

ESCALLES

PAS-DE-CALAIS (62)



#mieuxcirculer #esthétique #durabilité #chantier #bétonarmécontinu



Béton Armé Continu



2 100 m²



Pas-de-Calais

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Conseil départemental du Pas-de-Calais

Assistance : cabinet Élise et Martin Hennebicque

Maîtrise d'œuvre

Conseil départemental du Pas-de-Calais

Entreprise

Eiffage Route Nord-Est (agence de Coquelles)

Mise en œuvre du BAC

Intersol

Fournisseur du béton

Cemex

Fournisseur du ciment

EQIOM (Calais)

PHOTO D'OUVERTURE : Vue aérienne du chantier : alimentation du béton à la pompe.



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

Le Béton Armé Continu (BAC) est mis en œuvre pour la première fois dans le département. Choisi pour son esthétique et sa durabilité, il est utilisé pour rénover un ancien chemin agricole à Escalles, au pied du cap Blanc-Nez. Un choix original et innovant, dans le cadre de la valorisation du Grand Site des Deux Caps, une zone littorale protégée de 23 km qui s'étend le long de la côte d'Opale.

SITUATION

À 13 km de Calais et à 29 km de Boulogne-sur-Mer, le village d'Escalles (250 habitants) est situé au pied du cap Blanc-Nez, au milieu du détroit du pas de Calais, face à l'Angleterre. Sur le territoire de cette petite commune, un cran – une ouverture creusée par un cours d'eau – permet d'accéder à l'une des plus belles plages de sable fin de France, au pied d'impressionnantes falaises de 135 m de dénivelé. Surplombés par l'obélisque érigé sur le cap Blanc-Nez en hommage aux marins français et britanniques de la Dover Patrol (la « patrouille de Douvres », qui assura la défense du détroit durant la Première Guerre mondiale), les environs sont le point de départ de nombreuses randonnées via le GR 120, notamment vers l'autre attraction du Grand Site, le cap Gris-Nez.

ÉTAT DES LIEUX

Tracé au bas de terrains agricoles fertiles (betteraves et pommes de terre), un ancien chemin – baptisé rue de la Mer – relie le village d'Escalles au cran du même nom et à sa plage. D'une largeur de 5,20 m, il mesure 445 m de long. Orientée sud-est côté terre, la voie, très dégradée, recueille les eaux de ruissellement qu'elle évacue en partie vers la mer au nord-ouest. Vétuste, elle est empruntée par les engins des cultivateurs, surtout au moment des récoltes. Elle est également fréquentée par les voitures des promeneurs dès les beaux jours. Juste avant la descente vers la mer, ses bas-côtés servent de parking pour les véhicules légers.

Au fil des ans, la rue de la Mer a été régulièrement rechargée, ce qui a déstructuré ses profils en long et en travers, la rendant difficilement praticable par endroits.

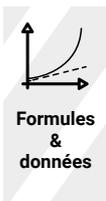
Du point de vue visuel, les vestiges d'un blockhaus allemand de la Seconde Guerre mondiale situé à l'entrée de la plage et l'émergence d'une station d'épuration dans la perspective du monument dédié à la Dover Patrol ont un impact malencontreux sur le paysage, par ailleurs splendide.

OBJECTIFS

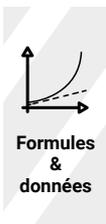
En 2017, après mûres réflexions et de nombreuses consultations, le département du Pas-de-Calais a lancé le projet d'aménagement de la zone située au pied du cap Blanc-Nez. Cette opé-



↑ L'aménagement est destiné à permettre aux visiteurs d'accéder facilement à la plage située aux pieds des falaises.



Le cap Blanc-Nez est la falaise la plus septentrionale de France. Il date de 70 millions d'années. Ses parois (de craie et de marne) s'élèvent jusqu'à environ 150 m de hauteur. Associé au cap Gris-Nez voisin, il fait partie du réseau des Grands Sites de France depuis 1987.



Les premières couches de roulement en Béton Armé Continu ont été réalisées en France, à partir de 1983, en renforcement des chaussées en béton type « dalles californiennes » de l'autoroute A6. À partir de 1988, le BAC a été utilisé en construction neuve sur l'autoroute A 71.

L'utilisation du Béton Armé Continu (BAC) dans le chantier du Cran d'Escalles est une première pour le département du Pas-de-Calais. Un choix justifié par son esthétique (sa couleur claire s'intègre parfaitement au paysage), sa durabilité (30 ans au minimum) et l'absence d'entretien.

ration dite de « requalification paysagère du cran d'Escalles » prévoit la rénovation de la rue de la Mer. Elle prolonge différents travaux visant à valoriser le Grand Site des Deux Caps, site classé qui s'étend sur huit communes, soit 23 km de façade littorale, du cap Gris-Nez au cap Blanc-Nez.

Principaux objectifs poursuivis :

- > requalifier la chaussée pour améliorer et sécuriser la circulation des engins agricoles et des promeneurs à pied.
- > réduire l'emprise automobile en facilitant l'accès piétonnier au littoral.
- > améliorer l'intégration paysagère de la voie, tout en préservant l'environnement.

Cette opération délicate doit prendre en compte les nombreuses contraintes imposées par la loi littoral (qui encadre l'aménagement des côtes) et par le classement européen Natura 2000 du site (pour la préservation de la flore et de la faune).

LES SOLUTIONS ENVISAGÉES

Plusieurs options étaient techniquement possibles pour la requalification de la rue de la Mer, dont une déconstruction-reconstruction classique. La difficulté consistait à tenir compte de la sensibilité environnementale du site, en minimisant notamment l'impact des travaux, afin d'obtenir l'accord de la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal) des Hauts-de-France.

En octobre 2019, une journée technique est organisée à Lille par CIMbéton, en partenariat avec le Cerema. Plusieurs réalisations récentes, notamment l'aménagement de la place de l'Entonnoir à Berck-sur-Mer (Pas-de-Calais), y sont évoquées. Réalisé en front de mer avec des contraintes environnementales importantes, ce chantier inspire la solution finalement retenue pour le cran d'Escalles. Bénéficiant de projections numériques très poussées et de l'assistance à maître d'ouvrage du cabinet paysagiste Élise et Martin Hennebicque (Amiens), spécialisé dans le patrimoine et le paysage, le projet obtient le feu vert de la Dreal des Hauts-de-France.

LE PROJET RETENU

Il comporte plusieurs volets.

> Redéfinition de la rue de la Mer en « promenade à la mer »

Le projet d'aménagement redéfinit le rôle de la rue de la Mer dans le cadre du site du cap Blanc-Nez. S'il garde sa fonction agricole, l'ancien chemin est désormais considéré comme une « promenade à la mer », à l'instar des esplanades que l'on trouve sur la côte d'Opale, à Berck-sur-Mer ou à Sangatte. Seule différence : si elle permet bien l'accès au littoral, elle n'est pas parallèle mais perpendiculaire à la mer.

> Choix du Béton Armé Continu (BAC)

Il s'agit d'une première dans le Pas-de-Calais. Le projet de requalification de la rue de la Mer a recours à du Béton Armé Continu (BAC), sur une épaisseur de 18 cm. Un choix justifié d'abord par son esthétique (sa couleur claire s'intègre parfaitement au paysage), sa durabilité (trente ans au minimum) et l'absence d'entretien (pas de joints, donc pas de présence de végétaux à tondre ou à tailler). Même si ce n'est pas l'argument principal, le passage saisonnier d'engins agricoles très lourds conforte ce choix (classe de trafic T7, inférieur à 2 PL/j, pour une classe de portance de la plate-forme support de chaussée de PF2, soit un module EV2 compris entre 50 et 80 MPa).

> Redimensionnement

Afin de souligner sa vocation de voie piétonne, la rue de la Mer voit sa largeur réduite de 5,20 m à 4 m, avec des bas-côtés enherbés, ce qui n'empêche pas les engins agricoles de circuler. Pour mieux se fondre dans le paysage, elle ne dispose d'aucune signalétique particulière.

> Déplacement de la zone de parking

Les places de parking à proximité du littoral sont supprimées. Une nouvelle aire d'accueil des véhicules légers (qui atteindra 190 places) est désormais située à la sortie du village. À proximité immédiate, un enrobé de couleur claire et une chaussée à caniveau central matérialisent la transition entre la zone urbaine et la nouvelle « promenade à la mer ». Côté nord, un parking extensif de 114 places, réalisé avec un mélange terre-pierre, a été prévu.

L'entreprise Eiffage Route Nord-Est de Coquelles est chargée du chantier, sous la forme d'un marché à bons de commande. Après s'être rapprochée de ses collègues d'Alsace, qui avaient réalisé une prestation similaire, elle a confié la réalisation de ces travaux à l'entreprise alsacienne Intersol, basée à Bischoffsheim (Bas-Rhin).

MISE EN ŒUVRE

Préalablement aux travaux, le blockhaus datant de la Seconde Guerre mondiale est détruit. Durée du démantèlement : trois semaines. La mise en œuvre du revêtement en BAC se fait en plusieurs étapes.

Reprofilage de la voie

Rechargé au fil des ans, l'ancien chemin agricole comporte de nombreuses bosses. Des travaux de purge ont été réalisés afin d'uniformiser la portance du support et lui conférer une portance minimale de 50 MPa. En outre, des travaux de reprofilage ont été entrepris afin d'obtenir un profil en long et un profil en travers conformément aux caractéristiques géométriques du projet. Après un compactage soigné de la plate-forme support, il a été réalisé un enduit superficiel dont la fonction principale est d'assurer l'étanchéité de la plate-forme support.

Coffrage et pose d'un film de polyane

Un coffrage est disposé de part et d'autre de la voie, sur des tronçons de 60 m. Le montage correct des coffrages est assuré au moyen de piquets solidement enfoncés dans le sol et disposés à intervalles de 5 mètres environ et matérialisant l'implantation du tracé du projet. Les points correspondant au niveau supérieur des coffrages sont visualisés sur les piquets. On les relie ensuite par un cordeau qui détermine le niveau des coffrages et de leur emplacement.

Les coffrages sont ensuite posés directement sur la plate-forme support et fixés au sol par des fiches dont l'espacement est inférieur à 1 mètre. On procède à l'assemblage des éléments à l'aide des broches de liaison. Une dernière opération consiste à enduire soigneusement d'huile, les faces intérieures des coffrages afin d'éviter de provoquer des arrachements du béton lors du décoffrage.

Un film de polyane est déroulé entre les coffrages sur l'enduit superficiel.



⤴ Préparation de la plate-forme support : purge, reprofilage, travaux d'assainissement, compactage et enduit superficiel.



⤴ Aspect fini de la plate-forme support.



⤴ Après avoir posé les armatures longitudinales sur les distanciers, l'équipe les ligature avec un recouvrement de 64 cm.

Ferraillage

Les armatures destinées au revêtement en Béton Armé Continu d'épaisseur 18 cm sont de deux types :

- > Des armatures en acier à haute adhérence de longueur 6 mètres et de diamètre 16 mm qui vont être positionnées, dans le sens longitudinal de la voie, à la fibre neutre du revêtement en béton.
- > Des armatures en acier à haute adhérence de diamètre 3 mm qui vont être assemblées par trois pour créer des supports ou distanciers dont la section est de forme triangulaire et dont la hauteur est exactement de 8 cm. Ces supports sont destinés à être positionnés dans le sens transversal de la voie à bétonner et espacés d'un mètre.

Ces armatures ont été approvisionnées sur chantier en bottes et assemblées in situ pour confectionner les supports (ou distanciers) et les panneaux (ou treillis) d'armatures longitudinales. Ces éléments sont dimensionnés pour couvrir la largeur de la voie à bétonner, soit 4 mètres.

Les panneaux d'armatures longitudinales sont ensuite assemblés aux supports (à raison d'un support tous les mètres) et ligaturés à raison d'au moins une fixation sur deux. Ces panneaux d'armatures longitudinales associés aux supports sont soigneusement stockés sur le chantier. Ils seront transportés au fur et à mesure de l'avancement du chantier pour être placés sur le fond de forme avant le bétonnage, en observant un recouvrement des armatures longitudinales sur une longueur de 40 fois le diamètre (soit $40 \times 16 \text{ mm} = 640 \text{ mm}$ ou 64 cm). Les armatures longitudinales sont ensuite fixées à l'aide de deux ligatures par recouvrement.

Coulage du béton

Il débute le 2 juin, au plus près du littoral, à l'entrée du cran. Il s'effectue à la pompe par précaution. En effet, en cas de précipitations, les accotements de l'ancien chemin agricole deviennent vite impraticables pour les toupies. Inconvénient de ce choix : le coulage ne peut s'effectuer que par section quotidienne de 60 m, soit une surface d'environ 270 m² et un volume de 48,6 m³ équivalent à six ou sept toupies. Il faut ensuite faire reculer la pompe et préparer un nouveau tronçon pour le lendemain afin de progresser en direction du village. Le béton est directement appliqué sur l'ancienne chaussée.



⬆ Bétonnage : alimentation du béton à la pompe, régalage au râteau, suivi du serrage du béton à l'aiguille vibrante.



⬆ L'étalage du béton s'effectue à l'aide de différents outils : râteau, épandeur ou lissarde.



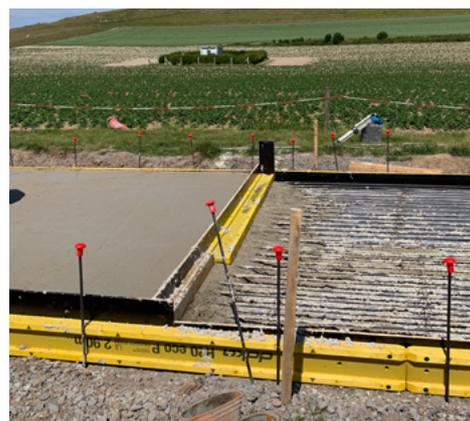
⬆ Deux lisseuses mécanisées (hélicoptères) achèvent le lissage fin.



⬆ Pulvérisation d'un produit de cure à la surface du béton frais pour le protéger de la dessiccation.



⬆ Aspect du BAC après lissage à l'hélicoptère.



⬆ Pose d'un joint d'arrêt de bétonnage provisoire en fin de journée.

Formule du béton

Le béton est fourni par la centrale BPE de Cemex à Calais. Il s'agit d'un Nuantis Classic, ciment de haut-fourneau adapté à des environnements difficiles et réputé durable (désignation : BPS NF EN 206/CN C30/37 XF2(F) Dmax 20 S3 CL0 65). Il est de couleur sable beige, rappelant les calcaires du cap Blanc-Nez. Sa composition tient compte de l'environnement marin et de son action corrosive.

Le ciment est produit par EQIOM à Calais. Les granulats proviennent de la région : un sable 0/4 dû au producteur local Sagrex, et un granulat concassé 6,3/20 de la carrière de Vallée Heureuse à Marquise, située à une vingtaine de kilomètres d'Escalles.

Aiguille vibrante et talochage manuel

Approvisionné à la pompe, le béton est mis en place à l'aiguille vibrante, pour évacuer les poches d'air qui peuvent se former au niveau des armatures et améliorer sa compacité. Puis il est surfacé à la taloche manuelle. Enfin, lorsqu'il a suffisamment fait prise, deux hélicoptères – l'un de grandes dimensions (1 m de diamètre), l'autre plus petit (50 cm) – achèvent le talochage et le lissage fins.

⊕ Consultez le mémo technique sur le BAC en annexe.



↑ Aspect du BAC après pulvérisation du produit de cure.

Cure

Pour finir, un produit de cure est pulvérisé à la surface du béton frais pour le protéger de la dessiccation.

Absence de joints

Compte tenu du séquençage du chantier, des joints d'arrêt et des reprises de bétonnage sont pratiqués. Mais aucun joint de retrait transversal ou de dilatation n'est prévu. En outre, il n'y a pas de joint de retrait longitudinal car le revêtement est de largeur 4 m.

La phase de coulage s'est achevée le 12 juin.

Traitement de surface

Le grenailage (abrasion de la surface par projection) a été choisi comme finition de surface, de préférence à la désactivation, pour éviter les effluents (pas de rejet dans le milieu marin ni dans la zone Natura 2000). Il devait être réalisé entre le quinzième et le vingt et unième jour suivant le coulage. Trois planches d'essais ont été réalisées. Elles ont permis d'opter pour un grenailage d'intensité moyenne afin d'obtenir une uniformité visuelle et un aspect « sable » en surface, sans faire apparaître le granulat.

Après grenailage d'une petite partie du revêtement en BAC, le rendu final s'est avéré peu satisfaisant (déchaussement et départ des granulats). La décision a donc été prise d'appliquer sur la partie restante un traitement de surface par ponçage léger qui a donné l'aspect visé.

Séchage

Une durée de séchage de vingt et un jours a été prévue, avant réouverture à la circulation.

Météo

Le chantier a bénéficié d'une météo très favorable, avec un beau temps sec et une seule journée d'intempéries, le 10 juin.

BILAN

Parfaitement intégrée à son environnement, esthétiquement qualitative, pratique, polyvalente et prévue pour défier le temps, la nouvelle rue de la Mer d'Escalles a été achevée pour l'ouverture de la saison estivale de 2020. Les vacanciers du Grand Site des Deux Caps sauront l'apprécier. Vu cette première, nul doute que ce chantier en préfigure d'autres dans le département du Pas-de-Calais ! ■

LIENS UTILES

> Département du Pas-de-Calais

<https://www.pasdecalais.fr>

> Ville d'Escalles

<https://www.escalles.fr>

> Les Deux Caps : Grand Site de France

<http://www.lesdeuxcaps.fr>

> Infociments Routes

<https://www.infociments.fr/route>

> Eiffage

<https://www.eiffageinfrastructures.com>

> Intersol

<http://www.intersol-web.com>

> Cemex

<https://www.cemex.fr>

> EQIOM

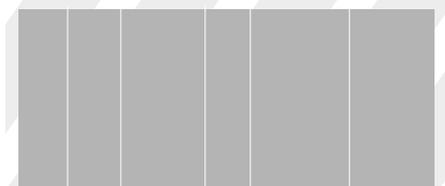
<https://www.eqiom.com>

➤ Coulage du béton sur la rue de la Mer avec vue sur le cap Blanc-Nez et l'obélisque à la mémoire de la Dover Patrol. Le débattement de la pompe limite le coulage à des sections de 60 mètres par jour (environ 270 m², soit la capacité de six ou sept toupies).





▲ Figure 1. Schéma illustrant le comportement d'un revêtement en béton exécuté sans armatures longitudinales et sans joints de retrait transversaux. Conséquences : fissuration large, anarchique et aléatoire.



▲ Figure 2. Schéma illustrant le comportement d'un revêtement en béton, exécuté sans joints mais doté d'une nappe d'armatures longitudinales continues. Conséquence : fissuration fine et contrôlée.

1 • Qu'est-ce que le Béton Armé Continu BAC ?

Le Béton Armé Continu BAC est un revêtement de chaussée en béton de ciment qui comporte des armatures longitudinales, continues et disposées en nappe, en général à mi-épaisseur de la dalle béton.

2 • Pourquoi le Béton Armé Continu ?

Le Béton Armé Continu est un concept de chaussée dont le but est de contrôler le retrait du béton et de conférer au revêtement toutes les qualités requises sur le plan technique et sur le plan fonctionnel.

En effet, un revêtement en béton de ciment, exécuté sans armatures longitudinales et sans joints de retrait transversaux, se fissure d'une façon aléatoire (Cf. *Figure 1*) sous l'action des contraintes provoquées par le retrait du béton (Cf. Routes Info #05 – Mémo technique pour plus de détails).

Une des méthodes, destinées à contrôler cette fissuration, consiste à utiliser des armatures longitudinales, continues et placées à un certain niveau au sein du revêtement en béton (Cf. *Figure 2*). Cette technique porte le nom de Béton Armé Continu BAC.

3 • Le concept de Béton Armé Continu BAC

La philosophie à la base de cette technique est de laisser le revêtement se fissurer transversalement sous l'action conjuguée du retrait du béton et du frottement du revêtement sur la plateforme support. Les armatures longitudinales, barres d'acier à haute adhérence, sont prévues pour contrôler, répartir cette fissuration transversale et pour conserver l'intégrité structurelle du revêtement. La quantité d'armatures longitudinales est calculée de manière à obtenir un grand nombre de fissures transversales, dont les espacements se répartissent dans la fourchette 0,60 – 1,50 m, et suffisamment fines (0,5 mm au maximum) pour empêcher la pénétration de l'eau et pour garantir une bonne imbrication des granulats du béton, assurant ainsi un bon transfert de charges au droit de ces fissures.

Le revêtement en BAC se caractérise donc par l'absence de joints de retrait transversaux. Mais, il comporte, à l'instar des autres revêtements en béton, des joints longitudinaux (si largeur du revêtement est supérieure à 5 m), des joints de construction et des joints de dilatation (en des points particuliers).

Les armatures longitudinales doivent être conformes aux normes NF EN 10080, NF EN 13877-1 et NF P 98 170. En particulier, les armatures longitudinales sont conformes à l'article 6.7 de la norme NF EN 13877-1. Le nombre d'armatures à mettre en place est calculé à partir du taux de ferrailage « P » qui est égal au rapport des sections acier/béton. Le taux de ferrailage « P », le diamètre des armatures ainsi que leur espacement sont donnés dans le paragraphe B.3 de l'Annexe B informative de la norme française NF P 98 170.

4 • Typologie des structures en BAC

En fonction de la destination et en fonction du trafic, les structures en BAC peuvent être :

- > Une structure avec fondation (Cf. *Figure 3*) : la couche de fondation peut être selon les conditions du projet, soit une couche granulaire, soit une couche en grave-liant hydraulique, une couche en béton maigre (BC2 ou BC3), une couche en béton compacté BCR et enfin une couche en grave bitume. Dans ce dernier cas, la structure est désignée par « Chaussée composite ».
- > Une structure sans fondation (Cf. *Figure 4*) : le revêtement en BAC est posé directement sur la plateforme support.

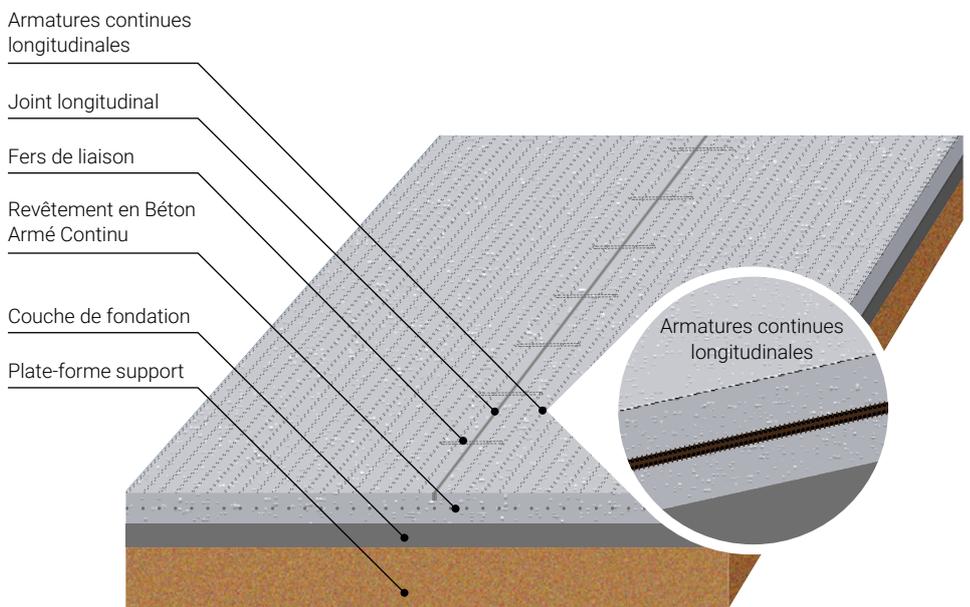
5 • Traitement de surface

Pour conférer au béton les qualités d'adhérence et d'esthétique, plusieurs techniques de traitement de surface sont envisageables : béton balayé, béton désactivé, béton sablé, béton bouchardé, béton coloré, béton hydro-gommé, béton poncé.

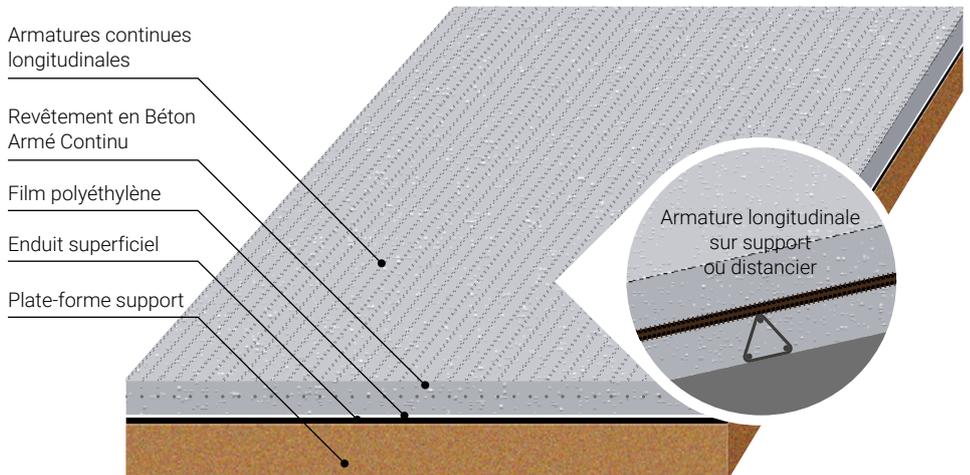
6 • Domaines d'emploi

Le revêtement en BAC est utilisé dans la réalisation des pistes cyclables, des voies vertes, des carrefours giratoires, des routes départementales, des routes nationales et des autoroutes. ☰

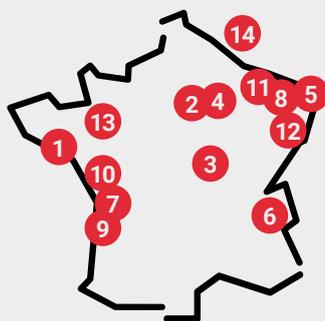
▼ Figure 3. Vue en perspective d'une structure en BAC : cas général pour une largeur supérieure à 5 m et une structure avec fondation



▼ Figure 4. Vue en perspective de la structure réalisée sur le chantier d'Escalles : largeur 4 m et structure sans fondation.



Quelques références de chantiers BAC



Guides techniques

T 50

Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 1 : Conception et dimensionnement

Collection technique, CIMbéton, 2019.

T 52

Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 3 : Cahier des Clauses Techniques Particulières CCTP-Type ; Bordereau de prix unitaire BPU ; Détail estimatif DE CCTP-Type, CIMbéton, 2007.

T 65

Chaussées composites en béton de ciment. Tome 1 : Structures neuves en BAC collé sur GB

Collection technique, CIMbéton, 2008.

Plaquette technique

Chaussées composites en Béton Armé Continu sur fondation en Grave Bitume BAC/GB3. Dépliant

Collection SNBPE - Collection technique CIMbéton, 2020.

Vidéos et logiciels

À retrouver sur infociments.fr

Autres références

Guides techniques

■ Conception et dimensionnement des structures de chaussées SETRA / LCPC, 1994.

■ Chaussées Béton SETRA / LCPC, 1997.

■ Catalogue des structures-types de chaussées neuves SETRA / LCPC, 1998.

■ Fiches de structures composites BBTM/ES/BAC/GB3 (Note Direction des Routes ; 2000). Fiches additionnelles au Catalogue des structures-types de chaussées neuves SETRA / LCPC, 1998.

Normes

Norme NF P 98 086. Dimensionnement des chaussées. Norme NF EN 13877-1. Chaussées en béton - Partie 1 : Matériaux.

Norme NF EN 206/CN. Béton - Spécification, performance, production et conformité. Norme NF P 98 170. Chaussées en béton de ciment - Exécution et contrôles.

■ Direction de la publication : François Redron
■ Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo
■ Rédaction en chef : Charles Desjardins

■ Reportages, rédaction : SCML Médias, Joseph Abdo, Étienne Diemert
■ Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T
■ Crédits photos chantier : Département du Pas-de-Calais, CIMbéton.

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



Conception des projets de voiries et d'aménagements urbains

Principes fondamentaux (Partie 1)

1 • Introduction

Ce mémo technique n'a pas pour objet de proposer un exposé exhaustif sur les voiries et les aménagements urbains en béton. En effet, il existe de nombreux ouvrages dans la « Collection technique Cimbéton »⁽¹⁾, dans les publications du SPECBEA⁽²⁾ ou du SNBPE⁽³⁾ ou du CEREMA (SETRA/LCPC)⁽⁴⁾ ou de l'IDRRIM⁽⁵⁾ qui traitent ce sujet d'une façon complète et approfondie et auxquels les différents acteurs des projets de voiries et d'aménagements urbains en béton peuvent faire appel.

S'adressant plus particulièrement aux concepteurs (Architectes, Urbanistes, Paysagistes, Bureaux d'études publics et privés), ce chapitre met l'accent sur les principes fondamentaux, les exigences et les règles de l'art pour concevoir correctement un projet de voiries ou d'aménagements urbains en béton, tout en soulignant les particularités des bétons utilisés dans ces ouvrages par rapport aux bétons de structure.

Ce mémo technique présente les bétons coulés en place. Ils seront successivement abordés les points suivants :

- > La définition d'un béton coulé en place ;
- > Les sollicitations auxquels ils sont soumis ;
- > Les règles de l'art pour concevoir correctement les ouvrages de voiries et d'aménagements urbains en béton.

2 • Définition

Ce sont des bétons fabriqués en centrale et transportés sur le chantier à l'état plastique. Là, ils sont coulés entre les coffrages, soit directement sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée, soit sur une couche de fondation (cas des voiries à moyen et fort trafics).

Cette plasticité et cette moulabilité confèrent au béton une caractéristique très appréciée en milieu urbain : la possibilité d'épouser toutes les formes requises et de s'accommoder des contraintes de seuils tout en ayant une qualité de finition irréprochable.

Le schéma ci-contre présente la constitution type d'une structure de voirie et d'aménagement urbain en béton tout en précisant la terminologie utilisée.

3 • Les sollicitations

Comparés à un béton traditionnel utilisé dans la structure d'un bâtiment, les bétons de voiries et d'aménagements urbains possèdent les particularités suivantes :

- > Ce sont des bétons « d'extérieur », particulièrement exposés aux agressions des agents atmosphériques, telles les variations de la température, le gel, la pluie, le vent, etc. Cela est vrai, tant pour le béton frais que pour le béton durci.
- > Ce sont des revêtements posés à plat sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée. Ces conditions d'appui, quelque peu particulières, ont une incidence significative sur la conception et le dimensionnement du revêtement.
- > Enfin, ce sont des revêtements appelés à subir des sollicitations directes d'origines diverses : piétons, véhicules à deux roues, patins à roulettes, voitures, bus, poids lourds, etc. Ces sollicitations peuvent être extrêmement agressives, aussi bien sur le plan structurel que sur celui des caractéristiques superficielles.

Compte tenu de ces particularités, les revêtements en béton coulé en place sont le siège de sollicitations qui peuvent être classées en trois catégories :

- > Les sollicitations propres au béton, indépendantes du trafic ;
- > Les sollicitations dues au trafic ;
- > Les sollicitations particulières.

(1) Cimbéton - Centre d'information sur le ciment et ses applications
<https://www.infociments.fr/route>

(2) SPECBEA - Spécialistes de la chaussée en béton et des aménagements
<https://www.specbea.com>

(3) SNBPE - Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi
<https://www.snbpe.org>

(4) CEREMA (SETRA/LCPC) - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
<https://www.cerema.fr>

(5) IDRRIM - Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité
<https://www.idrrim.com>



↑ Coupe en travers-type d'une structure de voirie ou d'un aménagement urbain en béton.

4 • Les sollicitations propres au béton

Dès sa mise en œuvre, le béton – par suite de l'hydratation du ciment – est le siège de phénomènes physiques et chimiques qui amènent sa transformation de l'état plastique à l'état solide. Durant cette phase, le béton subit ses premières sollicitations, qui sont de nature hygrométrique et thermique.

Elles se concrétisent sous forme de retrait hygrométrique et de mouvements thermiques.

Après son durcissement, le béton subira toujours les effets des mêmes sollicitations mais, compte tenu de son état solide, son comportement sera tout à fait différent de celui du béton frais.

4.1 / Les sollicitations du béton frais

4.1.1 / Le retrait hygrométrique

Avant la prise, le retrait hygrométrique – ou « premier retrait » – du béton frais est principalement dû au départ de l'eau présente, soit par évaporation, soit par percolation dans la plate-forme support. Ce phénomène se produit alors que l'eau n'est pas encore fixée chimiquement et physiquement. Le retrait est d'autant plus important que la teneur en eau du béton est élevée, que les conditions atmosphériques sont défavorables (température élevée, vent sec...) et que la plate-forme support est plus absorbante.

En l'absence des dispositions constructives (*Cf. Encart 1*), ce retrait peut entraîner l'apparition de fissures dites de « retrait plastique ». Elles se manifestent, dès les premières heures qui suivent le bétonnage, sous forme de fissures relativement courtes, en général obliques ou longitudinales par rapport à l'axe du revêtement ; leur profondeur peut être importante. En principe, ces fissures n'évoluent pas. En revanche, une perte d'eau excessive peut avoir des conséquences néfastes sur la résistance du béton et en particulier sur sa résistance au gel et aux sels de déverglaçage.

ENCART 1

Règles de l'Art ou dispositions constructives pour réduire le retrait hygrométrique

Dispositions constructives à adopter pour réduire les effets des sollicitations du béton frais, par suite du retrait hygrométrique

- > Limiter la teneur en eau du béton : rapport E/C < 0,45. En effet, pour s'hydrater, le ciment a besoin d'environ 35 % de son poids en eau (de 20 à 25 % étant fixés chimiquement, les 10 % restants étant fixés physiquement par absorption). En d'autres termes, le rapport eau/ciment d'un béton ne devrait théoriquement pas dépasser 0,35. Dans la pratique et compte tenu des moyens utilisés pour la mise en œuvre, on exige que ce rapport soit inférieur à 0,45. Toute eau excédentaire est nuisible car elle est susceptible de s'évaporer et donc d'augmenter le retrait hygrométrique.
- > Protéger le béton frais pour réduire ou annuler l'évaporation de l'eau. Cette disposition peut être assurée soit par la pulvérisation d'un produit de cure, soit par un film polyane.
- > Arroser abondamment la plate-forme support avant le bétonnage, surtout en période de fortes chaleurs, pour éviter la percolation de l'eau du béton.

4.1.2 / Le retrait d'hydratation et le retrait thermique

Dès le début de la prise et du durcissement, le ciment prélève une partie de l'eau pour s'hydrater, et cette hydratation s'accompagne d'une diminution de volume (de l'ordre de 10 %). Le béton se contracte. On dit alors que cette contraction est provoquée par le retrait d'hydratation ou « second retrait ».

De plus, le revêtement est aussi le siège de sollicitations d'ordre thermique, provoquées par les variations journalières de la température ambiante qui peuvent s'ajouter, dans la pratique, aux premières causes de contraction.

Les retraits d'hydratation et thermique se traduisent par des contractions qui se manifestent au sein du revêtement. Mais celles-ci sont empêchées ou freinées par le frottement du revête-

ment sur la plate-forme support et entraînent le développement de contraintes de traction dans le revêtement. Ces contraintes sont proportionnelles à l'amplitude des retraits combinés, à la longueur du revêtement et à la valeur du coefficient de frottement entre béton et plate-forme support. Lorsque, à un moment donné et à un endroit particulier, cette contrainte est supérieure à la résistance à la traction du béton, le revêtement en béton se fissure. ■

ENCART 2

Règles de l'Art ou dispositions constructives pour réduire Le retrait d'hydratation et le retrait thermique

Dispositions constructives à adopter pour réduire les effets du retrait d'hydratation et du retrait thermique

- > Réduire l'amplitude des retraits combinés, ce qui suppose la réduction du retrait d'hydratation et du retrait thermique, mais surtout leur superposition. Le retrait d'hydratation est un phénomène inéluctable pour lequel il n'existe aucun remède. En revanche, on peut réduire le retrait thermique en privilégiant l'utilisation de gravillons calcaires et en évitant ceux qui sont siliceux. En fait, pour réduire l'amplitude de retraits combinés, il faut surtout éviter que le retrait d'hydratation ne se superpose au retrait thermique. Cela peut arriver, en particulier, lorsque le moment – où la vitesse maximale du second retrait – coïncide avec le refroidissement nocturne, dans une période de l'année où les écarts de température entre la nuit et le jour sont forts. La fissuration du béton est, dans ce cas, certaine. C'est le béton mis en place dans la matinée qui se trouve dans cette situation, alors que celui répandu l'après-midi est encore, pendant la nuit, le siège d'un dégagement de chaleur et n'est pas assez âgé pour que le second retrait entre dans sa phase critique au moment où agit le retrait thermique nocturne.
- > Maîtriser le retrait en le concentrant dans des joints ou en utilisant des armatures longitudinales continues dans le revêtement béton (pour plus d'information, voir *Routes Info #05 - Bases techniques*).
- > Réduire le frottement entre le revêtement et la plate-forme support : la réalisation des joints et l'utilisation d'une interface glissante (type feuille de polyane) apportent une réponse à cette exigence.
- > Adapter les dispositions de bétonnage aux conditions climatiques
En cas de fortes chaleurs, et dans le but de se prémunir contre un retrait prématuré du béton, il faut réduire les délais séparant la mise en œuvre du béton et le sciage des joints de retrait. Le bétonnage peut se faire alors le matin avec un sciage en fin de journée ou de préférence, un bétonnage dans l'après-midi avec un sciage le lendemain matin.

La suite dans le Routes Info #06...