

# BLOIS

## LOIR-ET-CHER (41)



Béton  
bouchardé



16 000 m<sup>2</sup>



Loir-et-  
Cher

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Maîtrise d'ouvrage

Ville de Blois

#### Maîtrise d'œuvre

Ville de Blois (assistance à la maîtrise d'ouvrage :  
Sativa Paysage pour les aménagements urbains)

#### Entreprises

Eurovia-Colas (marché 1 et 2), Eurovia-Eiffage  
Route (marché 3)

#### Mise en œuvre du béton décoratif

TAE

#### Fournisseur du béton

Minier Béton

#### Fournisseur du ciment

Ciments Calcia

**PHOTO D'OUVERTURE :** Le pont Jacques-Gabriel,  
construit au XVIII<sup>e</sup> siècle, vu de la rive gauche de Blois.



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

**Le projet d'Aménagement cœur de ville-Loire (ACVL), désormais achevé, consistait à requalifier et à valoriser les espaces publics du centre historique de Blois pour en renforcer l'attractivité résidentielle, commerciale et touristique. Une gageure technique et esthétique parfaitement tenue grâce à un atout majeur : le béton bouchardé.**

## SITUATION

Bâtie à flanc de coteau, sur les rives de la Loire, Blois est le chef-lieu du département de Loir-et-Cher. Cité royale sous Louis XII (1498-1515), la ville a gardé de ce prestigieux passé un important patrimoine culturel avec, notamment, son château, sa cathédrale Saint-Louis et un centre historique remarquable.

## ÉTAT DES LIEUX

Située au cœur du Val de Loire, inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco, Blois a obtenu le label « Ville d'art et d'histoire » en 1986. Mais, au seuil du troisième millénaire, la question de la préservation et de la rénovation des quartiers anciens du centre-ville a commencé à se poser.

Particularité locale : dans cette zone, de nombreuses voies étaient pavées. Historiquement, leur apparition date de la fin du XV<sup>e</sup> siècle. Conformément à l'usage local, les pavés blésois étaient en pierre naturelle calcaire (de Beauce, provenant de Pontlevoy ou de Maves-Conan-Pontijou, carrières situées à une vingtaine de kilomètres), très solide et non gélive. En outre, dans les rues anciennes, les caniveaux étaient également en pavés de grès, provenant du nord du département.

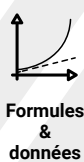
À l'origine, les pavés étaient posés sur un lit de sable et disposés bord à bord. Par la suite, lors de leurs restaurations successives, ils ont souvent été jointés avec du mortier de ciment. Au fil du temps, beaucoup d'aménagements en pavés avaient fini par disparaître ou par être recouverts.

Par ailleurs, datant des années 1970, le plan de circulation nécessitait une révision pour laisser une plus large place aux cyclistes et aux piétons.

En 2012, un diagnostic patrimonial et paysager a été réalisé sur le périmètre concerné. Les principes généraux d'une requalification de l'espace public ont été actés, et une hiérarchisation des phases de travaux a été établie. Dès cette première phase d'étude, les habitants, les usagers, les commerçants, les spécialistes de l'immobilier et les instances municipales ont été consultés lors d'ateliers et de réunions. Puis un comité de pilotage a été créé, réunissant la Fédération blésoise du commerce, de l'artisanat et des services (FBCAS, aujourd'hui les Vitrites de Blois), l'architecte des Bâtiments de France, la Mission Val de Loire, la chambre de commerce et d'industrie ou encore le conseil départemental. Le projet d'Aménagement cœur de ville-Loire (ACVL) voit le jour. Les services techniques de la Ville ont la charge de le concrétiser et de le coordonner.



↑ Blois, quai de la Saussaye, sur la rive droite. La rénovation des trottoirs en béton bouchardé s'est accompagnée de travaux d'embellissement. Ici, une fontaine.



Le choix final s'est porté sur un béton base ciment gris CEM II et granulats calcaires locaux, provenant de la carrière de Pontijou, située à 20 km au nord de Blois, et recouvert d'un produit de protection (Pieri Early Protect VBA).

**Le projet d'Aménagement cœur de ville-Loire (ACVL) prévoyait la recomposition totale des voiries et des espaces publics dans leurs géométries, structures, revêtements et destinations et par la mise en valeur du site grâce à l'utilisation de matériaux et de mobiliers urbains qualitatifs.**

## PROJET

Concrètement, le projet ACVL concerne les deux axes majeurs du cœur de ville :

- > l'axe nord-sud, entre la ville haute et la ville basse (depuis le square Victor-Hugo, au pied du château royal, jusqu'à l'extrémité de l'avenue du Président-Wilson, en passant par l'historique pont Jacques-Gabriel) ;
- > l'axe est-ouest, parallèlement aux deux rives de la Loire (rive droite : rue du Maréchal-de-Lattre-de-Tassigny, place de la Résistance et quai de La Saussaye ; rive gauche : quai Villebois-Mareuil, places Rol-Tanguy et de la Libération, quai Amédée-Contant et rue de la Chaîne).

Il doit se traduire par la recomposition totale des voiries et des espaces publics dans leurs géométries, structures, revêtements et destinations et par la mise en valeur du site grâce à l'utilisation de matériaux et de mobiliers urbains qualitatifs.

## OBJECTIFS

Considéré comme la réalisation-phare de la mandature de 2014 à 2020, le projet ACVL a pour suivi trois objectifs affichés :

- > renforcer les dimensions commerciales, touristiques et résidentielles du centre-ville ;
- > l'ouvrir davantage sur la Loire ;
- > l'élargir vers la rive gauche et le quartier Gare, également en pleine mutation.

Sa philosophie générale vise à donner plus de place aux piétons et aux cyclistes au détriment de l'automobile.

## CONCEPTION ET APPELS D'OFFRES

La conception des aménagements urbains a été confiée au bureau d'étude paysagiste blésois Sativa, le reste de la maîtrise d'œuvre étant assuré par les services techniques de la ville de Blois.

Trois appels d'offres ont été lancés successivement en 2014, 2016 et 2017.

## LE CHOIX DU BÉTON

L'alliance de la pierre et du béton, pour les nouveaux aménagements, résulte d'un choix consensuel entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, en accord avec les architectes des Bâtiments de France (ABF).

Chacun des trois appels d'offres (2014, 2016 et 2017) comportait un lot spécifique « Revêtement béton décoratif » (lot n° 2).

Le premier appel d'offres précisait les points suivants :

- > Choix du ciment : ciment gris de classe 32,5 conforme à la norme NF EN 197-1.
- > Dosage du ciment : 330 kg/m<sup>3</sup> pour les parvis et trottoirs et 350 kg/m<sup>3</sup> pour la voirie.
- > Choix des granulats : granulats calcaires d'origine du Loir-et-Cher, granulométrie 4/10 ou 10/20 (à définir).
- > Granulats de catégorie C III pour les parvis et trottoirs et de catégorie B III pour les voies circulées (celles-ci, souvent des zones de livraison et non de voirie lourde, représentent 5 % des surfaces traitées).
- > Granulats conformes à la norme NF EN 12 620 et classés conformément à la norme NF P 18-545.
- > Béton conforme à la norme NF EN 206/CN.
- > Mise en œuvre du béton : conformément à la norme NF P 98-170.

## LE CHOIX DE LA FINITION : SABLÉ OU BOUCHARDÉ ?

La finition du béton, elle, a fait l'objet d'un arbitrage. « Lors du premier marché en 2014, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre hésitaient sur la finition de surface des bétons : elles avaient à choisir entre sablé ou bouchardé, explique Jean-Yves Gonidec, le dirigeant de TAE, entreprise chargée de la mise en œuvre du béton décoratif. Deux échantillons de béton 40 x 40 cm étaient exigés avec les dossiers de réponse à l'appel d'offres : l'un sablé, l'autre bouchardé. Après adjudication, plusieurs planches d'essais de 12 m<sup>2</sup> chacune ont été proposées à la maîtrise d'ouvrage avec des granulats de tailles et de carrières diverses, une finition sablée et bouchardée et des produits bouche-pores protecteurs différents. Le choix définitif a été fait par un groupe de travail auquel ont participé le maire de Blois, une partie des membres du conseil municipal, les architectes des Bâtiments de France, la maîtrise d'œuvre, mais aussi les services d'entretien et de nettoyage de la ville. »

Le choix final s'est porté sur un béton base ciment gris CEM II et granulats calcaires locaux, provenant de la carrière de Pontijou, située à 20 km au nord de Blois, et recouvert d'un produit de protection (Pieri Early Protect VBA).

Le béton était fibré de SikaFibres antifissures, non armé, sauf sur la dernière tranche de travaux, où, « après retours d'expériences, des aciers ont été mis en œuvre autour de chaque émergence », précise Jean-Yves Gonidec de TAE.

## LE CHOIX DE L'APPLICATEUR

L'entreprise TAE, connue pour avoir travaillé très régulièrement sur des chantiers de VRD classiques, a soumissionné dès le premier appel d'offres (2014) sur le lot « Revêtement béton décoratif » (lot n°2).

TAE a continué à soumissionner à chaque appel d'offres sur le lot no 2. Elle a été retenue pour chaque tranche de travaux.



▲ Quai Amédée-Contant, rive gauche. En plus de l'installation d'un élégant mobilier urbain, une piste cyclable a été créée.

## MISE EN ŒUVRE

Les travaux ont débuté fin 2014.

### Remise à niveau des réseaux

Préalablement au projet, plusieurs marchés avaient été lancés par la ville de Blois et les concessionnaires de réseaux pour la remise à neuf ou la réfection de tous les réseaux existants : assainissement, eaux usées et eaux pluviales, eau potable, électricité, gaz, télécoms, éclairage public...

### Coordination

Pour la réalisation des plans d'exécution, une étroite coordination a été nécessaire entre les entreprises des lots 1, 2, 3 et 4. Les contrôles et les validations des plans étaient assurés par les services techniques de la ville de Blois.

### Phasage des travaux

Le projet ACVL a connu plusieurs tranches de travaux.

Des plans de phasage en adéquation très précise avec les plannings ont été établis pour permettre un enchaînement des lots le plus efficace possible.

La problématique du maintien de la circulation s'est régulièrement posée, notamment lorsque deux entreprises travaillaient en vis-à-vis, de part et d'autre des chaussées.

### Préparation du fond de forme

Le titulaire du lot n°1 « Voirie » avait pour mission de livrer les fonds de forme aux altimétries prévues pour recevoir les bétons, avec des portances minimales de 50 MPa (PF2 au minimum), et de poser les bordures et les dallages de pierre calcaire de Calminia prévus à son lot.

### Production du béton

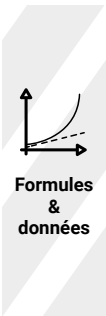
Le béton était produit par la centrale à béton Minier Béton à Blois.



▲ La place de la Résistance (rive droite) est désormais libérée des véhicules en stationnement.



↗ Ombragés et agrémentés de bancs très design, les bords de Loire rénovés ont retrouvé leur agrément.



#### DISPOSITIONS À PRENDRE POUR LIMITER L'OUVERTURE DES JOINTS (voir mémo technique).

- > Réduire le retrait hygrométrique en maintenant la protection du béton pendant sept jours.
- > Réduire le retrait thermique en évitant l'utilisation de granulats siliceux dans la confection du béton.
- > Réduire la longueur des dalles ou réduire l'espacement des joints.

## Coulage

Préalablement, les façades et vitrines étaient protégées par bâchage sur une hauteur de 2 à 3 ml. Les coulages se sont effectués au tapis afin d'avoir une chute verticale du béton sur les fonds de forme. La chute verticale du béton, avec les tapis, plutôt qu'oblique avec les goulottes, permettait d'obtenir une meilleure et plus esthétique mosaïque des granulats après bouchardage. Il s'est aussi avéré que les mises en œuvre étaient moins contraignantes pour les compagnons et que les rendements s'en trouvaient améliorés. Le réglage du béton était ensuite effectué au râteau, à la règle et aussi au stricker, quand les largeurs de mise en œuvre dépassaient 2 ml. Une surépaisseur de quelques millimètres était nécessaire pour permettre un bon travail de bouchardage et pour revenir parfaitement aux côtes et aux pentes prévues au projet. Les rendements obtenus variaient de 120 m<sup>2</sup> à 260 m<sup>2</sup>/j en fonction des largeurs et des contraintes de mise en œuvre, avec une équipe de quatre compagnons.

## Épaisseur

Le marché imposait trois épaisseurs de béton :

- > 12 cm pour les trottoirs.
- > 15 cm pour les parvis.
- > 18 cm pour les voiries.

## Cure

Le béton a été curé à l'Antisol O de chez Sika. « Lors des périodes de fortes chaleurs, pour éviter ou limiter au maximum la fissuration de retrait, la cure était pratiquée plusieurs fois, et ce jusqu'à la tombée de la nuit et l'arrivée de la fraîcheur », commente Jean-Yves Gonidec, le dirigeant de TAE.

## Bouchardage

En fonction des saisons et des températures, les échéances de bouchardage variaient de deux à trois jours, en été, et de sept à huit jours, en hiver.

« Les bouchardages ont été réalisés avec des machines HTC 950 RX, 800 RX, 500, GL 270 et de petites machines manuelles de type Flex, poursuit le dirigeant de TAE. La machine HTC 270 a été achetée pour le chantier afin de permettre le bouchardage de la bande de béton de 30 cm de largeur, entre éléments de pierre. L'évacuation des déchets était gérée par benne, mise en dépôt sur les zones de stationnement, ou par big bag, suivant les configurations des zones de travaux. Chaque zone de travaux de bouchardage était nettoyée quotidiennement à haute pression hydraulique pour livrer aux usagers un chantier propre. »

## Joint de retrait

« Des joints de retrait sciés ont été systématiquement réalisés, indique encore Jean-Yves Gonidec. Au fil des tranches et des années, nous avons resserré leur espacement, car il a été constaté que la formule du béton à base de calcaire local était très sensible au retrait. L'espacement des joints a été fixé sur la première tranche à environ 40 fois l'épaisseur du revêtement en béton, puis réduit à 25 fois l'épaisseur sur la deuxième tranche pour finir à 20 fois l'épaisseur sur la troisième tranche. Ces joints étaient sciés le lendemain, voire le soir même lors des fortes chaleurs, et ils étaient aussitôt remplis d'une barbotine d'eau et de ciment pour assurer une bonne tenue des rives de sciage lors du bouchardage. Lors de la première tranche, ces joints étaient sciés une seconde fois, mais il a été constaté des naissances massives de végétation dedans. Sur les tranches 2 et 3, ces joints sont restés pleins. Cela semble bien convenir et vieillir. »

## Joint de dilatation

Les joints de dilatation ont été simplement réalisés par sciage des dallages en béton sur toutes les épaisseurs mises en œuvre. Ces joints n'ont pas été remplis comme les autres et leur fréquence est d'environ un tous les 30 mètres. « À ce jour, malgré les fortes chaleurs, les ouvrages réalisés se comportent bien », se félicite Jean-Yves Gonidec.

## Relations avec les riverains

La ville de Blois avait mis en place un poste de médiateur pour assurer une communication permanente avec les commerçants et les riverains. Un représentant des commerçants était présent à chaque réunion de chantier pour recevoir et transmettre les informations du chantier.

Préalablement aux phases de coulage, toutes les façades et vitrines ont été bâchées et tous les éléments en pierre ont été protégés par un film Pieri VBA Bio Protector. « Ce produit, très efficace en protection d'ouvrage, a l'inconvénient d'être très glissant. Malgré une signalisation importante, quelques chutes de piétons ont été déplorées », signale Jean-Yves Gonidec.

Lors des phases de coulage des cheminements balisés, des passerelles, des garde-corps et toutes sortes de signalétiques ont été déployés et déplacés quasi quotidiennement en fonction des avancements. Enfin, une surveillance du chantier était assurée continuellement pour éviter toute intrusion de piétons ou d'animaux domestiques sur les bétons frais.

⊕ Consultez le focus technique sur le béton bouchardé en p. 6.



▲ Vue du pont Jacques-Gabriel depuis l'avenue du Président Wilson (rue gauche).

## Météo

« Pendant les fortes chaleurs, des phénomènes impressionnants de tuilage ont été observés. Il arrivait que les angles des dalles se lèvent de plus d'un centimètre. Avec la fraîcheur et les pluies, ces dalles ont repris leur position sans dégradation particulière et ces phénomènes ne se sont plus reproduits », se rappelle le dirigeant de TAE.

## Réception des travaux

Toutes les tranches ont été réceptionnées, sans réserves particulières.

## Entretien

Les services d'entretien de la ville de Blois opèrent un nettoyage hebdomadaire, et deux opérations plus poussées et puissantes sont effectuées annuellement.

## BILAN

« En 2014, l'entreprise TAE n'avait que peu de références dans les bétons décoratifs urbains, résume Jean-Yves Gonidec. La maîtrise d'ouvrage a donc pris le risque de choisir une entreprise, certes locale, mais avec peu d'expérience. Nous nous sommes montrés à la hauteur de cette confiance. Nos bétons vieillissent bien. Ce chantier prestigieux a confirmé notre savoir-faire et a permis à TAE d'acquérir une expérience exceptionnelle. » ■

## EN QUELQUES CHIFFRES

- > 8 ha d'aménagements
- > 16 000 m<sup>2</sup> de béton mis en œuvre sur 4 ans, soit plus de 2 000 m<sup>3</sup>
- > Coût relatif des revêtements en béton par rapport au montant total du chantier hors réseaux : 12 % (1 200 000 € HT contre 10 000 000 € HT)

## LIENS UTILES

> Ville de Blois  
<https://www.blois.fr>

> TAE (Travaux d'aménagements extérieurs)  
<https://www.tae37.eu/index.php/fr/>

> Minier Béton  
<https://www.minier.fr>

> Ciments Calcia  
[www.ciments-calcia.fr](http://www.ciments-calcia.fr)

> Eurovia  
<https://www.eurovia.fr>

> Colas  
<https://www.colas.com>

> Eiffage Route  
<https://www.eiffageinfrastructures.com/eiffage-route>

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

- > Construit au XIX<sup>e</sup> siècle, l'escalier Denis-Papin (l'inventeur de la machine à vapeur) relie la ville haute et la ville basse de Blois. Il compte cent-vingt marches, interrompues par quatre paliers. D'avril à octobre 2019, pour célébrer le 20<sup>e</sup> anniversaire de l'inscription du Val-de-Loire au patrimoine mondial et en hommage à Léonard de Vinci, ses contremarches ont été décorées du célèbre tableau de la Joconde.





⤴ Avec son allure de granit fraîchement coupé, le béton bouchardé est souvent utilisé pour la voirie légère. Il nécessite l'utilisation d'une bouchardeuse.



⤴ Parvis de l'hôtel de ville de Sorgues (Vaucluse).  
Matériaux utilisés : béton bouchardé sur base de ciment blanc, sable de Bellegarde, semi-concassé 11/22,4 Vergèze, concassé 14/20 « La Môle ».

Maître d'ouvrage : municipalité de Sorgues.

Architecte-concepteur : M. Trouvé, cabinet A et Co.

Quelles que soient la taille du projet et la technique de construction, la mise en œuvre d'un revêtement en béton doit être suivie par un traitement de surface. En effet, après la mise en œuvre du béton, la surface du revêtement présente un aspect uni, plein et plan (Cf. *Schéma 1 - Partie gauche*). On cherche alors à lui conférer des propriétés antidérapantes et un rendu esthétique.

Plusieurs techniques de traitement de surface existent : désactivation, bouchardage, béton imprimé, hydrosablage, etc.

Pour un chantier urbain d'ampleur, tel que celui de l'aménagement du centre-ville de Blois, le traitement de surface retenu a été le bouchardage (Cf. *Schéma 1 - Partie droite*).

## 1 • Le bouchardage

Cette technique consiste à attaquer la surface du béton durci avec un marteau spécial, la « boucharde », dont la surface de frappe est hérissée de dents pyramidales (« pointes de diamant » ou tungstène). Le procédé est simple : le béton – dont la composition est spécialement étudiée – est coulé en place, réglé, vibré, puis taloché et protégé par un produit de cure, suivant le processus classique de mise en œuvre.

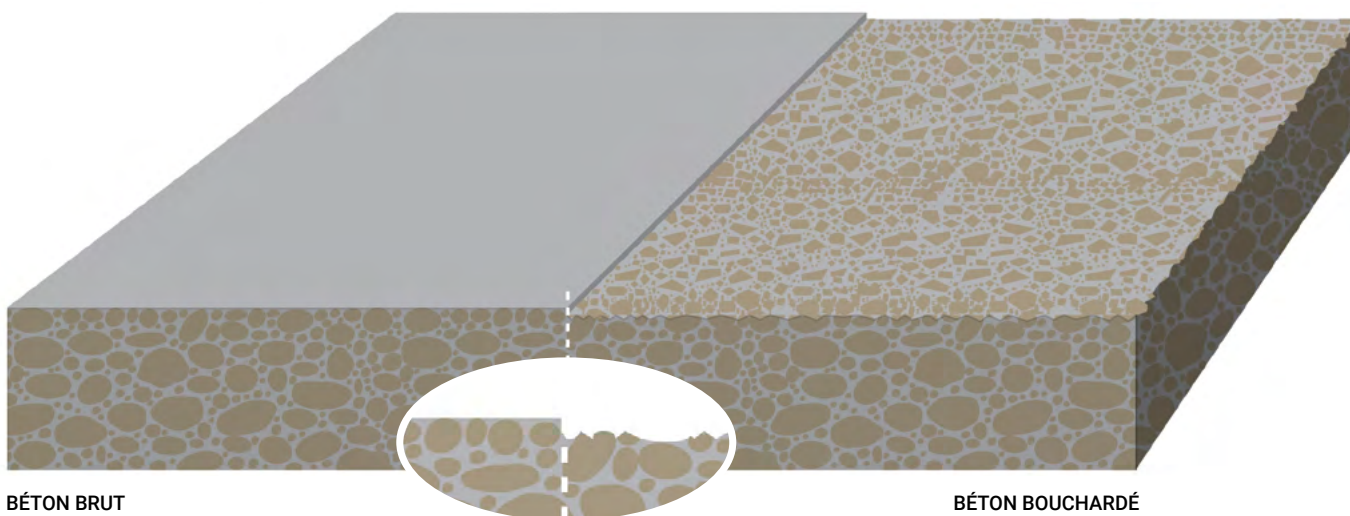
Quand il a suffisamment durci (environ sept jours), il est alors bouchardé avec un appareil pneumatique qui porte les bouchardes. Les reliefs en forme de « pointes de diamant », en frappant la surface, font éclater le mortier du béton et fracturent légèrement les granulats. Cette technique permet, par un choix judicieux des granulats et par une formulation adéquate, d'obtenir des aspects de surface imitant les pierres naturelles. Le bouchardage met particulièrement bien en valeur cet aspect de roche éclatée. En outre, la pâte du béton peut être teintée avec différentes couleurs, telles que le jaune, le brun, le saumon, l'ocre, etc.

Avec son aspect proche de la pierre naturelle taillée, le béton bouchardé donne l'illusion d'un granit fraîchement coupé. Très séduisant, il offre aussi un rendu confortable et adhérent.

Le choix de la dureté, de la taille et de la couleur des granulats est essentiel pour assurer la qualité du rendu.

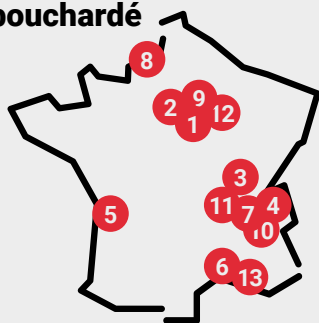
## 2 • Domaine d'emploi

Voirie légère, voirie circulée, voirie piétonne et piste cyclable.



⤴ Schéma 1 - Illustration de la surface du béton avant et après le bouchardage.

## Quelques références de chantiers en béton bouchardé



À retrouver sur [specbea.com](http://specbea.com)

### T 50

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

Collection technique, CIMbéton, 2019.

### Les bétons décoratifs

Voiries et aménagements urbains. Tome 1 : Finitions, gestes et techniques

Specbea, 2014.

### T 51

Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 2 : Mise en œuvre

Collection technique, CIMbéton, 2009.

### Les bétons décoratifs

Voiries et aménagements urbains. Tome 2 : Entretien et rénovation

Specbea, 2016.

### 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

Collection technique, CIMbéton, 2007.

### Les bétons décoratifs

Voiries et aménagements urbains. Tome 3 : Les règles de l'art

Specbea, 2019.

### T 53

Espaces urbains en béton désactivé. Conception et réalisation

Collection technique, CIMbéton, 2005.

≡ 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 : Joseph Abdo/CIMbéton, Charles Desjardins/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](mailto:centrinfo@cimbeton.net)



## 4.2 / Les sollicitations du béton durci

Les sollicitations du béton durci, indépendantes du trafic, sont dues :

- > au retrait thermique et hygrométrique ;
- > à la dilatation thermique ;
- > au gradient de température.

### 4.2.1 / Le retrait thermique et hygrométrique

Après son durcissement, le béton continue à se contracter sous l'effet du retrait hygrométrique (perte d'eau, mais dans des proportions plus faibles puisqu'une grande partie de cette eau a été fixée chimiquement et physiquement) et sous l'effet du retrait thermique (variations journalières de la température ambiante).

Les retraits hygrométrique et thermique se traduisent par des contractions qui se manifestent au sein de la dalle en béton. Ces contractions entraînent inéluctablement l'ouverture des joints (de part et d'autre de la dalle). Elles sont proportionnelles à l'amplitude des retraits thermique et hygrométrique et à la longueur de la dalle. Or, une ouverture excessive au niveau d'un joint présente les inconvénients suivants :

- > déficience du transfert de charge d'une dalle à l'autre ;
- > introduction dans le joint d'objets nuisibles et infiltration de l'eau.

Pour réduire les effets des retraits hygrométrique et thermique du béton durci, les dispositions constructives spécifiques sont à prévoir (*Cf. Encart 3*).

### ENCART 3

#### Dispositions constructives pour réduire les retraits hygrométrique et thermique

Dispositions à prendre pour limiter l'ouverture des joints

- > Réduire le retrait hygrométrique en maintenant la protection du béton pendant sept jours. En principe, les produits de cure assurent cette protection.
- > Réduire le retrait thermique en évitant l'utilisation de granulats siliceux dans la confection du béton.
- > Réduire la longueur des dalles ou – ce qui revient au même – réduire l'espacement des joints. Les calculs et l'expérience ont montré que l'espacement des joints doit être de l'ordre de 25 fois l'épaisseur de la dalle, sans toutefois dépasser 5 m.

### 4.2.2 / La dilatation thermique

La dilatation d'une dalle en béton, observée à la suite d'une augmentation de la température ambiante, est freinée ou empêchée par le frottement du béton sur la plate-forme support. Apparaissent alors dans la dalle des contraintes de compression que le béton supporte parfaitement. De plus, elles peuvent intervenir de manière bénéfique pour réduire les contraintes provoquées par le gradient thermique (*Cf. paragraphe 4.2.3.*), grâce à l'effet de précontraintes qu'elles confèrent à la dalle.

Aucune précaution particulière n'est exigée pour remédier aux effets de la dilatation thermique, sauf dans le cas de bétonnage hivernal ou à certains endroits ou points singuliers lorsque le revêtement rencontre des objets fixes ou lorsqu'il est contigu à des ouvrages fixes tels les regards, les candélabres, les façades d'immeuble, les ponts, ou en amont de virages à faible rayon de courbure ou en amont de section matérialisant un changement de pente. Il est alors judicieux de réaliser des joints de dilatation ou de désolidarisation (*Cf. Encart 4*).





#### ENCART 4

##### Dispositions constructives particulières pour réduire les effets de la dilatation thermique

Il faut réaliser des joints de dilatation (environ 2 cm) autour des points singuliers et, dans le cas d'un bétonnage hivernal, selon un schéma d'implantation déterminé avec la note de calcul exposée dans l'ANNEXE 2.1 (Pages 40 et 41) du guide SPECBEA « Voiries et aménagements urbains. Tome 3 : Les règles de l'art ». Afin de ne pas multiplier les discontinuités, on peut éventuellement transformer un joint de construction prévu (fin de journée ou arrêt de bétonnage) en joint de dilatation. Sous trafic, les joints de dilatation doivent être goujonnés.

#### 4.2.3 / Le gradient de température

En plus des mouvements de retrait et de dilatation, les variations brusques de température induisent un gradient thermique dans le revêtement, c'est-à-dire une différence de température entre les faces supérieures et inférieures. Ce gradient tend à déformer les dalles du revêtement, mais ces déformations sont contrecarrées par le poids propre du béton. Il en résulte des contraintes internes dans la dalle, qui sont d'autant plus élevées que le gradient est important et que la dalle est longue, large et épaisse (Cf. Encart 5).

#### ENCART 5

##### Dispositions à prendre pour remédier aux contraintes dues au gradient de température

- > Réduire la longueur des dalles en réalisant des joints dont l'espacement est inférieur à 5 m.
- > Réduire la largeur des dalles en réalisant des joints longitudinaux dès que la largeur du revêtement est supérieure à 5 m.
- > Éviter durant les trois premiers jours les échauffements brusques du revêtement (protection ou bétonnage en fin de journée).

### 5 • Les sollicitations dues au trafic

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. En effet, chaque passage de véhicule sur la chaussée entraîne une légère usure de celle-ci, tant pour ce qui concerne la structure que les qualités de surface. L'accumulation de ces dommages élémentaires conduit à la dégradation progressive de l'ensemble. Le calcul du dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé qui circule sur la chaussée durant la période de service prévue.

L'expérience a montré l'influence fondamentale du poids de l'essieu sur le dommage observé : un essieu de poids lourd est infiniment plus agressif qu'un essieu de voiture légère. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules. En France, le trafic estimé à la mise en service est converti en nombre d'essieux standards au moyen d'un coefficient multiplicateur qui tient compte de l'agressivité du type de véhicule. Le terme « essieu standard » désigne l'essieu isolé à roues jumelées supportant une charge de 13 t, qui est la charge maximale légale en France. Puisque l'objectif de la chaussée est d'assurer le passage des véhicules pendant un certain nombre d'années, le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé, converti en « essieux standards » qui circulent sur la chaussée tout au long de cette période.

#### 5.1 / Les sollicitations structurelles

Considérons une dalle en béton, reposant librement sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée. Chargeons-la en son milieu d'un poids  $P$ . Sous l'effet de cette charge, la dalle se déforme et s'incurve vers le bas en prenant une certaine flèche. On dit que la dalle fléchit ou qu'elle est soumise à un effort de flexion.

Les phénomènes induits par une dalle en béton sous l'action d'une charge  $P$  sont :

- > La charge  $P$  est transmise au support d'une façon uniformément répartie grâce au module élevé du béton. Les contraintes de compression sur le support sont donc relativement faibles.



- > La flexion de la dalle laisse apparaître deux types de contrainte au sein du béton :
- une contrainte de compression à la partie supérieure de la dalle, dont la valeur est très inférieure à la résistance en compression du béton ;
  - une contrainte de traction par flexion à la partie inférieure de la dalle, dont la valeur peut être élevée.

À chaque passage d'une charge P, la dalle travaille à la flexion au niveau de la fibre inférieure. Si l'on répète l'opération un grand nombre de fois, la dalle se fatigue et risque de se fissurer, même si les efforts engendrés ne dépassent pas, à chaque fois, la contrainte admissible du béton. C'est ce qu'on appelle « la fatigue sous efforts répétés ». (Cf. *Encart 6*).

## ENCART 6

### Dispositions pour garantir la durabilité structurelle de la chaussée

Le dimensionnement d'une dalle en béton consiste donc à déterminer son épaisseur pour qu'elle ne se fissure pas sous l'effet de charges répétées et pendant une période de service donnée. Il convient donc :

- > de déterminer la contrainte à la traction par flexion de la dalle en béton et de s'assurer qu'elle est inférieure à la contrainte de traction admissible du béton ;
- > d'apprécier le comportement à la fatigue de la dalle en béton.

## 5.2 / Les sollicitations superficielles

Le trafic et les usagers de la voirie urbaine provoquent, avec le temps, une usure superficielle du revêtement en béton. Cette usure est néanmoins extrêmement faible dans le cas du béton si certaines précautions sont respectées au moment de sa formulation et de sa mise en œuvre (Cf. *Encart 7*).

## ENCART 7

### Précautions à respecter

Il faudra en particulier :

- > Choisir un traitement de surface adapté au trafic.
- > Choisir un gravillon peu polissable (en particulier dans le cas du béton désactivé).
- > Soigner la protection du béton frais.

## 6 • Les sollicitations particulières

### 6.1 / Le gel

De par leur configuration et leur situation (grande surface posée à même le sol), les revêtements routiers sont particulièrement exposés aux effets du gel. Les bétons routiers y sont insensibles si les quelques précautions suivantes sont respectées (Cf. *Encart 8*).

- > **Au stade de la formulation du béton :**
  - proscrire les gravillons gélifs ;
  - exiger l'adjonction d'un adjuvant entraîneur d'air.
- > **Au stade de la mise en œuvre :**
  - si le gel arrive alors que le béton est jeune (durant les trois premiers jours), il faut lui assurer une protection efficace en utilisant un polyane, des paillasons ou tout autre système de protection.

## 6.2 / Les sels de déverglaçage

Les sollicitations provoquées par l'utilisation des sels de déverglaçage sont très complexes. En effet, la fonte de la glace est une réaction endothermique qui provoque une chute brutale de la température à la surface du revêtement (*Cf. Encart 8*). Ce refroidissement induit :

- > l'apparition des contraintes de retrait à la surface du revêtement ;
- > le gel de l'eau contenue dans les pores du béton ;
- > la pénétration de la solution saline dans les interstices du béton et le développement d'une pression osmotique. ■

### ENCART 8

#### Dispositions à prendre pour mieux résister aux sollicitations particulières

Grâce à l'utilisation obligatoire d'un adjuvant entraîneur d'air, les bétons routiers sont pratiquement insensibles aux sels de déverglaçage.

La suite dans le Routes Info #07...