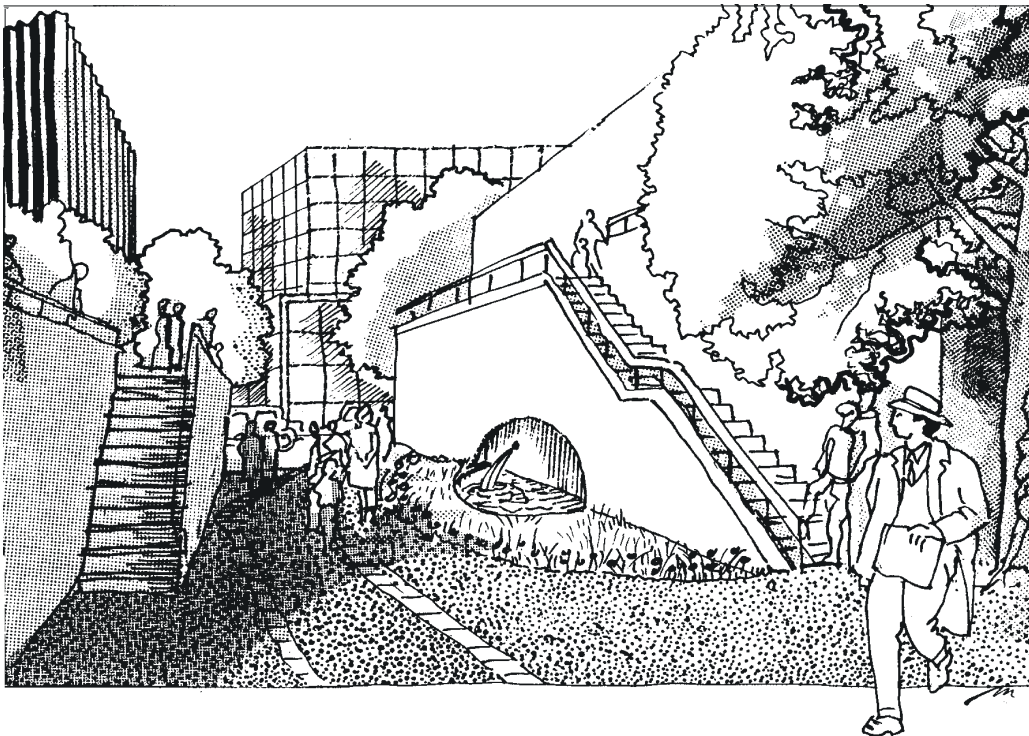


● Espaces urbains en béton désactivé

Conception et réalisation





● **Espaces urbains
en béton désactivé**
Conception et réalisation

LE BÉTON DÉACTIVÉ

C'est un béton hydraulique de formulation spécifique, laissant apparaître les granulats après un traitement de surface.

La technique consiste à éliminer le mortier superficiel du revêtement en béton de façon à faire apparaître les granulats et à conférer à la surface des caractéristiques particulières d'adhérence et/ou d'aspect (*).

Le procédé consiste à pulvériser à la surface du béton, immédiatement après sa mise en place, un produit retardateur de prise qui s'oppose à la prise superficielle du mortier durant un délai déterminé.

Après un délai de plusieurs heures, en fonction des conditions atmosphériques régnant au moment de l'exécution des travaux, la surface du béton est lavée au jet d'eau « haute pression » afin d'éliminer la laitance de surface qui a été retardée et de mettre à nu la face supérieure des gravillons.

Selon le dosage utilisé, l'action du désactivant peut être plus ou moins profonde pour répondre à l'effet attendu : aspect et adhérence.

Une cure est ensuite réalisée sur le béton désactivé.

(*). Dans le cas présent, c'est surtout l'aspect qui est recherché.

LES CONTRIBUTIONS A L'OUVRAGE

Le groupe de travail :

M. J.-P. CHRISTORY

Président

Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien

M. Joseph ABDO

Secrétaire

Cimbéton

Mme. Nathalie MOUTAFIS-TOUZAY

Chryso

Mme. Anne PREGALDINY

CAUE du Jura

MM. Michel DARCEL, G. DARTIGUES

Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien

M. Bernard DELABRECHE

Pieri

M. Michel GREUZAT

Cabinet Greuzat

M. Louis-Marie JOSSO

Ordre des Géomètres-Experts

M. Dominique KELLE

Entreprise S.A.T.P.

M. Gérard MAI

DDE Puy de dôme

M. Rémi ROZE

Entreprise BLOT

Ont également contribué à cet ouvrage :

Mme. Anne-Claire BEQUET

Lafarge Bétons Granulats

Mme. Sophie MERCERON-VICAT

Béton Travaux

M. Philippe ANTOINE

Pieri

M. Ludovic BAROIN

Entreprise Gailledrat / SPECBEA

MM. Alain BENHAMOU, LARA

Unibéton

M. Bernard DARBOIS

Cimbéton

M. Philippe DHERVILLY

Agrégat - Transport - Matériaux

M. Jean-François GUILLAUME

ORSA Bétons

M. Claude LABÉ

Béton de Paris

M. Philippe PUCEL

Chryso

Nous remercions aussi pour avoir relu et critiqué l'ouvrage :

Mlle. Marie-Thérèse GOUX

Setra

MM. G. BILLARD, E. HAAG

Groupe Origny

MM. G. BONNET, F. BONVALOT

CERTU

MM. CHARONNAT et NISSOUX

LCPC Nantes

M. Claude DERACHE

Calcia

MM. P. GUIRAUD, J. MARZIN

Lafarge Ciments

MM. ROUSSEL, SEQUELA,

BONNAVENTURE, PETITJEAN

AIVF

M. Michael TÉMÉNIDÈS

Cimbéton

M. G. THILL

Ville de Reims

M. Gérard VEYRE

Vicat

M. VILAIN

CUDL

Sommaire

1 ● Introduction p. 7

2 ● Point de vue de l'aménageur p. 13

3 ● Conduite d'un projet d'infrastructure p. 23

4 ● Conception et dimensionnement ... p. 37

5 ● Formulation et fabrication du béton p. 57

6 ● Mise en œuvre p. 73



Chapitre

1

Introduction

La rue est un lieu à mieux partager entre les multiples usagers. Ce partage doit se faire dans une cohérence globale : dans l'espace, dans le temps et avec un souci du respect du cadre de vie et d'intégration à l'environnement, telles sont les préoccupations permanentes et importantes des concepteurs et gestionnaires de voiries.

Espaces communs et utilisés par tous, les aires publiques sont des lieux de rencontres d'usagers divers (figure 1) dont il convient de concilier les aspirations propres et faire en sorte que circulation, sécurité, vie locale, respect de l'environnement et amélioration du cadre de vie cohabitent de manière aussi harmonieuse et pérenne que possible.

Le développement du « qualitatif » marque de manière très significative l'évolution des pratiques de conception, réhabilitation et entretien des voiries et aires diverses en milieu urbain, et dans les zones de développement de l'urbanisation en général. Il était de coutume de bien dissocier les deux savoir-faire, de réaliser les routes d'une part et les rues et espaces publics d'autre part.

Le revêtement joue un rôle important dans cette logique. Par des choix d'état de surface plus qualitatif au sens de l'esthétique, l'intégration au site, l'agrément à la marche ou à la circulation, la noblesse et l'harmonie de couleur et de texture des matériaux, la propreté, la finition, etc., on favorise la lecture de la rue par opposition à la perception d'une route avec des revêtements uniformes. Dans ce cadre, la palette des matériaux et procédés est très fournie et s'enrichit en permanence. On utilise de plus en plus en solution mixte à l'aide de calepinages (tableau 1), les pierres naturelles, les terres cuites et grès cérames, les bétons coulés et modulaires, les produits hydrocarbonés, les produits divers nouveaux remis au goût du jour avec les technologies appropriées comme le bois.

Parmi toutes ces techniques, le béton désactivé figure parmi celles qui se sont le plus développées ces dernières années. Esthétique et recherche du naturel, sécurité pour l'usager, pérennité, adaptabilité à toutes les formes, coût compétitif

Tableau 1 – Rôle des calepinages

- renforcer les contrastes
- rompre la monotonie des surfaces trop importantes
- reprendre les lignes des bâtiments
- résoudre les problèmes de dilatation
- faciliter les réparations et l'accessibilité aux réseaux enterrés
- régler les rythmes des couleurs choisies par le concepteur

avec la plupart des autres matériaux naturels, telles sont les principales qualités qui expliquent ce développement.

Cependant, comme toute technique, des connaissances sont à acquérir et des règles de l'art sont à respecter pour réaliser un aménagement de qualité et s'affranchir des risques de mauvais rendu par rapport à l'objectif, voire d'imperfection ou de défaut de structure ou de surface, l'acte de construire une voirie ne résultant pas d'un processus industriel dans lequel on maîtrise toutes les sujétions extérieures (état du support, climat, agression et sollicitations de diverses natures pendant sa réalisation...). A cet égard, des règles de l'art communes à toutes les techniques d'aménagements, sont rappelées dans ce document.

Le but du présent document est de rassembler les prescriptions essentielles nécessaires à la conception et à l'exécution des voiries et d'espaces publics en béton désactivé. Il complète des documents à la disposition des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entrepreneurs dont principalement :

- « **Voies et aménagements urbains en béton, tome 1 – Conception et dimensionnement** » (Cimbéton, T 50).
- « **Voies et aménagements urbains en béton, tome 2 – Mise en œuvre** » (Cimbéton, T 51).
- « **Voies et aménagements urbains en béton, tome 3 – CCTP-type - Bordereau de prix unitaires BPU - Détail estimatif - DE** » (Cimbéton, T 52).
- « **Voies urbaines en béton de ciment** » - Document Association des Ingénieurs des Villes de France. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques - à paraître en 1995.
- « **Norme NFP 98 170 : Chaussées en béton de ciment - Exécution, suivi et contrôle - Spécifications** » (publiée en 1992).

Dans l'esprit d'une réflexion, d'une conception et d'une réalisation plus intégrées des ouvrages, autre tendance significative de l'évolution du métier de l'urbain concrétisée par des approches plus globales et plus multidisciplinaires, le groupe de rédaction de ce document a associé l'ensemble des métiers intervenant dans le processus de construction d'une voirie s'inscrivant dans un parti d'aménagement prédéfini et cohérent au niveau local. Il s'est efforcé de formaliser les éléments de connaissances disponibles à ce jour par les praticiens de ces métiers tant sur le plan conceptuel, organisationnel et relationnel que technique. Il était en







effet important de situer l'emploi de cette technique au sein de l'ensemble du processus d'aménagement ou ne le limitant pas à une seule question d'opportunité technologique. Ainsi, sont successivement abordés dans le document les points suivants :

ETUDE	le béton désactivé en tant que matériau de qualité au service de l'aménageur
CONDUITE D'UN PROJET D'INFRASTRUCTURE	le béton désactivé et l'organisation des échanges entre les intervenants au sein des huit phases de la conduite d'un projet d'infrastructure (tableau n° 2)
CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT	le béton désactivé et les règles de l'art en matière de structure, composition, calepinage et joints pour des voiries à différents niveaux de trafics
FORMULATION ET FABRICATION DU BETON	le béton désactivé et la démarche de codification pour créer des inventaires et des granulothèques régionales
ORGANISATION DE CHANTIER ET MISE EN OEUVRE	le béton désactivé et les aspects clés de la mise en œuvre du béton et du traitement de sa surface

Tableau 2 – Les huit phases de la conduite d'un projet d'infrastructure

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Les études préalables • Le programme • Le choix du maître d'œuvre • Le choix de l'avant-projet | <ul style="list-style-type: none"> • La mise au point du projet • L'exécution • La mise en service • L'entretien |
|---|--|

Ainsi, le respect des conseils édictés sur chacun des points précités permet d'affirmer encore davantage la garantie de la conformité à l'objectif du point de vue du rendu visuel d'une part, de la finition et de la pérennité d'autre part. Une qualité accrue à tous les stades des réalisations permet également un développement vers plus de réalisations pour des aires plus sollicitées en trafic. Tendre vers le zéro défaut est aujourd'hui nécessité et réalité pour cette technique dès lors que les règles édictées sont suivies et assorties d'un travail soigneux.

MU milieu urbain						
1						
2						
3						

Importance relative

MU milieu urbain						
1						
2						
3						

Importance relative

Figure 1 : Les usagers de la voirie urbaine.



Chapitre

2

Point de vue de l'aménageur

Un matériau de qualité au service de l'aménageur

Notre réflexion concernant le matériau béton désactivé dans sa spécificité n'est pas de l'opposer aux autres matériaux de revêtement. Leur seul point commun est d'être circulaire.

Chacun a son usage approprié. Le béton désactivé présente des qualités propres que nous allons tenter de lister de façon exhaustive et préciser les modalités de mise en œuvre.

QUALITÉS

■ Circulaire :

Du piéton au véhicule lourd, avec des adaptations techniques.



OBSERVATIONS

Restrictions d'ordre **technique** liées à la qualité de la voirie et au trafic :

- Espaces sans contrainte de trafic :
Restriction = 0
- Espaces Trafic < 50 PL/j : Polissage, encrassement, salissures...
- Espaces Trafic > 50 PL/j : Polissage, arrachage, encrassement



■ **Liberté :**

Possibilité très diversifiée de choix formel et d'aspect : texture fine ou rugueuse en fonction du désactivant ou des conditions de mise en œuvre.



Aspect de gravillons roulés ou concassés.



Choix esthétique à moduler et adapter à l'usage selon le type de voirie et l'intensité de trafic. (Conformément aux normes en vigueur).



Nécessite, pour une bonne exploitation des qualités du matériau, la présence d'un concepteur maîtrisant esthétique et technique.



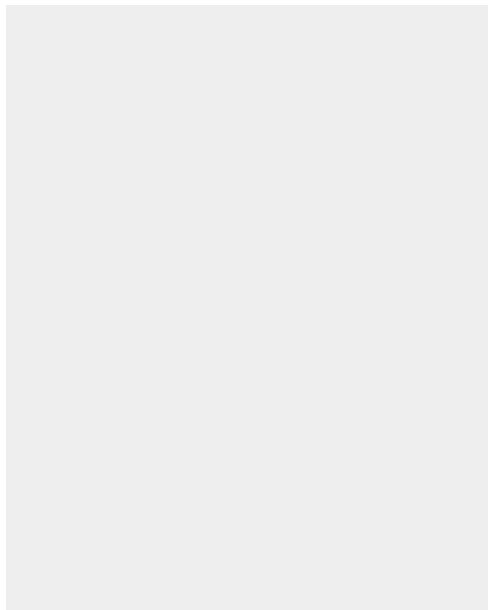
Vaste choix de coloris à coupler aux teintes du liant (combinaisons multiples). Du noir au blanc en passant par toutes les gammes naturelles.

Liberté formelle du fait du mode de mise en œuvre du matériau : forme courbe, adaptation au terrain, pente...



■ **Intégrable :**

Dans le cas « restrictif » (à prendre au sens positif !) d'usage de granulats locaux, ce qui sera le cas de figure le plus fréquent, ceux-ci permettent de traiter une voirie dans un souci de qualité et d'intégration au bâti environnant ou au paysage : centre ancien, cœur de vil-



Rationalisation et codification indispensable des choix et mélanges locaux à faire.



lage, voirie forestière, chemin de vignoble, cour privée...

■ ***Polyvalent :***

Ce matériau conserve une polyvalence, dans son image de marque et c'est la qualité du concepteur qui lui donnera toute sa valeur ; il peut en effet être à la fois un matériau très rural et même « rustique » (en association avec des matériaux anciens tels que pavés, éléments de pierres traditionnels, briques...), comme il peut être un matériau à la modernité affirmée lorsqu'il est mis en situation avec des matériaux

Un résultat de qualité est fortement dépendant de la compétence des intervenants techniques : concepteurs, entreprises, bétonniers.

Nécessité d'approfondir l'aspect technique quant au comportement de divers matériaux entre eux dans le cas de trafic élevé ou par rapport aux problèmes de dilatation, cycle



plus « froids », lisses ou contemporains (granit, marbre, inox) ou résulte d'un traitement très sobre (voir parvis de l'Arche de la Défense). On pourrait appeler le béton désactivé « Catalyseur de qualité » et matériau d'association.

Usage privé comme public.

■ *Image de sécurité :*

Symbolise bien souvent la rupture de la fonction routière du fait de la variété des coloris et textures (aspect clair essentiellement), il permet ainsi une meilleure lecture de l'espace urbain, de

gel/dégel lors de la mise en œuvre en altitude...

Réserves techniques sur certains choix de granulats, préconisations indicatives de certaines couleurs ?

ses usages (piéton/véhicule) et de ses priorités. Le béton désactivé est donc le matériau bien adapté à ce type de problématique de par sa résistance et sa durabilité.

■ *Adaptabilité :*

Plat ou en pente, surface aux contours simples ou complexes, le béton désactivé s'adapte aux contraintes de ce type puisque mis en œuvre de façon coulée.



■ *Disponibilité :*

Matériau de proximité, l'intérêt économique local n'est pas négligeable. La présence sur l'ensemble du territoire de carrières et de centrales de béton prêt à l'emploi fait que l'on puisse obtenir facilement un matériau de qualité.

■ *Durabilité :*

Une bonne mise en œuvre du béton désactivé assure la durabilité du maté-

Nécessite cependant une conception fine permettant d'adapter le projet aux possibles contraintes « extrêmes » se présentant. Ici encore la réserve tient à la technicité des intervenants pour une utilisation judicieuse des possibilités du matériau (plan de calepinage et de joints, préparation de chantier..).

Nécessité de préciser les « extrêmes » techniques du matériau (ex. : pente maxi de mise en œuvre, désactivation maximale...)

Adaptabilité aux innovations (telles les chaussées poreuses) ?

Organisation homogène du réseau de distribution, codification précise des choix et commandes (textures, usages, granulats, couleurs, contraintes de temps de prise), granulothèques locales à développer, engagement quant aux livraisons (délais, qualité, quantité).

Nécessite cependant un entretien régulier de dégrèvement selon trafic et

riau, le maintien de la couleur et un très faible entretien sur de nombreuses années.

Autant de paramètres à intégrer dans le rapport qualité/prix et dans la décision du Maître d'ouvrage.

usage (passage important, stationnement).

La notion de protection complémentaire reste à promouvoir. Répercussion sur le coût ?



Chapitre

3

Conduite d'un projet d'infrastructure

La réussite d'un aménagement est rarement le fruit du hasard. L'aménagement doit être conduit pour assurer sa qualité.

Il est très important de replacer la conception et la mise en œuvre d'une voirie ou d'un aménagement en béton désactivé dans son contexte général.

En effet, un point est à éclaircir :

quand doit-on parler béton désactivé, au moment des travaux ou bien avant ?

Pour répondre à cette question, nous voulons tout d'abord mettre en évidence les différents intervenants et les phases de la conduite d'un projet d'infrastructure.

I. Les différents intervenants

Ils peuvent être groupés en trois familles : la Maîtrise d'ouvrage, la Maîtrise d'œuvre et l'entreprise (y compris les fournisseurs de l'entreprise). Leurs missions ainsi que leurs préoccupations sont définies de la manière suivante :

LES INTERVENANTS

■ 1. Maîtrise d'ouvrage

- a) Le Maître d'ouvrage : personne morale pour laquelle l'ouvrage est construit. Il peut s'agir d'Élus (Maires, Conseillers Généraux, etc.), de Promoteurs ou de Sociétés d'Économie Mixte (cas de voiries de lotissements), d'Industriels (cas de voiries d'accès aux bâtiments et aux usines) ou de particuliers (accès privés).
- b) La personne responsable du Marché : personne physique habilitée à signer les marchés.
- c) Le Conducteur d'opération : personne qui assure une assistance géné-

PRÉOCCUPATIONS

1. Pour l'ensemble des Maîtres d'ouvrage :

- meilleur rapport qualité/prix/délais
- durabilité
- esthétique
- réduction des coûts d'équipement et d'entretien par un aménagement fonctionnel
- En plus, pour les Élus :
 - satisfaire l'utilisateur
 - faire des investissements marquants
 - affirmer l'identité propre de leurs Communes

rale au Maître d'Ouvrage à caractères administratif, financier et technique.

■ 2. *Maîtrise d'œuvre*

• a) Le Maître d'œuvre : personne choisie par la Maîtrise d'ouvrage pour concevoir le projet (Etudes préliminaires, études d'avant-projet et études du projet) et/ou contrôler les moyens utilisés par l'entrepreneur et les matériaux mis en œuvre (vérifier s'ils sont adaptés aux buts contractuellement définis entre le maître d'ouvrage et l'entrepreneur) et assurer la direction des travaux.

• b) Le contrôleur technique : sur demande du Maître d'ouvrage, il donne son avis technique sur le projet et notamment sur la solidité de l'ouvrage et la sécurité des personnes.

■ 3. *L'entreprise et ses fournisseurs*

• a) l'entrepreneur : chargé de l'exécution des travaux.

• b) les fournisseurs de l'entreprise : qui peuvent être choisis par l'entrepreneur ou imposés dans le cadre du marché. Ils peuvent effectuer une assistance technique.

- structurer l'espace, faciliter sa compréhension par les usagers et renforcer la sécurité de tous les usagers (piétons, vélos, véhicules).
- séduire par l'esthétique, la décoration et l'intégration à l'environnement local.

• a) leurs motivations sont :
- satisfaire leurs clients par des projets réussis,
- assurer pendant l'exécution des travaux, la traduction de leur projet de façon esthétique, fonctionnelle et durable,
- avoir à leur disposition une palette de solutions techniques notamment en revêtement de surface,
- améliorer sa compétence par la connaissance des nouveautés techniques.

• b) satisfaire les Maîtres d'ouvrage par des conseils judicieux.

Leurs motivations sont :

- la qualité de l'ouvrage réalisé,
- l'image de marque,
- la rentabilité,
- la satisfaction du client,
- les délais d'exécution,
- les références,
- l'innovation.

II. Les phases de la conduite d'un projet d'infrastructure

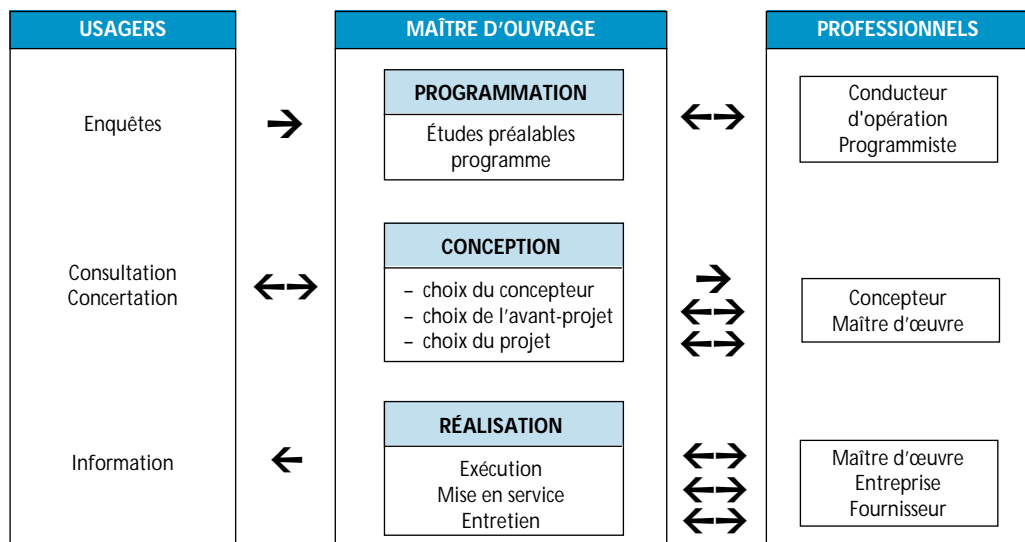
La conduite d'un projet d'infrastructure nécessite trois étapes :

- La programmation : les études préalables, le programme.
- La conception : le choix du Maître d'œuvre, le choix de l'avant-projet, le choix du projet.

La réalisation : l'exécution, la mise en service, l'entretien.

Chaque étape est constituée d'une ou de plusieurs phases.

Ces différentes phases ne sont pas indépendantes. Elles se succèdent dans un ordre bien défini. L'enchaînement, ainsi obtenu, constitue le processus de décision pour tout projet d'infrastructure.



Nota : Pour chacune de ces phases, les professionnels publics ou privés de l'aménagement (DDE, DDA, STV, géomètres-experts, bureaux d'études, architectes, urbanistes, paysagistes, etc.) apportent leur savoir-faire pour la réussite du projet.

III. La programmation

1. Les études préalables

Cette phase d'approche du projet est nécessaire car elle va permettre au Maître d'ouvrage de mieux cerner le sujet et d'aboutir, par conséquent, à une réalisation réussie.

Les études préalables permettront :

- de poser et de bien délimiter les problèmes initiaux et les échelles,
- de recenser les besoins (souvent à hiérarchiser et évolutifs),
- de sensibiliser les personnes concernées par le projet (partenaires, usagers, etc.),
- d'envisager les aspects économiques de la réalisation, de l'entretien et du fonctionnement (la possibilité d'utiliser différents matériaux doit être déjà présente à l'esprit),
- de mettre en place une méthode adéquate pour une réponse appropriée (financement, partenaires).

DÉROULEMENT DES ÉTUDES

Les études préalables se déroulent en plusieurs phases :

- Étude de la situation globale : celle-ci correspond à l'analyse des espaces environnant l'emplacement du projet, sa situation juridique et les servitudes le frappant.
- L'analyse du cadre environnant l'opération : type de bâti, mode d'occupation, style et qualité architecturale, modifications effectuées, état physique, etc.

COMPÉTENCES ET MOYENS

Les études préalables s'appuient sur de nombreuses données de différents types :

- humaines : sociales, sociologiques, démographiques, etc.
- économiques
- historiques,
- locales : architecture, climat, relief, hydrographie, etc.

Les données existent en grande partie. Il suffit de s'entourer de compétences et de moyens appropriés.

- Le choix des objectifs : découlant des deux phases précédentes.
- Les études de faisabilité : pour envisager les délais, coûts et possibilités techniques locales, en fonction du lieu, de son contexte physique et géographique.
- L'avant-programme : qui conclut les études préalables. Simple ébauche, premier outil de travail, il comprend le type d'interventions prévues, leur localisation, une estimation de la superficie, leurs objectifs principaux, les premières estimations et un plan de financement

- Assistance technique :

Il est possible de consulter les professionnels publics ou privés de l'aménagement.(*)

(* DDE, DDA, STV, CAUE, urbanistes, géomètres-experts, architectes, paysagistes, bureaux d'études VRD, etc.

Nota : les études préalables sont très importantes mais souvent oubliées. Elles permettent en effet d'adapter le financement au projet.

2. Le programme

Le programme est une base de dialogue entre les différents partenaires : Maître d'ouvrage, Maître d'œuvre et usagers. Il doit pouvoir :

- mettre en valeur l'idée directrice du projet,
- préciser les enjeux sociaux, culturels et économiques,
- faire ressortir les qualités attendues et souhaitées, sans induire de solution architecturale ou technique,
- définir avec précision le rôle de chacun.

Ce programme peut être élaboré avec l'aide des professionnels publics ou privés de l'aménagement.

Il est indispensable au montage du dossier de demande de subvention.

LE CONTENU DU PROGRAMME

Le Maître d'ouvrage remplit une fonction d'intérêt général dont il ne peut se démettre. Il lui appartient de définir dans le programme les objectifs, les besoins, les contraintes et ses exigences.

- a) une introduction

Le Maître d'ouvrage précise ici la règle du jeu qu'il souhaite établir

- b) une présentation du projet :

historique, nature, contexte, acteurs, etc.

- c) une présentation des objectifs principaux :

fonction de l'espace, usagers concernés, résultats attendus

- d) un rappel du contexte physique et urbain

Caractéristiques du site, milieu physique, environnement bâti, dessertes et réglementation, etc.

- e) des précisions sur les exigences spécifiques du projet

- exigences techniques générales : passage de poids lourds, VRD, etc.

- exigences de fonctionnement : sécurité des usagers, entretien, etc.

- f) des exigences requises des matériaux

nature, aspect, couleur, apport esthétique, etc.

- g) des précisions sur les délais et coûts

délais précis, opération conduite en plusieurs tranches, enveloppe budgétaire, etc.

OBSERVATIONS

- a) une règle du jeu mal définie rend difficile un réel dialogue avec l'ensemble des parties concernées

- b) - c) - d) permettent :

- au Maître d'œuvre de disposer d'une base de travail claire, précise et sûre.

- aux usagers de contrôler que les besoins formulés ont bien été pris en compte.

- e) l'absence de précisions risque d'aboutir à choisir des solutions « passe partout », monotones, inadaptées ou à des modifications importantes en cours de travaux.

- **f) A ce stade, possibilité d'introduire la notion de béton désactivé.**

- g) adapter l'opération au budget prévu (opération conduite en plusieurs tranches, le cas échéant) tout en favorisant les techniques ayant les meilleurs rapports qualité/prix.

IV. La conception

1. Le choix du Maître d'œuvre

Le choix est important car il détermine la qualité de l'opération finale.

CRITIÈRES FONDAMENTAUX

- a) un homme adapté à la situation,
- b) un homme de l'art et de dialogue.
- c) En fonction de l'ampleur du projet et de son impact sur un site, il est important de choisir une équipe pluridisciplinaire de façon à regrouper les compétences et il est souhaitable que les fonctions de conception et de maîtrise d'œuvre soient assurées par les mêmes intervenants.

CRITIÈRES SPÉCIFIQUES

- c) réaliser une voirie béton désactivé, dans les meilleures conditions économiques et esthétiques, nécessite d'avoir une conception « béton », c'est-à-dire utiliser les spécificités du matériau pour avoir une conception adaptée à ce matériau.
- Les économies sur les travaux induites dans ce type d'approche peuvent être considérables (20 à 30 %)

2. Le choix de l'avant-projet

Aidé ou non d'une commission technique ou d'un jury (en cas de concours), le Maître d'ouvrage, avant de choisir l'avant-projet, doit l'analyser suivant un certain nombre de critères :

- fiabilité technique et financière,
- fidélité et adéquation au programme,
- qualités spécifiques de la réponse.

CRIÈRES DE CHOIX POSSIBLES

<p>Qualité et type de mise en scène</p>	<ul style="list-style-type: none"> • relations avec les espaces environnants • possibilités d'utilisation et d'appropriation par les usagers • richesse et liaison des événements proposés
<p>Personnalité et aspects sensibles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • caractère global (homogénéité de l'espace, caractère rural, minéral) • richesse dans le traitement des différents aménagements • originalité • rapport végétal/minéral • intégration au fonctionnement du quartier, de la ville • lisibilité et clarté des espaces définis • ...
<p>Aspects esthétiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • relation avec le site • qualité esthétique d'ensemble • qualité des détails proposés • ...
<p>Maintenance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • formes dangereuses • capacité d'évolution • facilité d'entretien • ...

OBSERVATIONS

- Éviter une multiplicité des ouvrages et des matériaux.
- Recueillir l'avis des usagers de l'espace à aménager et organiser une consultation autour de l'avant-projet.
- En fonction de l'importance du projet, s'appuyer sur des études spécifiques (étude de sol, étude de circulation,...)
- Le cas échéant, visiter des aménagements similaires et rencontrer leurs utilisateurs de façon à mieux appréhender les solutions proposées.

Critères permettant d'évaluer les qualités spécifiques du projet (référence « Espaces urbains agréables à vivre » Michel Sablet - Le Moniteur)

3. Le choix du projet

Le choix doit se porter sur le projet qui allie l'art et l'utilitaire avec modernité, en utilisant les techniques actuelles.

Une surenchère de moyens ou de matériaux ne cachera pas la pauvreté d'un projet.

ÉLÉMENTS DE CHOIX

Quelques éléments essentiels doivent être présents à l'esprit :

- a) la lecture du sol (échelle lointaine et proche, création de cheminement).
- b) la liaison du revêtement du sol avec la fonction de l'espace : piétons, cycles, véhicules, etc.
- c) l'évacuation des eaux pluviales
- d) la gestion des réseaux en sous-sol et de leurs émergences.

OBSERVATIONS

Au fil de nombreuses observations, il apparaît que :

- a) l'emploi de matériaux variés met en évidence différents usages et facilitent la cohabitation des usagers. Mais l'utilisation de trop nombreux matériaux complique la lecture d'un lieu.
- b) les piétons empruntent plus facilement les chemins en matériaux clairs et lisses. Ceux-ci peuvent donc être employés pour dessiner des cheminements privilégiés, spécifiques aux piétons. Mais les matériaux utilisés ne doivent pas être glissants.
- d) la coupure d'une voie par des rangées de pavés facilite l'accès et l'entretien des réseaux et peut participer à l'aménagement général.

V. La réalisation

1. L'exécution

Les qualités de l'aménagement et sa pérennité dépendent de sa conception mais aussi en grande partie de la qualité de sa réalisation.

ÉLÉMENTS POUR RÉUSSIR

Deux atouts pour réussir :

- a) des documents d'exécution précis (plans, bordereaux des prix, C.C.T.P.)

PRÉCAUTIONS

Ces précautions sont très importantes car la mise en œuvre du béton désactivé doit être très soignée si l'on veut un résultat qualitatif au niveau esthétique :

- a)
 - planche d'essai avant le démarrage des travaux d'aménagement.
 - implantation planimétrique et altimétrique du fond de forme,
 - relevé planimétrique et altimétrique des réseaux et des fourreaux mis en place (plan de recollement),
 - réception des ouvrages (essais sur réseau d'assainissement, réception réseau PTT, mise à l'essai câble EDF,...),
 - mise à niveau des émergences de réseau,
 - obturation des grilles avaloirs (géotextile, laitance, désactivant),
 - protection des ouvrages de proximité (bâtiment, façades, bordure, candélabres,...),

- b) le choix d'une entreprise qualifiée

- suivi particulier du Maître d'œuvre sur le chantier pendant la mise en œuvre du béton,
- tenir compte des conditions météorologiques avant de décider le coulage du béton (pluie, gel, très forte chaleur),
- protection du chantier
- nettoyage en fin de chantier

- b) pour le choix d'une entreprise qualifiée, une bonne solution peut être de procéder par lot séparé en ce qui concerne la partie béton désactivé, ou bien de contrôler la qualité du sous-traitant proposé.

2. La mise en service

En fonction de l'usage des espaces réalisés, se poser la question d'assurer préalablement à la mise en service, la protection du béton désactivé contre les salissures, notamment sur les secteurs de stationnement.

3. Le nettoyage

Le nettoyage de tels espaces est tout à fait limité, veiller seulement à traiter rapidement les salissures types hydrocarbures. Si elles n'altèrent pas la structure, elles demeurent inesthétiques.

La conduite d'un projet d'infrastructure est nécessaire même s'il s'agit d'un projet de taille modeste.

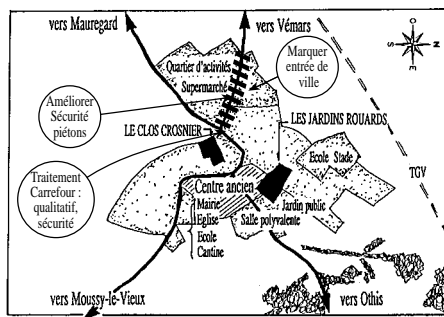
La démarche doit être adaptée à la nature et à la taille du projet.

Quelles que soient la nature et la taille du projet, ne pas oublier d'évaluer l'aménagement par rapport au programme initial et aux attentes des usagers.

Cette évaluation permettra de mieux appréhender les aménagements ultérieurs.

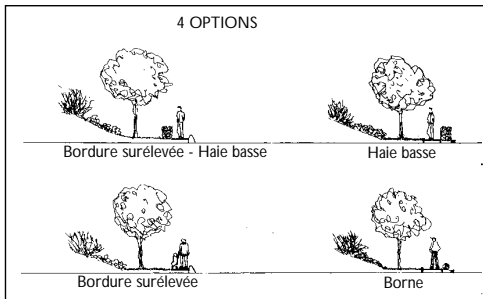
EXEMPLE DE CONDUITE D'UN PROJET D'AMÉNAGEMENT

1. Présentation et programmation

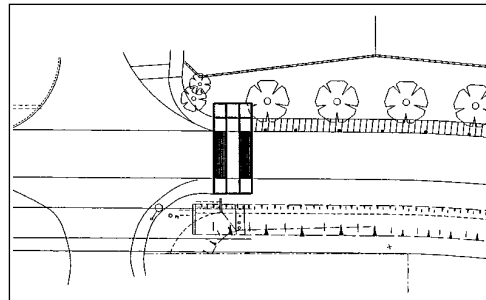


2. Conception

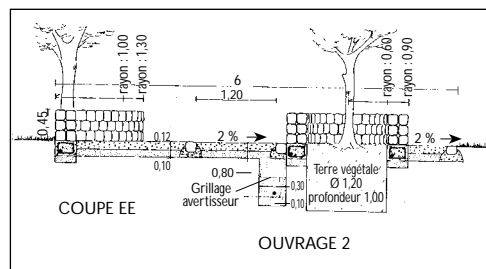
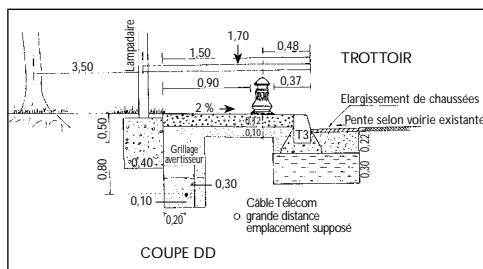
a) Choix d'une option d'aménagement



b) Traitement des traversées



3. Réalisation

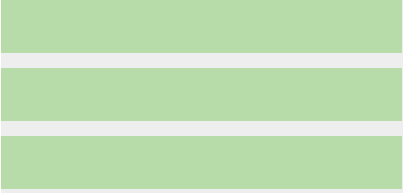


Sites
avant aménagement



Sites après aménagement
en béton désactivé





Chapitre

4

Conception et dimensionnement

Conception et dimensionnement

D'une manière générale, la réalisation dans de bonnes conditions d'une voirie en béton désactivé et son bon fonctionnement dans le temps, nécessitent de respecter - dans sa conception - certaines règles fondamentales touchant à l'infrastructure, à l'assainissement et aux matériaux constituant la chaussée.

Les caractéristiques mécaniques du béton (grande rigidité, forte résistance vis-à-vis de diverses sollicitations) permettent d'apporter des simplifications substantielles au niveau de la conception de la structure, du profil en travers et du profil en long... et par suite des économies notables sur l'investissement.

Cas des voiries à faible trafic - (Trafic inférieur à 50 PL/J)

L'infrastructure (Le Support)

Les qualités principales d'un revêtement en béton sont leur tenue à la fatigue qui garantit leur durabilité et leur grande rigidité qui permet d'assurer une bonne répartition des charges sur le support de la chaussée. Celui-ci n'est, de ce fait, que peu sollicité.

Les structures rigides se passent donc de fondations complexes et l'économie ainsi engendrée les rend très compétitives notamment dans les cas des sols de portance faible associés à des routes à trafic lourd ou intense, ainsi que pour les routes à faible trafic où la dalle est, en règle générale, coulée directement sur le sol sans couche de fondation.

En fonction de la nature des travaux à réaliser, deux cas sont envisagés :

■ 1. Réfection de voiries urbaines

La réfection d'une voirie existante consiste à décaisser la structure sur une épaisseur bien déterminée correspondant au dimensionnement de la nouvelle structure et de mettre en œuvre, selon les règles de l'art, la nouvelle chaussée en béton.

TRAVAUX

- a) décaissement, sur une épaisseur correspondant au dimensionnement de la nouvelle structure, sous réserve que le décaissement soit conduit de façon à préserver la plate-forme de toute venue d'eau en cours de travaux.

Mais, pour pouvoir déterminer le dimensionnement de la nouvelle structure, il est nécessaire de connaître - au préalable - les caractéristiques de la plate-forme obtenue après décaissement (degré d'homogénéité et niveau de portance).



OBSERVATIONS

- a) Sous réserve que le décaissement n'ait pas entraîné un décompactage du sol support, on peut admettre - sans risque - par suite de la protection du sol support assurée par l'ancienne chaussée et de sa consolidation acquise au cours du temps sous l'effet du trafic, que la plate-forme support envisagée, pour la nouvelle structure, présente une bonne homogénéité et un niveau de portance élevé, supérieur ou égal à p_2 ($6 < \text{CBR} \leq 10$).

A partir de l'échelle de portance SETRA pour les travaux neufs, on définit alors quatre niveaux de portance possibles

p_2 , p_3 , p_4 , et pex tels que :

p_2 : $6 < \text{CBR} \leq 10$

p_3 : $10 < \text{CBR} \leq 20$

p_4 : $20 < \text{CBR} \leq 50$

pex : $\text{CBR} > 50$

Pour le choix de la portance on distingue deux cas :

1^{er} cas - Réalisation d'une étude géotechnique préalable (solution conseillée).

- b) Réorganisation des réseaux enterrés

- c) Contrôle des caractéristiques de la plate-forme :
 - Homogénéité

 - Portance

- d) Compactage de la plate-forme

Le géotechnicien doit pouvoir apprécier l'homogénéité et la portance de la plate-forme envisagée en se basant sur les critères de l'échelle de portance (p_2 , p_3 , p_4 et p_{ex}) définie ci-dessus.

2^e cas - Absence d'étude préalable
On se place alors dans le cas le plus défavorable et on suppose que la portance de la plate-forme envisagée est égale à p_2

- b) Réunion de concertation obligatoire avec tous les concessionnaires pour connaître l'état des réseaux existants, les modifications ou travaux de rénovation éventuels.

Prévoir la mise en place systématique de 2 ou 3 fourreaux de réservation largement dimensionnés et soigneusement repérés.

- c)
 - L'homogénéité est contrôlée visuellement. Il est recommandé de purger les zones ne remplissant pas les conditions de portance requises et de les combler avec des matériaux présentant des qualités similaires à celles de la plate-forme.
 - Le contrôle de la portance peut être réalisé, soit visuellement (cas des petits chantiers) soit à l'aide d'essais normalisés (cas de grands chantiers)
- d) Le compactage est obligatoire notamment pour les zones purgées et comblées par un matériau d'apport.

■ 2. Chaussées neuves en béton désactivé

La construction d'une chaussée neuve en béton désactivé consiste à décaper la terre végétale, d'effectuer les travaux de terrassements et de mettre en œuvre, selon les règles de l'art, la structure en béton.

TRAVAUX

L'exécution des travaux suit, en règle générale, le processus suivant :

- a) les travaux préparatoires :
 - le tracé (travaux de piquetage),
 - le décapage de la terre végétale,
 - la mise à niveau du fond de forme.
- b) les travaux de terrassements :
 - l'exécution des déblais,
 - l'exécution des remblais,
 - l'installation des réseaux enterrés,
 - la réalisation de la plate-forme support de la chaussée.



OBSERVATIONS

Pour la réalisation de la plate-forme support, trois cas peuvent être envisagés :

- sur un sol de faible portance : des solutions d'amélioration (couche de forme ou traitement des sols en place à la chaux et/ou au ciment) sont à prévoir chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est inférieure à p_2 ($6 < \text{CBR} \leq 10$).

Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau suivant :

Portance	Améliorations nécessaires		
Portance prévisible de la plate-forme à court terme	Epaisseur de la couche traitée en place	Epaisseur de la couche de forme non traitée	Nouvelle portance
$P = p_0^*$; $\text{CBR} \leq 3$	35 cm	50 cm	P_2
$P = p_1$; $3 < \text{CBR} \leq 6$	20 cm	30 cm	P_2

(*) De plus, si ce niveau de portance nulle ($P = P_0$) caractérise aussi la portance à long terme de la plate-forme, la solution d'amélioration sera associée à des travaux de drainage.

- sur un sol hétérogène : une couche de réglage en tout-venant, d'épaisseur 15 cm, doit être interposée entre le sol support et le revêtement.
- sur un sol homogène et portant $p \geq p_2$: la structure béton est réalisée directement sur le sol convenablement préparé (nivelé et compacté).

L'assainissement

Quelle que soit la structure et quels que soient les matériaux, l'eau a toujours été considérée comme le pire ennemi de la route. Elle est un élément décisif d'accélération des dégradations des structures de chaussées. Ceci est aussi vrai pour les revêtements en béton. En ce qui concerne les chaussées rigides, la présence de l'eau dans la structure est due à :

- l'infiltration par les joints ou fissures et par les abords de la chaussée,
- la remontée des eaux internes (déblais, nappes affleurantes, points singuliers,...),
- la concentration des eaux sous le revêtement en période de dégel (eau ayant remonté par succion en période de gel).

Pour éviter les accumulations d'eau sous le revêtement en béton et les accotements, ainsi que ses effets néfastes, des dispositions constructives - maintenant classiques - sont adoptées.

DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

- a) **collecte et évacuation des eaux superficielles** afin d'assurer la sécurité et le confort des usagers (aquaplanage, projections d'eau), il faut évacuer rapidement l'eau de la surface de la chaussée. Un profil en travers adapté, avec dévers d'au moins 2 %, canaliserà l'eau soit au milieu soit latéralement.

L'eau sera ensuite évacuée de façon classique par des caniveaux et des avaloirs judicieusement placés.

- b) **le remplissage des joints**

- Cette règle doit être modulée en fonction de l'importance de la voie, du trafic, des conditions climatiques ou du

OBSERVATIONS

- a) ces travaux sont à réaliser quelle que soit la classe de trafic prévue.

- Attention :

En cas d'aménagement à usage mixte, le dévers doit être ≤ 2 %

- b)

- Elle peut être exigée pour les voiries et aménagements urbains



caractère éventuellement drainant du support sur lequel elle repose.

- Il faut réaliser l'étanchéité des joints sciés longitudinaux et transversaux dès la construction et l'entretenir ensuite soigneusement pendant la période de service.

- L'étanchéité est obtenue en introduisant dans le joint un produit imperméable, déformable, résistant et adhérent aux deux bords de la réserve. Les produits de remplissage les plus utilisés sont les produits coulés à chaud,

Afin d'empêcher :

- l'infiltration de l'eau et son accumulation sous le revêtement.

- l'introduction d'objets ou de débris dans le joint dont la présence au moment de la fermeture du joint par dilatation du béton, pourrait provoquer des épaufrures ou des éclatements aux joints.

- Un soin particulier doit être accordé à la mise en œuvre du produit de remplissage.

constitués essentiellement d'un mélange de bitume et d'un caoutchouc de synthèse, ou les produits de liège.

- **c) les dispositifs de drainage**

Il existe deux types de dispositifs

- Dispositifs de drainage de la plate-forme (déblais, nappes affleurantes, points singuliers,...)

Ils sont utilisés à des endroits singuliers tels :

- point bas du profil en long : un drain transversal, en épi, peut être nécessaire.

- purge localisée de la plate-forme : il est souhaitable dans ce cas de prévoir un matériau drainant (béton poreux par exemple) en fond de forme, relié à un drain et à un exutoire.

- pente accentuée du profil en long sur une grande longueur : des écoulements d'eau longitudinaux importants, au niveau du support, peuvent se produire et ce qui nécessitent l'utilisation de drains transversaux disposés en épis à des intervalles réguliers (tous les 100 mètres).

- Dispositifs de drainage de l'eau due aux infiltrations superficielles :

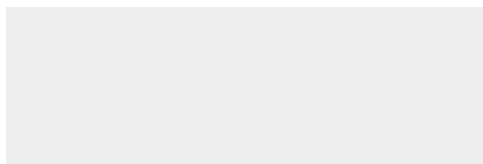
l'eau qui a pu s'infiltrer dans la chaussée est acheminée vers les côtés et évacuée par des drains et des exutoires.

A l'interface dalle-support, la circulation de l'eau est assurée, soit par gravité (écoulement le long des pentes transversales), soit à l'aide d'un com-

- Ces dispositifs sont à prévoir quelle que soit la classe du trafic prévu.

- Ces dispositions doivent être modulées en fonction de l'importance de la voirie, du trafic et des conditions climatiques. Elles doivent être exigées dans le cas de voiries circulées dont le trafic est supérieur à 50 poids lourds par jour et par sens.

plexe associant des géotextiles filtrants et drainants, placé sur toute la largeur de la chaussée et qui permet, en outre, de protéger le support contre l'érosion.



Les joints

La variation dimensionnelle du béton est un phénomène normal, du fait de sa nature même et des variations climatiques journalières ou saisonnières.

Les joints ont pour but de localiser cette fissuration, de manière précise et déterminée à l'avance. En fait la chaussée en béton se présente comme une succession de dalles séparées par des joints. La conception correcte des joints est une condition essentielle de la pérennité de la chaussée.

On distingue trois grandes familles de joints :

■ 1. Les joints transversaux

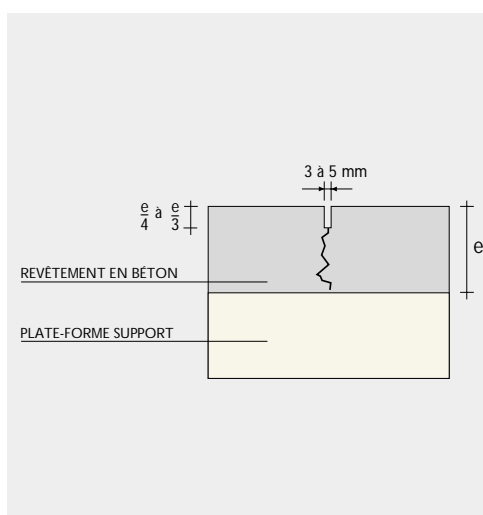
Ils sont perpendiculaires à l'axe de la voirie et sont classés en deux catégories :

• a) les joints de retrait/flexion

- leur rôle est de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient thermique.

- Réalisés en créant dans le revêtement une saignée ou une entaille qui matérialise un plan de faiblesse selon lequel le béton est amené à se fissurer sous l'action des contraintes de traction par flexion.

- Ils doivent avoir une profondeur comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ de l'épaisseur du revêtement et une largeur entre 3 et 5 mm.



- L'espacement des joints dépend des propriétés de retrait du béton, des caractéristiques de friction de l'infrastructure et de l'épaisseur du revêtement.

Les espacements recommandés en fonction des épaisseurs du revêtement sont donnés dans le tableau ci-joint.

• b) **Les joints transversaux de construction**

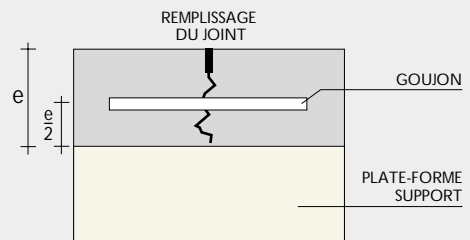
- Ils sont réalisés après chaque arrêt de bétonnage supérieur à une heure.

- La dalle est retaillée à 90° à sa partie supérieure, pour obtenir un bord franc, et solidarisée avec la coulée de béton suivante, à l'aide de goujons d'une longueur de 50 cm, d'un diamètre de 30 mm, placés dans le sens longitudinal et espacés de 0,75 mètre.

- Dans le cas où un revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes, un joint de construction doit correspondre à un joint dans la bande adjacente.

- Tableau : espacement des joints en fonction des épaisseurs de la dalle.

Epaisseur de la Dalle	Espacement des joints
12 cm	3,00 m
13 cm	3,25 m
14 cm	3,50 m
15 cm	3,75 m
16 cm	4,00 m
17 cm	4,25 m
18 cm	4,50 m
19 cm	4,75 m
20 cm	5,00 m



- Si cette règle n'est pas respectée, le frottement latéral entre les bandes provoque l'apparition d'une fissure dans le prolongement du joint de construction.

■ 2. *Les joints longitudinaux*

Ces joints sont parallèles à l'axe de la voirie. Ils ne sont nécessaires que si la largeur du revêtement est supérieure à 4,5 mètres. Ils sont classés en deux catégories :

- a) **Les joints longitudinaux de retrait/flexion**

Ils servent principalement à compenser les contraintes provoquées par le gradient thermique. Ce sont des joints de retrait/flexion, réalisés en créant dans le revêtement coulé en pleine largeur - longitudinalement - une saignée ou une entaille dont les caractéristiques sont similaires à celles des joints de retrait/flexion transversaux.

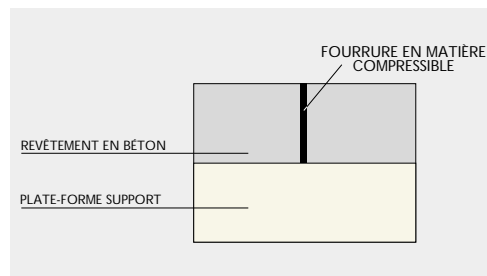
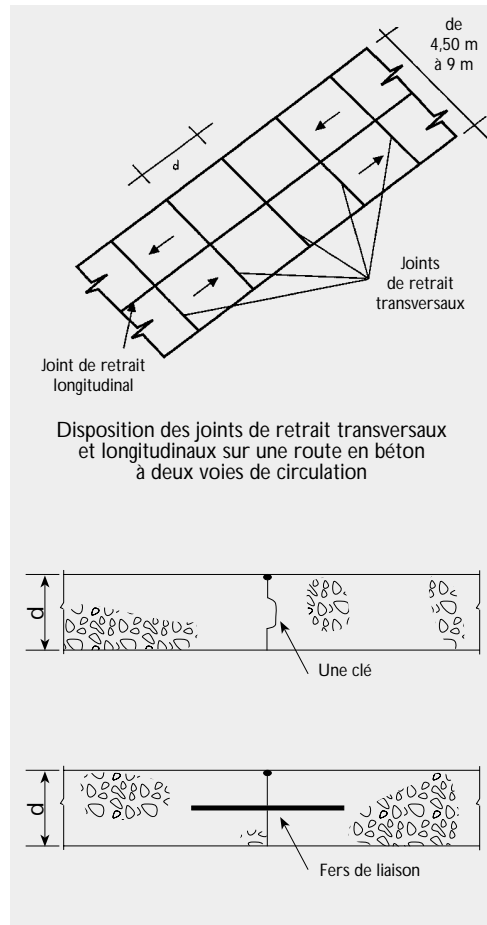
- b) **les joints longitudinaux de construction**

Ils sont réalisés quand le revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes.

- Il est recommandé dans ce cas de solidariser les deux bandes adjacentes du revêtement soit en façonnant une clé constituée de formes conjuguées (voir norme NFP 98 170), soit en utilisant des fers de liaison transversaux pour maintenir l'alignement vertical des bandes adjacentes et limiter l'ouverture du joint.

■ **3. Les joints de dilatation**

- Leur rôle est de compenser les variations dimensionnelles des dalles, dues essentiellement à l'élévation de température. Ils ne sont requis que dans certains cas particuliers pour séparer complètement la dalle de certains équipements fixes comme les regards, les socles de lampadaire, les



bâtiments, les approches d'ouvrages d'art, les virages à faible rayon de courbure, etc.

- Ils constituent une interruption totale du revêtement. La saignée est remplie d'une fourrure en matière compressible dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 mm.

- Un soin particulier doit être accordé à la réalisation de ces joints.

- Il est parfois recommandé d'utiliser un système de transfert de charge au droit de ces joints (goujons).

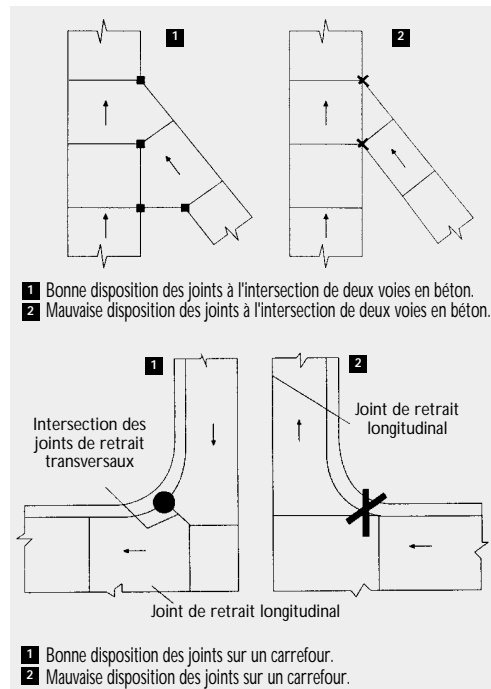
■ 4. Disposition des joints

Pour concevoir un schéma de jointolement, on tiendra compte des règles de l'art suivantes :

- a) Les joints découpent un revêtement en dalles. Il est préférable de donner à ces dalles une forme carrée ou rectangulaire avec un rapport dimensionnel maximum de 1 à 1 $\frac{1}{2}$.
- b) L'espacement des joints transversaux et longitudinaux doit se situer entre 3 et 5 m.

La figure ci-contre montre la disposition des joints transversaux dans le cas d'une voirie à une seule voie de circulation, au droit d'une intersection.

La figure ci-contre montre la disposition des joints transversaux et longitudinaux dans le cas d'une voirie à deux voies de circulation, au droit d'une intersection.

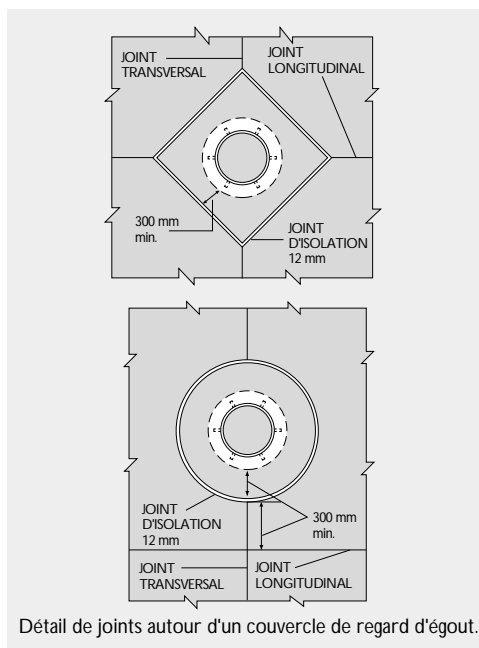


- c) Des formes autres que carrées ou rectangulaires sont cependant permises pour adapter le revêtement aux besoins du tracé et de la géométrie de la route. Ces formes sont telles, qu'elles ne comportent pas d'angles aigus.

- d) Un joint de dilatation est indispensable autour des obstacles fixes.

La figure ci-contre montre la disposition d'un joint de dilatation autour d'un couvercle de regard d'égout dans deux cas précis :

- cas d'un regard se trouvant à l'intersection des joints transversaux et longitudinaux,
- cas d'un regard se trouvant à l'écart d'un joint longitudinal.



Le dimensionnement

Le dimensionnement est conduit selon la démarche définie par « SETRA et LCPC ».

Il se fait en quatre étapes :

- Détermination de la classe de trafic,
- Évaluation de la portance de la plate-forme,
- Définition de la classe de résistance du béton,
- Le dimensionnement proprement dit.

■ • *Choix de la classe de trafic*

- La classe de trafic est désignée à partir du trafic moyen journalier annuel « MJA », estimé à la mise en service et exprimé en poids lourds de charge utile supérieure ou égale à 5 tonnes.

- La méthode de calcul du « MJA » est donnée dans le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic (SETRA-LCPC/1981) et

NOTA : En matière de trafic, le nouveau Catalogue des Structures de Chaussées Neuves (SETRA – LCPC – 1998) apporte deux modifications importantes :

- La première concerne la définition du « poids lourd » qui devient « un poids lourd est un véhicule de plus de 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge (PTAC) ». Toutefois, une relation - valable uniquement en rase campagne - permet de transformer les données exprimées en véhicules de plus de 5 t de charge utile (C.U.) en nombre de véhicules de plus de 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge : $N(PTAC) = 1,25 \times N(C.U.)$
- La deuxième modification concerne la classification du trafic. Désormais, les classes de trafic sont exprimées en nombre de poids lourds **cumulé** pendant la durée initiale de dimensionnement (20 ou 30 ans)

- A partir des différentes classes de trafic figurant dans la classification SETRA/LCPC, nous retenons ici deux classes :

- espaces sans contraintes : t_6
- espaces faiblement circulés : t_5, t_4

dans le catalogue des structures (SETRA-LCPC/1977 et actualisation 1988).

- Le tableau ci-dessous donne les différentes classes de trafic pour les voiries urbaines à faible trafic :

Trafic à la mise en service \ Classes de trafic	Espaces sans contraintes : t_6	Espaces faiblement circulés	
		t_5	t_4
exprimé en poids lourds par jour	0-10 PL/j	10-25 PL/j	25-50 PL/j
exprimé en nombre total de véhicules par jour	0-200 VH/j	200-400 VH/j	400-700 VH/j

■ 2. Évaluation de la portance de la plate-forme

Pour dimensionner correctement une voirie, il faut, outre la connaissance du trafic poids lourds :

- vérifier l'obtention, au moment de la construction de la chaussée, d'une portance suffisante du sol pour assurer le bon déroulement des travaux. Cette portance est appelée « portance à court terme »,
- apprécier la portance du sol pendant la période de service de la chaussée ou « portance à long terme ». C'est cette portance qui est considérée pour déterminer le dimensionnement.

Pour évaluer la portance du sol, le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic (SETRA-LCPC/1981) définit cinq niveaux de portance du sol support désignés, dans l'ordre croissant par p_0 , p_1 , p_2 , p_3 et p_4 .

Le tableau ci-dessous donne les critères de classification des sols, soit par l'essai CBR, soit par un examen visuel, soit par l'essai à la plaque.

Portance	Examen visuel (essieu de 13 t)	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV_2 (MPa)	
p_0	Circulation impossible, sol inapte, très déformable	$CBR \leq 3$	$EV_2 \leq 15$	
p_1	Ornières derrière l'essieu de 13 t, déformable	$3 < CBR \leq 6$	$15 < EV_2 \leq 30$	
p_2	pas d'ornières derrière l'essieu de 13 t	déformable	$6 < CBR \leq 10$	$30 < EV_2 \leq 50$
p_3		peu déformable	$10 < CBR \leq 20$	$50 < EV_2 \leq 120$
p_4		très peu déformable	$20 < CBR \leq 50$	$120 < EV_2 \leq 200$

■ 3. Définition de la classe de résistance du béton

Les bétons routiers doivent répondre aux sollicitations répétées du trafic et des effets climatiques ; leur résistance à la traction par flexion entre directement en ligne de compte pour le dimensionnement.

Ces bétons doivent donc être aussi homogènes et compacts que possible et présenter des caractéristiques mécaniques adéquates.

CLASSES DE RÉSISTANCE

- Les classes de résistance mécanique, mesurée à 28 jours, des bétons utilisés dans les chaussées en béton sont définies par la norme NFP 98170.

Pour les catégories de trafic à considérer, les valeurs suivantes peuvent être retenues :

OBSERVATIONS

- la résistance mécanique requise pour tous les bétons, est mesurée :
 - soit par l'essai de fendage - Norme NFP 18 408.
 - soit par l'essai de traction par flexion - Norme NFP 18 407.

Caractéristiques mécaniques	Espaces sans contraintes : t_6	Espaces faiblement circulés t_5, t_4
Résistance à la traction par flexion à 28 j.	4 MPa ou 40 bars	4,5 MPa ou 45 bars
Résistance à la traction par fendage - (essai brésilien)	2,4 MPa ou 24 bars	2,7 MPa ou 27 bars

■ 4. Le dimensionnement proprement dit

Pour le dimensionnement proprement dit, le « Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic » (SETRA/LCPC-1981) permet de calculer les différentes structures en béton en fonction de la portance du sol et de la classe de trafic, avec les hypothèses de calcul suivants :

- période de service : 20 ans,
- taux de croissance du trafic : 4 % par an,
- résistance du béton à la traction par fendage 2,7 MPa ou 27 bars.

Le tableau qui suit constitue une fiche de structures types pour les voiries à faible trafic en béton.

Portance du sol à long terme « p »	Classe de trafic « t »			
	t_6 $0 < t < 10 \text{ PL/j.}$	t_5, t_4 $10 < t < 50 \text{ PL/j.}$		
p_0	16 cm	B.C.	22 cm	B.C.
	35 cm	M.T.C.C.	35 cm	M.T.C.C.
p_1	16 cm	B.C.	22 cm	B.C.
	20 cm	M.T.C.C.	20 cm	M.T.C.C.
p_2	16 cm	B.C.	22 cm	B.C.
p_3	14 cm	B.C.	20 cm	B.C.
p_4	12 cm	B.C.	18 cm	B.C.

B.C. : béton de ciment

M.T.C.C. : matériau traité à la chaux et/ou au ciment.

Nota : Pour des périodes de service de 30 ans et 40 ans, les épaisseurs du revêtement béton données ci-dessus doivent être majorées respectivement de 1 cm et 2 cm.

Cas des voiries à fort trafic (Trafic > 50 PL/J)

En plus des dispositions prévues pour les voiries à faible trafic, les règles de l'art suivantes doivent être observées pour les voiries à fort trafic (trafic > 50 PL/J, soit $t > t_4$).

Le choix de la couche de fondation

La fondation sous un revêtement béton peut être exigée dans le cas des voiries circulées dont le trafic est supérieur à 50 PL/J.

En effet, le comportement d'un revêtement en béton, sous l'effet d'un trafic lourd élevé, est conditionné par le degré d'érodabilité des matériaux de la couche de fondation.

Pour lutter contre l'érosion, il faut choisir judicieusement les matériaux de fondation en fonction de la catégorie de trafic prévisible et des conditions climatiques.

Le tableau suivant permet de choisir les différentes solutions cohérentes possibles :

Érodabilité Climat	Nature de la couche de fondation					
	Grave non traitée		Grave - ciment		Béton maigre ou béton bitumineux	
	dalles non goudonnées	dalles goudonnées	dalles non goudonnées	dalles goudonnées	dalles non goudonnées	dalles goudonnées
Sévère	solution proscrite	300 P.L.	150 P.L.	750 P.L.	750 P.L.	2 000 P.L.
Moyen	150 P.L.	750 P.L.	300 P.L.	2 000 P.L.	2 000 P.L.	5 000 P.L.
Favorable	300 P.L.	2 000 P.L.	750 P.L.	5 000 P.L.	2 000 P.L.	pas nécessaire

(extrait d'une publication AIPCR)

La surlargeur non circulée

Pour les voiries à fort trafic, le revêtement en béton est bordé d'une partie non circulée : la surlargeur, dont la dimension est fonction du trafic prévisible.

Elle est destinée à améliorer le comportement du revêtement en écartant le trafic lourd du bord libre de la dalle. La surlargeur est de :

- 25 cm pour un trafic T3
- 50 cm pour un trafic T1 ou T2
- 75 cm pour un trafic T0

Le goujonnage des joints

Les joints de retrait transversaux peuvent être goujonnés. L'utilisation des goujons améliore le transfert des charges au droit des joints, augmente la durabilité du revêtement et permet de réduire l'épaisseur du revêtement (environ 2 cm)

Ils sont recommandés pour les chaussées à fort trafic ($t > 300$ P.L./j), en zone à pluviométrie élevée (voir tableau « choix de la couche de fondation »).

Le dimensionnement des voiries à fort trafic

■ 1. Évaluation de la portance de la plate forme

Le catalogue des structures (SETRA/LCPC-1995) définit 4 niveaux de portance de la plate-forme de chaussée, désignés, dans l'ordre croissant par PF_1 , PF_2 , PF_3 et P_{EX} .

Le tableau ci-dessous, donne les critères de classification des plates-formes, par l'essai à la plaque.

Portance de la plate-forme	Module de déformation à la plaque EV_2 (MPa)
$PF_1 = p_2$	$30 < EV_2 \leq 50$
$PF_2 = p_3$	$50 < EV_2 \leq 120$
$PF_3 = p_4$	$120 < EV_2 \leq 200$
P_{EX}	$EV_2 \geq 200$

■ 2. Définition de la classe de résistance du béton

Les classes de résistance mécanique mesurées à 28 jours des bétons utilisés dans les chaussées sont définies par la norme NFP 98 170.

Dans ce document, pour les trafics supérieurs à 50 PL/J, nous avons retenu :

- résistance à la traction par flexion à 28 jours : 5,5 MPa ou 55 Bars,
- ou
- résistance à la traction par fendage (essai brésilien) 3,3 MPa ou 33 Bars

■ 3. Le dimensionnement proprement dit

Le Catalogue des structures (SETRA/LCPC-1995) permet de calculer les différentes structures en béton en fonction de la portance de la plate-forme et des différentes classes de trafic, avec les hypothèses de calcul suivantes :

- période de service : 20 ans,
- taux de croissance du trafic : 7 % par an.
- résistance du béton à la traction par fendage de 3,3 MPa ou 33 bars.

Le tableau qui suit constitue une fiche de structures-types pour les voiries urbaines à fort et moyen trafics.

Classes de trafic P.L./jour	Portance de la plate-forme							
	PF ₁		PF ₂		PF ₃		P _{EX}	
T ₀ 750 < t < 2000	BC	28 cm	BC	28 cm	BC	26 cm	BC	24 cm
	BM	18 cm	BM	15 cm	BM	15 cm	BM	15 cm
T ₁ 300 < t < 750	BC	26 cm	BC	26 cm	BC	24 cm	BC	22 cm
	BM	18 cm	BM	15 cm	BM	15 cm	BM	15 cm
T ₂ 150 < t < 300	BC	24 cm	BC	24 cm	BC	22 cm	BC	20 cm
	BM	15 cm	BM	12 cm	BM	12 cm	BM	12 cm
T ₃ 50 < t < 150	BC	22 cm	BC	22 cm	BC	20 cm	BC	18 cm
	BM	15 cm	BM	12 cm	BM	12 cm	BM	12 cm

* note : BC : béton de ciment
BM : béton maigre.

D'autres structures en béton sont prévues dans le catalogue :

- dalle goujonnée,
- dalle épaisse,
- béton armé continu,
- béton de ciment sur grave ciment,
- béton compacté,
- etc.



Chapitre

5

Formulation et fabrication du béton

Le présent chapitre n'a ni pour prétention ni pour objectif de résoudre la totalité des questions de formulation du béton qui peuvent se poser localement dans un contexte précis. Son but est de rappeler les principes généraux et de les compléter par des règles plus spécifiques visant à la réussite d'un chantier de voirie et d'aménagement urbain en béton désactivé.

Production du béton

Du fait de leur taille, les chantiers de voiries en béton désactivé ne justifient pas, en général, le déplacement d'une centrale, à moins que l'entreprise ne dispose d'une petite unité de production, rapidement transportable et à peu de frais. En pratique, le déplacement d'une centrale n'est valable économiquement que pour les chantiers dont la superficie de revêtement en béton est supérieure à 15 000 m². Dans les autres cas, on doit faire appel à une centrale de béton prêt à l'emploi, qui offre un certain nombre d'avantages et de garanties.

QUALITÉS

- Conformité aux normes en vigueur
- Bonne qualité du béton et une grande régularité
- Formulation « bétons standards » disponibles souvent sur catalogue
- Formulation « béton spécifique » sur demande est possible
- Simplifie considérablement l'organisation du chantier
- Références de travaux antérieurs.

OBSERVATIONS

- S'assurer de la disponibilité d'un choix varié de granulats : nature, couleur, forme, quantité
- Anticiper et intégrer les sujétions d'exploitation d'une centrale (plusieurs commandes de bétons différents, leurs incidences sur le déroulement du chantier)

Critères pour la formulation du béton désactivé

La singularité de la technique du béton désactivé consiste en un traitement particulier de la surface après mise en œuvre, destiné à retarder superficiellement la prise du mortier afin de pouvoir l'éliminer par lavage.

On peut considérer que cette technique peut être appliquée à n'importe quel type de béton s'il n'y a pas d'exigence particulière d'aspect et qu'elle ne remet pas en cause les principes généraux de formulation du béton qui se trouvent naturellement applicables au cas du béton désactivé.

PRINCIPES GÉNÉRAUX

Les principes généraux tendent à satisfaire trois critères généraux :

- **1. la maniabilité :**
en prenant en compte notamment les moyens de mise en œuvre de l'entreprise, les conditions atmosphériques, la durée du transport, et le recours éventuel au pompage.
- **2. les résistances mécaniques :**
en respectant les exigences contractuelles à 28 jours par exemple, mais en prenant en considération également des contraintes particulières d'exploitation telles que la remise rapide en circulation de la voirie
- **3. la durabilité :**
en prévoyant un dosage minimal en ciment et **l'emploi obligatoire d'un entraîneur d'air** et en utilisant des matériaux satisfaisant aux critères de choix habituels pour la voirie urbaine

ASPECTS SPÉCIFIQUES

Les aspects spécifiques complémentaires résultent d'objectifs particuliers tels que :

- 1. la qualité esthétique :
couleur, texture, association de matériaux divers (pavés béton, pierres naturelles, enrobés).
- 2. la sécurité :
amélioration de la sécurité, réduction des projections d'eau de pluie, identification visuelle des différents composants de la voirie (chaussée circulée, zone de stationnement, trottoir, passage piéton, etc.)
- 3. les contraintes d'environnement :
réduction du bruit de roulement des véhicules
- 4. l'environnement
une meilleure intégration de la voirie dans le site.

La prise en considération de ces objectifs particuliers et des règles générales de formulation doit conduire à l'adoption de compromis techniques qui ne correspondent pas nécessairement à une optimisation de la composition du béton mais qui permettent de satisfaire l'ensemble des exigences avec un risque acceptable.

Il est donc possible que les compositions classiques de béton routier disponibles dans la plupart des centrales de béton prêt à l'emploi doivent être adaptées pour répondre au mieux à l'ensemble des objectifs du projet.

Composition du béton désactivé

En fonction des données locales et de l'expérience acquise dans le domaine du béton désactivé, deux cas sont envisagés :

1. 1^{er} cas - Existence de références antérieures

L'étude de composition du béton n'est pas nécessaire lorsqu'on dispose, au niveau local, d'informations préalables suffisantes provenant de chantiers antérieurs pour lesquels des constituants de caractéristiques identiques ont été utilisés. Une vérification de l'adéquation des paramètres techniques, entre le chantier projeté et la référence existante, est nécessaire.

INFORMATIONS PRÉALABLES

- l'identification des constituants disponibles :

caractéristiques physiques et mécaniques en regard des exigences du projet.

ADÉQUATION PROJET/RÉFÉRENCE

- Vérification et adaptation :
 - paramètre trafic et son influence sur le choix des granulats : se référer au tableau « caractéristiques complémentaires des granulats en fonction du type de trafic » (Annexe 1)

- le dossier « béton » de(s) chantier(s) antérieur(s) rappelant :
 - la composition du béton,
 - les moyens de fabrication et de mise en œuvre,
 - la référence du (des) chantier(s),
 - les résultats obtenus.

- l'existence éventuelle des plaquettes pour la définition de l'aspect de référence.

- choix du ciment (teinte, nature, classe et caractéristiques) : se référer à l'Annexe 2

- Vérification et adaptation :
 - consistance du béton à adapter aux moyens de mise en œuvre prévus pour le projet : se référer au tableau de l'Annexe 3.
 - en cas de besoin, vérifier la pompabilité.
 - maintien de la consistance dans le temps : se référer à l'annexe 3.
 - choix de la classe de résistance selon l'importance du trafic prévisible : se référer au tableau de l'Annexe 4.

- vérification
 - choix des granulats : origine, forme, nature minéralogique, couleur, granularité, etc.
 - choix du ciment : origine, nature, teinte
 - choix de la texture du béton : catalogue/échantillon

2. 2^e cas - Absence de références

En l'absence de chantiers antérieurs pouvant servir de références, la composition du béton désactivé est définie par une étude de formulation, tenant compte des moyens de mise en œuvre (pompages éventuels).

■ a) *Étude de formulation*

Elle a pour but de fixer la quantité en masse de chacun des constituants (secs pour les granulats) pour 1 m³ de béton « compacté » à refus (Norme XP P 18-305).

L'étude de formulation conditionne la qualité du béton et doit être entreprise le plus tôt possible. En l'absence de préétude, le délai conseillé est d'environ 2 mois avant le début du chantier.

Cette période est nécessaire pour pouvoir effectuer :

- étude et essais,
- approvisionnement des matériaux,
- présentation des plaquettes,
- réalisation de la planche expérimentale.

Les diverses méthodes de formulation sont applicables mais la méthode au « maniabilimètre » développée en Annexe 5 est préconisée pour les bétons denses de classes 4, 5 et 6 (conformément à la Norme NF P 98 170).

L'étude de formulation doit être complétée par une étude de l'évolution de la consistance dans le temps mesurée au cône d'Abrams ou au maniabilimètre à béton.

Cette étude doit satisfaire aux spécifications du projet en tenant compte des paramètres propres au chantier tels que : moyens de mise en œuvre, délais de transport et d'attente prévus, conditions climatiques, etc.

■ *b) Comment passer une commande de béton de voirie destiné à être désactivé*

Il est indispensable au moment de la consultation ou de la commande, de préciser qu'il s'agit de la fourniture d'un béton destiné à être désactivé répondant à des spécifications bien définies.

Dans le cas d'une mise en œuvre par pompage, il conviendra de préciser la distance et la configuration (nombre de coudes par exemple).

SPÉCIFICATIONS

- Classe de résistance du béton

OBSERVATIONS

- pour le choix de cette classe, se référer au tableau « classes de résistances en fonction du trafic » Annexe 4.

- Ciments :

- nature : tous les ciments* normalisés (norme NF EN 197-1) portant le double marquage CE + NF

* y compris les ciments blancs

- dosage :

classe de trafic	minimal	conseillé
t < 50 PL/j	300 Kg/m ³	330 Kg/m ³
t > 50 PL/j	330 Kg/m ³	350 Kg/m ³

- Granulats

- les granulats doivent être conformes à la norme XP P 18-540.

- les sables doivent être propres et de granulométrie continue.

- les gravillons roulés, concassés ou semi-concassés doivent être non gélifs et de coefficient LA compatible avec la classe de trafic.

Ils peuvent être de qualité standard ou spéciaux en fonction de l'esthétique recherché : basaltes, granits, porphyres, calcaires durs, quartz, etc.

- dosage élevé en gravillons : 1 100 à 1 350 Kg/m³

- Adjuvants

- entraîneur d'air : **utilisation obligatoire** dans le but d'améliorer la résistance du béton au gel et aux sels de déverglaçage.

- d'autres adjuvants doivent être conseillés tels que les plastifiants, les plastifiants réducteurs d'eau, les superplastifiants, les retardateurs et accélérateurs de prise, dans le but d'améliorer les caractéristiques du béton et de faciliter sa mise en œuvre.

- Anticiper :

- prise plus lente avec : CEM III/C

- teinte plus foncée avec : CEM V/A ou B

- le dosage en ciment dépend de la taille des granulats prévu dans le béton : Dmax ↓ → dosage ↑

- En cas de besoin, ils peuvent être corrigés par l'apport de fines (sablons, fillers). (Se référer à l'Annexe 1).

- à éviter :

bétons à plus de 3 granulats, compte tenu des capacités de stockage en centrale.

- le coefficient LA à préciser en fonction de la classe de trafic. (Se référer à l'Annexe 1).

- rapport gravillon/sable : 1,8 < G/S < 2,2

- air occlus : 3 à 6 %

- s'assurer qu'il n'y ait pas incompatibilité entre les différents adjuvants

- Colorants

- sous forme liquide ou en poudre, ils sont incorporés à la fabrication du béton et interviennent directement dans la teinte finale du béton.

- Eau

- elle doit être propre et exempte de toutes impuretés. Son dosage en fabrication doit être constant afin d'éviter des variations de plasticité, de résistance mécanique et de teinte.

- Additifs

- addition éventuelle de fines correctives pour améliorer certaines caractéristiques du béton frais.

- fibres, addition éventuelle de fibres polyester ou polypropylène pour améliorer :

- la cohésion du béton frais,

- le maintien des gravillons dans la texture,

- les caractéristiques du béton (résistance à l'usure et à la fissuration du retrait).

- dosage.

- colorant en poudre : 3 à 4 %* du poids du ciment

- colorant liquide : 3 à 6 % du poids du ciment

* ciment blanc : ne pas excéder 3 %

- le dosage en eau doit être réduit : $0,4 < E/C < 0,5^*$

* 0,55 pour les granulats silico-calcaires

- le pourcentage d'éléments fins inférieurs à 80 μm doit être de l'ordre de 15 %

- dosage fibres suivant le conseil du fabricant

- se référer aux procès verbaux d'essais émis, à la demande des fabricants par SOCOTEC, VERITAS, CEBTP,...

■ c) *Epreuve d'étude et de convenance*

La réalisation d'une épreuve de convenance de fabrication et l'exécution d'une planche de référence sont indispensables.

Cette épreuve de convenance permet au maître d'œuvre de vérifier que la centrale dispose des moyens de stockage et des équipements conformes à la norme NF P 98 730.

La réalisation d'une planche de référence avec les moyens de transport prévus et le matériel de mise en œuvre de l'entreprise doit également permettre de définir

la procédure de désactivation du béton. Cette épreuve peut être réalisée lors des premiers coulages mais leur acceptation par le maître d'œuvre est alors conditionnée par l'obtention de résultats probants.

Dans le cas d'une utilisation de granulats spéciaux, non disponibles de façon courante à la centrale, la procédure citée ci-dessus doit être complétée par les points suivants :

1. Un échantillon représentatif sera soumis à l'approbation du maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre. (Le choix sera porté sur la teinte, la forme, la granulométrie).

Cet échantillon sera conservé par le maître d'ouvrage.

2. Après acceptation du choix du ou des granulats, une planche d'essai d'environ (80 cm x 80 cm x 8 cm) sera réalisée en laboratoire à partir de la composition retenue. La présence du maître d'œuvre est conseillée.

La planche d'essai sera conservée par le maître d'ouvrage.

3. Après accord du Maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre sur la planche d'essai, la centrale pourra alors réceptionner le ou les granulats spéciaux.

Annexe 1

Les granulats

Leur nature minéralogique peut être très variée : matériaux éruptifs, sédimentaires, calcaires ou siliceux, roulés ou concassés sont susceptibles de convenir.

Les granulats sont conformes à la norme XP P 18-540. Leurs principales caractéristiques, définies en fonction de l'importance du trafic, sont données dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques des granulats	Trafic	Espaces avec contrainte de trafic		
	Espaces Esthétiques sans contrainte de trafic $t < 10 \text{ PL/j}$	trafic faible $10 < t < 50 \text{ PL/j}$	trafic moyen $50 < t < 300 \text{ PL/j}$	trafic fort $t > 300 \text{ PL/j}$
Exemples d'application	Cours d'école, parvis, trottoirs, placettes, pistes cycles, voies de dessertes, aménagements piétonniers	Voirie rurale et une partie du réseau départemental	Voirie départementale et une partie du réseau national	Routes nationales, voies bus, etc.
Classe granulats	D.III	C.III	B.III	B.III
Gravillons				
Coefficient de polissage accéléré C.P.A.	—	—	C.P.A. $\geq 0,45$	C.P.A. $\geq 0,45$
Los Angelès + Micro Deval L.A. + M.D.E.	≤ 55	≤ 45	≤ 40	≤ 40
100 C.P.A. - (L.A. + M.D.E.)	—	—	≥ 15	≥ 15
Coefficient d'aplatissement - A	$A < 20$	$A < 20$	$A < 20$	$A < 20$
Propreté des gravillons - P	$P \leq 2\%$	$P \leq 2\%$	$P \leq 2\%$	$P \leq 2\%$
Sables				
Propreté des sables* - P.S.	P.S. > 60	P.S. > 60	P.S. > 60	P.S. > 60
Friabilité des sables - F.S.	F.S. ≤ 60	F.S. ≤ 60	F.S. ≤ 60	F.S. ≤ 60
Variation Module de finesse - VMF	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$

* Il s'agit d'un nouvel essai d'équivalent de sable piston sur le 0-2 mm limité à 10 % de fines.

Annexe 2

Le ciment

■ *Nature*

Le ciment est conforme à la norme NF EN 197-1.

Les ciments CEM II, CEM III et CEM I sont les plus utilisés pour la confection du béton. L'utilisation du CEM III/C est possible pour la réalisation d'un béton clair. Il faut toutefois attirer l'attention sur l'allongement du temps de prise du CEM III/C et sur sa susceptibilité à la dessiccation donc aux risques de fissuration du béton qui en découlent si la cure n'est pas extrêmement soignée.

■ *Teinte*

Le ciment gris convient dans la majorité des cas.

Le ciment blanc est choisi pour le béton blanc ou pour l'obtention d'une matrice claire, pour accuser le contraste de teinte avec les granulats par exemple.

Le ciment doit provenir d'une seule usine pour assurer la régularité de la teinte.

■ *Classe*

La situation géographique du chantier ne permet pas n'importe quel choix, faute de disponibilité régionale de certaines catégories de ciment.

Le ciment de classe 32,5 N ou 42,5 N convient le plus souvent. Les classes rapides 32,5 R ou 42,5 R peuvent être utilisées pour des remises en circulation rapides de la voirie (avant 7 jours).

Le ciment de classe 52,5 N ou 52,5 R est adapté aux voiries à fort trafic ou à des remises en service très rapides de la voirie (à 48 ou 72 heures).

■ *Caractéristiques*

Le ciment utilisé pour la confection du béton doit présenter les caractéristiques définies dans l'annexe B de la norme NF P 98-170.

Annexe 3

Consistance du béton

■ Consistance

La consistance du béton est mesurée par l'affaissement au cône d'Abrams (norme NF P 18-451).

Elle est adaptée aux moyens de mise en place du béton.

Classe de consistance	Affaissement au cône	Désignation simplifiée	Moyen de mise en place	Observations
Béton ferme	de 0 à 4 cm	F	Machine à coffrage glissant Pervibration puissante	Adapté pour les voiries circulées
Béton plastique	de 5 à 9 cm	P	Pervibration moyenne Vibration superficielle	
Béton très plastique	de 10 à 15 cm	TP	Tiré à la règle après damage éventuel	Adapté pour les aménagements sans contrainte $t < 10 \text{ PL/j}$.
Béton fluide	$\geq 16 \text{ cm}$	FL	Déconseillé pour les bétons désactivés	

■ Maintien de la consistance

L'évolution de la consistance du béton dans le temps est mesurée au cône d'Abrams.

Elle dépend principalement de la nature du ciment, de celle des adjuvants et des conditions atmosphériques.

La consistance du béton doit rester compatible avec les moyens de mise en œuvre, dans les conditions atmosphériques prévisibles pour le chantier, jusqu'à la fin de sa mise en œuvre, sans addition d'eau.

Annexe 4

Classes de résistance du béton

■ *Résistance mécanique*

La résistance mécanique requise pour tous les bétons, est mesurée :

- soit par l'essai de fendage - norme NF P 18-408
- soit par l'essai de traction par flexion - norme NF P 18-407

Les classes de résistance mécanique à 28 jours - des bétons utilisés dans les chaussées sont définies par la norme NF P 98-170.

Pour les catégories de trafic à considérer, les valeurs suivantes peuvent être retenues.

Caractéristiques mécaniques	Espaces sans contraintes	trafic < 50 PL/j.	trafic > à 50 PL/j.
Résistance à la traction par flexion à 28 j.	4 MPa ou 40 bars	4,5 MPa ou 45 bars	5,5 MPa ou 55 bars
Résistance à la traction par fendage - à 28 j. (essai brésilien)	2,4 MPa ou 24 bars	2,7 MPa ou 27 bars	3,3 MPa ou 33 bars

Nota : Les bétons fabriqués par les Centrales BPE seront conformes à la norme XP P 18-305 pour la classe d'environnement E3 et devront répondre aux caractéristiques complémentaires relatives à leur consistance et à leur résistance à la traction définie dans la norme NF P 98-170.

Annexe 5

Exemple d'étude de formulation

(Référence : Directive pour la réalisation des chaussées en béton de ciment - page 15 - Mai 1978 et Norme NF P 98-170).

Le but de l'étude de formulation du béton est de rechercher - les granulats et le ciment étant choisis - la meilleure composition conciliant maniabilité et résistance du béton.

Une méthode couramment utilisée consiste à fixer en première étape les éléments suivants :

- Le dosage au ciment à 330 kg/m³,
- Le rapport gravillons/cailloux a une influence relativement peu importante sur les caractéristiques du béton. Il peut être compris entre 0,6 et 1,0. Il est le plus souvent fixé par des considérations économiques,
- Le dosage en eau : 160 litres.

Les dosages étant exprimés en kg/m³ de matériaux secs, la méthode consiste alors :

1. à rechercher la maniabilité du béton complet à dosages en eau et ciment constants en faisant varier le rapport pondéral sable/(gravillons + cailloux). Ceci détermine le squelette du béton (voir fig. quadrant 1). *(Il a été démontré que le squelette correspondant à l'optimum de maniabilité est celui correspondant à la résistance maximale) ;*
2. à ajuster alors le dosage en eau et entraîneur d'air pour obtenir la maniabilité et la teneur en air occlus exigées (quadrant 2). A ce stade, l'emploi d'un plastifiant peut être envisagé. Dans ce cas, une étude avec et sans plastifiant sera nécessaire.
3. à fabriquer les éprouvettes prismatiques pour déterminer la résistance moyenne à la flexion à 7 et 28 jours (quadrant 3).

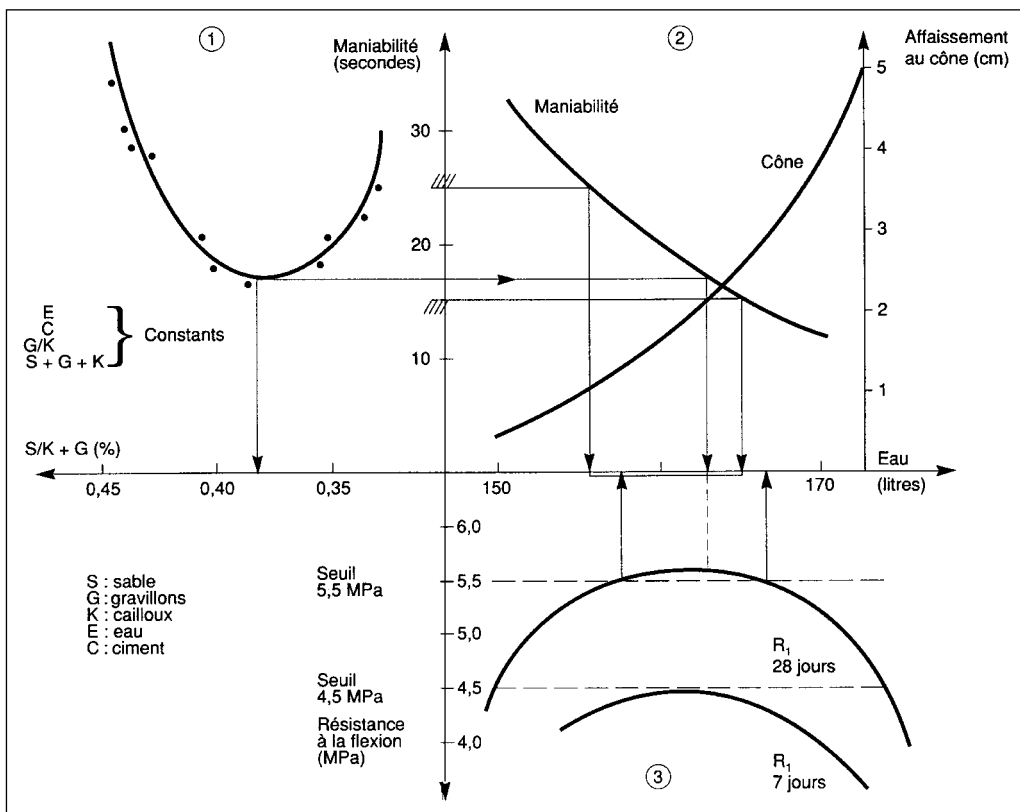
En outre, il existe toujours sur le chantier des variations des quantités d'eau totale et de granulats dont il faut prévoir les conséquences. La détermination des résis-

tances sur un nombre restreint d'éprouvettes fournira les limites de variation du dosage assurant une résistance satisfaisante.

La meilleure composition de béton est celle qui admet de petites variations de dosage des constituants, sans modification notable de caractéristiques, tant du béton frais que du béton durci.

Après comparaison des résultats des différentes formulations, on retiendra celle optimisant au mieux résistance mécanique - maniabilité - insensibilité aux variations de dosages.

Représentation graphique des résultats d'une étude de formulation d'un béton routier





Chapitre

6

Mise en œuvre

Exécution des travaux

Les qualités de l'aménagement et sa pérennité dépendent en grande partie de la qualité de sa réalisation. Il est donc important de porter une attention particulière aux traitements des détails ainsi qu'aux choix des entreprises.

1. Exécution - type

L'ordre et l'organisation des différentes phases élémentaires d'exécution varient en fonction de la nature des travaux à réaliser.

Deux cas sont envisagés :

■ a) Réfection de voiries

L'exécution des travaux suit le processus suivant :

- décaissement de l'ancienne structure sur une épaisseur correspondant au dimensionnement de la nouvelle structure en béton,
- réorganisation éventuelle des réseaux enterrés,
- mise en place éventuelle de fourreaux repérés avec soin,
- travaux éventuels de purge et de comblement,
- réglage et compactage de la plate-forme,
- reprise éventuelle des sous-couches,
- mise en œuvre de la structure en béton.

■ b) Voiries neuves en béton

L'exécution des travaux suit le processus suivant :

- les travaux préparatoires : tracé, décapage de la terre végétale et exécution éventuelle des réseaux enterrés,

- mise en place éventuelle de fourreaux repérés avec soin,
- compactage de la plate-forme,
- mise en œuvre éventuelle des sous-couches,
- mise en œuvre de la structure en béton.

2. Mise en œuvre du béton

L'enchaînement des opérations suit le processus suivant :

- pose des coffrages, le cas échéant,
- humidification éventuelle de la plate-forme,
- bétonnage,
- talochage,
- confection des joints,
- application du désactivant,
- lavage,
- cure du béton.

3. Matériel d'exécution

L'exécution d'une voirie en béton fait appel à plusieurs types de matériels. En effet, à chaque opération définie dans l'exécution type correspondent un ou plusieurs types de matériels.

Exception faite du revêtement en béton dont la mise en œuvre nécessite l'utilisation d'un matériel spécifique, la plupart des matériels utilisés en terrassement et en travaux préparatoires fait partie du matériel traditionnel de travaux publics.

Différents procédés de mise en œuvre du béton existent.

Le choix de l'un ou l'autre de ces procédés se fait en tenant compte du type de chantier à réaliser, de la géométrie de la route, du niveau de service souhaité, de l'emprise disponible de part et d'autre de la route à construire, etc.

Les procédés de mise en œuvre sont les suivants :

- mise en œuvre par damage + règle,
- mise en œuvre à l'aiguille vibrante,
- mise en œuvre à la règle vibrante,
- mise en œuvre au vibro-finiisseur,
- mise en œuvre à la machine à coffrage glissant.

4. Conditions de mise en œuvre

Pour réaliser dans de bonnes conditions un chantier en béton désactivé, des précautions doivent être prises avant et pendant l'exécution des travaux.

TRAVAUX

■ 1. Travaux préalables

- a) Protection du chantier :
A prévoir de manière à empêcher le passage des véhicules, des piétons et des animaux sur le béton frais.



PRÉCAUTIONS

- a) Balisage du chantier, aménagement de passages pour piétons et d'accès habitations, etc.

- b) Protection des ouvrages existants tels que façades d'immeubles, candélabres, calepinage en pavés, bordures, etc.



- c) Préparation du support

Il importe de soigner la préparation du support destiné à recevoir le béton.

Pour cela, il faut :

- débarrasser le support de toutes traces de boues, matière organique, etc.
- évacuer les eaux superficielles,
- soigner le compactage du support et le réglage de la plate-forme,
- prévoir les formes de pente.



- b) Deux possibilités :
 - soit par application d'un produit de protection qui facilite le nettoyage ultérieur
 - soit par la mise en place d'un film plastique de protection qui peut être le prolongement de celui éventuellement utilisé en fond de forme. Dans ce cas, veiller à ne pas créer des poches ou surépaisseurs.

- c) Lorsqu'un système de drainage est prévu pour la voirie, l'entrepreneur est tenu de le réaliser avant la préparation du support, de façon à ce que le temps d'action du drainage soit suffisant pour permettre l'exécution des travaux ultérieurs dans de bonnes conditions.
 - la présence d'un petit rouleau vibrant sur le chantier est indispensable pour les chaussées neuves,
 - le compactage est effectué avant la pose des coffrages sur une largeur égale à celle du revêtement augmentée éventuellement, de 50 cm de chaque côté.
 - une tolérance maximale de 2,5 cm mesurée à la règle de 3 mètres, posée dans n'importe quelle direction, est admise.

- d) Exécution de joints de dilatation autour des obstacles fixes : regards, candélabres, etc.



■ 2. Mise en œuvre du béton

- a) Conditions atmosphériques

Les conditions atmosphériques qui règnent au moment du bétonnage jouent un rôle capital.

Les paramètres à considérer sont :

- la température ambiante,
- l'humidité relative de l'air,
- la variation de température entre le jour de bétonnage et la première nuit.

Nota : Il faut prendre des précautions spéciales pour bétonner dans les cas suivants :

- *vent fort*
- *pluie*

- b) Coffrages : type, pose

A l'exception des chantiers dont la mise en œuvre est effectuée à l'aide d'une machine à coffrage glissant, l'utilisation des coffrages est indispensable

- a)

Les précautions à prendre en fonction des conditions atmosphériques sont données dans le tableau ci-dessous :

Température ambiante	de 5 à 20 °C	de 20 à 25 °C	de 25 à 30 °C	> 30 °C
Hygrométrie	Conditions normales de bétonnage			Cure renforcée
de 60 à 100 %		Cure renforcée	Cure renforcée et arrosage de la plate-forme	bétonnage à partir de 12 h. • Cure renforcée
de 50 à 60 %				
de 40 à 50 %	• Cure renforcée • Arrosage de la plate-forme		• Bétonnage après 12 h. • Cure renforcée	
< 40 %				Pas de bétonnage sans mesures spéciales

- b)

- les coffrages doivent être réglés en hauteur pour correspondre exactement à l'épaisseur de la dalle.

pour la mise en œuvre du béton. Les coffrages peuvent être des éléments en bois, en tôle d'acier, des bandes d'éléments modulaires (cas d'un calepinage), des rails en acier (cas d'une mise en œuvre au vibro-finisser).



• c) Le calepinage

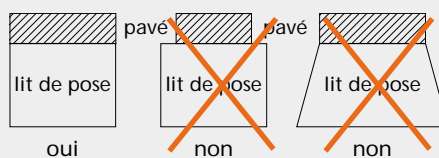
Le calepinage offre les avantages suivants :

- il peut faire office de joints de retrait/flexion,
- il peut servir de coffrages pour le coulage du béton,
- il facilite la mise en œuvre du béton en permettant le déplacement des ouvriers sur le chantier,
- il rompt la monotonie des surfaces trop importantes,
- il renforce les contrastes et règle les rythmes des couleurs soigneusement choisies par le concepteur,
- il reprend les lignes des bâtiments (façades, toitures, etc.)
- il facilite, le cas échéant, l'accessibilité aux réseaux enterrés.

- La pose des coffrages doit être effectuée avec soin : on ne doit observer ni écart en hauteur, ni écart en plan, supérieur à 1 cm par rapport à l'alignement théorique.

• c)

- le calepinage doit être posé sur un lit de mortier ou de béton (patins de calepinage), dosé à 300 Kg de ciment/m³ (minimum),
- le patin doit être à bord franc (sans chanfrein) et déborder le moins possible du pavé,



- le calepinage doit être réalisé quelques jours avant les travaux de bétonnage pour permettre au lit de pose d'acquies une résistance suffisante.



- d) Fabrication et approvisionnement du béton

Pour la fabrication du béton, il est recommandé de faire appel à une centrale de Béton Prêt à l'Emploi (BPE) qui offre un certain nombre d'avantages (voir chapitre Formulation et fabrication du béton).

L'approvisionnement du béton se fait, dans ce cas, par des camions-malaxeurs.

- e) Le bétonnage

On distingue essentiellement :

- **le bétonnage sans vibration** : autorisé uniquement dans le cas d'aménagements exclusivement piétonniers.



- d)

Nécessité de réaliser, avant les travaux proprement dits, une planche d'essai permettant de :

- vérifier la conformité et l'ouvrabilité du béton,
- faire le choix du désactivant et le calage du délai de lavage,
- vérifier l'obtention de l'aspect esthétique recherché.

- pour faciliter sa mise en œuvre, le béton doit avoir une consistance très plastique (affaissement au cône entre 10 et 15 cm).

Donc, nécessité d'incorporer dans le béton un plastifiant.

- pour empêcher le produit désactivant de pénétrer dans le béton, nécessité d'avoir une surface lisse bien fermée. Un soin particulier doit être observé au moment du lissage.

Le béton est réglé manuellement entre bastaings (ou calepinage), dammé puis tiré à la règle sans vibration et enfin lissé en surface.

- **le bétonnage avec vibration :**

Pour les chaussées en béton circulées, il est nécessaire de vibrer le béton pour lui conférer une grande compacité, des caractéristiques mécaniques élevées compatibles avec les sollicitations du trafic et par conséquent une grande durabilité

Différents procédés de mise en œuvre du béton par vibration existent. On peut citer :

Aiguille vibrante

utilisée pour vibrer le béton dans les zones non accessibles (autour d'obstacles fixes tels les candélabres, regards, etc.) et le long des coffrages ou calepinage.



Règle vibrante

C'est le procédé le plus simple.

Le béton est d'abord réglé manuellement, puis vibré à l'aiguille le long des coffrages et autour d'éventuels obstacles, avant le passage de la règle vi-

- le choix du procédé est fonction des résultats obtenus sur la planche d'essai et en tenant compte du type de chantier à réaliser, de la nature du trafic prévu et du rendement recherché.

- il est recommandé, dans ce cas, d'utiliser un béton de consistance plastique (affaissement au cône entre 5 et 10 cm)

- il est recommandé, dans ce cas, d'utiliser un béton de consistance plastique (affaissement au cône entre 5 et 10 cm).

brante qui prend appui sur le coffrage (ou éventuellement le calepinage).



Vibrofinisseur

C'est un engin automoteur qui se déplace sur des rails qui servent en même temps de coffrages. Cet engin règle, vibre et lisse le béton et permet de réaliser environ 250 mètres linéaires par jour.



Machine à coffrage glissant

Elle permet une grande régularité de mise en place par vibration régulière et avancement de la machine à vitesse constante.

- Il est recommandé de ne pas laisser la règle vibrer sur place sous peine de provoquer une ségrégation du béton.

- Il est recommandé, dans ce cas, d'utiliser un béton de consistance plastique (affaissement au cône entre 5 et 10 cm).

- machine adaptée pour réaliser des chantiers relativement importants, pour amortir les moyens mis en œuvre.

Cette machine assure :

- la répartition du béton,
- la vibration : pervibration, plus vibration de surface par poutre vibrante,
- l'avancement à vitesse constante combiné avec le réglage du niveau de la surface par un système de guidage (réglage fil guidé par palpeur)
- le coffrage des flancs latéraux (coffrages glissants).

Le bétonnage bicouche

Cette technique peut être envisagée pour des raisons économiques (granulats d'un coût important).

- f) Le talochage

Après le coulage du béton, le revêtement doit présenter une surface lisse, fermée, exempte de cavités apparentes et de vagues.

- g) la confection des joints

La réalisation correcte des joints est une condition essentielle à la pérennité de la chaussée.

Pour la réalisation des joints de construction, il convient de retailler la dalle à 90° afin d'obtenir un bord franc, et de la solidariser avec la coulée de béton suivante, à l'aide de goujons de 30 mm de diamètre, placés dans le

- Il est à noter qu'il existe actuellement différentes gammes de machines dont la taille peut être adaptée au chantier.

- Il est recommandé, voire obligatoire, d'utiliser un béton de consistance ferme (affaissement au cône entre 2 et 5 cm).

- nécessite impérativement un bon collage qui peut être obtenu par une adhérence frais sur frais.

- l'épaisseur minimale de la couche supérieure est 3 fois la dimension maximale (D_{max}) du granulat du béton utilisé dans cette couche.

- f)

un lissage à l'aide d'une lisseuse montée sur manche est fortement recommandé.



sens longitudinal, à mi-hauteur de la dalle et espacés de 0,75 mètre.

L'exécution des joints transversaux de retrait/flexion s'effectue soit :

- par le moulage dans le béton frais

Les joints moulés doivent être exécutés aussitôt après la mise en œuvre du béton. Ils doivent avoir une profondeur minimale égale au quart de l'épaisseur de la dalle béton.

Ils sont réalisés par enfoncement dans le béton frais d'une languette ou profilé en plastique, en contre-plaqué ou en bois aggloméré, d'épaisseur comprise entre 3 et 5 mm, qui demeurera dans le béton après son durcissement.

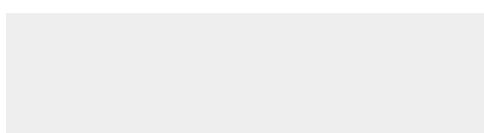
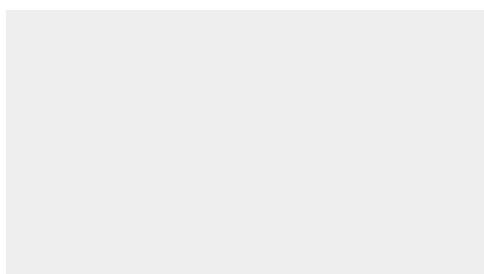
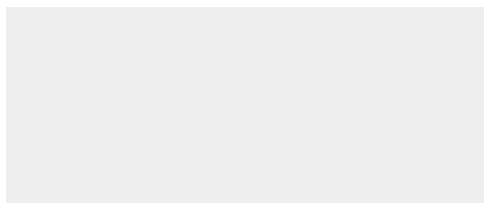
Après achèvement du joint, la surface du béton doit être rectifiée par talochage de part et d'autre du joint sur environ 50 cm.

- par le sciage du béton durci

Le sciage des joints doit être exécuté lorsque le béton de la dalle a suffisamment durci pour éviter que la scie ne laisse des traces à la surface du béton, donc obligatoirement après l'opération de cure du béton frais.

Il est capital de bien choisir le moment du sciage. Ce délai varie entre 6 et 48 heures, après le bétonnage, en fonction des caractéristiques du béton et des conditions climatiques.

Ces joints sont réalisés à l'aide d'une machine à disques diamantés réglée



sur une profondeur de l'ordre du quart ou du tiers de l'épaisseur de la dalle. La largeur de sciage est d'environ 3 à 4 mm.

- h) Application du désactivant

Le produit désactivant est pulvérisé à la surface du béton à raison d'un litre pour 4 m², immédiatement après le talochage s'il n'y a pas de ressuage d'eau en surface.

Sinon attendre une demi-heure environ jusqu'à ce que la surface du béton devienne mate. Le béton ne doit surtout pas avoir commencé sa prise.

Pendant cette opération, il faut :

- s'assurer avant usage de l'homogénéité du produit désactivant.
- adapter le choix du produit désactivant (faible ou fort) en fonction de la taille du granulat utilisé dans le béton et de l'aspect recherché.



- h)

- Pour faciliter la pulvérisation, il est recommandé d'utiliser une buse suffisamment grosse.

- Avant usage, consulter la fiche technique du produit utilisé.

- suivre avec précision les instructions du fabricant.

- utiliser :

- un désactivant faible pour un béton dont le Dmax est de 8 mm,
- un désactivant d'autant plus fort que Dmax est élevé.

- dans tous les cas, faire une planche d'essai et soumettre le résultat obtenu à l'approbation du Maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre.

- En cas de température ambiante élevée, la pulvérisation doit être faite à l'avancement, immédiatement après talochage.

En cas de température ambiante inférieure à 20 °c, pulvériser le produit après la disparition du ressuage éventuel.

• i) Le lavage

Cette opération consiste à enlever la laitance superficielle du revêtement qui a été retardée par le désactivant, à l'aide d'une machine à pression d'eau.

Il est impératif de :

laver au bout d'un délai compris entre 5 et 24 heures



- utiliser une machine à haute pression, fiable et puissante.

- finir par un rinçage sans pression de façon à obtenir un caillou bien propre.

• j) La cure du béton

Pour empêcher la dessiccation du béton sous l'effet des agents atmosphériques (vent, pluie, chaleur, etc.), on procède, immédiatement après le lavage, à la pulvérisation d'un produit de cure.

• i)

- Il convient d'assurer l'évacuation des eaux de lavage en dehors de la surface à désactiver.

- Le rendement moyen est de l'ordre de 35 m² à l'heure.

- Ce délai est à adapter en fonction des conditions atmosphériques régnant au moment du bétonnage.

Par temps chaud, il est conseillé d'effectuer cette opération dès que le béton devient porteur.

Se reporter à la fiche technique du produit désactivant.

- En règle générale, il est recommandé d'utiliser une machine de puissance minimale de 100 bars.

- rincer jusqu'à ce que l'eau coule bien claire.

• j)

- si le produit désactivant employé ne fait pas également office de produit de cure, il est recommandé de pulvériser immédiatement après l'application du désactivant un produit de cure compatible avec le désactivant.

- demander conseil auprès du fournisseur du produit désactivant.

