

LES BÉTONS DÉCORATIFS : VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS

.....
TOME 3

les règles de l'Art
.....



Specbea

SPÉCIALISTE DE LA CHAUSSEE
EN BÉTON ET DES AMÉNAGEMENTS



RETROUVEZ LES TOME 1 & 2
www.specbea.com

UNE BROCHURE ÉDITÉE PAR LE



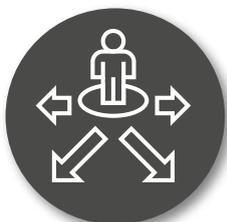
AVEC LE SOUTIEN DE



LES BÉTONS DÉCORATIFS : VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS

TOME 3

Les règles de l'Art



PARTIE 1
LES OBJECTIFS DU
MAÎTRE D'OUVRAGE



PARTIE 2
LA DÉMARCHE DU
MAÎTRE D'OEUVRE



PARTIE 3
LA RÉPONSE DE
L'ENTREPRISE



PARTIE 4
LA RÉCEPTION
DE L'OUVRAGE

LE MOT DES PRÉSIDENTS

« LES RÈGLES DE L'ART » - TOME 3

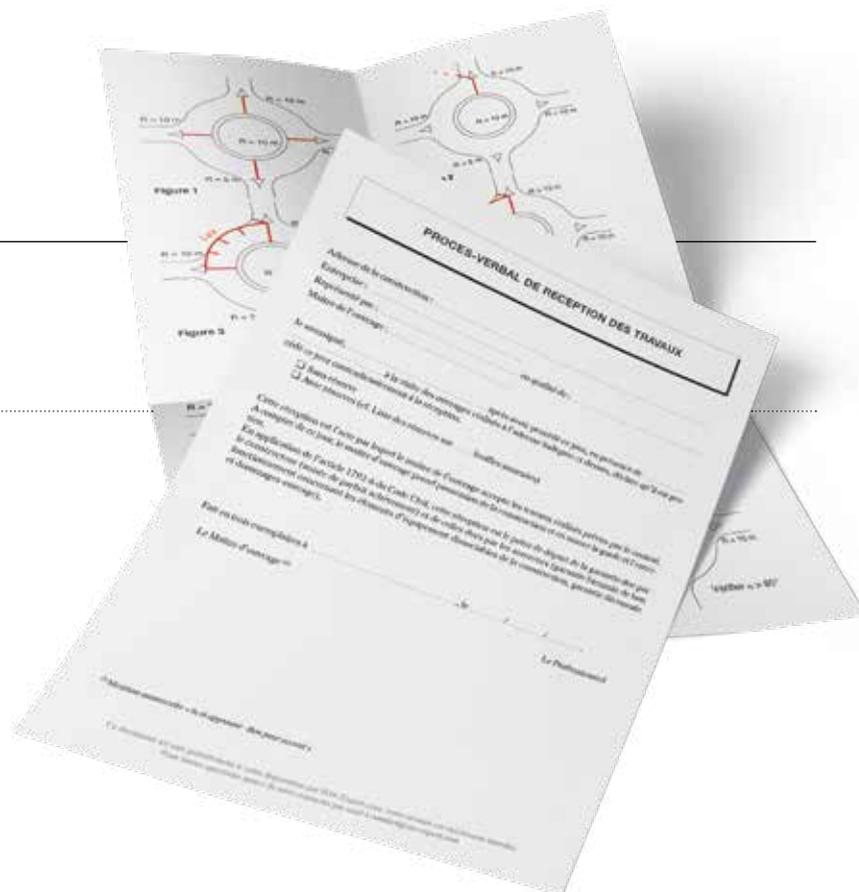
Tel est le titre du troisième et dernier né de notre série de publications dédiée aux bétons décoratifs, voiries et aménagements urbains. En 2014, est paru « *Finitions, gestes et techniques* », suivi du deuxième opus intitulé « *Entretien et rénovation* ». Une trilogie initiée suite à un double constat : l'évolution sans précédent des bétons décoratifs ces trente dernières années, leur implication croissante dans le renouveau des espaces urbains et la méconnaissance encore trop répandue des matériaux, techniques et savoir-faire indispensables à une bonne conception et mise en œuvre pour la pérennité des ouvrages.

C'est dans ce contexte que le Specbea (Spécialistes de la chaussée en béton et des aménagements) a mis sur pied le comité VECU (Voiries, Espaces publics et Chantiers d'aménagements Urbains). Ce groupe de réflexion réunit des entreprises, des experts bétons, le SNBPE (Syndicat national du béton prêt à l'emploi), CIMbéton (Centre d'information sur le ciment et ses applications), mais également des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre (architectes paysagistes, bureaux d'étude technique) et le Synad (Syndicat national des adjuvants).

Chacune de nos réunions a toujours été l'occasion d'échanges fructueux et de partage de connaissances. Nous tenons à remercier l'ensemble des participants pour leur présence assidue et leur engagement à nos côtés.

« *Les règles de l'Art* » auront nécessité deux ans d'investissement et un travail d'équipe, colossal, avec l'aide précieuse de Jean-Pierre Christory (expert) et Joseph Abdo (CIMbéton), que nous saluons tous deux ici chaleureusement.

Nous exerçons un métier merveilleux, autour d'une matière superbe qui nécessite cependant, on ne le rappellera jamais assez, un grand savoir-faire. Si l'esthétique est importante, il est indispensable d'avoir une réelle vision technique, lors de la conception du projet, pendant sa mise en œuvre et bien évidemment lors de son entretien.



C'est dans cet esprit qu'a été pensé et écrit le présent document qui répond à des interrogations, affirme « les règles de l'Art », met en garde sur des points particuliers. La mission de tous les acteurs est précisée : chacun a des devoirs professionnels, mais force est de constater que de plus en plus d'éléments, relevant de la responsabilité de la maîtrise d'œuvre ou de celle de la maîtrise d'ouvrage, sont à tort attribués à l'entreprise.

Cet ouvrage inédit en France s'adresse à tous les acteurs de l'aménagement urbain. Il donne une ligne, des clés, met à disposition un savoir, pallie aux carences, c'est en quelque sorte la « Bible » de notre métier.

Alors que cette année 2019 nous voit tous deux opérer un beau passage de relais, nous sommes heureux et fiers d'avoir pu mener à bien cette dernière mission. D'autres projets suivront, conduits par une nouvelle équipe passionnée et placés sous la devise du comité VECU : « *Si faire est indispensable, faire savoir est essentiel.* » Bonne lecture ! ■

Armand Joly (président du Specbea)
et Olivier de Poulpiquet (président du comité VECU).

TÉMOIGNAGE

TROUVER LA BONNE RECETTE ET ENCOURAGER L'EXIGENCE DANS NOS MÉTIERS

Vous allez lire un document très technique, élaboré avec soin et précision, qui va permettre d'éviter beaucoup d'erreurs de prescriptions et de réalisations. Il deviendra de façon évidente la bible de notre profession.

En complément et pour l'avenir de notre activité, il est impératif de nous questionner sur quelques points importants.

PREMIÈREMENT « LE MIRAGE »

J'ai souvent comparé notre métier à celui du cuisinier qui se lance vaillamment dans une recette merveilleuse, trouvée dans un livre offert par un ami généreux.

Combien de surprises positives ?

Beaucoup d'ingrédients et d'intervenants dans la chaîne influent sur le résultat final (la qualité du beurre et la météorologie nationale sont imprévisibles).

Seule l'expérience et seul le travail acharné permettent d'obtenir la réussite régulière et souhaitée. De plus, la multiplication des parutions montrant de magnifiques références ont rendu les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvres très exigeants et pointilleux lors des réceptions de chantiers. Exigences qui permettent toutefois d'élever le niveau de nos réalisations.

DEUXIÈMEMENT L'« ALLOTISSEMENT »

Sur ce point, j'irai jusqu'à dire qu'il va devenir primordial dans l'avenir de la profession. Outre la maîtrise de l'esthétique évoquée, la reconnaissance de nos entreprises et de notre art professionnel particulier, signera la pérennité de nos actions.

L'obtention de lots directs permet d'être en contact avec le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, leur garantissant ainsi la qualité de l'ouvrage qu'ils ont défini au départ.

De plus, la loi des marchés publics est ainsi respectée.

D'autres entreprises proches de notre activité (Espaces Verts) ont depuis longtemps œuvré pour que leurs travaux fassent partie d'un lot particulier.

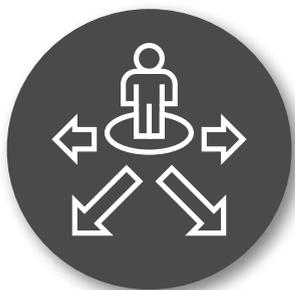
TROISIÈMEMENT L'« HUMAIN »

En filigrane de toutes ces réflexions la question des rapports humains ne doit jamais être occultée.

Nous n'échappons pas à l'évolution de la société et les difficultés pour la « gestion » des hommes sont présentes dans chaque groupe professionnel. À chaque échelon, à chaque géographie, les ressentis physiques et psychiques occupent une place prépondérante dans nos quotidiens. À nous d'être vigilants et attractifs pour que nos métiers continuent d'attirer et de proposer aux hommes une qualité de vie professionnelle enrichissante.

Un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué à la naissance de ce manuel bien documenté. Et si après sa lecture, l'envie bien compréhensible de vous lancer dans l'aventure vous venait à l'esprit, je vous encourage à vous armer de patience pour apprendre les subtilités de ce métier chronophage, sans oublier que « *L'habitude est la mort de l'esprit.* » ■

Gérard Pelissier (fondateur du groupe SOLS),
un des pionniers de l'aventure du béton décoratif.



PARTIE 1

LES OBJECTIFS
DU MAÎTRE D'OUVRAGE

PARTIE 2

LA DÉMARCHE DU MAÎTRE D'OEUVRE

PARTIE 3

LA RÉPONSE
DE L'ENTREPRISE

CHAPITRE 1

P.10

Les objectifs du maître d'ouvrage



CHAPITRE 2

P.18

Éléments de prescription pour la conception et le dimensionnement



CHAPITRE 3

P.44

Éléments de prescription pour les propriétés de surface



CHAPITRE 4

P.54

Éléments de prescription pour le choix du béton



CHAPITRE 5

P.62

La commande du béton



CHAPITRE 6

P.70

La mise en œuvre du béton





PARTIE 3 LA RÉPONSE DE L'ENTREPRISE

CHAPITRE 7 P.84

Le mémoire technique

PARTIE 4 LA RÉCEPTION DE L'OUVRAGE

CHAPITRE 8 P.88

La réception des travaux et de l'ouvrage

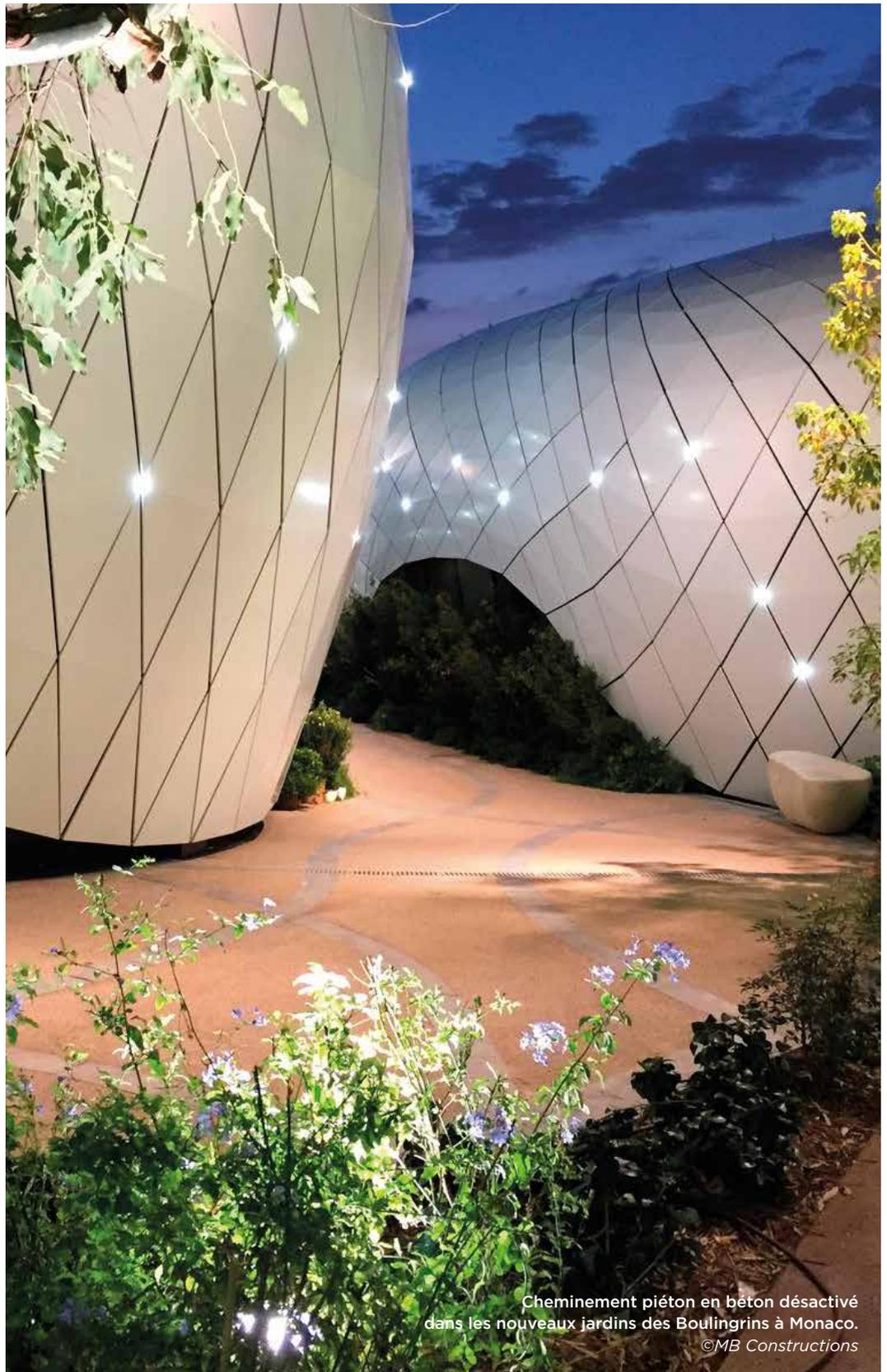


Rénovation du boulevard Garibaldi, Lyon ©SOLS

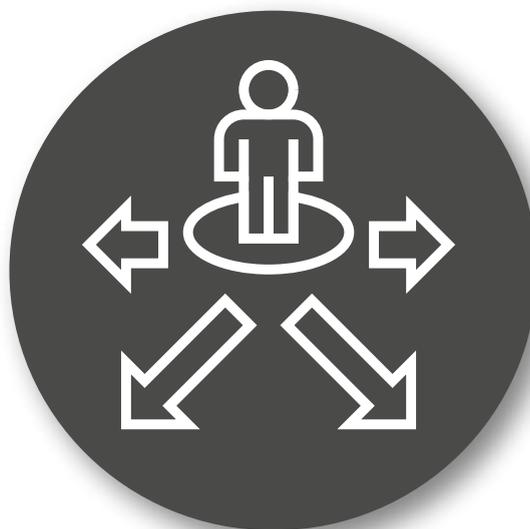
CHAPITRE 1

LES OBJECTIFS DU MAÎTRE D'OUVRAGE

- 1.1 L'ADÉQUATION DU PROJET
À SON CONTEXTE P.10
- 1.2 L'ADÉQUATION DU PROJET
À SON USAGE P.11
- 1.3 L'ADÉQUATION DU PROJET
À SON ENVIRONNEMENT P.12
- 1.4 SYNTHÈSE P.13
- 1.5 LA DURÉE DE VIE DE L'OUVRAGE P.14



Cheminement piéton en béton désactivé
dans les nouveaux jardins des Boulingrins à Monaco.
©MB Constructions



PARTIE 1

LES OBJECTIFS DU MAÎTRE D'OUVRAGE

CHAPITRE 1 : LES OBJECTIFS DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Le maître d'ouvrage se doit de prendre en compte trois facteurs clés du projet à développer que sont **le contexte** (fonctionnalité, usage, esthétique, intégration au bâti, amélioration du cadre de vie, etc.), **l'usage** (circulation, ou pas, de poids lourds et de bus, charges statiques, etc.) et **l'environnement** (conditions climatiques, pratiques d'exploitation, contribution à la lutte contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines, etc.). A ces points s'ajoute la nécessaire attention à porter à la **durée de vie** envisagée de l'ouvrage. Autant d'éléments qui non seulement sont essentiels, mais s'influencent mutuellement. C'est également au maître d'ouvrage que revient la responsabilité de communiquer sur ces sujets auprès du maître d'œuvre, et ce le plus en amont possible de la phase de réalisation du projet. ■



CHAPITRE 1

LES OBJECTIFS DU MAÎTRE D'OUVRAGE

1.1 L'ADÉQUATION DU PROJET À SON CONTEXTE

Le projet doit être étudié sous l'angle de la fonctionnalité, de l'usage, de l'esthétique, de l'intégration au bâti, de l'amélioration du cadre de vie ainsi que des nouvelles préoccupations de politique publique (désimperméabilisation des sols, réduction des ilots de chaleur urbains, etc.).

Pour mener à bien cette démarche, le maître d'ouvrage, en lien avec ses conseils, peut nourrir sa réflexion en se référant à la bibliothèque des bétons décoratifs qui introduit les trois grandes familles des URBA-Béton, ECO-Béton et INNO-Béton (cf. *Les bétons décoratifs : voiries et aménagements urbains. Tome 1 : Finitions, gestes et techniques - Collection Specbea / VECU*).

Une fois la technique choisie, le maître d'ouvrage, toujours en lien avec ses conseils, procède à la sélection du béton et en particulier la finition (choix des granulats, du ciment, de la texture, de la couleur dominante, etc.). Il peut enrichir et valider son choix en procédant à des visites de showrooms ou de réalisations de même nature. Il doit aussi s'assurer de la qualité d'exécution, conditionnée par le choix adéquat du matériel et du procédé de mise en œuvre ainsi que la maîtrise des gestes pour l'application.

Le maintien dans le temps de l'ensemble des qualités visées par l'aménagement est aussi un enjeu de premier ordre. Les règles de l'art doivent intégrer les conditions de cette durabilité au sein desquelles les méthodes de protection et de nettoyage du béton décoratif sont des ressources pertinentes (cf. *Les bétons décoratifs : voiries et aménagements urbains. Tome 2 : Entretien et rénovation - Collection Specbea / VECU*). ■



Vue générale des aménagements en béton désactivé et bouchardé autour de la cathédrale de la Major (cathédrale Sainte-Marie-Majeure), Marseille ©CIMbéton

1.2 L'ADÉQUATION DU PROJET À SON USAGE

La réflexion doit intégrer l'adéquation du projet à son usage prévue initialement mais aussi toute transformation liée à l'évolution du fonctionnement de la ville. L'accès physique aux poids lourds ou pas, les charges statiques avec ou sans béquillages, le nombre et la nature des poids lourds, les circulations canalisées des bus ou autres véhicules de transport collectif, l'évolutivité des plans de mobilité en territoire urbain, sont des critères majeurs à intégrer.

Cette analyse oriente les choix en matière de caractéristiques de surface (granulats; mortier) et de caractéristiques mécaniques du béton (classes de résistance). Elle conditionne aussi les choix relatifs à la typologie de la structure et à son dimensionnement. ■



Aménagement urbain en béton coloré pour le skatepark de Reims ©Mineral Service



Plate-forme en béton armé continu pour le T zen, Melun-Sénart ©CIMbéton



1.3 L'ADÉQUATION DU PROJET À SON ENVIRONNEMENT

Il s'agit de prendre en compte les conditions climatiques lors de la vie en œuvre du projet, les pratiques d'exploitation sous leurs déclinaisons multiples de traitement hivernal, de propreté, de capacité de maintenance et d'entretien pour n'en citer que les plus récurrentes. Ces sujétions gagnent aujourd'hui à être complétées par des préoccupations comme le bruit de roulement des véhicules et autres objets roulants, la clarté et l'optimisation énergétique du système Revêtement/Eclairage, etc.

La contribution à la lutte contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines, et plus globalement le rapport à l'eau y compris comme levier d'action pour réduire les ilots de chaleur urbains, tout comme l'alliance du minéral et du végétal sont aussi des objectifs de plus en plus inscrits dans les programmes des maîtres d'ouvrage. ■



Vista Beach Palace, Roquebrune - Cap Ferrat ©MB Constructions

1.4 SYNTHÈSE

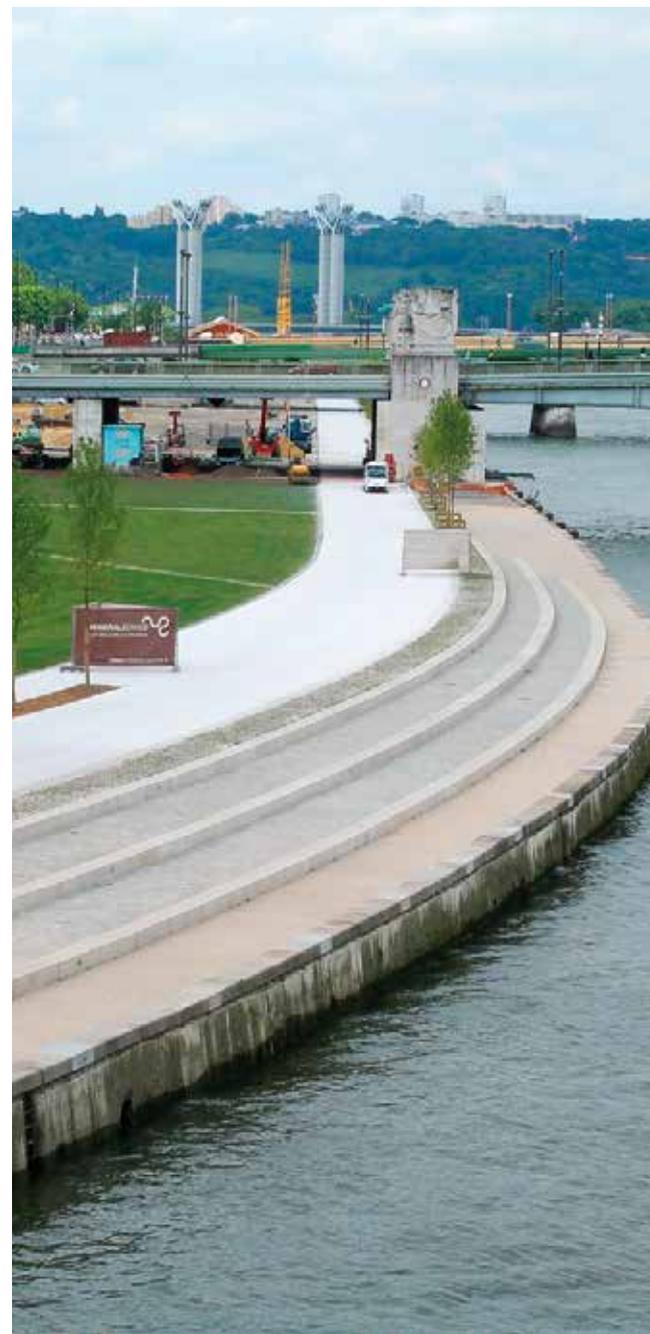
Les trois piliers du contexte, de l'usage et de l'environnement d'un projet interagissent et se confortent. Les interactions qu'ils induisent, tant à la conception qu'à la réalisation et l'exploitation appellent au croisement des disciplines et des métiers spécifiques du béton décoratif.

Répondre à ces trois champs d'interrogation du contexte, de l'usage et de l'environnement relève de la responsabilité du maître d'ouvrage qui doit impérativement les exprimer.

Pour permettre à ce dernier d'exercer ses responsabilités, la réponse réside dans les missions confiées au maître d'œuvre ou à l'assistant à maître d'ouvrage dans les cas usuels des projets de moyenne et grande envergure. Pour les petites opérations ou en l'absence d'une maîtrise d'œuvre, le rôle de conseil d'un professionnel spécialisé doit s'exercer dans tous les cas aussi à l'amont que possible. ■



Descente d'habitation en alternance de béton drainant et balayé ©EFCAT



Aménagement des quais en béton, Rouen rive gauche ©Mineral Service



1.5 DURÉE DE VIE DE L'OUVRAGE

Le maître d'ouvrage doit, en outre, préciser au maître d'œuvre les éléments suivants :

- La durée de vie qu'il souhaite donner à l'ouvrage : 10, 20, 30 voire 50 ans,
- La pratique envisagée en matière de gestion hivernale : salage autorisé ou interdit,
- La politique d'entretien qu'il souhaite mettre en place : curatif, préventif,
- La gestion des interventions sur et sous voirie, en lien avec les réseaux enterrés. ■



Une chaussée béton de plus de 100 ans d'âge témoigne de la durabilité des ouvrages en bétons bien conçus et bien réalisés en République Tchèque ©J-P. Christory & J. Abdo



CHAPITRE 2

ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT

2.1	INTRODUCTION	P.18
2.2	CONCEPTION DE LA STRUCTURE	
2.2.1	Typologie de la structure	P.20
2.2.2	Dimensionnement du projet	P.22
2.3	ÉPAISSEURS DES COUCHES, FINALISATION DU DIMENSIONNEMENT	P.24
2.4	LE RETRAIT DU BÉTON ET LES JOINTS	P.26
2.5	DE LA NÉCESSITÉ DE CONCEVOIR UN CALEPINAGE DES JOINTS	P.28
2.6	LES DIFFÉRENTS TYPES DE JOINTS	
2.6.1	Joint de retrait	P.30
2.6.2	Joint de dilatation	P.32
2.6.3	Joint de construction	P.34
2.6.4	Joint d'isolement	P.34
2.7	LE PLAN DE CALEPINAGE	P.36
2.8	LES RÈGLES DE L'ART	P.36
2.8.1	Espacement des joints	P.37
2.8.2	Localisation des joints de construction et d'isolement	P.38
ANNEXE 2.1	Note de calcul des joints de dilatation	P.40
ANNEXE 2.2	Note de calcul pour le tuilage du béton	P.42

CHAPITRE 3

ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LES PROPRIÉTÉS DE SURFACE

3.1	AIRES DÉDIÉES AUX PIÉTONS EXCLUSIVEMENT OU AUX CIRCULATIONS OCCASIONNELLES	
3.1.1	Accessibilité, confort, propreté, bruit	P.44
3.1.2	Adhérence et écoulement de l'eau	P.44
3.1.3	Esthétique, intégration et lisibilité	P.46
3.1.4	Spécifications et recommandations des constituants du béton	P.46
3.2	AIRES DÉDIÉES AUX PIÉTONS	
3.2.1	Le confort, la lisibilité de l'espace et la lutte contre le bruit	P.48
3.2.2	L'adhérence	P.48
3.2.3	L'esthétique et l'intégration	P.50
3.3	SPÉCIFICATIONS ET RECOMMANDATIONS DES PRODUITS EN RELATION AVEC LA MISE EN ŒUVRE	P.51

CHAPITRE 4

ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LE CHOIX DU BÉTON

4.1	INTRODUCTION	P.54
4.2	LES SOLlicitATIONS DU TRAFIC	P.55
4.3	LES CONDITIONS CLIMATIQUES	P.56
4.4	LES CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES	P.57
4.5	EXPLOITATION	P.58



Aménagement en béton des anciens sites des chantiers navals sur l'île de Nantes
©CIMbéton



PARTIE 2

LA DÉMARCHE DU MAÎTRE D'ŒUVRE

CHAPITRE 2 : ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT

CHAPITRE 3 : ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LES PROPRIÉTÉS DE SURFACE

CHAPITRE 4 : ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LE CHOIX DU BÉTON

Ces trois chapitres ont pour objectif de préciser les objectifs du maître d'œuvre et de l'aider à faire les bons choix dans le but de satisfaire les besoins exprimés par le maître d'ouvrage. Il lui revient notamment d'établir les clauses techniques (spécifications, dimensionnement, caractéristiques de surface, dispositions constructives, etc.), de préciser les règles de l'art, ainsi que les exigences fonctionnelles et esthétiques. Un travail relatif à la conception et au dimensionnement est indissociable d'un questionnement précis quant à la destination et l'usage de l'ouvrage sur le long terme. Accessibilité, confort, propreté, bruit, adhérence, écoulement de l'eau et bien sûr esthétique et intégration au bâti existant sont autant de propriétés de surfaces potentielles nécessitant réflexion avant de choisir le béton à mettre en œuvre. Un choix qui, outre le fait d'être conforme à une série de normes précises, devra impérativement prendre en compte les sollicitations du trafic et des conditions climatiques. ■



CHAPITRE 2

ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT

2.1 INTRODUCTION

Les objectifs du maître d'ouvrage étant précisés et hiérarchisés, le maître d'œuvre en charge de la conception du projet doit décliner ces objectifs sous forme de clauses techniques (spécifications, dimensionnement, caractéristiques de surface, dispositions constructives, etc.).

Il s'agit de se renseigner et s'interroger sur la destination et l'usage de l'ouvrage pour l'immédiat et le futur, en validation de cohérence avec le programme du maître d'ouvrage. Cette tâche permet de présélectionner les techniques qui conviennent à l'usage et de cadrer le dimensionnement.

Pour ce faire, il faut classer le projet ou ses composantes dans l'une des 3 catégories :

- **Piétons exclusivement** : absence total de trafic même occasionnel (allées de jardin, contours de piscine, aires inaccessibles au trafic).
- **Circulé occasionnellement** : aménagements piétonniers avec accessibilité pompiers, déménagements, véhicules de service de prestations.



Revêtement en béton bien adapté à l'usage d'un marché ©SOLS



Aménagement en béton imprimé façon bois, La-Mailleraye-sur-Seine ©Mineral Service



Structuration de l'espace mise en valeur par des revêtements en béton désactivé et sablé, Annecy-le-vieux ©CIMbéton

- **Circulé** : supportant des véhicules particuliers et des poids lourds conformes au code de la route. Il est indispensable dans ce cas de préciser la classe de trafic (évaluée en fonction du nombre de poids lourds par jour et pas sens sur la voie la plus chargée ou du trafic poids lourds cumulé sur toute la durée de service de l'ouvrage).

A l'issue de cette phase préliminaire, le maître d'œuvre peut engager la démarche de conception du projet avec ses différentes étapes. ■



Plate-forme en béton à joints goujonnés pour le bus en site propre (BHNS) de Metz ©Eiffage Infrastructures



Parvis en béton désactivé de l'Hôpital Nice Pasteur 2, avec accès pompier ©MB Constructions



2.2 CONCEPTION DE LA STRUCTURE

Elle se fait en deux étapes : la recherche d'une typologie structurelle adaptée au projet et le dimensionnement proprement dit de la structure.

2.2.1 TYPOLOGIE DE LA STRUCTURE

La palette des choix comprend, pour les revêtements en béton, les structures en dalles courtes non armées et à joints non goujonnées dites dalles californiennes (BC), les structures en dalles courtes non armées et à joints goujonnés (BCg) et le béton armé continu (BAC), cf. **FIGURE 2.1**.



Mise en œuvre d'un giratoire en béton armé continu
©CMR Exedra

La typologie définit également le besoin de fondation ou non sous le revêtement en béton, ainsi que le recours obligatoire ou non aux dispositions constructives, comme les surlargeurs et les drainages d'interface.

Le choix se fait selon les classes de trafic qui introduisent les recommandations résumées dans les **TABLEAUX 2.1** et **2.2**.

NOTA Les typologies de structures sont le plus souvent choisies à partir du trafic comme le déclinent les tableaux 2.4 et 2.5. Les propositions faites pour des niveaux de sollicitations plus élevés que celles du projet peuvent trouver leur légitimité en fonction du contexte de l'opération et des objectifs des maîtres d'ouvrage et d'œuvre.
Par exemple, un exploitant qui souhaite s'affranchir des contraintes de confection et d'entretien des joints transversaux de retrait-flexion du béton peut choisir de recourir au béton armé continu BAC, y compris pour un ouvrage sans sollicitation de poids lourd comme par exemple une piste cyclable.

FIGURE 2.1 : TYPOLOGIE DES STRUCTURES BÉTON

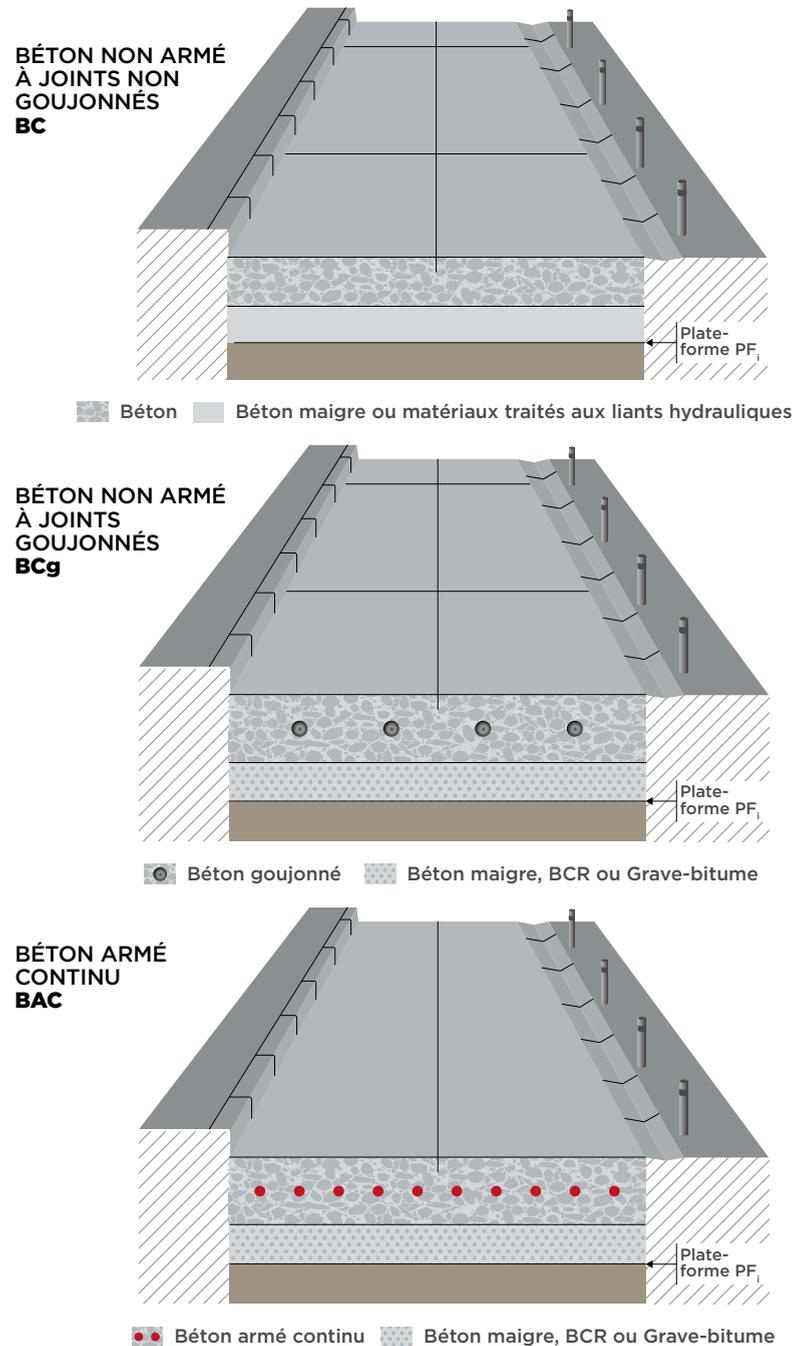


TABLEAU 2.1 : TYPOLOGIES DE STRUCTURES BÉTON EN FONCTION DU TRAFIC

TRAFIC	PIÉTONS EXCLUSIFS	TRAFIC OCCASIONNEL	CIRCULÉ					
	0 PL/j	1-2 PL/j	T5	T4	T3	T2	T1	TO et plus
			3-25 PL/j	26-50 PL/j	51-150 PL/j	151-300 PL/j	301-750 PL/j	>751 PL/j
Classes mécaniques minimales pour le béton	BC4 ou C30/37	BC4 ou C30/37			BC5 ou C35/45			
Typologie de structure pour PF2	1 couche voir détail tableau de dimensionnement 2.6 ou 2.6 BIS			2 couches voir détail tableau de dimensionnement 2.6 ou 2.6 BIS				
Structure recommandée	Dalle sans fondation			Dalle avec fondation			Dalle goujonnée ou BAC	
Fondation	Pas de fondation			GTLH BM, BCR, GB3			BM, BCR GB3	
Interface	Collée			Décollée si fondation en BM, BCR ou GTLH ; semi collée si fondation en GB3			Décollé si fondation en BM ou BCR ; semi collé si fondation GB3	
Surlargeur	Non			Oui hors urbain				
Drainage	Non			Oui				

TABLEAU 2.2 : TYPOLOGIES DE STRUCTURES BÉTON DRAINANT EN FONCTION DU TRAFIC

TRAFIC	PIÉTONS EXCLUSIFS	TRAFIC OCCASIONNEL	CIRCULÉ				
	0 PL/j	1-2 PL/j	T5	T4	T3		
			3-25 PL/j	26-50 PL/j	51-150 PL/j		
Classes mécaniques minimales pour le béton	BC2 ou C20/25	BC2 ou C20/25	BC3 ou C25/30	BC3 ou C25/30	BC4 ou C30/37		
Typologie de structure pour PF2	1 couche voir détail tableau de dimensionnement 2.7			2 couches voir détail tableau de dimensionnement 2.7			
Structure recommandée	Dalle sans fondation			Dalle avec fondation			
Fondation	Pas de fondation			GNTP, Béton poreux			
Interface	Collée			<ul style="list-style-type: none"> • Décollée si fondation en Béton poreux ; • Collée si fondation en GNTP 			
Surlargeur	Non			Non			

ABRÉVIATIONS

PF2	plate-forme support de portance ≥ 50 MPa	BCg	béton à joints goujonnés	GTLH	grave traitée aux liants hydrauliques
Ti	trafic Poids lourd par jour et par sens	BAC	béton armée continu	BCR	béton compacté routier
BCi	classe mécanique du béton selon la norme NF P 98-170	BM	béton maigre	GB3	grave-bitume classe 3
		Ci/j	classe mécanique du béton selon la norme NF EN 206/CN	GNTP	grave non traitée poreuse



2.2.2 DIMENSIONNEMENT DU PROJET

Il faut connaître le trafic, la portance du support et les propriétés mécaniques des matériaux. Ces données orientent vers le choix d'une structure de voirie en béton (typologie et épaisseur des couches).

2.2.2.1 TRAFIC

Le nombre de poids lourds est le critère majeur à considérer. Un poids lourd au sens de la mécanique des chaussées et du dimensionnement est un véhicule de Poids Total Autorisé en Charge « PTAC » supérieur ou égal à 3,5 tonnes. Le choix du trafic se fait parmi les 8 classes de trafic, données dans le **TABLEAU 2.3**.

2.2.2.2 PLATE-FORME SUPPORT

C'est l'arase surmontée éventuellement d'une couche de forme (traitée ou non), conformément à la classification du guide technique des terrassements routiers GTR (SETRA/LCPC, 2000).

Le choix se fait parmi les 5 classes de plates-formes supports (PF1, PF2, PF2qs, PF3, PF4) définies dans la norme NF P 98-086 et données dans le **TABLEAU 2.4**.

Les retours d'expérience montrent que, dans les cas courants, il faut privilégier les classes de plates-formes supérieures ou égales à PF2, qui améliorent significativement la durabilité de la structure par rapport à une classe PF1 qui n'est pas autorisée pour les trafics supérieurs à T3.

2.2.2.3 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Le choix se fait parmi les 5 classes de béton (BC2, BC3, BC4, BC5 et BC6), conformément à la norme NF P 98-170 et la norme NF P 98-086 et données dans le **TABLEAU 2.5**. Le critère de référence est la résistance à la traction par fendage f_t à 28 jours (f_{t28}), connu aussi sous R_{tb} .

A SAVOIR

La convention de laboratoire qui se réfère à l'échéance de 28 jours, ne signifie en aucun cas qu'il faille attendre 28 jours avant de mettre en service une structure ou un revêtement en béton. La remise à la circulation aux poids lourds peut être effectuée lorsque le béton atteint une résistance à la compression de 20 MPa ($f_{c \geq 14}$ MPa pour les véhicules légers). Ces seuils de résistance à la compression sont en principe atteints au bout de quelques jours (2 à 5 jours) en fonction de la formulation du béton et des conditions climatiques. Ce délai peut être réduit à quelques heures (2 à 4 heures) avec des bétons spéciaux et pour des ouvrages particuliers.

NOTA *Lorsqu'il y a nécessité d'une fondation sous le béton de revêtement, celle-ci peut être réalisée en béton de classe BC2 ou BC3, en matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), en grave bitume (GB) ou en béton compacté au rouleau (BCR). Le béton de classe BC2 ou BC3 est aussi appelé béton maigre (BM) dans le vocabulaire commun.*

2.2.2.4 PRISE EN COMPTE DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES

Le béton doit également répondre aux contraintes environnementales du projet, en respectant les exigences réglementaires de la norme NF EN 206/CN ou en s'appuyant sur des études spécifiques autorisées par la norme (cf. chapitre 4). ■



Nécessité de prendre en compte les exigences environnementales pour les aménagements bétons en bord de mer, Marseille ©RCR déco France

TABLEAU 2.3 : CLASSES DE TRAFIC EN POIDS LOURDS PAR JOUR SUR LA VOIE LA PLUS CHARGÉE

(un poids lourd est un véhicule de poids total autorisé en charge PTAC ≥ à 3,5 tonnes)

AMÉNAGEMENT NON CIRCULÉ		AMÉNAGEMENT CIRCULÉ					
EXCLUSIVEMENT PIÉTONNIER	CIRCULATION OCCASIONNELLE	T5	T4	T3	T2	T1	T0
0	0-2	3-25	26-50	51-150	151-300	301-750	>750

TABLEAU 2.4 : CLASSES DE PORTANCE DES PLATES-FORMES SUPPORTS DE CHAUSSÉES

CLASSE DE PORTANCE		NIVEAU DE PORTANCE			
Sol support	Plate-forme support	Examen visuel	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV2 (MPa)	
AR0	-	Support très déformable et ornières derrière l'essieu de 13 t Pas d'ornières derrière l'essieu de 13 tonnes	CBR ≤ 6	EV2 ≤ 20	
AR1	PF1		6 < CBR ≤ 10	20 < EV2 ≤ 50	
AR2	PF2		Support peu déformable	10 < CBR ≤ 20	50 < EV2 ≤ 80
	PF2qs				80 < EV2 ≤ 120
AR3	PF3		Support très peu déformable	20 < CBR ≤ 50	120 < EV2 ≤ 200
AR4	PF4		CBR > 50	EV2 > 200	

TABLEAU 2.5 : CLASSES DE RÉSISTANCE DES BÉTONS DE VOIRIE

	CLASSES DE RÉSISTANCE DU BÉTON	RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUE EN COMPRESSION (MPa)	CLASSES DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION (MPa)	CLASSES DE RÉSISTANCE EN FENDAGE (MPa)
BÉTON DE REVÊTEMENT	BC4	29	C 30/37	S 2,4
	BC5	32	C 35/45	S 2,7
	BC6	38	C 40/50	S 3,3
BÉTON DE FONDATION	BC2	20	C 20/25	S 1,7
	BC3	25	C 25/30	S 2,0



2.3 ÉPAISSEURS DES COUCHES, FINALISATION DU DIMENSIONNEMENT

Le choix se fait en croisant les classes de trafic et les classes de plates-formes, comme indiqué dans les **TABLEAUX 2.6, 2.6 bis et 2.7**, établis en considérant le respect des prescriptions édictées ci-avant sur les classes mécaniques des bétons de revêtement et de fondation.

Les tableaux de dimensionnement (**TABLEAUX 2.6, 2.6 bis et 2.7**) correspondent à la situation la plus fréquente des contextes et pratiques en voirie urbaine. Il y a lieu de

mettre en perspective le contexte de chaque projet avec les choix et hypothèses retenues, à savoir :

- Taux de croissance arithmétique : 1%,
- Durée de service : 20 ou 30 ans,
- Classe de béton BC5.

Dans le cas où ces hypothèse de dimensionnement ne sont pas validées ou ne correspondent pas à la situation du projet, il y a lieu de faire une étude particulière de dimensionnement qui devra prendre en compte les paramètres de calcul de mécanique des chaussées. ■

A SAVOIR

Les voiries sont dimensionnées à la fatigue. En raison des formes des courbes de fatigue des bétons qui sont proches de l'horizontale, les chaussées en béton sont sensibles au sous-dimensionnement comme au surdimensionnement. Concrètement :

- Enlever 1 cm d'épaisseur de béton à ce qui est nécessaire revient à diviser par 2 la durée de vie théorique de la structure, soit 10 ans au lieu de 20 ans dans les cas les plus fréquents. Dans la même logique, ajouter 1 cm double, toutes choses bien conçues et exécutées par ailleurs, la durée de service structurelle soit 40 ans au lieu de 20 ans. Nombreux sont les exemples de voiries en béton à très longue durée de vie, voire aux durées de vie anormalement longues pourvu que l'homogénéité des épaisseurs tout comme une plate-forme de bonne portance, et un drainage efficace soient au rendez-vous.
- Faire circuler des poids lourds sur des aires conçues pour un usage exclusivement piétonnier peut provoquer des fissures au premier chargement, notamment pendant le chantier.
- Dans la légitime quête de réduction des risques en regard des aléas des chantiers urbains et des incertitudes sur la nature et les évolutions du trafic, prendre l'initiative de « sur dimensionner » volontairement de l'ordre de 2cm l'épaisseur théorique est un choix pertinent pour des projets emblématiques ou stratégiques.

SCHÉMA DE PRINCIPE ILLUSTRANT L'INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DU BÉTON SUR LA DURÉE DE VIE DE LA STRUCTURE

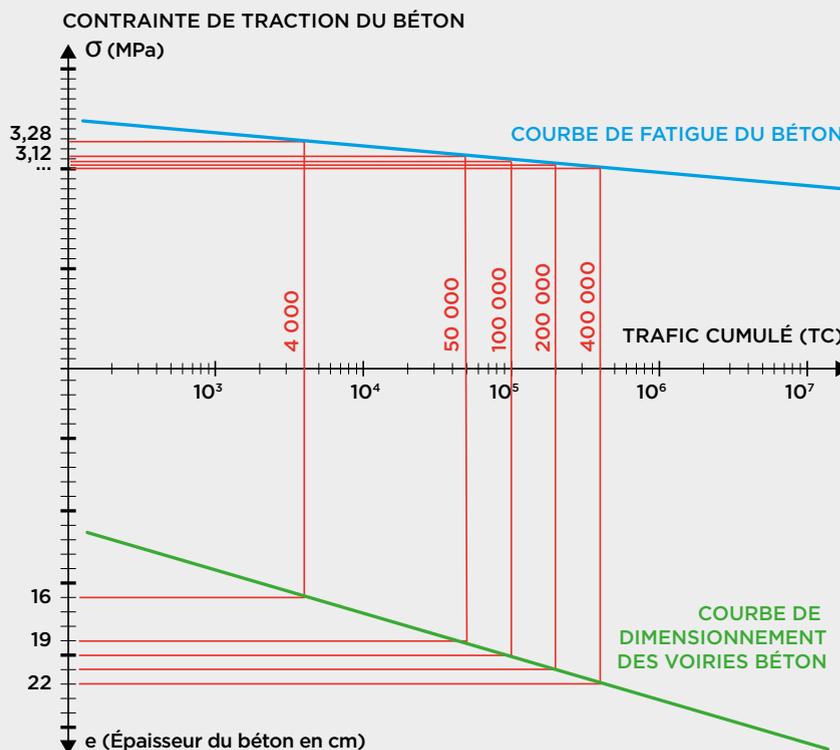


TABLEAU 2.6 : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES BÉTON (BÉTON BC5 - DURÉE DE VIE 20 ANS)

PLATE-FORME SUPPORT	AMÉNAGEMENT NON CIRCULÉ		AMÉNAGEMENT CIRCULÉ					
	EXCLUSIVEMENT PIÉTONNIER	CIRCULATION OCCASIONNELLE	T5	T4	T3	T2	T1	T0
	0	0-2	3-25	26-50	51-150	151-300	301-750	>750
PF2	12 cm	17 cm	20 cm	22 cm	16 BC5 18 BC3	18 BC5 18 BC3	20 BC5 18 BC3	22 BC5g 18 BC3
PF2 qs	12 cm	16 cm	18 cm	20 cm	16 BC5 16 BC3	18 BC5 16 BC3	20 BC5 16 BC3	20 BC5g/16 BC3 ou 21 BC5g /9 GB3
PF3	12 cm	15 cm	17 cm	18 cm	15 BC5 15 BC3	17 BC5 15 BC3	19 BC5 15 BC3	18 BC5g/15 BC3 ou 19 BC5g/9 GB3

TABLEAU 2.6 bis : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES BÉTON (BÉTON BC5 - DURÉE DE VIE 30 ANS)

PLATE-FORME SUPPORT	AMÉNAGEMENT NON CIRCULÉ		AMÉNAGEMENT CIRCULÉ					
	EXCLUSIVEMENT PIÉTONNIER	CIRCULATION OCCASIONNELLE	T5	T4	T3	T2	T1	T0
	0	0-2	3-25	26-50	51-150	151-300	301-750	>750
PF2	12 cm	20 cm	22 cm	23 cm	17 BC5 18 BC3	19 BC5 18 BC3	21 BC5 18 BC3	22 BC5g 18 BC3
PF2 qs	12 cm	19 cm	20 cm	21 cm	17 BC5 16 BC3	19 BC5 16 BC3	22 BC5 16 BC3	20 BC5g/16 BC3 ou 21 BC5g /9 GB3
PF3	12 cm	17 cm	18 cm	19 cm	16 BC5 15 BC3	18 BC5 15 BC3	20 BC5 15 BC3	18 BC5g/15 BC3 ou 19 BC5g/9 GB3

TABLEAU 2.7 : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES EN BÉTON DRAINANT (DURÉE DE VIE 20 ANS)

PORTANCE PF2(*)	CLASSE DE TRAFIC (EN POIDS LOURD PAR JOUR SUR LA VOIE LA VOIE LA PLUS CHARGÉE)				
CLASSE DE BÉTON	EXCLUSIVEMENT PIÉTONNIER	CIRCULATION OCCASIONNELLE 0 < T ≤ 2	T5 3 < T ≤ 25	T4 25 < T ≤ 50	T3(**) 50 < T ≤ 150
BC4 drainant	Dimensionnement hydraulique avec un minimum de 12 cm	19 cm	22 cm	24 cm	20 cm(***) BC4 15 cm(***) BC3
BC3 drainant		21 cm	24 cm	26 cm(***)	-
BC2 drainant		23 cm	-	-	-

(*) Pour une portance PF3, les épaisseurs figurant dans le tableau seront réduites de 2 cm, avec un minimum de 12 cm. Pour les aménagements exclusivement piétonniers, une plateforme PF1 est envisageable. Dans ce cas l'épaisseur minimale est portée à 14 cm pour le BC2 et reste à 12 pour BC3 et BC4.

(**) Pour la classe T3, les structures comprennent une couche de fondation, par exemple en béton poreux de classe BC3 et d'épaisseur minimale 12 cm.

(***) Pour les trafics T3 pour le BC4 et T4 pour le BC3, la mise en oeuvre doit être effectuée avec des moyens mécanisés.



2.4 LE RETRAIT DU BÉTON ET LES JOINTS

Le phénomène de retrait du béton est un phénomène naturel, normal et inévitable, engendré par les facteurs suivants:

- La perte d'eau du béton frais par percolation dans le support et évaporation dans l'air (retrait hygrométrique). Pour diminuer ce phénomène, il est conseillé de prendre les dispositions suivantes :
 - > Arroser la plate-forme support avant le bétonnage et plus particulièrement par temps chaud,
 - > Dès la fin du bétonnage, quelles que soient les conditions climatiques protéger le béton par un produit de cure (voir § 3.3).
- L'hydratation du ciment s'accompagne d'une réduction de volume (retrait endogène), phénomène irréversible et permanent.
- La variation dimensionnelle du béton durci sous l'effet des variations des températures ambiantes (dilatation et contraction du béton), phénomène réversible et intermittent.

Pour contrôler et organiser le retrait du béton (phénomène inévitable), on réalise des joints qui ont pour but de localiser de manière précise et déterminée à l'avance la fissuration naturelle du béton (cf. **FIGURE 2.2**). Pour les revêtements en béton armé continu, il n'y a pas lieu de réaliser des joints de retrait transversaux ; seuls les joints de retrait longitudinaux sont nécessaires lorsque la largeur est supérieure à 5 m.

Les joints de retrait sont réalisés en créant une entaille partielle qui matérialise un plan de faiblesse selon lequel le béton en cours de durcissement est amené à se fissurer sous l'action des contraintes de traction.

Les joints de construction et de dilatation sont réalisés en créant dans le revêtement une discontinuité totale sur toute la hauteur du revêtement.



Fissure de retrait non maîtrisé ©CIMbéton

En fait, une voirie en béton se présente comme une succession de dalles séparées par des joints ou des joints/fissures. La réalisation correcte des joints est donc une condition essentielle à la pérennité de la voirie. Les joints des voiries en béton ont donc pour rôle de :

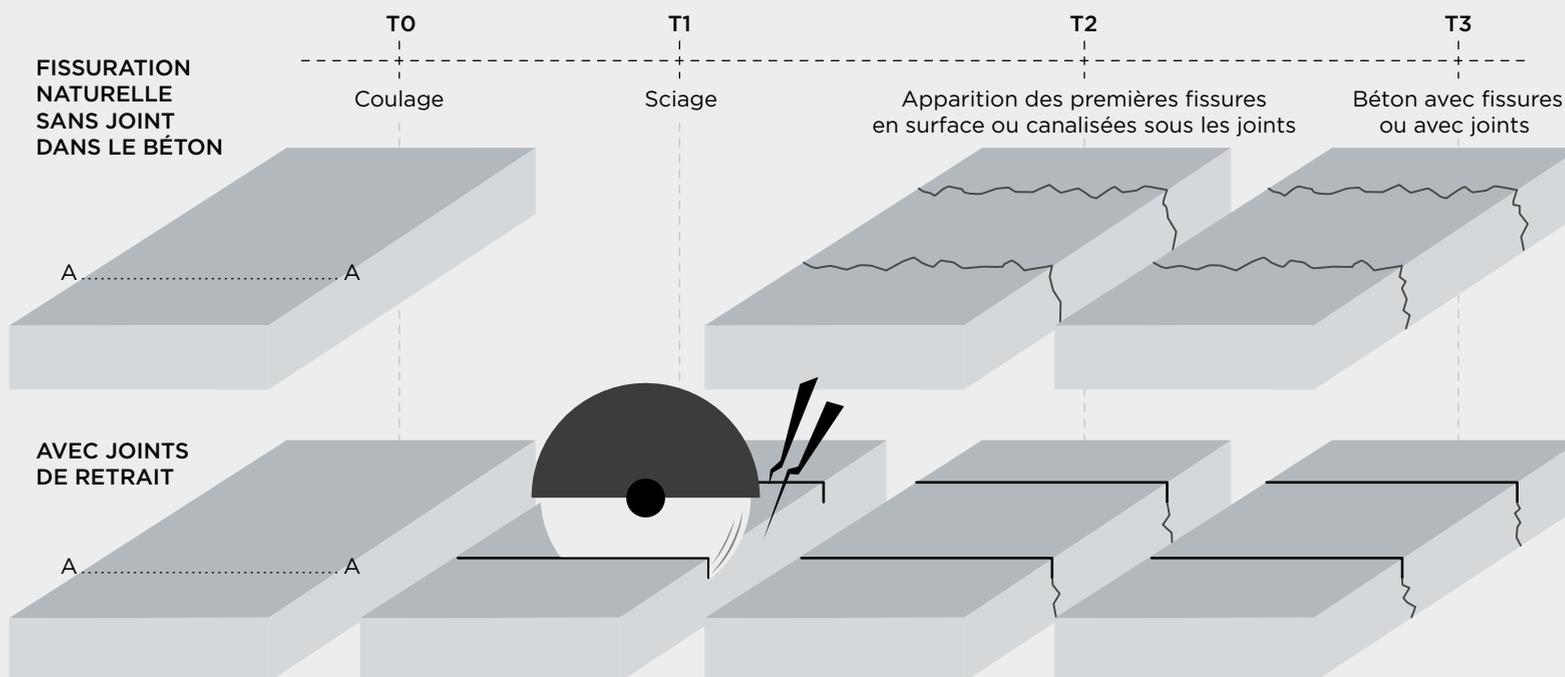
- Localiser les discontinuités induites par les retraits du béton de ciment,
- Faire face aux effets de la température lors de la vie en œuvre du béton,
- Marquer les phases et arrêts de chantier,
- Gérer l'impact des discontinuités des couches inférieures,
- Maîtriser les liaisons et interfaces avec les matériaux et équipements jouxtant ou inclus dans le béton.

En outre, aux dilatations et retraits thermiques et hygrométriques du béton d'occurrence saisonnière se superposent les gradients thermiques et hydriques entre les surfaces supérieures et inférieures des dalles de béton d'occurrence journalière.

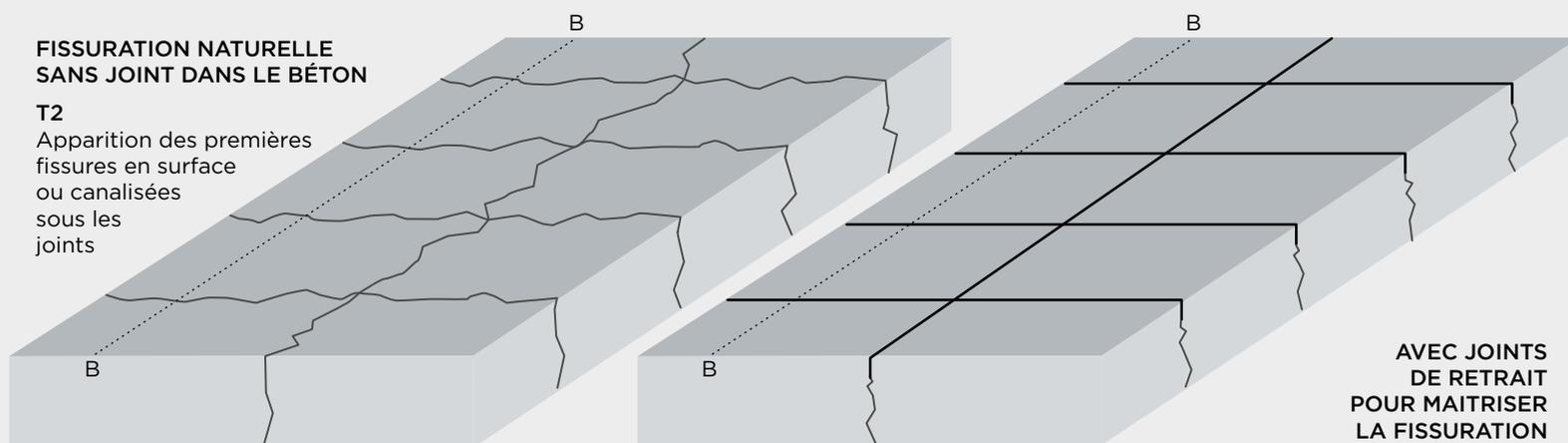
Il faut toujours considérer cette double temporalité, saisonnière pour notamment les joints de dilatation et journalière notamment pour la maîtrise du phénomène de tuilage dans la conception et l'exécution des voiries en béton. ■

FIGURE 2.2 : LA FISSURATION NATURELLE DU BÉTON ET LES JOINTS DE RETRAIT

DALLE DE LARGEUR < 5M - COUPE TRANSVERSALE AA



DALLE DE LARGEUR > 5M - COUPE LONGITUDINALE BB





2.5 DE LA NÉCESSITÉ DE CONCEVOIR UN PLAN DE CALEPINAGE DES JOINTS

La règle d'or est que le calepinage des joints, le format des dalles et les contacts avec les émergences, les objets fonctionnels ou décoratifs de l'aménagement comme les appareillages des réseaux ou les fosses d'arbres ne s'improvisent pas par l'entreprise au moment de l'exécution.

Le dispositif de calepinage général doit être étudié avec précision, avant la remise des offres et en tout état de cause avant le démarrage du chantier, au niveau du dossier d'exécution du maître d'œuvre. Parfois, sur demande du maître d'œuvre, l'entreprise doit pouvoir proposer une étude de ces dispositions constructives et lui soumettre le projet pour approbation.

Le débat porte fréquemment sur l'adéquation entre la mise en valeur du calepinage pour renforcer le trait du rendu esthétique de l'aménagement d'une part, et les sujétions d'ordre technique imposées par la rhéologie des structures et du matériau béton d'autre part.

Dans cette légitime quête du compromis, il est nécessaire de bien maîtriser les obligations techniques dont la grande majorité est incontournable puisqu'elles dépendent bien davantage de la physique des matériaux et des structures et de l'environnement que de leurs sollicitations et donc de leurs usages.

Le principe qui sous-tend l'élaboration d'un plan de calepinage appelle au préalable à se poser les questions suivantes :

- Forme du projet : linéaire type route ou voirie, ou surfacique type aménagement de place ou parvis, etc.
- Existence ou non d'émergences au sein du projet : entourage d'arbre, caniveaux et avaloirs, boîte à eau, bouche à clé, regards, etc.

- Dimensions géométriques du projet en lien avec la nécessité de réaliser différents types de joints (retrait/flexion, construction, dilatation),
- Conception des joints en lien avec le bâti ou tout autre parti d'aménagement : joints classiques ou bandes structurantes.

En fonction de la réponse à chacune de ces questions, le maître d'œuvre est amené à définir les principes et les règles de l'art que l'entreprise doit respecter pour réussir l'aménagement.

Le plan de calepinage est alors réalisé par le maître d'œuvre, ou à défaut délégué à l'entreprise qui le soumettra pour approbation au maître d'œuvre. Le plan de calepinage doit conjuguer les joints suivant des critères définis dans le paragraphe 2.7.

En outre, il doit fixer les règles de l'art fondamentales d'espacement, d'angle et de géométrie de dalle telles que définies au paragraphe 2.8. ■



Exemple de calepinage sur giratoire, Eulmont ©Signature

LA DÉMARCHE 1

Si le projet est linéaire, mais dont la largeur est inférieure à 5 m, le plan de calepinage est simple car il suffit de tracer les joints de retrait transversaux (**FIGURE 2.2**) en les espaçant d'une longueur, fonction de l'épaisseur du revêtement et définie dans le **TABLEAU 2.8** (tous les 5 mètres maximum pour une dalle de 20 cm d'épaisseur). Si le projet est linéaire, mais dont la largeur est supérieure ou égale à 5 m, le dispositif doit être complété par un joint de retrait longitudinal (**FIGURE 2.2**) dès lors que le bétonnage est réalisé en pleine largeur ou par un joint de construction si le bétonnage est fait par demi-chaussée.

En fonction de la taille de l'ouvrage et du rendement de l'entreprise, le maître d'œuvre doit être en mesure d'estimer le nombre de joints de construction (**FIGURE 2.10**) à réaliser sur le chantier. Il serait judicieux de les faire coïncider dans la mesure du possible avec des points particuliers tels que les carrefours. En outre, en cas de bétonnage hivernal (température inférieure à 10°C), il est fortement recommandé de prévoir des joints de dilatation dont le nombre et les dimensions sont déterminés à l'aide de la note de calcul présenté dans **L'ANNEXE 2.1**.

Si le revêtement comporte des émergences, il faut dans la mesure du possible placer le joint dans le plan transversal de l'émergence conformément aux schémas de la **FIGURE 2.13**.

Dans le cas d'une conception prenant en compte les lignes architecturales du bâti ou de l'environnement immédiat, le maître d'œuvre peut réaliser le plan de calepinage en remplaçant les joints par des bandes structurantes dont la couleur et l'agencement valorisent le projet.



Exemple de calepinage sur une place dans un parc ©Specbea

LA DÉMARCHE 2

Si le projet est surfacique, le plan de calepinage est plus complexe. En effet, il faut que l'entreprise définisse un plan de bétonnage prenant en compte les contraintes du projet (orientation des bandes de bétonnage et séquençage) entraînant le positionnement des différents types de joints, tout en respectant les mêmes règles que celles de la démarche 1.

En cas de bétonnage hivernal (température inférieure à 10°C), il est fortement recommandé de prévoir des joints de dilatation dont le nombre et les dimensions sont déterminés à l'aide de la note de calcul présentée dans **L'ANNEXE 2.1**.

Si le revêtement comporte des émergences, il faut dans la mesure du possible placer le joint dans le plan transversal de l'émergence conformément aux schémas de la **FIGURE 2.13**.

Dans le cas d'une conception prenant en compte les lignes architecturales du bâti ou de l'environnement immédiat, le maître d'œuvre peut réaliser le plan de calepinage en remplaçant les joints par des bandes structurantes dont la couleur et l'agencement valorisent le projet.

Dans le cadre d'un ouvrage circulaire, un exemple de calepinage des joints sur une aire d'évolution est détaillé page 36.

En outre, dans le cas d'un carrefour giratoire, une procédure pour le tracé du plan de calepinage est détaillée page 36.



2.6 LES DIFFÉRENTS TYPES DE JOINTS

Le lecteur pourra utilement se référer au guide « Les joints : règles de l'art et dispositions constructives », élaboré par le Spebea et disponible sur le site

www.spebea.com.

2.6.1 JOINT DE RETRAIT

Le joint de retrait a pour but de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient thermique. Il peut être transversal ou longitudinal. Ce dernier concerne tous les revêtements en béton mis en œuvre en une seule fois sur une largeur comprise entre 4,5 m et 10 m. Au-delà d'une largeur de 10 m, il faut exécuter au moins deux joints longitudinaux.

Le joint de retrait est réalisé en créant à la partie supérieure du revêtement une amorce de fissuration (par moulage ou sciage) qui matérialise un plan de faiblesse selon lequel le béton est amené à se fissurer sous l'action des contraintes de traction ou de flexion.

Cette amorce de fissuration doit avoir une profondeur comprise entre un quart et un tiers de l'épaisseur du revêtement et une largeur comprise entre 3 et 5 mm (**FIGURE 2.3**).

Le joint de retrait peut être moulé ou scié, goujonné ou non goujonné. Le transfert de charge s'opère par l'engrènement des lèvres de la fissure canalisée sous le joint.

NOTA Le BAC n'est pas concerné par les joints de retrait transversaux.

JOINTS DE RETRAIT MOULÉS

Les joints moulés sont des profilés PVC implantés avec soin dans le béton frais dans le prolongement du coulage. (**FIGURE 2.4**). Ils sont disponibles en barres de 2 m ou plus, avec ou sans réserve pour produit d'étanchéité. Ils peuvent uniquement être utilisés pour ouvrages non circulés. (cf. Norme NF P 98-170).

JOINTS DE RETRAIT SCIÉS NON GARNIS

En fonction de la composition du béton, de la méthode de mise en œuvre, des conditions climatiques ambiantes, un trait de scie est exécuté dans un délai adéquat qui peut varier de 6 à 24 h après le bétonnage.



JOINTS DE RETRAIT SCIÉS ET CHANFREINÉS ©AER

JOINTS DE RETRAIT SCIÉS ET GARNIS

Pour les voiries à trafic moyen ou fort, il faut garnir (sceller) les joints. Cette opération est réalisable au bout d'un délai de 21 jours nécessaire au durcissement du béton et à l'ouverture des joints. L'amorce de fissuration fera l'objet des opérations suivantes :

- Elargissement du joint à 10 mm de largeur et 35 mm de profondeur pour loger le produit d'étanchéité,
- Chanfreinage à 45° des deux bords du joint sur 3-5 mm pour éviter les épaufrures,
- Nettoyage soigné de la gorge du joint,
- Pose du fond de joint,
- Application d'un primaire d'accrochage,
- Mise en place du produit de scellement d'étanchéité telle que illustrée par les **FIGURES 2.5**.

FIGURE 2.3 : SCHÉMA D'UN JOINT DE RETRAIT SCIÉ

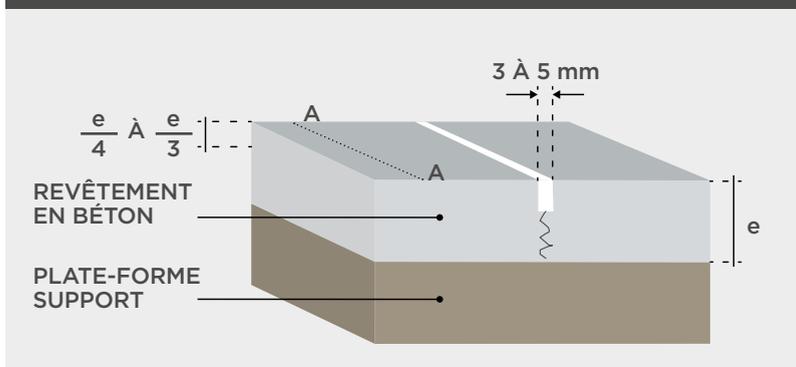
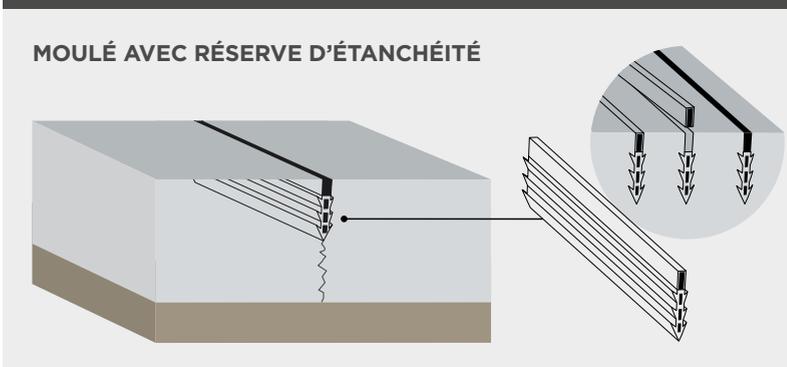
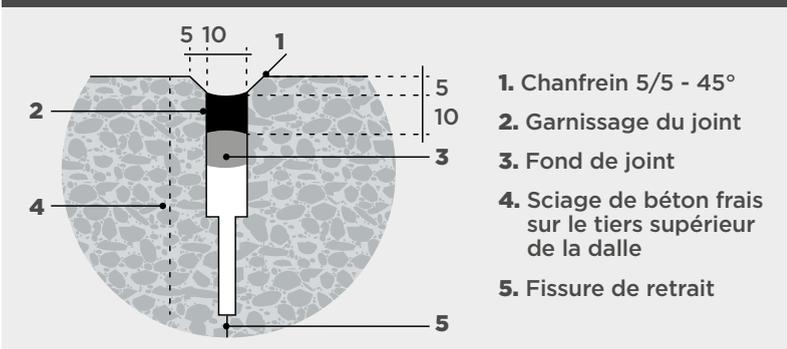


FIGURE 2.4 : SCHÉMA D'UN JOINT DE RETRAIT MOULÉ



Garnissage d'un joint de retrait, Vire ©Socotras

FIGURE 2.5 : SCHÉMA D'UN JOINT SCIÉ GARNI AVEC UN PRODUIT D'ÉTANCHÉITÉ





JOINTS GOUJONNÉS

Le transfert de charge est amélioré par les goujons, barres métalliques placés horizontalement dans le sens longitudinal de la voie parallèlement à l'axe de la voirie et implantés à mi épaisseur de la couche de béton (**FIGURE 2.6**).

Afin de garantir le glissement du béton induit par les phénomènes de dilatation/contraction, il faut :

- Empêcher l'adhérence entre le béton et le goujon en munissant ce dernier d'un film mince bitumineux ou plastique sur au moins la moitié de sa longueur,
- S'assurer du bon positionnement du goujon (alignement dans l'axe de la voie, et horizontalité).



Positionnement des goujons sur leur support au droit des futurs joints sciés avant bétonnage à la machine à coffrage glissant (à signaler les marques sur le bord du béton signalant l'endroit exacte du sciage à venir) ©Signature

2.6.2 JOINT DE DILATATION

Le joint de dilatation a pour rôle d'absorber la dilatation de la voirie par déformation des matières compressibles qui le constitue. Dans la configuration transversale leur implantation est toujours perpendiculaire à l'axe de la voirie. Dans la configuration longitudinale ils sont implantés le long des structures de chaussées différentes, caniveaux, bordures ou autres émergences.

Contrairement au joint de retrait, le joint de dilatation concerne toute l'épaisseur de la dalle de béton. Il se compose d'un corps de joint et d'un joint souple en partie supérieure pour assurer l'étanchéité (**FIGURE 2.7**). Le corps du joint peut être constitué de polyéthylène non absorbant, de masse volumique 50 à 60 kg/m³ avec une compressibilité de 50% à 0,3 MPa.

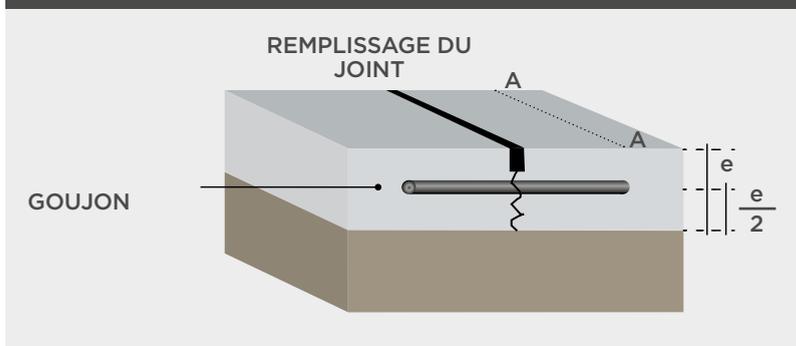
A titre conservatoire et plus particulièrement dans le cas d'un bétonnage hivernal, il est prudent de réaliser des joints de dilatation (de l'ordre de 2 cm) selon un schéma d'implantation déterminé avec la note de calcul exposée dans l'**ANNEXE 2.1** Afin de ne pas multiplier les discontinuités, on peut 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. (**FIGURE 2.8**).



Joint de dilatation - Chantier de l'hôtel de ville de Vire Normandie ©RCR déco France

FIGURE 2.6 : SCHÉMA D'UN JOINT SCIÉ, GOUJONNÉ ET GARNI



Joint de dilatation goujonné ©CIMbéton

FIGURE 2.7 : SCHÉMA D'UN JOINT DE DILATATION TRANSVERSAL SCÉLÉ AVEC UN PRODUIT D'ÉTANCHÉITÉ

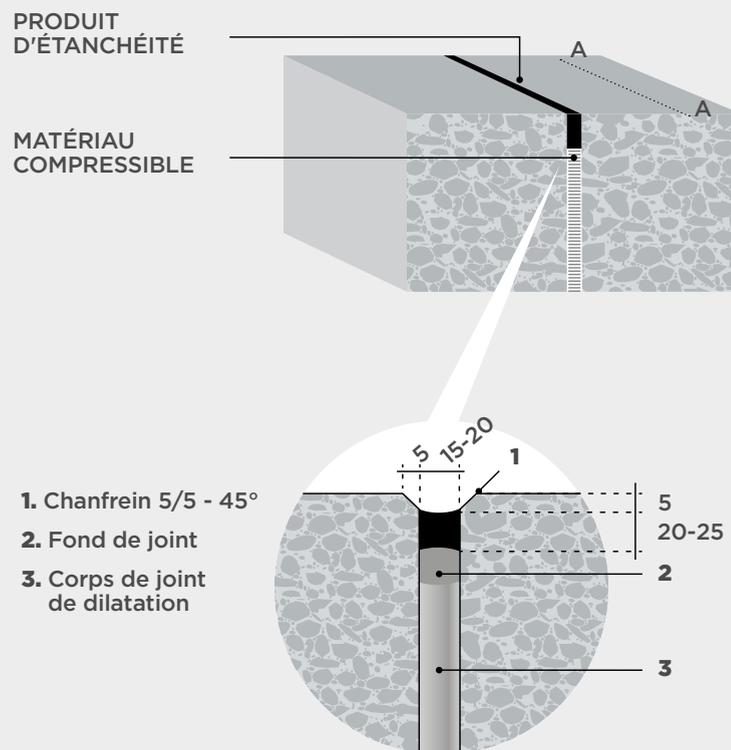
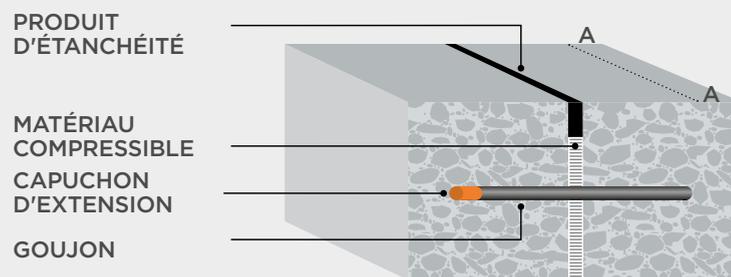


FIGURE 2.8 : SCHÉMA D'UN JOINT DE DILATATION TRANSVERSAL GOUJONNÉ ET GARNI AVEC UN PRODUIT D'ÉTANCHÉITÉ





2.6.3 JOINT DE CONSTRUCTION

Le joint de construction correspond aux arrêts de chantiers d'une durée supérieure au temps de prise du béton. Il peut être transversal ou longitudinal.

Il est réalisé à l'aide de panneaux de coffrage en bois ou en métal munis le cas échéant de réservations pour les dispositifs de liaison et de transfert de charge. Il peut également être réalisé à l'aide d'une machine à coffrage glissant. Il peut aussi être transformé en un joint de dilatation si son emplacement l'autorise. (FIGURE 2.9).



Exemple d'un chantier où le phasage et le parti d'aménagement imposent une multitude de joints de construction. ©MCA

Dans le cas de joints de construction transversaux, afin d'assurer la continuité ou le transfert de charge, on équipe ces joints de clés sinusoïdales ou de goujons (FIGURE 2.10).

Dans le cas de joints de construction longitudinaux, pour maintenir fermé ces joints, on implante le plus souvent des fers de liaison dans le béton frais ou durci (FIGURE 2.11).

2.6.4 JOINT D'ISOLEMENT

Le joint d'isolement assure les transitions entre la dalle béton et les différents appareillages d'émergences de réseaux enterrés et autres mobiliers ou structure verticale et équipements de la voirie. Il absorbe la dilatation de la chaussée par déformation de sa partie compressible. Il

fonctionne comme des joints de dilatation.

Il convient d'être très vigilant sur les réductions de section et les formes résiduelles des dalles de béton pour éviter le développement de fissures sur les sections les plus réduites. ■



Fissuration provoquée par une émergence (en l'absence de disposition constructive adaptée), causée par la réduction de la section transversal de la dalle ©Agilis



Renforcement par une cage d'armature autour d'un tampon ©SOLS

FIGURE 2.9 : SCHÉMA D'UN JOINT DE CONSTRUCTION

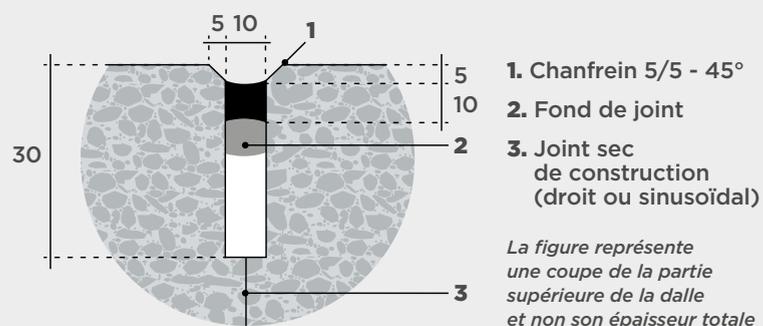


FIGURE 2.11 : JOINTS DE CONSTRUCTION LONGITUDINAUX COMPORTANT UNE CLÉ OU DES FERS DE LIAISON

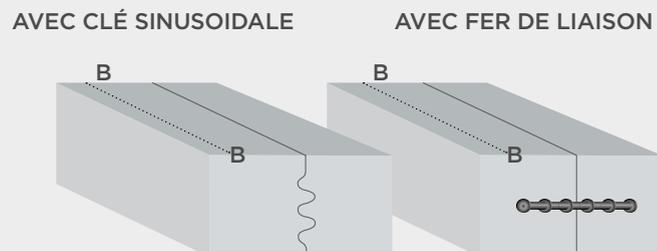
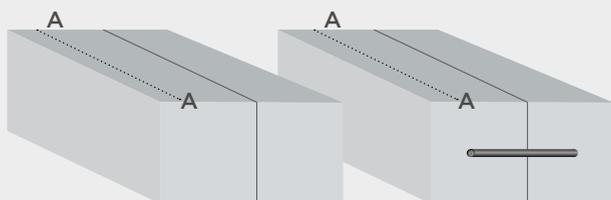


FIGURE 2.10 : JOINTS DE CONSTRUCTION TRANSVERSAUX

SANS TRANSFERT DE CHARGE :
 COFFRÉ PLAN

AVEC TRANSFERT DE CHARGE :
 GOUJONNÉ



Joint d'isolement autour d'un pied d'arbre ©SOLS



Calepinage sur carrefour giratoire, Chambéry ©CIMbéton



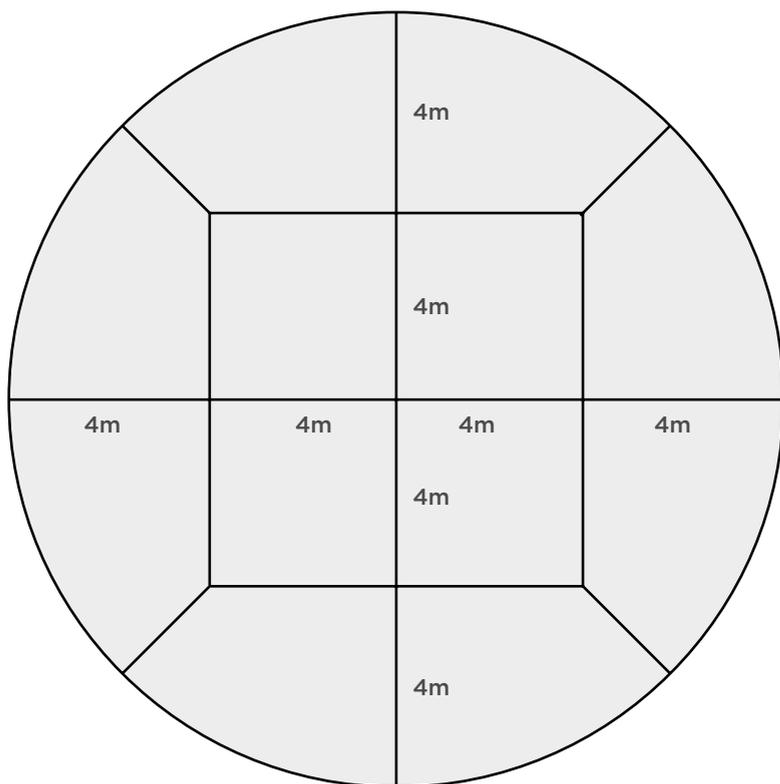
2.7 LE PLAN DE CALEPINAGE

Il conjugue les joints, suivant trois critères :

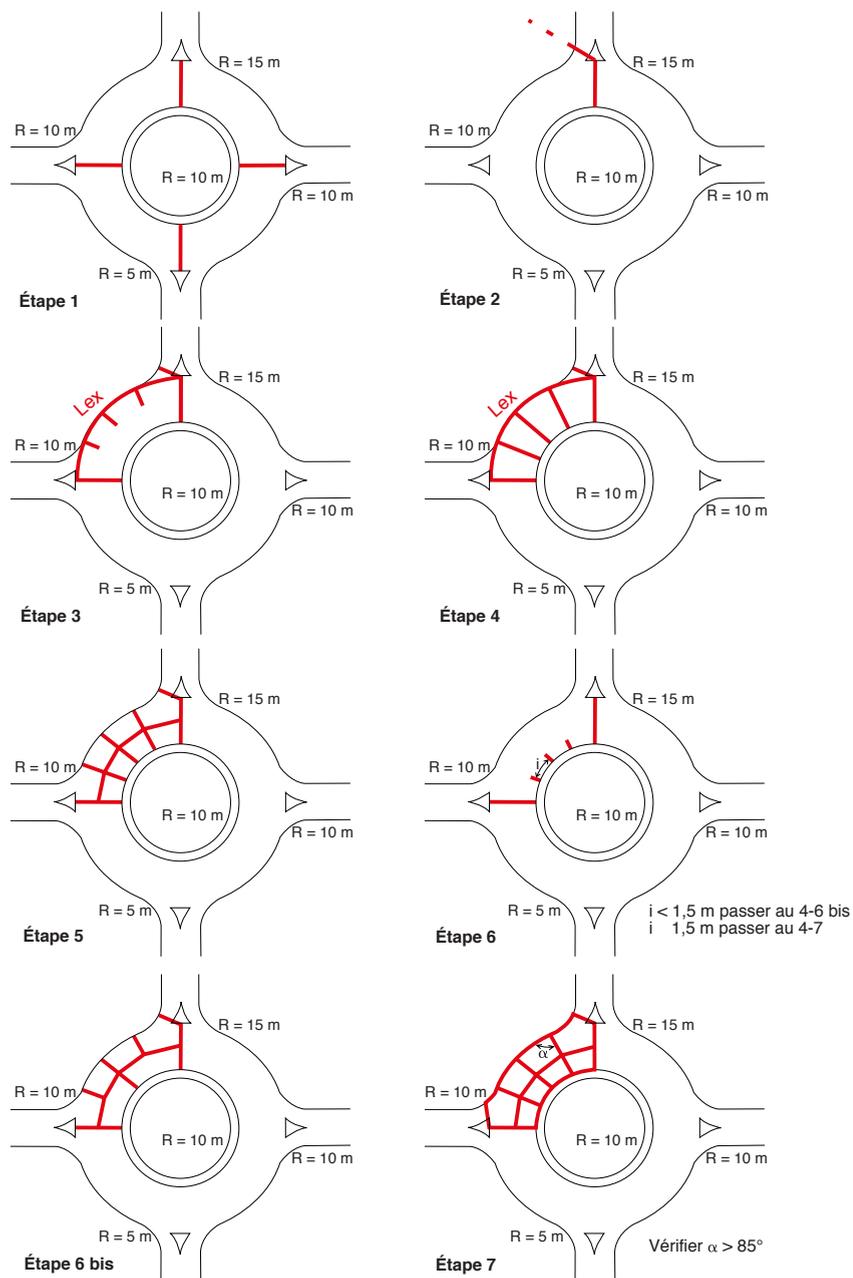
- Le positionnement (transversal, longitudinal et oblique selon le sens du trafic ou du coulage du béton),
- La fonctionnalité (retrait, dilatation, construction, isolement),
- Le niveau de transfert de charge recherché, en fonction du trafic et de la fonctionnalité du joint. ■

FIGURE 2.12 : PLAN DE CALEPINAGE D'OUVRAGES PARTICULIERS.

EXEMPLE DE JOINTS DE RETRAIT SUR UNE AIRE D'ÉVOLUTION CIRCULAIRE DE 16,00 M DE DIAMÈTRE



EXEMPLE DE PROCÉDURE POUR LE TRACÉ DU PLAN DE CALEPINAGE D'UN CARREFOUR GIRATOIRE



2.8 LES RÈGLES DE L'ART

Le dessin et l'implantation des joints qui prévalent au calepinage doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- **Espacement maximum des joints ≤ 25 fois l'épaisseur et maximum 5 m,**
- **Angles des coins des dalles : 90° ou à défaut $\geq 75^\circ$,**
- **Rapport longueur/largeur de dalle $\leq 1,5$.**



Calepinage des joints sur parvis, Parking Relais des Panettes, Meyzieu ©MCA

2.8.1 ESPACEMENT DES JOINTS

2.8.1.1 ESPACEMENT DES JOINTS DE RETRAIT

L'espacement des joints de retrait, fonction de l'épaisseur du béton, doit respecter les règles mentionnées dans le **TABLEAU 2.8**.

TABLEAU 2.8 : ESPACEMENT DES JOINTS DE RETRAIT/FLEXION EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DE LA DALLE

EPAISSEUR DE LA DALLE BÉTON (cm)	ESPACEMENT DES JOINTS (m)
12	3,00
13	3,25
14	3,50
15	3,75
16	4,00
17	4,25
18	4,50
19	4,75
20	5,00

Les espacements des joints de retrait sont des ordres de grandeur. Pour les épaisseurs de dalles supérieures ou égales à 20 cm, l'espacement maximum ne doit pas dépasser 5 m.

Les typologies des joints de retrait sont liées au besoin en matière de transfert de charge, fonction des sollicitations. Les choix recommandés sont précisés dans le **TABLEAU 2.9**.

TABLEAU 2.9 : TYPOLOGIE DES JOINTS DE RETRAIT

TRAFIC POIDS LOURDS «Ti» (PL PAR JOUR ET PAR SENS)	TYPE DE JOINTS
$T \geq 300$ PL	Joint scié et goujonné
de $3 \leq T < 300$ PL	Joint scié, non goujonné
$T \leq 2$ PL	Joint moulé Joint scié, non goujonné Bande de produits modulaires



2.8.1.2 ESPACEMENT DES JOINTS DE DILATATION

L'espacement des joints de dilatation se calcule, au cas par cas, en prenant en compte les conditions climatiques, la configuration géométrique du projet, la typologie de la structure et les schémas de calepinage du projet.

L'ANNEXE 2.1 présente la méthode de calcul relative aux joints de dilatation. En tout état de cause, son application s'impose pour un bétonnage hivernal.

A noter que les joints de retrait sont conçus pour avoir une capacité plus ou moins développée à associer retrait et dilatation. Ainsi, un joint de retrait correctement conçu, réalisé et entretenu, a une capacité à encaisser une dose de dilatation qu'il est utile d'appréhender. Le TABLEAU 2.10 précise ces contributions forfaitaires qui peuvent être pris en compte dans les calculs ou être le garant d'une sécurité additionnelle.

TABLEAU 2.10 : APPRÉCIATION DES DILATATIONS ET DES CONTRACTIONS DES JOINTS

TYPE DE JOINT		DILATATION MAXIMALE PRISE FORFAITAIEMENT (mm)
Joints de retrait transversaux	Dalle \leq 5 m	2
	5 m < Dalle < 7,5 m	3
Joints de retrait longitudinaux	Avec fers de liaison	1
	Sans fers de liaison	4
Joints de construction transversaux et longitudinaux	Avec fers de liaison	1
	Sans fers de liaison	4
Joints de dilatation		5 (*)

(*) : Cette valeur ne concerne pas les joints du BAC, qui atteignent des valeurs très supérieures.

Il convient aussi d'être particulièrement vigilant sur la dilatation dans le cas où le phasage de coulage du béton conduit à un clavage du béton frais entre deux zones de béton durci réalisées antérieurement.



Exemple de traitement architectural du calepinage des joints, Le Havre ©Mineral Service

2.8.2 LOCALISATION DES JOINTS DE CONSTRUCTION ET D'ISOLEMENT

L'emplacement des joints de construction et d'isolement est guidé par les conditions de mise en œuvre et la présence des émergences.

2.8.2.1 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES POUR L'INTÉGRATION DES ÉMERGENCES

Il est préférable, si le contexte s'y prête, d'installer les réseaux en dehors de l'emprise d'une voirie béton, circulée ou pas. Pour un revêtement intégrant des émergences, il faut placer un joint de retrait, de dilatation ou de construction au niveau de chaque émergence, en respectant dans la mesure du possible la règle des espacements des joints. A défaut, deux possibilités sont offertes :

- Exécuter des joints de retrait (le long des diagonales à l'extérieur de l'appareillage pour les formes carrées ou rectangulaires et dans le prolongement du diamètre pour une émergence circulaire) conformément aux schémas

de la **FIGURE 2.13**, afin d'atteindre un joint ou un bord du revêtement.

- Réaliser un chaînage ou un ferrailage autour de l'émergence afin d'empêcher l'ouverture de la fissure de retrait et sa propagation. Les photos ci-dessous illustrent le panel des situations et des dispositions constructives à mettre en œuvre.

2.8.2.2 CAS PARTICULIER D'UN CALEPINAGE EN ÉLÉMENTS MODULAIRES (PAVÉS, DALLES OU POUTRES)

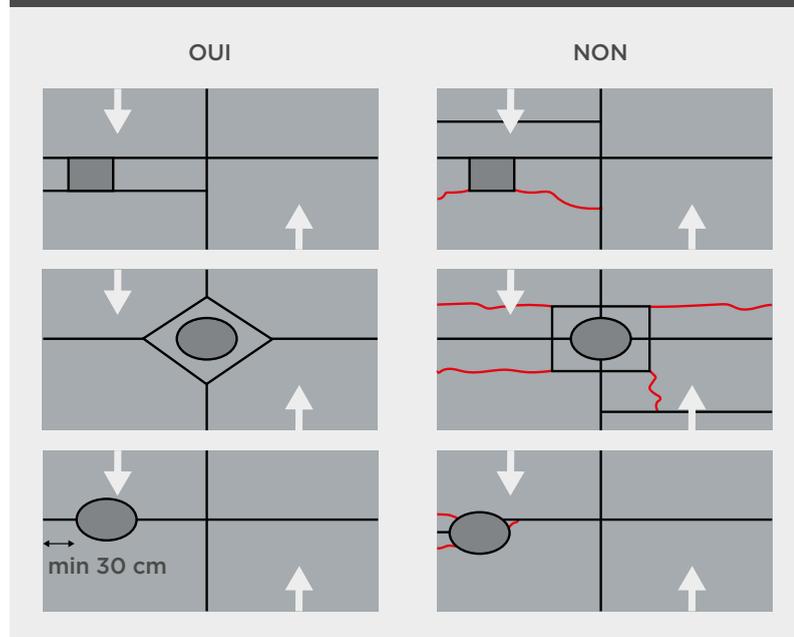
Un calepinage en produits modulaires peut contribuer à l'esthétique d'un projet. Il peut élégamment se substituer à un joint de retrait ou faire office de joint de construction. Il serait judicieux d'observer les mêmes règles de calepinage que celles qui prévalent à un revêtement en béton classique. Il faut dans ce cas :

- S'assurer que le mortier de pose en support des éléments modulaires est exécuté dans les règles de l'art, à savoir, bord vertical et absence de chanfrein.
- S'assurer que l'épaisseur du revêtement mis en perspective avec les dimensions des dalles et la nature de leurs délimitations ne génère pas un risque de tuilage (cf. **ANNEXE 2.1**). Outre les éléments modulaires et leur massif support, ces délimitations peuvent être des bordures, des caniveaux, des bâtiments, des traverses métalliques ou en bois etc. ■



Chaînage bordant un avaloir ©CIMbéton

FIGURE 2.13 : BONNES POSTURES POUR LE DÉVELOPPEMENT DES JOINTS DE RETRAIT ASSOCIÉS À UNE ÉMERGENCE DE RÉSEAU ENTERRÉ



Chaînage autour d'un regard ©CIMbéton



ANNEXE 2.1 : NOTE DE CALCUL DES JOINTS DE DILATATION

1. GÉNÉRALITÉS

Afin de déterminer le dimensionnement des joints de dilatation, il est nécessaire de prendre en compte deux phénomènes principaux :

- Le retrait endogène ou intrinsèque du béton
- La variation dimensionnelle du béton sous l'effet des variations de température.

1.1. LE RETRAIT ENDOGÈNE DU BÉTON AU JEUNE ÂGE

Ce phénomène est lié à la prise et à l'hydratation du ciment. Il entraîne une contraction du béton sur lui-même, et ce indépendamment de la température ambiante. Selon la formulation du béton, ce retrait est évalué entre 0.04% et 0.05 % (par rapport à la longueur de la dalle en béton).

Ainsi, pour une dalle en béton de 100 m de long, ce retrait est donc compris entre :

$$0.04 \% \times 100 \text{ m} = 0.04 \text{ m, soit } 4 \text{ cm}$$

Et

$$0.05\% \times 100 \text{ m} = 0.05 \text{ m, soit } 5 \text{ cm.}$$

Ce qui peut être traduit selon la formule générale (1) :

$$\Delta L_1 = L \text{ Re} \quad (1)$$

ΔL_1 La variation de longueur de la dalle liée au retrait endogène du béton au jeune âge. Elle est toujours négative.

L Longueur de construction de la chaussée.

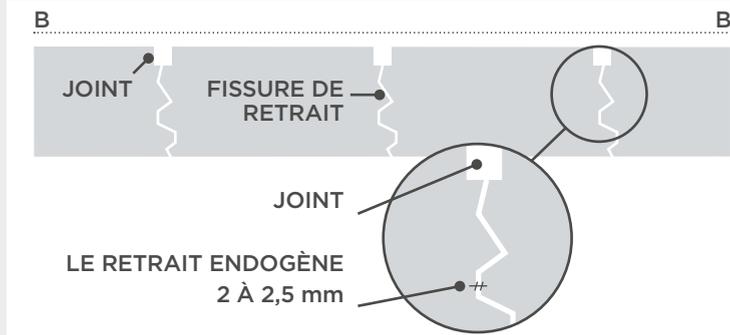
Re Pourcentage de retrait endogène (compris entre 0,04 % et 0,05%).

Ce retrait se traduit par une fissuration anarchique, relativement régulière du béton. Afin de maîtriser cette fissuration anarchique, on réalise, au jeune âge, une amorce de fissuration ou joint par sciage du revêtement sur $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ de l'épaisseur du revêtement. Cette amorce de fissure est réalisée suivant un pas donné (en général tous les 5 m pour une dalle de 20 cm d'épaisseur).

Ainsi le retrait (endogène) de la chaussée est réparti entre les différents joints.

Pour une dalle de 5 mètres, le retrait endogène - donc l'ouverture de la fissure - sera compris entre 2 et 2,5 mm et est indépendant de la température.

DALLE DE BÉTON : REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU RETRAIT ENDOGÈNE



1.2. LA VARIATION DIMENSIONNELLE DU BÉTON SOUS L'EFFET DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

Le béton connaît des variations de longueur sous l'effet des variations de sa température.

La variation de longueur ΔL_2 d'une bande de béton, selon la variation de température, est donnée par la formule (2) :

$$\Delta L_2 = L \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \quad (2)$$

ΔL_2 La variation de longueur de la dalle liée à la dilatation ou la contraction du béton sous l'effet des variations de température. Elle peut être positive ou négative.

L Longueur de construction de la dalle.

α Coefficient de dilatation thermique du béton, constant et égal à 10^{-5} .

$\Delta \theta$ Variation de température du béton.

La variation de température $\Delta \theta$ doit être prise comme la différence entre la température du béton la plus extrême (la plus élevée ou la plus basse) et la température du béton au moment du bétonnage, donc à sa mise en œuvre.

ΔL_2 peut être positive si $\Delta \theta$ est positive (température extrême observée supérieure à la température de bétonnage)

ΔL_2 peut être négative si $\Delta \theta$ est négative (température extrême observée inférieure à la température de bétonnage).

2. DIMENSIONNEMENT DES JOINTS DE DILATATION

Ainsi, la variation de longueur de la dalle béton est la résultante des deux formules (1) et (2). Ceci donne la relation (3).

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (3)$$

ΔL variation de longueur totale.

Il est à noter que :

- chaque dalle de 5 mètres de longueur fonctionne séparément.
- le retrait endogène est réparti au niveau de chacun des joints de retrait. Il en est de même pour la contraction ou la dilatation thermique. Dans le cas d'une contraction thermique, ΔL_2 est négative et comme ΔL_1 est toujours négative, il s'ensuit que ΔL est négative. Les joints de retraits-flexion sont donc ouverts. En revanche, dans le cas d'une dilatation thermique ΔL_2 est positive, et comme ΔL_1 est toujours négative il s'ensuit que le signe de ΔL dépend des valeurs relatives de ΔL_1 et ΔL_2 :
 - $\Delta L_2 < \Delta L_1$ La dilatation thermique est inférieure au retrait endogène, les joints restent ouverts et il n'y a pas besoin de joints de dilatation.
 - $\Delta L_2 = \Delta L_1$ La dilatation thermique est égale au retrait endogène, chacun des joints de retrait se retrouve alors fermé. Il n'y a pas besoin dans ce cas de réaliser des joints de dilatation.
 - $\Delta L_2 > \Delta L_1$ La dilatation thermique excède le retrait endogène, on assiste à un déplacement des extrémités de la chaussée. D'où la nécessité d'installer des joints de dilatation pour reprendre cette variation de longueur. Le dimensionnement du joint de dilatation E_j se calcule selon la formule (4) :

$$E_j = \Delta L \times \Delta m \quad (4)$$

E_j Largeur totale des joints de dilatation.

Δm Taux de compressibilité du mastic du joint de dilatation.

EXEMPLE

- Longueur de la Dalle de béton : 100 m
- Espacement joint de retrait : 5 m
- Température de bétonnage : 10°C
- Température extrême observée au niveau d'un revêtement sur la région : 65°C
- Retrait endogène du béton : - 0,04%
- Coefficient de dilatation thermique du béton $\alpha = 10^{-5}$
- Δm : 25 %

CALCUL

$$\Delta L_1 = L \text{ Re} = 100 \times (-0,04\%) = -0,04 \text{ m soit } -4 \text{ cm}$$

$$\Delta L_2 = L \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 100 \times 10^{-5} \times (65 - 10) = 55 \times 10^{-3} = 0,055 \text{ m soit } 5,5 \text{ cm}$$

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = -4 + 5,5 = 1,5 \text{ cm}$$

$$E_j = \Delta L \times 1 / \Delta m = 1,5 \times 1 / 0,25 = 6 \text{ cm}$$

Il faut donc réaliser 3 joints de dilatation de largeur 2 cm chacun pour encaisser la dilatation du béton selon les hypothèses retenues dans l'exemple.

DALLE DE BÉTON : REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DU CUMUL DU RETRAIT ENDOGÈNE ET DE LA DILATATION THERMIQUE

1. RETRAIT ENDOGÈNE

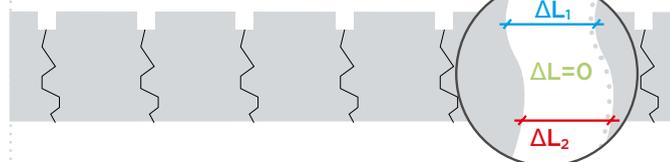


- Fissuration répartie
- Ouverture des joints de 2 à 2,5 mm

2. DILATATION FAIBLE : $\Delta L_2 < \Delta L_1$



3. DILATATION MODÉRÉE : $\Delta L_2 = \Delta L_1$



4. DILATATION FORTE : $\Delta L_2 > \Delta L_1$



Excès de dilatation : se cumule en fin de dalle

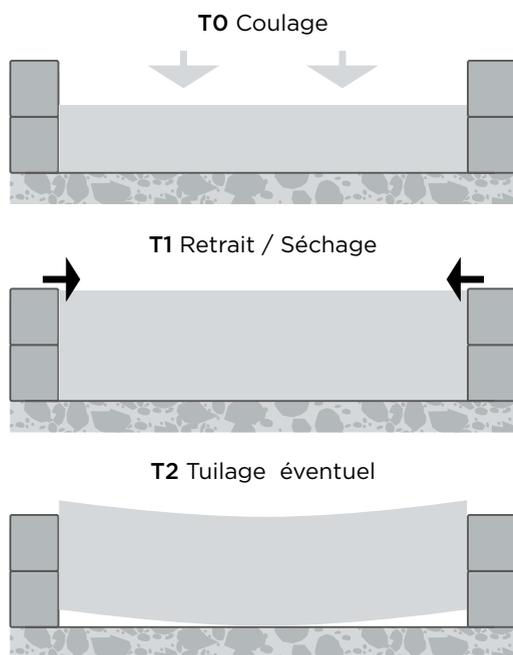


ANNEXE 2.2 : MAÎTRISE DU PHÉNOMÈNE DE TUILAGE DES DALLES EN BÉTON

1. PHÉNOMÈNE DU TUILAGE DES DALLES BÉTON : LES ORIGINES

Une dalle en béton tuile sous l'effet d'un retrait différentiel entre la surface et le fond de la dalle, phénomène qui peut se manifester par soulèvement des bords de dalles aux jeunes âges. En outre, le béton peut aussi se tuiler tout le long de sa vie, vers le haut sous l'effet d'un gradient thermique négatif ou vers le bas sous l'effet d'un gradient thermique positif. Dans certains cas, le phénomène peut se manifester par un soulèvement des bords de dalles de façon plus ou moins importante (plusieurs centimètres), risquant de nuire au confort et à la sécurité de l'utilisateur (cas d'un revêtement piétonnier) et à l'intégrité structurelle du revêtement (fissuration dans les coins et sur les bords dans le cas d'un revêtement circulé).

SCHÉMA DE SOULÈVEMENT DES BORDS DE DALLES DANS UN REVÊTEMENT EN BÉTON



2. EXPLICATION ET DÉTERMINATION DU TUILAGE DES DALLES BÉTON

Depuis les années 1970, Eisenmann et Leykauf ont travaillé sur l'effet du gradient de déformation thermique ou de séchage dans l'épaisseur des dallages.

Le dallage est assimilé à une poutre reposant sur un support rigide. En l'absence de gradient, la dalle est plate et sans courbure.

SANS GRADIENT



Sous l'effet d'un gradient, la dalle se courbe. Le tuilage correspond au cas où le gradient est négatif, c'est-à-dire que la surface du dallage est en contraction par rapport à la face inférieure du dallage.

Ils ont introduit la notion de longueur critique, définie comme la longueur dont la courbure due au gradient de séchage ou thermique, est entièrement compensée par son poids. La longueur critique est obtenue en considérant un moment de flexion fictif qui conduirait à la même courbure que celle due au gradient de séchage ou thermique. Pour un tuilage, Eisenmann et Leykauf envisagent deux cas :

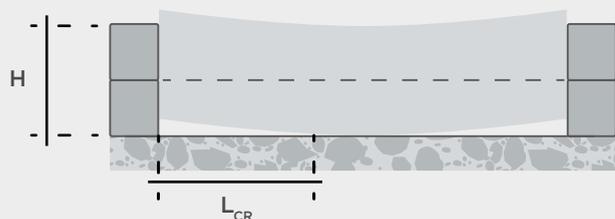
2.1. CAS D'UN GRADIENT DE RETRAIT HOMOGÈNE SUR TOUTE L'ÉPAISSEUR DE LA DALLE :

Ils obtiennent l'expression de la longueur critique L_{cr} :

$$L_{cr} = 167.H. \sqrt{\alpha.\Delta T.E}$$

- α Coefficient de dilatation thermique du béton
- H Épaisseur de la dalle béton
- ΔT Gradient thermique
- E Module d'Young du béton

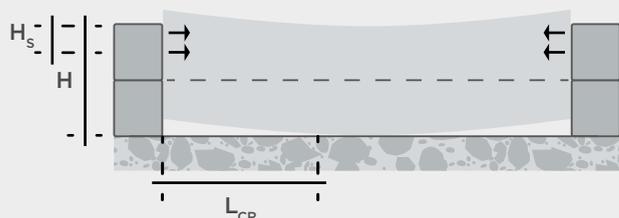
GRADIENT DE RETRAIT HOMOGÈNE SUR TOUTE L'ÉPAISSEUR



2.2. CAS D'UN GRADIENT DE RETRAIT DISCONTINU SUR L'ÉPAISSEUR DE LA DALLE :

Ils obtiennent une autre expression de la longueur critique en considérant que le retrait est discontinu sur l'épaisseur de la dalle. La longueur critique est calculée en considérant un moment de flexion fictif qui conduirait à la même courbure que celle due au gradient discontinu de séchage. Le retrait est supposé affecter la dalle sur une épaisseur partielle H_s et d'être homogène sur cette épaisseur.

GRADIENT DE RETRAIT DISCONTINU



L'expression de la longueur critique pour un retrait discontinu sur l'épaisseur de la dalle est :

$$L_{cr} = 409,6 \sqrt{\frac{H_s \cdot \epsilon_s (H - H_s) \cdot E}{H}}$$

- H_s Épaisseur de la dalle sur laquelle on suppose qu'il y a un retrait de séchage constant
- ϵ_s Retrait de séchage du béton, réparti uniformément sur l'épaisseur H_s
- H Épaisseur de la dalle béton
- E Module d'Young du béton

2.3. CALCUL DE LA FLÈCHE :

A partir de la longueur critique, il est possible de calculer la flèche du tuilage f_T par l'expression suivante :

$$f_T = OA - OB$$

Comme OBC est un triangle rectangle,

$$\text{on a alors } f_T = r - r \cdot \cos \alpha$$

$$f_T = r - r \left(1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} - \dots \right) = r \cdot \frac{\alpha^2}{2!} + r \cdot \frac{\alpha^4}{4!} + \dots \approx r \cdot \frac{\alpha^2}{2!}$$

$$f_T \approx r \cdot \frac{\alpha^2}{2!}$$

Or, on a une relation qui relie l'angle α à l'arc de cercle AC (égal à L_{cr}) et qui est :

$$L_{cr} \approx r \cdot \alpha$$

$$\text{D'où : } f_T \approx r \cdot \frac{L_{cr}^2}{2r^2} = \frac{1}{2} \frac{L_{cr}^2}{r}$$

$$f_T \approx \frac{1}{2} \frac{L_{cr}^2}{r}$$

Or, nous pouvons établir la relation entre le rayon de courbure « r » en fonction de l'épaisseur de la dalle « H » et le retrait total au temps infini « R_∞ » :

$$r = \frac{H}{0,9R_\infty}$$

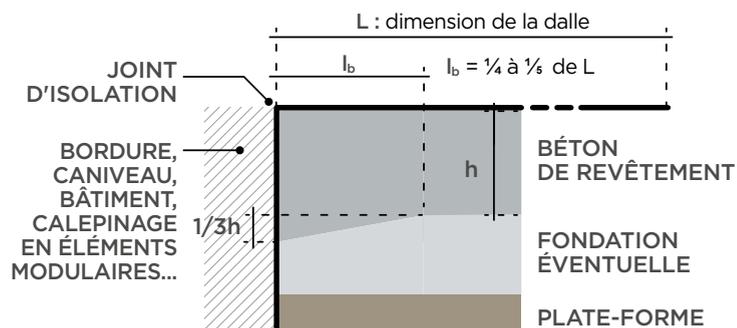
D'où :

$$f_T \approx \frac{1}{2} \frac{L_{cr}^2}{r} \approx \frac{1}{2} \frac{L_{cr}^2}{\frac{H}{0,9R_\infty}}$$

$$f_T = \frac{0,9R_\infty}{2H} L_{cr}^2$$

La formule montre que la flèche est inversement proportionnelle à l'épaisseur H de la dalle. Pour limiter le tuilage, il faut donc épaissir les bords de dalle en réalisant des bèches.

SCHÉMA D'UNE BÊCHE DANS UNE STRUCTURE DE VOIRIE EN BÉTON





CHAPITRE 3

ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LES PROPRIÉTÉS DE SURFACE

3.1 AIRES DÉDIÉES AUX PIÉTONS EXCLUSIVEMENT OU À CIRCULATION OCCASIONNELLE

Pour ces aires, c'est la logique des usages piétons et modes de déplacement actifs, notamment les deux roues, qui gouverne les spécifications en terme de :

- Accessibilité,
- Lisibilité,
- Confort de marche ou de roulement,
- Adhérence.



Piste cyclable, Caen ©Mineral Service

A ces qualités s'ajoutent celles des riverains et des autres usagers de l'espace public, relayées et ordonnées par le maître d'ouvrage pour ce qui concerne :

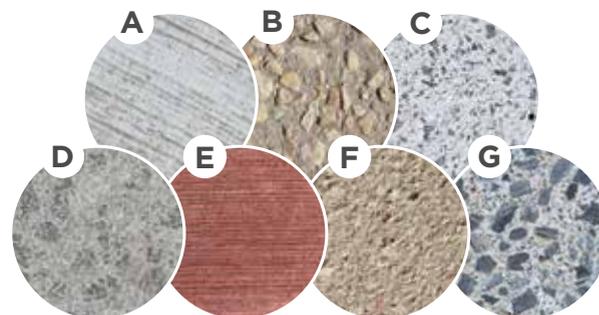
- L'esthétique,
- L'intégration,
- Le maintien de la propreté,
- Le bruit,
- Le confort de réduction des îlots de chaleur,
- Le confort de l'absorption de l'eau versus ruissellement.

Les propriétés à mobiliser pour satisfaire le mieux possible

à chacune de ces qualités, tout comme les dispositions constructives requises, peuvent être contradictoires. Il faut opérer des compromis en hiérarchisant ces exigences. C'est le talent du maître d'œuvre que d'en établir la synthèse et de faire valider les choix par le maître d'ouvrage. Pour ce faire et à titre d'exemple, quelques lignes directrices sont suggérées.

3.1.1 ACCESSIBILITÉ, CONFORT, PROPRETÉ, BRUIT

Ces propriétés vont de pair. Le choix d'une texture fine et d'un granulat de faible granularité (≤ 10 mm) est adapté. Il doit être assorti d'une technique de traitement choisie parmi les familles des bétons balayés, bétons lissés, bétons poncés, bétons sablés, y compris les solutions de même gamme ou même « gène » au sein de chacune de ces familles (cf. *Les Bétons décoratifs : Voiries et aménagements urbains. Tome 1 : Finitions, gestes et techniques - Collection Specbea/VECU*).



A Béton balayé / B Béton désactivé / C Béton sablé / D Béton bouchardé / E Béton coloré / F Béton hydro-gommé / G Béton poncé ©CIMbéton

3.1.2 ADHÉRENCE ET ÉCOULEMENT DE L'EAU

Ces propriétés vont ensemble par tous les temps. En principe, les leviers d'action sont le choix d'une macro-texture (granularité ≤ 10 mm) et d'une micro-texture (gouvernée par le sable et la surface des gravillons), ou le recours à la porosité des bétons drainants (guide

technique " Lutter contre l'imperméabilisation des sols - Les revêtements drainants en béton " - Référence T69 collection technique CIMbéton). Mais, pour les aires dédiées aux piétons, le choix d'une macro rugosité élevée n'est pas pertinent, car cette propriété est contradictoire avec le confort, le bruit des valises à roulettes et la propreté. Il convient dès lors de mobiliser la microrugosité ou la porosité des revêtements.



Revêtement drainant (l'eau traverse) ©CIMbéton

Lorsque le choix est fait d'un revêtement imperméable, l'adhérence des piétons est surtout apportée par la micro rugosité qui implique un choix adéquat des constituants du béton et une technique de traitement adaptée qui peut facilement faire écho à l'exigence esthétique. En principe, les familles de finitions à privilégier sont les bétons lissés, les bétons bouchardés ou désactivés à faible granularité, les bétons poncés et les bétons grésés de même « gène ». Pour caractériser l'exigence de microrugosité en milieu urbain, l'essai de référence est une mesure de coefficient de frottement au pendule SRT (Norme NF EN 13036-4) dont la valeur minimale à atteindre, pour assurer l'adhérence des piétons, est de 0,35. En cas de cheminement de piétons très importants, il est recommandé de s'interroger sur l'évolution de ce coefficient de frottement vis-à-vis de l'usure et du polissage du matériau. En cas de besoin, que mettrait en exergue l'usage ou le suivi du niveau de service de l'aménagement, il est aisé

de faire appel à des techniques de régénération des caractéristiques de surface comme le sablage, le grenailage ou le bouchardage qui apportent en même temps une remise à niveau de la propreté et de l'esthétique.



Passage piéton rénové par granailage : à gauche avant traitement, à droite après traitement ©CIMbéton

Lorsque le choix est fait d'un revêtement perméable et privilégiant la voie de la porosité, il n'y a plus de stagnation d'eau ni d'écoulement superficiel. Le béton drainant permet une gestion de l'eau à la parcelle par absorption instantanée des films d'eau pluviale empêchant toute accumulation et cheminement d'eau en surface. L'absence de film d'eau améliore le confort et réduit le risque de glissance. L'effet de la porosité est également bénéfique sur le bruit tout comme sur le confort thermique par l'évapotranspiration de l'eau et le cas échéant en favorisant la continuité hydraulique entre la surface, la plate-forme et le sol naturel. Compte tenu du fait que la porosité du revêtement drainant est bien supérieure à celle de l'approche théorique, la sécurité prise inscrit cette absorption dans la durée. En cas de colmatage à moyen et long termes, des méthodes et outils de décolmatage sont disponibles pour des actions préventives et curatives.



3.1.3 ESTHÉTIQUE, INTÉGRATION ET LISIBILITÉ

Ces qualités vont également ensemble et peuvent aisément trouver cohérence. Les leviers d'action essentiels sont :

- Le choix d'une mosaïque dense ou ouverte en harmonie avec l'environnement et le bâti,
- Le choix de gravillons (couleur, taille, granularité, proportion dans le mélange),
- Le choix du sable, (nature, couleur, granularité et proportion dans le mélange),
- Le choix du ciment (nature, couleur, dosage dans le béton),
- L'utilisation ou non d'un pigment (colorant).

Cette palette de composants donne une grande richesse sur le plan de la diversité des produits qui se déclinent dans le Tome 1 de la collection VECU sur les trois volets des familles de bétons décoratifs, des agencements des granulats et de la coloration des mélanges (URBA-Bétons ; ECO-Bétons et INNO-Bétons).

En résumé, c'est le rôle du maître d'œuvre que de mettre en perspective l'esthétique et l'intégration avec les exigences de confort, d'adhérence, d'accessibilité et de propreté. Il se doit de choisir des techniques qui permettent un compromis entre ces différentes exigences. Cette même logique de compromis s'impose aussi pour des projets à connotation environnementale et sociétale majeure. C'est le cas par exemple lorsque le maître d'ouvrage inscrit dans son programme des objectifs de désimperméabilisation des surfaces urbaines ou de santé publique par réduction des îlots de chaleur urbains. Concrètement si la solution retenue est un béton drainant, pour offrir des qualités esthétiques et de confort, le choix doit se porter sur des gravillons de taille limitée ($D \leq 10$ mm, idéalement 8 mm) et il faut privilégier les surfaces claires. La coloration est aussi possible, et les progrès sont rapides pour la maîtrise de certaines finitions de surface (béton drainant dénudé ou imprimé).

3.1.4 SPÉCIFICATIONS ET RECOMMANDATIONS DES CONSTITUANTS DU BÉTON

Les constituants et produits adaptés aux bétons décoratifs peuvent être les suivants :

• Granulats

Ils doivent être conformes à la norme NF EN 12 620 et classés conformément à la norme nationale NF P 18-545 (cf. Article 9, Granulats pour bétons de chaussée). Pour le domaine piétonnier, les exigences sont minimales, ce qui permet au maître d'œuvre une grande latitude de choix de granulats (couleur ; origine ; nature ; forme). Les caractéristiques minimales sont :

- Caractéristiques intrinsèques des granulats : Code C et éventuellement D pour les ouvrages exclusivement piétons,
- Caractéristiques de fabrication des gravillons : Code III bis
- Caractéristiques de fabrication des sables : Code a bis.

Dans le cas d'un objectif de revêtement clair, il faut privilégier les gravillons à tendance claire.



Echantillons de teintes de gravillons ©Specbea

• Ciments

Ils doivent être conformes à la norme NF EN 197-1. Tous les types de ciment conviennent (CEM I ; CEM II ; CEM III et CEM V). Le choix final se fait en prenant en compte les conditions climatiques du chantier (rapidité de prise : par exemple CEM I en hiver, CEM III en été) et environnementales.

Dans le cas d'un objectif de revêtement clair, il faut

privilégier les ciments de type CEM III ou un ciment blanc. En outre, pour s'assurer de l'homogénéité de la teinte du béton d'un chantier, il ne faut pas changer de ciment.

Pour la gestion du sciage des joints, il est conseillé d'éviter d'utiliser, en été, un ciment à prise rapide ou à forte chaleur d'hydratation.

• Pigments / colorants

Ils doivent être conformes à la norme NF EN 12878. Il faut privilégier la catégorie B. Ce sont des pigments synthétiques à base d'oxydes dont la nature fixe la couleur dominante. Il existe quatre familles d'oxydes qui permettent d'obtenir une grande variété de couleurs :

- Oxyde de Titane : teinte blanche,
- Oxyde de Fer : teinte rouge, jaune, noire ou, par combinaison, d'autres couleurs,
- Oxyde de Chrome : teinte verte,
- Oxyde de Cobalt : teinte bleue.



Pigment rouge ©Fenêtre sur cour

L'usage des pigments appelle à porter attention sur les trois aspects suivants :

- Aspect économique de par la grande dispersion des coûts des pigments (dans un rapport de 1 à 25),
- Aspect esthétique du béton coloré, consécutif au choix du produit de cure (utiliser un produit de cure solvanté de préférence à un produit en phase aqueuse),
- Le dosage recommandé est généralement compris entre

3 et 5 % du poids de ciment, avec une fourchette possible de 1 à 6%.

Pour certaines finitions (béton imprimé), l'emploi d'un produit faisant office de pigment et de durcisseur de surface est pertinent. Il s'agit d'un produit épandu sur la surface du béton frais pour apporter une résistance supplémentaire à la surface du revêtement.

• Adjuvants

Ils doivent être conformes à la norme NF EN 934-2. Pour les aménagements urbains, on peut faire appel à une ou plusieurs des familles d'adjuvants suivants :

- > L'entraîneur d'air pour certaines classes d'exposition (XF2, XF3 et XF4),
- > Le plastifiant réducteur d'eau (PRE) et super plastifiant haut réducteur d'eau (SPHRE) pour obtenir une maniabilité optimale,
- > Dans certaines conditions, on utilise un accélérateur de prise ou un retardateur de prise.

Dans tous les cas, il faut vérifier la compatibilité entre les différents adjuvants.

• Fibres anti-fissuration

Elles sont utilisées dans le but d'améliorer la cohésion du béton au jeune âge et de maintenir fermées :

- > Les éventuelles microfissures de retrait susceptibles d'apparaître au sein du béton,
- > Les fissures de dessiccation éventuelles lors de la prise du béton à jeune âge (0-24h).

On distingue deux familles de fibres à vocation non structurelle :

- > Les fibres synthétiques. Elles doivent être conformes à la norme NF EN 14889-1. Ce sont des microfibrilles « Polyester » ou des microfibrilles « Polypropylène ».
- > Les fibres de verre. Ce sont des microfibrilles, qui doivent être conformes à la norme NF EN 15422. ■



3.2 VOIRIES ET AIRES URBAINES DÉDIÉES À LA CIRCULATION

Pour ces aires, c'est la logique des usages routiers qui gouverne les spécifications en terme de :

- Confort,
- Adhérence,
- Lisibilité de l'espace,
- Esthétique,
- Intégration,
- Bruit,
- Durabilité,
- Entretien,
- Autres (rapport à l'éclairage, au cycle de l'eau, au réchauffement climatique et à la chaleur, etc.).



Plate-forme de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) en BAC sur béton maigre avec traitement de surface par hydrogommage, TZen Melun Sénart ©Eurovia

Toutes ces propriétés peuvent être contradictoires : il faut des compromis en hiérarchisant les exigences. C'est le talent du maître d'œuvre de les confirmer, de les classer et d'en faire une synthèse partagée avec le maître d'ouvrage.

3.2.1 LE CONFORT, LA LISIBILITÉ DE L'ESPACE ET LA LUTTE CONTRE LE BRUIT

Ces propriétés peuvent aller ensemble, avec des choix de béton de même « gène ». La ligne directrice réside dans le choix de gravillons de faible dimension, associés à des techniques de traitement de surface différenciées et/ou à des colorations différentes.

Le choix des finitions de surface dépend du niveau de trafic :

- Pour les trafics moyens à forts ($\geq T3$), seront privilégiés les bétons désactivés, les bétons bouchardés, ou encore les bétons hydro-gommés.
- Pour les trafics faibles, pourra être choisie toute la palette des URBA-Bétons, des ECO-Bétons et des INNO-Bétons et en particulier les bétons balayés, les bétons désactivés, les bétons bouchardés, les bétons imprimés, les bétons lissés, les bétons poncés, etc.
- En ce qui concerne les bétons drainants, sauf étude de conception particulière, **leur utilisation n'est autorisée que pour les voiries dont le trafic est au maximum de classe T3 (≤ 150 PL/j et par sens) et pour une finition non dénudée.** (cf. " Les revêtements drainants en béton " Référence T69 - Collection Technique CIMbéton).

3.2.2 L'ADHÉRENCE

C'est une propriété qui peut apparaître en contradiction avec les autres propriétés d'usage précitées d'autant plus vite que le trafic est élevé. En principe, la bonne adhérence des revêtements par temps de pluie mobilise la macro-rugosité (irrégularités surfaciques d'échelle centimétrique) et la microrugosité (irrégularités surfaciques d'échelle millimétrique). La macro-rugosité est pertinente à grande vitesse et sur surface mouillée pour garantir un bon contact entre le pneumatique et le revêtement en chassant l'eau à ce niveau. La microrugosité est pertinente à faible vitesse et par tous temps pour assurer le frottement entre le pneumatique

TABLEAU 3.1 : CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS POUR LES VOIRIES URBAINES EN BÉTON

BÉTONS DE ROULEMENT	CARACTÉRISTIQUES	CLASSES DE TRAFIC	
		TRAFIC ≤ T3 (1)	TRAFIC >T3 (1)
BÉTONS DENSES (2)	Intrinsèques des gravillons	Code C	Code B
	De fabrication des gravillons	Code III bis	
	De fabrication des sables	Code a bis	
BÉTONS DRAINANTS (2)	Intrinsèques des gravillons	Code C	-
	De fabrication des gravillons	Code III bis	
	De fabrication des sables	Code a bis	

CODE	LOS ANGELES LA (3)	MICRO DEVAL (3)	POLISHING SURFACE VALUE PSV
B	LA 20	MDE 15	PSV 50
C	LA 25	MDE 20	-

(1) : La classe de trafic T3 correspond à un nombre maximum de 150 Poids Lourds par jour et par sens.

(2) : Il est possible d'utiliser des granulats ayant des caractéristiques inférieures aux spécifications minimales requises pour couche de roulement, sous réserve que l'une des fractions des gravillons présente dans la composition du béton respecte ces exigences et que cette fraction granulaire soit d'au moins 450 kg de matériau par m³ de béton.

(3) : Pour les applications qui le justifient, l'utilisateur peut appliquer une compensation maximale de cinq points entre les caractéristiques LA et MDE. Elle se traduit par exemple de la façon suivante :

- un granulats de LA = 25 est jugé conforme au code B s'il possède un MDE ≤ 10
- un granulats de MDE = 20 est jugé conforme au code B s'il possède un LA ≤ 15

et le revêtement. Elle offre une multitude de petites anfractuosités ou indentateurs qui procurent durablement un caractère râpeux au revêtement, dès lors que la qualité des constituants répond aux règles de l'art et que la finition choisie, en lien avec l'esthétique, lui permette de s'exprimer.

En urbain, en raison de la limitation des vitesses et des sujétions relatives au bruit de roulement et à la propreté, on peut privilégier la microrugosité, associée à un choix de granulats adapté (faible granularité, dureté élevée et une bonne résistance au polissage (cf. **TABLEAU 3.1**).



Exemple d'échantillon de granulats ©Fenêtre sur cour



Pour caractériser les exigences en lien avec l'adhérence, les essais les plus courants en voirie urbaine sont :

- Pour la macro-rugosité, l'essai est la PMT (Profondeur Moyenne de Texture), communément appelé Hauteur de sable. Il est couvert par la norme NF EN 13036-1. Les seuils requis sont dans la fourchette 0,60 à 1,2mm.



Mesure de PMT : mesure de la macro-rugosité.
 $V = 32 \text{ cm}^3$ Volume donné de sable normalisé. Étaler le sable jusqu'à l'obtention d'un cercle de diamètre maximal (D).
 $S = \text{surface de sable } (\pi D^2/4)$
 Hauteur au sable = V/S

- Pour la micro-rugosité, l'essai est le frottement au pendule SRT, selon la norme NF EN 13036-4. Le seuil requis est supérieur à 0,50.



Pendule SRT : mesure de la micro-rugosité. ©Signal Expertise

Lorsque les conditions d'exploitation l'exigent, ou lorsqu'on descend en-dessous du seuil d'adhérence requis, il y a lieu de procéder à la régénération des caractéristiques de surface. Les techniques de sablage, de grenailage et de bouchardage, pertinentes pour les aires piétonnes,

peuvent être appliquées après diagnostic précis de l'état des lieux. Cette offre de solutions est utilement complétée par des techniques de rabotage et de striage longitudinal, voir l'association des deux pour l'optimisation du couple adhérence /bruit. (cf. *Infrastructures urbaines et espaces publics en béton - Le guide de l'Entretien*, Specbea.)

3.2.3 L'ESTHÉTIQUE ET L'INTÉGRATION

Fruits de la créativité des concepteurs, ces propriétés peuvent se jouer de la riche palette des couleurs, des textures, et des finitions du béton décoratif. Une infinité de possibilités sont offertes par :

- Le choix des granulats (couleur, taille, granularité et proportion dans le mélange),
- L'agencement des gravillons (mosaïque dense ou ouverte) en harmonie avec l'environnement bâti,
- Le choix du sable, (nature, couleur, granularité et proportion dans le mélange),
- Le choix du ciment (nature, couleur et proportion dans le mélange),
- L'utilisation ou non d'un pigment et d'un durcisseur de surface.

Mais attention, ces choix sont d'autant plus contraints que le trafic est élevé. Pour les gravillons par exemple, il est indispensable de mettre en perspective le choix esthétique avec l'usage de l'ouvrage. Concrètement, il faut prendre en compte leurs propriétés de dureté et de résistance au polissage par un choix adéquat des codes B ou C et éventuellement de l'évolution du polissage (PSV), en fonction du niveau de trafic. En résumé, pour les voiries et les aires urbaines circulées, il faut toujours concilier l'esthétique et l'intégration avec les exigences de résistance, d'adhérence, de confort et de sécurité. Le choix final, gage de réussite et de satisfaction pour le donneur d'ordre et l'exploitant doit être fait sur des techniques qui permettent le compromis entre ces différentes exigences. ■

3.3 SPÉCIFICATIONS ET RECOMMANDATIONS DES PRODUITS EN RELATION AVEC LA MISE EN ŒUVRE

Les produits en relation avec la mise en œuvre et utilisés pour tous les domaines d'emploi (voiries circulées et non circulées) peuvent être les suivants :

- **Produit de cure du béton (usage obligatoire)**

Le produit de cure doit être conforme à la norme NF P 18-370. Pour certains usages ou applications, la cure peut être réalisée avec un film de protection polyéthylène, ou à l'aide d'un géotextile humidifié. Certains produits désactivants font également office de cure, mais, après décapage par voie sèche ou par voie humide, il faut appliquer à nouveau un produit de cure. La durée de cure doit être conforme aux spécifications de la norme NF EN 13-670.

- **Produit de protection de la surface du béton**

Le but de la protection est d'assurer un bon vieillissement mécanique et esthétique du béton. Elle doit être réalisée sur une surface propre. Les produits doivent être choisis en prenant en compte les facteurs suivants : risque et nature des salissures ; niveau d'adhérence requis ; exigences d'esthétique ; degré d'usure liée à l'usage, etc. On distingue les produits d'imprégnation hydrophobe ; d'imprégnation « minéralisante » et les revêtements filmogènes. Tous ces produits, leurs domaines d'emploi ainsi que leurs conditions de mise en œuvre sont détaillés dans l'ouvrage *Les bétons décoratifs : Voiries et aménagements urbains - Tome 2 : Entretien et rénovation*, - collection Specbea / VECU.

Ces produits, indispensables pour préserver l'esthétique, doivent faire l'objet d'une ligne spécifique dans le cahier des charges, dans la remise des offres ou encore dans le bordereaux de prix.

- **Produit désactivant**

Ce produit est utilisé dans le cas d'un traitement de surface

du béton par désactivation ou dénudage chimique ou pour pré-désactiver un béton destiné à être bouchardé. Il a pour rôle de ralentir la prise du mortier superficiel et de pouvoir ainsi l'éliminer par un moyen approprié (eau sous pression ou brossage), pour mettre à nu la partie supérieure des gravillons.

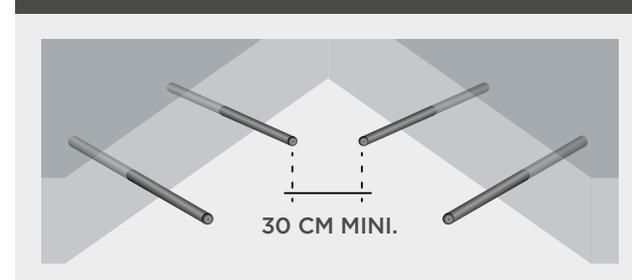
- **Produit démoulant**

Ce produit est utilisé pour la réalisation des revêtements en béton imprimé. Il est indispensable pour le démoulage des matrices et des moules appliqués à la surface du béton.

- **Les goujons**

Conformes à la norme NF EN 13877-3, ils sont constitués de barres d'acier lisses, de nuance minimale FeE 250, revêtues, en totalité ou sur la moitié de leur longueur, d'un produit en film mince (inférieur à 0,5 mm) empêchant toute adhérence avec le béton. Leur diamètre est fonction de l'épaisseur de la couche de béton, sans être inférieur à 20 mm. Les caractéristique spécifique des goujons (diamètre, longueur) ainsi que leur implantation (espacement et positionnement en hauteur) sont précisés par l'annexe C de la norme NF P 98-170 et sont indiqués dans le **TABLEAU 3.2**. En outre, dans le cas des dalles goujonnées sur 3 ou 4 côtés (giratoires fortement sollicités ou voies lourdes traversantes sur plate-forme TCSP par exemple), les goujons doivent être éloignés d'au moins 30 cm comme le mentionne le schéma de la **FIGURE 3.1**.

FIGURE 3.1 : ESPACEMENT DES GOUJONS PARTICULIERS





• **Les fers de liaison**

Ils sont conformes à la norme NF EN 13877-1. L'acier est au moins de nuance FeE 400. Leur longueur est supérieure ou égale à 60 cm. Leur diamètre est fonction de l'épaisseur de la couche de béton sans être inférieur à 10mm. L'annexe C de la norme NF P 98 170 précise les conditions de choix des fers de liaison.

• **Les treillis soudés**

Ils sont conformes à la norme NF EN 13877-1. L'acier est au moins de nuance FeE 400. Les caractéristiques géométriques (diamètres nominaux, dimension des mailles) seront définies en fonction de l'usage.

• **Les produits pour joints sur voiries**

Ils ont pour rôle le garnissage des joints du revêtement en vue d'assurer leur étanchéité et d'éviter l'introduction de corps étrangers. Trois types de produits sont utilisés en sus des fonds de joints :

- > Les produits coulés à chaud qui doivent être conformes à la norme NF EN 14 188-1,
- > Les produits coulés à froid qui doivent être conformes à la norme NF EN 14 188-2, maniabilité optimale,
- > Les produits préformés qui doivent être conformes à la norme NF EN 14 188-3.

• **Les produits pour bandes structurantes**

On distingue :

- > Les pavés béton qui doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 1338,
- > Les dalles béton qui doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 1339,
- > Les bordures et caniveaux en béton qui doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 1340,
- > Les dalles en pierres naturelles qui doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 1341,
- > Les pavés en pierres naturelles qui doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 1342,



Aménagement en béton désactivé avec des bandes structurantes en pierres naturelles, Port-Saint-Louis
 ©RCR Déco France

- > Les bordures en pierres naturelles qui doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN 1343,
- > Les autres produits comme les fers plats métalliques, les rails en fonte, les éléments en bois, etc. ■

**TABLEAU 3.2 : IMPLANTATION ET DIMENSIONNEMENT DES GOUJONS SELON LA NORME NF P98-170.
NUANCE DE L'ACIER FeE 250 MPa**

EPAISSEUR DE LA DALLE (cm)	DIAMÈTRE DES GOUJONS (cm)	LONGUEUR DES GOUJONS (cm)	ESPACEMENT DES GOUJONS (cm)
13 à 15	2	40	24
16 à 20	2,5	45	30
21 à 28	3	45	30
29 à 40	4	50	40



Aménagement en béton désactivé avec des bandes structurantes en éléments modulaires, Halle Dreser, Le Havre ©Mineral Service



CHAPITRE 4

ÉLÉMENTS DE PRESCRIPTION POUR LE CHOIX DU BÉTON

4.1 INTRODUCTION

Le béton routier doit être conforme à la série des normes NF EN 13877-1 et 2, à la norme NF EN 206/CN ainsi qu'à la norme NF P 98-170. Le choix du béton se fait en prenant en compte :

- Les sollicitations du trafic,
- Les conditions climatiques,
- Les caractéristiques spécifiques soulignées dans les chapitres 1, 2 et 3.

En outre, le délai pour l'ouverture à la circulation du revêtement peut être prescrit par le maître d'œuvre dans son cahier des charges. Pour atteindre cet objectif, les seuils de résistance à la compression (R_c) du béton au délai souhaité, doivent être les suivants :

- $R_c \geq 14$ MPa (sur écrasement d'éprouvette normalisée) pour une circulation de piétons et véhicules légers,
- $R_c \geq 20$ MPa (sur écrasement d'éprouvette normalisée) pour une circulation modérée de poids lourds.
- $R_c \geq 25$ MPa (sur écrasement d'éprouvette normalisée) pour une circulation intense de poids lourds.

Pour les bétons désactivés, afin de prendre en compte des sollicitations particulières (cisaillement, ripage), il peut être judicieux de prescrire des seuils de résistance plus élevés (+ 25%) ou d'allonger les délais pour l'ouverture à la circulation.

Enfin il faut prévoir, dès le stade de la conception, les dispositions à mettre en place pour le maintien dans le temps des caractéristiques de surface. ■



Coulage de béton frais ©Moderne Méthode

4.2 LES SOLLICITATIONS DU TRAFIC

La classe mécanique minimale du béton de la couche de roulement est choisie en fonction des sollicitations du trafic, conformément aux stipulations des **TABLEAUX 4.1** et **4.1 bis**. ■

TABLEAU 4.1 : CHOIX DE LA CLASSE MINIMALE DU BÉTON EN FONCTION DU TRAFIC

TRAFIC	PIÉTONS EXCLUSIFS 0 PL/j	TRAFIC OCCASIONNEL 1-2 PL/j	CIRCULÉ					
			T5	T4	T3	T2	T1	T0 et plus
			3-25 PL/j	26-50 PL/j	51-150 PL/j	151-300 PL/j	301-750 PL/j	>751 PL/j
Classes mécaniques minimales pour le béton	BC4 ou C30/37	BC4 ou C30/37			BC5 ou C35/45			

TABLEAU 4.1 bis : CHOIX DE LA CLASSE MINIMALE DU BÉTON DRAINANT EN FONCTION DU TRAFIC

CLASSE DE BÉTON DRAINANT OU POREUX	LA RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR		LES PRATIQUES	
	Revêtement	Assises	Revêtement	Assises
Classe BC4	Trafic ≤ T3	Tous trafics	Trafic ≤ T3	Tous trafics
Classe BC3	Non circulé	Tous trafics	Trafic ≤ T4, tout en évitant les zones subissant de fortes sollicitations (giration et/ou ripage)	Tous trafics
Classe BC2	Non circulé	Tous trafics	Trafic ≤ T6 (Trafic ≤ 10 PL/j), tout en évitant les zones subissant de fortes sollicitations (giration et/ou ripage)	Tous trafics



Plate-forme en béton pour le tramway sur pneus de Clermont-Ferrand
 ©Eiffage Infrastructures



Parking en béton coloré, Casino de Trouville-sur-mer ©Mineral Service



4.3 LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Le choix du béton à partir du trafic n'est pas suffisant. Il faut aussi prendre en compte les conditions climatiques et environnementales, via les six classes d'exposition de la norme NF EN 206/CN, données dans le **TABLEAU 4.2**. Le choix de la classe d'exposition est de la responsabilité du maître d'œuvre. Les **TABLEAUX 4.3** et **4.3 bis** constituent

une aide au maître d'œuvre pour sélectionner le béton adapté aux conditions climatiques et d'usages du chantier projeté (intensité du gel, salage).

À noter que si le choix est fait en faveur d'un béton sans entraîneur d'air, la classe XD3 peut se substituer à la classe XF2.

Pour la fréquence de salage, le maître d'œuvre questionnera le maître d'ouvrage sur ses pratiques de

TABLEAU 4.2 : CLASSES D'EXPOSITION DES BÉTONS

CLASSE D'EXPOSITION	DÉSIGNATION	CONDITIONS	OBSERVATIONS
Classe d'exposition courantes	X0	O= zéro agression	
	XC / XC1 à XC4	C= Carbonatation	Prise en compte de l'exposition du béton à l'air et à l'humidité
	XF / XF1 à XF4	F= Froid	Prise en compte des conditions climatiques (gel et salage)
Classes d'exposition particulières	XS / XS1 à XS3	S = Sels marins	Prise en compte des embruns marins.
	XD / XD1 à XD3	D = sels Divers	Prise en compte de l'action des chlorures d'origine autre que marine.
	XA / XA1 à XA3	A = Attaque chimique	Prise en compte du contact avec des produits chimiques (sites industriels ou sols pollués ou eaux de surface ou souterraines chargées de polluants)

TABLEAU 4.3 : CLASSES D'EXPOSITION EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DU GEL ET DE LA FRÉQUENCE DU SALAGE

GEL	SALAGE			
	AUCUN	PEU FRÉQUENT	FRÉQUENT	TRÈS FRÉQUENT
Faible ou modéré	XF1	XF1	XF2	XF2
Sévère	XF3	XF3	XF4	XF4

(*) : A l'exception des chaussées béton et des éléments d'ouvrages d'art très exposés qui seront classés en XF4.

TABLEAU 4.3 bis : BÉTONS DRAINANTS - CHOIX DU BÉTON EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DU GEL, DE LA FRÉQUENCE DE SALAGE ET DE L'USAGE POUR LES TRAFICS ROUTIERS

INTENSITÉ DU GEL	FRÉQUENCE DE SALAGE ET USAGE				
	AUCUN	PEU FRÉQUENT		FRÉQUENT	TRÈS FRÉQUENT
		TRAFIC ≤ T3	TRAFIC >T3		
Faible ou modéré	Classes mécaniques comme indiqué Tableau 4.1 bis avec un dosage minimum en liant équivalent de 308 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm	Classes mécaniques comme indiqué Tableau 4.1 bis avec un dosage minimum en liant équivalent de 308 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm	Non applicable	BC3 mini avec un dosage minimum en liant équivalent de 330 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm
Sévère	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 346 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	Non applicable	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m ³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.

salage en rapport avec sa politique de gestion hivernale et plus globalement sa politique d'entretien.

L'intensité du gel pour un projet donné est déterminée en se référant à la carte de gel de la **FIGURE 4.1** (extraite de la norme NF EN 206/CN). En cas de difficulté d'application, le maître d'œuvre pourra prendre contact avec la station météorologique la plus proche du projet.

A noter, que le fascicule FD P 18-326 de 2016, recense les villes en France en fonction de leur intensité de gel. En fonction de la classe d'exposition, le **TABLEAU 4.4** précise les caractéristiques minimales requises pour un béton routier. ■

4.4 LES CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Ces caractéristiques, d'ordres fonctionnels, doivent répondre aux exigences du maître d'ouvrage en matière de confort, de sécurité, d'esthétique, de bruit, d'accessibilité de gestion des eaux pluviales et de lutte contre les îlots de chaleur urbains. Elles ont été largement présentées et développées dans les chapitres précédents et en particulier le chapitre 3.

FIGURE 4.1 : CARTE RÉFÉRENTIELLE DES NIVEAUX DE GEL

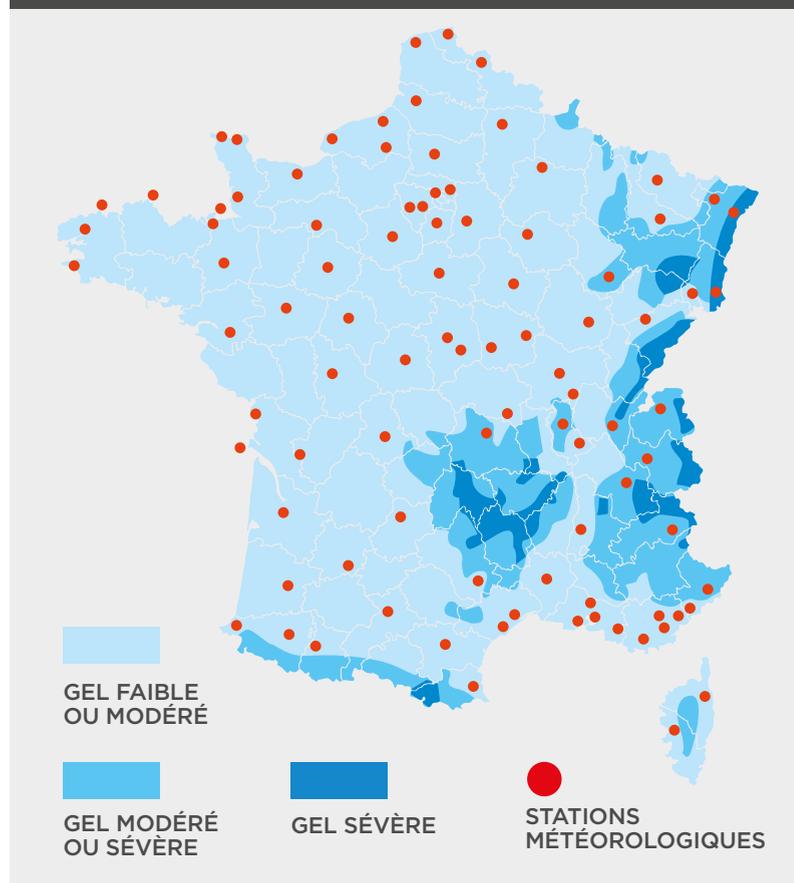


TABLEAU 4.4 : CARACTÉRISTIQUES MINIMALES REQUISES D'UN BÉTON ROUTIER

VALEURS LIMITES APPLICABLES EN FRANCE	CLASSES D'EXPOSITION				
	XF1	XF2	XF3	XF4	XD3
Rapport maxi Eau Efficace/Liant équivalent	0,60	0,55	0,55	0,45	0,50
Classe de résistance minimale	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37	C 30/37
Dosage mini en liant équivalent (kg/m ³) pour D _{max} = 20 mm	280	300	315	340	350
Teneur minimale en air (%)	-	4	4	4	--
Addition maximum. Exemple Cendres volantes pour D _{max} = 20 mm	0,30	0,30	0,30	0,15	0,30



4.5 EXPLOITATION

Dès le stade de la conception, le maître d'œuvre est tenu de prendre en compte les dispositions nécessaires pour assurer le maintien des caractéristiques de surface en matière de propreté, esthétique, adhérence et clarté (cf. **TABLEAU 4.5**). Pour y parvenir, il peut utilement consulter le document « *Les bétons décoratifs : voiries et aménagements urbains - Tome 2 : Entretien et Rénovation* » du Specbea.

Aussi, le maître d'œuvre pourra utilement fournir au maître d'ouvrage toutes les sujétions d'entretien à réaliser pour garantir la durabilité structurelle de l'ouvrage ainsi que des indications sur les techniques d'intervention préventives ou curatives (cf. **TABLEAU 4.6**). Il pourra se référer au document « Infrastructures urbaines et espaces publics en béton - Le guide de l'Entretien », Specbea ■

TABLEAU 4.5 : TECHNIQUES DE PROTECTION DU BÉTON ET LEURS DOMAINES D'EMPLOI

TYPOLOGIE	OBJECTIFS ET EFFETS RECHERCHÉS	IMPRÉGNATION HYDROPHOBE	IMPRÉGNATION MINÉRALISANTE	REVÊTEMENT FILMOGÈNE	
				PHASE AQUEUSE	PHASE SOLVANTÉE
MÉCANIQUE	résistance à l'abrasion	●●●	●●●	●●	●●
	durabilité de résistance abrasion	●●●	●●●	●	●●
	adhérence / cohésion de surface	●●	●●●	●	●
	durabilité de l'adhérence / cohésion	●●●	●●●	●●	●●
	influence positive sur résistance aux cycles gel/dégel	●●	●●●	●	●●
	durabilité de la tenue aux cycles gel/dégel*	●	●	●	●
	résistance aux chocs	●●	●●●	●	●
	durabilité de la résistance aux chocs	●●	●●●	●	●
ESTHÉTIQUE	limitation verdissement / encrassement	●●●	●	●●●	●●●
	protection contre taches grasses	●	●	●●	●●●
	aspect ravivant / satiné / mouillant	●	●	●●	●●●
AUTRES	protection contre humidité / pénétration d'eau	●●	●	●●●	●●●
	protection contre produits chimiques	●	●	●●	●●●
	sensibilité à la glissance	●●	●●●	●	●
	résistance aux UV	●	●●●	Variable suivant chimie	

●●● Très bien adapté ● Moins bien adapté

* Les produits ne font que retarder.

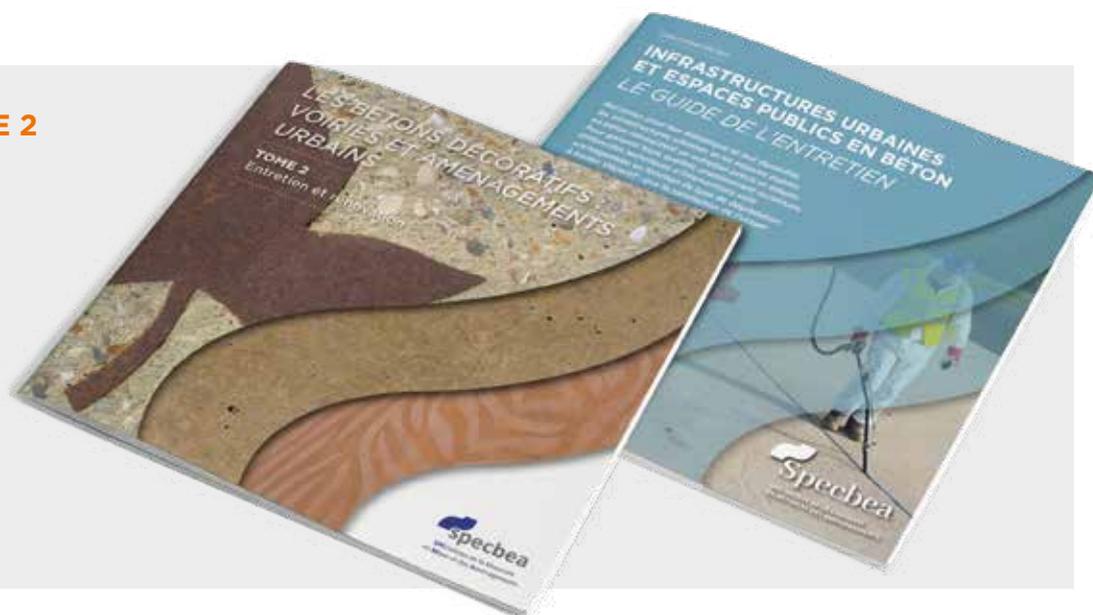
TABLEAU 4.6 : TECHNIQUES DE RÉGÉNÉRATION DES CARACTÉRISTIQUES DE SURFACE

	BOUCHARDAGE TS1	GRENAILLAGE TS2	HYDRO- SABLAGE TS3	RABOTAGE TS4	RECTIFICATION PAR OUTILS DIAMANTÉS TS5	HYDRO- RÉGÉNÉRATION TS6	PONÇAGE TS7	RAINURAGE TS8
DÉFAUT D'UNI				●	●		●	
DÉCALAGE DE DALLES				●				
COULURE DE PRODUITS DIVERS	●	●	●			●	●	
ENCRASSEMENT LÉGER DE SURFACE						●	●	
ENCRASSEMENT DE SURFACE	●	●	●			●		
USURE DE SURFACE	●				●	●		●
GLISSANCE		●		●	●	●		●
PERTE D'ADHÉRENCE PAR POLLUTION		●			●	●		
DÉFAUT D'ÉCOULEMENT D'EAU					●			●

LES BÉTONS DÉCORATIFS - TOME 2
 ENTRETIEN, RÉNOVATION

**INFRASTRUCTURES URBAINES
 ET ESPACES PUBLICS
 EN BÉTON**
 LE GUIDE DE L'ENTRETIEN

ÉDITIONS DISPONIBLES SUR DEMANDE :
www.specbea.com



CHAPITRE 5.

LA COMMANDE DU BÉTON

- 5.1. LA COMMANDE DU BÉTON, PRINCIPES P.62
 - 5.1.1 La visite préalable détaillée du site P.62
 - 5.1.2 Le dialogue incontournable Entreprise d'application/ producteur de béton BPE P.62
 - 5.1.3 Le choix de la classe de consistance du béton..... P.63
- 5.2. LA COMMANDE DU BÉTON CONCRÈTEMENT. P.64
- ANNEXE 5 Exemples de commande béton P.66

CHAPITRE 6.

LA MISE EN ŒUVRE DU BÉTON

- 6.1. LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES P.70
 - 6.1.1 La réception de la plate-forme support de chaussée P.70
 - 6.1.2 L'affinage du calepinage des joints pour intégrer toutes les réalités et sujétions du projet et du chantier P.71
 - 6.1.3 L'efficacité potentielle des coffrages du béton ... P.71
 - 6.1.4 La protection des ouvrages contigus et du chantier P.72
 - 6.1.5 Le traitement autour des points singuliers et des émergences de réseaux P.72
- 6.2. LES ÉPREUVES DE CONVENANCE DE FABRICATION ET DE MISE EN ŒUVRE DU BÉTON P.73
- 6.3. LE RÉPANDAGE ET LE COULAGE DU BÉTON
 - 6.3.1 Evaluation et caractérisation fines des facteurs climatiques durant tout le chantier P.74
 - 6.3.2 Fabrication et approvisionnement du béton P.75
 - 6.3.3 Mise en place et serrage du béton P.75
 - 6.3.4 Revêtement en béton décoratif monocouche versus bi couche P.76
 - 6.3.5. La cure du béton P.78
 - 6.3.6. Les joints P.78
- 6.4. MAÎTRISE DES GESTES ET TECHNIQUES POUR LES FINITIONS DE SURFACE P.81
- 6.5. MAÎTRISE DE L'ESTHÉTIQUE : DES PRESCRIPTIONS DU CCTP POUR RATIONALISER LES EXIGENCES ET LIMITER LES RISQUES P.83

CHAPITRE 7.

LE MÉMOIRE TECHNIQUE

- 7.1. LE MÉMOIRE TECHNIQUE, MAILLON DE LA CHAÎNE DE QUALITÉ P.84
- 7.2. LE MÉMOIRE TECHNIQUE, ÉLÉMENT DE RÉPONSE DE L'ENTREPRISE P.84
 - 7.2.1 De l'intérêt du mémoire technique P.84
 - 7.2.2 Quel contenu et quelle forme pour en valoriser l'efficacité ? P.84



Béton imprimé, Parc Saint-Gauderique ©So/s



PARTIE 3

LA RÉPONSE DE L'ENTREPRISE

CHAPITRE 5 : LA COMMANDE DU BÉTON

CHAPITRE 6 : LA MISE EN ŒUVRE DU BÉTON

CHAPITRE 7 : LE MÉMOIRE TECHNIQUE

Pour garantir une bonne exécution des chantiers, il faut bien maîtriser deux étapes essentielles : la commande du béton d'une part, et la mise en œuvre d'autre part. La commande nécessite, entre autres, une visite préalable détaillée du site ainsi qu'un véritable dialogue entre l'entreprise chargée de l'application et le producteur de béton. En ce qui concerne la mise en œuvre d'un revêtement en béton décoratif, on ne rappellera jamais assez que celle-ci doit s'articuler selon plusieurs phases : les travaux préparatoires, les épreuves de convenance, le répandage et coulage du béton, la finition de surface, les joints ; chacune de ces étapes demandant le même sérieux. Enfin, nous verrons également combien il est important d'envisager le mémoire technique comme un maillon fort de la chaîne de qualité. ■



CHAPITRE 5

LA COMMANDE DU BÉTON

5.1 LA COMMANDE DU BÉTON : PRINCIPES

Une application de béton décoratif nécessite un investissement préalable, en matière grise et en temps, plus conséquent que pour des opérations classiques de voiries en béton. Cela concerne :

5.1.1 LA VISITE PRÉALABLE DU SITE

Il s'agit du site sur lequel le chantier se déploiera. Le but est de bien prendre toute la mesure des problématiques liées à l'exécution: accessibilité du chantier et des approvisionnements du béton par les toupies des BPE, recours au pompage et modalités appropriées, délais de traficabilité sans risque sur le béton au jeune âge pour les phasages de chantier et la mise en service de l'ouvrage, ou encore les dispositions particulières de protection du béton et des ouvrages existants et de surveillance du chantier, fonction de son environnement.

5.1.2 LE DIALOGUE INCONTOURNABLE ENTREPRISE D'APPLICATION/ PRODUCTEUR DE BÉTON BPE

L'objectif du dialogue est d'aboutir à l'élaboration de la formule de béton la plus concordante possible entre l'idée que se fait du projet le maître d'ouvrage, ce que le maître d'œuvre a écrit dans le CCTP et la réalité des ressources et du chantier. Les parts respectives d'implication et de responsabilité dans cette démarche dépendent des choix de béton opérés par l'entreprise applicatrice, à savoir :

- **Béton à propriétés spécifiés (BPS)**

Il s'agit d'un béton conforme à la norme NF EN 206/CN pour

lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires sont spécifiées au producteur par le prescripteur. La responsabilité en matière de conformité du matériau fabriqué et livré incombe au producteur (cf. **ANNEXE 5.1** exemple de commande béton de chaussée à propriétés spécifiées). On peut aussi citer une démarche spécifique, que l'on peut qualifier par « Bétons de chaussées à performances garanties » et qui est pratiquée en particulier sur des petits chantiers urbains à faible sollicitation. Elle consiste à alléger la procédure de contrôle tout en garantissant les performances essentielles du matériau prévue dans la norme NF EN 206/CN, à savoir la classe mécanique, la classe d'exposition, la classe de consistance, la granularité et son D max et enfin la classe de chlorure. Cette démarche doit être acceptée et validée par le maître d'œuvre. Elle doit nécessairement s'inscrire dans une logique de dialogue tripartite entre le maître d'œuvre, l'entreprise et le fournisseur de béton (cf. **ANNEXE 5.1 bis**, exemple de commande béton de chaussée à performances garanties).

- **Béton à composition prescrite (BCP)**

Il s'agit d'un béton conforme à la norme NF EN 206/CN pour lequel la composition et les constituants sont spécifiées au producteur par le prescripteur. Ce dernier doit être expérimenté et faire la preuve d'une réelle compétence dans la formulation des bétons, de manière à ce que la composition prescrite respecte le parti de finition esthétique choisi, mais aussi les spécifications minimales de la classe d'exposition ainsi que les résistances caractéristiques retenues pour le dimensionnement de l'ouvrage. A noter le choix possible d'un béton à composition prescrite dans une norme (cf. **ANNEXE 5.2**, exemple de commande béton de chaussée à propriétés prescrites).

Quel que soit le cadre choisi, le dialogue entre l'entreprise et le producteur de béton BPE doit approfondir le choix des constituants en terme notamment de catégorie de granulats (codes décrits en **TABLEAU 3.1**), de couleur, de granularité D max, du rapport G/S et de choix de ciment (cinétique de prise et durcissement, couleur grise, blanche, claire).

5.1.3 LE CHOIX DE LA CLASSE DE CONSISTANCE DU BÉTON

Elle est directement liée à la méthode de mise en œuvre du béton, elle-même liée à l'usage de l'ouvrage et au choix de finition de surface (cf. **TABLEAU 5.1**). En effet, la vibration peut perturber l'arrangement granulaire en entraînant un surplus de laitance en surface, ce qui entraîne dans le cas du béton désactivé une diminution significative des gravillons en surface. Aujourd'hui, l'état de l'art est le suivant :

- Pour les voiries circulées, le béton doit être de consistance S1 ou S2 et le béton est serré par vibration interne ou en surface.
- Pour les voiries non circulées, le béton doit être de consistance supérieure ou égale à S3 et le béton est serré sans vibration.

Pour favoriser la constance de l'exécution et assurer l'homogénéité des caractéristiques mécaniques du béton en place, le CCTP peut spécifier la régularité de la consistance en stipulant une plage acceptable de variation de ± 20 mm pour l'essai d'affaissement au cône d'Abrams. ■



Essai au cône d'Abrams : béton de consistance de classe S2
©CIMbéton



Essai au cône d'Abrams : béton de consistance de classe S2
©EFCAT Sols Béton



Essai au cône d'Abrams : béton de consistance de classe supérieure à S3 ©CIMbéton

TABLEAU 5.1 : CLASSES DE CONSISTANCE DU BÉTON SELON LA NORME NF EN 206/CN ET RECOMMANDATIONS DES PROCÉDÉS DE MISE EN ŒUVRE ASSOCIÉS

CLASSES D'AFFAISSEMENT À L'ESSAI AU CÔNE D'ABRAMS (*)	S1	S2	S3	S4	S5
AFFAISSEMENT (mm)	10-40	50-90	100-150	160-210	> 220
PROCÉDÉ DE MISE EN ŒUVRE	Machine à coffrage glissant	Vibration superficielle	Tiré à la règle et vibré ou sans vibration sous conditions : • trafic <T5 • rapport G/S = 1,8 à 2,2		

(*) Norme NF EN 12350-2 « Essais sur béton frais- Partie 2 Affaissement »


NOTA

Les lignes sont en train de bouger sur le serrage des bétons où traditionnellement la vibration s'imposait pour les voiries circulées. Aujourd'hui, si la règle reste incontournable pour les voiries circulées, pour les aires moins sollicitées, les retours d'expérience montrent que la résistance mécanique, la densification du béton et l'arrangement optimal des granulats est bien maîtrisé avec des mises en œuvre sans vibration, dès lors que le béton respecte les deux conditions suivantes :

- Classe de consistance minimale S3,
- Rapport G/S compris entre 1,8 et 2,2.

On peut aussi atteindre cet objectif en utilisant des procédés de vibrations superficielles comme par exemple les lisseuses vibrantes. Le **TABLEAU 5.1** propose une correspondance entre les classes de consistance du béton et le matériel adéquat de mise en œuvre.

5.2 LA COMMANDE DU BÉTON CONCRÈTEMENT

Le dialogue précité Entreprise d'application/Producteur BPE ayant eu lieu, et le choix de mode de mise en œuvre et de phasage opérés par l'entreprise arrêté, l'acte important de commande formelle du béton à usage de béton décoratif peut être engagé. Là encore, la spécificité du béton décoratif appelle à se doter d'outils ou de procédures plus étoffées que celles d'une commande de béton routier classique. Une commande de béton routier se formalise par

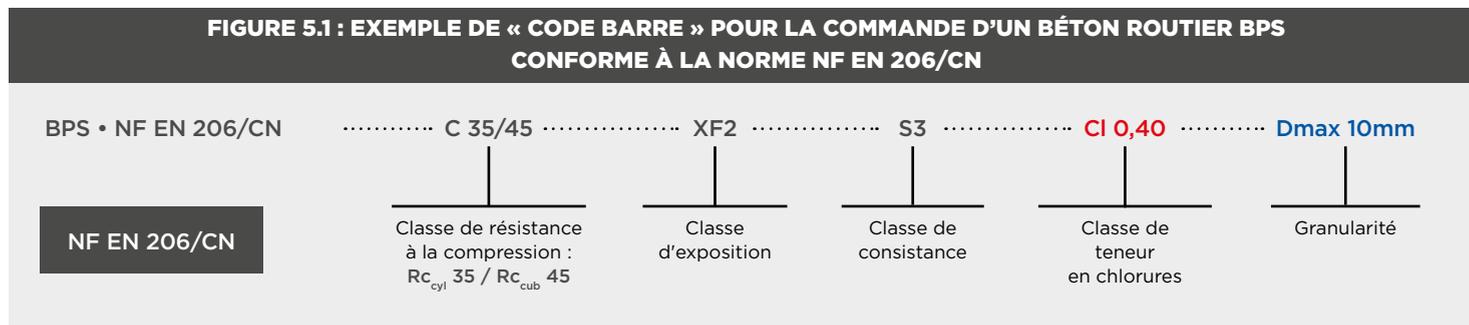
l'élaboration d'une sorte de code barre qui stipule toutes les spécifications essentielles pour le béton, à savoir :

- La conformité à la norme européenne NF EN 206/CN s'il y a lieu (cf. **FIGURE 5.1**),
- La classe de résistance du béton,
- La classe d'exposition à laquelle les propriétés du béton devront satisfaire,
- La classe de consistance ou la valeur cible d'affaissement au cône,
- La classe de teneur en chlorure,
- La granularité D max.

Il convient d'être encore plus précis s'agissant du béton décoratif. Aussi, complémentirement au code barre, les **ANNEXES 5.1, 5.1 bis** et **5.2** illustrent une trame opérationnelle pour une commande de béton décoratif qui traduit le besoin de personnalisation et de détail propre à chaque opération. Il est indispensable pour l'entreprise et le fournisseur d'entrer dans ce niveau de détail pour qu'ils réussissent ensemble la performance du beau et du durable que porte l'image du béton décoratif.

De ce fait, il est important de définir le besoin esthétique en précisant le visuel. A titre d'exemple : le béton décoratif de couleur clair/foncé, bicolore (moucheté noir/blanc). Les proportions du mélange doivent être définies ainsi que les incertitudes de pesage (par exemple béton bicolore 70/30 ± 10 %) et seront validées par la confection d'un échantillon.

FIGURE 5.1 : EXEMPLE DE « CODE BARRE » POUR LA COMMANDE D'UN BÉTON ROUTIER BPS CONFORME À LA NORME NF EN 206/CN



Pour garantir cette dualité d'objectifs du beau et du durable dans le résultat, en cas de recours à des constituants spéciaux non disponibles, notamment pour les granulats, de façon courante à l'unité de production BPE, la procédure de commande du béton est complétée par :

- La fourniture d'un échantillon représentatif soumis à l'appréciation du maître d'œuvre et du maître d'ouvrage lors de la remise de l'offre,

- La réalisation sur le chantier en présence du maître d'œuvre d'une planche d'essai de 4 m² à partir de la composition retenue. (fabrication de 2 m³ de béton minimum).

L'échantillon représentatif et la planche d'essai sont conservés par le maître d'ouvrage. ■



Planches d'essais pour le projet d'aménagement du parvis du Stade du Havre ©Mineral Service



ANNEXE 5.1 : EXEMPLE DE COMMANDE BÉTON DE CHAUSSEE À PROPRIÉTÉS SPÉCIFIÉES

INFOS ENTREPRISE

Différent selon projet

DESCRIPTIF CHANTIER

Nom Adresse

Volume Temps transport (UP/Chantier)

Date démarrage Durée estimée

DESCRIPTIF BÉTON

Finition

Type d'ouvrage / destination CCTP transmis (oui/non)

Type de trafic Exclusivement piéton VL occasionnels PL occasionnels Trafic en nbre de PL/j/sens

Types de granulats Dmax

Epaisseur:

Compression (minimum requis en MPa)

Fendage (minimum requis en MPa)

Classe d'exposition XF1 XF2 XF3 XF4

Consistance S1 S2 S3 S4

Type de liant (facultatif)

Teinte béton (dosage et couleur pigment si nécessaire)

Options Fibres anti-fissurations Fibres Structurelles Béton accéléré Béton retardé Béton pompé

CONDITIONS MISE EN OEUVRE

Cadence coulage Toupie complète (oui/non)

Type de vidange Reprise sambron Vidange directe Déversement brouette Tapis

Pompage / Longueur

Type de mise en oeuvre (facultatif) Striker Règle vibrante Lissage manuel Lissage mécanique Talochage

Le fournisseur reconnaît avoir été informé et pris tous les renseignements nécessaires sur l'usage de l'ouvrage, son exposition et les conditions de mise en oeuvre. Conformément à la norme EN 206-1 si notre demande ne vous semble pas conforme à l'usage de l'ouvrage, il vous appartient de la mettre en conformité.

ANNEXE 5.1 bis : EXEMPLE DE COMMANDE BÉTON DE CHAUSSÉE À PERFORMANCE GARANTIE

INFOS ENTREPRISE

Différent selon projet

DESCRIPTIF CHANTIER

Nom Adresse

Volume Temps transport (UP/Chantier)

Date démarrage Durée estimée

Type d'ouvrage / destination CCTP transmis (oui/non)

Type de trafic Exclusivement piéton VL occasionnels PL occasionnels Trafic en nbre de PL/j/sens

Autres spécifications (BCMC, BAC, délai remise en circulation...)

DESCRIPTIF BÉTON

Finition Désactivé Poncé Imprimé Stabilisé
 Bouchardé Lissé Quartzé Poli intérieur
 Sablé Balayé Drainant Autres :

Visuel / Granulats

Dmax / Coupure

Performance mécanique minimale Vs domaine d'application BC2 BC3 BC4 BC5 BC6

Spécifications du béton selon la classe d'exposition XF1 XF2 XF3 XF4

Consistance S1 S2 S3 S4

Type de liant (facultatif)

Teinte béton (dosage et couleur pigment si nécessaire)

Options Fibres anti-fissurations Fibres Structurelles Béton accéléré Béton retardé Béton pompé

CONDITIONS MISE EN OEUVRE

Cadence coulage Toupie complète (oui/non)

Type de vidange Reprise sambron Vidange directe Déversement brouette Tapis

Pompage / Longueur

Type de mise en oeuvre (facultatif) Striker Règle vibrante Lissage manuel Lissage mécanique Talochage



ANNEXE 5.2 : EXEMPLE DE COMMANDE BÉTON DE CHAUSSEE À COMPOSITION PRESCRITE

INFOS ENTREPRISE

Différent selon projet

DESCRIPTIF CHANTIER

Nom Adresse

Volume Temps transport (UP/Chantier)

Date démarrage Durée estimée

Type d'ouvrage / destination CCTP transmis (oui/non)

Finition Désactivé Poncé Imprimé Stabilisé
 Bouchardé Lissé Quartzé Poli intérieur
 Sablé Balayé Drainant Autres :

DESCRIPTIF BÉTON

Liant	CEM I 42,5	CEM I 52,5	CEM II 42,5	CEM II 52,5	CEM III 42,5	Autres
Dosage en kg/m ³						
Filaires et cendres						

	Désignation	Type	Granulométrie	Dosage
Gravillon 1				
Gravillon 2				
Sable				

Spécifications du béton selon la classe d'exposition XF1 XF2 XF3 XF4
 Consistance S1 S2 S3 S4
 Teinte béton (dosage et couleur pigment si nécessaire)
 Options Fibres anti-fissurations Fibres Structurelles Béton accéléré Béton retardé Béton pompé

CONDITIONS MISE EN OEUVRE

Cadence coulage Toupie complète (oui/non)
 Type de vidange Reprise sambron Vidange directe Déversement brouette Tapis
 Pompage / Longueur
 Type de mise en oeuvre (facultatif) Striker Règle vibrante Lissage manuel Lissage mécanique Talochage

Le fournisseur reconnaît avoir été informé et pris tous les renseignements nécessaires sur l'usage de l'ouvrage, son exposition et les conditions de mise en oeuvre. Conformément à la norme EN 206-1 si notre demande ne vous semble pas conforme à l'usage de l'ouvrage, il vous appartient de la mettre en conformité.



Aménagement en béton décoratif du parvis de la gare de Grenoble ©MCA



CHAPITRE 6

LA MISE EN ŒUVRE DU BÉTON

6.1 LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Les opérations principales qui appellent à vérification systématique sont dans l'ordre :

6.1.1 LA RECEPTION DE LA PLATE-FORME SUPPORT DE CHAUSSÉE

C'est un point d'arrêt indispensable. Il faut vérifier la classe de portance de la plate-forme et son adéquation par rapport à la conception et au dimensionnement de la structure, ainsi que le respect de l'altimétrie et du profil (tolérance plus ou moins 1 cm pour revêtement non circulé et 0 moins 2 cm pour les revêtements circulés). Au-delà de ces caractéristiques impératives, des précautions de bons contacts des dalles de béton, de respect de l'intégrité du matériau frais et du bon calage de ce dernier sont à respecter. Cela se traduit par :

- L'enlèvement sur la plate-forme de boues, matières organiques et tout autre élément indésirable,
- L'évacuation des eaux superficielles,
- L'élimination des éventuelles ornières et déformations dues au trafic de chantier.

La réception de la plate-forme doit se faire contradictoirement entre le maître d'œuvre, l'entreprise de VRD et l'entreprise en charge de la mise en œuvre du béton. Elle porte de manière non exhaustive sur le nivellement, les cotes altimétriques, les pentes et dévers, les déversoirs, le calage des émergences, la portance et la propreté.



Plate-forme de bonne portance, Parc des Chanteraines, Hauts-de-Seine ©CIMbéton



Essai de portances à la Dynaplaque, Parc des Chanteraines, Hauts-de-Seine ©CIMbéton

6.1.2 L'AFFINAGE DU CALEPINAGE DES JOINTS POUR INTÉGRER TOUTES LES RÉALITÉS ET SUJÉTIONS DU PROJET ET DU CHANTIER

Il s'agit de vérifier au niveau des plans d'exécution et du phasage du chantier le strict respect des règles de format et de forme des dalles, ainsi que d'espacements entre joints définies au chapitre 2. Le maître d'œuvre donne le plan finalisé des émergences. L'entreprise doit vérifier que le plan de calepinage s'applique et soumet des propositions si nécessaire à la validation du maître d'œuvre.

Si le projet s'affranchit, pour des raisons pratiques et/ou esthétiques et sous la responsabilité du maître d'œuvre de conception, des règles de dalles courtes (25 fois l'épaisseur du revêtement en béton au maximum), de rapport longueur sur largeur (1,5 au maximum) et d'angle supérieur ou égal à 75°, il faut alors armer le béton avec un plan de ferrailage défini par une étude de conception particulière.

En outre, une vérification attentive doit également être faite concernant les joints de retrait - flexion (dispositions organisationnelles et matérielles pour être en cohérence avec les séquençements du coulage du béton), les joints de construction (disponibilité des fournitures spécifiques éventuelles) et des joints de dilatation (schéma d'implantation et typologie à valider en prenant en compte les conditions climatiques réelles au moment du bétonnage). Pour ces derniers, l'**ANNEXE 2.1** précise les modalités de calcul assorties d'un exemple pratique.

6.1.3 L'EFFICACITÉ POTENTIELLE DES COFFRAGES DU BÉTON

Il faut vérifier la stabilité, la robustesse et la hauteur des coffrages en bois ou en acier et des fiches régulièrement implantées tous les mètres et ancrées dans la plate-forme. Ils doivent retenir toute l'épaisseur du béton frais coulé. Les écarts en hauteur et en plan, ne doivent pas dépasser 1 cm par rapport à l'alignement théorique.



Calepinage Chantier Jean Jaurès ©RCR déco France



Coffrage avant bétonnage, Parc des Chanteraines, Hauts-de-Seine ©CIMbéton



Coffrage avant bétonnage, Parc des Chanteraines, Hauts-de-Seine ©CIMbéton



Le cas particulier des coffrages assurés par des bandes structurantes en éléments modulaires, pavés ou dalles, nécessite de respecter quelques règles de bonne exécution pour garantir le bon fonctionnement de ce type de dispositif, notamment :

- La bande structurante est composée d'éléments modulaires posés sur un patin et jointés. Le patin de calepinage est constitué de mortier ou béton dosé à 300 kg de ciment par m³ au minimum,
- Le patin doit être à bord vertical franc, sans chanfrein, et ne pas déborder du pavé (voir **FIGURE 6.1**).
- Le calepinage doit être réalisé bien avant les travaux de bétonnage pour permettre au patin et lit de pose d'acquérir une résistance suffisante.

6.1.4 LA PROTECTION DES OUVRAGES CONTIGUS ET DU CHANTIER

Au moment du coulage du béton, il faut déployer une vigilance particulière sur :

- La protection des ouvrages existants contigus au chantier (façades, candélabres, mobiliers urbains.), ou partie intégrante du chantier (bordures, appareillages, mariage avec d'autres matériaux de revêtement). Il faut prévoir des produits de protection qui facilitent le nettoyage ultérieur ou éventuellement des films plastiques bien arrimés vis-à-vis du vent.
- La protection du chantier lui-même qui nécessite des balisages pour empêcher le passage des piétons comme des deux roues et des véhicules de toutes natures sur le béton frais.

6.1.5 LE TRAITEMENT AUTOUR DES POINTS SINGULIERS ET DES ÉMERGENCES DE RÉSEAUX

Le principe de l'isolement des obstacles qui se présentent comme des inclusions dans le revêtement en béton (regards, bouches à clé, avaloirs, etc.) a été décrit au

chapitre 2. Il faut assurer la complémentarité entre joint de dilatation d'épaisseur de l'ordre de 2 cm tout autour de l'obstacle (permettant une variation dimensionnelle de 1 cm avec un produit compressible à 50%) et joint transversal de retrait dans l'axe de l'émergence ou sur un de ses côtés si elle est de forme rectangulaire. ■

FIGURE 6.1 : DISPOSITION CONSTRUCTIVE ADÉQUATE POUR LA POSE DES BANDES STRUCTURANTES EN ÉLÉMENTS MODULAIRES



Protection des abords de chantier ©RCR déco Bretagne



Protection des abords de chantier ©MIGMA



Isolation d'un pied de candélabre ©SOLS



Dispositions constructives autour d'émergences ©J. Abdo

6.2 LES ÉPREUVES DE CONVENANCE DE FABRICATION ET DE MISE EN ŒUVRE DU BÉTON

L'épreuve de convenance de fabrication (au moins égal à une gâchée complète du malaxeur de la centrale) permet de vérifier que la centrale BPE dispose des moyens de stockage et des équipements conformes aux normes NF P 98-170 et NF P 98-734. Cette épreuve est simplifiée lorsque l'unité de production est titulaire du droit d'usage de la marque NF.

L'épreuve de convenance de mise en œuvre est indispensable pour toute opération qualitative ou dont la taille dépasse 500 m³ ou dont la durée est supérieure à une semaine.

Elle consiste en la réalisation d'une planche de référence de 4 m² de surface, avec les moyens et sujétions de transport prévus et la palette complète des matériels de mise en œuvre de l'entreprise. Elle précise et valide les gestes et les outils constitutifs de la procédure d'exécution du chantier, y compris la phase de finition de surface si essentielle pour un béton décoratif. Cette épreuve doit être programmée bien avant le démarrage du chantier, mais dans le cas où elle est réalisée lors des premiers coulages, son intégration au chantier est conditionnée par l'obtention de résultats probants. ■



6.3 LE RÉPANDAGE ET LE COULAGE DU BÉTON

La plate-forme support de la structure en béton, réceptionnée en portance et nivellement et nettoyée au titre des travaux préparatoires, doit être humidifiée avant le bétonnage.

6.3.1 ÉVALUATION ET CARACTÉRISATION FINES DES FACTEURS CLIMATIQUES DURANT TOUT LE CHANTIER

Il faut aussi, dès le démarrage effectif des travaux, appréhender très finement les conditions climatiques du

site du chantier, notamment en matière de température, d'hygrométrie et de pluviométrie, ainsi que de tous les facteurs qui influent sur ces paramètres (vent, risques d'orage, de forte chaleur ou de gel, fortes amplitudes de variations journalières, etc.). Ces conditions atmosphériques ont une double action sur la vitesse d'évaporation de l'eau dans le béton préjudiciable à l'obtention des caractéristiques mécaniques requises d'une part, et sur la cinétique de prise du béton qui gouverne le délai dans lequel le sciage des joints de retrait doit être exécuté. Les **TABLEAUX 6.1** et **6.1 bis** indiquent les précautions à prendre en fonction des conditions atmosphériques prévisibles.

TABLEAU 6.1 : BÉTON DENSE - PRÉCAUTIONS À PRENDRE EN FONCTION DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

HYGROMÉTRIE	TEMPÉRATURE AMBIANTE	DE 5 À 20°C	DE 20 À 25°C	DE 25 À 30°C	> 30°C
De 60 à 100%		Conditions normales de bétonnage			Cure renforcée
De 50 à 60%			Cure renforcée	Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme	Bétonnage à partir de 12 heures Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme
De 40 à 50%		Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme		Bétonnage à partir de 12 heures Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme	
< 40%				Cure renforcée et arrosage maintenu de la plate-forme	Pas de bétonnage sans mesures spéciales

TABLEAU 6.1 bis : BÉTON DRAINANT - PRÉCAUTIONS À PRENDRE EN FONCTION DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

HYGROMÉTRIE	TEMPÉRATURE AMBIANTE	< 5°C	DE 5 À 25°C	DE 25 À 30°C	> 30°C
De 60 à 100%			Conditions normales de bétonnage		
De 50 à 60%		Pas de bétonnage		Conditions normales de bétonnage et humidification de la plate-forme	Pas de bétonnage
< 50%			Conditions normales de bétonnage et humidification de la plate-forme	Bétonnage de préférence l'après-midi de façon à ce que la prise du béton se fasse après les heures les plus chaudes de la journée, humidification de la plate-forme et cure renforcée	

6.3.2 FABRICATION ET APPROVISIONNEMENT DU BÉTON

La fabrication du béton se fait en général dans des centrales de béton prêt à l'emploi. Toutefois, des équipements de fabrication mobiles, autonomes, sont aussi disponibles pour des petites opérations ou des applications particulières avec un phasage spécifique nécessitant à chaque fois une quantité limitée de béton.

L'approvisionnement du béton sur le chantier se fait dans la majorité des cas par camions-toupies. Dans tous les cas, il est indispensable de vérifier les bons de livraison (incluant les bons de pesée) de chaque toupie de béton. La consistance du béton doit être en adéquation avec le mode de mise en œuvre et les exigences de finition de surface. Pour des chantiers d'accès difficile, le béton frais est mené à pied d'œuvre avec des dumpers girabenne ou des mini-chargeurs munis de goulottes permettant une dépose du béton au plus près de la plate-forme pour éviter toute ségrégation du matériaux.

6.3.3 MISE EN PLACE ET SERRAGE DU BÉTON

Pour la mise en place du béton, les gammes de matériels disponibles offrent un large choix de modalités d'exécution. Le parti important à prendre pour les bétons décoratifs est le choix de recourir à la vibration ou non selon l'usage de l'ouvrage. On distingue deux modalités de serrage du béton frais qui hiérarchisent les niveaux d'efficacité de densification et d'homogénéisation du béton :

- Cas des projets circulés : le béton dense est mis en place par vibration interne ou pervibration, opérée par des aiguilles vibrantes immergées dans le béton frais, ou des pervibrateurs fixés à demeure dans les machines à coffrage glissant. Ces procédés permettent des niveaux de compacité optimale. Dans le cas des chantiers en béton drainant, la mise en place se fait par serrage à l'aide de différents matériels de compactage (compacteurs, plaques vibrantes, rouleaux lestés, outils de lissage mécanisés).



Approvisionnement du béton ©CIMbéton



Vibration par aiguille vibrante ©Mineral Service



- Cas des projets non circulés : le béton dense est mis en place soit par vibration externe, opérée par des équipements qui vibrent le béton depuis la surface, du type règle vibrante, ou lisseuse vibrante, soit par serrage sans vibration (tiré à la règle ou serré au striker). Le recours au striker se développe rapidement. Constitué d'un tube en acier entraîné en rotation en sens inverse du déplacement de l'outil tiré manuellement et qui prend appui sur les coffrages, il permet de serrer le béton de manière homogène. Cette régularité est incontournable pour certaines finitions comme la désactivation entre autre. Pour les chantiers en béton drainant, la mise en place du béton se fait avec des matériels légers (strickers, rouleaux lestés).

À noter que dans certains chantiers de béton décoratif, l'entreprise peut pratiquer une procédure mixte vibration interne/vibration externe ou serrage. Le béton est d'abord étalé puis vibré à l'aiguille vibrante le long des coffrages, avant le passage de la règle vibrante ou du striker.

Toutes les finitions de surface nécessitent de commencer par l'obtention d'un béton frais de surface lisse, fermé, exempt de cavités apparentes et de vagues. Le lissage manuel permet d'atteindre ce résultat pour les modes de mise en œuvre non mécanisés. L'applicateur peut utiliser des lisseuses flamandes en opérant à l'avancement après passage de la règle ou en se déplaçant au-dessus de la surface au moyen de passerelles. L'utilisation d'une lisseuse montée sur un long manche permet d'opérer à l'extérieur de la zone de coulage.

6.3.4 **REVÊTEMENT EN BÉTON DÉCORATIF MONOCOUCHE VERSUS BI COUCHE**

Le béton décoratif est le plus souvent exécuté en revêtement monocouche, en prenant les précautions appropriées au niveau de la formulation et de l'exécution pour favoriser un bon compromis entre une belle finition de surface et une



En sortie de machine à coffrage glissant, le béton est lisse et fermé. Le passage d'une toile de jute permet, en retirant la laitance, de donner une micro-rugosité à la surface du béton.
©CIMbéton



Mise en œuvre du béton à la règle vibrante ©CIMbéton



Mise en œuvre du béton au striker ©GCP

résistance mécanique qui s'inscrivent toutes deux dans la durée. Il est possible toutefois de dissocier les fonctions précitées, notamment lorsque les sujétions esthétiques nécessitent l'emploi de constituants onéreux, en réalisant un bétonnage bicouche. Dans ce cas, il est important que le revêtement fonctionne comme une structure monobloc bicouche, c'est-à-dire que la couche superficielle soit parfaitement collée à la couche inférieure. La pratique du coulage des deux couches de béton frais sur frais, bien exécutée, garantit une telle exigence. L'épaisseur minimale de la couche supérieure doit être de 4 fois la dimension maximale D_{max} du granulat du béton utilisé dans cette couche.



Taloche à long manche pour le lissage du béton ©CIMbéton



Finition du béton par lisseuse vibrante pour béton drainant
©MIGMA

NOTA

Pour des ouvrages spécifiques, on peut liasonner un béton frais sur un béton durci par l'intermédiaire soit de connecteurs (épingles), soit avec une interface de collage appropriée (barbotine, résine époxy). Dans le premier cas, une étude spécifique doit être réalisée pour déterminer la densité des connecteurs à mettre en œuvre. Dans le second cas, des précautions sont à prendre quant aux préparations du support (nettoyage soigné), et le maintien d'un gradient thermique faible au moment du coulage et durant les premiers jours après le bétonnage.



Connecteurs pour liaison béton de revêtement sur béton d'assise sur chantier de tramway ©Mineral Service



6.3.5 LA CURE DU BÉTON

Cas du béton dense : l'épandage du produit de cure est effectué à l'aide d'un pulvérisateur qui doit permettre la couverture de la dalle et de ses flancs de manière homogène et conformément au dosage prescrit. Dans le cas d'un béton désactivé, il est conseillé de choisir un désactivant faisant office de cure. Après désactivation, il est nécessaire de prolonger la protection du béton par la mise en place d'un produit de cure ou équivalent. Si la cure fait appel à une feuille de polyéthylène, celle-ci



Pulvérisation du produit désactivant, faisant office de cure, après l'opération de lissage du béton. Parc des Chanteraines
©CIMbéton

doit assurer le recouvrement de la dalle et de ses flancs avec une sur largeur de 2 fois 20 cm. L'usage de la feuille de polyéthylène peut entraîner des effets de marbrure indésirables.

Cas du béton drainant : le béton drainant doit recevoir, au jeune âge, une protection efficace. Compte tenu de la porosité ouverte du matériau, l'utilisation d'un produit de cure classique n'est pas adaptée car il peut réduire la porosité en surface et conduire au colmatage du revêtement. Mais, il existe un produit de protection spécifique permettant de limiter le départ d'eau connu sous le nom d'agent anti-évaporant non filmogène. On peut aussi limiter les départs d'eau du béton en recouvrant ce dernier après début de prise d'un feutre humidifié et régulièrement arrosé. La protection peut également être assurée en recouvrant la surface du revêtement par un film en polyéthylène empêchant toute circulation d'air et qui sera maintenu en place plusieurs jours. Ce procédé peut cependant conduire à une forte carbonatation du revêtement. Pour réduire ce phénomène, la feuille de polyéthylène pourrait être perforée. Les films de protection utilisés seront transparents ou de couleur claire. Ils ne présenteront pas de discontinuité.

6.3.6 LES JOINTS

6.3.6.1 CAS DU BÉTON DENSE

Joint de retrait-flexion

Les joints de retrait-flexion transversaux et longitudinaux sont exécutés soit par sciage dans le béton suffisamment durci, soit par moulage dans le béton frais.

- Sciage dans le béton durci

En fonction de la composition du béton (ciment, granulats, adjuvants), de la méthode de mise en œuvre, des conditions climatiques ambiantes, un trait de scie est exécuté dans un délai adéquat qui peut varier de 6 à 24 h après le bétonnage. Les joints sciés sont réalisés à l'aide de scies circulaires à

disques diamantés. Le choix de la lame, la vitesse de coupe et la vitesse d'avancement sont fixés en fonction de la dureté des granulats entrant dans la composition du béton. Les joints auront une profondeur de l'ordre de 1/4 à 1/3 de l'épaisseur de la dalle béton. La largeur des joints sciés sera de 3 à 5mm.

- Moulage dans le béton frais

Les joints moulés doivent être exécutés aussitôt après la mise en œuvre du béton. Ils sont réalisés par utilisation d'une lisseuse à manche munie d'un trusquin ou d'un rouleau spécifique muni d'une saillie circulaire ou bien par enfoncement dans le béton frais d'une languette ou profilé en plastique d'épaisseur comprise entre 3 et 5 mm qui demeurera dans le béton après durcissement. Après implantation du joint, la surface du béton doit être rectifiée par talochage de part et d'autre du joint sur environ 50 cm. Nous rappelons que ces systèmes sont réservés à des surfaces non circulées (cf. Norme NF P 98-170).

Joint de construction

- Joints transversaux

Les joints transversaux de construction sont nécessaires après chaque arrêt de bétonnage supérieur à une heure et en particulier en fin de journée. La dalle sera, dans ce cas, coffrée ou à défaut retournée à 90° pour obtenir un bord franc. Ces joints seront réalisés avec la mise en place de goujons dont les caractéristiques dimensionnelles et leur espacement sont précisés dans le **TABLEAU 3.2**.

- Joints longitudinaux

Les joints longitudinaux de construction sont constitués :

- soit d'un dispositif de type clé sinusoïdale, (tel que défini dans l'annexe D de la norme NF P 98-170),
- soit en utilisant des fers de liaison placés perpendiculairement au joint et à mi-hauteur de la dalle béton, avec un espacement de 75 cm,
- soit par des goujons comme les joints transversaux en cas de circulation transversale.



Détail sciage dans le béton ©SOLS



Joint moulé dans un béton dense ©Moderne Méthode



Joint de construction transversal goujonné ©SOLS



Dispositif de type clé sinusoïdale pour un joint de construction longitudinal ©AER

Joint de dilatation

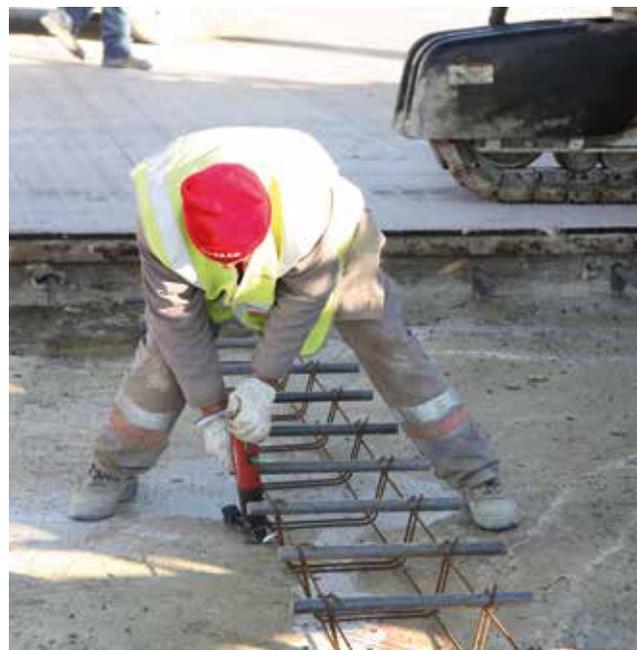
Ils seront constitués d'un corps de joint de 10 à 20 mm de largeur placés sur toute l'épaisseur de la dalle et positionnés régulièrement avec un espacement calculé selon la note de calcul présentée au § 2.8.1.2 et à l'ANNEXE 2.1.

6.3.6.2 CAS DU BÉTON DRAINANT

L'exécution des joints de retrait-flexion se fait uniquement par sciage suivant les mêmes modalités que pour le béton dense. Les joints de construction et de dilatation sont réalisés en appliquant les mêmes dispositions constructives que celles décrites pour le béton dense. ■



Joint moulé dans un béton drainant ©Mineral Service



Positionnement des goujons pour le joint transversal goujonné ©AER



Joint de dilatation - Parc des Chanteraines ©CIMbéton

6.4 MAÎTRISE DES GESTES ET TECHNIQUES POUR LES FINITIONS DE SURFACE

Limitons nous à quelques rappels des informations et recommandations exprimées dans le document dédié au sujet « *Les bétons décoratifs - Voiries et aménagements urbains. Tome 1 Finitions, Gestes et Techniques* », Collection Specbea/VECU.

La liste des matériels et outils majoritairement manuel conjuguent le paradoxe de la simplicité apparente, et de la complexité de la parfaite maîtrise car c'est le bon geste au bon moment qui prévaut à une finition de haute qualité esthétique. A l'image du tailleur de pierre de nos cathédrales, ce n'est pas la rusticité des outils qu'il utilise qui produit le talentueux résultat, mais bien le couple homme/outil. Chacun peut se rendre compte du savoir-faire dans les bons gestes afin d'être dans l'excellence de rendu avec :

- Un balai à long manche aux brins rigides et fournis pour un béton balayé, strié, brossé, gratté,
- Des pochoirs sur béton fraîchement lissé pour une finition tramée ou matricée,
- Des truelles et réglettes lisseuses à manche pour finition impérativement à la main du béton lissé,
- Des machines à disques diamantés qui produisent au cœur du matériau des rayures très fines qui adoucissent le béton tout en le rendant antidérapant pour un béton poncé ou grésé,
- Des machines à plateaux rotatifs équipées de rouleaux bouchardes, pour faire éclater le mortier du béton et fractionner les granulats visant un rendu de pierre fraîchement coupée pour un béton bouchardé,
- Des opérations de dénudage de la partie superficielle du béton frais, dont la prise est retardée ou inhibée par pulvérisation d'un agent désactivant agissant sur une profondeur maîtrisée, pour un béton désactivé par voie humide,

- Des machines à brosses qui doivent assurer un brossage régulier pour faire ressortir les granulats apparents tout en maintenant les gravillons intermédiaires pour un béton désactivé par voie sèche,
- Des machines et produits qui assurent un traitement mécanique, d'érosion plus ou moins profonde, par projection sur le béton durci de matériaux fins abrasifs qui appelle à maîtriser la force de projection, l'éloignement de la buse et la nature du gravillon pour un béton sablé ou hydro-sablé.



Balai à béton en nylon ©Moderne Méthode



Outils : boucharde / disque / squamage / ponçage ©Specbea



Désactivation à sec ©Specbea



En dénominateur commun au bon emploi de ces différentes machines ou procédures, il y a la régularité du travail de l'homme de l'art qui doit en permanence intégrer les interfaces entre bandes de traitement ainsi qu'appréhender la maturité du béton à mettre en perspective avec la puissance du traitement, souvent en relation avec la vitesse d'avancement des machines et la sélection des bons outils. Des compétences croisées de la bonne maîtrise des outils et des machines sont aussi requises pour des finitions de haute gamme comme le béton désactivé poncé.

Concrètement, la précaution de spécification dans les marchés de la qualification de l'entreprise spécialisée et des hommes qui vont exécuter le chantier est incontournable. À l'image du métier du paveur de pierres naturelles qui n'est en aucun cas celui d'un carreleur, le métier d'applicateur de béton décoratif n'est en aucun cas un travail de tâcheron.

Le binôme homme/outil ou matériel est au cœur de la performance esthétique du béton décoratif. Une formation, un compagnonnage et une expérience d'au moins 5 années sont nécessaires pour acquérir cette fusion homme/machine en capacité de sentir toutes les nuances de la matière et du matériau, de son attaque mécanique à cœur, de son adouci, de sa texture, de sa lumière et de sa régularité.

L'**ENCART 6.1** décrit les principales pistes à intégrer dans les marchés pour s'assurer de l'expérience et de la compétence de l'entreprise applicatrice et de ses compagnons dont le statut reconnu d'hommes de l'art doit être porté par l'organisme qui leur confie la tâche de l'excellence esthétique associée au robuste et au durable. L'**ENCART 6.2** à la suite invite, dans le même sens de réunir les conditions favorables à la qualité, à favoriser l'allotissement de lots spécifiques aux revêtements de sols urbains qualitatifs, pour offrir aux maîtres d'ouvrage les conditions favorables pour que les entreprises spécialisées compétentes et riches de leurs expériences, références et talents de leurs hommes de l'art puissent s'exprimer. ■

ENCART 6.1

L'IDENTIFICATION PROFESSIONNELLE, UN PREMIER NIVEAU DE GARANTIE

Délivrée par la FNTP, la « carte professionnelle d'entrepreneur de travaux publics » gagne à être enrichie de différentes identités professionnelles. Ces dernières sont établies à la demande de l'entreprise et après acceptation de son dossier. La démarche permet de mettre en valeur le savoir-faire de l'entreprise en déclinant plus précisément ses attributs de « spécialiste ». Quatre classes d'identification sont proposées :

- 3431 : Béton sous circulation motorisée (rues, giratoires, parkings, tramway, etc.),
- 3432 : Béton sans circulation motorisée (pistes cyclables, trottoirs, zones piétonne, etc.)
- 3433 : Bétons décoratifs (traitement de surface du béton : désactivé, balayé, imprimé, poncé, bouchardé, etc.),
- 3611 : Traitement technique des surfaces bétons.

Le syndicat de spécialité Specbea (Spécialistes de la chaussée en béton et des aménagements) affilié à la FNTP travaille avec les instances de cette dernière à l'élaboration d'identités professionnelles plus précises complémentaires à des cursus de formation structurés ayant trait notamment à l'entretien des bétons.

L'attribution d'une identité professionnelle sert à valoriser le savoir-faire du personnel de l'entreprise. C'est pourquoi le dossier de demande d'identification professionnelle doit comprendre la liste des moyens humains, comme celle des moyens matériels mobilisables, ainsi que des références de réalisation, qui prennent la forme d'attestations de travaux garantes de capacité, de qualité et d'exécution personnelle des réalisations.

La carte professionnelle enrichie d'identité(s) professionnelle(s) est particulièrement pertinente pour les techniques de spécialité pour lesquelles l'humain au sens noble de l'homme de l'art est au cœur de la performance et de la satisfaction du maître d'ouvrage. La démarche permet de faire valoir les métiers qui reposent sur un haut niveau de formation, une maîtrise parfaite des techniques et un savoir-faire. Ces exigences méritent d'être inscrites dans les clauses des marchés, de manière à faire la différence sur les risques acceptés au niveau du jugement des offres.

ENCART 6.2

PRÔNER L'ALLOTISSEMENT AVEC UN LOT SPÉCIFIQUE POUR LES REVÊTEMENTS DE VOIRIE : UN DEUXIÈME NIVEAU DE GARANTIE

L'allotissement est un gage de qualité qu'il faut cultiver en particulier pour les opérations dont le risque de contre-performance est très pénalisant pour le maître d'ouvrage et l'exploitant, au-delà de la responsabilité de la maîtrise d'œuvre et de l'entreprise. Il permet de contrôler la présence de spécialistes à chaque étape d'un chantier, valorise ceux qui savent faire et garantit un résultat non seulement pour l'inauguration du projet, mais aussi pour les années à venir.

Cependant, le contexte général de dévolution des marchés, en lien avec les moyens dont disposent les maîtrises d'œuvre ainsi que le séquençage des opérations dans la globalité pluriannuelle des aménagements, ne permet pas toujours de satisfaire à cette recommandation. Dans ce cas, il faut à minima que le sous-traitant entreprise spécialisée en béton décoratif soit déclaré à l'offre par l'entreprise générale et accepté par la maîtrise d'œuvre.

6.5 MAÎTRISE DE L'ESTHÉTIQUE : DES SPÉCIFICATIONS DU CCTP POUR RATIONALISER LES EXIGENCES ESTHÉTIQUES ET LIMITER LES RISQUES

Les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre sont attirés par l'esthétique, mais le plus souvent sans la décrire précisément. Les normes par ailleurs ne décrivent pas l'esthétique. Dans les CCTP types, l'esthétique est rarement prise en compte alors que cette dimension est d'égale importance avec les qualités physiques et mécaniques requises pour répondre durablement à l'usage de l'ouvrage dans son environnement. Il convient de prendre en compte les considérations suivantes :

- Comme tous les matériaux, le béton évolue avec le temps. Il y a une différence entre le neuf et la patine de l'ancien. Pour tirer avantage de la patine du temps, le CCTP gagne à préconiser la protection du béton selon les recommandations du Tome 2 de la collection VECU. Une hiérarchie des finitions peut être établie à cet égard, en distinguant le courant, type béton désactivé, du haut de gamme, type béton bouchardé ou squamé, qui vieillissent particulièrement bien dès lors que l'entretien est effectif,
- Comme les matériaux naturels de construction, le béton décoratif peut présenter des variations qu'il convient de ne pas assimiler à des défauts et à cadrer les limites. ■



CHAPITRE 7

LE MÉMOIRE TECHNIQUE

7.1 LE MÉMOIRE TECHNIQUE, MAILLON DE LA CHAÎNE DE QUALITÉ

Bien comprendre et mettre en œuvre les préoccupations du maître d'ouvrage relayées par le maître d'œuvre, c'est aussi le rôle du mémoire technique qui doit idéalement répondre aux conditions résumées dans le paragraphe 7.2.

La liste des bonnes questions à se poser sur les fonctionnalités, l'usage et l'environnement du projet en sus de l'économique doit être élaborée. Un professionnel compétent peut à ce stade participer utilement au dialogue constructif entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre. ■

7.2 LE MÉMOIRE TECHNIQUE, ÉLÉMENT DE RÉPONSE DE L'ENTREPRISE

7.2.1 DE L'INTÉRÊT DU MÉMOIRE TECHNIQUE

Le mémoire technique est un document spécifique à un projet et préparé par l'entreprise à destination du maître d'œuvre dans le cadre de la réponse à l'appel d'offres. Il permet de vérifier que l'entreprise et au-delà toute la chaîne de production, de la conception à la réalisation, a bien compris le programme du maître d'ouvrage. Il ouvre, autant que de besoin, un dialogue constructif entre l'entreprise, le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage. Il permet de nourrir la réflexion sur la question du poids relatif entre,

d'une part, les qualités techniques, organisationnelles et environnementales et d'autre part l'aspect économique du projet. Il permet, enfin, de vérifier que l'entreprise a la compétence et le savoir-faire pour réaliser l'ouvrage.

7.2.2 QUEL CONTENU ET QUELLE FORME POUR EN VALORISER L'EFFICACITÉ ?

Sur la forme, idéalement le mémoire technique doit être un document synthétique court, d'une quinzaine de pages maximum.

Sur le fond, le document doit aborder d'une manière équilibrée les aspects organisationnels et les aspects techniques que l'entreprise propose d'appliquer.

Sur le plan organisationnel, le mémoire technique décrit :

- L'organisation que l'entreprise compte mettre en place pour mener à bien les travaux, dans les délais impartis (personnel, équipe, tâches, planning, organigramme, phasage, matériel et méthode, sécurité et protection des ouvrages etc.). Dans le cas d'une sous-traitance, l'entreprise doit indiquer le sous-traitant et s'engage à lui faire appliquer le schéma de l'organisation prévue,
- Les qualifications des personnes que l'entreprise compte affecter sur le chantier (CV des encadrants, identification du chef de chantier et des équipes d'application, etc.),
- La reconnaissance du site et souligne les contraintes particulières du projet que l'entreprise propose de prendre en compte par des propositions appropriées.

Sur le plan des références, le mémoire technique décrit :

- Les références des projets qui témoignent de l'expérience de l'entreprise et atteste de l'exécution des travaux par ses propres équipes,
- Les showrooms dont l'entreprise propose d'organiser les visites afin de valider ou confirmer le choix de la finition des bétons décoratifs,
- Les compositions des échantillons qu'elle a élaborés spécifiquement pour le projet et qu'elle a remis en appui



Digue en béton du Port Autonome de Marseille ©RCR Déco France

de la réponse à l'appel d'offre,

- Le cas échéant, les modalités d'exécution d'une vraie maquette de chantier de taille suffisante pour permettre la visualisation de toutes les composantes du chantier : calepinage, joints de différentes natures, traitement des émergences, délimitations et abords, interfaces avec les autres types de revêtements. Cette maquette de chantier doit être rémunérée.

Sur le plan technique, le mémoire technique décrit, sans prétendre à l'exhaustivité, les points essentiels suivants :

- La vérification du principe du calepinage des joints et des émergences assortie des remarques éventuelles,
- L'examen des principes de localisation et de traitement des joints de différentes natures et des émergences,
- La réception du fond de forme,
- La méthode qui tient compte de la complexité des phasages et de la combinaison de multiples matériaux et produits,
- La typologie des constituants et caractéristiques du béton,
- Le processus de définition et de commande du béton à la centrale de Béton Prêt à l'Emploi,
- Le mode de mise en œuvre (vibration du béton ou pas, produits de cure, outils et matériels spécifiques, geste de finition),
- L'entretien (suggestion pour la protection et l'entretien du béton). ■

CHAPITRE 8.

LA RÉCEPTION DES TRAVAUX ET DE L'OUVRAGE

8.1.	INTRODUCTION	P.88
8.2	LE RENDU ESTHÉTIQUE	P.89
8.3	LA RÉCEPTION EN LIEN AVEC LA DURABILITÉ DE L'OUVRAGE	P.89
8.4	LA RÉCEPTION DES PROPRIÉTÉS DE SURFACE	P.90
8.5	CAS PARTICULIERS DE RÉCEPTION	P.91
8.5.1	Les réceptions provisoires	P.91
8.5.2	Les Opérations Préalables à la Réception OPR	P.91
8.5.3	Les tendances actuelles et les voies de progrès	P.91
8.6	CONCLUSION	P.92
ANNEXES 8	Exemples de PV de réception	P.93





PARTIE 4

LA RÉCEPTION DES TRAVAUX ET DE L'OUVRAGE

CHAPITRE 8 : LA RÉCEPTION DES TRAVAUX ET DE L'OUVRAGE

Cette quatrième et dernière partie, consacrée à la réception d'un ouvrage, vient tout d'abord rappeler que cette étape finale n'est pas uniquement constituée d'un examen des travaux finis, mais qu'elle vient clore un processus continu de contrôles débuté dès la conception du projet. Les maîtres d'ouvrage y trouveront différentes clés d'appréciation du rendu esthétique, des qualités durable ou encore des propriétés de surface de l'ouvrage. ■



CHAPITRE 8

LA RÉCEPTION DES TRAVAUX ET DE L'OUVRAGE

8.1 INTRODUCTION

L'article 1792-6 du Code civil énonce que la réception est l'acte par lequel le maître d'ouvrage déclare accepter l'ouvrage avec ou sans réserves. C'est une décision prise unilatéralement par le maître d'ouvrage, qui apprécie si l'exécution des travaux est conforme aux stipulations du marché et aux règles de l'art.

La réception, ce n'est pas uniquement l'examen de l'ouvrage achevé, mais c'est un processus continu de contrôles à tous les stades du projet, de la conception jusqu'à la fin de l'exécution. En ce sens, la réception de l'ouvrage est la résultante des objectifs du maître d'ouvrage, de la démarche du maître d'œuvre et de la réponse de l'entreprise.

La réception doit donc comprendre 3 volets :

- Le rendu esthétique et sa conformité par rapport à l'attente du maître d'ouvrage, concrétisé par le référentiel retenu au stade de la dévolution du marché (maquette, showroom, échantillon d'exécution, planche de convenance).
- Le potentiel de durabilité de l'ouvrage qui nécessite d'anticiper la réception à tous les stades du projet, de la conception jusqu'à la fin de l'exécution (qualité de la plate-forme, respect de la typologie de la structure et des épaisseurs des couches, des classes mécaniques et d'expositions des bétons, conformité du calepinage et des éléments métalliques tels que les goujons, respect des dispositions constructives du CCTP et en particulier



Place Fareyroux, Salon-de-Provence ©RCR Déco France

autour des émergences, respect des règles de mise en œuvre, etc.).

- La réception des propriétés de surface relatives à l'adhérence, le confort, la propreté et éventuellement au bruit, à la photométrie et à la perméabilité, ainsi que le respect des caractéristiques géométriques du revêtement (profils en long et en travers, etc.).

À la fin de la réception, l'entreprise doit remettre au maître d'ouvrage le dossier de l'ouvrage exécuté DOE. ■

8.2 LE RENDU ESTHÉTIQUE

Le rendu esthétique d'un revêtement béton est conditionné par de nombreux facteurs :

La réception doit donc comprendre 3 volets :

- Le choix des constituants et de leurs proportions, facilement maîtrisables dès lors que le maître d'œuvre a bien vérifié la conformité des produits au cahier des charges.
- L'exécution du chantier, facilement maîtrisable également dès lors que l'on bénéficie de la présence du maître d'œuvre au moment du traitement de surface, pour s'assurer de la qualité d'exécution et notamment du respect des dosages, des bons gestes, et des bons matériels et outils. Les échanges avec les personnes qui travaillent sont autant d'éléments qui modèlent la perception du rendu final au vu des efforts et de la technicité déployée par l'entreprise.
- Les conditions climatiques lors de la mise en œuvre, plus difficilement maîtrisables et en particulier pour des chantiers segmentés ou qui se déroulent sur une longue période. En effet, l'aspect du béton dépend significativement de l'hygrométrie de l'air et de la nature de la protection utilisée pour la cure du béton frais. L'entreprise, en lien avec le maître d'œuvre, met en place les dispositions particulières pour atténuer l'effet des conditions climatiques sur l'aspect du béton (homogénéité de teinte, absence de défaut, etc.).

L'appréciation du rendu esthétique est par nature subjective et doit prendre en compte la difficulté pour certains projets de maîtriser les conditions climatiques. Toutefois, il faut pour les besoins de la réception comparer l'aspect final du revêtement avec le référentiel retenu au moment de la dévolution du marché ou du démarrage du chantier.

À l'issue de cette comparaison, le maître d'œuvre donne son avis au maître d'ouvrage, en tenant compte de tous

les facteurs (maîtrisables ou non) influençant la qualité finale de rendu de l'ouvrage. Pour ce faire, la présence de l'ensemble des acteurs (maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprise) est indispensable. ■

8.3 LA RÉCEPTION EN LIEN AVEC LA DURABILITÉ DE L'OUVRAGE

La durabilité de l'ouvrage est une exigence majeure du maître d'ouvrage, mais de par sa nature, ne peut pas être réceptionnée. Il faut donc l'appréhender durant tout le processus d'élaboration du projet de la conception jusqu'à la fin de l'exécution. Ce suivi est une des missions essentielles du maître d'œuvre qui en rend compte au moment de la réception formelle et qui se porte garant auprès du maître d'ouvrage de la qualité technique de l'ouvrage et de son aptitude à l'usage prévu.

Ce suivi tout le long de l'élaboration du projet consiste à vérifier la conformité au cahier des charges des matériaux, des produits, des règles de l'art de bonne exécution et des dispositions constructives qui constituent des points d'arrêt :

- La qualité de la plate-forme constitue une des clés du dimensionnement et, de ce fait, doit être réceptionnée avant le bétonnage. On vérifie en particulier le niveau de portance (essai à la plaque), l'homogénéité de la portance (à défaut, purge des zones de portance insuffisante), la propreté de la plate-forme, l'absence de déformations, le nivellement (cotes, profils), les dispositifs d'assainissement (drains, géotextiles etc.).
- Le respect de la typologie de la structure et des épaisseurs des couches concourent à la durabilité de l'ouvrage. Le maître d'œuvre mesure l'épaisseur des coffrages ou des bandes structurantes pour s'assurer de la bonne profondeur disponible pour la structure. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, il veille au respect des bonnes épaisseurs des couches de la structure projetée.
- La conformité au cahier des charges des bétons et des éléments métalliques concoure aussi à la durabilité de



l'ouvrage. Le maître d'œuvre vérifiera notamment :

- > Le couple classe mécanique du béton/épaisseur de la couche, qui doit être impérativement celui stipulé dans le CCTP. Sinon toute modification de la classe mécanique du béton entraînera une modification de l'épaisseur.
- > La classe d'exposition qui doit être conforme aux prescriptions du CCTP.
- > Le couple consistance du béton / moyen de mise en œuvre, qui doit être conforme aux bonnes pratiques, à savoir possibilité de mise en œuvre sans moyen de vibration pour un béton de slump de classe S3 (affaissement au cône d'Abrams : de 10 à 15 cm), et pour des aménagements non circulés ou à faible circulation.
- > La conformité des éléments métalliques (goujons, fers de liaison, treillis soudé, armatures etc.). Le maître d'œuvre vérifiera que ces produits sont conformes aux normes en vigueur et aux prescriptions du cahier des charges (dimensions, espacement, maille) et s'assurera de leur bon positionnement dans l'ouvrage.
- La conformité du plan de calepinage et du traitement des émergences. Le maître d'œuvre vérifiera la cohérence du calepinage par rapport aux règles de l'art et aux stipulations du cahier des charges (types de joints, espacements, forme des dalles, positionnement par rapport aux émergences etc.). Il portera aussi une grande attention aux dispositions constructives mises en place autour des émergences dans le but de contrôler le retrait du béton et d'éviter l'apparition de fissures par suite de la réduction de la section du béton. ■

8.4 LA RÉCEPTION DES PROPRIÉTÉS DE SURFACE

Les propriétés de surface de l'ouvrage sont aussi une exigence majeure du maître d'ouvrage, et de par leur nature, peuvent être réceptionnées. Mais, il faut aussi les appréhender durant tout le processus d'élaboration du projet de la conception jusqu'à la fin de l'exécution.

Pendant la réception, on vérifiera à l'aide des essais prévus dans le CCTP les propriétés suivantes :

- L'adhérence du revêtement (mesures de la micro-rugosité et de la macro-rugosité),
- L'uni de surface ainsi que la régularité du surfacage,
- La propreté du chantier (évacuation des matériaux et matériels) et nettoyage de tous les accès empruntés par l'entreprise,
- L'étanchéité des joints garnis ;
- La dimension maximale des gravillons D_{max} qui doit respecter les stipulations du cahier des charges pour la maîtrise du bruit de roulement, du confort à la marche et de la propreté ;
- L'uni du revêtement pour assurer confort et sécurité doit satisfaire aux prescriptions du cahier des charges. Il dépend de la qualité d'exécution (positionnement, réglage et fixation des coffrages) et de la qualité du support (uni et régularité).

Et éventuellement :

- Le bruit,
- La perméabilité du revêtement,
- Les propriétés photométriques (clarté, spécularité, effet Albédo).



Visite de chantier au collège Jules Verne à Rivery @Mineral Service

- La perméabilité du revêtement, propriété exigée dans le cas d'aménagements en béton drainant. Le maître d'œuvre vérifiera dans ce cas que le revêtement respecte les exigences d'écoulement et de drainabilité fixées par le cahier des charges.



Mesure de la drainabilité ou de la vitesse d'infiltration

- Les propriétés photométriques peuvent être exigées dans une démarche d'optimisation économique et environnementale en liaison avec l'éclairage et/ou la lutte contre les îlots de chaleur urbains. Ces propriétés peuvent être appréciées visuellement (clarté, texture, nature minéralogique des constituants du béton) ou à l'aide d'essais spécifiques (photo-goniomètre, essai colorimétrique et essai de réflectivité). ■

8.5 CAS PARTICULIERS DE RÉCEPTION

8.5.1 LES RÉCEPTIONS PROVISOIRES

La réception provisoire s'impose lorsque le projet de revêtement en béton s'intègre dans un projet plus vaste (programme immobilier, aménagement d'une ZAC, etc.).

Mais la mise en place de cette réception provisoire soulève quelques difficultés d'organisation et de gestion collective du processus et des risques.

Pour surmonter ces difficultés, il est nécessaire d'établir un dialogue responsable entre tous les acteurs afin d'assurer l'intégrité et la préservation du revêtement pendant cette période transitoire. Il serait équitable de ne pas engager sans discernement la responsabilité de l'entreprise si des dégradations apparaissent après mise à disposition de l'ouvrage au public.

8.5.2 LES OPÉRATIONS PRÉALABLES À LA RÉCEPTION OPR

Pour certaines grosses opérations, il est coutumier de réaliser des opérations préalables à la réception OPR dans le but d'identifier les non conformités et de permettre à l'entreprise de lever ces réserves avant la réception définitive.

Les OPR doivent être très proches de la réception, idéalement 1 mois avant.

Le maître d'ouvrage y participe, dans le prolongement de ses visites pendant la période du chantier (une à deux à minima). Il faut dans la mesure du possible éviter le sur-découpage des OPR lot par lot.

Lors de la réception définitive, le maître d'ouvrage ou d'œuvre ne doit pas ajouter sans discernement de réserves additionnelles non stipulées dans les OPR.

8.5.3 LES TENDANCES ACTUELLES ET LES VOIES DE PROGRÈS

À la croisée des référentiels matériels et immatériels précités,



œuvrer pour un contexte favorable à un bon déroulé de la réception passe aussi en amont selon les situations par une maîtrise des opérations intermédiaires comme les OPR et les réceptions provisoires. Les verrous à lever sont nombreux, à commencer par des lots trop nombreux dans les grandes opérations ou entre corps d'état, et les partenaires sont dans l'obligation de se concerter pour limiter les risques. Une vision et une proposition chiffrée sur la protection des bétons et l'entretien qui doit commencer dès la mise à disposition de l'ouvrage au public permet de sensibiliser les acteurs sur les bons usages pour éviter les déceptions ou les contre-performances.

À la réception, dans le cadre du dossier des ouvrages exécutés DOE, l'entreprise doit remettre a minima :

- Les plans de récolement avec le nivellement,
- L'implantation des réseaux,
- Les formulations des bétons pour pouvoir les retrouver et les refaire lors de la vie en œuvre de l'ouvrage.

Ce dossier gagne à être complété par une projection sur la protection et l'entretien de l'ouvrage, accompagnée d'une offre sur les deux premières années.

Le développement des méthodes de travail qui font appel massivement au numérique (BIM) est un atout pour préparer le futur. Des transitions sont toutefois nécessaires pour permettre aux PME spécialistes de s'exprimer sans dévier de leur mission de base, à savoir la bonne exécution des chantiers dont l'objectif premier de l'esthétique et de l'intégration ne se modélise pas. La formation ressentie comme très insuffisante aujourd'hui au niveau de l'offre, mérite une dissémination massive des connaissances, des bonnes pratiques et des ressources dans les écoles comme dans les milieux professionnels de la maîtrise d'ouvrage, de la maîtrise d'œuvre et de l'entreprise. ■

8.6 CONCLUSION

La Réception de l'ouvrage ne se limite pas aux seules constatations et mesures sur l'ouvrage achevé, mais elle se doit d'être omniprésente tout au long de la phase de préparation et d'exécution du chantier.

Les maîtres mots sont de créer des conditions favorables à une construction concertée du projet, de nourrir un dialogue permanent et de porter beaucoup d'attention aux référentiels matériels et immatériels qui permettent d'instaurer un esprit d'écoute, de confiance et de considération mutuelle en se jouant du cumul des talents de chacun et dans le respect de sa mission.

Les référentiels matériels sont les échantillons. Il faut veiller à ce qu'ils s'inscrivent dans une chaîne cohérente de qualité dont les mailles sont ceux de la remise des offres, de la préparation du chantier avec les différentes déclinaisons de fabrication, de conservation et de mise à disposition le jour de la réception (échantillons simples, mini show-room, maquettes de projet selon la taille du chantier, la multiplicité des revêtements et des émergences et l'enjeu esthétique).

Les référentiels immatériels sont les échanges et le dialogue bipartite et tripartite maître d'œuvre, maître d'ouvrage et entreprise aux différents stades d'avancement du projet et du chantier, afin de partager la démarche de choix des formulations, de calepinage ainsi que de modalités d'exécution et de mise en service dès l'amont des chantiers. La présence sur le chantier du maître d'œuvre est incontournable, de même que celle du maître d'ouvrage de manière régulière et dans les moments importants appelant à décision. ■

ANNEXE 8.3 CADRE DE PV DE LEVÉE DE RÉSERVES

DOCUMENTS EXEMPLES TÉLÉCHARGEABLES SUR NOTRE SITE
 (RUBRIQUE PUBLICATIONS) : www.specbea.com

F - Procès-verbal de levée des réserves.

J'ai soussigné, maître d'œuvre,
 (Reprendre ses noms et prénoms du maître d'œuvre et cocher le ou les cases correspondantes.)
 en présence du représentant du pouvoir adjudicateur ou de l'entité adjudicatrice, dûment avisé par moi
 en l'absence du représentant du pouvoir adjudicateur ou de l'entité adjudicatrice, dûment avisé par moi
 soigné ;
 en présence du titulaire du marché public ;
 en l'absence du titulaire du marché public ;
 après avoir procédé aux examens et vérifications nécessaires, constatés que :

(Cocher les cases correspondantes.)

- les épreuves, prévues au marché public :
 n'ont pas été effectuées ; ci-jointe ;
 ont été effectuées, à l'exception de celles indiquées à l'annexe n° ci-jointe ;
 et sont concluantes ;
- les travaux et prestations, ayant fait l'objet de réserves :
 ont été exécutés ; ci-jointe ;
 ont été exécutés, à l'exception de ceux indiqués à l'annexe n° ci-jointe ;
- les ouvrages :
 sont conformes aux spécifications du marché public, les imperfections et malfaçons constatés ayant été
 corrigés ; ci-jointe ;
 sont conformes aux spécifications du marché public, à l'exception des imperfections et malfaçons indi-
 qués à l'annexe n° ci-jointe, qui n'ont pas été corrigés ;
- les conditions de pose des équipements :
 sont conformes aux spécifications des fournisseurs ;
 ne sont pas conformes aux spécifications des fournisseurs ;
- les installations de chantier :
 ont été repliées ;
 n'ont pas été repliées ;
- les terrains et les lieux :
 ont été remis en état ;
 n'ont pas été remis en état.

Accordé le
 Signature
 (titulaire)

Dressé le
 Signature
 (maître d'œuvre)

J'atteste que le titulaire du marché public a refusé de signer le présent procès-verbal.

Dressé le
 Signature
 (maître d'œuvre)

Date de mise à jour : 25/02/2011.

MARCHÉS PUBLICS ET ACCORDS-CADRES
RECEPTION DES TRAVAUX
EXE8
PROCES-VERBAL DE LEVEE DES RESERVES

Le formulaire EXE8 est un modèle de procès-verbal, qui peut être utilisé par le maître d'œuvre, pour consigner les opérations de levée des réserves, énumérées par le maître de l'ouvrage dans sa décision de réception des travaux (formulaire EXE6).

A - Identification du pouvoir adjudicateur (ou de l'entité adjudicatrice).
 (Reprendre le contenu de la mention figurant dans les documents constitutifs du marché public.)

B - Identification du titulaire du marché public.
 (Indiquer le nom commercial et la dénomination sociale du titulaire individuel ou de chaque membre du groupement titulaire, les adresses de son établissement et de son siège social (si elle est différente de celle de l'établissement), son adresse électronique, ses numéros de téléphone et de télécopie et son numéro SIRET. En cas de groupement d'entreprises titulaires, indiquer le mandataire du groupement.)

C - Identification du maître d'œuvre.
 (Indiquer le nom commercial et la dénomination sociale du maître d'œuvre, les adresses de son établissement et de son siège social (si elle est différente de celle de l'établissement), son adresse électronique, ses numéros de téléphone et de télécopie et son numéro SIRET.)

D - Objet du marché public.
 (Reprendre le contenu de la mention figurant dans les documents constitutifs du marché public. En cas d'abandon, préciser également l'objet de la consultation. En cas d'accord-cadre, indiquer l'objet de ce dernier.)

E - Objet du procès-verbal de levée des réserves.
 La levée des réserves porte sur :
 (Cocher la case correspondante.)
 la réception de l'ouvrage comportant les prestations suivantes :
 la réception partielle de l'ouvrage relative aux prestations désignées ci-dessous :





COMITÉ DE RÉDACTION DU TOME 3

Document rédigé par Joseph Abdo et Jean-Pierre Christory avec des apports rédactionnels d'Armand Joly et d'Olivier de Poulpiquet.

Relu et enrichi par les membres du comité VECU avec l'assistance de Florence Pero (*Specbea*).

COMITÉ VECU :

Président : Olivier de Poulpiquet (*ex-Mineral Service*)

Animateur : Jean-Pierre Christory (*expert*)

- Joseph Abdo (*CIMbéton*),
- Benoît Baulande (*GCP*),
- Samuel Beard (*EFCAT*),
- Vincent Bodinet (*BMC Diffusion*),
- Fabrice Bonnin (*Sols*),
- Sylvain Boyon (*MCA-TP*),
- Christophe Chevalier (*Agilis*),
- Jean-Louis Ciceron (*MCA-TP*),
- Edwin Constans (*Socotras*),
- Marjorie Debonnaire (*Eurotechfloor*),
- Pascal Dupont (*B-TON Design*),
- Jean-Yves Gonidec (*TAE*),
- Armand Joly (*RCR déco France*),
- Jean-Pierre Marchand (*Route et Conseil*),
- Amandine Noailly (*SNBPE*),
- Philippe Pucel (*Moderne Méthode*),
- Etienne de Poulpiquet (*RCR déco France*),
- Charles-Edouard Saman (*MB Constructions*),
- Christophe Vaissier (*Moderne Méthode*).

REMERCIEMENTS :

Témoignage de Gérard Pelissier (*fondateur du groupe SOLS*).

G. Beurier (*AITF*), N. Bauduffe (*Bureau d'étude Ingetec*) et P.E. Lariviere (*Oikos*) pour les points de vues de maître d'ouvrage et maître d'œuvre.

CRÉDITS PHOTOS :

Agilis, Blastrac, AER, Eiffage Route, Eiffage Infrastructures, CIMbéton, CMR Exedra, SN Mineral Service, EFCAT, Sols, Grace Construction Products, MB Constructions, MCA, Migma, RCR Déco France, Fenêtre sur cour, Signature, Socotras, Specbea.

CRÉATION ET RÉALISATION :

Fenêtre sur cour (*fsc.paris*).

IMPRESSION : DK group

AVEC LE SOUTIEN DE



Après la publication des deux premiers tomes - « Finitions, gestes et techniques » et « Entretien et rénovation » -, « Les règles de l'art » vient clore une trilogie d'ouvrages consacrée aux bétons décoratifs et réalisée par les entreprises spécialistes des bétons d'aménagement et d'environnement adhérentes au Specbea. Tout en proposant un point exhaustif sur les matériaux, techniques et savoir-faire indispensables à la qualité et la pérennité des ouvrages, ce tome 3 vient préciser les rôles et responsabilités de la maîtrise d'œuvre comme de la maîtrise d'ouvrage.



PARTIE 1
LES OBJECTIFS DU
MAÎTRE D'OUVRAGE



PARTIE 2
LA DÉMARCHE DU
MAÎTRE D'OEUVRE



PARTIE 3
LA RÉPONSE DE
L'ENTREPRISE



PARTIE 4
LA RÉCEPTION
DE L'OUVRAGE

Following the publication of the first two volumes - "Finition, gestes et techniques" ("Finishing, gestures and techniques") and "Entretien et rénovation" ("Maintenance and renovation") -, "Les règles de l'art" ("The rules book") closes a trilogy of books dedicated to decorative concretes and realized by companies specializing in concrete development and environment being all adherent to Specbea. While offering an exhaustive review of materials, techniques and skills essential to the quality and the durability of the works, this third volume specifies the roles and responsibilities of the project management as of the contracting authority.



Specbea

**SPÉCIALISTE DE LA CHAUSSÉE
EN BÉTON ET DES AMÉNAGEMENTS**