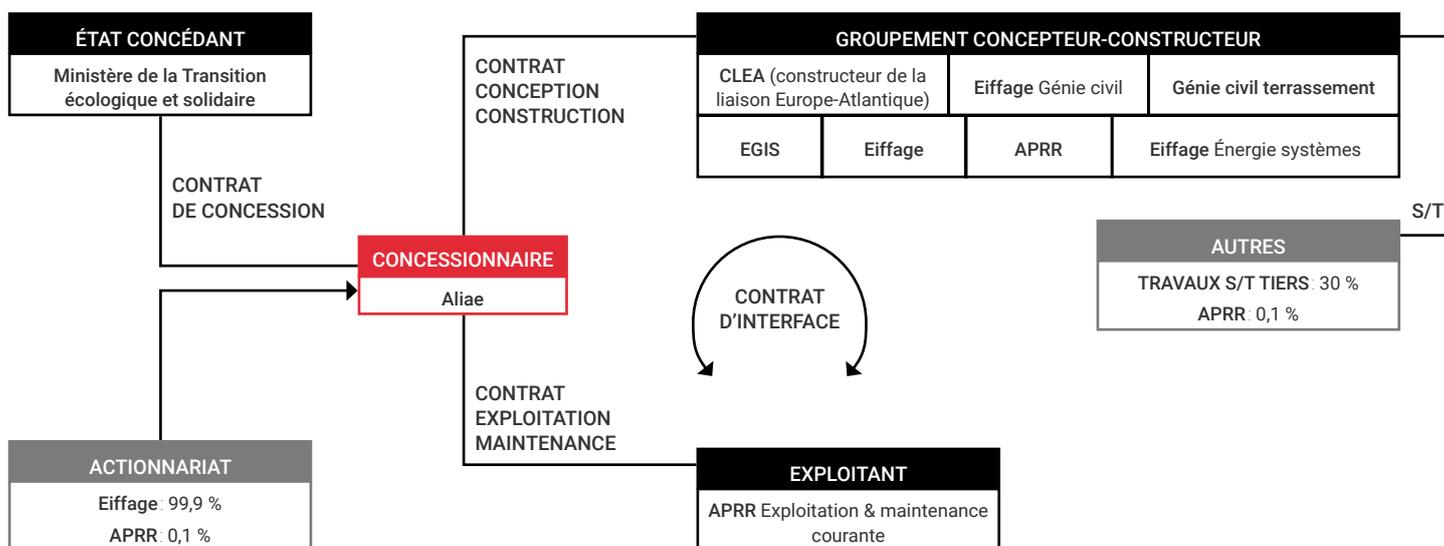
ÉTAT DES LIEUX

Le tronçon de la future autoroute A79, objet de ce reportage, reliera Toulon-sur-Allier (03) à Digoin (71), en lieu et place de l'actuelle route nationale RN79. Il s'inscrit dans le cadre de l'aménagement de l'A79, qui reliera Montmarault (03) à Digoin (71) et qui se situe sur le tronçon central de la RCEA concédé par l'état à Aliae (filiale d'Eiffage).

La RN79 est une route particulièrement accidentogène à l'origine de fortes perturbations de trafic. C'est pourquoi le projet de mise à 2x2 voies aux normes autoroutières a été déclaré d'utilité publique par décret ministériel en date du 22 avril 2017.

Cette mise à 2x2 voies aux normes autoroutières a fait l'objet d'un contrat de concession avec la société Aliae, filiale à 100 % du groupe Eiffage, pour une durée de 48 ans à partir de la date de signature du contrat. À la suite de quoi, l'ouvrage sera transféré à l'État.

« En tant que maître d'ouvrage en charge de financer, concevoir, construire puis exploiter, entretenir et assurer la maintenance jusqu'au terme de la concession, Aliae a confié au groupement CLEA la conception et la construction de l'A79. Ce groupement, dont la mission s'achèvera à la mise en service de l'A79, rassemble toutes les compétences indispensables au bon déroulement des opérations techniques », explique Christophe Sandre, directeur du projet du groupe concepteur-constructeur CLEA.



↑ Organigramme du concessionnaire Aliae.

Depuis la commune de Sazeret, à l'ouest, jusqu'à celle de Digoin, à l'est, 88 km de la RN79 passeront progressivement de 2x1 à 2x2 voies. Tous les ouvrages feront l'objet de mise aux normes de sécurité. « Ce chantier de grande envergure mobilise au plus fort de son activité un effectif qui atteint en pointe plus de 1 500 personnes et qui met en avant l'expertise multimétier du groupe Eiffage. Ce chantier a été découpé en quatre sections désignées par TOARC A, TOARC B, TOARC C et TOARC D », ajoute Christophe Sandre.

Néanmoins, l'impact environnemental d'un tel ouvrage n'est pas neutre, en particulier parce que le projet traverse une réserve naturelle (celle du val d'Allier) et parce qu'il est susceptible de créer un nouvel obstacle pour les déplacements de la faune locale.

« Pour réduire cet impact, nous avons dû intégrer à ce projet de nombreuses compensations environnementales et, notamment, la réalisation d'un passage pour la grande faune et de plusieurs ouvrages réservés au passage de la faune ainsi qu'une centaine d'ouvrages plus petits destinés à la petite faune afin de maintenir les continuités écologiques », ajoute Thibaut Meskel, responsable de l'Environnement chez Aliae.

L'autoroute A79 sera porteuse d'une grande innovation: le péage en flux libre, dispositif qui permet la suppression des barrières physiques de pleine voie au profit de portiques équipés de caméras capables de lire les plaques d'immatriculation et les badges de télépéage. « Ces portiques font partie d'un système intelligent qui permet de relier un véhicule ou un badge à un compte bancaire, de sorte à automatiser les transactions et à éviter l'arrêt aux gares de péage. Ils présentent aussi l'avantage de réduire considérablement l'artificialisation des sols », ajoute Thibaut Meskel.

Déjà en place dans certains pays européens, l'A79 sera la première autoroute de France à bénéficier de cette technologie de péage en flux libre, contribuant à la fluidification de la circulation avec un petit tronçon de l'autoroute A4.



BON À SAVOIR

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'A79 ENTRE SAZERET ET DIGOIN

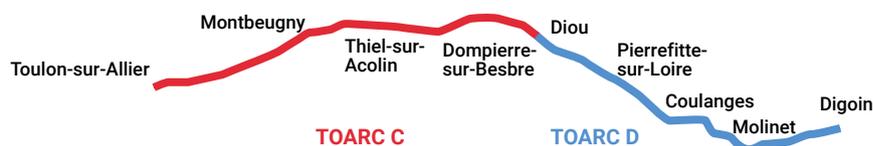
- > 88 km de longueur totale
- > 48 ans de concession
- > 65 km d'élargissement
- > 23 km de route à 2x2 voies à requalifier
- > Trafic estimé à la mise en service: 5 000 à 8 500 véhicules par jour et par sens, selon les tronçons
- > 3,5 millions de mètres cubes de déblais
- > 1 million de tonnes d'enrobés (GB classique, GB5® et BB5®)
- > 12 échangeurs
- > 4 aires de repos et 2 haltes simples
- > 1 aire de service à Toulon-sur-Allier
- > 148 ouvrages d'art, dont 45 ouvrages d'art courants neufs, 12 ouvrages non courants et 91 ouvrages existants à requalifier
- > 79 bassins multifonctions
- > 40 ouvrages pour la transparence écologique à élargir
- > 52 cours d'eau franchis avec suivi écologique
- > 21 communes traversées

MISE AU STANDARD AUTOROUTIER DE LA RN79 ENTRE TOULON-SUR-ALLIER ET DIGOIN

Le projet

La RN79 est un axe majeur, tant localement qu'à l'échelle européenne. Elle draine ainsi un trafic compris entre 10 000 et 15 000 véhicules par jour dont 30 à 40 % de poids lourds selon les sections dans les départements de l'Allier et de Saône-et-Loire. La mise au standard autoroutier entre Toulon-sur-Allier et Digoin correspond aux TOARCS C et D (52 km sur les 88 km au total).

➤ Schéma illustrant le découpage en 2 TOARCS du tronçon Toulon-sur-Allier – Digoin.



⤴ La liaison entre Toulon-Sur-Allier (Allier) et Digoin (Saône-et-Loire) fait appel massivement à la technique de traitement des sols en place au liant hydraulique routier LHR.

Les objectifs

Les objectifs sont de sécuriser et de fluidifier la circulation, la RN79 étant une voie dangereuse et encombrée.

Les contraintes

Elles sont de deux types :

- > **Les contraintes environnementales** afin de respecter la nature et les paysages, de maintenir les corridors écologiques, de réduire l'impact sur l'environnement pendant les travaux et durant l'exploitation de l'autoroute.
- > **Les contraintes d'exécution** dues au phasage des travaux, à la gestion du flux du trafic et des déviations, à la gestion de l'eau, du matériel et des déblais.

ÉTUDES

Le contexte géotechnique

Le tracé du tronçon de l'A79 entre Toulon-sur-Allier et Digoin traverse principalement la formation géologique connue sous l'appellation « sables et argiles du Bourbonnais », qui est une formation hétérogène de sables plus ou moins argileux, avec présence de lentilles argileuses.

Les reconnaissances géotechniques

Pour les besoins des études de terrassement (mouvement des terres et études de traitement des sols), une campagne de reconnaissance géotechnique globale des ouvrages d'art et d'assainissement a été menée en deux phases : une G2 pro poussée, puis un contrôle en G3. La première, pour la phase de projet, a été réalisée au quatrième trimestre de l'année 2019 ; puis la seconde de contrôle, pour la phase d'exécution, au printemps 2020.

Lors de ces reconnaissances, 1950 sondages géotechniques de tous types ont été réalisés : 850 sondages à la pelle ; 150 sondages avec essais pressiométriques tous les mètres ; 320 sondages carottés ou à la tarière ; 590 essais au pénétromètre type CPT, 40 piézomètres, etc.

Ces sondages ont des profondeurs comprises entre 1,5 et 17 m. Les différents matériaux ont été identifiés et classés conformément au *Guide technique des terrassements routiers* (GTR) et à la norme NF P 11 300 « Classification des sols ».

Les études de traitement

La présence des sables et argiles du Bourbonnais sur l'ensemble du tracé Toulon-Digoin a permis d'identifier rapidement les gisements potentiels en matériaux pour la partie supérieure des terrassements (PST) et la couche de forme (CDF). Grâce à leur facilité d'utilisation (taux de réemploi proche de 100 % lors des mouvements de terres), une stratégie avait été imaginée dès les études préalables, qui consistait à optimiser les mouvements des terres en maximisant le réemploi des matériaux du site et en les traitant soit à la chaux, soit au LHR pour les couches nobles de la future plate-forme autoroutière.

Compte tenu de l'hétérogénéité de certains gisements de matériaux, des mélanges associés pouvant varier en matériaux de B4 à A1, il a été décidé de mener un grand nombre d'études de traitement sur les différentes grandes familles de ces gisements pour :

- Vérifier l'aptitude du sol au traitement (norme NF P 94 100) ;
- Déterminer les performances mécaniques obtenues par un traitement à la chaux ;
- Déterminer les performances mécaniques obtenues par un traitement au LHR ;
- Vérifier la tenue au gel des sols traités.

L'objectif était de trouver un liant adapté à chaque type de sol afin de garantir les performances mécaniques visées (résistance mécanique et tenue au gel), tout en prenant en compte les contraintes spécifiques de mise en œuvre du chantier.

Le choix s'est finalement porté sur un LHR dont le délai de maniabilité était cohérent avec les exigences du traitement en place.

En outre, pour la couche de forme, une étude géotechnique de niveau 2 a été menée pour obtenir :

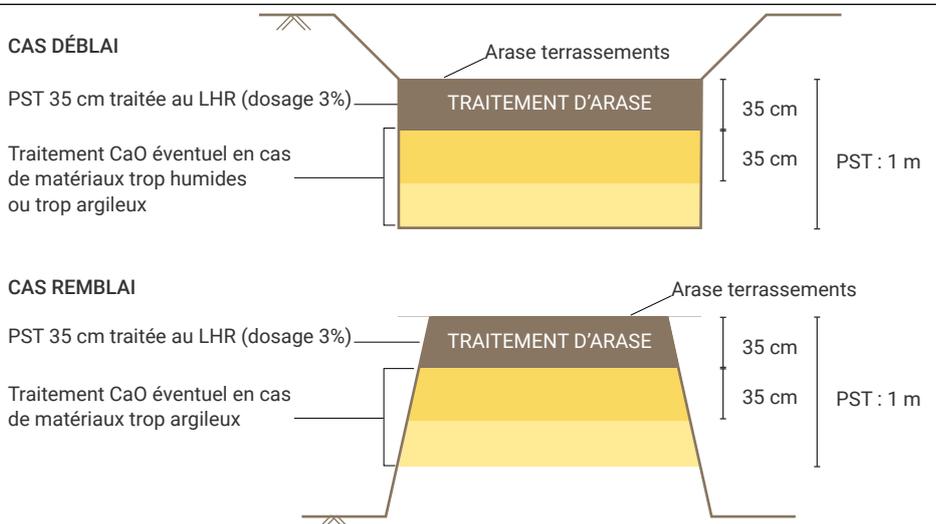
- Une plate-forme support de classe PF3 ;
- Un matériau traité de classe mécanique 5.

En termes de performances mécaniques et de comportement au gel, les objectifs recherchés étaient les suivants :

- > Pour la PST inférieure : matériau traité à la chaux vive présentant une pente de gonflement au gel $p < 0,25 \text{ mm} / (^\circ\text{C}\cdot\text{h})$ 1/2, peu gélif, classé SGp selon la norme NF P98-086.
- > Pour la PST supérieure : matériau traité systématiquement au LHR et présentant une résistance $R_{tb} > 0,25 \text{ MPa}$, non gélif, classé SGn selon la norme NF P98-086.
- > Pour la CDF : matériau traité au LHR, présentant une résistance $R_{tb} > 0,25 \text{ MPa}$, non gélif, classé SGn selon la norme NF P98-086 et de classe mécanique 5 au sens du GTS.

L'objectif était de trouver un liant adapté à chaque type de sol afin de garantir les performances mécaniques visées, tout en prenant en compte les contraintes spécifiques de mise en œuvre du chantier. Le choix s'est finalement porté sur un LHR dont le délai de maniabilité était cohérent avec les exigences du traitement en place.

➤ Au niveau de l'arase terrassement.



La solution retenue pour la plate-forme support de chaussée

Les études ont permis de caractériser le matériau traité, de définir les dosages permettant d'atteindre les performances visées et d'établir un dimensionnement de la plate-forme support de chaussée.

Le dimensionnement optimisé des structures de chaussée a été réalisé en prenant comme objectif une classe de plate-forme autoroutière de portance PF3.

Compte tenu des conditions climatiques particulières qui règnent dans les départements de l'Allier et de Saône-et-Loire (indice de gel élevé 200 °C/J) et des épaisseurs optimisées des structures bitumineuses, le dimensionnement de la plate-forme support de chaussée repose sur deux variantes :

- soit une couche de forme granulaire, non gélive, de 50 cm ;
- soit une couche de forme traitée au liant hydraulique routier, non gélive, de 35 cm, avec une PST peu gélive, traitée au liant routier.

Pour optimiser la réutilisation des matériaux du site, le choix a été fait de réaliser les couches supports en matériaux traités au LHR, à savoir :

> **PST inférieure** : matériau traité à la chaux (dosage : 1,5 %) et sur une épaisseur de 35 cm. À réaliser uniquement dans les configurations d'arase nécessitant une amélioration de celle-ci, principalement dans les zones de déblais ou de remblais rasants.

• Objectifs :

- Matériau peu gélif avec pente de gonflement au gel $\leq 0,25$ (soit $Q_g = 4$) ;
- Densification : q3.

• Critères de réception :

- Compacité conforme à la densification q3 ;
- Portance EV2 ≥ 30 MPa.

> **PST supérieure** : matériau traité au LHR (dosage : 3 %) et sur une épaisseur de 35 cm.

• Objectifs :

- Matériau peu gélif ($R_{tb} \geq 0,25$ MPa) ;
- Densification : q3.

> **Couche de forme traitée au LHR** : matériau traité au LHR (dosage : 5 %) et sur une épaisseur de 35 cm.

• Objectifs :

- Matériau non gélif ($R_{tb} \geq 0,25$ MPa) ;
- Densification : q3 ;
- Matériau de classe mécanique 5.

Le choix du liant

Le liant fourni a été formulé spécifiquement pour le projet de l'A79, en lien avec les équipes techniques de CLEA. Ce liant devait pouvoir répondre en termes de composition, de performances mécaniques et de délai de maniabilité. « *Après différentes propositions et divers échanges entre nos laboratoires, le Ligex M4 a été validé* », explique Bruno Classen, directeur de l'agence Routes chez Ciments-Calcia.

CHOIX DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE

Compte tenu des performances escomptées de la plate-forme support de chaussée, la structure de la chaussée est la suivante :

> **Enduit bicouche clouté**, qui assure à la fois la protection de la couche de forme traitée et le collage à l'interface entre la couche de forme et la structure de chaussée.

> **Couche de fondation** en grave-bitume GB4 MAX, de granulométrie 0/14, d'épaisseur 9 cm, comportant 50 % de fraisats d'enrobés (recyclage de matériaux de la RCEA ou de chantiers situés à proximité).

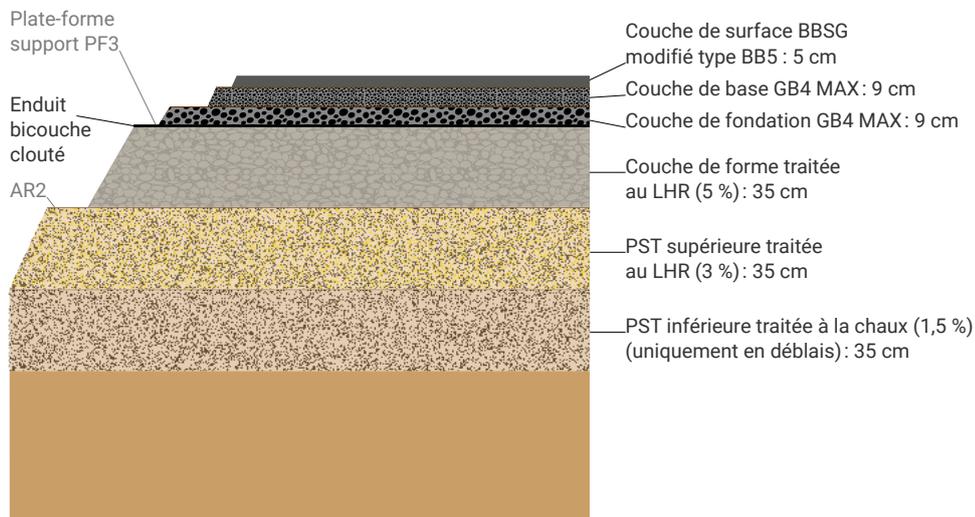
> **Couche de base** en grave-bitume GB4 MAX, de granulométrie 0/14, d'épaisseur 9 cm et comportant 50 % de fraisats d'enrobés (récupérés sur la RCEA ou sur les chantiers des alentours).

> **Couche de surface** en béton bitumineux semi-grenu BBSG modifié de type BB5®, de granulométrie 0/10, d'épaisseur 5 cm et comportant 30 % de fraisats d'enrobés (récupérés sur la RCEA ou sur les chantiers des alentours).

À noter : sur une zone de 4 km, au niveau de Toulon-sur-Allier, la couche de fondation et la couche de base ont été réalisées en grave-bitume de type GB5®.

Le liant fourni a été formulé spécifiquement pour le projet de l'A79, en lien avec les équipes techniques de CLEA. Ce liant devait pouvoir répondre en termes de composition, de performances mécaniques et de délai de maniabilité.

➤ Coupe en travers-type de la structure de l'A79.



RÉALISATION DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Phasage du chantier

Les travaux ont commencé, en août 2020, par les opérations de décapage de la terre végétale et de mouvement des sols pour modeler le terrain. « Les travaux des TOARCS C et D ont été lancés simultanément avec les quatre métiers (chaussées; ouvrages d'art; génie civil; équipements). La durée des travaux a été fixée à deux ans. Pour tenir ces délais, l'entreprise a dû s'organiser efficacement et mettre en place une organisation spécifique, tant humaine que matérielle », précise Olivier Prinnet, directeur des travaux chez Eiffage.

Plusieurs spécificités marquent ce tronçon :

- > il fait 51,5 km et impose de longues distances à parcourir, en particulier par la route.
- > il compte la réalisation de 8 viaducs.
- > la traversée de la route nationale (RN7).
- > la réalisation de 7 échangeurs sur le linéaire divise le chantier en plusieurs zones indépendantes qui contraignent le transport des matériaux traités.
- > peu d'emprises foncières: complication de la gestion et du stockage des matériaux sur l'itinéraire.

Les travaux de terrassement se sont divisés en trois étapes: travaux de la PST inférieure (35cm) ; travaux de la PST supérieure (35cm) et travaux de la CDF (35cm).

Travaux de la PST inférieure traitée à la chaux

Dans un premier temps, l'arase a été décapée sur une épaisseur de 70 cm, puis mise en dépôt provisoire. Après la scarification, la chaux a été épanchée à l'aide d'un épandeur asservi, à raison de 10 kg/m². Le malaxage du sol et de la chaux a été réalisé sur une épaisseur finale de 35 cm, à l'aide d'un malaxeur tracté. Un réglage avec une niveleuse a ensuite été effectué, puis un compactage à l'aide d'un compacteur VM5 garantissant l'obtention de la compacité visée.

Travaux de la PST supérieure traitée au LHR

Cette opération consiste à acheminer les matériaux depuis le dépôt provisoire et à les répandre sur le site à l'aide d'une niveleuse, de façon à obtenir une épaisseur homogène avant traitement et suffisante pour garantir une épaisseur finale de 35 cm (après traitement, compactage et recoupe). L'utilisation de ces matériaux, issus des déblais, a permis de ne pas puiser dans les ressources naturelles locales. Le LHR Ligex M4 a été ensuite répandu à l'aide d'un épandeur asservi, à raison de 19 kg/m². Le matériau et le liant ont été malaxés à l'aide d'un malaxeur tracté. Enfin, un préréglage avec une niveleuse asservie a été réalisé de façon à obtenir une épaisseur homogène. Cette phase est importante, car un bon réglage ne peut être garanti que s'il y a recoupe de la couche après traitement. Pour finir, le compactage a été réalisé par des compacteurs VM5.

L'utilisation de ces matériaux, issus des déblais, a permis de ne pas puiser dans les ressources naturelles locales.



▲ Les matériaux issus des déblais ont été répandus sur le site à l'aide d'une niveleuse, sur une épaisseur homogène. Puis un épandeur asservi a procédé à l'épandage du LHR Ligex M4.



▲ Le matériau et le liant sont malaxés à l'aide d'un malaxeur tracté.

Travaux de mise en œuvre de la CDF

Sur le chantier, une fois l'arase traitée, l'objectif de portance de la partie supérieure des terrassements (PST) est largement atteint (> 80 MPa). Ensuite, pour réaliser la couche de forme, les matériaux du dépôt provisoire ont été acheminés sur site (approvisionnement avec reprise sur stock à l'aide d'une pelle sur chenilles et de tombereaux articulés). Cette opération est suivie du réglage du matériau sur 40 cm, pour une épaisseur finale de 35 cm, afin de tenir compte du compactage et de la recoupe finale. Un pré-réglage avec une niveleuse asservie a ensuite été réalisé, de façon à obtenir une épaisseur homogène avant traitement. Cette phase est également très importante, car un bon réglage ne peut être garanti que s'il y a recoupe de la couche après traitement. Aucun apport n'est possible dans la phase de réglage final. « Une étape-clé a été la parfaite humidification du matériau. Pour obtenir une teneur en eau optimale, nous avons utilisé un malaxeur équipé d'un système d'injection d'eau dans la cloche, et ce préalablement aux opérations de traitement de la couche », explique Olivier PRINET d'Eiffage.

Cette opération a été suivie par le traitement proprement dit. Celui-ci a été réalisée en deux temps :

- > Un épandage du LHR Ligex M4, à raison de 5 % (soit 30 kg/m²), à la surface du matériau a été réalisé en deux passes, à l'aide d'un épandeur autotracté.
- > Un malaxage à l'aide de la machine type Wirtgen 240 ou similaire. Le matériau a été ensuite remis en forme.

Trois types de compacteurs ont été utilisés afin d'atteindre l'objectif q3 fixé : à bille lisse, à pieds dameurs (pour limiter le feuilletage), puis à pneus (pour donner un bel uni). « Une niveleuse assistée par GPS effectue le réglage par recoupe de la couche traitée, pour obtenir un résultat au centimètre près. On acquiert ainsi un très bon uni et un profil en long très régulier », ajoute Olivier Prinet.

Un enduit de cure bicouche clouté a été ensuite appliqué pour, d'une part, protéger la couche de forme et assurer la bonne prise hydraulique du mélange et pour, d'autre part, garantir l'obtention d'un bon collage à l'interface entre la couche de forme et la couche de fondation.



▲ Malaxage à l'aide d'un pulvimixeur.



▲ Compactage à l'aide de compacteurs à bille lisse.



▲ Le compacteur à pneu permet de donner un bel uni.



↑ Contrôle du compactage au gamma-densimètre.

Contrôles

De nombreux contrôles ont été réalisés au cours du chantier afin de s'assurer des caractéristiques mécaniques visées.

Des contrôles de portance ont ainsi été réalisés pour la PST inférieure, traitée à la chaux vive, permettant de valider la classe d'arase obtenue.

Lors des travaux de la PST supérieure, traitée au LHR, la validation de la classe d'arase a été permise par des contrôles de portance couplés à des vérifications de densification au gammadensimètre.

CONTRAINTES TECHNIQUES DU CHANTIER

Approvisionnement en eau

Point crucial dans la mise en œuvre des matériaux traités : « L'humidification et l'arrosage doivent être constamment contrôlés afin de maintenir le bon état hydrique des matériaux. Plusieurs points d'approvisionnement ont donc été aménagés tout au long du tracé », explique Olivier Prinet.

Délai de maniabilité et logistique de livraison du Ligex M4

« Le Ligex M4 est un liant à base de clinker. Sa composition permet d'obtenir une cinétique rapide de montée en performance, tout en bénéficiant d'un délai de maniabilité adapté à une mise en œuvre des travaux de traitement des sols en place », précise Bruno Classen, chef de l'agence Routes de Ciments-Calcia.

Au total, ce sont 35 000 t qui ont été livrées sur la période concernée, relativement longue, compte tenu de l'importance du chantier, mais également des conditions restrictives dues à la pandémie de coronavirus. « Les livraisons ont débuté en Mai 2021 et se sont achevées à la mi-octobre 2021. Cependant, l'activité a connu son pic entre les mois de juillet et de septembre. Les cadences de livraison ont été très variables selon l'avancée des travaux. Certaines cadences journalières ont pu atteindre 300 tonnes », souligne Wilfrid Beck, technico-commercial chez Ciments-Calcia.

La logistique a été un élément-clé de la réussite de ce chantier pour Ciments-Calcia : la bonne communication entre les équipes de traitement d'Eiffage et de Ciments-Calcia a permis une fluidité des livraisons.

BILAN

« Ce chantier a été un défi du point de vue de l'organisation – en particulier, au regard de la longueur du tracé et des nombreux ouvrages qui le jalonnent – et du respect des enjeux environnementaux », précise Christophe Sandre.

En outre, il a été impacté par la crise du Covid-19 et par une météo pas toujours clémente... « Mais les équipes soudées et un bon enchaînement dans les diverses étapes du processus ont permis de relever ce défi ! » se félicite Christophe Sandre.

La couche de forme a été terminée à la mi-octobre 2021, pour une mise en service prévue à l'automne 2022. ■

EN QUELQUES CHIFFRES

> **Longueur** : 52 km dont 6,9 km en requalification et 45,1 km en élargissement

> **Déblais** : 1 800 000 m³

> **Remblais routiers et paysagers** : 1 200 000 m³

> **LHR Ligex M4** : 35 000 t

> **PST traitée au LHR** : 185 000 m³

> **CDF traitée au LHR** : 200 000 m³

LIENS UTILES

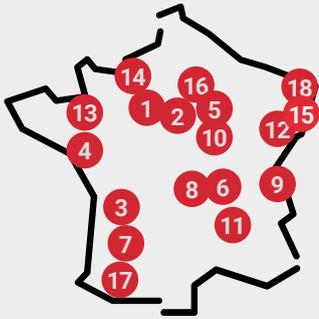
> **Société Autoroute de liaison Atlantique-Europe (Aliae)**
<https://www.autoroute-a79.fr>

> **Eiffage**
<https://www.eiffage.com>

> **Ciments-Calcia**
<https://www.ciments-calcia.fr>

> **Infociments Routes**
<https://www.infociments.fr/route>

Quelques références de chantiers de traitement des sols



Vidéos et logiciels

À retrouver sur infociments.fr

Journées techniques LHR

À retrouver sur infociments.fr

Ces journées d'information sur la valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques routiers s'adressent à tous les acteurs concernés par la construction et l'entretien des routes : les élus et leurs services techniques, les bureaux d'études et tous les professionnels de la route.

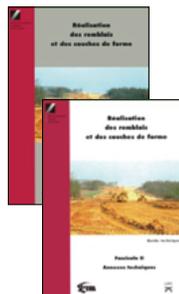
Bibliographie

À retrouver sur infociments.fr

T 70

Terrassements et assises de chaussées
Traitement des sols aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013

Références SETRA/LCPC



Guide technique

Réalisation des remblais et des couches de forme
Fascicule I et fascicule II
SETRA / LCPC, 2000

Guide technique

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000

Guide technique

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises de chaussées
SETRA / LCPC, 2007

Direction de la publication : François Redron
Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo
Reportages, rédaction : Joseph Abdo, Étienne Diemert

Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T
Crédits photos : EIFFAGE

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton : 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01 55 23 01 00 - E-mail : centrinfo@cimbeton.net



REMUE-MÉNINGES #04

Problème posé : la diversité du temps (Partie 1)

« Cette semaine sera globalement plus sèche et plus lumineuse, même s'il faut s'attendre à un bref intervalle neigeux sur l'Île-de-France mardi. Mais rien à voir avec la semaine passée, qui a été dominée par la présence d'une couverture nuageuse accompagnée de temps à autre de chutes de pluie. En revanche, le soleil sera indécis tout au long de la semaine prochaine, avec une alternance quasi systématique de jours lumineux et d'autres couverts. »

Cet exemple de bulletin météo illustre bien la diversité du temps, sans oublier que, dans la même journée, on peut avoir des alternances de situations météo en nombre extrêmement élevé. Peut-on, dans ces conditions, évaluer le nombre de semaines avec des alternances de temps différents ? La réponse est, en principe, oui. Mais ce nombre dépendra du nombre d'indices retenus pour caractériser le temps.

Pour simplifier le problème, caractérisons le temps à l'aide d'un seul indice : le ciel est-il couvert ou dégagé ? Autrement dit, distinguons seulement les jours clairs et les jours nuageux. Peut-on, dans ces conditions, avoir beaucoup de semaines avec des alternances de temps différents ? À première vue, non. Au bout de quelques semaines, toutes les combinaisons de jours clairs et de jours nuageux seront probablement épuisées, et l'une des combinaisons déjà observées se répètera inévitablement.

Calculez alors le nombre de semaines avec des alternances de temps différents pour un seul indice.

(Réponse dans le prochain numéro : Routes Best Of 2021, parution janvier 2022.)

SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES #03

Problème posé : une équipe de faucheurs

Une équipe de faucheurs avait à faucher deux prés dont l'un était deux fois plus grand que l'autre. Durant une première moitié de la journée, l'équipe entière a fauché une partie du grand pré. Puis elle s'est scindée en deux parties égales. Une première moitié des fau-

cheurs a poursuivi le travail sur le grand pré, qu'elle a fini de faucher en fin de journée. La seconde moitié de faucheurs s'est attaquée au petit pré, mais qu'elle n'a pas réussi à finir en fin de journée. Il en est resté une parcelle qu'un faucheur a terminé le lendemain, en y travaillant toute la journée.

Combien de faucheurs y avait-il dans l'équipe ?

Solution

Soit « F » le nombre de faucheurs.

Soit « a » l'aire fauchée par un faucheur en un jour.

Exprimons l'aire du grand pré à l'aide de « F » et de « a ».

Si « F » faucheurs ont travaillé sur le grand pré pendant une demi-journée, ils ont alors fauché :

$$F \cdot a \cdot 1/2 = F \cdot a/2 \quad (1)$$

Pendant la seconde partie de la journée, la moitié de l'équipe, soit « F/2 » faucheurs, est restée sur le grand pré. Elle a par conséquent fauché :

$$(F/2) \cdot a \cdot 1/2 = F \cdot a/4 \quad (2)$$

Puisqu'en fin de journée le grand pré était fauché, on peut donc calculer l'aire du grand pré en additionnant les équations (1) et (2) : Aire du grand pré :

$$F \cdot a/2 + F \cdot a/4 = F \cdot a \quad (3) \quad (4)$$

Exprimons maintenant l'aire du petit pré à l'aide de « F » et de « a ». Si « F/2 » faucheurs ont travaillé sur le petit pré pendant une demi-journée, ils ont alors fauché :

$$(F/2) \cdot (1/2) \cdot a = F \cdot a/4 \quad (4)$$

Puisqu'en fin de journée le petit pré n'était pas totalement fauché, il en restait une parcelle qui a nécessité le travail d'un faucheur sur une journée entière :

$$1 \cdot a \cdot 1 = a \quad (5)$$

On peut donc calculer l'aire du petit pré en additionnant les équations (4) et (5) :

$$F \cdot a/4 + a = (F \cdot a + 4 \cdot a)/4 \quad (6)$$

Il ne reste plus qu'à traduire en langage algébrique la phrase de l'énoncé « Le grand pré était deux fois plus grand que le petit pré » : Equation (3) = 2. Equation (6)

$$F \cdot a \quad (3/4) = 2 \cdot (F \cdot a + 4 \cdot a)/4$$

$$F \cdot a \quad (3/4) = (F \cdot a + 4 \cdot a) \cdot 1/2$$

$$D'où : F = 8$$

Il y avait donc 8 faucheurs dans l'équipe.



AGENDA / JOURNÉES TECHNIQUES CIMBÉTON 2022

OPTIMISER VOS PROJETS ROUTIERS TRAVAUX NEUFS ET ENTRETIEN

> Le matin : conférences techniques sur la valorisation des matériaux en place à froid aux liants hydrauliques.

> L'après-midi :

- Conférences techniques sur des applications routières spécifiques en béton (carrefours giratoires ; plate-forme de stockage en béton ou en béton compacté routier [BCR] ; plate-forme de bus à haut niveau de service [BHNS]).

- Présentation de l'éco-comparateur PERCEVAL, suivie d'une étude de cas.

LIEUX

Lyon : 24 ou 29 ou 31 mars 2022.

Nancy : 10 ou 17 mai 2022.

Lille : 30 juin ou 5 juillet 2022.

Rouen : 20 septembre 2022.

Nantes : 19 octobre 2022.

Montpellier : 24 ou 29 novembre 2022.

Invitations disponibles sur simple demande auprès de CIMBéton.

Ce calendrier est susceptible de modification selon l'évolution de la situation épidémique. Chaque journée sera effectuée dans le respect du protocole sanitaire en vigueur.