

CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES EN BÉTON HYDRAULIQUE

GUIDE TECHNIQUE



**SERVICE TECHNIQUE
DES BASES
AÉRIENNES**

**Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées**



CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES EN BÉTON HYDRAULIQUE

Guide technique pour la construction
de chaussées aéronautiques neuves
en béton hydraulique

Document édité et diffusé par :



Le Laboratoire central des ponts et chaussées
58 boulevard Lefebvre
F-75732 PARIS CEDEX 15
Tél. 01 40 43 52 26 — Fax 01 40 43 54 95
<http://www.lcpc.fr>



Le Service technique des bases aériennes
31 avenue du Maréchal Leclerc et de sa Division
94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 01 49 56 80 00 — Fax 01 49 56 82 19

Ce document est dérivé du guide LCPC-SETRA *Chaussées en béton*, publié en mai 1997, auquel il emprunte de larges parties pour les aspects généraux tout en développant les aspects propres aux chaussées aéronautiques. Il a été préparé par un groupe de travail réunissant des représentants du réseau technique de l'Administration, de l'Industrie cimentière et du Syndicat professionnel des entrepreneurs de chaussées en béton et équipements annexes.

Le groupe de travail était constitué de :

MM. Joseph ABDO	CIMbéton
Ludovic BAROIN	Entreprise Gailledrat
Xavier BATUT	Compagnie moderne de routes grands travaux
Yves CHARONNAT	Laboratoire central des ponts et chaussées
Bernard DEPAUX	Service technique des bases aériennes
Pascal DUBO	Service technique des bases aériennes
Jacques GONNET	Entreprise Bouygues
Michel MASSIP	Laboratoire régional de l'ouest parisien
Paul MERRIEN	Service technique des bases aériennes
Christian TABAILLON	Entreprise TSS

Sommaire

Introduction

1 - Possibilités offertes par les solutions de chaussées en béton de ciment

1-1 Éventail des structures de chaussées en béton

1-1-1 Chaussées à dalles courtes non armées et non goudonnées (BC), dalles courtes dites « californiennes »

1-1-2 Chaussées à dalles courtes non armées et goudonnées (BCG)

1-1-3 Chaussées en béton armé continu (BAC)

1-1-4 Techniques en phase de développement

1-2 Caractéristiques fonctionnelles

1-2-1 Uni

1-2-2 Adhérence

1-3 Stratégie d'investissement et choix de solution

2 - Aspects économiques

2-1 Quelques aspects propres au béton

2-2 Étude économique du projet

2-3 Élargissement de l'analyse dans certains cas particuliers

3 - Construction de chaussées en béton - Éléments pour le projet

3-1 Le choix de la structure

3-2 Chaussées neuves

3-2-1 Caractéristiques géométriques

3-2-2 Le drainage des interfaces

3-2-3 Liaison entre bandes de béton

3-2-4 Joints transversaux d'extrémité

3-2-5 Croisement de deux chaussées

3-2-6 Bretelles d'accès et de sortie

3-3 Élargissement d'une chaussée en béton

3-4 Reconstruction partielle d'anciennes chaussées en béton (une partie des voies existantes)

3-4-1 Démolition des voies à reconstruire

3-5 Renforcement de chaussées par une structure en béton

3-6 Dispositions constructives propres aux chaussées en béton

3-6-1 Les joints de retrait

3-6-2 Les joints de construction

3-6-3 Les joints de dilatation

3-6-4 Les goudons

3-6-5 Armatures longitudinales du BAC

3-6-6 Liaison des joints longitudinaux de retrait

3-6-7 Réservations dans les dalles en béton

4 - Le matériau béton et les autres matériaux utilisés pour les chaussées en béton

4-1 Les constituants du béton

- 4-1-1 Les granulats
- 4-1-2 Les ciments
- 4-1-3 Éléments fins d'ajout
- 4-1-4 Eau
- 4-1-5 Adjuvants

4-2 Performances du béton

- 4-2-1 Résistance mécanique
- 4-2-2 Résistance au gel et aux fondants
- 4-2-3 Consistance du béton

4-3 Étude de formulation

4-4 Résistance à l'érosion des matériaux de fondation

4-5 Les éléments métalliques

- 4-5-1 Les goujons
- 4-5-2 Les armatures de béton armé continu

4-6 Les produits pour joints

4-7 Les produits de protection de surface

5 - Fabrication du béton

5-1 Approvisionnement et stockage des constituants

- 5-1-1 Aire de stockage et de fabrication
- 5-1-2 Granulats
- 5-1-3 Ciment et additions de matières sèches
- 5-1-4 Additions de matières humides
- 5-1-5 Eau
- 5-1-6 Adjuvants

5-2 Centrales de fabrication

5-3 Transport du béton

6 - Mise en œuvre du béton

6-1 Méthode de répandage

- 6-1-1 Guidage
- 6-1-2 Répandage
- 6-1-3 Influence des conditions météorologiques
- 6-1-4 Tenue des bords de dalle
- 6-1-5 Mise en place des goujons

6-2 Traitement de surface

6-2-1 Modes de traitement

6-2-2 Cure du béton frais

6-3 Joints des structures de chaussée en dalles

6-3-1 Joints de retrait

6-3-2 Joints de construction

6-3-3 Matériel de sciage du béton durci

6-3-4 Élargissement et chanfreinage des joints

6-3-5 Garnissage des joints

6-4 Cas du béton armé continu (BAC)

6-4-1 Pose des aciers

6-4-2 Joints transversaux de construction

7 - Démarche d'assurance de la qualité

7-1 Introduction

7-2 Organisation de la procédure d'assurance de la qualité

7-3 Contrôles avant travaux

7-4 Contrôles pendant travaux

7-5 Contrôles après travaux

Annexes

1 - Références bibliographiques

2 - Normes relatives aux chaussées en béton

3 - Étude de formulation du béton de ciment

4 - Détail de l'organisation du contrôle d'exécution

5 - Utilisation de constituants, produits, matériaux ou matériels ne bénéficiant pas de certification

6 - Béton de sable

7 - Béton de ciment poreux

8 - Emploi de liants hydrauliques routiers

INTRODUCTION

La Direction générale de l'aviation civile a entrepris en 1998 de réviser son Instruction technique pour les aérodromes civils (ITAC) composée de plusieurs volumes édités entre 1981 et 1983. Ce projet était motivé par le souci de prendre en compte les progrès techniques mais également d'adapter la réglementation au nouveau contexte international.

Le chapitre 6 de la nouvelle ITAC parue en 1999 est consacré aux chaussées aéronautiques et fournit les éléments essentiels pour concevoir, construire et entretenir les infrastructures horizontales en béton d'un aéroport. Toutefois, toutes les informations pratiques, notamment celles relatives aux phases chantier et aux contrôles de qualité ne pouvaient être intégrées à l'ITAC sans risque de masquer les concepts fondamentaux.

Ce guide a donc pour objet de préciser et compléter les éléments contenus dans les normes (NF P 98-170) et dans l'ITAC en tenant compte de l'évolution de la technique de construction. Il s'adresse au maître d'œuvre d'un projet comportant la construction de chaussées en béton et vise à faciliter la rédaction du cahier des charges, juger les propositions des entreprises et organiser le suivi et le contrôle des travaux.

Il éclairera également les entreprises par des rappels sur les règles de l'art et des indications sur les contrôles de qualité interne et externe.

Il doit être utilisé en complément des documents suivants :

- les normes en vigueur dont la liste figure en annexe,
- le fascicule 28 du Cahier des clauses techniques générales,
- l'instruction technique pour les aérodromes civils (ITAC),
- l'instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodromes,

Le guide est organisé en sept chapitres :

- 1 - Possibilités offertes par les solutions de chaussées en béton de ciment
- 2 - Aspects économiques.
- 3 - Construction de chaussées en béton ; Éléments pour le projet.
- 4 - Le matériau béton et les autres matériaux utilisés pour les chaussées en béton.
- 5 - Fabrication du béton.
- 6 - Mise en œuvre du béton.
- 7 - Démarche d'assurance de la qualité.

Le premier chapitre présente brièvement les différentes solutions techniques qu'offrent les chaussées en béton en fonction des objectifs de niveau de service recherchés.

Le second chapitre explicite la manière dont l'étude économique est à mener pour établir une comparaison entre solutions techniques.

Le chapitre 3, relatif au projet, décrit les dispositions constructives à respecter pour les divers cas de construction neuve, de renforcement et d'élargissement.

Le chapitre 4, consacré aux matériaux et constituants, indique et justifie les exigences à retenir.

Les chapitres 5 sur la fabrication et 6 sur la mise en œuvre rappellent un certain nombre de règles de l'art à respecter pour assurer la réussite du chantier.

Le chapitre 7, consacré à la démarche d'assurance de la qualité, fait un inventaire précis des tâches de contrôle aux divers stades du chantier, de la phase de préparation aux épreuves destinées à permettre la réception des travaux.

Plusieurs annexes complètent le document :

- la liste de l'ensemble des documents appelés en référence,
- la liste des normes, applicables depuis 1996, en relation avec les chaussées en béton de ciment,
- la présentation du contenu et de la démarche d'une étude de formulation de béton de ciment,
- un tableau détaillant l'organisation du contrôle d'exécution,
- un tableau sur l'utilisation de constituants, produits, matériaux ou matériels ne bénéficiant pas de certification,

ainsi que trois annexes consacrées à des matériaux dont l'expérience n'est aujourd'hui pas bien établie :

- le béton de sable,
- le béton de ciment poreux,
- les matériaux à base de liants hydrauliques routiers.

Ces trois matériaux peuvent être utilisés éventuellement en couche de fondation.

Chapitre 1

Possibilités offertes par les solutions de chaussées en béton de ciment



Marseille-Marignane : bétonnage d'une aire de stationnement

1-1 Éventail des solutions

Il est usuel de classer les chaussées en béton selon la façon dont sont localisées et éventuellement traitées les discontinuités associées aux retraits de prise et thermique du béton :

- les chaussées à dalles courtes non armées non goujonnées,
- les chaussées à dalles courtes non armées goujonnées,
- les chaussées en béton armé continu.

Le revêtement en béton de ciment repose sur une couche de fondation qui peut être :

- en béton maigre,
- en grave traitée aux liants hydrauliques avec éventuellement interposition de béton poreux,
- l'ancienne chaussée en enrobés ou en béton (préalablement fracturée si celle-ci est en béton) dans le cas d'un renforcement.

Ce chapitre présente brièvement le principe de ces différentes solutions et leur domaine d'emploi. (Ne seront pas évoquées celles qui ne sont pas ou plus réalisées en France comme les dalles longues armées et les dalles précontraintes).

1-1-1 Chaussées à dalles courtes non armées et non goujonnées (BC)

Solutions à dalles courtes dites « californiennes »

Les structures de chaussée constituées de dalles courtes à joints transversaux (au départ moulés puis sciés) correspondent à la technique la plus ancienne. En France, la première réalisation de chaussée en béton, dérivée de la conception allemande, remonte à 1938 ; la couche de fondation était alors réduite à une mince épaisseur de sable. Ce n'est qu'à partir de 1958 que la technique des chaussées en béton prendra son essor en France, à partir des techniques mécanisées de fabrication et de mise en

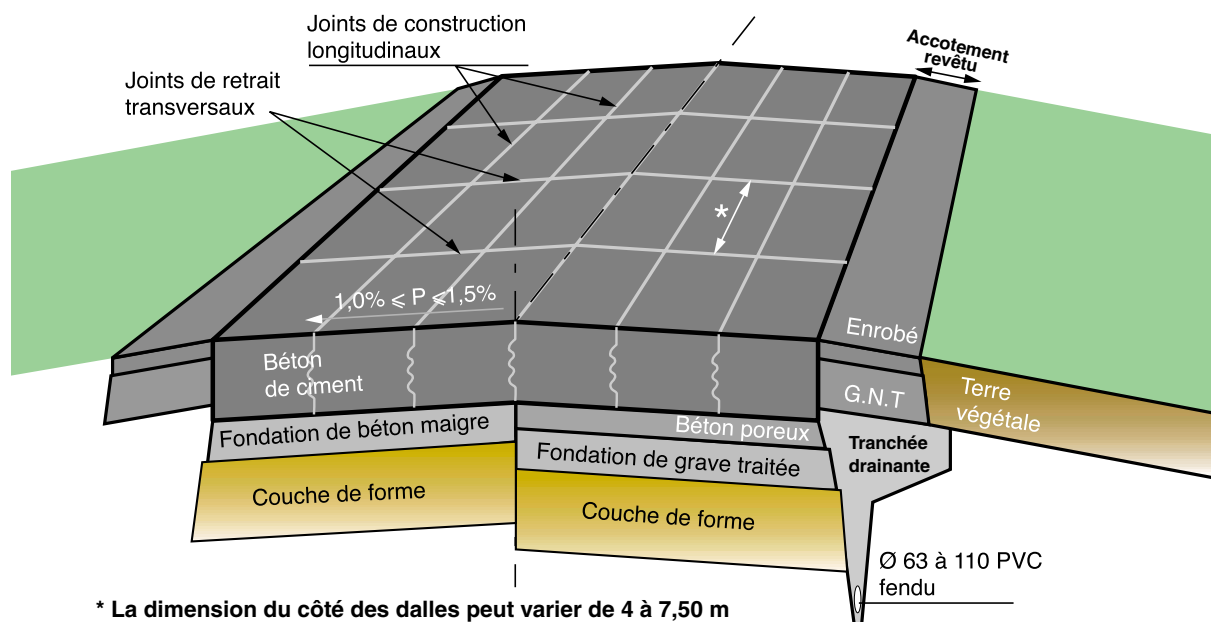


Figure 1.1 - Dalles courtes : schéma type

œuvre développées en Californie. À cette époque, plusieurs chaussées aéronautiques militaires ont été réalisées en béton en conservant une fondation en grave naturelle séparée de la dalle par une couche de sable de 2 cm environ. C'est le cas, en particulier des bases OTAN qui sont encore aujourd'hui en service pour la plupart.

Afin de localiser la fissuration de retrait du revêtement en béton, les joints délimitant les dalles sont sciés dans le béton au jeune âge avec un espacement variant de 4 à 7,5 m pour limiter l'amplitude de l'ouverture des fissures (figure 1.1). Les joints transversaux sont perpendiculaires à l'axe de la chaussée.

Pour les structures construites depuis une vingtaine d'années, afin d'éviter le phénomène de pompage, la fondation est réalisée avec un matériau formulé pour ne pas être érodable (béton maigre ou association grave ciment + béton poreux).

Conçues et réalisées selon les règles de l'art, ces structures peuvent supporter des trafics d'avions lourds et sont essentiellement utilisées sur les aérodromes militaires.

À titre indicatif, l'épaisseur des fondations en béton maigre varie de 15 à 20 cm et l'épaisseur des dalles de revêtement en béton de ciment de 25 à 40 cm.

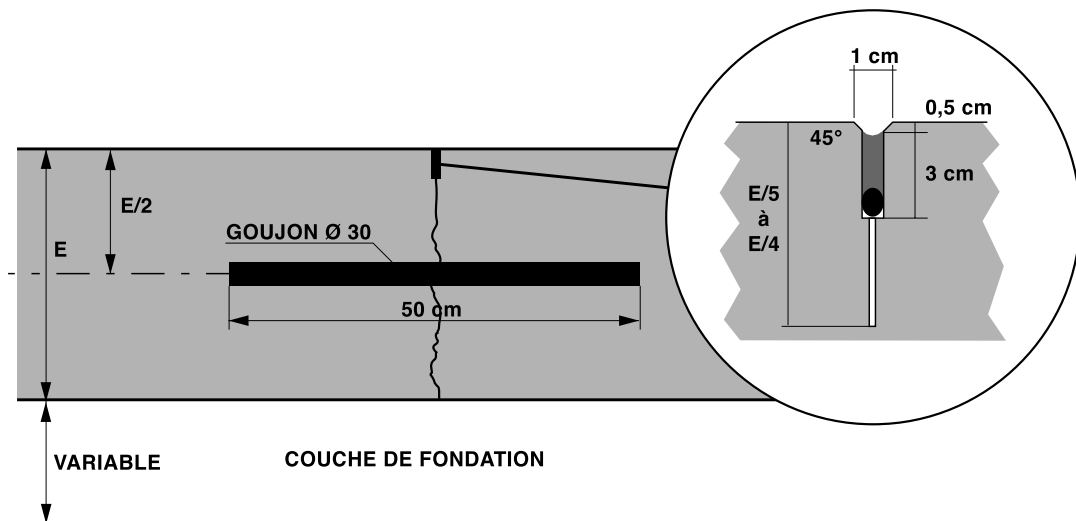


Figure 1.2 - Dalles goujonnées : coupe longitudinale au niveau d'un joint de retrait

1-1-2 Chaussées à dalles courtes non armées et goujonnées (BCG)

Afin d'améliorer le comportement des joints transversaux et le transfert de l'effort tranchant entre dalles, des goujons sont disposés à mi-épaisseur de la dalle au droit de chaque joint (figure 1.2).

Les goujons sont des barres d'acier lisses dont les caractéristiques sont précisées au chapitre 4.5, enduites sur au moins la moitié de leur longueur d'un produit évitant l'adhérence au béton pour permettre les mouvements longitudinaux des dalles ; les goujons sont espacés de 30 cm environ.

Cette technique, bien adaptée aux trafics d'avions lourds est utilisée sur les aires aéronautiques civiles.

À titre indicatif, l'épaisseur des fondations en béton maigre varie de 15 à 20 cm et celle des dalles de béton de ciment goujonnées de 25 à 40 cm.



Photo 1 - Aéroport de Lorient-Lann Bihoué : reconstruction de la piste en B.A.C.

1-1-3 Chaussées en béton armé continu (BAC)

Si les joints sciés permettent d'éviter une fissuration aléatoire de retrait, ils restent des points faibles de la structure et une sujétion pour l'entretien. Pour éliminer la présence de joints, une solution est d'employer des armatures métalliques longitudinales disposées en fibre neutre de la dalle (photo 1).

Celles-ci répartissent alors par adhérence, avec des fissures nombreuses mais fines, les déformations dues au retrait du béton. Ces armatures longitudinales en aciers ronds représentent une section de 0,67 % de la section du béton.

Inventée aux Etats-Unis, très utilisée dans le domaine routier en Belgique à partir de 1970, cette technique a été retenue pour le rechargement de la piste de l'aéroport de Lorient en 1989 qui reste actuellement le seul chantier aéroportuaire en Europe.

Le béton armé continu s'avère bien adapté aux chaussées à trafic lourd (pour lesquelles les contraintes d'exploitation sont importantes), en construction neuve et en renforcement.

1-1-4 Techniques en phase de développement

Ces dernières années, de nouvelles techniques à base de ciment sont apparues et sont à des stades d'expérimentation plus ou moins avancés.

Parmi celles-ci, le béton de sable s'est développé dans le cadre du projet national Sablocrête. Le béton de sable (cf. Annexe 6) est un micro-béton formulé à partir d'un sable naturel abondant ou d'un sable concassé excédentaire de certains types de carrières. En France, actuellement, l'optimum économique semble être obtenu avec un béton de sable de catégorie 2 ou 3 (selon la norme NF P 98-170). En chaussées aéronautiques, cette technique est à réserver éventuellement au titre du béton de fondation.

1-2 Caractéristiques fonctionnelles

Les différentes familles de structures et d'état de surface du béton de roulement permettent de dégager une solution adaptée à chaque niveau d'exigences.

1-2-1 Uni

Le module élevé du matériau béton et la constance de cette caractéristique avec la température permettent de s'affranchir des problèmes d'orniérage ou de déformation sous trafic.

Les techniques mises en œuvre avec les machines à coffrage glissant permettent d'obtenir des résultats en matière d'uni conformes aux exigences de l'Instruction Technique pour les Aéroports Civils. Ces dispositions sont également applicables aux aéroports militaires. La qualité de l'uni de la couche de roulement est essentiellement liée à la qualité de la mise en œuvre et relativement indépendante de l'uni de la couche support.

La cause d'évolution de l'uni longitudinal pour les structures à dalles est l'érosion du support qui peut conduire à un décalage des dalles (« mise en escalier »). Pour réduire ce risque, il est essentiel de concevoir ces structures avec une fondation en matériaux non érodables et d'assurer l'entretien régulier des joints afin d'empêcher les infiltrations d'eau.

1-2-2 Adhérence

L'adhérence est fonction à la fois de la macrotexture et de la microtexture de la surface de roulement.

Le mode de serrage et de mise en forme du revêtement en béton conduit à une surface brute de finition (derrière la lisseuse et après passage de la toile de jute) à très faible macrotexture : hauteur au sable vraie ne dépassant pas 0,5 mm, ce qui peut être jugé insuffisant. La texture et son évolution dans le temps dépendent de la résistance du mortier à travers la friabilité du sable et de la résistance au polissage des granulats (qualifiée par le coefficient de polissage accéléré, CPA) lorsque par usure du mortier les gravillons deviennent saillants.

La macrotexture est essentielle à l'obtention d'un niveau d'adhérence suffisant à vitesse élevée. Cette macrotexture peut être obtenue par des opérations mécaniques de striage ou de rainurage dans respectivement le béton frais ou durci. Sur une piste, ces opérations pourront être limitées aux zones de toucher des roues des avions.

Striage

Lorsque les exigences en terme de texture sont comprises entre 1 et 1,5 mm en hauteur au sable, on réalise un striage à l'aide de peignes ou de balais sur le béton frais. Dans ce cas, c'est le sable du mortier qui assure la microrugosité et son maintien ; il doit présenter des caractéristiques anti-usure que l'on apprécie par l'essai de friabilité. La macrotexture se réduit aussi par usure. Ce traitement de surface est donc à réserver aux faibles trafics ce qui est le cas général des chaussées aéronautiques (10 mouvements/j pendant 10 ans pour l'avion de référence).

Rainurage

Le rainurage est une autre solution pour produire une bonne macrotexture de surface. Réalisé transversalement, le rainurage peut être employé sur les aéroports à trafic lourd.

1-3 Stratégie d'investissement et choix de solution

Le choix de la structure de chaussée doit être le résultat d'une analyse technico économique dans laquelle interviennent les objectifs de niveau de service retenus pour la chaussée ainsi que la stratégie d'investissement et d'entretien du maître d'ouvrage. Des indications générales sur ce sujet peuvent être trouvées dans le Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Les aspects proprement économiques pour les chaussées en béton sont abordés dans le chapitre 2.

Le propos du présent chapitre se limite à la présentation d'éléments techniques spécifiques des chaussées en béton : principes de fonctionnement des structures et causes possibles de leur évolution.

Du fait du module d'élasticité élevé du béton de ciment, les contraintes verticales engendrées par le trafic et transmises au support de la dalle sont faibles en section courante. En revanche, la présence des discontinuités que sont les joints et fissures et la circulation des charges en bord de dalle majorent localement de façon importante les sollicitations dans la dalle et dans la fondation. C'est donc en général à partir de ces discontinuités que se développe l'endommagement des structures de chaussée en béton. L'effet du trafic est considérablement aggravé par celui des infiltrations et du séjour de l'eau (qui favorisent l'érosion du support) et celui des gradients thermiques (qui modifient par cambrure les conditions d'appui des dalles). Lorsque la chaussée n'est pas conçue et réalisée convenablement, l'évolution est alors marquée par un battement des dalles suivi de décalages et de fractures.

C'est pour prévenir ces effets qu'ont été introduites les dispositions suivantes qu'il est important de respecter :

- une fondation non érodable,
- un système de transfert de charge entre dalles.

Comme l'accroissement des contraintes transversales sous trafic au voisinage des discontinuités est d'autant plus important que le transfert de charges est faible, pour les trafics lourds, on aura avantage à assurer ce transfert d'effort tranchant soit par l'utilisation de goudjous, soit par la suppression des joints transversaux avec le béton armé continu dont la finesse des fissures confère une quasi continuité à la structure.

Du point de vue du comportement en fatigue, la pente de la courbe de fatigue étant faible ($b = -1/16$) une faible variation d'épaisseur se traduit par une variation importante de la durée de service de la dalle de béton de ciment. C'est cet aspect particulier, conjugué à la résistance élevée en traction que l'on peut obtenir (3 à 4 fois celle d'une grave-ciment usuelle) qui font des structures de chaussée en béton des solutions particulièrement adaptées à une durée de service longue sans entretien structurel. Les structures sont conçues pour une durée initiale de 10 ans mais des durées plus longues sont envisageables moyennant le respect des règles de conception et le maintien en état correct de l'étanchéité des joints.

Dans le cas des travaux de réhabilitation, la question du délai de remise en circulation est souvent un paramètre à prendre en considération et les conditions de remise en circulation sont également importantes pour l'organisation du chantier. Il est toujours possible de trouver une solution correspondant aux contraintes propres à chaque chantier par un choix adapté du béton. Toutefois les méthodes de travail restent à développer pour permettre des réparations ponctuelles en une nuit (remplacement de 1 ou 2 dalles par du béton à l'identique).

Chapitre 2

Aspects économiques



Aéroport de Paris-Charles de Gaulle : construction d'une aire de stationnement

Le choix de la structure de chaussée doit d'abord résulter de la prise en considération des contraintes techniques, mais il doit aussi prendre en compte les contraintes économiques imposées au projet ou attachées au choix même de la structure.

Ces contraintes vont concerner :

- les dépenses consenties pour la construction de l'infrastructure,
- les budgets d'entretien ultérieur,
- les répercussions économiques que pourront avoir ces opérations d'entretien sur la qualité de service de l'infrastructure.

Pour les chaussées du réseau des routes nationales, la circulaire 89-46 du 8 août 1989 du Ministère de l'Équipement, « Mise en concurrence des techniques de construction et de renforcement des chaussées », définit les modalités de cette mise en concurrence et les scénarios d'entretien type sur la base desquels doit être opérée la comparaison économique des solutions.

Cette circulaire n'est pas applicable aux chaussées aéronautiques mais la nécessité de réduire au maximum les interventions sur les pistes doit conduire systématiquement à prendre en compte l'entretien dans le choix de la solution notamment pour les aérodromes de classe E ou F et éventuellement D.

2-1 Quelques aspects propres au béton

Certains aspects permettent, s'ils sont convenablement pris en compte au moment du projet, de réduire le coût de construction.

C'est ainsi que la technique du béton ouvre la possibilité d'utiliser des granulats locaux (calcaires notamment) inadaptés aux matériaux bitumineux et de réaliser ainsi des économies en coûts de fournitures et de transport.

Pour réduire l'impact des coûts d'amenée, d'installation et de repli des matériels de fabrication et de mise en œuvre du béton, il peut s'avérer intéressant de faire produire par le même atelier :

- le béton maigre pour la fondation,
- le béton du revêtement,
- le béton extrudé des équipements annexes d'assainissement (caniveau à fente par exemple).

Ceci suppose cependant que les délais d'exécution permettent de réaliser successivement les différentes parties de l'ouvrage. Dans le cas contraire, d'autres solutions sont à étudier en alternative comme par exemple la réalisation de la fondation en grave traitée aux liants hydrauliques non érodable.

2-2 Étude économique du projet

La comparaison entre solutions est faite sur le coût global construction et entretien. Ceci fait intervenir :

- le coût de la construction,
- une durée de service sur laquelle on comptabilise les dépenses d'entretien,
- un scénario d'entretien et de renforcement fonction du trafic prévu sur cette durée,
- une règle financière d'actualisation pour une évaluation des dépenses ramenées à la date de la construction.

Si l'étude économique est faite par le maître d'œuvre dès l'avant-projet, l'analyse doit s'attacher pour les différentes structures à optimiser l'ensemble terrassement - couche de forme - chaussée.

Les scénarios d'entretien applicables aux chaussées aéronautiques ont été définis sur la base d'observations à partir du bilan de comportement d'un certain nombre d'aires aéronautiques. Ces scénarios s'inscrivent dans une logique d'entretien pour des structures conçues pour un faible risque d'endommagement à l'issue de la durée de projet. Ceci explique pourquoi avec les structures en béton, aucun apport structurel n'est prévu avant 30 ans dans les scénarios types. Toutefois l'évaluation d'un trafic aéroportuaire est difficile à appréhender au-delà de 10 ans.

Dalles courtes à joints non goujonnés :	réfection des joints tous les 5 ans,
Dalles courtes à joints goujonnés :	réfection des joints tous les 8 ans,
Béton armé continu :	réfection des joints longitudinaux tous les 8 ans,
Tous types de chaussées :	renforcement ou reconstruction à partir de 30 ans

Ces périodes sont données à titre indicatif et dépendent de la qualité des produits et de la mise en œuvre. Le renforcement peut être en structure souple ou rigide.

À signaler qu'en fin de durée de vie, la valeur résiduelle de la chaussée en béton n'est pas nulle. La dalle de béton fragmentée est prise en compte comme couche de fondation pour constituer une nouvelle chaussée.

La règle financière d'actualisation correspond au choix d'un taux d'actualisation qui est fixé par le plan quinquennal en cours (8 % en 1995). Dans l'estimation du coût global construction et entretien, la dépense d'entretien faite à l'année n est valorisée pour un montant :

$$D_n C_{an}, \text{ avec } C_{an} = \frac{I}{(1 + a)^n}$$

Les situations pour lesquelles le taux d'actualisation est faible pénalisent les structures ne nécessitant que des dépenses d'entretien tardives, ce qui est le cas des structures de chaussée en béton.

Dans l'analyse comparative, les coûts à prendre en compte doivent intégrer à la fois les dépenses d'entretien de chaussée et celles connexes de signalisation, des travaux annexes sur dépendances et de surveillance des chantiers.

Le coût des divers types de dépenses est à choisir en fonction des données locales récentes pour des contextes semblables de chantier d'entretien ou de renforcement, mais hors conjoncture exceptionnelle.

Un exemple de calcul de coût actualisé est présenté ci-dessous.

Hypothèses

- piste de 45 m de large,
- structure de chaussée en béton goudonné,
- avion de référence : B747-200,
- trafic : 10 mvts/jour,
- Module de réaction du sol :
K = 30 MN/m³,
- taux d'actualisation : 8 %

Coûts au m²

- coût de construction de la chaussée ramené au m² : 700 F,
- réfection des joints : resciage, nettoyage et regarnissage : 20 F le m²,
- renforcement par une nouvelle dalle en béton goudonné (y compris travaux annexes) : 350 F le m²

Pour cet exemple, le coût de l'entretien hors renforcement au bout de 30 ans représente 2,6 % du coût actualisé total ; le renforcement représente 4,6 %.

Année	Travaux	Coût année 0 (F)	Coefficient d'actualisation	Coût actualisé (F)
0	construction	700	1	700
8 ans	joints	20	0,54	10,8
16 ans	joints	20	0,29	5,8
24 ans	joints	20	0,16	3,2
30 ans	30 cm BCG	350	0,1	35
Total				754,8

2-3 Élargissement de l'analyse dans certains cas particuliers

L'analyse précédente ne prend pas en considération les répercussions économiques que peuvent avoir les opérations d'entretien sur le service offert par l'infrastructure. Dans certains cas, la valorisation monétaire de ces perturbations peut atteindre un niveau très supérieur à celui des coûts directs et il devient alors logique de prendre aussi en considération ces répercussions dans la comparaison des solutions. Ceci est particulièrement vrai pour les pistes d'aérodromes supportant un trafic important et pour lesquelles l'entretien de nuit est systématique.

Chapitre 3

Construction de chaussées en béton

Éléments pour le projet



Aérodrome de Lorient-Lann Bihoué : vue générale du chantier

Après un examen de l'influence des conditions climatiques locales sur le choix et la définition de la structure, les dispositions constructives utiles à la définition du projet de chaussée en béton sont abordées pour les différentes situations suivantes :

- construction neuve,
- élargissement de chaussée,
- reconstruction totale (toute la largeur) ou partielle (une partie des voies existantes) d'anciennes chaussées,
- renforcement.

Pour le dimensionnement de la structure, on se reportera à l'instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodromes.

3-1 Le choix de la structure

En raison de l'influence essentielle sur le comportement à long terme de l'eau s'infiltrant dans le corps des chaussées en béton, la couche de fondation devra être constituée soit de matériaux non érodables (béton maigre) soit d'une grave traitée surmontée d'une couche de béton poreux.

Dans le cas du renforcement d'une ancienne chaussée en béton, l'ancienne couche de surface sera considérée comme fondation de classe I du point de vue de l'érodabilité.

	Type de chaussée		
	BAC	BCG	BC
Couche de roulement			
Fondation	I ou II	I ou II	I

I, II : Classe de résistance à l'érosion du matériau de fondation (érodabilité croissante).

Classe I : béton maigre, classe II : grave-ciment enrichie (4,5 % de ciment)

Tableau 3.1 - classe minimale de résistance à l'érosion des matériaux de fondation à retenir pour le contexte français

3-2 Chaussées neuves

3-2-1 Caractéristiques géométriques

Tracé en plan et profil en long

Les types de structures et les modes de mise en œuvre du béton sont compatibles avec les divers types de tracés car :

- en plan les chaussées sont considérées comme rectilignes,
- en profil en long : les pentes sont faibles (inférieures ou égales à 2 %),
les rayons de courbure appliqués sont élevés (supérieurs à 2 500 m).

Profil en travers

La couche de béton maigre ou de béton poreux aura une surlargeur de 10 cm de chaque côté de la couche de roulement (figures 3.1a et 3.1b)

Les constructeurs proposent des machines qui peuvent mettre en œuvre des largeurs de béton de 3 à 15 m. Pour le passage des machines, une largeur d'environ 1 m doit être réservée de chaque côté de la bande de béton à couler (figure 3.2). Si l'espace libre est plus restreint le CCTP devra mentionner cette contrainte particulière.

Il est généralement possible de s'adapter à une largeur comprise entre 0,7 m et 1 m et, dans des conditions très particulières, de limiter la largeur du chemin de roulement à moins de 50 cm mais des adaptations des machines à coffrage glissant sont alors nécessaires.

La qualité (portance et planéité) de ces bandes de roulement facilitera l'obtention d'un bon uni de la couche mise en place.

3-2-2 Le drainage des interfaces

Il est nécessaire d'assurer le drainage de l'interface couche de roulement-couche de fondation lorsque cette dernière est composée d'un matériau de classe II d'érodabilité. Pour cela on mettra en place une couche de béton poreux de 10 cm d'épaisseur sous la couche de roulement ainsi qu'un système d'évacuation approprié, qui sera raccordé au réseau d'évacuation des eaux pluviales de la plate-forme.

3-2-3 Liaison entre bandes de béton

Le goudonnage des dalles de béton permet l'amélioration du transfert de charge ainsi qu'une diminution de leur épaisseur.

En travaux neufs, ces dispositions concernent les bétonnages en plusieurs bandes pour lesquels seront utilisés uniquement des goudjons.

Leur espacement sera adapté à l'aire considérée :

- 30 à 100 cm pour les joints longitudinaux et 30 cm pour les joints transversaux de la piste ou des voies de circulation,
- 30 à 40 cm pour les joints longitudinaux et transversaux des aires de stationnement gros porteurs pour tenir compte des efforts engendrés au moment des virages ou demi-tours ainsi que ceux créés par les apparoaux.

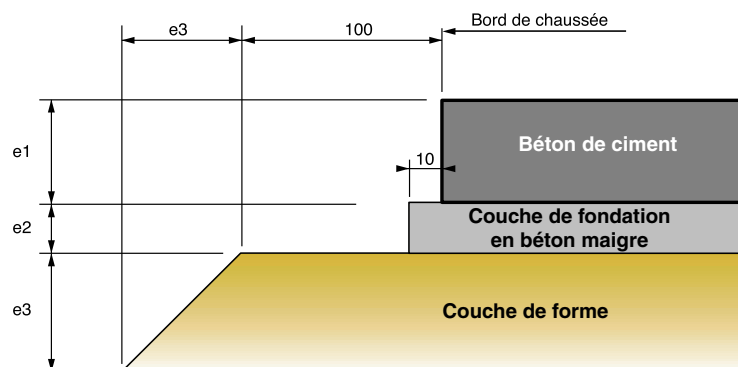


Figure 3.1a Surlargeurs des différentes couches de chaussées (béton maigre)

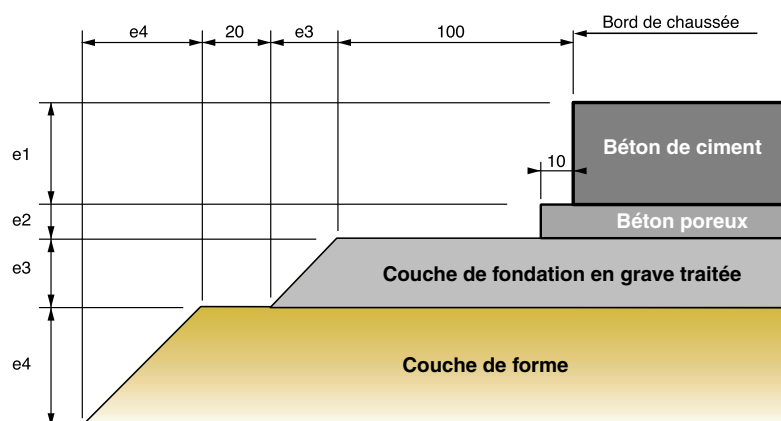


Figure 3.1b Surlargeurs des différentes couches de chaussées (béton poreux)

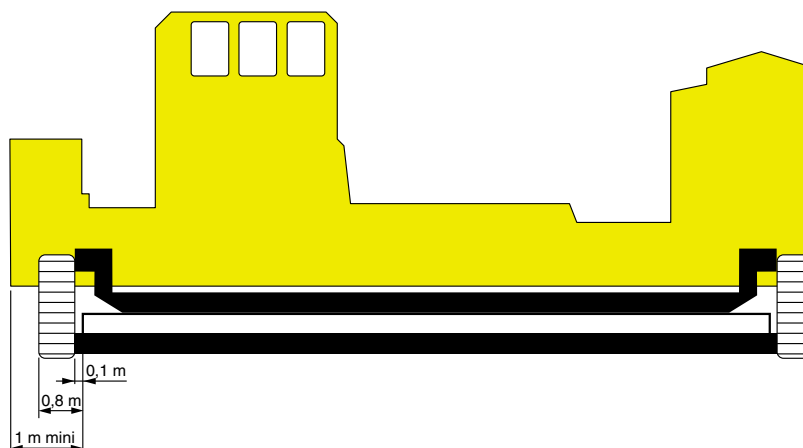


Figure 3.2 - dégagements nécessaires pour le passage de la machine à coffrage glissant

En cas d'élargissement d'une aire de mouvement les dispositions à prendre en compte seront les mêmes que celles énoncées précédemment.

3-2-4 Joints transversaux d'extrémité

Cas entre une chaussée en béton et une chaussée souple

Entre une chaussée en béton en dalles californiennes ou à dalles goujonnées et une structure en enrobés, il faut prévoir une dalle de transition sur une longueur comprise entre 1,3 et 2 m. Un joint de dilatation transversal et goujonné sera réalisé entre la dernière dalle et la dalle de transition (figure 3.3a).

La conception de la dalle de transition devra être telle que sa section diminue régulièrement et qu'elle soit recouverte entièrement de matériau hydrocarboné. On évitera donc sous peine de fissuration prématurée une réalisation du type de celle représentée par la figure 3.3b.

Entre une chaussée en béton armé continu et une chaussée en enrobés, il faut prévoir un joint de dilatation.

L'extrémité du BAC qui devient un bord libre doit être renforcée, de préférence par une surépaisseur correspondant au dimensionnement d'une structure à joints non goujonnés si la structure adjacente le permet, sinon en réalisant les quelques derniers mètres avec un béton plus résistant (au moins 20 % de plus que le béton courant). Les figures 3.3c et 3.3d présentent les dispositions de détail correspondant aux cas où la chaussée bitumineuse est à construire ou préexiste. Le joint de dilatation de 60 mm sera placé à une distance de l'enrobé au plus égale à 25 fois l'épaisseur de la couche de roulement en béton.

Cas de deux chaussées en béton

Entre deux sections de structures semblables (allongement d'une piste par exemple), on assurera la continuité de la chaussée :

- par mise en place de goujons entre les deux sections en dalles et réalisation d'un joint de dilatation,
- par clavage avec continuité des armatures longitudinales entre deux sections de BAC.

Entre des chaussées en béton de dalles et en béton armé continu, il faut prévoir un joint de dilatation permettant un souffle de 60 mm au moins (figure 3.3e). L'extrémité du BAC est à traiter en la renforçant comme indiqué dans le cas d'une chaussée en BAC et une chaussée en enrobés existante.

3-2-5 Croisement de deux chaussées

Cas de deux chaussées en béton

En raison des dilatations thermiques, il faut répartir sur une certaine longueur les poussées latérales de la chaussée qui débouche sur l'autre en prévoyant un joint de dilatation entre les deux chaussées.

Les dalles situées sur les bords de bretelles de raccordement devront être réalisées de manière à éviter les angles aigus ou rentrants (figures 3.4a et 3.4b).

Il faut que l'épaisseur du bord libre de la chaussée nouvelle soit compatible avec le trafic. Il faut donc renforcer par une surépaisseur, ou par une augmentation locale de la résistance du béton, ou encore en goujonnant le joint entre les deux chaussées.

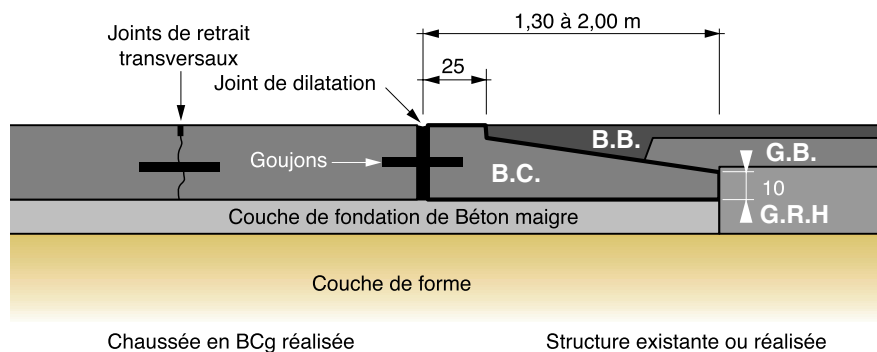


Figure 3.3a - dalle de transition : réalisation conseillée

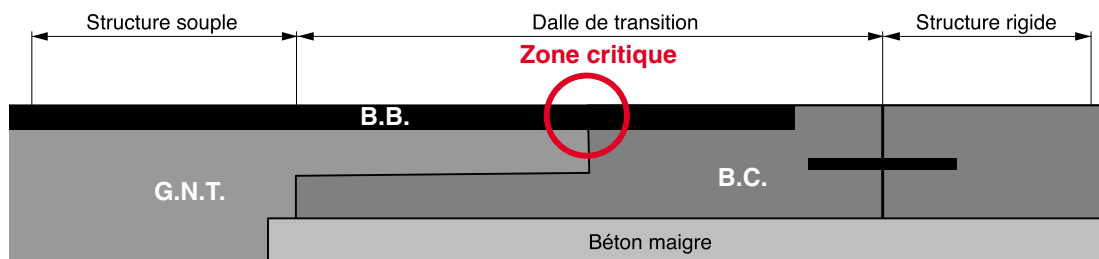


Figure 3.3b - dalle de transition : réalisation à proscrire

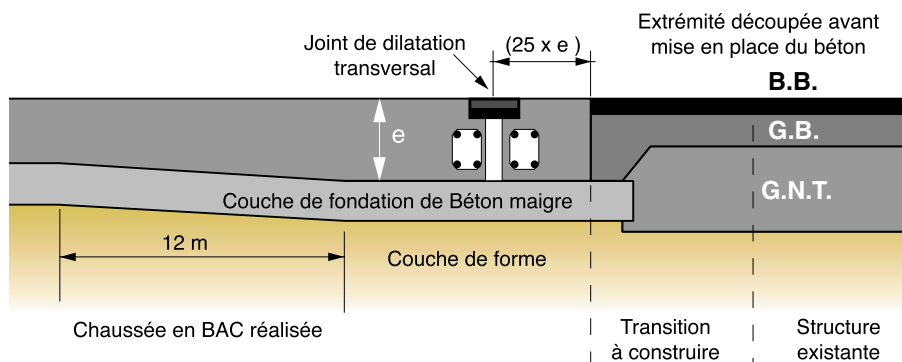


Figure 3.3c - chaussée BAC et chaussée souple à réaliser

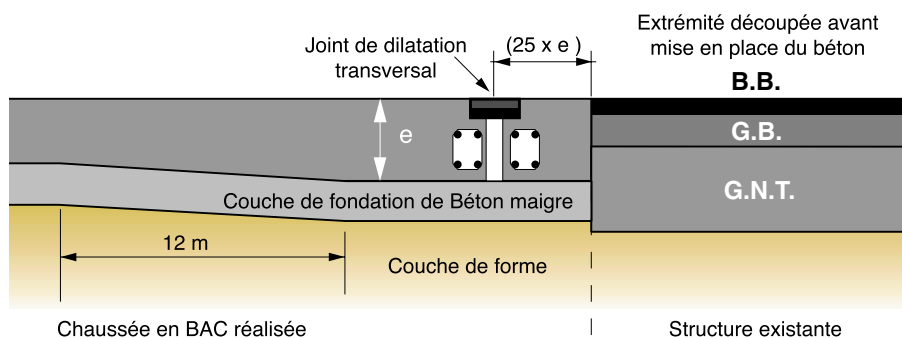


Figure 3.3d - chaussée BAC et chaussée souple existante

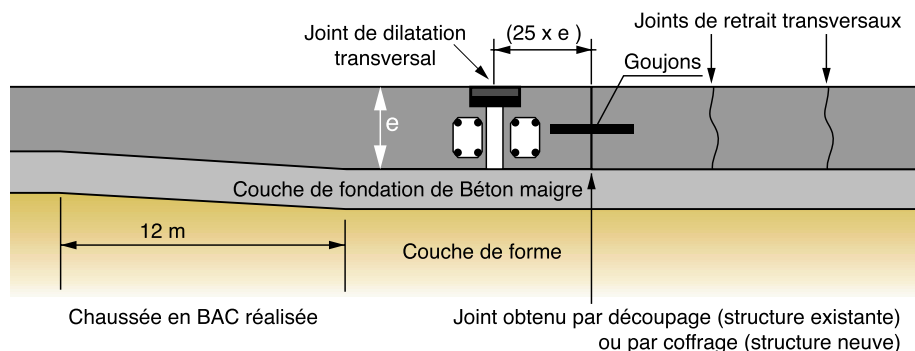


Figure 3.3e - chaussée BAC et chaussée rigide classique

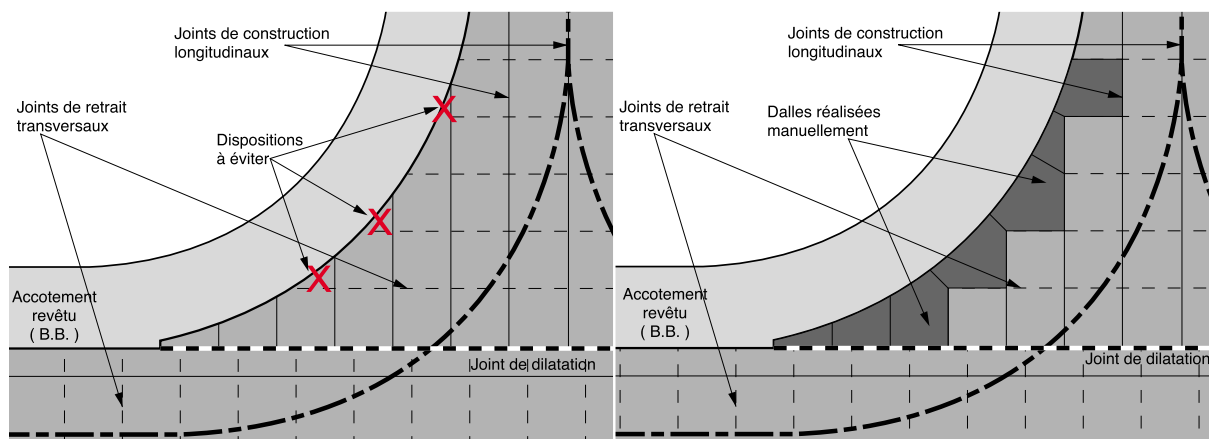


Figure 3.4a

Figure 3.4b

Croisement d'une chaussée souple par une chaussée en béton

Si les chaussées sont d'importances inégales c'est celle qui est la plus importante qui traverse l'autre ; on s'inspire alors des principes indiqués pour les extrémités de sections pour concevoir les raccordements de structures.

3-2-6 Bretelles d'accès et de sortie

Les manœuvres des aéronefs sur les bretelles nécessitent la réalisation de surlargeurs qui sont en général construites manuellement, entre coffrages, ce qui nécessite des précautions de mise en œuvre pour une bonne qualité de surface et d'uni.

3-3 Élargissement d'une chaussée en béton

Ce cas est rare dans le domaine aéronautique. Toutefois cette éventualité pouvant se présenter, la nouvelle bande en béton sera solidarisée à l'existant au moyen de goujons. Ces goujons seront scellés dans des forages horizontaux avec des mortiers de scellement aux liants hydrauliques ou aux résines spécifiques à cet usage. Dans le cas où un ouvrage de drainage existe celui-ci sera démoli et reconstruit en limite d'élargissement.

3-4 Reconstruction partielle d'anciennes chaussées en béton

Aux recommandations données pour les cas de chaussées neuves s'ajoutent les dispositions suivantes pour les reconstructions partielles (dalles isolées ou partie centrale d'une piste).

3-4-1 Démolition des voies à reconstruire

La démolition partielle du béton de revêtement de l'ancienne chaussée doit être effectuée sans dégrader les voies adjacentes conservées.

Dalles non goujonnées

Pour les dalles non goujonnées, on réalisera un sciage sur l'épaisseur du revêtement à une distance de 10 cm des joints longitudinaux et transversaux. Les dalles à démolir ainsi isolées seront ensuite fracturées et enlevées ; la bande restante proche des joints sera enlevée par ripage latéral.

Dalles goujonnées

Pour les dalles goujonnées, on réalisera un tranchage sur l'épaisseur du revêtement à une distance de 60 cm des joints longitudinaux et transversaux. Après évacuation de la partie centrale, un sciage dans le joint jusqu'à la base des goujons sera réalisé avant ripage de la partie restante.

Le bord du revêtement conservé sera protégé d'éventuelles épaufrures lors des travaux d'évacuation des matériaux de démolition.

Lorsque la fondation doit également être démolie, la partie à évacuer doit aussi être désolidarisée par sciage ou tranchage préalable de celle conservée.

Bien qu'il faille adapter la structure au trafic prévisible sur la voie que l'on va reconstruire, on a intérêt à chercher à conserver, à moins que leur état ne le permette pas, tout ou partie des couches d'assise existantes. Il faut éviter de remanier la couche de forme et le sol support pour ne pas en amoindrir les caractéristiques consolidées.

3-5 Renforcement de chaussées par une structure en béton

Aux recommandations indiquées pour les cas de chaussées neuves s'ajoutent les dispositions suivantes.

Quelle que soit la chaussée existante (souple ou rigide), généralement il n'y a pas besoin de préparation particulière du support si ce n'est un balayage de tous les matériaux et graviers roulants.

Néanmoins, un reprofilage (rabotage ou couche d'apport) sera nécessaire si :

- les déformations transversales ou longitudinales sont supérieures à 3 cm sous une règle de 3 m,
- pour un renforcement en béton armé continu, les épaisseurs maximales et minimales ne sont pas incluses dans une fourchette de ± 3 cm par rapport à l'épaisseur moyenne pour laquelle les aciers longitudinaux ont été calculés.

Dans le cas du renforcement d'une chaussée en béton, il convient au préalable d'asseoir la structure existante sur son support par fragmentation de l'ancienne chaussée (fracturation des dalles en 3 ou 4 morceaux au moins sans dépasser 8 à 10 sous peine de perdre une partie de la portance résiduelle) et compactage.

Le reprofilage nécessaire assurera la désolidarisation de la nouvelle couche de béton de son support.

3-6 Dispositions constructives propres aux chaussées en béton

3-6-1 Les joints de retrait

L'espacement entre joints de retrait est limité au maximum à 25 fois l'épaisseur de la couche de béton. Le calepinage des joints sera réalisé de façon que les applications des charges les plus lourdes soient suffisamment distantes des joints en particulier sur les aires de stationnement (1 m si possible).

Les joints transversaux (dalles californiennes et dalles goujonnées)

On n'exécute pas habituellement de joints de retrait sur la couche de fondation. Les joints de la couche de revêtement sont réalisés perpendiculairement à l'axe de la chaussée.

Les joints longitudinaux

Ces joints existent lorsque la bande de béton est réalisée en grande largeur (largeur supérieure à 25 fois l'épaisseur, ou dans le cas du B.A.C.).

3-6-2 Les joints de construction

Les joints transversaux

En dehors des joints transversaux d'extrémité décrits aux articles précédents, des joints de construction transversaux sont réalisés à chaque interruption de bétonnage (fin de journée de travail, ou accidentelle). Ils sont coffrés et comportent des goujons. Pour assurer la pérennité de leur fonctionnement il faut éviter l'intrusion d'éléments solides dans l'espace du joint. On pourra pour cela disposer une protection latérale en fixant une petite plaque en acier sur la dalle d'arrêt du bétonnage.

Les joints longitudinaux

Les joints de construction longitudinaux séparent deux bandes adjacentes de construction. Dans la couche de fondation, ils sont décalés latéralement d'environ 50 cm du joint de la couche supérieure. Dans la couche de revêtement, l'étanchéité du joint est assurée par mise en place d'un produit d'étanchéité après sciage sur une profondeur de 3 cm et une largeur minimum de 1 cm. On peut également utiliser un produit préfabriqué que l'on collera sur la bande déjà coulée (profilé synthétique par exemple).

Le profil latéral des bandes de béton mis en forme par la machine à coffrage glissant doit être de type sinusoïdal pour assurer le transfert des charges (figure 3.5).

3-6-3 Les joints de dilatation

Non nécessaires en partie courante d'une aire de manœuvre, ils seront réalisés à chaque croisement de voies. Équipés de goujons ces joints auront en général une épaisseur de 2 cm sur toute la hauteur du béton de revêtement. Entre un caniveau et la voie ou autour des regards pouvant exister sur une aire on préférera la mise en œuvre d'une surépaisseur de béton de l'ordre de 30 % au lieu de celle des goujons (figure 3.6)

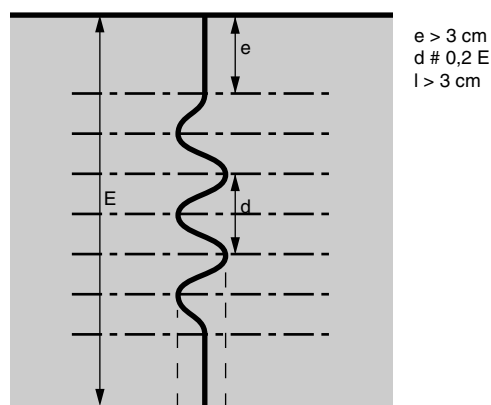


Figure 3.5 - profil vertical d'un joint longitudinal entre deux bandes de béton

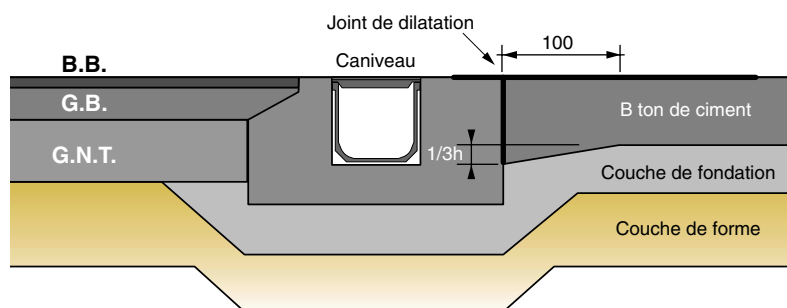


Figure 3.6 - dispositions constructives pour réalisation d'un caniveau contre une bande de béton

3-6-4 Les goudjous

Les goudjous sont disposés au droit des joints, à mi-épaisseur des dalles, parallèlement ou perpendiculairement à l'axe de la voie. Leurs dimensions sont rappelées au § 4-5.

3-6-5 Armatures longitudinales du BAC

Le dimensionnement des armatures longitudinales est exposé dans l'annexe C de la norme NF P 98-170.

3-6-6 Liaison des joints longitudinaux de retrait

Ces joints existent en cas de bétonnage en grande largeur ($L > 25e$).

La liaison des joints longitudinaux de retrait a pour but de maintenir le joint fermé, afin que le transfert de charge entre bandes de béton soit assuré par l'engrènement des profils verticaux des deux bandes. Cette disposition est indispensable pour les structures en BAC dont le dimensionnement tient compte en prévoyant des aciers de liaison transversaux.

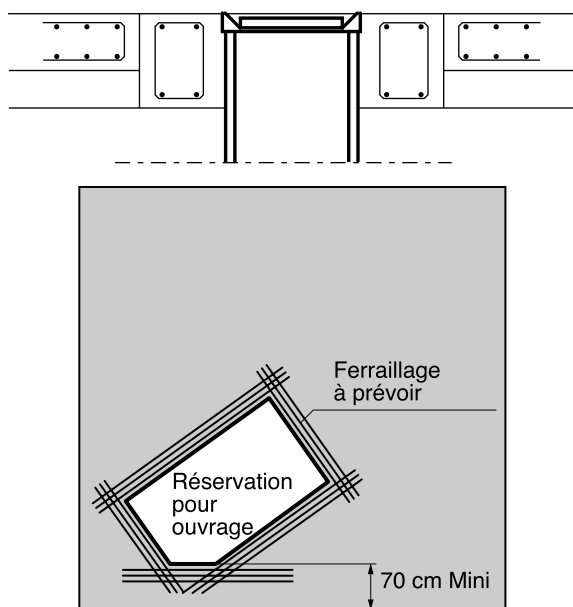
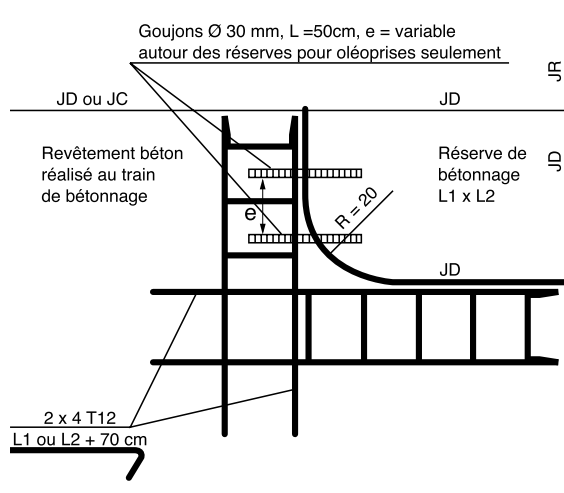


Figure 3.7 - Exemple n° 1



Réserve	L1	L2
Oléoprise	3.00	3.00
Regards EP	1.29	1.29
Chambres de tirages	2.00	1.50
Prise 400 Hz	2.50	1.40

Figure 3.8 - Exemple n° 2

3-6-7 Réservations dans les dalles en béton

Sur les aires de stationnement des avions, il est courant d'avoir à réaliser dans les dalles des réservations pour les oléoprises, les regards d'eaux pluviales ou les prises 400 Hz. La construction de ces réservations, dont les dimensions peuvent être importantes, nécessite des dispositions constructives spécifiques pour éviter tout risque de dégradation (fissuration).

À titre d'exemple, les figures 3.7 et 3.8 indiquent les principes qui peuvent être retenus pour ce type de réalisation.

Chapitre 4

Le matériau béton et les autres matériaux utilisés pour les chaussées en béton



Aéroport de Paris-Charles de Gaulle : bétonnage d'une bande

Si le béton pour chaussées aéronautiques n'est pas fondamentalement différent du béton pour ouvrage d'art, le choix des constituants et la définition de leurs proportions dans le mélange doivent être déterminés afin d'obtenir des performances adaptées au mode de mise en place (machine à coffrage glissant) et aux sollicitations particulières que supportent les chaussées (sollicitations de flexion, usure superficielle et tenue au gel et aux sels de déverglaçage). Avec les dosages et qualités de ciment préconisés en France, il est peu probable d'observer des réactions alcali granulat. Toutefois en absence de qualification des granulats et dans le cas d'utilisation de granulats siliceux, il convient de s'assurer que les conditions de non apparition de la réaction sont respectées par application du document FD P 18-542.

Le caractère industriel de la mise en œuvre des couches de chaussée permet d'obtenir une compacité et une épaisseur homogènes à partir du moment où cela a été vérifié lors de l'épreuve de convenance (cf. chapitre 7).

En plus des constituants du béton, on utilise d'autres produits qui sont destinés à aider à la bonne exécution de la couche de béton (retardateur de prise et produit de cure), ou des éléments qui participent au fonctionnement de la structure (goujons et armatures).

Même si le rôle du produit de cure est très limité dans le temps, le respect des règles de l'art, tant en ce qui concerne ses qualités que les conditions d'utilisation, n'en est pas moins indispensable. Malgré son action passagère, il confère à l'ouvrage les propriétés assurant sa durabilité, en particulier les caractéristiques de surface (protection contre la dessiccation qui assure une meilleure résistance à l'usure).

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites dans la norme NF P 98-170 et dans ses annexes. Ces dernières étant informatives, il y a lieu de les citer dans les pièces du marché.

Note : les termes repris dans ce document sont ceux utilisés dans les normes correspondantes

4-1 Les constituants du béton

4-1-1 Les granulats

Les granulats (fillers, sable, et gravillons) constituent la partie principale du squelette granulaire du béton. Les textes concernant les granulats pour chaussée en béton sont :

- la norme XP P 18-540 article 9,
- l'annexe A de la norme NF P 98-170.

Ces textes étant soit expérimentaux soit informatifs, il y a lieu de les citer dans les pièces du marché.

Pour la gamme des résistances mécaniques visées pour le béton, le choix des granulats peut être large tant pour la nature de la roche d'origine que pour les caractéristiques intrinsèques et de fabrication. Le tableau 4.1 fournit des indications pour le choix des granulats en fonction des propriétés visées. Le tableau 4.2 donne la correspondance entre les caractéristiques normalisées à retenir pour les granulats et les conditions d'emploi. Le tableau 4.4 indique les autres exigences que fixe la norme XP P 18-540 pour les granulats pour chaussées en béton.

Les exigences relatives aux caractéristiques mécaniques des granulats sont brièvement justifiées ci-après.

Caractéristiques mécaniques des granulats

Si celles-ci interviennent peu sur la résistance mécanique du béton en raison des valeurs visées, ces caractéristiques sont importantes à d'autres titres :

- pour éviter la production de fines pendant les phases de stockage, manutention et malaxage
- pour assurer le transfert de charge au droit des discontinuités (joints, fissures).
- pour résister à l'usure sous le trafic en couche de roulement.

Même lorsque la discontinuité est fermée (chaussée neuve, cas de forte température), la flexion des dalles sous le passage des charges, induit un frottement entre les éléments en contact (granulats en particulier). Avec le temps et lorsque la discontinuité s'ouvre sous l'effet du retrait thermique, l'usure s'accroît. Au bout d'un certain temps, le jeu qui se crée fait que le transfert de charge n'est plus assuré. Cette situation peut être fortement retardée par la présence de goudjons et d'armatures.

Compte tenu des traitements pratiqués (striage ou balayage), la résistance à l'usure est, dans les premières années de service, principalement assurée par les caractéristiques du sable utilisé. Cela implique que la cure du béton ait été correctement réalisée, la dessiccation du béton rendant la couche supérieure très fragile à l'usure.

Propriétés visées dans la chaussée	Actions	Domaines d'application	Moyens	Commentaires
régularité des performances en général	recomposer le squelette du béton à partir de plusieurs classes granulaires	tous bétons	trois classes 0/5, 5/20 et 20/40 0/5, 5/10 et 10/20	la multiplication des classes permet de limiter les risques de ségrégation à la constitution et à la reprise des stocks
compacité du béton (cohésion du béton frais et résistance mécanique)	apport d'un correcteur granulaire (lorsque les sables sont crus soit moins de 3 % de passant à 0,080 mm)	tous bétons	quantité suffisante de 0/0,080 mm pour que la quantité de fines soit de l'ordre de 400 kg/m ³ (ciment compris)	- cendres volantes, - fillers calcaires, - fillers siliceux, les fines nécessitent une quantité d'eau supplémentaire
résistance mécanique du béton	dimension du plus gros granulat	dalles e < 30 cm e ≥ 30 cm BAC forme et propreté	25 ; 31,5 ou 40 mm 40 mm 20 ou 25 mm cf. XP P 18-540	toutes choses égales par ailleurs, la résistance mécanique, pour les niveaux visés : - est proportionnelle à D ^{0,2} - augmente avec ce qui permet une diminution de la quantité d'eau du béton
transfert de charge aux discontinuités (joints, fissures)	- dimension du plus gros granulat - résistance mécanique des gravillons	dalles non armées et non goujonnées	D le plus grand possible choix du MDE et du LA	ces éléments ont également une action bénéfique sur la durabilité des chaussées en dalles goujonnées et en BAC
résistance à l'usure	dureté	béton strié	nature du sable	voir tableaux 4.2 et 4.4
résistance au polissage	dureté	béton strié	nature du sable	voir tableaux 4.2 et 4.4
absence d'évolution à la fabrication	dureté	tous bétons	MDE et LA de la roche d'origine	voir tableaux 4.2 et 4.4

*Tableau 4.1 - indications pour le choix des granulats
(n'est examiné ici que l'apport des granulats pour les propriétés visées dans la chaussée)*

		Emplois		
		Béton de revêtement		fondation
		Aire de manœuvre	Aire de trafic	
caractéristiques intrinsèques	résistance mécanique	D*	D*	(1)
	CPA	> 0,40		
	friabilité des sables	< 40**	< 40**	
caractéristiques de fabrication	gravillons	III	III	(1)
	variation du module de finesse (sable résultant)	± 0,3	± 0,3	(2)

* pour la catégorie D : $LA + MDE \leq 55$

** < 30 pour un trafic supérieur à 500 mouvements par jour

(1) lorsque les contraintes de service justifient des exigences particulières d'état de surface, la classe D III est requise pour les caractéristiques des gravillons

(2) lorsque des contraintes de mise en œuvre le justifient, il est requis une amplitude de variation du module de finesse inférieure à ± 0,4

Tableau 4.2 - correspondance entre les caractéristiques des granulats et les conditions d'emploi

Catégorie	granularité						aplatisse. A (4)	Propreté P
	passants (%) à							
	2D	1,58D	D	(d + D)/2 (2)	d	0,63d	Vss	
III	Vsi 100	Vsi 99	Li 85 ⁽¹⁾ Ls 99 e 10	Li 30 Ls 70 e 25	Li 1 Ls 15 ⁽³⁾ e 10	Vss 5	20 2	

(1) Li 80 si $D \leq 1,6 d$

(2) Ne s'applique que si $D \leq 2 d$

(3) Ls 20 si $D \leq 1,6 d$

(4) La Vss de A est portée à 25 si $D \leq 10 \text{ mm}$

Note : l'appartenance à une catégorie suppose que toutes des conditions indiquées soient satisfaites.

Tableau 4.3 - correspondance entre catégories et caractéristiques intrinsèques et de fabrication des gravillons

Les symboles utilisés sont définis dans la norme XP P 18-540 et leur signification est la suivante :

- Li et Ls limites inférieure ou supérieure,
- Vsi et Vss valeurs spécifiées inférieure ou supérieure,
- e étendue admise.

Classe granulaire	Caractéristiques		Valeurs spécifiées
fillers	passants (%) à	à 2 mm	Vsi 100
		D	Vsi 85-Vss 99
		à 0,125 mm	Li 80-e 10
		à 0,063 mm	Li 70-e 10
	propreté	VBF	Vss 10
sable et sablons	passants (%) à	2 D	Vsi 100
		1,58 D	Vsi 99
		D	Li 80-Ls 99-e 10
		à 0,08 mm	Ls 12-e 3 ⁽¹⁾
	matière organique ⁽⁶⁾	colorimétrie	négatif
		sur mortier ⁽²⁾	chute de résistance à 2 J < 10 %
			retard de début de prise < 1h
sable	module de finesse	MF	e 0,6
	propreté	PS	Vsi 60 ⁽⁴⁾
		VB0/D ⁽³⁾	Vss 1
gravillons	sensibilité au gel ⁽⁵⁾		Ab : Ls 1
			LA : Ls 25
			G : Ls 30
	teneur en boulettes d'argile isolées ⁽⁷⁾		Ls 1
	teneur en éléments coquilliers		Vss 10
sable et gravillon	absorption d'eau	Ab	Vss 2,5
	teneur en soufre	en S	Vss 1
	teneur en sulfates	en SO3	Vss 0,2
	teneur en chlorure à communiquer si	0,02	

(1) Ou CV 20 %.

(2) Essais comparatifs avec un mortier fabriqué à partir d'une eau distillée.

(3) En pratique l'essai de propreté par la valeur au bleu n'est réalisé que si la PS n'est pas respectée. Il est toutefois conseillé que la valeur de la PS ne soit pas inférieure de 10 points à la valeur spécifiée.

(4) 55 pour les roches massives et pour les alluvions d'IC > 50.

(5) Une seule des 3 spécifications permet de satisfaire à l'existence de la non gélivité.

(6) Un seul des deux essais

(7) En masse sèche

Tableau 4.4 - autres exigences (en %) relatives aux caractéristiques des granulats pour béton selon la norme XP P 18-540

Granulats de béton recyclé

Les granulats provenant du recyclage de béton de chaussée ont des caractéristiques (friabilité, Los Angeles...) qui dépendent du béton dont ils sont issus. Du fait de la présence de traces de mortier à la surface des grains, la quantité d'eau nécessaire pour obtenir la consistance visée est plus importante. Cette augmentation d'eau n'a pas de conséquence directe sur la résistance mécanique du béton ni sur sa porosité (eau absorbée dans les premières heures).

4-1-2 Les ciments

Le choix de la provenance du ciment doit être arrêté suffisamment tôt pour permettre la réalisation de l'étude de composition du béton. Cette obligation peut imposer que le choix du ciment soit étudié préalablement à l'appel d'offres par le maître d'œuvre et que les provenances possibles soient indiquées au cahier des clauses techniques particulières.

Il est toujours préférable que son approvisionnement soit assuré à partir d'une cimenterie unique. Il peut être envisagé de traiter l'approvisionnement par lot d'ouvrage. Aucun mélange de ciment ne peut cependant être toléré dans un même lot d'ouvrage. Le ciment doit être conforme à la norme NF P 15-301.

Choix du ciment

L'attestation de conformité à la norme est donnée par la marque NF-LH ou par une procédure reconnue. Parmi les différentes natures de ciment disponibles, ce sont les ciments CPA-CEM I et CPJ-CEM II/A ou/B qui sont les plus appropriés.

Les ciments avec ajout de laitier de métaux non ferreux (pouzzolanes industrielles) sont interdits en raison des risques de pollution des eaux de ruissellement.

Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance et de ses caractéristiques d'hydratation (teneur en C3A, temps de prise...). L'annexe B de la norme NF P 98-170 précise les caractéristiques souhaitables pour le ciment en fonction de la nature pétrographique des granulats et de la température ambiante au moment du chantier. On peut dans certains cas s'écarter quelque peu des valeurs proposées par cette annexe mais cela implique que les conditions d'exécution du chantier soient adaptées comme l'indique cette même annexe. Ces conditions particulières doivent figurer dans le PAQ de l'entreprise (cf. chapitre 7 « démarche d'assurance qualité »).

Compte tenu des résistances mécaniques généralement demandées, la classe 32,5 de résistance (*) du ciment suffit. On pourra éventuellement retenir la classe 42,5. Dans le cas où une remise en service rapide est prévue on choisira un ciment ayant une vitesse de durcissement élevée (la vitesse de prise ne doit pas être réduite), classe R par exemple.

Le dosage en ciment est fixé par l'étude de composition. Un ordre de grandeur des dosages courants est de 330 kg/m³ pour les bétons denses destinés aux couches de roulement, 200 kg/m³ pour les bétons denses maigres, et 200 kg/m³ pour les bétons drainants d'interface entre couche de roulement et couche de fondation érodable.

* La nouvelle normalisation désigne la classe de résistance des ciments par la valeur minimale et non, comme par le passé, par la valeur moyenne. Ainsi le CPA-CEM I de classe 32,5 correspond, à peu de choses près, au CPA 45 de l'ancienne norme ciment

4-1-3 Éléments fins d'ajout

Les éléments d'ajout sont incorporés au béton en vue de corriger la courbe granulaire ou/et de réduire la quantité de ciment.

Correcteur granulaire

Pour corriger la courbe granulaire, ces produits doivent présenter des caractéristiques conformes aux spécifications de la norme XP P 18-540.

Substitution partielle du ciment

Les produits utilisés en substitution pour diminuer la quantité de ciment doivent être conformes aux normes NF P 18-502 (fumée de silice), NF EN 450 (cendres volantes de houille), NF P 18-506 (laitiers vitrifiés moulus de haut fourneau) ou NF P 18-508 (additions calcaires) ou NF P 18-509 (Additions siliceuses). La norme XP P 18-305 propose un mode de calcul de la quantité de ciment substituable (Tableau 4.5) et de prise en compte de ces additions. Des quantités éventuellement plus importantes d'éléments de substitution peuvent être envisagées sur la base d'études détaillées appropriées. Dans tous les cas, il faut s'assurer du respect de la spécification concernant la résistance mécanique du béton.

Cette substitution n'est admise que dans le cas d'emploi d'un ciment CPA-CEM I.

Type d'addition			Valeur de k	A/(A + C)
laitiers moulus de haut fourneau			0,9	0,15
cendres volantes	i ₂₈	0,83 et i ₉₀ 0,95	0,6	0,15
	i ₂₈	0,80 et i ₉₀ 0,90	0,5	
	i ₂₈	0,75 et i ₉₀ 0,85	0,4	
additions calcaires i ₂₈ 0,71			0,25	0,05
additions siliceuses			0,1	0,1
fumée de silice			1	0,10
(pour toute la fumée de silice			2	
entrant dans la composition du béton)			si E/C 0,45 et C 280 kg	
avec :				
A quantité d'addition en substitution,				
C quantité de CPA-CEM I				
A/(A + C) proportion admissible d'additions substituables				
k coefficient de prise en compte de l'addition				
i _j indice d'activité à j jours				
La quantité C + kA est alors la quantité de liant équivalent correspondant à la quantité de ciment définie par l'étude de formulation.				

Tableau 4.5 - prise en compte des additions en substitution partielle du ciment pour un béton de chaussée (environnement 3 selon la norme XP P 18-305)

4-1-4 Eau

L'eau doit être conforme à la norme XP P 18-303.

Son origine doit faire l'objet d'une attention particulière notamment lorsqu'elle est récupérée par pompage en milieu naturel (risque de présence de détergents, matières organiques, huiles, argile, matières sucrées ou salées, sulfates...). En cas de doute, des essais comparatifs avec de l'eau distillée, sur mortier normal, doivent être réalisés.

4-1-5 Adjuvants

Les adjuvants utilisés doivent être conformes aux normes de la sous série NF P 18-330. L'attestation de conformité à la norme est donnée par la marque NF-adjuvants ou par une procédure reconnue.

Il est déconseillé d'utiliser des adjuvants à fonctions multiples, les besoins pour chacune des fonctions pouvant évoluer différemment selon les conditions de déroulement du chantier. Si toutefois ces adjuvants sont utilisés, il y a lieu de s'assurer que chacune de ces fonctions respecte les exigences prévues.

Tous les adjuvants utilisés doivent faire l'objet d'une vérification de la sensibilité avec les autres constituants du béton telle que définie dans le document FD P 98-171 § 11.2.

Agent entraîneur d'air

Il permet de créer un réseau de bulles d'air dans le béton qui garantit la durabilité vis-à-vis du gel et des fondants utilisés en période hivernale. Il donne par ailleurs un bon comportement au béton pendant son transport et sa mise en œuvre (résistance à la ségrégation, amélioration de la consistance, tenue des bords...). Pour toutes ces raisons, son emploi est obligatoire y compris dans les zones non touchées par le gel.

Plastifiant réducteur d'eau

Son rôle est d'améliorer la consistance du béton tout en diminuant la quantité d'eau. Cet adjuvant est déclaré efficace s'il permet de réduire la quantité d'eau d'au moins dix litres par mètre cube de béton. La réduction de la quantité d'eau qui en résulte permet d'augmenter la résistance du béton ce qui peut conduire à ajuster la formule en particulier le dosage en ciment à teneur en fines constante, l'adaptation de la consistance... Le résultat doit être vérifié lors de l'étude de composition (cf. 4-3 « Étude de formulation ».)

Attention : en cas d'excès d'eau on sera confronté à un ressuage rapide qui entraînera des fines et provoquera une fragilisation de la surface du béton.

4-2 Performances du béton

Les performances à obtenir dépendent de la nature de l'ouvrage à réaliser, des fonctions de la couche et des moyens de mise en place.

On s'attache ici à trois caractéristiques principales du béton :

- la consistance,
- la résistance mécanique,
- et pour certaines régions, la résistance au gel et aux fondants.

4-2-1 Résistance mécanique

La résistance mécanique est caractérisée par la « valeur caractéristique » (NF P 18-010) atteinte à 28 jours. Elle est mesurée soit par l'essai de fendage (norme NF P 18-408) soit par l'essai de compression (norme NF P 18-406). En pratique, l'essai de fendage est utilisé pour caractériser le béton destiné aux couches de roulement et l'essai de compression pour le béton destiné aux couches de fondation.

La norme NF P 98-170 prévoit 6 classes de résistance. Le tableau 4.6 précise les conditions de choix en fonction des travaux.

Pour déterminer la résistance moyenne nécessaire, on se fonde par expérience sur une dispersion courante (rapport de l'écart type à la moyenne) liée à l'outil de production, voisine de 10 %. Ainsi, la valeur moyenne visée pour un béton de classe 6 sera de 3,6 ou 4 MPa. Pour une excellente production, on peut espérer une dispersion voisine de 7 %.



Essai de traction par fendage

Si les constituants choisis ne permettent pas d'atteindre la résistance visée, plusieurs aménagements sont possibles. On peut dans l'ordre de préférence :

- Utiliser un adjuvant plastifiant réducteur d'eau ;
- Incorporer des fillers afin d'augmenter la compacité du béton ;
- Réduire l'eau en augmentant la teneur en air occlus en limitant toutefois cette dernière afin d'éviter les effets contraires (seuil supérieur d'air entraîné : 6 %) ;
- Choisir un ciment de classe de résistance supérieure ;
- Augmenter le dosage en ciment, mais sans dépasser la valeur acceptable au vu des risques de fissuration (360 kg/m³).

Classe de résistance	Résistance caractéristique en fendage à 28 J en MPa	Résistance moyenne à 28 J à viser lors de l'étude (MPa)	Destination
6	3 ou 3,3 (*)	3,6 ou 4 (*)	couche de roulement
2	1,7	2,1	couche de fondation
1	1,3	1,6	

* Le CCTP précisera la valeur retenue. La valeur $f_{tk} = 3 \text{ MPa}$ correspond aux exigences minimales demandées par l'ITAC pour le dimensionnement d'une chaussée. Une valeur supérieure permet un gain d'épaisseur.

Tableau 4.6 - guide pour le choix des classes de résistance du béton pour les couches de roulement

4-2-2 Résistance au gel et aux fondants

La résistance au gel et aux fondants est rattachée à la teneur en air occlus. La quantité d'air occlus nécessaire ne peut se satisfaire ni de la quantité, ni de la forme et de la dimension des vides existant naturellement dans les bétons. Cette teneur en air naturelle correspond à moins de 3 % en volume et n'a pas la morphologie souhaitée. Il est indispensable d'augmenter cette quantité en incorporant un agent entraîneur d'air.

L'efficacité de l'air entraîné a été prouvée lorsque le diamètre de ces bulles est voisin de 0,01 mm et que le facteur d'espacement (la moitié de la distance moyenne entre ces bulles) est de 0,2 mm. Cette mesure peut être réalisée sur béton durci par observation d'une face polie. L'expérience a montré que la mesure sur béton frais, à l'aide de l'aréomètre à béton (norme NF P 18-353), donne une indication fiable sur l'efficacité des bétons à résister au gel et aux fondants.

Le résultat de la mesure de la teneur en air occlus sur le béton frais doit être supérieur à 3 % et de préférence inférieur à 6 % car l'excès d'air provoque une chute de résistance.

C'est au moment du malaxage que se forment ces bulles d'air. L'assurance d'arriver à l'objectif visé est donc d'avoir un produit efficace (produit certifié) et un malaxage adapté et constant.

En cas d'utilisation d'un produit non titulaire de la marque de conformité à la norme, il est nécessaire de vérifier le respect du diamètre moyen des bulles d'air et la distance moyenne entre les bulles (facteur d'espacement).

4-2-3 Consistance du béton

La consistance du béton est une propriété requise pour satisfaire la mise en place du béton. Le choix est en général du ressort de l'entreprise exécutant les travaux.

On vise en général des consistances inférieures à 5 cm pour l'essai d'affaissement au cône (NF P 18-451) et supérieures à 15 s pour l'essai au maniabilimètre LCL (NF P 18-452).

Le non respect de ces valeurs de consistance peut entraîner des effets secondaires néfastes dont certains peuvent s'évaluer en laboratoire (comme la résistance mécanique et la teneur en air occlus) alors que d'autres ne se révéleront que tardivement sur chantier (comme les affaissements de bord, les accumulations de laitance, les tassements différentiels...). Il faut donc, pour assurer la constance des caractéristiques mécaniques du béton en place, fixer dans le cahier des charges les fluctuations admissibles de la consistance. Ces tolérances admissibles sont de ± 2 cm pour l'essai d'affaissement au cône et de ± 10 s pour l'essai de maniabilité.

C'est la consistance au moment de la mise en œuvre qui doit être prise en considération. Aussi il est normal que la consistance au départ de la centrale puisse être différente de la valeur visée (écart de 1 à 2 cm pour l'affaissement au cône, ou de 5 s au maniabilimètre).

4-3 Étude de formulation

L'étude de formulation du béton revêt une grande importance pour le chantier car elle permet :

- de tirer le meilleur parti des caractéristiques des constituants utilisés,
- de rechercher alors les économies possibles, sans remettre en cause la qualité du béton,
- de pouvoir adapter la conduite du chantier, selon les besoins,
- de prédire les performances du mélange en place, en cas d'écart de la composition fabriquée.

L'étude doit conduire à la définition des proportions des différents constituants pour atteindre le niveau de performance recherché tout en restreignant l'amplitude de fluctuation de ces performances, pour des variations de dosage accidentelles. La formule du béton peut être fixée à partir :

- d'une étude spécifique qui, dans ce cas, doit être entreprise au moins trois mois avant le début de bétonnage
- de résultats antérieurs ayant donné satisfaction pour toutes les performances visées. Il faudra ici effectuer une vérification confirmant que les constituants utilisés sont rigoureusement identiques à ceux du chantier pris pour référence
- d'une étude associant les deux approches précédentes, les performances non contrôlées sur le chantier pris pour référence faisant l'objet d'un complément d'étude spécifique.

En pratique, pour lancer une étude de formulation, il est nécessaire de disposer :

- de constituants de nature et de caractéristiques identiques à ceux prévus pour la réalisation du chantier,
- de la définition des performances prévues pour l'ouvrage, en prenant en considération les moyens envisagés pour la mise en œuvre du béton.

Toute modification des constituants doit conduire à refaire tout ou partie de l'étude.

Une vérification du ressuage du béton est nécessaire.

Le contenu d'une étude de formulation est présenté dans le fascicule de documentation FD P 98-171

4-4 Résistance à l'érosion des matériaux de fondation

Pour éviter les conséquences du phénomène de pompage, le matériau de la couche de fondation doit présenter une résistance suffisante à l'érosion que l'on apprécie à partir d'un essai de brossage rotatif avec une brosse métallique en présence d'eau (annexe K de la norme NF P 98-170). Les matériaux correspondant aux différentes classes d'érodabilité sont en général les suivants :

- classe I (non érodable) : béton maigre et béton poreux,
- classe II (peu érodable) : grave-ciment enrichie en ciment (4,5 %)

4-5 Les éléments métalliques

4-5-1 Les goudjons

Le rôle des goudjons est d'assurer le transfert d'effort tranchant aux joints, d'abord en combinaison avec les plus gros granulats du béton et ensuite seuls dès que l'engrènement par les gros granulats devient insuffisant du fait du retrait du béton et de l'usure de ces granulats dans le temps.

Ces goudjons ne doivent pas induire d'efforts mécaniques de traction dans le béton lors des mouvements des dalles liés aux phénomènes de contraction ou d'allongement par effets thermiques ou hydriques. Ils doivent donc pouvoir glisser librement dans leur logement. Pour garantir cette possibilité de glissement du goudjon dans le béton, les goudjons sont lisses, rectilignes, sans aspérités aux extrémités et enduits d'une fine couche de produit bitumineux ou plastique (une couche trop épaisse annule le rôle du goudjon). C'est également pour cette raison que l'ajustement à la longueur se fait obligatoirement par sciage et ébavurage.

Les goudjons sont en acier de nuance supérieure ou égale à Fe E 235, de diamètre égal à 30 mm et de longueur comprise entre 400 et 550 mm.

4-5-2 Les armatures de béton armé continu

Le rôle des armatures est de répartir la fissuration de retrait du béton de façon que ces fissures soient, au bout de plusieurs années d'usage de la chaussée, distantes de 1 m environ et que leur ouverture soit la plus faible possible.

En général cette ouverture est inférieure à 0,5 mm au niveau de l'armature (à la surface de la chaussée cette ouverture peut apparaître supérieure mais il arrive le plus souvent que cet aspect soit en fait dû à des épaufrures de surface). Cette ouverture correspond au retrait de la zone de béton désolidarisée de l'acier.

Ces armatures sont des ronds à béton de diamètre nominal 14 à 20 mm (généralement 16 mm). Elles sont constituées d'acier à haute adhérence de nuance Fe E 500.

La section d'armatures est définie par la possibilité de reprise des efforts de retrait du béton par l'acier, ce dernier restant dans le domaine élastique. En pratique pour les aciers précités on retient pour les ronds à béton un rapport des sections acier/béton de 0,67 %.

L'attention est attirée sur le fait que l'espacement entre deux armatures contiguës doit être supérieur à trois fois la dimension du plus gros des granulats du béton ce qui peut limiter la taille du plus gros gravillon (cf. 4.1).

Les cinq paramètres les plus importants régissant le comportement de l'armature dans le béton sont :

- le rapport des sections acier-béton,
- la limite élastique de l'armature,
- le retrait potentiel maximum du béton,
- la résistance mécanique du béton,
- l'adhérence du béton sur l'armature.

C'est la conjugaison de ces cinq paramètres qui permet d'assurer le fonctionnement et la durabilité des chaussées en béton armé continu. En plus des prescriptions et des spécifications déjà citées, il est recommandé de prévoir l'emploi d'armatures faisant l'objet d'une certification. Si ce n'est pas le cas, il faut réaliser d'une part les essais courants caractérisant les performances de l'acier et d'autre part un essai d'adhérence acier-béton. Cet essai dit « essai ABA » est décrit par la norme expérimentale XP P 98-249-1. L'adhérence acier-béton est caractérisée par un coefficient appelé MORE 0,5E dont la valeur dépend à la fois de l'acier et du béton. Ce coefficient doit être supérieur à 0,75 (valeur retenue en 1996 à titre provisoire) pour satisfaire aux exigences du BAC.

4-6 Les produits pour joints

Les produits pour joints ont pour objectif de limiter, autant que faire se peut, les infiltrations d'eau et d'empêcher la pénétration de corps étrangers risquant de provoquer, lors des mouvements de dalles, des éclatements en bord de joint. En particulier, pour cette deuxième raison, tous les joints d'une chaussée en béton doivent être garnis.

Vis-à-vis de l'étanchéité, on considère que les produits sont efficaces en moyenne cinq ans. Cette durabilité dépend de la qualité du produit, de sa mise en place ainsi que du trafic et de l'amplitude des battements de dalle. Pour atteindre cette durabilité il est indispensable :

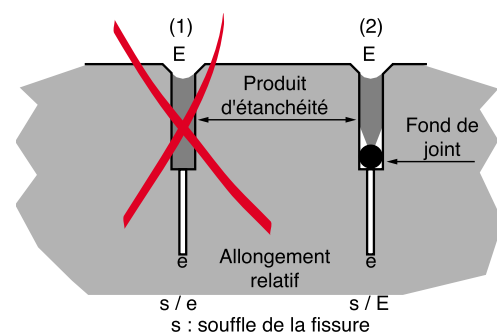
- que les produits utilisés satisfassent les exigences des normes de la sous série NF P 98-28, en particulier pour la résistance à la fatigue, au cisaillement, à la traction, au vieillissement et aux agents chimiques,
- que la surface d'application soit propre,
- que le produit pénètre sur au moins deux centimètres de profondeur dans le joint et qu'il adhère aux lèvres du joint (cas des produits coulés).

Dans le cas de joints situés sur les aires de trafic, le produit devra résister aux hydrocarbures et pour ceux situés sur les seuils de piste, le produit devra résister aux hydrocarbures et au souffle des réacteurs.

Il existe différents types de produits pour joints :

- les produits coulés à chaud. Ce sont les produits les plus couramment utilisés,
- les produits coulés à froid. Leur emploi impose l'utilisation d'un primaire d'accrochage dont le rôle est primordial dans la tenue du joint dans le temps,
- les produits préformés présentant des caractéristiques équivalentes.

Pour limiter les efforts de traction sur les produits coulés (figure 4.1), il est important que ces produits ne soient collés que sur les surfaces latérales du joint. On utilise pour cela un « fond de joint », du diamètre de l'ouverture du joint, qui fait écran.



La présence d'un fond de joint dans la situation (2) permet de limiter les efforts de traction sur le produit de remplissage

Figure 4.1 - garnissage des joints

4-7 Les produits de protection de surface

Lors de la mise en œuvre, le béton est un produit presque saturé d'eau et la chaussée se trouve dans un milieu beaucoup plus sec qui aura naturellement tendance à s'hydrater au détriment du béton. La surface de la dalle est très grande pour son épaisseur, elle représente un véritable échangeur d'humidité pour son environnement. La quantité d'eau introduite dans le béton est une quantité minimale, aussi tout départ d'eau doit être combattu énergiquement. Les conséquences d'une dessiccation du béton sont multiples mais les plus importantes sont d'une part un fort retrait hydrique pouvant provoquer une fissuration de surface du béton et d'autre part un affaiblissement de la résistance superficielle du béton et donc une usure prématurée du revêtement sous la circulation des avions.

C'est pour ces raisons qu'on doit être particulièrement vigilant sur la cure des bétons. Il faut choisir correctement les produits et respecter les règles d'application (moment d'application et durée de maintien, cf. chapitre 6 Mise en œuvre).

Deux types de produits sont couramment utilisés pour protéger le béton contre la dessiccation, la feuille de polyéthylène et les produits de cure :

- la feuille de polyéthylène ne doit pas présenter de discontinuité (trou ou déchirure). Ses dimensions doivent être suffisantes pour couvrir totalement (plan supérieur et flanc) la couche de béton. Afin de ne pas modifier l'état de surface du produit fini, on évitera que la feuille soit en contact avec le béton.
- les produits de cure répondant aux spécifications d'efficacité mesurées conformément à la norme NF P 18-370. Le coefficient de protection du béton frais doit être au minimum de 90 % à 6 h et de 85 % à 24 h. Il est recommandé d'utiliser des produits faisant l'objet d'une certification.

Chapitre 5

Fabrication du béton



Châlons-Vatry : centrale de fabrication du béton - réserve d'eau de gâchage

5-1 Approvisionnement et stockage des constituants

5-1-1 Aire de stockage et de fabrication

Le guide technique « Stockage des granulats-Aires de stockage » présente les règles à respecter en matière d'aménagement et de gestion des aires de stockage. Rappelons que l'aire de stockage et de fabrication devra être, à chaque cas, adaptée au volume de stockage préalable de granulats et avoir la surface nécessaire pour la centrale et la circulation des camions (voir tableau 5.1). La superficie et l'aménagement des aires de stockage, les moyens utilisés et les modalités prévues pour la constitution des stocks ne devront pas modifier la qualité des granulats. L'attention est attirée sur les points particuliers suivants :

éviter la pollution des stocks par :

- l'aménagement adéquat des pistes et des zones de stockage,
- leur nettoyage par des matériels distincts de ceux affectés à l'approvisionnement des trémies de la centrale.

éviter l'évolution granulométrique et la ségrégation en limitant :

- les hauteurs de chute au gerbage,
- le roulage des camions sur les stocks.

L'implantation sera étudiée de façon à permettre l'approvisionnement des constituants et à ce que le temps de transport du béton frais soit minimum, (voir paragraphe 5-3).

Qté de béton par jour (m³)	Capacité centrale (m³/h)	Aire pour centrale (m²)	Aire de stockage (m²)	Aire totale (m²)
2 100	300 m³/h	5 000	15 000	20 000

Tableau 5.1 - surfaces indicatives minimales pour les aires de stockage et de fabrication (cas d'un chantier d'une piste de 3 km de long sur 45 m de large)

5-1-2 Granulats

Lors de l'établissement du projet, le maître d'œuvre doit envisager les sources prévisibles de matériaux en tenant compte des possibilités des installations existantes tant en quantité qu'en qualité, des distances et des modes de transport (route, rail, voies navigables).

La quantité des granulats stockée au démarrage du chantier est fixée en fonction de la capacité probable de production de la carrière ou de la ballastière et de la cadence de mise en œuvre prévue pour les travaux. Il est généralement souhaitable de réaliser un approvisionnement préalable représentant au moins 50 % de la quantité totale de granulats nécessaire.

5-1-3 Ciment et additions de matières sèches

La cimenterie retenue doit avoir une capacité de production et de livraison compatible avec la cadence des travaux. En principe, le ciment proviendra d'une seule cimenterie. Si différentes provenances s'avèrent nécessaires, aucun mélange ne peut être toléré.

Pour un rendement moyen, on doit prévoir un stockage en centrale correspondant à un jour de fonctionnement. Ce stockage pourra être réduit, dans des cas particuliers (par exemple si le temps de transport cimenterie-chantier est inférieur à 3 h). L'entrepreneur devra indiquer les dispositions prises pour éviter toute rupture de stock et assurer le respect du Plan d'Assurance Qualité.

Dans le cas d'additions de matières sèches (cendres volantes par exemple), leurs conditions d'approvisionnement et de stockage doivent être identiques à celles du ciment, en particulier en ce qui concerne la protection contre les risques d'humidification.

5-1-4 Additions de matières humides

Les matières humides (cendres volantes humides) donnent souvent des boulettes qu'il convient de détruire (avec un émotteur par exemple) ou d'éviter de produire (en les introduisant avec les gravillons par exemple). Ces matières peuvent être stockées comme le sable; leur teneur en eau doit être déterminée et prise en compte.

5-1-5 Eau

La quantité d'eau nécessaire au bon déroulement du chantier (eau pour le mélange, eau pour le lavage des camions, eau de sciage...) correspond à environ trois fois la quantité d'eau introduite dans le béton (soit 500 l environ pour un mètre cube de béton produit).

Lors de la préparation du chantier on étudiera donc particulièrement les possibilités d'approvisionnement et de stockage éventuel.

5-1-6 Adjuvants

Ils sont habituellement approvisionnés en vrac ou en conteneurs.

Les moyens de stockage en centrale doivent éviter tout risque de mélange de produits et de pollution de la nappe phréatique; les produits réputés sensibles au gel doivent être protégés.

Dans le cas où des dilutions des produits sont faites sur le chantier, le mélange doit être maintenu en agitation pour prévenir toute décantation.

5-2 Centrales de fabrication

La centrale est située sur l'aire de stockage à proximité immédiate des granulats. L'organisation de cette aire, le plan de circulation des camions d'approvisionnement et de transport du béton ainsi que le trajet des chargeuses doivent être soigneusement étudiés, les dispositions retenues sont à indiquer dans le plan d'assurance qualité.

Les centrales de fabrication du béton doivent être conformes à la norme NF P 98-730. Elles peuvent être de deux types :

- centrale mobile de chantier à dosage continu ou discontinu.
La Direction des routes et de la circulation routière a publié, sur proposition de la Commission du matériel, une liste d'aptitude des centrales de fabrication.
- centrale de béton prêt à l'emploi.
Elles ne seront en général utilisées qu'en appoint ou pour des volumes inférieurs à 2000 m³ sous réserve de disposer des mêmes matériaux. Il existe à ce sujet une liste d'aptitude publiée par la DAEI. Seules les centrales de classe C pourront être utilisées.

La centrale sera au moins de classe B ou de classe C en fonction de l'importance du chantier. Le débit de la centrale doit être adapté aux cadences prévues sur le chantier pour assurer l'approvisionnement de la machine de mise en œuvre sans arrêt (voir le tableau du paragraphe 5.1).

5-3 Transport du béton

Les temps de transport à respecter en fonction des conditions de température sont différents selon les matériels utilisés. Pour une température inférieure ou égale à 20 °C, le temps de transport doit être limité à 90 mn avec une bétonnière portée et à 45 mn avec un camion-benne. Pour une température plus élevée ce temps doit être réduit. Dans le cas d'utilisation d'un retardateur de prise, le temps de transport est défini à partir d'une étude déterminant l'évolution de la consistance du béton dans le temps (voir annexe F de la norme NF P 98-170). Seules les bétonnières portées permettent l'incorporation d'un ajout liquide à l'arrivée sur le lieu de livraison du mélange.

Cet ajout doit être dosé et introduit en une seule fois avant tout déversement de béton et doit être suivi d'une agitation, par rotation de la cuve à une vitesse au moins égale à 12 tours/min, pendant au moins 5 mn. Cette pratique doit rester exceptionnelle. Le maître d'œuvre doit vérifier que le nombre d'engins affectés au transport du béton assure une alimentation régulière de la machine de répandage.

L'itinéraire doit être soigneusement étudié afin que les transports de béton ne puissent pas être perturbés et ne perturbent pas eux-mêmes la circulation locale. On doit étudier également les possibilités de manœuvre des camions, ceux-ci devant se présenter en marche arrière devant la machine de répandage et les alimentateurs. Il faut enfin tenir compte de l'âge et de la résistance des couches de chaussée avant d'y permettre la circulation des camions chargés (10 MPa en compression pour la fondation et 2 MPa en flexion pour le béton de revêtement).

Vérification des moyens de transport du béton

1. la diminution du temps de transport, pour une température ambiante supérieure à 20 °C, peut se faire en appliquant les coefficients approximatifs suivants :

- bétonnière portée : diminution de 5 mn/°C
- benne : diminution de 3 mn/°C

2. en se basant sur un temps d'arrêt de 12 mn à la centrale, de 8 mn à la machine à coffrage glissant et pour une vitesse moyenne de 50 km/h, le nombre théorique des camions N peut être estimé à partir de la formule :

$$N = \frac{T}{CU \times n}$$

$$\text{avec } n \text{ (entier)} = \frac{h}{0,33 + 0,004 d}$$

T = production journalière de la machine à coffrage glissant (en tonne),

CU = charge utile du camion (en tonne),

h = nombre d'heures de travail des camions,

d = distance moyenne entre la centrale et la machine à coffrage glissant (en km).

Les valeurs de ce calcul pourront être ajustées après les premiers jours de chantier.

Le temps de vidange des bétonnières portées est généralement de plus de 15 mn. Il faut encore compter le temps de rotation inverse à grande vitesse, de 15 à 20 s, nécessaire avant le début du déchargement.

Si le béton de fondation et le béton de revêtement doivent être fabriqués simultanément, il y aura lieu de prévoir une identification des livraisons par camion.

Chapitre 6

Mise en œuvre



Aéroport de Paris-Charles de Gaulle : bétonnage d'une voie de circulation

Les chaussées aéronautiques en béton sont généralement réalisées par des machines à coffrage glissant. Toutefois pour de petits chantiers ou des sections particulières, le béton peut être mis en œuvre entre coffrages fixes, avec une machine roulant sur les coffrages ou manuellement, la vibration étant assurée à l'aide d'aiguilles vibrantes.

6-1 Méthode de répandage

Dans la construction d'infrastructures aéronautiques, seules les machines à coffrage glissant (matériel de type C de la norme NF P 98-170) permettent, en section courante, de répondre à la fois aux exigences (densité, uni...) et aux cadences d'exécution recherchées. La suite ne concerne que les machines à coffrage glissant.

Le principe des machines d'exécution est le suivant :

- la largeur de travail varie de 3 à 15 m,
- le châssis principal est supporté par deux, trois ou quatre chenilles par l'intermédiaire de vérins,
- la machine est asservie en direction et nivellement,
- le béton est moulé entre la couche de fondation, les coffrages latéraux et le coffrage supérieur,
- la répartition du béton est assurée par un chariot, ou par une double vis sans fin.

La mise en œuvre se fait par vibration à l'avant de la machine (pervibrateurs, tubes vibrants). La puissance de la vibration est réglée en fonction de la maniabilité du béton.

Il est recommandé d'utiliser les machines à coffrage glissant figurant sur la liste d'aptitude établie par la Direction des Routes.

6-1-1 Guidage

Les références possibles pour le guidage sont les suivantes :

- le support, mais cette solution n'est plus utilisée qu'exceptionnellement,
- la couche adjacente, mais dans ce cas la machine reproduit les défauts d'uni de grandes et moyennes longueurs d'onde,
- un ou deux fils tendus sur des potences,
- un plan laser.

Si le chemin de roulement de la machine de répandage est utilisé comme référence de guidage, son niveau d'uni doit être au moins égal à celui exigé pour la couche à répandre.

Si la référence de guidage est constituée de la couche de chaussée adjacente, celle-ci doit être brossée avant le passage du palpeur.

Si la référence de guidage est constituée d'un fil placé latéralement, il est supporté par des potences dont l'espacement est au plus de 10 m. La tension du fil est telle qu'il ne doit pas présenter de flèche supérieure à 3 mm sous une charge de 50 g placée à égale distance de deux potences successives.

Dans le cas d'un support déformé, il faut s'assurer :

- que les épaisseurs minimales sont en tout point respectées,
- que les zones présentant des surépaisseurs sont repérées afin d'adapter la profondeur du sciage.

6-1-2 Répandage

Préparation du support

Il est recommandé d'arroser le support de la couche de béton afin :

- d'éviter le départ d'eau du béton par succion,
- de refroidir, si besoin est par temps chaud, la couche support.

Déchargement des camions

L'entreprise doit disposer d'un agent devant la machine à coffrage glissant; celui-ci agit en liaison avec le conducteur de cette dernière pour commander le placement et la vidange des camions. Le support doit être capable de supporter sans dommages la circulation des camions.

Le béton étant déversé directement devant la machine, il est important, vis-à-vis de l'uni notamment, que la charge de béton à l'avant de la machine soit régulière et adaptée.

Utilisation d'un alimentateur

Lorsque les conditions de chantier ne permettent pas d'alimenter la machine à coffrage glissant directement, le béton est déversé dans un alimentateur.

Le béton doit être distribué sur toute la largeur de la machine. La hauteur de chute du béton ne doit pas provoquer de ségrégation.

Dans le cas du béton armé continu l'utilisation d'un alimentateur frontal ou latéral est impérative du fait de la présence des armatures.

Vitesse de mise en œuvre

L'énergie de vibration et le temps pendant lequel elle est appliquée au béton permettent d'évacuer l'air présent dans le béton foisonné (à l'exclusion de l'air occlus) et déterminent la compacité.

La vitesse d'avancement doit être adaptée à l'énergie de vibration disponible sur la machine et à l'alimentation en béton. Elle est en général comprise entre 1 et 2 m/mn.

Arrêts de chantier

En cas d'interruption de l'approvisionnement, le conducteur de la machine de répandage doit prendre immédiatement les dispositions nécessaires pour réduire la cadence de mise en œuvre de sorte que la machine s'arrête le moins souvent possible. Si l'interruption est de courte durée, la machine doit être arrêtée avant que le niveau du béton dans le bac ne laisse apparaître les vibrateurs.

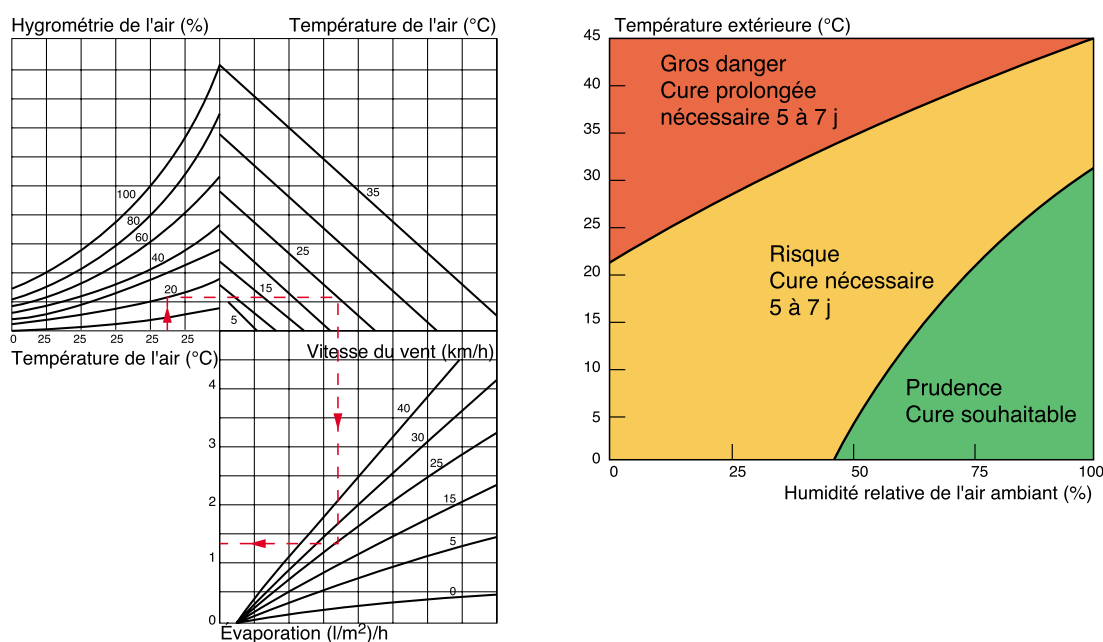
Dans le cas où l'arrêt d'approvisionnement dépasse 1 h 30 (pour une température de l'ordre de 20 °C), et à l'arrêt de bétonnage de fin de journée, l'entreprise doit réaliser un joint de construction.

En cas d'arrêt prolongé de l'atelier de mise en œuvre, le contenu des camions en attente est mis en décharge si l'ouvrabilité du béton est jugée insuffisante pour obtenir une mise en œuvre correcte.

On peut utiliser du béton retardé pour résoudre des cas particuliers, comme des arrêts programmés de quelques heures.

6-1-3 Influence des conditions météorologiques

La cure du béton est nécessaire dans tous les cas. Les conditions atmosphériques ayant une action sur la vitesse d'évaporation de l'eau du béton, il faut adapter en conséquence les modalités de cure. La figure 6.1 reproduit les propositions de l'annexe O de la norme NF P 98-170.



Bétonnage par temps chaud et/ou par temps sec

Le béton avant mise en place est à une température inférieure à 30 °C. Si la température ambiante est supérieure à 20 °C ou si l'hygrométrie est inférieure à 50 %, des précautions particulières sont prises :

- l'heure de début de bétonnage est retardée en fonction de la vitesse de réaction du ciment utilisé, pour éviter que le dégagement de chaleur lié à l'hydratation du ciment ne se produise au moment des fortes chaleurs
- la cure du béton est renforcée jusqu'à un dosage double de celui prévu pour les conditions courantes
- on peut également protéger le béton à l'aide de non-tissés arrosés régulièrement mis en place après la prise du béton (postcure).

Bétonnage par temps froid

La température du béton avant mise en place doit être supérieure à 5 °C. Si la température ambiante est inférieure à 5 °C, tout en restant positive, une protection particulière, comme par exemple une feuille de polyéthylène renforcée est à prévoir avec la même contrainte que celle mentionnée ci-dessus pour les non-tissés. S'il y a des risques de gel dans les 24 h qui suivent la mise en place du béton, le chantier doit être arrêté au moins 6 h (à adapter selon la cinétique d'hydratation du ciment-fin de prise par exemple) avant le moment estimé du passage à 0 °C. La protection doit être suffisamment efficace pour éviter le gel du béton et être gardée en place jusqu'à ce que le dégagement de chaleur, lié à l'hydratation du ciment, maintienne le béton à une température positive

Bétonnage par temps de forte pluie

Il convient en général d'arrêter le bétonnage et de prendre des dispositions visant à protéger la surface du béton et les bords de dalle les plus récents.

Bétonnage par grand vent (> 40 km/h)

Dans le cas de grand vent, il est préférable d'arrêter le chantier. S'il est nécessaire de le poursuivre, la cure de béton est renforcée jusqu'à un dosage double de celui prévu dans les conditions courantes.

6-1-4 Tenue des bords de dalle

La qualité des bords de dalle dépend en grande partie de la régularité de fabrication du béton, de l'avancement de la machine de mise en œuvre et de la position de l'aiguille vibrante du bord de dalle. Une possibilité de réglage existe au niveau des coffrages latéraux. L'affaissement admissible est de 0,5 cm.

6-1-5 Mise en place des goudjous

Pour les chaussées aéronautiques, les goudjous sont prévus dans les joints transversaux comme dans les joints longitudinaux permettant ainsi un libre mouvement du béton dans les deux directions. Il peut en résulter qu'à l'intersection de ces joints, les goudjous (un dans chaque joint) sont trop proches pour permettre ces mouvements. Pour limiter les risques de gêne de ces mouvements, il est souhaitable que la distance minimale entre les extrémités des deux goudjous concernés soit de 30 cm.

La section d'acier devant être conservée dans chaque joint, diverses solutions sont envisageables :

- on distribue irrégulièrement les goudjous du joint longitudinal, le pas étant plus resserré vers le centre de la dalle,

- on resserre les goujons du joint transversal tout en gardant un pas régulier entre les deux goujons d'extrémité de la dalle.

La position des goujons ne doit pas s'écarter en tout point de la position théorique de plus de :

- 2 cm verticalement par rapport à la surface supérieure de la dalle,
- 2 cm latéralement par rapport à l'axe longitudinal de la chaussée.
- 5 cm par rapport au joint transversal

De plus, l'extrémité des goujons ne devra pas s'écarter du plan horizontal de plus de 1 cm vers le haut ou vers le bas.

Cas des joints longitudinaux

Mise en place dans le béton durci

Le goujon est scellé avec un mortier sans retrait ou une résine dans un forage exécuté dans le béton durci.

Mise en place par la machine à coffrage glissant

On peut utiliser un système mécanique qui enfonce le goujon dans la couche de béton à l'état frais avant sa sortie du moule.

Dans les deux cas les goujons seront enduits d'un produit non adhérent (bitume par exemple) sur au moins la partie non scellée.

Cas des joints transversaux

Mise en place sur paniers

Les goujons sont installés à l'avancement sur des supports appelés paniers qui les maintiennent en position pendant le bétonnage. La conception de ces paniers doit être telle qu'elle ne crée pas de liaison entre les dalles au niveau des joints. Il s'agit généralement d'aciers Ø 6 sur lesquels les goujons sont attachés par ligatures ou bloqués par coincement. Les paniers sont eux-mêmes fixés sur la fondation précisément à l'emplacement des joints.

Une alternative peut être également trouvée avec des paniers « inversés » pour lesquels les aciers support sont sciés avec le joint de retrait.



Photo STBA / A. PARINGAUX

Système de mise en place automatique de goujons dans le joint longitudinal



Photo CMRGT

Panier support de goujons pour joint de retrait



Photo CMRGT

Aéroport de Paris-Charles de Gaulle : protection du panier par benne preneuse avant chargement de ce dernier

Pour la mise en œuvre du béton, si on n'utilise pas d'alimentateur latéral, les paniers sont disposés juste à l'avant de la machine. Au moment où elle arrive au joint, on fixe les paniers au sol. Il y a lieu ensuite de prendre des précautions afin de ne pas les écraser lors du déchargement du béton. Le déversement direct sur les paniers est à proscrire et pour « charger » ces derniers il est recommandé de disposer d'une benne preneuse pendant toute la durée du bétonnage.

Mise en place par la machine de mise en œuvre du béton

Il existe plusieurs systèmes s'adaptant sur les machines à béton. Ils distribuent les goudons à leur place, les enfoncent par vibration dans la couche mise en œuvre ; une poutre rectifie ensuite le profil en éliminant l'excès de béton résultant du volume des goudons. La mise en œuvre a lieu sans arrêter la machine, sans gêner l'alimentation de béton et donc la production. On peut constater toutefois une perturbation plus ou moins marquée de l'uni sauf en cas de réalisation en deux couches. Dans ce cas, la deuxième couche mise en œuvre par vibration superficielle derrière la machine fait disparaître totalement les éventuels défauts de surface liés à l'insertion des goudons dans la première couche.

État de surface

À la sortie du coffrage, la surface du béton devrait être lisse et fermée. On peut constater quelquefois des défauts de surface se présentant sous une des formes suivantes : trous, fissures ou arrachements.

Les trous résultent de la vibration du béton, les aiguilles vibrantes sont soit mal placées par rapport à la plaque supérieure du moule, soit trop faibles en puissance. Certains trous (forme à fond plat) proviennent de bulles d'air qui ont été bloquées sous la table. Ces défauts n'ont aucun caractère de gravité et seront effacés par le traitement de surface.

Les arrachements se traduisent par des trous affectant une grande partie de la surface et/ou des angles mal formés aux coins de dalle. Ce phénomène est caractéristique d'une vibration insuffisante : les aiguilles vibrantes sont mal placées par rapport au moule, ou leur nombre est insuffisant, ou enfin leur alimentation est trop faible.

La lisseuse longitudinale à déplacement transversal (super smoother) disposée derrière la machine à coffrage glissant permet d'effacer les défauts isolés tels que trous dus aux bulles d'air, marques résultant d'un arrêt de répandage etc. En aucun cas elle ne peut corriger un défaut de réglage de la machine de répandage ou un manque de vibration.

Cette lisseuse, dont le réglage doit être effectué avec la plus grande attention, entraîne une légère quantité de laitance.

Le lissage par talochage manuel ne doit être utilisé que pour le minimum indispensable.

6-2 Traitement de surface

(Voir les normes NF P 98-170 et NF P 98-245-2)

La plupart des traitements produisant des fines, il est conseillé de protéger les drainages en place et d'assurer la récupération de ces fines.

6-2-1 Modes de traitement

Sur le béton frais

Passage d'une toile de jute

Ceci donne à la surface du béton un aspect plus régulier et plus rugueux. L'humidification de cette toile doit être permanente.

Striage du béton frais

Il peut être réalisé de différentes façons, par passage de balais à poils fins ou à gros poils en fonction de la valeur de « hauteur au sable » visée. Il est transversal sur les aires de manœuvre.

Dénudage chimique du béton (béton désactivé)

Cette technique n'est pas utilisée à ce jour dans le contexte aéroportuaire, mais il n'existe pas de restriction à ce qu'elle puisse l'être. On utilise un produit retardateur de prise répandu à la surface de béton frais. Quelques heures plus tard, suivant la température, on vient éliminer, par brossage et (ou) par lavage à l'eau sous pression, le mortier dont la prise a été retardée. Il est indispensable de réappliquer un produit de cure après la désactivation. Il est conseillé de protéger les drainages en place et d'assurer la récupération des fines produites.

Sur le béton durci

Rainurage transversal

Le rainurage est réalisé à l'aide d'une machine équipée d'un tambour portant des disques diamantés espacés à la demande. Cette technique est surtout utilisée lorsque l'on est confronté à des problèmes d'adhérence ou d'évacuation d'eau.

Grenailage

Cette technique n'est pas utilisée à ce jour dans le contexte aéroportuaire, mais il n'existe pas de restriction à ce qu'elle puisse l'être.

Cette technique consiste à projeter à vitesse élevée sur la surface du béton une fine grenaille d'acier qui est récupérée et recyclée. L'abrasion du mortier dégage la partie supérieure des granulats qui, soumis aussi à l'effet du grenailage, se trouvent nettoyés et dépolis. Le rendement peut atteindre jusqu'à 10000 m²/j. La technique permet de maîtriser l'amplitude de la macrotexture ainsi créée.

6-2-2 Cure du béton frais

Le répandage du produit de cure sur la dalle, y compris les flancs, se fait par pulvérisation après traitement de surface, en général moins d'une demi-heure après la mise en œuvre du béton. Le dosage est fonction des conditions atmosphériques du moment.

La feuille de polyéthylène doit être interdite, d'une part pour raison de collage sur le béton frais, et d'autre part pour cause de « sensibilité » au souffle des réacteurs dans le cas d'un trafic à proximité.

6-3 Joints des structures de chaussée en dalles

6-3-1 Joints de retrait

Des amorces de fissuration sont pratiquées pour éviter que le retrait du béton de ciment n'engendre une fissuration anarchique.

Joints transversaux

L'amorce de fissuration peut être réalisée soit dans le béton frais soit plus couramment dans le béton durci. Une attention toute particulière doit être apportée lors du sciage des bandes de clavage. Il convient en effet de constater l'état d'ouverture des fissures des joints de retrait des bandes primaires adjacentes et, de donner priorité lors du sciage aux joints correspondants dans la bande de clavage (sciage d'un joint sur trois par exemple).



Sciage des joints de retrait

Amorce réalisée dans le béton frais

Cette technique n'est pas pratiquée en milieu aéroportuaire.

Les joints moulés par réservation sont utilisés quand les critères d'uni le permettent. Ce sont des profilés en plastique, ou en bois compressible. Les joints sciés sur une profondeur réduite à 1 ou 2 cm dans le béton frais sont une solution peu pratiquée en France.

Amorce dans le béton durci

Elle est réalisée entre 6 et 36 h après le coulage selon les conditions de chantier par sciage d'une largeur de 3 à 5 mm et d'une profondeur comprise entre le quart (granulats siliceux) et le cinquième (granulats calcaires) de l'épaisseur de la dalle. Le suivi de la fréquence de l'ouverture des joints donnera une indication sur l'adaptation du matériel et de la période de sciage (NF P 98-170 paragraphe 7.6.2).

Dans le cas des dalles goujonnées, la précision de l'implantation des joints transversaux par rapport à la ligne milieu des goujons est au maximum de 5 cm.

Joints longitudinaux

Ces joints existent lorsqu'un bétonnage est effectué en grande largeur ($l > 25e$).

Ils peuvent être réalisés de diverses façons :

- une amorce est faite dans le béton frais par moulage ou par l'introduction d'un profilé qui peut assurer également l'étanchéité du joint (ce procédé reste délicat d'emploi pour l'entretien ultérieur car non rectiligne),
- par sciage dans le béton durci, à la même profondeur que les joints transversaux, dans un délai de 24 à 48 h selon les conditions climatiques qui règnent au moment de la mise en œuvre du béton.

6-3-2 Joints de construction

Joints transversaux de construction

Ils correspondent aux arrêts de bétonnage accidentels ou de fin de journée.

Le joint peut être exécuté soit par coupure, coffrage et finition du béton frais, soit, sur les chantiers importants, par sciage du béton jeune mais durci. Il est perpendiculaire à l'axe de la chaussée.

La densité du béton dans la zone du joint et l'uni de la dalle doivent être identiques à ceux constatés en section courante. Le béton devra donc être vibré à l'aiguille vibrante et surfacé.

Dans le cas des couches de chaussée en dalle de béton, l'extrémité de la dalle est coffrée. Pour les chaussées à trafic élevé, le coffrage possède une forme permettant de réaliser un joint conjugué (figure 6.2). Des trous placés dans l'axe du coffrage permettent la mise en place de goujons

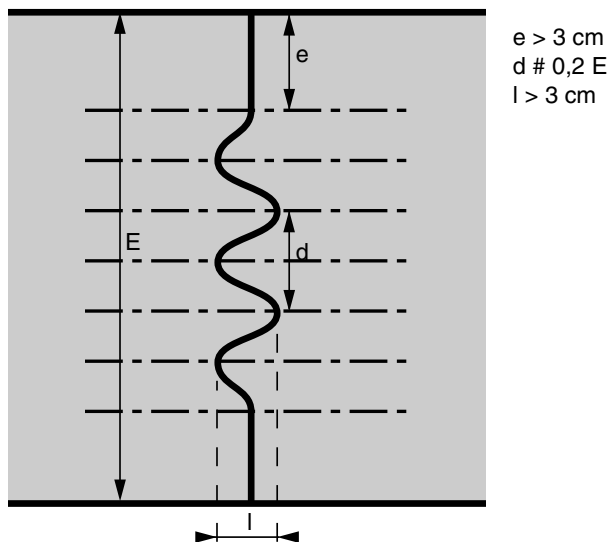


Figure 6.2 - profil d'un joint longitudinal

Joints longitudinaux de construction

Ils correspondent à la liaison entre deux bandes de bétonnage distinctes. Ils doivent être réalisés selon les propositions de la norme NF P 98-170.

Remarque concernant les joints longitudinaux de construction

Il est nécessaire d'élargir par sciage les joints de construction avant de les garnir. Cette opération présente souvent quelques difficultés :

- le sciage engendre des plaquettes qui, une fois enlevées, laissent des épaufrures parfois importantes lorsque les joints ne sont pas parfaitement rectilignes
- dans le cas d'un joint longitudinal, l'affaissement du bord de dalle du premier bétonnage forme une cuvette où la laitance du second bétonnage vient se loger. Ce fait peut masquer la position du joint au scieur, entraînant de façon plus accentuée le défaut indiqué ci-dessus. Dans ce cas, la position du joint peut être légèrement matérialisée avant la prise du béton grâce à une truelle de forme appropriée.

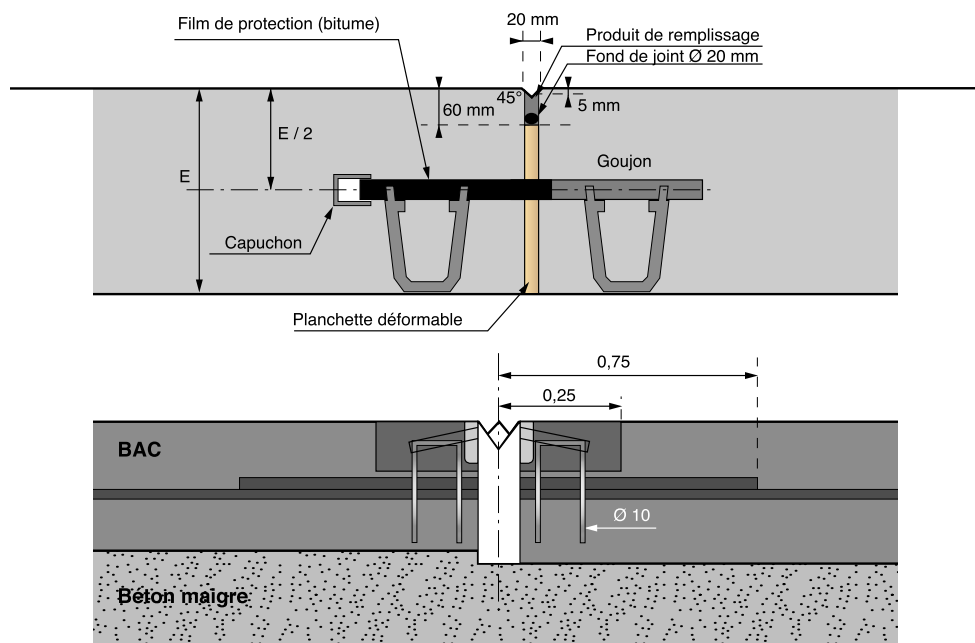


Figure 6.3 - dispositions constructives des joints de dilatation

Joint de dilatation

Le joint de dilatation comporte un matériau compressible dont l'épaisseur est d'au moins 2 cm (cas des structures à joints transversaux) et 6 cm (cas du BAC) (figure 6.3).

6-3-3 Matériel de sciage dans le béton durci

Les scies peuvent avoir une ou plusieurs lames. Lors des essais de convenance, le maître d'œuvre et l'entreprise veilleront particulièrement au réglage d'alignement des machines multilames.

Le parc de matériel de sciage doit permettre de scier la production journalière (y compris le joint longitudinal) à la même cadence que celle de la mise en œuvre. De plus, il faut s'assurer de disposer de machines de secours en cas de panne.

En cas de nécessité, panne d'une machine de sciage ou chute rapide de l'hygrométrie par exemple, on peut scier un joint sur trois puis revenir faire les autres joints aussitôt après et, en tout état de cause, au plus tard 24 h après le bétonnage.

6-3-4 Élargissement et chanfreinage des joints

Avant garnissage, les joints sont élargis en partie supérieure et chanfreinés à l'aide de scies, le chanfreinage évitant l'apparition d'épaufrures au niveau du joint. Il est obligatoire dans le cas d'utilisation de produits coulés à froid.

6-3-5 Garnissage des joints

Il existe deux procédés courants :

- un produit de garnissage coulé à froid ou à chaud,
- des profilés préformés placés dans la réservation.

Il faut s'attacher à faire respecter les conditions suivantes :

- l'identification du produit et la vérification de ses caractéristiques,
- des parois des joints propres et sèches (à moins de spécifications différentes du fabricant),
- si un primaire d'accrochage est nécessaire, l'application régulière de celui-ci en tout point des lèvres du joint et le respect du temps de séchage préconisé,
- une température bien adaptée pour les produits coulés à chaud,
- le dosage prescrit pour les produits coulés à deux composants,
- un choix correct de la largeur pour les produits préformés,
- le niveau du produit de garnissage sera arrêté au bas du chanfrein,
- l'enlèvement de tout produit surabondant éventuel,
- l'interdiction de toute circulation avant le temps de mise « hors poussière » ou de polymérisation préconisée.



Remplissage des joints avec produit à chaud

Photo: STBA / P. MERREIN

6-4 Cas du béton armé continu (BAC)

L'épaisseur de la dalle doit être respectée le mieux possible, car la quantité d'acier est calculée d'après sa section. Pour les chaussées neuves, les tolérances d'épaisseurs sont de 0 à + 2 cm. Dans le cas d'un renforcement, les fluctuations d'épaisseur seront comprises dans la fourchette -1 à + 3 cm.

6-4-1 Pose des aciers

Aciers longitudinaux

Le dispositif de maintien ou de guidage des armatures doit être tel que leur cote dans la couche de chaussée ne s'écarte pas de plus de 2 cm du plan moyen de la couche. La tolérance en plan est de 3 cm par rapport à la position théorique.

Les aciers ronds peuvent être posés soit sur des supports appelés distanciers, soit être placés directement par la machine à coffrage glissant.

Leur longueur est généralement de 16 à 18 m. Ils sont reliés entre eux par recouvrement et ligatures, par manchonnage ou par soudure.

Les rabouages doivent être décalés d'une barre sur l'autre afin d'avoir au maximum un tiers de rabouages dans une section transversale.

Aciers transversaux

Il existe deux possibilités. Dans le cas de distanciers, ceux-ci constituent eux-mêmes l'armature transversale. Sinon, on ajoute un acier transversal de couture des joints longitudinaux tous les mètres.

6-4-2 Joints transversaux de construction

La section du joint est réalisée dans un plan quasi vertical. Les armatures sont doublées sur une distance d'au moins 50 cm de part et d'autre de cette section. Des précautions sont prises pour éviter le mouvement des armatures et pour empêcher les dépôts de béton au-delà du joint.

La figure 6.4 présente un exemple de dispositif permettant l'exécution d'un joint conformément aux exigences précitées.



Chaussée en BAC - disposition des aciers

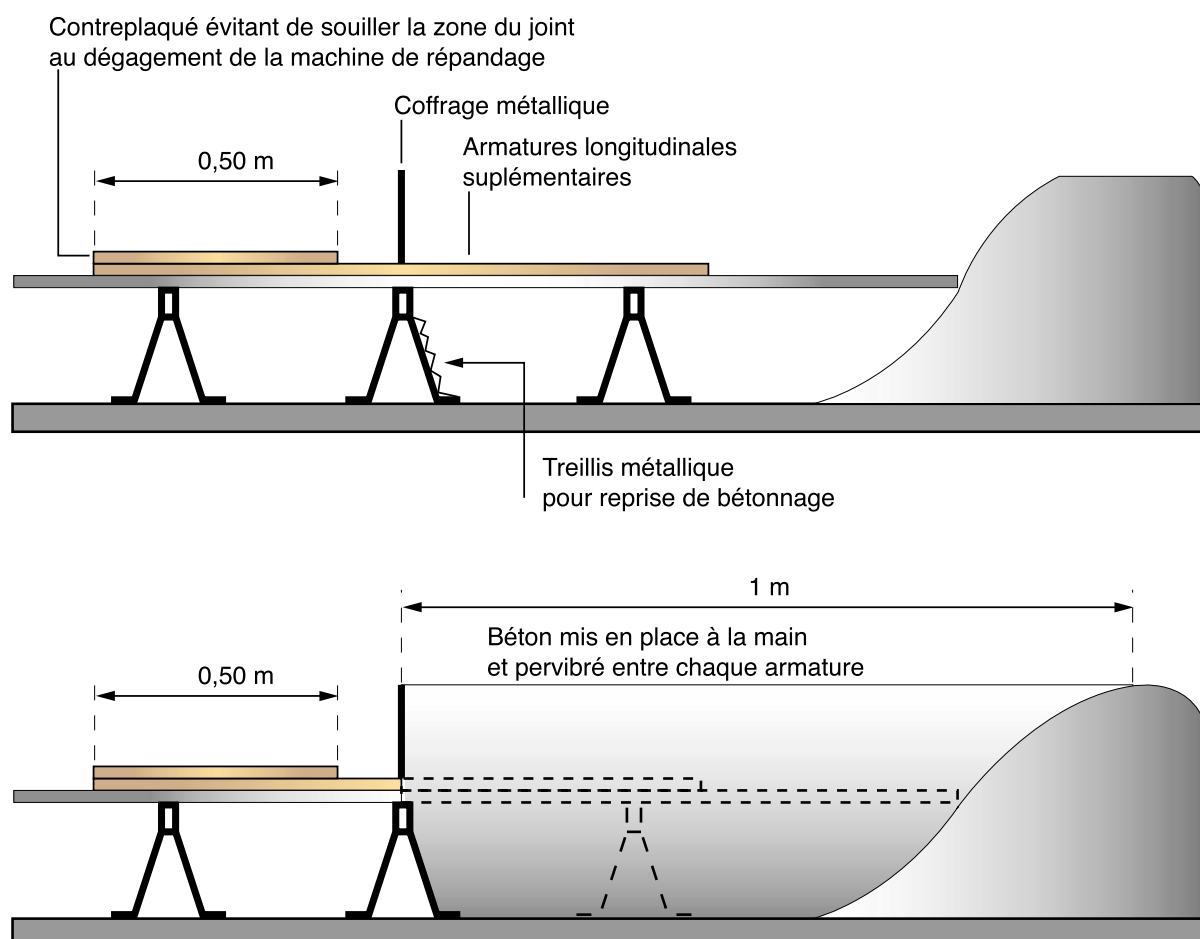


Figure 6.4 - dispositif de réalisation d'un joint transversal de construction

Chapitre 7

Démarche d'assurance de la qualité



Photothèque STBA / P. MERRIEN

Carottage du béton

7-1 Introduction

Le présent chapitre a pour but de rappeler les éléments qui concourent à l'obtention de la qualité et de présenter, sous forme de tableaux synthétiques, les points essentiels afin de piloter au mieux la démarche qualité du chantier. Chacun des tableaux des contrôles est suivi d'une explication afin que le maître d'œuvre ou le maître d'ouvrage assure une répartition adéquate et complémentaire des contrôles entre ceux qu'assurera l'entreprise (contrôle interne et externe dénommé contrôle intérieur dans le reste du document) et le sien propre (contrôle extérieur).

Il est précisé la nature des actions de contrôle et le domaine de compétence des divers intervenants.

7-2 Organisation de la procédure d'assurance de la qualité

L'assurance d'obtenir la qualité est le résultat d'un ensemble de dispositions prises à divers stades : connaissance préalable des propriétés des constituants et des matériels d'exécution, étude de formulation du mélange et épreuve d'étude correspondante, épreuve de convenance de fabrication et de répandage ainsi que contrôle permanent du processus.

Le schéma ci-après résume les points sur lesquels portent les contrôles avant travaux et la nature de ces contrôles.

caractérisation des constituants	→	matériaux certifiés ou non vérifications préalables
propriétés du béton	→	épreuve de formulation épreuve de convenance
caractéristiques de la couche de béton	→	connaissance du matériel épreuve de convenance
adéquation du matériel	→	inscription ou non sur liste d'aptitude épreuve de convenance

À partir de cette base, avec un suivi permanent du processus d'exécution des travaux et des performances des constituants, les contrôles sur le produit béton pourront être réduits à ce qui est nécessaire pour vérifier que l'on ne s'écarte pas de la population de référence.

La norme NF P 98-170, pour le chapitre 7 « Contrôle des travaux », a été rédigée dans ce sens. Aussi les fréquences proposées pour les essais correspondent à des fréquences minimales qu'il y a lieu de retenir si toutes les informations attendues ont été obtenues aux stades précédents. Si ce n'est pas le cas, c'est non seulement le stade concerné qu'il faut vérifier mais l'ensemble de la procédure d'assurance de la qualité qu'il faut réviser.

La répartition des rôles pendant le chantier peut être représentée comme suit :

régularité des constituants	contrôle du processus	contrôle des spécifications	vérification de l'application du PAQ
entreprise (avec résultats d'essais des fournisseurs)	entreprise	répartition entre entreprise et laboratoire du maître d'œuvre selon les indications du marché	laboratoire du maître d'œuvre
contrôle intérieur		↔	contrôle extérieur

Le contrôle des spécifications peut être :

- entièrement de la responsabilité du maître d'œuvre ; l'entreprise ne réalise alors que le contrôle des constituants et des processus de production que le maître d'œuvre vérifie par référence aux

indications du PAQ,

- entièrement de la responsabilité de l'entreprise; dans ce cas le maître d'œuvre vérifie alors l'application du PAQ et fait les essais nécessaires pour assurer la confiance dans les résultats d'essais présentés par l'entreprise,
- partagé entre les deux parties, le maître d'œuvre vérifie l'application du PAQ, fait les essais nécessaires pour assurer la confiance dans les résultats d'essais présentés par l'entreprise et effectue le contrôle des spécifications qui lui incombent.

Les réactions possibles suite à la constatation de non conformités doivent être adaptées à l'importance du dysfonctionnement : correction immédiate apportée par l'entreprise, arrêt du bétonnage pour correction du défaut, arrêt des travaux avec reprise subordonnée à l'accord du maître d'œuvre. Les divers cas de réaction sont explicités dans le tableau figurant en annexe et consacré à l'organisation du contrôle d'exécution.

Les chapitres suivants présentent respectivement les contrôles avant, pendant et après travaux.

7-3 Contrôles avant travaux

N°	Activité	Contrôles	Point arrêt	Références (1)	Commentaires
1a	étude de formulation	- épreuve d'étude		cf. chapitre 4 de ce guide FD P 98-171	- c'est l'entreprise qui fournit les granulats (5) - l'épreuve d'étude est l'ensemble des essais réalisés une fois que la formule est arrêtée et qui permettent de s'assurer que les spécifications sont atteintes.
1b	acceptation de l'étude	- épreuve de vérification	■	cf. chapitre 4 de ce guide FD P 98-171	épreuve réalisée par le maître d'œuvre qui permet de s'assurer que la formulation proposée résulte bien d'une étude conforme à la norme FDP 98-171.
2	élaboration du PAQ	- audit puis validation du PAQ		documents qualité	- vérifier que l'entreprise a prévu de fournir les informations nécessaires pour l'exécution des essais permet tant la levée des points d'arrêts. - s'assurer de l'existence des fiches d'anomalies et que leur circuit de diffusion permette de renseigner sur les dispositions prises par l'entreprise.
3	réception de la plate-forme de stockage	- absence de risque de pollution	■	document spécifique à la construction de plates-formes	- c'est l'entreprise qui fournit les granulats (5)
4	stockage des constituants du béton	# produits certifiés - réception des constituants - enregistrement des résultats des contrôles des fournisseurs - prélèvements conservatoires # produits non certifié (6) - réception des constituants - essais selon une cadence adaptée aux débits d'approvisionnement et au niveau des spécifications requises - prélèvements conservatoires		Normes cf. chapitre 4 de ce guide fascicule 28	- se reporter au chapitre 5 de ce guide - le PAQ devra préciser les dispositions prévoyant la continuité de l'approvisionnement du ciment
5	Réglage et calibrage des matériels de fabrication et de mise en œuvre	Épreuve de convenance de fabrication # centrale de chantier figurant sur la liste d'aptitude - identification de la centrale (2) - essai d'homogénéité des caractéristiques du béton frais (consistance, air occlus, granulométrie) - essais de fendage à 7 et 28 jours (4)	■ ⁽³⁾	paragraphe 5 de la norme NF P 98-170 NF P 98-730	- à cette occasion on réalise sur les centrales de fabrication le calibrage des systèmes d'acquisition de données (dosage et malaxage) - la règle générale est de respecter un délai de 7 jours entre les épreuves de convenance de fabrication et de mise en œuvre. Toutefois si les résistances mécaniques obtenues à l'épreuve d'étude sont supérieures d'au moins 5 % aux valeurs requises, les deux épreuves de convenance pourront se succéder sans délai
		# centrale de béton prêt à l'emploi figurant sur la liste d'aptitude - vérification de l'équipement de la centrale (2) - essais sur béton frais (consistance, air occlus) - essais de fendage à 7 et 28 jours (4)	■ ⁽³⁾	XP P 18-305 règlement pour - l'inscription sur la liste d'aptitude NF P 98-730 P 18-305	- les constituants devront être conformes aux exigences du marché. - la centrale BPE devra communiquer son PAQ spécifique au chantier. - la règle générale est de respecter un délai de 7 jours entre les épreuves de convenance de fabrication et de mise en œuvre. Toutefois si les résistances mécaniques obtenues à l'épreuve d'étude sont supérieures d'au moins 5 % aux valeurs requises, les deux épreuves pourront se succéder sans délai. - les constituants devront être exclusivement ceux utilisés pour l'étude.
		# centrale de chantier ou de béton prêt à l'emploi non inscrite sur la liste d'aptitude - inspection du matériel (2) - essai d'homogénéité des caractéristiques du béton frais (consistance, air occlus, granulométrie) - essais de fendage à 7 et 28 jours (4)	■ ⁽³⁾		- le point d'arrêt peut être levé à l'issue des essais à 7 J

N°	Activité	Contrôles	Point arrêt	Références (1)	Commentaires
5 (suite)	Réglage et calibrage des matériels de fabrication et de mise en œuvre (suite)	Épreuve de convenance de mise en œuvre # machine de répannage du béton figurant sur la liste d'aptitude - identification du matériel - contrôle des dimensions de la couche - prélèvement de carottes pour essais (compacité et résistance mécanique) # machine de répannage ne figurant pas sur la liste d'aptitude - inspection et vérification du matériel - contrôle des dimensions de la couche - prélèvement de carottes pour essais (compacité et résistance mécanique) #autres matériels paniers (supports de goujons) - inspection du modèle alimentateur béton - inspection visuelle aciers - contrôle de la position des aciers dans la couche de béton - continuité des armatures - inspection visuelle cure - identification du produit - contrôle du dosage moyen et de la répartition - inspection visuelle en cas d'emploi de feuille de polyéthylène sciage - contrôle dimensionnel des joints garnissage des joints - identification du produit - contrôle de l'étanchéité.	■(3) ■(3) ■	paragraphe 5 de la norme NF P 98-170 NF P 98-734 NF P 98-244 NF P 98-245-1	- le maître d'œuvre pourra convenir que le démarrage de la première bande de béton soit le support de l'épreuve de convenance de mise en œuvre - la bande de référence sera réalisée en dehors de l'ouvrage. - l'usage d'un produit blanc est préférable - éviter cette solution - la feuille sera sans déchirures

(1) **Références** : ces références s'ajoutent aux références générales : NF P 98-170, fascicules 3, 23 et 28 du CCTG, CCTP du marché ainsi qu'au guide à l'usage des surveillants de travaux.

(2) **Définitions**

Identification : opération permettant de s'assurer que le matériel mis en place est identique au matériel décrit par la fiche technique publiée par la Commission du matériel ou la Commission d'agrément.

Vérification : opération permettant de s'assurer que l'équipement de la centrale répond aux besoins du chantier (nombre de possibilités de stockage des classes granulaires, nombre de doseurs à adjuvants, débit de la centrale...).

Inspection : opération permettant de s'assurer que l'équipement de la centrale répond aux besoins du chantier et que les performances des matériels satisfont aux exigences de qualité du mélange (reconnaissance du niveau de la centrale).

(3) **Levée du point d'arrêt** : ce point d'arrêt pourra être levé provisoirement à partir des résultats du contrôle sur béton frais, cette levée devant être confirmée après obtention de l'ensemble des résultats.

(4) **Échéance des essais** : l'échéance de 28 jours est reportée à 56 jours dans le cas de l'utilisation d'un liant à prise lente.

(5) **Fourniture des granulats et étude de formulation** : voir texte encadré page 71.

(6) **Utilisation de produits ou de matériels non certifiés** : voir annexe 5.

Commentaires

Les contrôles correspondant aux activités 1b, 2, 3 et 5 relèvent normalement du contrôle extérieur, ceux correspondant aux activités 1a et 4 relèvent normalement du contrôle intérieur.

Le contenu des épreuves de convenance de fabrication et de mise en œuvre, tel que défini par la norme NF P 98-170, est rappelé dans l'encadré ci-dessous.

Fourniture des granulats et étude de formulation par le maître d'œuvre

Il peut arriver, pour des raisons économiques propres à une région, que le maître d'ouvrage fournisse, à l'entreprise adjudicataire des travaux de chaussée, les granulats. Dans ce cas, la réception de ces granulats ainsi que la réalisation de l'étude de formulation du mélange doivent être organisées spécifiquement comme indiqué ci-après.

a) Réception des granulats

Les constituants (granulats) livrés sur le chantier jusqu'à la prise en charge par l'entreprise, sont réceptionnés par le maître d'ouvrage.

Après la prise en charge du chantier par l'entreprise, c'est elle qui assure la réception des granulats au lieu de stockage au fur et à mesure de leur livraison, le maître d'ouvrage maintenant son contrôle en carrière.

Dans cette situation l'entreprise doit :

- 1-reconnaître et accepter la plate-forme de stockage avant le début d'approvisionnement,
- 2-reconnaître et accepter les stocks déjà réalisés (remplacer le point d'arrêt de l'activité 3),
- 3-prendre en charge les granulats au moment de l'approvisionnement.

Le programme d'approvisionnement des matériaux doit être suffisamment précis au moment de l'appel d'offres pour que l'entreprise soit en mesure d'apprécier le volume d'activité de contrôle qui lui incombe.

b) Étude de formulation

Elle est, dans ce cas, à la charge du maître d'ouvrage.

Dans cette situation l'entreprise peut effectuer une épreuve de vérification des performances du béton ce qui doit la conduire à accepter, éventuellement avec réserves, la formulation (remplace le point d'arrêt de l'activité 1b).

c) Sujétions particulières

Le choix de l'entreprise titulaire du marché doit être fait suffisamment à l'avance pour qu'elle puisse :

- 1-formuler un avis sur la qualité de la plate-forme,
- 2-proposer une organisation des stocks (pour tenir compte, en particulier, des dispositions des centrales à béton, des circuits de camions et de chargeurs.)

7-4 Contrôles pendant travaux

N°	Activité	Contrôles	Références (1)	Commentaires
1	conditions générales d'exécution	- recueil des données météo - bilan quotidien des constituants disponibles	PAQ	- concerne les informations de la journée et les prévisions du lendemain - préalable à chaque démarrage.
2	fabrication du béton/constituants - ciment - adjuvants suivi de la fabrication caractéristiques du béton frais caractéristique du béton durci	accompagnés d'un certificat de conformité aux normes (2). - suivi d'auto contrôle du cimentier - prélèvements conservatoires. - prélèvements conservatoires. - suivi de la régularité du dosage et du malaxage. - édition d'un bordereau de fabrication (par gâchée pour les fabrications discontinues, par équivalent camion pour les fabrications continues). - consistance. - air occlus. - résistance mécanique.	- annexe P de NF P 98-170 XP P 98-772 NF P 18-451 NF P 18-353 NF P 18-408	- le protocole d'accord fournisseur de ciment/entreprise doit prévoir l'envoi des résultats du contrôle intérieur du fournisseur de ciment quotidiennement (par télécopie) - ce suivi est effectué à l'aide de systèmes d'acquisition de données (module et wattmètre enregistreur) - le PAQ doit prévoir des seuils (dosage, malaxage) au-delà desquels une action corrective doit être envisagée. - en principe les essais (consistance, air occlus) sont faits sur le lieu de mise en œuvre. Toutefois on admet qu'ils puissent être faits sur le lieu de fabrication, un correctif étant apporté aux résultats en fonction des conditions de transport - pour chacun de ces essais on doit identifier le béton par le bordereau de fabrication.
3	mise en œuvre des aciers	- positionnement des aciers. - propreté des aciers (BAC).	- plan de ferrailage - chapitre 5 de ce guide	Ce contrôle est effectué avant la mise en place du béton (BAC sur distancier, goudons sur paniers) ou dans le béton frais derrière la machine.
4	mise en œuvre du béton	- implantation des fils de guidage. - tension des fils de guidage. - qualité du chemin de roulement (portance, uni). - non absorption de l'eau du béton par le support. - respect d'une quantité optimale de matériaux devant la machine et de sa répartition transversale. - vérification de l'aspect de surface en sortie de moule. - géométrie de la dalle affaissement des bords de dalle planéité à la règle largeur de la dalle position du joint longitudinal état du dispositif de transfert de charges longitudinal - épaisseur du béton	PAQ	peut nécessiter quelquefois l'arrosage de la couche support Ce contrôle peut s'effectuer soit par référence par rapport aux fils de guidage soit directement à l'aide d'une « pige » dans le béton frais
5	traitement de surface du béton - dosage du produit de cure - feuille de polyéthylène - striage ou balayage	- contrôle visuel - contrôle visuel du recouvrement - contrôle de la conformité à la planche d'essai - hauteur au sable	PAQ NF P 98-275-1	on s'assurera visuellement qu'il est répandu un minimum de produit sur la surface et les flancs du béton. Un bilan de consommation quotidien devra être effectué ainsi que des essais simples de dosage.
6	joints	- position, espacement - largeur et profondeur - contrôle de l'ouverture des joints des journées précédentes	Paragraphe 3.1.1 du chapitre 6	

(1) Ces références s'additionnent aux références générales (NF P 98-170, Fascicules 3, 23 et 28 du CCTG, CCTP du marché) ainsi qu'au guide à l'usage des surveillants de travaux.

(2) Dans le cas contraire, une procédure particulière est à mettre en place (voir annexe 4)

Dans l'orientation actuelle du contrôle de qualité, l'essentiel de ces contrôles devrait être exécuté par l'entreprise au titre de l'aide à la conduite du chantier.

Un tableau traitant de l'organisation du contrôle d'exécution figure en annexe au présent guide. Il donne le détail des actions de contrôle, précise ce qui est normalement du ressort de l'entreprise, la nature des opérations devant, dans tous les cas, être assurée par le contrôle extérieur ainsi que les suites à donner en cas de détection d'une non-conformité.

7-5 Contrôles après travaux

Caractéristiques	Contrôles	Références (1)	Commentaires
uni	APL	Circulaire uni (mode opératoire)	En attendant la mise au point de notes spécifiques au domaine aéroportuaire, celles du domaine routier sont applicables.
adhérence	mesures de hauteur au sable	NF P 98-216-1 Circulaire adhérence (mode opératoire)	
glissance résistance du béton	CFL carottages pour essais de fendage	NF P 18-408	Mesure au moyen de l'IMAG Le diamètre de la carotte doit être supérieur ou égal à 10 cm. Dans le cas du béton armé continu, un repérage des aciers est nécessaire. ce contrôle est éventuellement réalisé en cas de doute
épaisseurs de béton	carottages ou nivellement		nécessite au préalable un relevé de la couche support

(1) Ces références s'additionnent aux références générales (NF P 98-170, Fascicules 3, 23 et 28 du CCTG, CCTP du marché) ainsi qu'au guide à l'usage des surveillants de travaux.
Sauf indication contraire spécifique (dans le CCTP par exemple) l'ensemble des contrôles après travaux relève normalement du contrôle extérieur.

Épreuves de convenance de fabrication et de mise en œuvre

On distingue l'épreuve de convenance de fabrication et l'épreuve de convenance de mise en œuvre. Ces épreuves ont pour but de vérifier que les matériels mis en service sur le chantier permettent d'obtenir les performances prévues pour le déroulement du chantier et pour les caractéristiques de l'ouvrage. Elles font partie du contrôle extérieur.

Toute épreuve de convenance comporte :

- un examen du matériel,
- une vérification de son fonctionnement,
- l'exécution d'un élément de référence.

C'est à l'issue de ces trois opérations, réalisées pour chaque composition de béton et pour chaque couche répandue, que les épreuves de convenance peuvent être réputées satisfaisantes.

Épreuve de convenance de fabrication

Examen du matériel

Stockage des constituants

Il consiste à vérifier que les conditions de stockage sont telles que :

- il n'y a pas de risque de mélange des constituants :
 - les tas aux sols sont distincts,
 - les trémies, silos et bacs sont séparés,

- la quantité stockée sur le parc de la centrale ou éventuellement chez le fournisseur est suffisante pour garantir le bon déroulement du chantier.
- les équipements des installations assurent, aux constituants, la conservation de leurs caractéristiques :
 - l'aire de stockage des granulats est drainée,
 - les constituants en suspension dans un liquide sont stockés dans des cuves équipées d'agitateurs.

Centrale de fabrication

Il consiste à reconnaître la classe de la centrale en vérifiant que la centrale possède les équipements correspondant à la classe annoncée.

Vérification des réglages de la centrale

Elle est réalisée conformément à la norme NF P 98-730.

Exécution de l'élément de référence

L'élément de référence est constitué d'une série d'éprouvettes confectionnées à partir d'une production de béton correspondant à :

- trois gâchées par malaxeur dans le cas de fabrication discontinue,
- 5 mn de fabrication, au débit moyen prévu pour le chantier, dans le cas de fabrication continue.

Pour cette fabrication on relève les informations « dosage » et « malaxage » et on effectue trois prélèvements. Sur chaque prélèvement on réalise :

- phase 1 :
 - une mesure de la consistance du béton,
 - une mesure de la teneur en air occlus,
- phase 2 :
 - une mesure de la résistance mécanique du béton à partir de trois éprouvettes. Les essais mécaniques retenus sont du même type que ceux retenus lors de l'étude. Ils sont effectués avec une échéance définie en fonction des performances atteintes à l'épreuve d'étude.

Si la centrale est de type C (norme NF P 98-730), la production pour essais peut être ramenée à une seule gâchée (par malaxeur).

Cas des chantiers où il est spécifié des bétons de résistance mécanique de classe 1 ou 2

Si la centrale est de type C, les résultats des contrôles effectués sur des fabrications préalables de bétons réputés identiques à ceux prévus pour le chantier peuvent être utilisés au titre d'éléments de référence.

Dans les autres cas, l'élément de référence est confectionné à partir d'une gâchée (par malaxeur) sur laquelle on effectue un prélèvement. Les essais à réaliser sont identiques à ceux réalisés dans le cas précédent.

Conclusions sur l'élément de référence

L'élément de référence est réputé satisfaisant si :

- les tolérances de dosage sont respectées (voir NF P 98-730),

- la courbe d'efficacité du malaxage montre que l'on a atteint une stabilisation de la puissance de malaxage,
- la teneur en air occlus est supérieure à 3 % et inférieure à la valeur maximale éventuellement prescrite,
- la consistance et la résistance mécanique, mesurées selon les normes correspondant aux essais retenus, sont conformes.

Dans ces conditions, si des résultats d'essais ont été obtenus à l'âge de 7 j, ils servent de repères pour les essais de contrôle du chantier au même âge.

Épreuve de convenance de mise en œuvre

Examen du matériel

L'épreuve consiste à vérifier :

- que le nombre d'engins de transport du béton prévu est suffisant en fonction de l'éloignement du lieu de mise en place,
- que le matériel de répandage correspond au type annoncé,
- que le nombre de matériels de sciage prévu correspond au nombre nécessaire.

Vérification du fonctionnement du matériel

Elle consiste à réaliser un essai de répandage au cours duquel on vérifie le fonctionnement de tous les matériels mis en service.

Matériel de transport

On vérifie, pour le temps de transport maximal prévu pour le chantier, que l'évolution de la consistance du béton est au plus égale à celle admissible, déterminée par l'étude de composition.

Matériel de répandage

On vérifie que :

- l'action sur les éléments de guidage (machine de répandage de type C) provoque une réaction de la machine au niveau des vérins,
- la mise sous tension ou sous pression des éléments vibrants provoque leur mise en fonctionnement instantanée,
- la position relative des éléments vibrants et des éléments moulants permet d'obtenir une surface fermée (1).

Matériel de surfacage

Pour la strieuse, on vérifie que le mouvement du balai permet de réaliser des stries sur toute la largeur de la couche à strier, et que le pas d'avancement de la machine permet d'avoir des séries de stries jointives.

Pour les machines de répandage du produit de cure, on vérifie la régularité de dosage sur la surface de la dalle ainsi que le dosage moyen. Le répandage de chacun de ces produits est réputé satisfaisant si chaque valeur moyenne ne s'écarte pas de plus de 10 % de la valeur prévue et si aucune valeur n'est inférieure à 80 % de la valeur moyenne.

(1) les éventuels défauts admissibles à la surface d'une couche de béton, sur laquelle il est prévu un traitement de surface, sont ceux laissés par les bulles d'air éclatant en surface.

Matériel de sciage

Dans le cas d'utilisation de scies à plusieurs lames, on vérifie que l'alignement des lames ne provoque pas de recouvrement des traits de scie supérieur à 1 mm.

Matériel pour l'étanchement des joints

Dans le cas d'étanchement à l'aide de produits coulés, on vérifie que la hauteur de produit dans le joint est au moins de 2,5 cm.

Épreuve de référence

Elle consiste à exécuter une bande de 200 m, appelée aussi planche de référence, dans les mêmes conditions que celles prévues sur le chantier. Elle est réalisée sur les chantiers dont la surface à construire est supérieure à 5000 m².

Selon les chantiers cette épreuve sera :

- soit une épreuve spécifique exécutée en dehors de la zone des travaux (1),
- soit la première journée de répandage de l'ouvrage à réaliser (2).

Lors de cette épreuve, on s'assure que le béton fabriqué répond aux prescriptions du chantier.

Sur la planche de référence (pendant ou après l'exécution), on réalise les mesures prévues par le cahier des charges du chantier selon les phases suivantes :

- phase 1 (en cours d'exécution) :
 - les dimensions géométriques (largeur et épaisseur) en trois points,
 - les profils en long en bord et sur l'axe de la bande,
 - les affaissements de bord de dalle en dix points,
 - la position des armatures (chaussée en béton armé continu) en cinq points,
 - la position des goudjons en cinq points,
 - la continuité de la cure en tout point de la surface de la dalle (surface supérieure et flancs).
- phase 2 (après exécution) :
 - la résistance mécanique sur cinq carottes, ces mêmes carottes servant à mesurer l'épaisseur de la couche et sa densité,
 - la rugosité en dix points sur la couche répandue,
 - l'uni dans l'axe de la couche répandue et, pour les couches de roulement, dans l'axe de chaque voie,
 - la profondeur des joints en trois points d'un joint sur cinq joints
 - l'épaisseur de produit de garnissage du joint en un point du joint sur dix joints pris au hasard,
 - l'absence, à la surface de la couche de cassures du béton, et de fissures de la dalle (en dehors des fissures transversales dans le béton armé continu).

(1) On sous-entend par « zone des travaux » la couche supérieure de l'ouvrage. Ainsi dans le cas de travaux où l'on exécute des couches superposées, les planches de référence peuvent être exécutées en lieu et place des couches inférieures sous réserve que ces planches de référence ne modifient pas les conditions de fonctionnement de l'ouvrage.

(2) C'est le cas notamment lorsque le matériel de répandage vient d'être utilisé pour effectuer un chantier d'importance au moins équivalente.

Annexe 1

Références bibliographiques

Documents appelés en référence par le guide

(12/1994) *Conception et dimensionnement des structures de chaussée*. Guide technique LCPC, SETRA,

(1988) *Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodromes et la détermination des charges admissibles* (vol. 1 et 2) - DGAC/SBA,

(1983) *Manuel de conception des chaussées d'aérodromes* - 3e partie - OACI,

(1999) *Instruction technique sur les aérodromes civils* (ITAC, chapitres 5 à 11) - DGAC/SBA,

(03/1981) *Stockage des granulats - Aires de stockage*. Guide technique SETRA, LCPC,

Liste d'aptitude des centrales de fabrication de la Direction des routes - BOMEL

Liste d'aptitude des machines à coffrage glissant de la Direction des routes - BOMEL

Liste d'aptitude des centrales de béton prêt à l'emploi - DAEI/BOMEL

(22/12/1992) *Qualité de la Route*, circulaire de la Direction des routes,

(1971) *Construction des chaussées en béton hydraulique. Guide de chantier à l'usage des surveillants et conducteurs de travaux* - LCPC/SETRA D 7102

(12/1978) *Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics passés au nom de l'État. Fascicule 28 : Exécution de chaussées en béton de ciment*. Fascicule spécial N° 78-51 ter, circulaire n° 78-160 du 15 décembre 1978.

Bétons de sable - Presses de l'ENPC. Paris.

Autres documents

Ray M., (1985) : Drainage et érodabilité des fondations et des bandes d'arrêt d'urgence des chaussées en béton - *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées* n° 138

Brull A., Raimbault G., Griselin J-F., Christory J-P., (1985) : Les arrivées de l'eau dans les chaussées en béton de ciment - *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées* n° 138

(09/1990) : Chaussées en béton. Concrete pavements - Numéro spécial XVI du *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*.

(1995) : Matériels - Numéro spécial XVIII du *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*.

(1991) : *Obtention et maintien de l'uni des chaussées en béton* - Comité technique AIPCR des routes en béton. Rapport 07.03.B.

(1992) : *Évaluation et entretien des chaussées en béton* - Comité technique AIPCR des routes en béton. Rapport 07.04.B.

(1991) : *Voirie à faible trafic en béton de ciment. Guide du prescripteur* - Centre d'information de l'industrie cimentière.

(1995) : *Conception et exécution du béton désactivé. Voiries et aménagements urbains* - CIMbéton-LCPC-IVF-CERTU.

(1993) : Bonnet G., : Bilan de l'utilisation en France des connecteurs de dalles LCPC-Freyssinet dans les chaussées en béton - *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées* n° 184.

(1982) *Le béton hydraulique, connaissance et pratique* - Presses de l'ENPC

(1989) *Chaussées en béton de ciment - Cours de route* - Presses de l'ENPC

(10/1998) *Fissuration des chaussées en béton de ciment* - Guide technique LCPC.

Annexe 2

Normes relatives aux chaussées en béton de ciment

Les dates indiquées correspondent aux derniers textes publiés au moment de la rédaction de ce guide. Il y a lieu de s'assurer si des révisions de ces documents n'ont pas été effectuées au moment de l'utilisation de ce référentiel. La référence à ces documents, dans les pièces du marché, ne doit pas en principe citer la date de publication afin que le dernier texte paru sur le sujet s'applique.

1 Normes de spécifications des chaussées en béton, du béton, des constituants du béton et des produits pour chaussées en béton

1-1 Chaussées en béton de ciment

NF P 98-170 avril 1992 Chaussées en béton de ciment - Exécution et contrôle.

1-2 Bétons

NF P 18-010 déc 1985 Bétons - Classification et désignation des bétons hydrauliques.
XP P 18-305 juin 1996 Béton - Béton prêt à l'emploi.
NF P 18-500 juin 1995 Bétons - Béton de sable.
FD P 98-171 avril 1996 Chaussées en béton de ciment - Étude de formulation d'un béton - Détermination de la composition granulaire conduisant à la compacité maximale du béton.

1-3 Constituants du béton

1-3-1 Liants

NF P 15-301 juin 1994 Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité.

1-3-2 Granulats et additions

XP P 18-540 oct 1997 Granulats - Définitions - Conformité - Spécifications.
NF P 18-501 mars 1992 Additions pour béton hydraulique - Fillers.
NF P 18-506 mars 1992 Additions pour béton hydraulique - Laitier vitrifié moulu de haut fourneau.
NF P 18-508 juil 1995 Additions pour béton hydraulique - Additions calcaires - Spécifications et critères de conformité.
NF P 18-509 en cours Additions pour béton hydraulique - Additions siliceuses - Spécifications et critères de conformité.
NF EN 450 août 1995 Cendres volantes pour béton - Définitions, exigences et contrôle de qualité (indice de classement P 18-050).

1-3-3 Adjuvants

NF P 18-103 août 1989 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Définition, classification et marquage.
XP P 18-330 déc 1990 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Hauts réducteurs d'eau.
NF P 18-333 déc 1986 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Fluidifiants.
NF P 18-335 déc 1986 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Plastifiants.
NF P 18-336 déc 1986 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Réducteurs d'eau - plastifiants.
NF P 18-337 mars 1990 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Retardateurs de prise.
NF P 18-338 déc 1986 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Entraîneur d'air.

1-3-4 Eau

NF P 18-303 août 1999 Eau de gâchage du béton.

1.4 Produits pour chaussées en béton

1.4.1 Produits de cure

NF P 18-370 juil 1995 Adjuvants - Produits de cure pour bétons et mortiers - Définition, spécifications et marquage.

1.4.2 Aciers

NF A 35-015 juil 1984 Armatures pour béton armé - Ronds lisses.

NF A 35-016 déc 1986 Armatures pour béton armé - Barres et fil machine à haute adhérence.

1.4.3 Produits pour joints (DIRR 104 623)

SS S 200 E nov 1971 Produits polymérisables - Anti kérosène

SS S 1401 C nov 1974 Caractéristiques des produits mono composants

SS S 1614 A nov 1969 Caractéristiques des produits mono composants - Anti kérosène

2 Normes d'essais

2.1 Essais sur les bétons

2.1.1 Béton frais

NF P 18-353 août 1989 Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Mesure du pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aéromètre à béton.

NF P 18-421 déc 1981 Bétons - Mise en place par microtable vibrante.

NF P 18-422 déc 1981 Bétons - Mise en place par aiguille vibrante.

NF P 18-423 déc 1981 Bétons - Mise en place par piquage.

NF P 18-451 déc 1981 Bétons - Essai d'affaissement.

NFP 18-452 mai 1988 Bétons - Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres.

NF P 98-248 - 2 nov 1993 Essais relatifs aux chaussées - Essai propre au béton de diamètre D supérieur à 40 mm - Affaissement au cône.

2.1.2 Béton durci

NF P 18-400 déc 1981 Bétons - Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques.

NF P 18-404 déc 1981 Bétons - Essai d'études, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes.

NF P 18-406 déc 1981 Bétons - Essai de compression.

NF P 18-407 déc 1981 Bétons - Essai de flexion.

NF P 18-408 déc 1981 Bétons - Essais de fendage.

NF P 18-418 déc 1989 Bétons - Auscultation sonique - Mesure du temps de propagation d'ondes soniques dans le béton.

NF P 18-420 juin 1995 Bétons - Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline.

2.2 Essais sur les constituants du béton

2.2.1 Liants

NF P 15-431 fév 1994	Liants hydrauliques - Technique des essais - Détermination du temps de prise sur mortier normal.
NF P 15-433 fév 1994	Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement.
NF P 15-436 sept 1988	Liants - Mesure de la chaleur d'hydratation des ciments par calorimétrie semi adiabatique (dite méthode du calorimètre de Langavant).
XP P 15-466 août 1983	Liants - Reconnaissance rapide des ciments à la livraison par rapport à un échantillon de référence.
NF EN 196-1er mars 1990	Détermination des résistances mécaniques (indice de classement P 15-433).
NF EN 196-6 mars 1990	Détermination de la finesse (indice de classement P 15-477).
NF EN 196-7 août 1990	Méthodes de prélèvement et d'échantillonnage du ciment (indice de classement P 15-477).

2.2.2 Granulats

XP P 18-560 sept 1990	Granulats - Analyse granulométrique par tamisage.
XP P 18-561 sept 1990	Granulats - Mesure du coefficient d'aplatissement.
XP P 18-591 sept 1990	Granulats - Détermination de la propreté superficielle.
XP P 18-592 déc 1990	Granulats - Essai au bleu de méthylène - Méthode de la tache.
XP P 18-597	Granulats - Détermination de la propreté des sables ; équivalent de sable à 10 % de fines.

2.3 Essais sur les produits pour chaussées en béton

2.3.1 Produits de cure

NF P 18-371 juil 1995	Adjuvants - Produits de cure pour bétons et mortiers - Détermination du coefficient de protection.
-----------------------	--

2.3.2 Aciers

NF EN 10002-1 oct 1990	Matériaux métalliques - Essais de traction - Méthode d'essai (à la température ambiante) (indice de classement A 35-001).
NF A 35-018 juil 1984	Armatures pour béton armé - Aptitude au soudage.
XP P 98-249 déc 1996	Essais relatifs aux chaussées - Adhérence béton armature - Essai ABA.

2.3.3 Produits pour joints de chaussées et scellement de fissures

NF P 98-282 sept 1992	Produits d'étanchéité des ouvrages d'art - Liaison au support - Mesure de l'adhérence au support.
NF P 98-283 sept 1992	Produits d'étanchéité des ouvrages d'art - Essai de traction - Détermination de la résistance et de l'allongement.
NF P 98-284-1 sept 1992	Produits d'étanchéité des ouvrages d'art - Résistance à la fissuration provoquée - Essai sur produits coulés adhérent au support.
NF P 98-285 sept 1992	Produits d'étanchéité des ouvrages d'art - Dureté - Détermination de la dureté shore.
NF T 66-008 juil 1979	Point de ramollissement
NF T 60-114 mai 1970	Pénétrabilité au cône
Norme ASTM	Essai de traction D 3583

3 Essais sur la couche de chaussée ou sur carottes prélevées dans la couche de chaussée

NF P 98-244 oct 1993	Essais relatifs aux chaussées - Mesure de la position des aciers dans le béton de ciment
NF P 98-245-1 juil 1994	Essais relatifs aux chaussées - Répandage d'un produit sur la surface d'une couche en béton de ciment - Mesure de la répartition d'un produit liquide.
NF P 98-245-2 juil 1994	Essais relatifs aux chaussées - Répandage d'un produit sur la surface d'une couche en béton de ciment - Mesure de la répartition d'un produit granulaire.
NF P 98-246 oct 1993	Essais relatifs aux chaussées - Mesure de l'étanchéité des joints de chaussées en béton de ciment.

4 Normes sur les matériels utilisés pour l'exécution des chaussées en béton

NF P 98-701 mai 1993	Matériels de construction et d'entretien des routes - Centrales de traitement des matériaux - Terminologie et performances.
NF P 98-730 sept 1992	Matériels de construction et d'entretien des routes - Centrale de fabrication du béton de ciment - Définition des types de centrales et essais pour la vérification des réglages.
NF P 98-734 mars 1992	Matériels de construction et d'entretien des routes - Machines de répandage des mélanges granulaires - Machines à coffrage glissant pour la mise en place du béton de ciment - Terminologie - Prescriptions.
NF P 98-744-1 déc 1993	Matériels de construction et d'entretien des routes - Calibrage et vérification des réglages sur chantier des doseurs continus des centrales de production de matériaux - Débitmètre de bande pour courroie transporteuse.
NF P 98-744 -2 oct 1996	Matériels de construction et d'entretien des routes - Calibrage et vérification des réglages sur chantier des doseurs continus des centrales de production de matériaux - Doseur pondéral à granulats.
NF P 98-744-3 oct 1996	Matériels de construction et d'entretien des routes - Calibrage et vérification des réglages sur chantier des doseurs continus des centrales de production de matériaux - Doseur volumétrique à granulats.
NF P 98-744-4 oct 1996	Matériels de construction et d'entretien des routes - Calibrage et vérification des réglages sur chantier des doseurs continus des centrales de production de matériaux - Doseur pondéral à pulvérulent - Essai par prélèvement sur courroie.
NF P 98-744-5 oct 1996	Matériels de construction et d'entretien des routes - Calibrage et vérification des réglages sur chantier des doseurs continus des centrales de production de matériaux - Doseur pondéral à pulvérulent - Essai par pesée matière.
XP P 98-772 mars 1996	Matériels de construction et d'entretien des routes - Module d'acquisition de données pour les centrales de fabrication des mélanges granulaires - Description et spécifications fonctionnelles - Module pour la fabrication continue.

Annexe 3

Étude de formulation du béton de ciment

Constitution de l'étude

Dans une étude de formulation, on distingue les opérations suivantes :

- l'établissement de la formule nominale,
- l'étude de sensibilité des caractéristiques du béton aux variations de dosage des constituants,
- l'épreuve d'étude (estimation des performances du béton),

cette dernière comprenant la vérification du respect des exigences.

Le fascicule de documentation FD P 98-171 décrit le contenu d'une étude de formulation d'un béton routier.

Établissement de la formule nominale

À partir d'une formulation théorique (Faury, Bolomey, respect d'un fuseau granulaire, Dreux...) on fait varier dans une première phase le rapport sable granulat (S/G) en conservant constantes les quantités de ciment, d'eau, de granulats (fillers, sable, gravillons et cailloux) et d'agent entraîneur d'air. On mesure dans chacune des situations la consistance du béton (maniabilité) et l'on retient généralement la proportion qui aboutit à la valeur minimale de la consistance (figure 1).

Dans la pratique, on peut, pour des raisons propres au chantier, se décaler légèrement de cette position optimale. Cet écart peut avoir quelques répercussions sur la sensibilité des caractéristiques du béton aux fluctuations de dosage des constituants, il faut donc bien vérifier toutes les retombées possibles de cette décision.

Dans une seconde phase, pour le rapport S/G fixé à la valeur déterminée précédemment, on fait varier la quantité d'eau et éventuellement de plastifiant en conservant tous les autres paramètres constants. On retient la combinaison eau-plastifiant qui conduit à la consistance souhaitée (pour le moyen de mise en œuvre prévu sur le chantier) en respectant un rapport pondéral eau ciment (E/C) généralement compris entre 0,45 et 0,50.

Au cours de la deuxième phase on mesure dans chacune des situations la consistance, la teneur en air occlus et la résistance mécanique du béton.

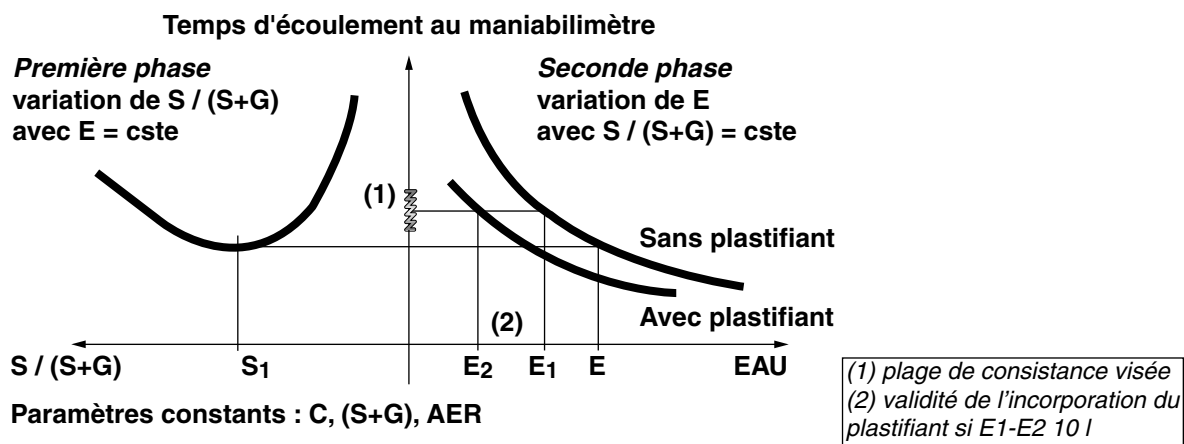


Figure 1 - schéma représentant les deux parties de l'étude réalisée à l'aide d'un maniabilimètre LCL

Sensibilité des caractéristiques du béton aux variations de dosage des constituants

Cette étude consiste à s'assurer que des modifications volontaires de proportion des constituants, qui pourraient correspondre à des adaptations de chantier, ne provoquent pas de modification de ces performances au-delà d'une limite acceptable. Les modifications visées concernent principalement la quantité de plastifiant (en vue le plus souvent d'allonger la durée pratique d'utilisation du béton), l'incorporation d'éléments fins (en vue d'accroître la cohésion interne du béton), l'incorporation d'un adjuvant (pour conférer au béton des propriétés particulières).

Les performances directement contrôlées sont la consistance et la teneur en air occlus et, si cela est nécessaire, la résistance mécanique.

Épreuve d'étude

L'épreuve d'étude consiste à vérifier que les niveaux des performances requis sont atteints et que les fluctuations accidentelles de dosage des constituants ne modifient pas de façon sensible les performances du béton. Les performances contrôlées sont :

- la résistance mécanique (fendage ou compression),
- la teneur en air occlus du béton (sur béton frais),
- le rendement de la composition (sur la base de la masse volumique réelle du béton compacté à refus),

et, si elle apparaît au contrat (contrôle extérieur ou PAQ de l'entreprise), la consistance du béton.

Annexe 4

Détail de l'organisation du contrôle d'exécution

Malgré la distinction stricte des tâches les informations liées au contrôle, recueillies par l'une et l'autre parties, doivent être échangées dans leur intégralité.

Chantier	Contrôle intérieur permanent		contrôle des spécifications	contrôle extérieur permanent		suites		
phases	ce qui déclenche	action à faire		origine de l'action	action à faire	réactions immédiates	conséquences	reprise du bétonnage
prévision météo	station météo locale, orage température ou gel préventives	information journalière mesures		information par l'entreprise	examen des mesures préventives		report du bétonnage, décalage dans la journée ou renvoi au lendemain	
relevé météo		mesures particulières de protection du béton	information en continu par station de chantier, vent, température, hygrométrie, bilan journalier		examen de l'application des dispositions particulières	arrêt de bétonnage en cas de forte pluie ou gel		
bilan du stockage (de tous les constituants, y compris ceux fournis par le maître d'œuvre)	infos journalières granulats, eau, ciment, adjuvants additions armatures, goudrons produit de cure.	- bordereau de livraison - bilan de consommation - inspection des stocks - registres		information par l'entreprise	- examen des bordereaux de livraison - examen de l'état des stocks		décalage du bétonnage si les quantités de ciment et de produit de cure sont insuffisantes	
livraison des constituants	chaque livraison	identification du produit par bons de livraison et classement des bons		registre	éventuellement prélèvement de ciment et d'adjuvants	refus de la livraison	arrêt de chantier si la qualité n'est pas conforme	
caractéristiques du ciment	télécopie des résultats prévus au protocole préventives	- vérification journalière - mesures		double de la télécopie	examen éventuel des informations	signal d'alarme	valeurs hors tolérances larges	point d'arrêt
fabrication du mélange		- entretien du matériel - surveillance du dosage et du malaxage	enregistrement permanent des paramètres de fabrication		bilan journalier (avec fiches d'incidents)	rejet de la fabrication	arrêt de la fabrication éventuellement	
fonctionnement du matériel	entretien périodique	- suivi du matériel - vérification par pesées matière		action inopinée	présence lors des vérifications	reprise du calibrage		
caractéristiques du béton	- suivi permanent de la fabrication - essais périodiques sur béton (consistance)	- wattmètre enregistreur - enregistrement des pesées	- consistance et air occlus : un essai selon périodicité prévue au marché - résistance mécanique (consistance air occlus, éprouvettes) un essai selon périodicité prévue au marché		cartes de contrôle	rejet de la fabrication à partir des essais sur béton frais		
transport du béton	évolution des caractéristiques du béton frais examen visuel	mesure des temps de transport et d'attente	essais éventuel de consistance à la mise en place	action inopinée		rejet du camion	si raidissement fréquent, arrêt de bétonnage	point d'arrêt si raidissement systématique
implantation des fils de guidage	avancement du chantier	relevé topo pour une installation sur une grande distance		action inopinée	relevé topo sur la couche de béton	corrections		point d'arrêt
tension des fils de guidage	indications du PAQ	contrôle selon la procédure du PAQ		examen visuel	noter les zones douteuses	remise en tension		

Chantier	contrôle intérieur permanent		contrôle des spécifications	contrôle extérieur permanent		suites		
phases	ce qui déclenche	action à faire		origine de l'action	action à faire	réactions immédiates	conséquences	reprise du bétonnage
chemin de roulement des chenilles	patinage des chenilles examen visuel	entretien de l'état des chemins		examen visuel	noter les zones douteuses		arrêt de bétonnage et compactage éventuel du sol support	
préparation des armatures (roulement) la rectitude	- aspect des aciers - rupture des liaisons	aboutement maintien de la propreté et de	éventuellement essais de traction	examen visuel	noter les zones concernées	changement des aciers salis	si rupture fréquente arrêt de bétonnage	point d'arrêt si rupture systématique
comportement des armatures (roulement)	croisement des armatures examen visuel	rangement devant la machine		examen visuel	noter les zones concernées	arrêt de la machine en cas de mélange	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : joint de construction	
introduction des goudjons (roulement)	absence de goudjons, difficultés d'insertion ou mauvaise tenue des supports	approvisionnement, fonctionnement de l'inserteur ou reprise de la fixation des supports		examen visuel	noter les zones concernées	arrêt de la machine en cas d'absence ou de mauvaise tenue	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : joint de construction	point d'arrêt
état de surface du support (fondation)	risque d'absorption examen visuel	arrosage		examen visuel	noter les zones concernées	faire arroser la couche support		
état de surface du béton maigre (fondation)	risque d'entraînement entre couches par collage ou engrenement.	cure préalable au bétonnage du béton de roulement		examen visuel	noter les zones concernées	faire compléter la cure		point d'arrêt
alimentation de la machine	difficultés d'avancement béton pénétrant dans les trompettes (BAC)	action sur la vitesse d'avance réglage de la position des trompettes		examen visuel	noter les zones concernées	arrêt de la machine si du béton entre dans les trompettes	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	
état du béton en sortie de la table	aspect de surface	réglage des vibreurs et contrôle du matériel pour obtenir une surface supérieure lisse et fermée		examen visuel	observation de l'état de surface (n'admettre le talochage que très ponctuellement)	arrêt de la machine si on constate des trous importants en grand nombre	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	
position des aciers (roulement)			essais dans le béton frais et éventuellement dans le béton durci			arrêt de la machine si les aciers sortent des tolérances	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	
état des bords de la couche de roulement (roulement)	arrachement aux angles	ajuster la vibration talochage		examen visuel	n'admettre le talochage que sur une largeur inférieure à 20 cm	arrêt de la machine si l'angle est systématiquement arraché	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	
tenue des bords du béton de roulement (roulement)	affaissement de bord (aspect visuel)	ajuster la vibration renfort des bords de dalles (coffrages légers)	mesure à la règle	examen visuel		arrêt de la machine si les affaissements sont trop importants	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	point d'arrêt
dimensions de la dalle	périodique	mesure par référence aux fils de guidage réglage de la machine	éventuellement essais dans le béton durci	examen visuel	présence au moment de la mesure	arrêt de la machine si l'épaisseur est hors tolérances	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	point d'arrêt

Chantier	contrôle intérieur permanent		contrôle des spécifications	contrôle extérieur permanent		suites		
phases	ce qui déclenche	action à faire		origine de l'action	action à faire	réactions immédiates	conséquences	reprise du bétonnage
matériel de répandage du retardateur	vérification périodique	essai de régularité transversale et longitudinale		vérification inopinée	essais de chantier	nettoyage et réglage des gicleurs		
matériel de répandage du produit de cure	essai périodique	essai de régularité transversale et longitudinale		vérification inopinée	essais de chantier	nettoyage et réglage des gicleurs		
cure du béton frais		- agitation du produit, - visualisation de la surface - bilan des consommations	essai périodique et en cas de doute	examen visuel	- prélèvement conservatoire du produit de cure - noter les zones douteuses	arrêt de l'atelier de répandage si la cure n'est pas satisfaisante	si l'arrêt de l'atelier est > 1 h 30 : arrêt de bétonnage et joint de construction	point d'arrêt
positionnement des joints de retrait transversaux	en continu	repérage au sol selon le projet	vérification périodique	examen visuel	relevé des zones concernées			
sciage des joints	suivi du comportement du béton	choix du moment de sciage	contrôle de la forme des joints	examen visuel	relevé des zones concernées			
alignement des joints	en continu	traçage des joints et réglage de la scie		examen visuel	relevé des zones concernées	réglage de la scie		
uni courtes longueurs d'onde (roulement)	dès qu'il est possible de marcher sur le béton	essai avec la règle de trois mètres		inopinée	essais avec la règle ou transverso-profilographe	signal d'alarme		point d'arrêt
bétons de fin de journée (roulement)	à chaque coulage	adaptation du béton aux conditions atmosphériques	essais de consistance et d'air occlus	examen visuel	noter les zones concernées	rejet de la gachée		
joints de construction (roulement)	à chaque exécution	procédures du PAQ		examen visuel	noter les anomalies	adapter le PAQ		
arrêts de bétonnage (supérieur à 30 minutes)	à chaque fois	procédures du PAQ et éventuellement joint de construction		examen visuel	noter précisément l'emplacement, l'heure et la durée	en cas de dépassement de 1 h 30 exécution d'un joint de construction		
circulation de chantier sur la dalle	contrôle de la résistance du béton	essais mécaniques		compte rendu d'essai fourni par l'entreprise	noter les périodes et les zones de circulation	blocage de la circulation		
ouverture des joints ou fissuration de la dalle	relevé journalier de l'apparition des fissures et de l'ouverture des joints	mesures particulières de déroulement du bétonnage		examen visuel		signal d'alarme		point d'arrêt
remplissage des joints		nettoyage des joints conditions du PAQ	essai d'étanchéité					
striage	examen visuel	réglage du balai	essai HS par lot de chantier					
uni général (roulement)			essai à l'APL par lot de chantier	périodique éventuellement par kilomètre sur chaque couche	la couche)		exécution de	point d'arrêt (après
rugosité (roulement)			essai HS par lot de chantier	périodique			grenailage	
résistance mécanique			essai sur carottes par lot de chantier	éventuellement				

Annexe 5

Utilisation de constituants, produits, matériaux ou matériels ne bénéficiant pas de certification

(marque (NF), liste d'aptitude (Ld'A), avis technique (AT)...)

objet	certification en place	préparation du chantier		réception sur chantier (en complément des contrôles prévus par la norme NF P 98-170)		contrôle en cours de chantier (en complément de ceux prévus par la norme NF P 98-170)	
		informations	cadre	informations	cadre	informations	fréquence
ciment	NF	résultats d'essais relatifs aux propriétés prévues par la norme NF P 15-301	épreuve d'étude de formulation	résultats d'essais : - résistance mécanique - temps de prise - maniabilité	au fur et à	prélèvement conservatoire	à chaque confection d'éprouvettes de béton
granulats	NF	résultats d'essais relatifs aux propriétés prévues par la norme P 18-541	et contrôle	résultats d'essais : - granulométrie - propreté	mesure de la	résultats d'essais : - granulométrie du sable - propreté	par jour de fabrication
adjuvants - plastifiant - agent entraîneur d'air (AER)	NF	résultats d'essais pour la fonction principale des spécifications des normes : plastifiant : NF P 18-335 ou NF P 18-336 AER : NF P 18-338	intérieur du producteur sur au moins 6 mois	résultats d'essais sur le béton concernant : - plastifiant : maintien de la consistance pendant une heure - AER facteur d'espacement < 0,3 mm	livraison et lors des épreuves	prélèvement conservatoire	à chaque confection d'éprouvettes
additions	NF	résultats d'essais relatifs aux propriétés prévues par les normes	(moyenne et écart-type)	résultats d'essais : - coefficient d'activité - demande en eau	de convenance	prélèvement conservatoire	de béton
béton (BPE)	NF	description détaillée et complète. références de chantiers livrés par la centrale	réponse à l'appel d'offres ou PAQ	résultats d'essais de réglage prévus par la norme NF P 98-730	lors des épreuves de convenance	relevé des dosages enregistrement de la courbe d'efficacité du malaxeur	pour chaque gachée
produit de cure	NF	résultats d'essais relatifs à l'efficacité du produit de cure tels que prévus par la norme (NF P 18-370)	plan d'assurance	identification et masse volumique du produit utilisé au moment de l'épreuve de convenance	au fur et à mesure de la	mesure de la masse volumique et prélèvement conservatoire	pour chaque conteneur
produits pour joints*	avis LCPC	résultats d'essais relatifs aux propriétés prévues par les normes de la sous série NF P 98-280		essais d'élasticité et de poinçonnement	livraison	essais d'élasticité et de poinçonnement	à chaque livraison
armatures	NF	résultats d'essais relatifs aux propriétés prévues par la norme NF A 35-016 XP P 98-249. 1 et éventuellement NF A 35-018	de la qualité	- limite élastique et à la rupture - essai d'adhérence ABA - essai de traction en cas de soudage (10 ech.) lors de l'épreuve de convenance	et lors des épreuves de convenance	résultats d'essais relatifs à la limite élastique et à la rupture essai de traction en cas de soudage (3 ech.)	à chaque livraison par semaine
goujons	NF	résultats d'essais relatifs aux propriétés prévues par la norme NF A 35-015	(PAQ)	résultats d'essais relatifs à la limite élastique et la résistance à la rupture	de répannage	résultats d'essais relatifs à la limite élastique et la résistance à la rupture	à chaque livraison
centrale à béton	L d'A	description détaillée et complète référence du matériel ou d'un matériel identique	réponse à l'appel	résultats des essais de vérification des réglages prévus par la norme NF P 98-730	lors des épreuves de convenance de fabrication	résultats d'essais sur : - doseurs et malaxeur - mesures de consistance et d'air occlus	hebdomadaire toutes les deux heures de fabrication
machine à coffrage glissant	L d'A	description détaillée et complète. référence du matériel ou d'un matériel identique	d'offres ou PAQ	inspection du matériel pour les aspects prévus pour l'inscription sur la liste d'aptitude	lors des épreuves de convenance de répannage		

* La Commission de normalisation européenne prépare une série de normes relatives aux produits pour joints et sur les essais caractérisant ces produits. La liste de ces essais est jointe à la suite de ce tableau.

Norme européenne en préparation pour les produits pour joint

Référence	Numéro d'ordre	Titre
227064	301	Spécification pour les produits pour joint appliqués à chaud
227064	302-01	Point de ramollissement bille anneau
227065	302-02	Détermination de la masse volumique des produits appliqués à chaud
227065	302-03	Détermination de la pénétration au cône des produits appliqués à chaud
227065	302-04	Détermination de la pénétration au cône et de la résilience des produits appliqués à chaud
227065	302-05	Détermination de la stabilité en température-Variation de la pénétrabilité des produits appliqués à chaud
227065	302-06	Détermination de la résistance au fluage des produits appliqués à chaud
227065	302-07	Préparation des échantillons pour essais des produits appliqués à chaud
227065	302-08	Endommagement fonctionnel (à chaud et à froid) pour routes et chaussées aéronautiques
227065	302-09	Détermination du changement de poids après immersion dans un produit hydrocarboné des produits appliqués à chaud
227065	302-10	Détermination de la compatibilité des produits appliqués à chaud avec l'enrobé de la couche de chaussée
227065	302-11	Détermination de l'adhésion et de la cohésion après des essais d'extension et de compression en continu
227065	302-12	Préparation des blocs d'essais
227065	302-13	Confection des blocs en béton pour les essais de collage-Méthode de composition
227065	302-14	Détermination de l'adhésion et de la cohésion pour des produits appliqués à chaud pour routes et chaussées aéronautiques-essais d'extension par palier

Annexe 6

Béton de sable

Le béton de sable, défini par la norme NF P 18-500, se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable (s), l'absence ou le faible dosage en gravillons (rapport pondéral gravillons/sable inférieur à 0,7). Il se distingue des mortiers par un plus faible dosage en ciment et surtout par sa destination : comme matériau de construction à l'instar du béton traditionnel.

L'emploi de béton de sable, en remplacement des bétons maigres, peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique, dans le cas d'une situation d'excédents de sables (naturels ou de carrière) accessibles à des coûts moindres que les granulats courants.

Par rapport au béton traditionnel, la mise en œuvre du béton de sable ne présente pas de difficultés particulières. Seuls quelques aménagements sont nécessaires sur les machines à coffrage glissant.

Les connaissances acquises sur le béton de sable, par le projet national Sablocrête, sont transcrites dans l'ouvrage Bétons de sable. La présente annexe ne donne que quelques indications sur ce matériau et son emploi en chaussée.

1. Les composants du béton de sable

Tout type de sable (naturel ou de carrière) peut a priori convenir, s'il respecte, du point de vue de la propreté, les exigences de la norme XP P 18-540.

Les ciments utilisés doivent être normalisés. Compte tenu des résistances mécaniques généralement demandées, un ciment de classe 32,5 suffit.

Comme pour les bétons traditionnels, on peut envisager d'incorporer un correcteur granulaire ainsi que des additions en substitution partielle du ciment. L'emploi d'entraîneurs d'air est obligatoire, celui de plastifiants est recommandé.

2. Conception des chaussées en béton de sable

En l'état actuel de la technique, l'utilisation du béton de sable en couche de revêtement est à exclure. Il peut toutefois être utilisé en couche de fondation.

L'épaisseur minimale des couches en béton de sable est de 15 cm pour garantir une inertie suffisante et des tolérances de construction satisfaisantes.

Annexe 7

Béton de ciment poreux



Sous couche de béton poreux

Le béton de ciment poreux est utilisé comme couche intermédiaire entre une grave-ciment et le béton de revêtement afin d'assurer l'écoulement des eaux pénétrant dans les joints et d'éviter l'érosion de la couche de fondation.

Pour cette utilisation, le béton poreux doit assurer le drainage rapide des eaux qui s'infiltrent dans le corps de chaussée ainsi que la portance de la structure, et ce, sans produire de fines libres.

Les propriétés à rechercher sont :

- une forte porosité par des pores de grande taille favorisant un transit rapide de l'eau,
- une cohésion suffisante du matériau, en particulier de ses éléments fins,
- une résistance mécanique proche de celle de matériaux de couches de chaussée.

En outre, le béton poreux doit résister à l'agression chimique des eaux pures ou chargées en sels de déverglaçage et son mortier doit être protégé des effets du gel.

Vis-à-vis du dernier objectif, il est conseillé de choisir :

- un dosage en ciment relativement élevé compte tenu des propriétés mécaniques visées, de l'ordre de 160 kg/m³,
- un ciment de classe 32,5 au laitier (CHF ou CLK-CEM III) ou contenant des ajouts très réactifs (CPJ-CEM II/A ou B aux cendres volantes ou au laitier) ou encore des ciments des classes précédentes et conformes à la norme NF P 15-317 (ciments pour travaux à la mer). On peut aussi utiliser un mélange de CPA-CEM I et de cendres volantes si ce ciment est déjà utilisé sur le chantier,
- l'utilisation d'un entraîneur d'air.

Le premier objectif, forte porosité par des pores de grande taille, est obtenu avec une formule granulométrique discontinue avec un D élevé et une quantité relativement faible de sable. Par exemple, un béton 0/40 mm contenant 100 à 200 kg/m³ de sable 0/5 mm et des gravillons 20/40 mm. Le sable doit être maintenu afin que les ponts entre granulats soient constitués d'un mortier qui résiste mieux aux agressions chimiques qu'un liant hydraté pur. La porosité ouverte à viser lors de l'étude est comprise entre 15 et 20 %, ce qui correspond à une porosité totale supérieure de 2 à 3 %.

Le deuxième objectif, cohésion du matériau en particulier de ses éléments fins, est obtenu en choisissant un dosage relatif ciment/sable, ainsi que la granulométrie du sable, afin d'obtenir un mortier riche et compact avec le minimum d'énergie de serrage. Pour cela, et en raison des moyens de mise en œuvre habituellement choisis, il est conseillé d'utiliser des adjuvants améliorant la maniabilité (plastifiants) et réduisant les risques de ségrégation du mortier (colloïdes). Il faut remarquer qu'il est préférable, en raison des résistances visées, de choisir un ciment de classe de résistance faible et fortement dosé plutôt que l'inverse.

Le troisième objectif, résistance mécanique proche de celle d'une couche de chaussée, conduit à viser à obtenir sur chantier, une résistance à la compression supérieure à 3 MPa à 7 j et 10 MPa à 90 j.

La mise en œuvre ne peut pas être faite par le matériel habituel de construction des chaussées en béton, c'est-à-dire en utilisant le serrage par vibration interne. Il est conseillé d'utiliser des matériels serrant le matériau par compactage : finisseur à haut pouvoir de compactage ou finisseur et atelier de compactage. La maniabilité du matériau peut être adaptée à l'énergie de compactage effectivement disponible. Dans certains cas, elle peut aussi être adaptée à une mise en place sans atelier de compactage ; la résistance à la ségrégation (essorage du mortier par gravité) doit ici être particulièrement examinée. Enfin, comme tous les matériaux traités aux liants hydrauliques, le béton poreux doit subir une cure efficace. La porosité du matériau nécessite un choix particulier du mode de cure : une géomembrane ou une émulsion bitumineuse largement dosée sont préférables aux produits de cure traditionnels pour béton compact.

L'ouvrage de drainage réalisé en béton poreux a un rôle important dans la bonne tenue dans le temps de la chaussée (éviter le phénomène de pompage). Les contrôles de qualité ne sont donc pas moins importants que ceux des autres parties de l'ouvrage. Ils sont à conduire sur le même schéma et avec la même finalité que ceux de la chaussée principale (voir chapitre 7).

Même avec les choix précédents de constituants, le béton poreux reste un matériau sensible aux eaux pures : il est donc indispensable de surveiller et d'entretenir périodiquement l'étanchéité des joints de la chaussée afin qu'il joue le rôle qui lui est attribué, c'est-à-dire, évacuer les eaux dont l'infiltration dans le corps de chaussée ne peut être maîtrisée.

Annexe 8

Emploi de liants hydrauliques routiers

L'utilisation de certains de ces liants uniquement pour la réalisation des couches de fondation de chaussées en béton peut être envisagée s'il en résulte une réduction sensible du coût de construction. D'un point de vue technique, le seul avantage que l'emploi de ces liants peut présenter par rapport aux ciments normalisés, est de permettre, pour un coût inférieur, des dosages en liant plus élevés améliorant ainsi l'ouvrabilité et la compacité du matériau.

Il est recommandé de retenir un liant pour lequel on dispose d'un avis technique, le liant devant faire en outre l'objet d'un suivi, garanti par le fournisseur, qui apporte l'assurance d'une régularité de ses caractéristiques.

L'étude de formulation doit être menée en prenant en compte la spécificité de ces liants et, en particulier, les conditions d'emploi fixées par l'avis technique et le développement dans le temps des caractéristiques mécaniques.

Leur temps de prise et leur courbe de durcissement devront être compatibles avec les conditions de chantier : il faut que les bétons puissent rapidement résister à des précipitations (délavage de surface, affaissement des bords) et qu'une circulation de chantier puisse en général être rétablie dans des délais raisonnables.

En couche de fondation, les critères d'érodabilité devront être respectés.

1 - Caractéristiques données par l'avis technique ou par le producteur

Il faut obtenir du producteur son engagement à respecter, pendant toute la durée de la livraison, les caractéristiques annoncées. Le maître d'œuvre doit alors évaluer la part de contrôle de qualité qui reste à sa charge, afin de pouvoir faire une comparaison économique avec l'emploi d'un liant normalisé.

Les caractéristiques devant être renseignées sont :

- la composition du liant,
- la surface spécifique Blaine et la courbe granulométrique,
- la teneur en alcalins,
- le temps de prise,
- la résistance mécanique à 7 et 28 j,
- les précautions d'emploi,
- la démarche d'assurance qualité.

On utilisera de préférence des liants dont la résistance mécanique s'apparente à celle des ciments de la classe 32,5 ou des classes supérieures.

2 - Essais à réaliser avant de lancer l'étude de béton

Des essais sont d'abord à réaliser, conformément aux normes, sur mortier normal :

- prise,
- résistance mécanique à 24 h, 48 h, 72 h...,
- retrait,
- gonflement,
- maniabilité,

- compatibilité avec les adjuvants, en particulier avec le produit entraîneur d'air et avec les plastifiants envisagés.

Les critères à respecter sont :

- une prise entre 1 h 30 et 5 h,
- une résistance à la compression R_c (48 h) > 6 MPa,
- un retrait à 28 j $< 1000 \mu\text{m/m}$,
- une stabilité ≤ 10 s.

3 - Essais complémentaires à l'étude de béton classique

Le comportement des matériaux constitués avec ces liants spéciaux étant plus mal connu que celui des bétons de ciments normalisés, en complément de l'étude traditionnelle des bétons de ciment (cf. annexe 3), il convient d'examiner :

- l'influence des dosages en adjuvants sur l'ouvrabilité et la teneur en air occlus,
- l'évolution au jeune âge de la résistance mécanique,
- l'évolution de la maniabilité en fonction du temps,
- la prise du mortier.

Rédaction : document rédigé et diffusé par le STBA Département Génie civil et pistes / Paul Merrien et le LCPC

Conception : cellule Communication-Documentation STBA / N. Marquet, G. Maquin

Photo de couverture : Photo BAN Lann Bihoué, Photo CMR (CdG), Photo CMRGT (CdG), Photo CMR (LORIENT-Lann Bihoué)

Impression : atelier de reprographie du STBA

ISBN 2-11-091535-8

Prix de vente : 280 F (43 €)

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT
DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT
DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE



**SERVICE TECHNIQUE
DES BASES
AERIENNES**

31 AV. DU MARECHAL LECLERC 94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
TEL. 01 49 56 80 00 - FAX 01 49 56 82 19

ISBN 2-11-091535-8
Prix de vente : 280 F (43 €)