

VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON

TOME

1

Conception et dimensionnement



CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



Avant-propos

● Cette nouvelle version du guide *Voiries et aménagements urbains en béton. Tome I : Conception et dimensionnement* a été élaborée pour :

– prendre en compte les nouvelles règles en matière de conception et de dimensionnement des chaussées, définies en particulier dans la norme NF P 98 086 « Chaussées, terrassements – Dimensionnement et terminologie. Dimensionnement structurel des chaussées neuves », dans la norme NF P 98 170 « Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle » et dans la norme NF EN 206/CN « Béton – Spécification, performance, production et conformité » ;

– se mettre en harmonie avec le nouveau guide de dimensionnement des chaussées à faible trafic, édité par l'IDRRIM en 2019.

Cette nouvelle version, à l'instar de celle de 2009, a pour objectif de réunir l'ensemble des renseignements nécessaires aux praticiens afin de leur épargner de multiples et laborieuses recherches dans des ouvrages disparates.

Mais, pour réaliser un tel ouvrage, apte à répondre aux besoins et aux souhaits d'une large gamme d'utilisateurs, nous avons été amenés à nous écarter des sentiers traditionnels et à mettre l'accent sur les schémas et les illustrations, les données concrètes, les conseils pratiques, les tableaux de valeurs chiffrées, etc.

Ainsi conçu, ce guide est beaucoup plus qu'un aide-mémoire. Il est aussi tout autre chose qu'une mosaïque de monographies. Il sera constamment à la disposition du maître d'œuvre et des bureaux d'études qui pourront s'en servir pour étudier un dossier, préparer leurs documents ou organiser une réunion de travail. Ils trouveront dans cet ouvrage, tous les renseignements dont ils auront besoin pour concevoir, dimensionner et évaluer les projets de voiries et d'aménagements urbains en béton.

Sommaire

● Chapitre 1 : Généralités sur le fonctionnement des chaussées p. 5

| | |
|--|--------------|
| 1. Introduction | p. 6 |
| 2. Pourquoi une structure de chaussée? | p. 6 |
| 2.1. <i>Que se passe-t-il lorsqu'un véhicule se déplace sur un sol ?</i> | p. 7 |
| 2.2. <i>Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue, une couche granulaire non liée ?</i> | p. 8 |
| 2.3. <i>Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue, une couche granulaire traitée au ciment ?</i> | p. 10 |
| 2.4. <i>Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue, une dalle en béton de ciment ?</i> | p. 12 |
| 2.5. <i>Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue, une couche granulaire traitée au bitume ?</i> | p. 12 |
| 3. Conclusion | p. 13 |

● Chapitre 2: Caractéristiques générales des chaussées p. 15

| | |
|--|--------------|
| 1. Le trafic | p. 16 |
| 2. La voirie à faible trafic | p. 18 |
| 3. Les caractéristiques géométriques | p. 20 |
| 4. Constitution des chaussées : les différentes couches | p. 22 |
| 5. Les différentes structures de chaussées | p. 24 |

● Chapitre 3: Critères de choix des structures de chaussées p. 27

| | |
|---|--------------|
| 1. Choix d'une structure de chaussée: critères techniques, économiques et environnementaux | p. 28 |
| 1.1. <i>Structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic</i> | |
| 1.2. <i>Coût Global</i> | |
| 1.3. <i>Analyse de cycle de vie de l'ouvrage</i> | |
| 2. Conclusion | p. 36 |

● Chapitre 4: Conception des voiries et aménagements urbains en béton p. 37

| | |
|--------------------------|--------------|
| 1. Introduction | p. 38 |
| 2. Infrastructure | p. 38 |
| 3. Drainage | p. 44 |

| | |
|--|-------|
| 4. Profils en travers types | p. 46 |
| 5. Les joints | p. 49 |
| 6. Règles de l'art: les 10 commandements | p. 56 |

● Chapitre 5: Dimensionnement des voiries et aménagements urbains en béton p. 57

| | |
|--|-------|
| 1. Introduction | p. 58 |
| 2. Méthodes de dimensionnement | p. 58 |
| 3. Le trafic | p. 59 |
| 4. Évaluation de la portance de la plate-forme | p. 67 |
| 5. Caractéristiques des bétons routiers | p. 68 |
| 6. Détermination des épaisseurs des revêtements en béton | p. 70 |

● Chapitre 6: Exemple de dimensionnement p. 75

| | |
|---|-------|
| 1. Introduction | p. 76 |
| 2. Le projet | p. 76 |
| 2.1. Le trafic | p. 76 |
| 2.2. La plate-forme support de chaussée | p. 79 |
| 2.3. La classe de résistance du béton | p. 80 |
| 2.4. Détermination de l'épaisseur | p. 80 |
| 2.5. Disposition des joints | p. 80 |

● Chapitre 7: Les atouts de la solution béton p. 81

| | |
|-----------------------|-------|
| 1. Introduction | p. 82 |
| 2. Atouts techniques | p. 82 |
| 3. Atouts économiques | p. 84 |
| 4. Atouts écologiques | p. 86 |
| 5. Atouts esthétiques | p. 86 |

● Chapitre 8: Principales applications : fiches techniques p. 89

| | |
|---|-------|
| Fiche n°1 - Les voiries urbaines en béton | p. 91 |
| Fiche n°2 - Les aménagements piétonniers en béton | p. 97 |
| Fiche n°3 - Les voies réservées aux bus | p.101 |
| Fiche n°4 - Les pistes cyclables en béton | p.108 |
| Fiche n°5 - Les voiries rurales en béton | p.115 |

Contribution à l'ouvrage

*Ce guide a été rédigé par Joseph ABDO,
directeur du pôle Routes et Terrassements à CIMBETON.*



Chapitre

1

Généralités sur le fonctionnement des chaussées

- 1. Introduction**
- 2. Pourquoi une structure de chaussée**
- 3. Conclusion**

1. Introduction

Avant d'aborder les questions spécifiques à la voirie et aux aménagements urbains en béton de ciment, il est utile de rappeler le fonctionnement d'une chaussée sur le plan général. Ceci permet de souligner les règles fondamentales pour la concevoir et la dimensionner, mais aussi les spécifications requises pour les matériaux routiers.

L'influence de ces règles fondamentales et de ces spécifications sur la durabilité de la chaussée, est primordiale.

2. Pourquoi une structure de chaussée

De tout temps, on a eu besoin de circuler. Mais, les « routes » ne furent guère que des pistes plus ou moins sommaires permettant de joindre des villes, villages ou hameaux, sans empiéter sur les prairies ou terres cultivées. La route ne différait alors pas tellement des surfaces qui la bordaient.

Il est vrai qu'on circulait aisément sur des pistes bien nivelées quand les conditions climatiques étaient favorables, mais en période de pluie, les sols mouillés devenaient glissants ou se transformaient en bourbiers. On entreprit alors d'étaler, aux endroits les plus mauvais, des lits de pierres dont le mérite était d'être moins sensibles à l'eau.



L'idée du matelas de pierres a duré de nombreux siècles. Elle s'est développée à l'époque des Romains pour donner naissance à la « chaussée romaine » : le dallage. Plus tard, la route empierrée « macadam » a fait son apparition et avec elle, les premières spécifications pour l'exécution d'une bonne route.

Avec le développement des engins lourds au début du XX^e siècle, les premiers problèmes ont surgi :

- apparition de nids de poule,
- poinçonnement du hérisson et effondrement de la chaussée aux premières pluies.

La structure de la chaussée était donc mal adaptée. Une mutation s'imposait pour aboutir à une route moderne. Elle a été initiée par l'emploi des matériaux à granulométrie continue et de calibre déterminé et puis avec l'émergence des matériaux traités au ciment.

2.1. Que se passe-t-il lorsqu'un véhicule se déplace sur un sol ?

Le poids du véhicule est transmis au sol, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques.

D'une manière générale, les sols ne peuvent supporter sans dommage de telles pressions. Si le sol n'est pas assez porteur, le pneu comprime le sol et il se forme une ornière (Fig. 1).

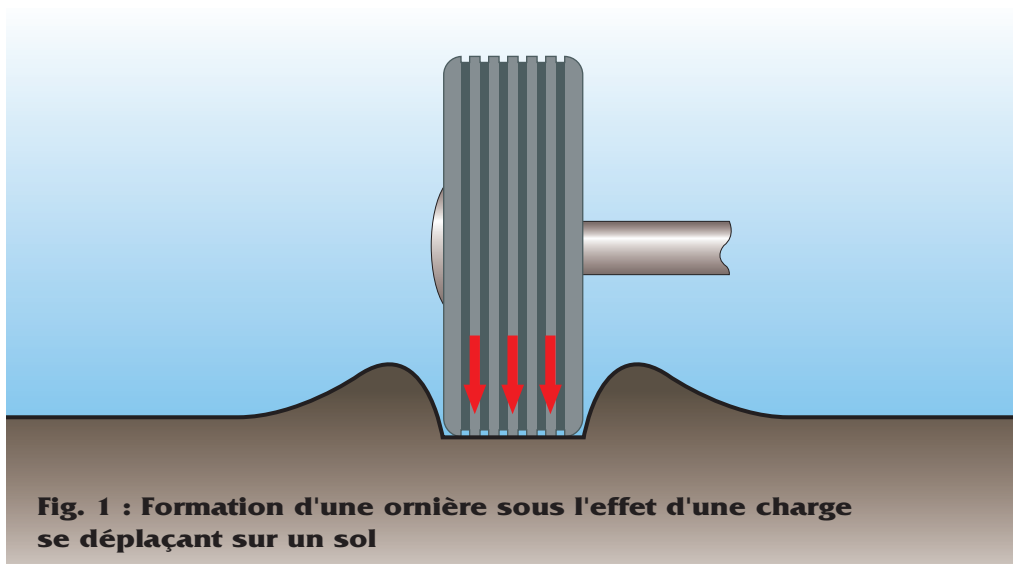


Fig. 1 : Formation d'une ornière sous l'effet d'une charge se déplaçant sur un sol

Si le sol est porteur, il se passe deux choses imperceptibles mais qu'il faut bien comprendre (Fig. 2).

- Le sol s'affaisse sous le pneu. C'est la déformation totale : W_t .
- Lorsque la roue s'éloigne, le sol remonte mais pas totalement : il reste une déformation résiduelle : W_r .

La différence $d = W_t - W_r$ s'appelle la « déflexion ».

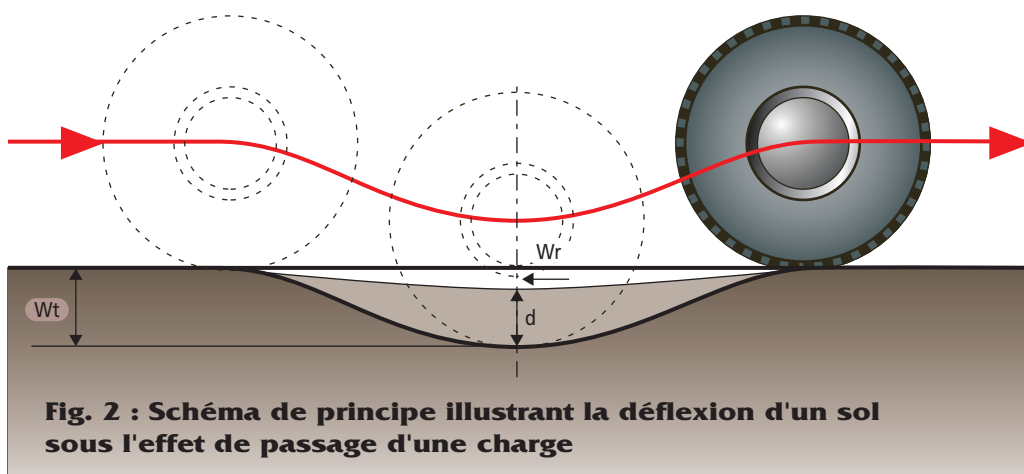


Fig. 2 : Schéma de principe illustrant la déflexion d'un sol sous l'effet de passage d'une charge

- La déflexion « d » est proportionnelle à la charge appliquée. Elle est pratiquement constante si l'on répète l'application de cette charge des milliers de fois.
- L'orniérage est la déformation résiduelle « W_r » qui s'accroît au fur et à mesure des passages des véhicules et proportionnellement à leur charges.

2.2. Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue une couche granulaire non liée?

Dans une couche granulaire non liée, les grains constitutifs restent indépendants les uns des autres. Ce sont donc des matériaux à module faible compris entre 100 et 500 MPa. Par conséquent, sous l'action d'une charge, cette couche travaille principalement en compression, c'est-à-dire qu'elle transmet au sol sous-jacent la totalité de la charge en la répartissant d'une façon non uniforme. La pression la plus importante se situe en dessous de la charge.

Pour schématiser le phénomène, imaginons un empilement de pierres identiques, ou même de billes.

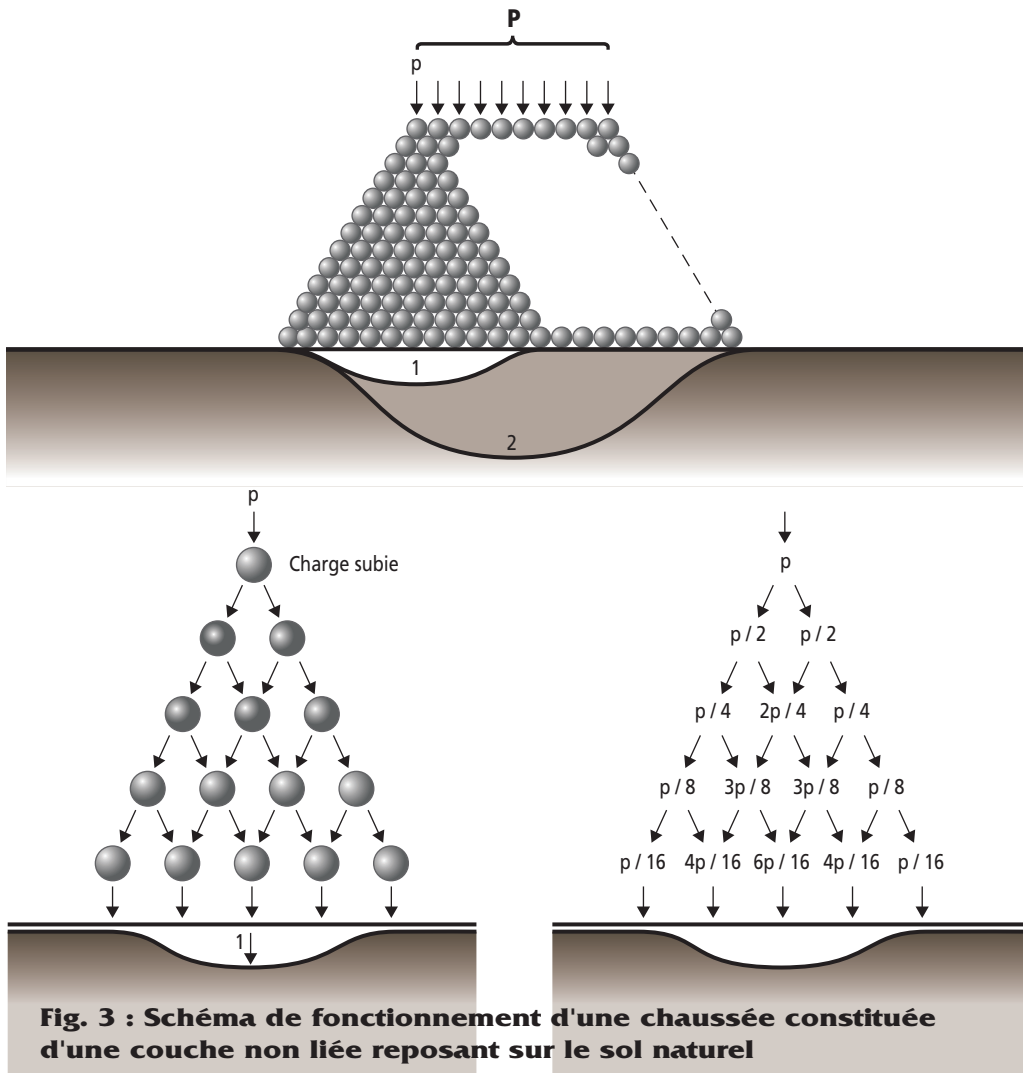


Fig. 3 : Schéma de fonctionnement d'une chaussée constituée d'une couche non liée reposant sur le sol naturel

Considérons une charge p sur une bille.
 Celle-ci va transmettre $p/2$ à chacune des deux billes de la couche sous-jacente.
 Sur les trois billes de la 3^e rangée, il y aura successivement :
 $p/4$ $2 p/4$ $p/4$

sur les quatre billes de la 4^e rangée, il y aura :

$p/8$ $3 p/8$ $3 p/8$ $p/8$

et ainsi de suite.

On voit qu'à la n ième rangée, il y a une répartition en cloche qui correspond à un étalement de la charge p (Fig. 3).

Mais, à l'interface couche granulaire - sol, on peut constater que la somme des charges réparties est égale à la charge p .

Sous l'action d'une charge, une couche granulaire non liée travaille principalement en compression. La pression la plus élevée se situe à la verticale de la charge.

Pour dimensionner une couche granulaire, c'est-à-dire définir son épaisseur, il faut que la pression verticale maximale transmise au sol sous-jacent soit inférieure à la portance du sol. Celle-ci est, en règle générale, appréciée par l'essai CBR (Californian Bearing Ratio).

Sous l'effet de passages répétés de charges, la couche granulaire se comporte comme un sol (se référer au paragraphe 2.1.) :

- a) elle a une déflexion,
- b) elle a donc une déformation résiduelle qui augmente en fonction des passages répétés des charges et finit par provoquer de l'orniérage.

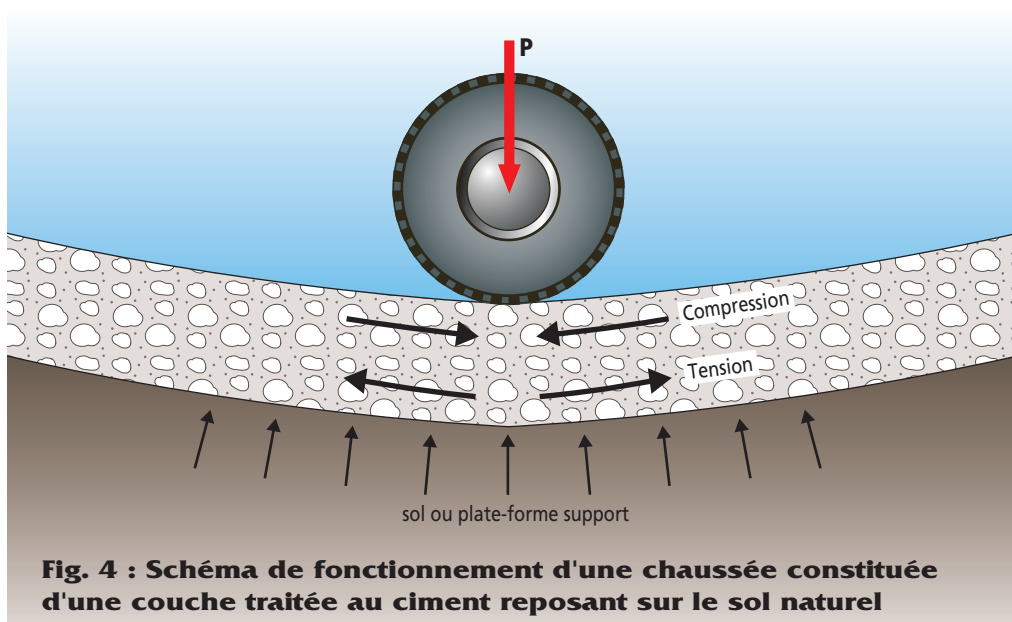
2.3. Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue une couche granulaire traitée au ciment ?

Considérons maintenant une couche granulaire traitée au ciment, donc liée, et reposant sur le sol.

Si on applique une charge P à cette couche, la transmission de la charge au sol ne se fait pas de la même façon que dans le cas d'une couche granulaire non liée (se référer au paragraphe 2.2).

L'existence des liaisons entre les grains et leur multiplicité modifient la transmission de la charge. La couche liée forme ainsi une dalle qui peut être très rigide, dont le module est constant et indépendant de la température et de la durée d'application de la charge. L'effet de répartition de la charge sur le sol support est alors très important. Les contraintes de compression qui sont transmises au sol sont, dans ce cas, relativement faibles.

Mais, l'amortissement très élevé des contraintes verticales dues aux charges est compensé par l'apparition, au sein de la couche traitée, de contraintes de compression et surtout de traction à la partie inférieure (Fig. 4).



Seule cette contrainte de traction est prise en compte pour le dimensionnement.

Sous l'action d'une charge, une couche traitée au ciment, donc liée, induit les phénomènes suivants :

- répartition uniforme de la charge sur le sol support. Donc, contraintes de compression sur le sol relativement faibles.
- apparition de deux types de contrainte au sein de la couche liée :
 1. une contrainte de compression dont la valeur est très inférieure à la résistance en compression du matériau.
 2. une contrainte de traction par flexion, dont la valeur peut être élevée, qui se manifeste à la base de la couche traitée.

A chaque passage de la charge, la couche traitée travaille à la traction par flexion au niveau de la fibre inférieure ; si on répète l'opération un grand nombre de fois, cette couche se fatigue et finit par se fissurer même si les efforts engendrés ne

dépassent pas, à chaque fois, la contrainte admissible du matériau. C'est ce qu'on appelle la fatigue sous efforts répétés.

Le dimensionnement d'une couche traitée au ciment consiste à déterminer son épaisseur pour qu'elle ne se fissure pas sous l'effet des charges répétées.

Il convient donc :

- a) de déterminer la contrainte à la traction de la couche traitée et s'assurer qu'elle est inférieure à la contrainte de traction admissible du matériau,
- b) d'apprécier le comportement à la fatigue de la couche traitée.

2.4. Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue une dalle en béton de ciment ?

Une dalle en béton se différencie en particulier d'une couche traitée par sa forte teneur en ciment.

Son comportement, sous l'action d'une charge P , est comparable à celui d'une couche granulaire traitée au ciment mais dont les caractéristiques mécaniques seraient beaucoup plus élevées.

Le dimensionnement consiste donc à calculer l'épaisseur de la dalle pour supporter, sans se fissurer ou se rompre, la répétition des charges pendant une durée donnée.

Ceci consiste à :

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

2.5. Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue une couche granulaire traitée au bitume ?

Une couche granulaire traitée au bitume présente l'inconvénient d'avoir un module variable en fonction de la température et de la durée d'application de la charge.

Alors qu'une couche traitée au ciment évolue comme une dalle en béton, une couche granulaire traitée au bitume présente, préalablement à la fissuration par fatigue, du fluage conduisant à des ornières provoquées par le passage répété des charges ; son comportement dépend beaucoup du climat et de la déformabilité des couches inférieures.

3. Conclusion

Ce que nous avons analysé dans les paragraphes précédents, a permis de souligner la nécessité d'interposer, entre le véhicule et le sol, un écran qui aura pour but de répartir les charges sur une plus grande surface et de réduire ainsi les pressions transmises au sol jusqu'à une valeur admissible. La chaussée constitue cet écran. La diffusion des pressions diffère par sa nature et son intensité selon que l'on ait affaire à une couche granulaire non traitée, à une couche granulaire traitée (au ciment ou au bitume) ou à une dalle en béton de ciment. Toutefois, cette diffusion n'est obtenue qu'avec une épaisseur convenable de matériaux adéquats.

Ces matériaux constituent la structure de la chaussée.

A cet égard, nous pouvons dire qu'il existe deux modes de fonctionnement mécanique des chaussées :

Les chaussées « souples » qui sont constituées d'un corps de chaussée en matériau non traité et en matériau traité au bitume. Celles-ci ne pouvant mobiliser que de faibles efforts assimilables à une flexion, la répartition des efforts verticaux sur le sol support est modérée. Le critère principal de dimensionnement d'une chaussée souple réside donc dans la limitation de la sollicitation du sol support de manière à éviter sa « plastification » qui se traduirait en surface par d'importantes déformations de la chaussée.

Les chaussées « rigides » qui sont constituées d'un corps de chaussée en matériau traité au ciment ou en dalle béton de ciment. Ces matériaux présentent une forte rigidité, et peuvent par conséquent mobiliser des efforts notables de traction par flexion. La répartition des efforts au niveau du sol support conduit à une faible sollicitation de ce dernier.

Le principal critère de dimensionnement d'une chaussée rigide réside dans la limitation des efforts de traction par flexion des matériaux sous l'effet de la répétition des charges.

Caractéristiques générales des chaussées

1. **Le trafic**
2. **La voirie à faible trafic**
3. **Les caractéristiques géométriques**
4. **Constitution des chaussées :
les différentes couches**
5. **Les différentes structures
de chaussées**

1. Le trafic

1.1. Qu'est-ce que le trafic ?

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. Il correspond à un nombre de passages de véhicules sur une période déterminée. Le poids des véhicules est transmis à la chaussée, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques. Pour une automobile, cette pression est de l'ordre de 0,1 MPa (soit 1 Kg/cm²). Mais, elle est de l'ordre de 0,7 MPa sous une roue de camion (Fig. 5).

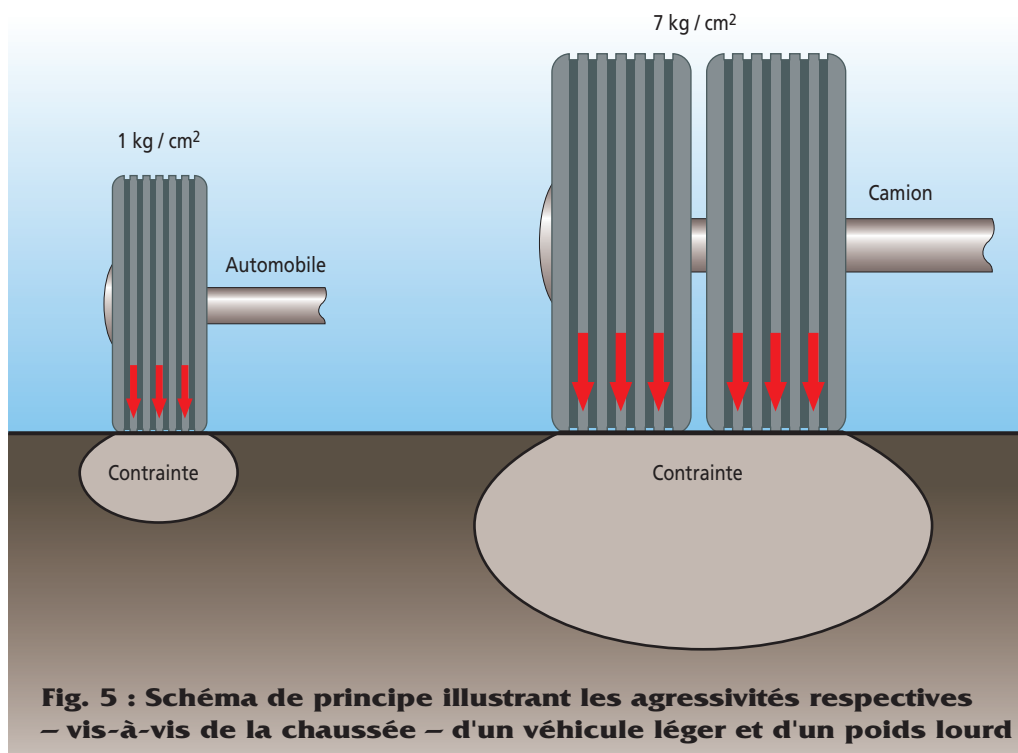


Fig. 5 : Schéma de principe illustrant les agressivités respectives – vis-à-vis de la chaussée – d'un véhicule léger et d'un poids lourd

Les matériaux situés sous les roues subissent des efforts très différents lorsque passe une voiture ou lorsque passe un camion. Seul ce dernier est pris en compte pour déterminer les classes de trafic.

La méthode de dimensionnement ne prend en compte que les poids lourds définis dans la norme NF P 98-082 dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur ou égal à 35 kN (3,5 tonnes).

Le trafic est caractérisé par les paramètres suivants :

- TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) : il est égal au trafic total de l'année, par sens de circulation, divisé par 365 ;
- T_i : Classe de trafic déterminée par le TMJA et décomposée en dix classes (t_7 ; t_6 ; t_5 ; t_4 ; t_{3-} ; t_{3+} ; T_3 ; T_2 ; T_1 et T_0) ;
- NPL : Nombre de poids lourds cumulé pendant la durée de service choisie ;
- NE : Nombre équivalent d'essieux de référence à prendre en compte pour le dimensionnement.

1.2. Les différentes classes de trafic

Les classes de trafic sont définies par le trafic moyen journalier des Poids Lourds (Poids Total Autorisé en Charge supérieur à 3,5 Tonnes) qui circulent sur la chaussée.

On obtient ainsi :

- Classe t_7 : de 0 à 2 PL/j
- Classe t_6 : de 3 à 10 PL/j
- Classe t_5 : de 11 à 25 PL/j
- Classe t_4 : de 26 à 50 PL/j
- Classe t_{3-} : de 51 à 85 PL/j
- Classe t_{3+} : de 86 à 150 PL/j
- Classe T_3 : de 51 à 150 PL/j
- Classe T_2 : de 151 à 300 PL/j
- Classe T_1 : de 301 à 750 PL/j
- Classe T_0 : de 751 à 2 000 PL/j

Ces classes de trafic définissent deux grandes catégories de routes (Fig. 6) :

- les voiries à faible trafic regroupant toutes les classes de t_7 à t_{3+} ;
- les voiries à moyen et fort trafics regroupant toutes les classes de T_3 à T_0 .

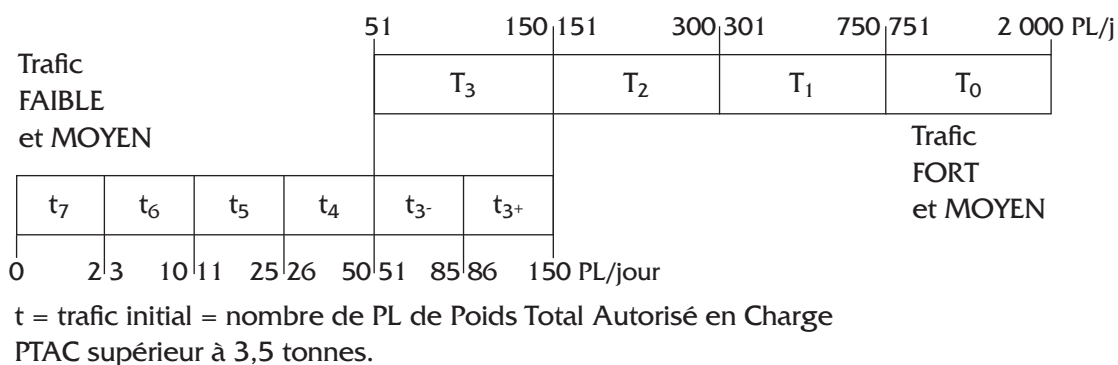


Fig. 6: Classification du trafic

Dans la suite du document, nous parlerons plus particulièrement de la voirie à faible trafic.

2. La voirie à faible trafic

2.1. Qu'est-ce qu'une voirie à faible trafic ?

Une voirie est dite à faible trafic lorsque le nombre de véhicules qui y circulent est inférieur à l'équivalent de 150 poids lourds par jour, soit environ 1500 véhicules par jour et par sens, tous modèles confondus.

Cette appellation recouvre un très grand nombre de routes.

On distingue :

- Les routes départementales,
- Les routes communales,
- Les voiries agricoles,
- Les voiries forestières,
- Les voiries viticoles,
- Les voiries de lotissement,
- Les aires de trafic industrielles,
- Les aires de stationnement,
- etc.



2.2. La voirie à faible trafic dans le réseau routier français

Le réseau routier français totalise environ 1 650 000 kilomètres, soit environ 7 milliards de mètres carrés, dont seulement 29 % pour les routes à moyen et fort trafic. Ce qui veut dire que 71 % du réseau routier est soumis à un trafic faible ou très faible. Il s'agit donc d'un patrimoine important qu'il ne faut pas négliger. Le tableau 1 donne la répartition du réseau routier français en 2016, en fonction de la nature du réseau et par classe de trafic.

| Tableau 1 : Répartition du réseau routier français en fonction de la nature du réseau et par classe de trafic | | | | | |
|--|---------------|------------------------------------|--|---|--|
| Réseau routier français en 2016 | Longueur (km) | Surface (m ²) | Longueur (km) Surface (m ²) par classe de trafic | | |
| | | | t > t ₃₊ | t ₅ ≤ t ≤ t ₃₊ | t ≤ t ₆ |
| RÉSEAU NATIONAL | | | | | |
| • Autoroutes concédées et non concédées | 11 250 | 2,25 x 10 ⁸ | 11 250 2,25 x 10 ⁸ | 0 | 0 |
| • Routes nationales | 9 020 | 9,10 x 10 ⁷ | 9 020 9,10 x 10 ⁷ | 0 | 0 |
| RÉSEAU DÉPARTEMENTAL | 378 000 | 2,30 x 10 ⁹ | 180 000 1,25 x 10 ⁹ | 198 000 1,05 x 10 ⁹ | 0 |
| RÉSEAU COMMUNAL | 635 000 | 2,55 x 10 ⁹ | 50 000 0,45 x 10 ⁹ | 275 000 1,10 x 10 ⁹ | 310 000 1 x 10 ⁹ |
| RÉSEAU RURAL | | | | | |
| • Routes forestières | 250 000 | 7,50 x 10 ⁸ | 0 | 100 000 3 x 10 ⁸ | 150 000 4,5 x 10 ⁸ |
| • Chemins d'exploitation | 350 000 | 1,05 x 10 ⁹ | 0 | 100 000 3 x 10 ⁸ | 250 000 7,5 x 10 ⁸ |
| TOTAL | 1 633 270 | 6,966 x 10 ⁹ (100 %) | 250 270 2,016 x 10 ⁹ (29 %) | 673 000 2,75 x 10 ⁹ (39 %) | 710 000 2,2 x 10 ⁹ (32 %) |

3. Les caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques d'une route sont illustrées par le profil en travers, le profil en long et le tracé en plan.

3.1. Profil en travers

Il illustre essentiellement la largeur de la chaussée et celle des accotements. Il indique aussi les pentes transversales (Fig. 7).

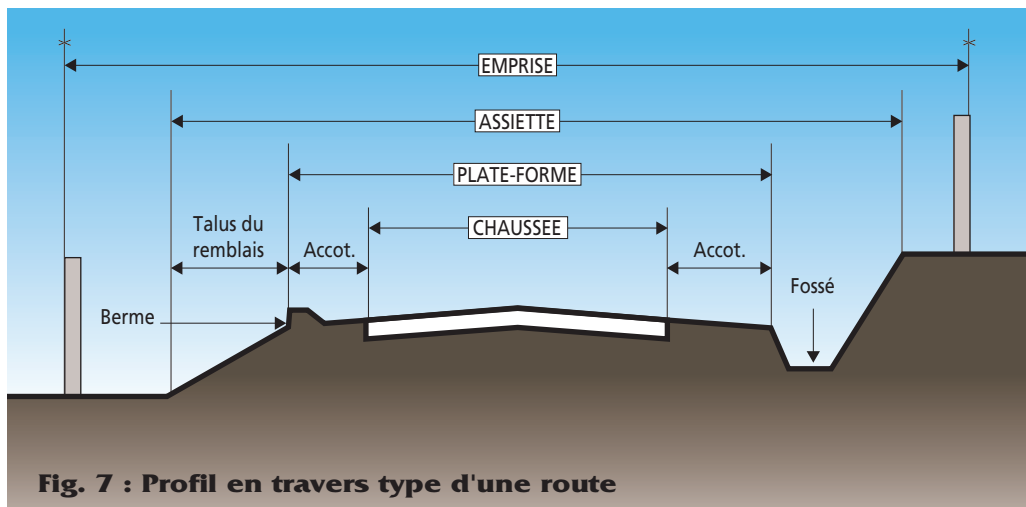


Fig. 7 : Profil en travers type d'une route

Terminologie

L'EMPRISE : partie du terrain qui appartient à la collectivité et affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.

L'ASSIETTE : surface du terrain réellement occupée par la route.

PLATE-FORME : surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.

CHAUSSEE : surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

ACCOTEMENTS : zones latérales de la PLATE-FORME qui bordent extérieurement la chaussée.

3.2. Profil en long

Il indique la valeur des pentes et des rampes, ainsi que les rayons des sommets des côtes et des points bas.

3.3. Tracé en plan

Il met en évidence les longueurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure dans les virages.

3.4. Routes à deux voies de circulation

Les caractéristiques géométriques respectent les critères liés à la sécurité et au confort des usagers. Les caractéristiques géométriques extrêmes des routes à deux voies de circulation sont données ci-après :

- largeur de la chaussée : 5,50 à 6,00 mètres
- dévers : 2 à 3 %
- rayon de courbure d'un point bas : 700 mètres (min.)
- rayon de courbure d'un point haut : 500 mètres (min.)
- pentes et rampes : 8 à 10 % (maxi)
- rayon de courbure (en plan) : 30 mètres (min.)



3.5. Routes à une voie de circulation

Les caractéristiques géométriques respectent les données suivantes :

- le profil en long épouse au mieux le profil du terrain naturel
- le profil en travers présente en général une pente transversale unique orientée de façon à permettre l'écoulement des eaux.



Les caractéristiques géométriques extrêmes des routes à une voie de circulation sont données ci-après :

- largeur de la chaussée : de 3 à 5 mètres
- dévers : de 2 à 3 %
- rayon de courbure d'un point bas : 100 mètres (min.)
- rayon de courbure d'un point haut : 30 mètres (min.)
- rayon de courbure (en plan) : 15 mètres (min.)
- pentes maxi. profil en long : 15 % (maxi)

4. Constitution des chaussées : les différentes couches

4.1. Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches ?

Rappelons que le rôle d'une chaussée est de reporter sur le sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus au trafic. La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation.

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes.

En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol (Fig. 8) :

- **Couche de forme**
- **Couche de fondation** : la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier. La plupart des matériaux routiers conviennent.
- **Couche de base** : la construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention toute spéciale : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultant du trafic.
- **Couche de surface**

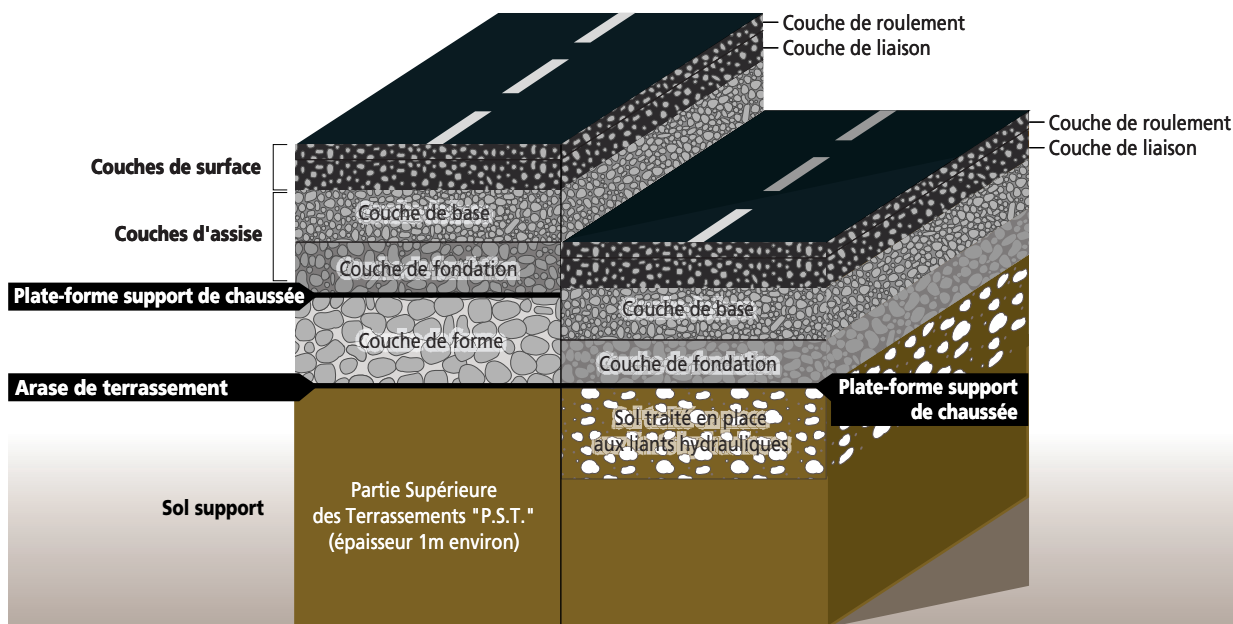


Fig. 8 : Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée

4.2. Pourquoi la couche de surface ?

La couche de base est recouverte par une couche de surface pour :

a) Résister aux efforts horizontaux des pneumatiques

En effet, les pneumatiques exercent sur la chaussée des efforts horizontaux résultant de :

- la transmission de l'effort moteur (accélération),
- la mise en rotation des roues non motrices,
- la transmission de l'effort de freinage.

b) S'opposer à la pénétration de l'eau

Il est important d'empêcher l'eau de pénétrer dans les couches de la chaussée. Les conséquences sont connues :

- elle délite les granulats,
- elle ramollit les sols fins, faisant chuter leur portance.

4.3. Faut-il une couche de forme ?

On peut rencontrer dans un même projet des sols de caractéristiques très variables. Afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol, on est amené à interposer, entre le sol support et les couches de chaussée, un élément de transition qui peut être constitué soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques. Il est appelé couche de forme.

5. Les différentes structures de chaussées

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois différents types de structures suivants :

- chaussée souples,
- chaussées semi-rigides,
- chaussées rigides.

5.1. Les chaussées souples

C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés.

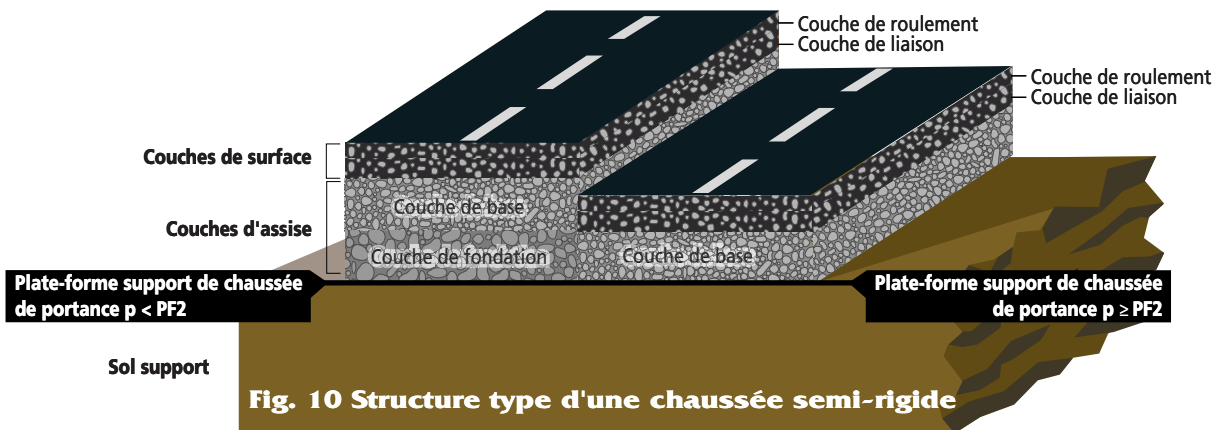
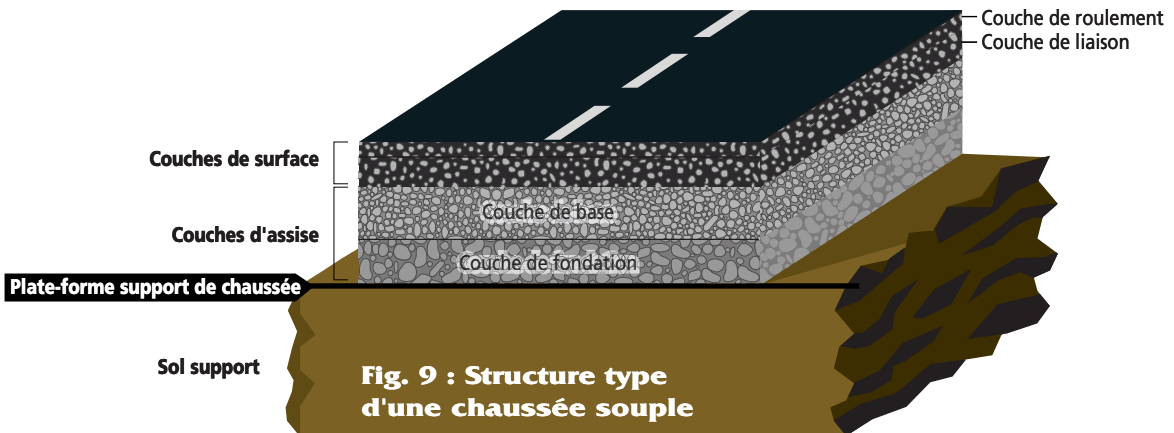
La couche de fondation et/ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traitée.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure type est illustrée sur la figure 9.

5.2. Les chaussées semi-rigides

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation).

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la structure-type est illustrée sur la figure 10.

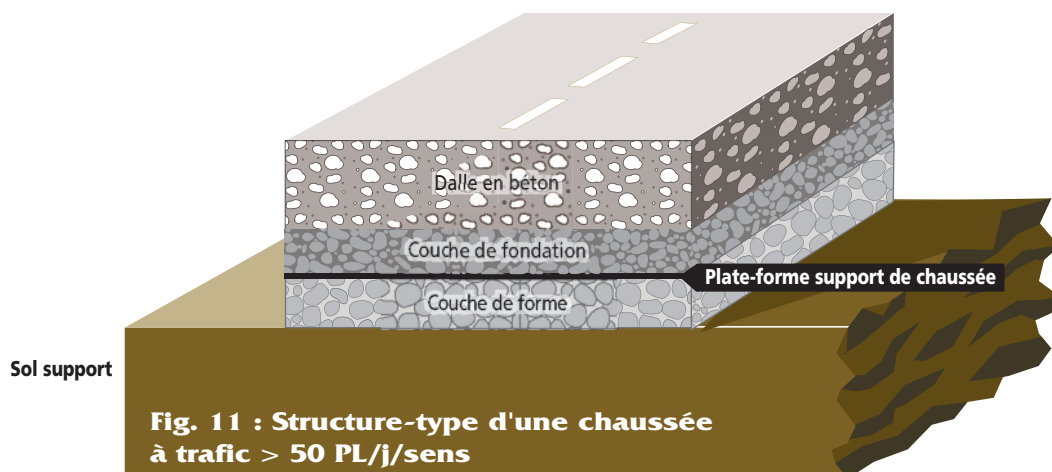


5.3. Les chaussées rigides

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide.

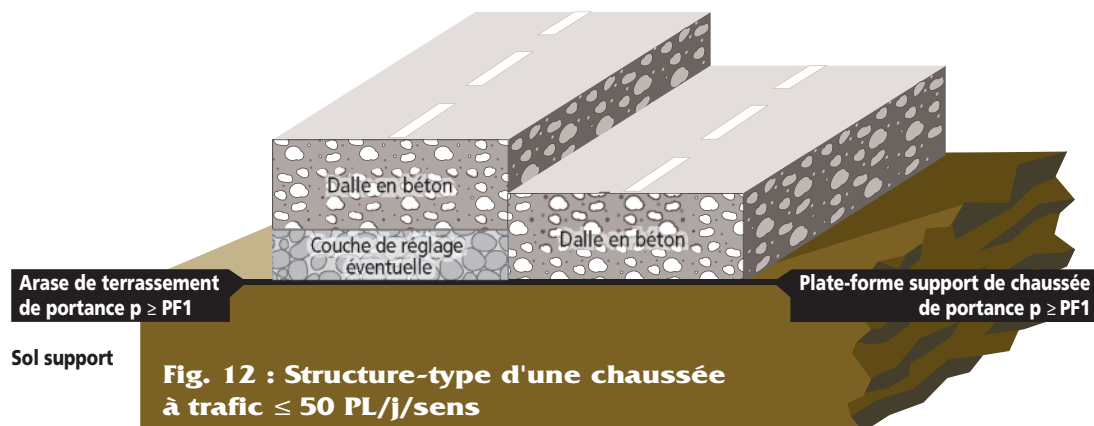
En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol support, les couches suivantes (figure 11) :

- une couche de forme,
- une couche de fondation,
- une couche de roulement en béton de ciment.



Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic (trafic ≤ 50 PL/j/sens), la couche de fondation n'est pas nécessaire. La dalle en Béton de Ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement (avec une couche de réglage éventuelle) ou sur la plate-forme support de chaussée (figure 12).



Critères de choix des structures de chaussées

- 1. Choix d'une structure de chaussée:
critères techniques, économiques
et environnementaux**
- 2. Conclusion**

1. Choix d'une structure de chaussée : critères techniques, économiques et environnementaux

Une chaussée est une structure plane et imperméable, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes conditions de sécurité et de confort pour les usagers, et assurer sa fonction sur une période de service minimale fixée au stade d'élaboration du projet.

Le rôle de la chaussée est de reporter sur la plate-forme support - en les répartissant convenablement - les sollicitations dues au trafic.

Sa réalisation est l'aboutissement d'une élaboration longue et complexe, nécessitant un enchaînement de choix. Le choix du tracé, d'abord, est essentiellement politique et économique. Il devra assurer certaines liaisons et permettre les échanges. Il en résultera un trafic de véhicules que la route devra pouvoir supporter. En fonction de ce trafic et des caractéristiques des sols rencontrés, plusieurs solutions techniques pourront être proposées pour la structure de la chaussée. Une analyse multicritère (technique, économique, environnementale, etc.) permettra de déterminer la solution la mieux adaptée.

Les aspects techniques porteront sur le choix de la structure proprement dite, des matériaux (liants, granulats, etc.) et des différentes couches constituant la chaussée.

Les aspects économiques porteront sur le coût de l'investissement mais aussi sur son coût d'usage et d'entretien pendant une période de service donnée. Les aspects environnementaux porteront sur l'analyse du cycle de vie de l'ouvrage (du berceau jusqu'à la tombe).

Il s'agira en fait d'établir un véritable bilan prévisionnel (technique, économique et environnemental) pour chaque solution technique envisagée. Longtemps, cela n'était pas pratique courante aussi bien pour des raisons techniques qu'administratives ; mais l'élargissement de l'éventail des solutions béton associé à la préoccupation, de plus en plus marquée de la part des élus et des administrations, de rigueur dans les choix techniques, de bonne gestion et de respect de l'environne-

ment, font que ce bilan est établi aujourd'hui sur de plus en plus de projets routiers et constitue l'élément de décision majeur du décideur. Le choix qui en découle se porte en général, vers la solution qui minimise les impacts sur l'environnement et le coût global de l'opération avec un écart de prix significatif (supérieur à 10 %). A défaut, on privilégie normalement les solutions permettant d'assurer, dès la construction de la route, un service de longue durée n'entraînant qu'un entretien peu fréquent et léger, de manière à satisfaire l'utilisateur.

Pour chaque projet routier, il est donc nécessaire de procéder à une analyse multicritère détaillée et comparative des diverses solutions afin d'établir les atouts de chacune d'entre elles.

Pour que cette comparaison soit judicieuse, les calculs doivent intégrer notamment les facteurs suivants :

- les structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic,
- le coût global,
- l'analyse de cycle de vie de l'ouvrage sur le cycle complet (du berceau à la tombe).

D'autres paramètres difficiles à quantifier, peuvent évidemment avoir une influence dans le choix de la technique de construction, comme le coût social, la permanence du service rendu à l'utilisateur, l'utilisation de matériaux locaux ou de production nationale, l'emploi de la main-d'œuvre locale, l'incitation économique régionale, etc.

1.1. Structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic

Pour que la comparaison soit valable, il convient que les structures de chaussées, adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic, soient équivalentes au sens mécanique du terme, c'est-à-dire capables de supporter sans dégradation les sollicitations du trafic et les conditions climatiques pendant une même période de service. Dans ce cas, le choix de la technique de construction pourrait être conditionné par le prix à l'investissement initial. Mais, pour différentes raisons, la réalité est tout autre :

- la stratégie de dimensionnement n'est pas unique. Elle peut être à durée de service courte mais à un coût d'investissement initial réduit ou à durée de service longue mais à un coût d'investissement initial plus important.
- à stratégie égale, les structures des chaussées supportent plus ou moins bien les sollicitations du trafic et les conditions climatiques. Par conséquent, elles peuvent nécessiter, durant la période de service prévue, des séquences d'entretien différentes. Donc des coûts d'entretien courant différents.

- vers la fin de la période de service prévue, la remise en état des différentes structures nécessite des travaux de renforcement différents.

Ainsi, pour pouvoir réaliser une comparaison économique entre différentes structures possibles, il est nécessaire de prendre en compte non seulement les coûts de construction, mais aussi les coûts d'entretien et de renforcement nécessaires pour que les structures assurent leur fonction pendant la même période de comparaison.

1.2. Coût Global

Pour tenir compte de l'échelonnement dans le temps des différents coûts (coût de construction, coûts des travaux d'entretien courant, coût des travaux de renforcement), il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour évaluer les divers coûts à la date de construction de la voirie.

Le coût global « C_t » est ainsi exprimé en valeur actualisée. Il représente la somme dont on doit disposer au moment de la construction pour réaliser et entretenir une route sur une période de service prévue.

L'expression du coût global « C_t » s'écrit alors :

$$C_t = P_c + (E_c)\text{actualisé} + (R)\text{actualisé}$$

avec P_c : coût de construction

(E_c)actualisé : l'ensemble des coûts d'entretien courant actualisés sur la période de comparaison.

(R)actualisé : l'ensemble des coûts actualisés des travaux de renforcement sur la période de comparaison.

a) Le coût de construction - Comment l'optimiser ?

Le coût de construction d'une voirie en béton peut être, selon les circonstances légèrement supérieur, équivalent, voire inférieur au coût de construction des autres structures, en fonction notamment de la catégorie de la voirie, de la qualité du sol support et des paramètres liés au contexte technico-économique local.

Souvent, le bilan économique est favorable à la solution béton pour de nombreuses raisons. On peut citer à cet égard les éléments suivants :

- minoration des terrassements car l'épaisseur de la chaussée est plus faible dans le cas des structures béton,
- suppression de la « double voirie » dans les cas de voiries de lotissement : certaines solutions obligent à refaire une voirie pour les usagers lorsque la première a été détruite par la circulation des engins de chantier ; la voirie en béton résiste à ce type d'agressions et est donc définitive dès l'origine,

- possibilité de couler en même temps les caniveaux mais aussi les bordures de trottoirs ; dans ce dernier cas, l'utilisation d'une mini-machine à coffrage glissant est indispensable,
- économie sur l'éclairage : consommation d'électricité et nombre de lampadaires réduits grâce à la couleur claire des voies en béton,
- esthétique, balisage et signalisation par mélange de teintes, textures et aspects de surface dans le cas des voies ou des parkings réalisés en béton coloré et traité (béton désactivé, béton bouchardé, etc.).

Il est intéressant de tenir compte de ces économies dans l'évaluation des coûts de construction des voiries en béton.

Quoiqu'il en soit, les revêtements en béton restent très compétitifs par rapport aux autres matériaux. Leurs prix (fourniture + pose) se situent dans la fourchette de 30 à 60 €/m² en fonction notamment du type de la voirie, de la coloration et des traitements de surface recherchés (Fig. 13).

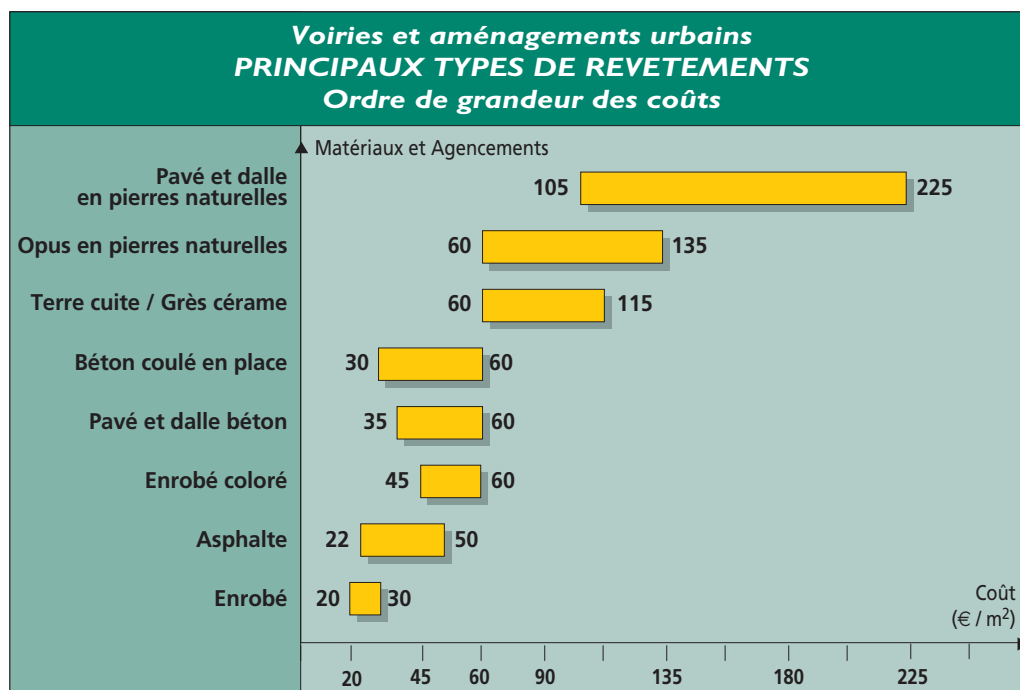


Fig. 13: Ordre de grandeur des coûts de construction des principaux revêtements de voiries et d'aménagements urbains

b) Comment actualiser les coûts d'entretien et de renforcement ?

• **Taux d'actualisation et coefficient d'actualisation**

Pour pouvoir effectuer une intégration des coûts de construction avec ceux d'entretien et de renforcement, il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour ramener tous les coûts à la date de construction du projet, les dépenses étant décalées dans le temps.

La valeur du taux d'actualisation « a » est égale à la différence entre l'intérêt sur le capital d'emprunt et l'inflation. Nous admettons que le taux d'actualisation, d'une année sur l'autre, est constant. Ainsi, le coefficient d'actualisation « C_a » de l'année « j » à l'année zéro « 0 » s'écrit :

$$C_a = \frac{1}{(1+a)^j}$$

avec : a : le taux d'actualisation

C_a : le coefficient d'actualisation de l'année « j » à l'année « 0 ».

• **Coût d'entretien courant actualisé: (Ec)actualisé**

La méthode consiste à évaluer les coûts d'entretien courant actualisés en partant de scénarios d'entretien connus et établis sur la base du comportement réel des structures existantes. Si un tel scénario prévoit pour une structure donnée des travaux d'entretien courant aux âges « i », « j » et « k » dont les coûts - valeur le jour de l'étude - sont respectivement $(Ec)_i$, $(Ec)_j$ et $(Ec)_k$, la formule suivante permet d'évaluer le coût d'entretien courant actualisé sur une période donnée :

$$(Ec)_{\text{actualisé}} = \frac{(Ec)_i}{(1+a)^i} + \frac{(Ec)_j}{(1+a)^j} + \frac{(Ec)_k}{(1+a)^k}$$

• **Coût actualisé des travaux de renforcement: (R)actualisé**

La méthode consiste à évaluer ces coûts en partant de scénarios de renforcement établis sur la base du comportement réel des structures existantes. Pour amener une structure au terme d'une période de comparaison prévue, il est nécessaire d'effectuer pour certains types de chaussées des travaux de renforcement à des intervalles de temps réguliers.

Prenons « r_j » le coût actuel des travaux de renforcement prévus à l'âge « j » et supposons que ces travaux de renforcement doivent être exécutés périodiquement tous les « j » années, l'expression du coût actualisé des travaux de renforcement sur une période de comparaison prévue « N » sera :

$$(R)\text{actualisé} = \frac{r_j}{(1+a)^j} + \frac{r_{2j}}{(1+a)^{2j}} + \dots + \frac{r_{nj}}{(1+a)^{nj}}$$

où :

r_j : le prix actuel des travaux de renforcement qui devraient être exécutés dans « j » années

r_{2j} : le prix actuel des travaux de renforcement qui devraient être exécutés dans « $2j$ » années

r_{nj} : le prix actuel des travaux de renforcement qui devraient être exécutés dans « nj » années.

c) Coût global « C_t »

Pour une période de comparaison « N » donnée, le coût total « C_t » d'une structure de chaussée, exprimé en valeurs actualisés, s'écrit ainsi :

$$C_t = P_c + (E_c)\text{actualisé} + (R)\text{actualisé}$$

Connaissant les valeurs de P_c , (E_c) actualisé et (R) actualisé pour chacune des structures envisagées ; nous pouvons évaluer, pour chacune d'elles, le coût total sur la période de comparaison.

La comparaison des coûts totaux, correspondant aux différentes structures envisagées, permet ainsi de faire apparaître la technique la plus économique.

1.3. Analyse de cycle de vie de l'ouvrage

Un bilan par analyse de cycle de vie ACV doit être effectué pour chaque technique envisagée. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus de différentes bases de données et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

Les indicateurs environnementaux sont calculés pour :

- la fabrication des matériaux de base (ciment, granulats, bitume, goujons et armatures) ;
- le transport des matériaux en phase de construction (transport des matériaux de base vers les centrales, transport des mélanges de la centrale vers le chantier) ;
- la fabrication des mélanges bitumineux et des bétons ;
- les opérations de mise en œuvre sur chantier ;
- l'entretien (y compris le transport des matériaux et des déchets).

Nous rappelons ici la liste des indicateurs considérés :

- consommation d'énergie primaire, en Mégajoule ($1 \text{ MJ} = 0,277778 \text{ kWh}$) ;
- consommation d'eau en litre ;
- contribution à l'épuisement des ressources, quantités de combustibles et de matières premières rares utilisées par le projet divisées par les réserves mondiales correspondantes, ce rapport est exprimé en kg de lantane ;
- déchets générés en kg ;
- déchets radioactifs générés en kg ;
- contribution à l'effet de serre (potentiel de réchauffement global, GWP) en kg d'équivalent CO_2 ;
- contribution à l'acidification, en kg d'équivalent SO_2 ;
- contribution à l'eutrophisation, en kg d'équivalent phosphate (PO_4^{3-}).

Ces indicateurs peuvent être globaux, c'est-à-dire à l'échelle planétaire, comme les indicateurs énergie et gaz à effet de serre, ou locaux/régionaux tels l'acidification, l'eutrophisation, etc.

Tous ces indicateurs sont équivalents en matière d'impact sur l'environnement, le caractère local ou régional n'enlevant rien à l'importance de chacun.

Le bilan environnemental final présente les résultats de la comparaison des solutions techniques retenues, sur le cycle complet construction et entretien.

2. Conclusion

La chaussée est une structure plane et imperméable, conçue et dimensionnée pour assurer son rôle sur une période de service minimale fixée au stade d'élaboration du projet.

Durant cette période, la route est soumise à une série d'agressions causées par les véhicules et les agents atmosphériques. Pour empêcher une détérioration irréversible de la chaussée, le Maître d'ouvrage est conduit à faire effectuer une série d'opérations d'entretien et de renforcement dont l'importance est fonction de la technique adoptée, des conditions climatiques, du trafic, etc.

Ces opérations peuvent constituer un souci permanent et des charges importantes pour la collectivité locale.

Par conséquent, pour évaluer la répercussion économique du choix d'un type déterminé de chaussée, il faut tenir compte, non seulement du coût de construction, mais aussi des coûts d'entretien et de renforcement répartis sur la période de service adoptée pour l'ouvrage.

D'autres paramètres peuvent avoir une influence dans le choix de la technique de construction mais qui sont difficiles à quantifier, comme le coût social et le coût de la sécurité.



Chapitre

4

Conception des voiries et aménagements urbains en béton

- 1. Introduction**
- 2. Infrastructure et structure**
- 3. Drainage**
- 4. Profils en travers types**
- 5. Les joints**
- 6. Règles de l'art:
les 10 commandements**

1. Introduction

La voirie en béton est constituée d'un revêtement en béton de ciment (pervibré ou fluide), qui sert de couche de roulement, et éventuellement d'une couche de fondation si le trafic est supérieur à T4 (trafic supérieur ou égal à 51 PL/j/sens). Cette structure sera posée sur une plate-forme support de portance minimale fixée.

Toutes ses caractéristiques (largeur, épaisseur, profil en travers, profil en long, nature de la structure, nature de l'infrastructure, etc.) peuvent être modulées selon sa nature et sa destination. Grâce à cette souplesse d'adaptation, il est possible d'envisager de construire une voirie en Béton dans, pratiquement, tous les cas - quelle que soit la particularité du projet – et ceci à un coût très compétitif.

Comme pour toute autre technique routière, la réalisation d'une voirie béton dans de bonnes conditions et son bon fonctionnement dans le temps nécessitent de respecter, dans sa conception, certaines règles fondamentales touchant à l'infrastructure, à l'assainissement, au drainage et aux matériaux constituant la chaussée.

Les caractéristiques mécaniques du béton (grande rigidité, forte résistance vis-à-vis de diverses sollicitations, etc.) ainsi que ses propriétés physiques spécifiques (plasticité, moulabilité) 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 et sur l'entretien.

2. Infrastructure et structure

Les qualités principales d'un revêtement en béton sont sa tenue à la fatigue, qui garantit sa durabilité, et sa grande rigidité, qui permet d'assurer une bonne répartition des charges sur la plate-forme support. Celle-ci n'est de ce fait, que peu sollicitée. Les structures rigides se passent donc de fondations complexes et l'économie ainsi engendrée les rend très compétitives, en particulier dans le cas des voiries à faible trafic.

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

2.1. Cas d'une réfection de voiries

La réfection d'une voirie souple existante consiste à décaisser la structure sur une épaisseur bien déterminée correspondant au dimensionnement de la nouvelle structure (voir chapitre Dimensionnement) et de mettre en œuvre, selon les règles de l'art, le nouveau revêtement en béton.

Pour pouvoir déterminer l'épaisseur 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).

En règle générale, la plate-forme support envisagée pour la nouvelle structure présente une bonne homogénéité et un niveau de portance suffisant, supérieur ou égal à PF1, par suite de la protection du support assurée par l'ancien revêtement et de sa consolidation acquise au cours du temps.



A partir de l'échelle de portance SETRA*, (voir tableau 13, page 68) on peut définir cinq niveaux de portance possibles PF1, PF2, PF2qs, PF3 et PF4 :

- PF1 : $6 < \text{CBR} \leq 10$ ou $20 < \text{EV2} \leq 50$ MPa
- PF2 : $10 < \text{CBR} \leq 15$ ou $50 < \text{EV2} \leq 80$ MPa
- PF2qs : $15 < \text{CBR} \leq 20$ ou $80 < \text{EV2} \leq 120$ MPa
- PF3 : $20 < \text{CBR} \leq 50$ ou $120 < \text{EV2} \leq 200$ MPa
- PF4 : $\text{CBR} > 50$ ou $\text{EV2} > 200$ MPa

Pour le choix de la portance, on distingue deux cas :

- **existence d'une étude géotechnique préalable**

Le géotechnicien peut apprécier l'homogénéité et la portance de la plate-forme envisagée en se basant sur les critères de l'échelle de portance (PF1, PF2, PF2qs, PF3 et PF4) définie ci-dessus.

- **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 PF1.

* Service d'études techniques des routes et autoroutes

Dans le cas où une amélioration ponctuelle de la portance de la plate-forme est nécessaire, des travaux de purge doivent être envisagés. Ces travaux sont à réaliser aux endroits où la portance du support est inférieure à PF1.

Selon la profondeur des purges, le gain de portance obtenu est donné dans le tableau 2.

| Profondeur de la purge | Gain en portance à long terme |
|------------------------|-------------------------------|
| 30 cm | une classe |
| 50 cm | deux classes |

2.2. Cas d'un revêtement neuf en béton

La construction d'un revêtement neuf en béton consiste à décaper la terre végétale, à effectuer les travaux de terrassement et, à mettre en œuvre, selon les règles de l'art, la structure de chaussée.

Trois cas peuvent se présenter :

- **cas d'un sol de faible portance**

Une solution d'amélioration (couche de forme ou traitement des sols en place) sont à prévoir, au moment des travaux, chaque fois que la portance du sol, au niveau de l'arase de terrassement AR, c'est à dire de la surface de la Partie Supérieure des Terrassements PST, est $AR0$ ($CBR \leq 6$) ou $EV2 \leq 20$ MPa (Fig. 14).

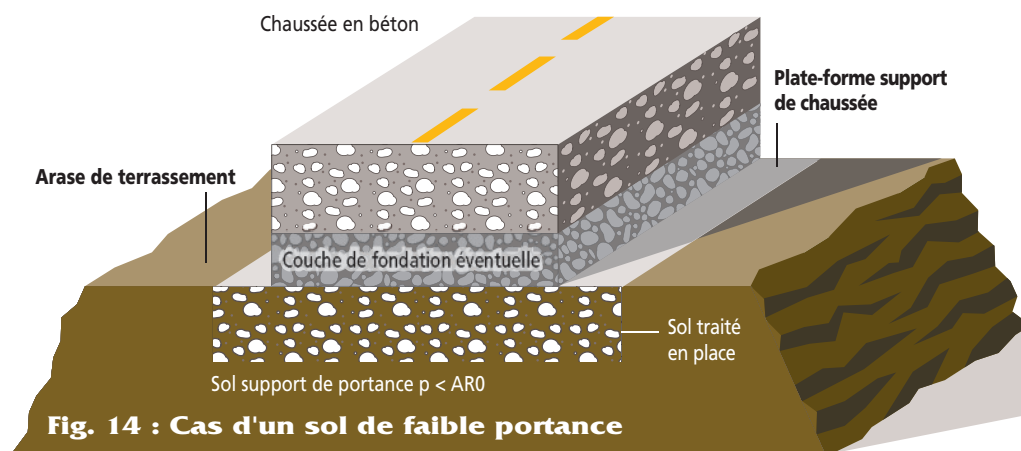


Fig. 14 : Cas d'un sol de faible portance



Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 : Choix des améliorations du sol support

| Portance | Améliorations nécessaires | | |
|--|---|---|--|
| | Épaisseur de la couche traitée en place | Épaisseur de la couche de forme non traitée | Nouvelle portance |
| Portance prévisible de l'arase (ARi) à court terme $P = AR0^*$; $CBR \leq 3$ ou $EV2 \leq 15$ MPa | 35 cm | 50 cm | AR1 ; $6 < CBR \leq 10$ ou $20 < EV2 \leq 50$ MPa |
| $P = AR0$; $3 < CBR \leq 6$ ou $15 < EV2 \leq 20$ MPa | 20 cm | 30 cm | AR1 ; $6 < CBR \leq 10$ ou $20 < EV2 \leq 50$ MPa |

* De plus, si ce niveau de portance nulle ($P = AR0$) caractérise aussi la portance à long terme de la plate-forme, la solution d'amélioration sera associée à des travaux de drainage.

• **cas d'un sol hétérogène et portant**

Une couche de réglage, d'une épaisseur de 10 cm, doit être interposée entre le sol support et la structure béton (Fig. 15).

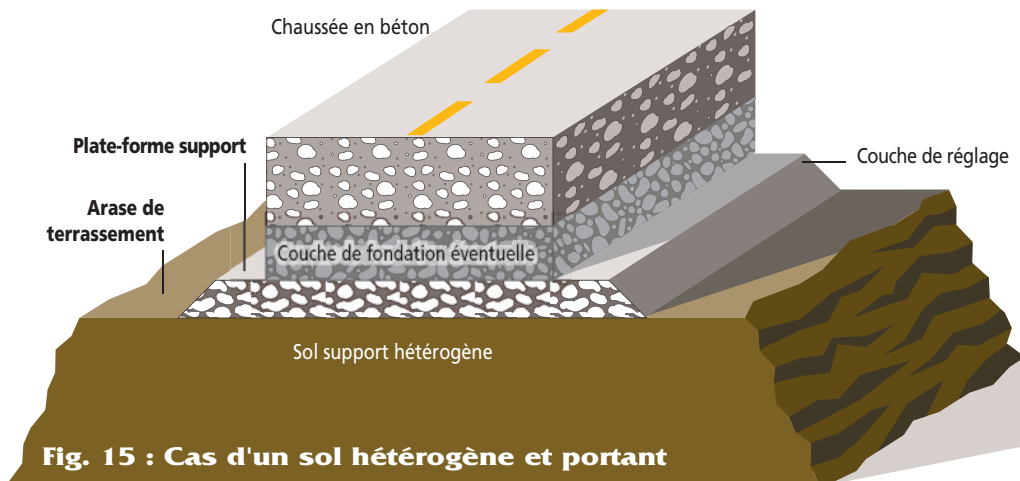


Fig. 15 : Cas d'un sol hétérogène et portant

• **cas d'un sol homogène et portant**

La structure béton est réalisée directement sur le sol convenablement préparé (nivelé et compacté) (Fig. 16).

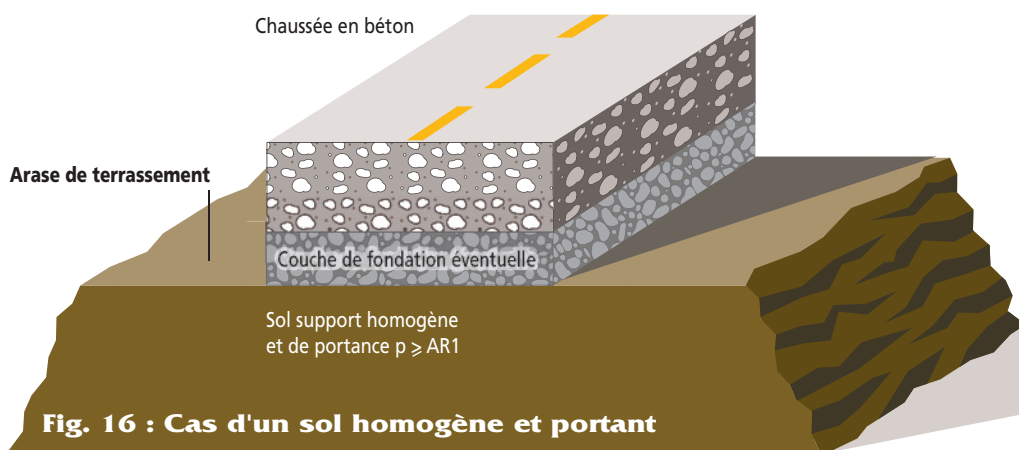


Fig. 16 : Cas d'un sol homogène et portant

2.3. Conditions aux interfaces dans une structure en béton

Les chaussées en béton de ciment sont classées en trois catégories :

- béton de ciment de classe 5 (BC5) sur matériau bitumineux comprenant les structures BAC (Béton Armé Continu) sur GB3 (Grave Bitume classe 3), BAC sur BBSG (Béton Bitumineux Semi-Grenu) et BCg (Béton de ciment à joints goujonnés) sur GB3 exclusivement ; la dernière structure se limitant aux trafics inférieurs ou égaux à T1 ;
- béton de ciment de classe 5 (BC5) sur matériau hydraulique comprenant les matériaux traités au liant hydraulique ou les bétons maigres de classe 2 ou 3 (BC2 ou BC3) ;
- béton de ciment de classe 5 (BC5) sur couche de forme ou couche drainante.

Les conditions de liaison entre les couches sont les suivantes :

- Couche de fondation (ou de base) sur le support de chaussée : interface collée.
- Catégorie « Béton sur Matériau Bitumineux (MB) »
 - BAC / BBSG : interface glissante ;
 - BAC / GB3 : interface collée pendant 15 ans puis glissante ;
 - BCg / GB3 : interface semi-collée.

- Catégorie « Béton sur Matériau Traité au Liant Hydraulique (MTLH) »
 - dalles sur béton maigre ou MTLH : interface glissante ;
 - BAC sur béton maigre ou MTLH : interface glissante.
- Catégorie « Béton sur couche de forme ou couche drainante »
 - dalle sur couche de forme non traitée ou couche drainante : interface collée ;
 - dalle sur couche de forme traitée : interface collée.
- Catégorie « enrobé ou enduit superficiel d'usure sur béton » : interface collée.

Nota

La condition de collage dalle sur couche de forme traitée est liée au fait que la couche de cure, avant mise en œuvre de la couche de fondation (ou de base) sur la plate-forme est toujours gravillonnée pour permettre la circulation sous chantier.

Les structures BCg sur fondation en grave bitume de classe 3 ne peuvent être mises en œuvre que sur des plates-formes de performance au moins égale à PF2qs. L'épaisseur minimale de grave bitume de classe 3 est alors fixée à 0,08 m. Les structures de dalle épaisse sur couche de forme sont admises pour un trafic limité à T1.

2.4. Sur-largeurs des couches de chaussée

Afin de réduire les sollicitations dans la dalle couche de Base, il est défini une sur-largeur de cette dalle en fonction du trafic comme indiqué dans le tableau 4.

Tableau 4 : Sur-largeur de la dalle pour les chaussées en béton (m)

| Classe de trafic | T0 - T1 | T2 | ≤ T3 |
|-------------------------|----------------|-----------|-------------|
| Côté droit | 0,75 | 0,50 | 0,25 |
| Côté TPC | 0,25 | 0,25 | 0,25 |

D'autre part, pour assurer des conditions correctes d'exécution, chaque couche de chaussée présente, par rapport à la couche qu'elle supporte, une sur-largeur bien définie.

Ainsi, la couche de fondation présente, par rapport à la dalle couche de Base-Roulement, une sur-largeur de :

- 0,30 m côté droit, pour une fondation en grave traitée aux liants hydrauliques, et 0,10 m pour du béton maigre ou grave bitume ;
- 0,10 m côté Terre-Plein Central (TPC).

2.5. Épaisseur minimale de la couche de fondation

Pour les chaussées à fondation en béton maigre, la couche de fondation a une épaisseur minimale de 0,21 m si la plate-forme support est de niveau PF1, 0,18 m en PF2, 0,16 m en PF2qs, 0,15 m en PF3 et 0,12 m en PF4. Pour les chaussées à fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques, la couche de fondation a une épaisseur minimale 0,22 m en PF1, 0,20 m en PF2, 0,19 m en PF2qs, 0,18 m en PF3 et 0,15 m en PF4.

Les structures BAC sur fondation en grave bitume de classe 3 ou en BBSG ne peuvent être mises en œuvre que sur des plates-formes PF3 ou PF4. L'épaisseur minimale de grave bitume de classe 3 est alors fixée à 0,08 m et celle de BBSG à 0,05 m.

3. Drainage

Dans la conception routière classique, quelle que soit la structure et quels que soient les matériaux qui la constituent, 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 mais à moindre échelle.

La présence de l'eau dans les chaussées rigides est due à :

- l'infiltration par les joints et par les abords de la chaussée,
- la remontée des eaux de la plate forme (déblais, nappes affleurantes, points singuliers, etc.),
- la concentration des eaux sous le revêtement en période de dégel (eau remontant 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.

3.1. La collecte et l'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 %, canalisera l'eau soit au milieu de la chaussée, soit latéralement. L'eau sera ensuite évacuée de façon classique par des caniveaux et des avaloirs judicieusement placés.



3.2. Le remplissage des joints

Cette disposition doit être modulée en fonction du type de la voirie, du trafic et des conditions climatiques. Elle consiste à introduire dans les joints sciés transversaux et longitudinaux, 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, constitués essentiellement de bitume adapté.

3.3. Les dispositifs de drainage

Il existe deux types de dispositifs de drainage :

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

Ces dispositifs sont à prévoir quelle que soit la classe de trafic de la voirie et 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 qui nécessitent l'utilisation de drains transversaux disposés en épis à des intervalles réguliers (par exemple, tous les 100 mètres).

b) 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. À l'interface de la structure béton-plate-forme support, la circulation de l'eau est assurée, soit par gravité (écoulement le long des pentes transversales), soit à l'aide d'un complexe associant des géotextiles filtrants et drainants, placé sur toute la surface de la chaussée et qui permet aussi de protéger le support contre l'érosion.

4. Profils en travers types

Le projet d'une voirie à faible trafic en béton doit être conçu en tenant compte des avantages du matériau Béton.

En effet, grâce à sa moulabilité et sa forte résistance aux diverses sollicitations extérieures, en particulier à l'érosion, il permet une grande variété de profils (en travers et en long), car c'est la chaussée, elle-même, qui peut-être utilisée pour assurer le ruissellement des eaux pluviales et donc participer à l'assainissement.

4.1. Cas d'une route à deux voies de circulation

Seul le béton permet de réaliser simplement et économiquement des profils en travers en toit inversé (ou en forme de V). Les eaux pluviales sont alors collectées au milieu du chemin et évacuées par des ouvrages d'assainissement judicieusement placés (Fig. 17).

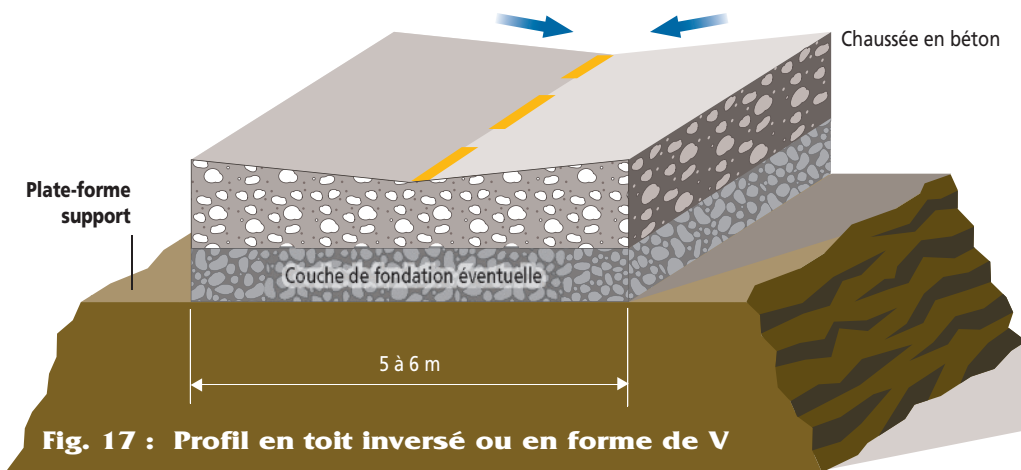


Fig. 17 : Profil en toit inversé ou en forme de V

D'autres profils en travers peuvent être utilisés, comme par exemple, le profil en toit (Fig. 18).

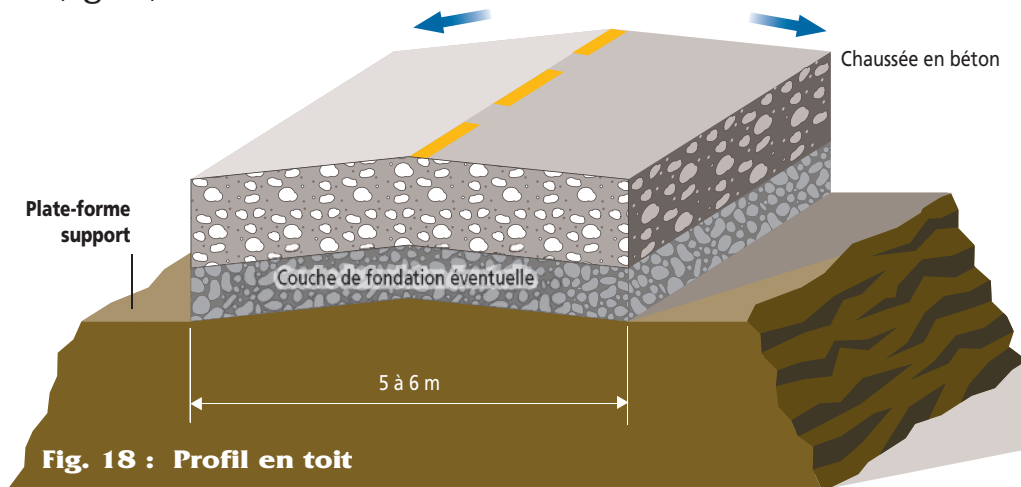
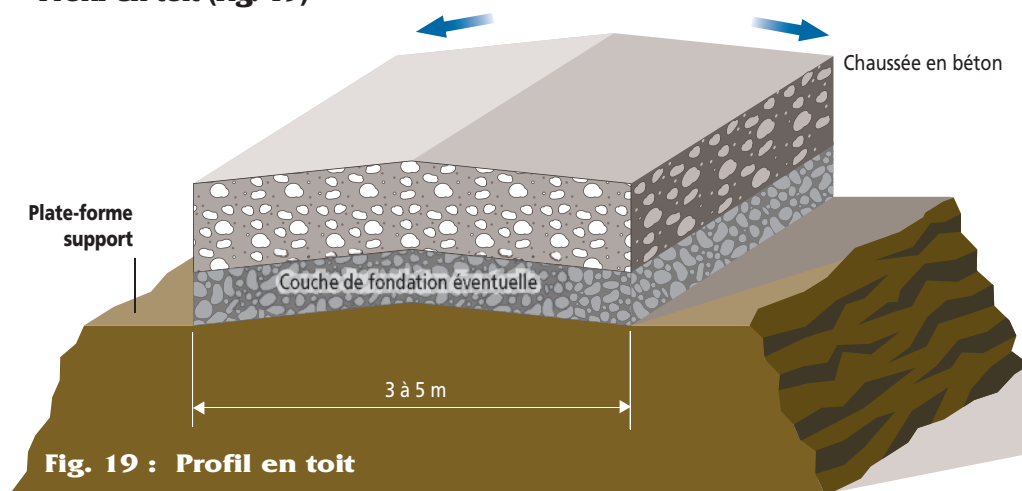


Fig. 18 : Profil en toit

4.2. Cas d'une route à une voie de circulation

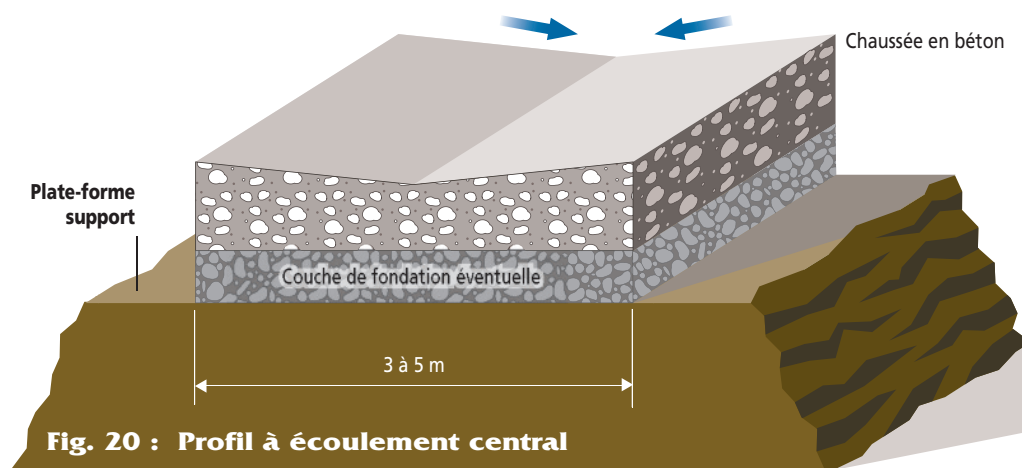
Différentes formes de profil en travers sont possibles.

- **Profil en toit (Fig. 19)**



- **Profil à écoulement central**

Les profils en forme de « V », sont surtout utilisés lorsque le projet suit la pente naturelle du terrain (Fig. 20). Les eaux pluviales sont alors collectées au milieu du chemin et évacuées par des ouvrages d'assainissement judicieusement placés. Ce profil est particulièrement adapté aux routes agricoles, viticoles et forestières.



- **Profil à écoulement latéral**

À une seule pente, ces profils sont surtout utilisés lorsque les routes se trouvent à flanc de coteau. La pente transversale renvoie l'eau du côté amont du terrain naturel (Fig. 21).

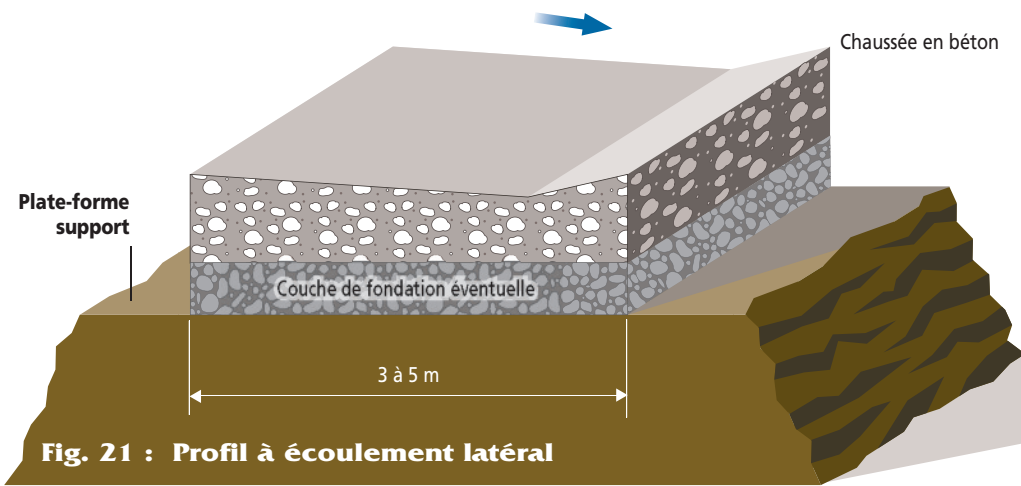


Fig. 21 : Profil à écoulement latéral

5. Les joints

Le joint a pour but de localiser la fissuration de retrait du béton (phénomène inévitable) de manière précise et déterminée à l'avance et de réduire ainsi les sollicitations dues au retrait et au gradient thermique. Il est réalisé en créant dans le revêtement une discontinuité totale sur toute la hauteur du revêtement (cas du joint de construction et du joint de dilatation) 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 (cas du joint de retrait). En fait, une voirie en béton se présente comme une succession de dalles séparées par des joints ou des joints/fissures. La réalisation correcte des joints est donc une condition essentielle à la pérennité de la voirie.

5.1. Les différents types de joints

On distingue trois grandes familles de joints :
les joints transversaux, les joints longitudinaux et les joints de dilatation.

■ 5.1.1. Joints transversaux

Ils sont perpendiculaires à l'axe de la route et sont classés en trois catégories :

- les joints de retrait / flexion,
- les joints de retrait / flexion goujonnés,
- les joints de construction.

a) Joints de retrait/flexion

Leur rôle est de réduire les sollicitations dues au retrait du béton et au gradient de température.

Ils sont réalisés en créant à la partie supérieure du 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 ou flexion. Ces joints doivent avoir une profondeur comprise entre un quart et un tiers de l'épaisseur du revêtement et une largeur comprise entre 3 et 5 mm (Fig. 22).

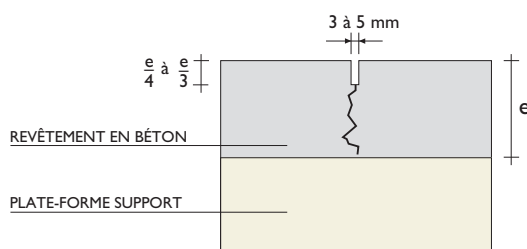


Fig. 22: Schéma d'un joint de retrait / flexion

L'espacement optimal des joints dépend du retrait du béton, des caractéristiques de friction de l'infrastructure et de l'épaisseur du revêtement. Le transfert de charges aux droits des joints est d'autant mieux assuré que leur espacement est réduit. Toutefois, l'expérience et la pratique ont permis d'établir une corrélation directe entre l'espacement des joints et l'épaisseur du revêtement. Le tableau 5 présente les espacements recommandés en fonction des épaisseurs de la dalle.

Tableau 5: Espacement des joints de retrait/flexion en fonction de l'épaisseur de la dalle

| Épaisseur de la dalle (cm) | Espacements des joints (m) |
|----------------------------|----------------------------|
| 12 | 3,00 |
| 13 | 3,25 |
| 14 | 3,50 |
| 15 | 3,75 |
| 16 | 4,00 |
| 17 | 4,25 |
| 18 | 4,50 |
| 19 | 4,75 |
| 20 | 5,00 |

b) Joints de retrait/flexion goujonnés

Les goujons ont pour rôle d'améliorer le transfert des charges aux droits des joints de retrait/flexion.

Les goujons sont conformes à la norme NF EN 13877-3. Leurs dimensions et leurs espacements, fonction de l'épaisseur du revêtement, sont donnés par le tableau 6.

Tableau 6 : Dimensions et espacements des goujons utilisés en chaussée routière

| Épaisseur de la dalle (cm) | Diamètre des goujons (mm) | Longueur minimale des goujons (cm) | Espacement théorique des goujons (cm) |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 13 à 15 | 20 | 40 | 24 |
| 16 à 20 | 25 | 45 | 30 |
| 21 à 28 | 30 | 45 | 30 |
| 29 à 43 | 40 | 50 | 40 |

c) joint de construction

Ils sont réalisés après chaque arrêt de bétonnage supérieur à une heure. La dalle est retaillée à 90°, pour obtenir un bord franc, et solidarisée avec la coulée de béton

suivante, à l'aide de goujons (Fig. 23) dont les caractéristiques sont fournies dans le tableau 5. Dans le cas où un revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes, un joint de construction doit correspondre obligatoirement à un joint de retrait / flexion dans la bande adjacente.

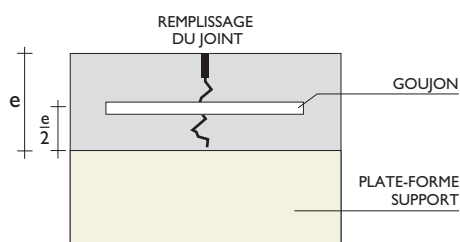


Fig. 23: Schéma d'un joint de construction (transversal ou longitudinal)

■ 5.1.2. 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 m 50. 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. Ils sont réalisés en créant dans le revêtement coulé en pleine largeur, une saignée ou une entaille longitudinale dont les caractéristiques sont similaires à celles des joints de retrait / flexion transversaux (Fig. 24).

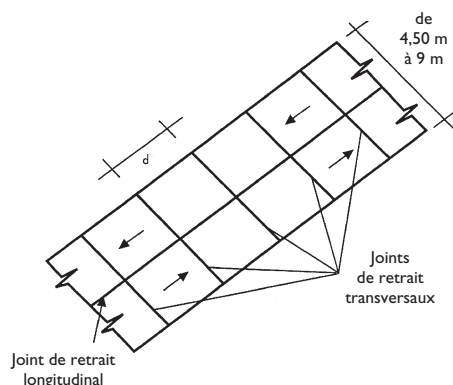


Fig. 24: Disposition des joints de retrait / flexion transversaux et longitudinaux

b) Les joints longitudinaux de construction

Ils sont réalisés quand le revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes. Il est recommandé alors, de solidariser les deux bandes adjacentes du revêtement soit en façonnant une clé du type sinusoïdal, soit en utilisant des goujons pour maintenir l'alignement vertical des bandes adjacentes, soit des fers de liaison transversaux pour maîtriser l'ouverture du joint (Fig. 25).

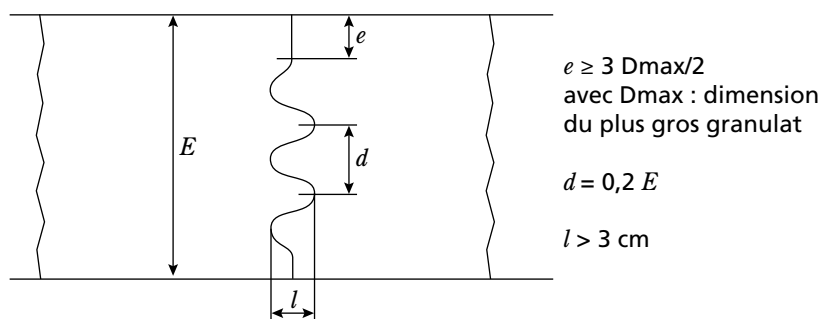


Fig. 25: Exemple de clé du type sinusoïdal

■ 5.1.3. Les joints de dilatation

Leur rôle est de compenser les variations dimensionnelles des dalles, dues essentiellement à l'élévation de la température. Ils ne sont requis que dans certains cas particuliers pour séparer complètement la dalle des 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 sur toute son épaisseur. La saignée est remplie d'une fourrure en matière compressible dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 mm (Fig. 26). Un soin particulier doit être accordé à la réalisation de ces joints.

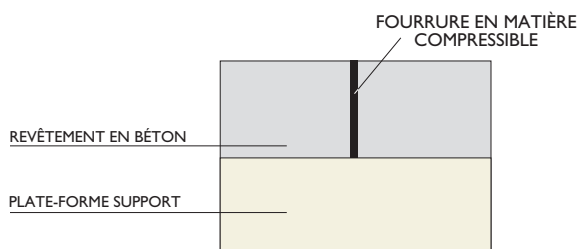


Fig. 26: Schéma d'un joint de dilatation

5.2. Disposition des joints

Pour concevoir un schéma de jointoiement, on tiendra compte de certaines règles de bonne pratique, qui sont détaillées ci-après :

- les joints de retrait/flexion découpent un revêtement en dalles. Il est préférable de donner à ces dalles une forme carrée ou rectangulaire avec un rapport dimensionnel maximal de 1,5 à 1 (Fig. 27) ;

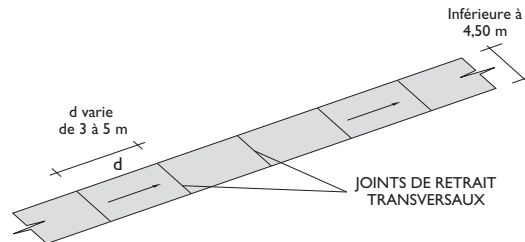


Fig. 27: Schéma de jointoiement pour une voirie à une voie de circulation

- des formes autres que carrées ou rectangulaires sont cependant permises pour adapter le revêtement aux besoins du tracé, de la géométrie de la voirie. Ces formes sont telles qu'elles ne comportent pas d'angles aigus (Fig. 28).

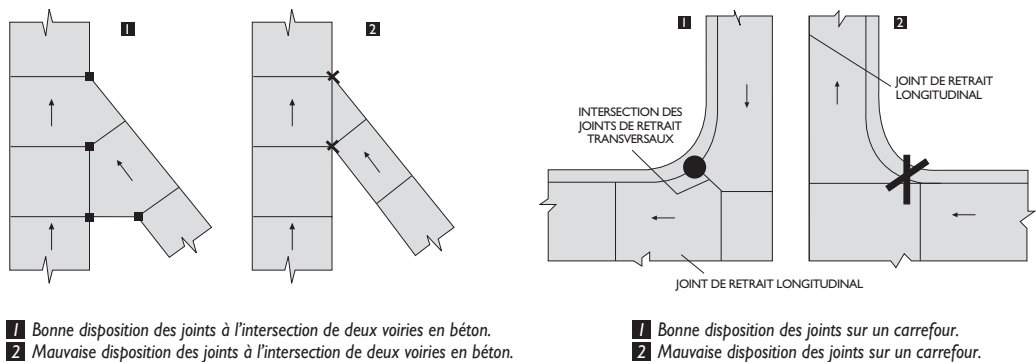


Fig. 28: Disposition des joints à l'intersection de deux voiries

- des joints de dilatation doivent être exécutés pour isoler le revêtement de certains équipements fixes comme les regards, les socles de lampadaire, etc. (Fig. 29).

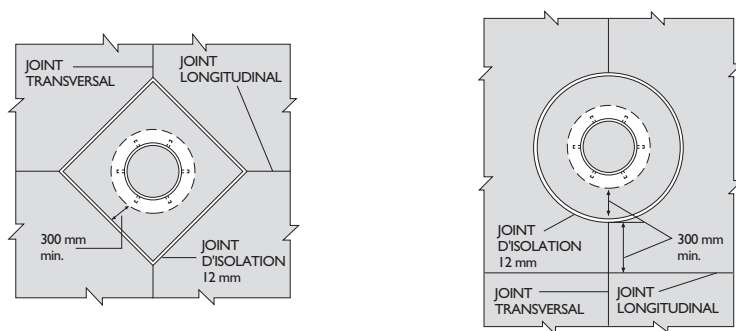


Fig. 29: Disposition d'un joint de dilatation autour d'un couvercle de regard d'égout

6. Règles de l'art : les 10 commandements

| VOIRIE EN BÉTON <i>Les 10 commandements</i> | |
|---|--|
| CONCEPTION APPROPRIÉE | 1 - Prévoir un support homogène et de portance minimale PF1 ($20 < PF1 \leq 50$ MPa). |
| | 2 - Donner à la chaussée un profil (en travers et/ou en long) permettant de collecter les eaux de surface et les évacuer en dehors de la chaussée. |
| | 3 - Dimensionner la chaussée en fonction du trafic, du taux de croissance du trafic, de la période de service prévue et de la portance du support. Prévoir une couche de fondation dans le cas d'un trafic supérieur à 50 PL/j/sens. Si la fondation est en matériau traité aux liants hydrauliques, prescrire un décollement à l'interface Revêtement/fondation. |
| | 4 - Prévoir des joints de retrait/ flexion transversaux dont l'espacement est fonction de l'épaisseur de la dalle |
| | 5 - Prévoir des joints longitudinaux quand la largeur de la voirie est supérieure à 4,5 m. Le cas échéant, prévoir des joints de dilatation. |
| FORMULATION ADÉQUATE DU BÉTON | 6 - Exiger un béton conforme aux normes NF P 98-170 et NF EN 206/CN. Le ciment doit être conforme à la norme NF EN 197-1. Les granulats doivent être conformes aux normes NF EN 12620 et NF P 18545. La teneur en eau doit être limitée. Le rapport (en poids) de l'eau efficace et du ciment ne doit pas dépasser la valeur 0,55. Soit : $E/C < 0,55$. Pour certaines classes d'exposition, l'utilisation d'un entraîneur d'air, conforme à la norme NF EN 934-2, est obligatoire. |
| | 7 - Prévoir, en fonction des conditions atmosphériques, l'arrosage de la plate-forme support de la chaussée immédiatement avant la mise en œuvre du béton. |
| | 8 - Imposer la vibration du béton pour les voiries circulées. |
| | 9 - Prescrire un traitement de surface du béton adapté au trafic, à l'importance de la voirie et à l'esthétique recherchée. |
| | 10 - Imposer la cure du béton frais. |

Dimensionnement des voiries et aménagements urbains en béton

- 1. Introduction**
- 2. Méthode de dimensionnement**
- 3. Le trafic**
- 4. Évaluation de la portance
de la plate-forme**
- 5. Caractéristiques des bétons routiers**
- 6. Détermination des épaisseurs
des revêtements en béton**

1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons donné les principes de base pour la conception d'une voirie en béton (trafic $\leq t_3$).

Il s'agit, en l'occurrence, du choix du profil en travers, de la nécessité ou non d'une couche de fondation, des dispositions constructives spécifiques (joints, etc.).

Ce chapitre traite du dimensionnement, c'est-à-dire, de la détermination de l'épaisseur du revêtement en béton et de celle de la couche de fondation éventuelle.

L'objectif est de justifier l'épaisseur de la couche de béton qui optimise le coût global de la chaussée sur une période de service bien déterminée.

2. Méthode de dimensionnement

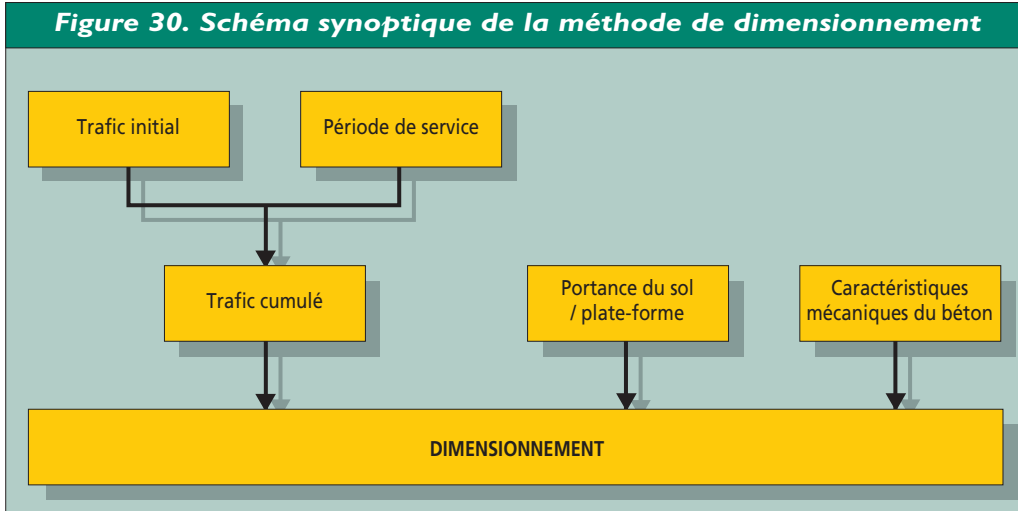
Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement de chaussées en béton, basées sur des modèles mathématiques et/ou des considérations pratiques tirées de l'expérience et qui se présentent sous la forme soit d'abaques de dimensionnement, soit d'un catalogue de structures-types, soit de méthodes de calcul pratiques.

Il s'agit de fixer une période de service à assurer par la structure, définie comme la période probable pendant laquelle la chaussée supportera le trafic prévu sans devoir recourir aux travaux d'entretien structurel. Le choix de la période de service intervient dans le calcul du trafic cumulé. Elle peut être prise entre cinq et cinquante ans. Mais, comme nous allons le constater par la suite, le dimensionnement d'une chaussée en béton – donc son coût initial – varie en fait assez peu en fonction de la période de service choisie. Il y a donc intérêt à retenir une durée longue (entre vingt et cinquante ans).

Les paramètres d'entrée indispensables au dimensionnement d'une chaussée en béton (Fig. 30) sont relatifs :

- à l'action du trafic,
- à la portance du sol ou de la plate-forme support de chaussée,
- aux caractéristiques des matériaux qui constituent la chaussée.

Figure 30. Schéma synoptique de la méthode de dimensionnement



Le choix de ces différents paramètres, et notamment l'évaluation du trafic, conditionnera en grande partie le comportement futur de la chaussée.

3. Le trafic

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées.

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

D'autre part, l'expérience a montré l'influence fondamentale du poids des essieux sur le dommage observé : un essieu de poids lourds est infiniment plus agressif qu'un essieu de voiture légère. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules. En France, le trafic estimé à la mise en service est converti en nombre d'essieux standards au moyen d'un coefficient multiplicateur qui tient compte de l'agressivité du type de véhicule. Le terme « essieu stan-

« dard » désigne l'essieu isolé à roues jumelées supportant une charge de 13 tonnes, qui est la charge maximale légale en France.

Comme l'objectif de la chaussée est d'assurer le passage des véhicules pendant un certain nombre d'années, le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé, converti en « essieu standard », qui circule sur la chaussée tout au long de cette période.

Ce trafic cumulé à prendre en compte dépend alors :

- du trafic existant ou prévu lors de la mise en service de la route,
- de l'agressivité du trafic,
- de la période de service souhaitée de la chaussée,
- du taux moyen de croissance annuelle du trafic pendant cette période.

3.1. Détermination du trafic à la mise en service

Il est évalué à l'aide de la formule :

$$t = [\text{T.M.J.A.}] \times R$$

où t : est le trafic à la mise en service exprimé en poids lourds par jour et par sens de roulement. Le Poids lourd, défini dans la norme NF P 98 082, désigne un véhicule dont le Poids Total Autorisé en Charge « PTAC » est supérieur ou égal à 35 kN (3,5 tonnes).

[T.M.J.A.] : est le trafic Moyen Journalier Annuel.

R : est un coefficient prenant en compte le recouvrement des bandes de roulement.

a) Trafic Moyen Journalier Annuel « T.M.J.A. »

Il peut être évalué, selon le cas à étudier, de différentes façons :

- soit par comptage lorsqu'il s'agit de l'aménagement d'un itinéraire existant,
- soit par estimation du trafic basée sur une étude de trafic dans la zone intéressée par le projet,
- soit, enfin, par évaluation à partir de méthodes indirectes : tonnage transporté transformé en trafic ou estimation du trafic « drainé » par la nouvelle route à partir des itinéraires qu'elle déleste.

Dans le cas des routes à faible trafic, l'intensité du trafic et son agressivité varient dans de très larges proportions en fonction notamment de la nature de la voirie et de sa destination.

Citons, à titre d'exemple, certains cas courants :

- en milieu agricole, le trafic est saisonnier. Il peut être très lourd dans les zones de culture industrialisée ou léger dans les régions d'élevage,
- une route à caractère purement agricole peut constituer un raccourci entre deux villages et devenir un itinéraire de liaison qui sera amené à supporter un trafic plus élevé que prévu,
- le trafic sur les routes forestières est, en règle générale, réduit mais constitué exclusivement de poids lourds circulant en toute saison,
- sur les voiries de lotissements, le trafic lourd circule au moment de la construction des habitations. Le trafic ultérieur est en grande partie constitué de véhicules légers dont le nombre est étroitement lié à celui des habitations et n'est pas de ce fait sujet à évolution dans le temps.

Ces quelques exemples illustrent bien l'importance que revêt la fonction réelle de la route dans la détermination du trafic.

D'autre part, le temps disponible pour les études des projets de voiries étant le plus souvent limité, il n'est pas toujours possible de réaliser des comptages sur des périodes longues et représentatives. Les résultats obtenus sont, de ce fait, partiels et incomplets. Il convient donc, dans de tels cas, d'effectuer des corrections sur le trafic obtenu pour tenir compte des variations saisonnières connues (transport de betteraves, vendanges, vacances, etc.) et des augmentations temporaires de trafic (déviation).

Cette façon de faire est très intéressante car elle permet, en tenant compte des variations saisonnières du trafic et de la pondération de ces variations sur une année entière, d'estimer avec plus de précision le trafic moyen journalier annuel que la route aura à supporter.

Le trafic MJA est exprimé par sens de circulation, par ordre de préférence en :

- poids lourds de poids total autorisé > 3,5 t
- tous véhicules.

b) Coefficient R

C'est un coefficient de pondération lié à la largeur utile de la route. Il prend en compte le recouvrement des bandes de roulement dans le cas des chaussées bidirectionnelles à largeur réduite. Le tableau 7 donne le coefficient R en fonction de la configuration de la route.

Tableau 7 : Détermination du coefficient R en fonction de la configuration de la route

| CONFIGURATION DE LA ROUTE | R |
|---|-----|
| Route unidirectionnelle | 1 |
| Route bidirectionnelle de largeur > 6 m | 1 |
| Route bidirectionnelle de largeur 5 à 6 m | 1,5 |
| Route bidirectionnelle de largeur < 5 m | 2 |
| Route bidirectionnelle de largeur < 5 m circulée par des camions en charge dans un sens et à vide dans l'autre sens | 1,5 |

3.2. Classes de trafic

À partir du trafic à la mise en service « t », exprimé en poids lourds dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur ou égal à 3,5 tonnes, on peut désigner la classe du trafic pour le sens de circulation étudié conformément à la définition des classes de trafic donnée au chapitre 2.

Le tableau 8 donne, à titre de rappel, les différentes classes de trafic.

Tableau 8 : Définition des classes de trafic en fonction du nombre de poids lourds, pour les routes à faible trafic

| Classes de trafic | Trafic à la mise en service (exprimé en poids lourds dont le poids total autorisé en charge est supérieur ou égal à 3,5 tonnes) | Centre de classe (moyenne géométrique) |
|-------------------|---|--|
| t ₃₊ | 86 à 150 | 115 |
| t ₃₋ | 51 à 85 | 65 |
| t ₄ | 26 à 50 | 35 |
| t ₅ | 11 à 25 | 17 |
| t ₆ | 3 à 10 | 5 |
| t ₇ | 0 à 2 | 1,5 |

Lorsque les comptages sont réalisés tous véhicules, c'est-à-dire qu'ils ne différencient pas les poids lourds des véhicules légers, il est possible d'estimer la classe de trafic poids lourds en fonction du nombre total journalier de véhicules supporté par la chaussée (tableau 9).

Tableau 9: Définition des classes de trafic en fonction du nombre total de véhicules

| Classes de trafic | Trafic total véhicules par jour dans les deux sens |
|-------------------|--|
| t ₃₊ | 2001 à 3000 |
| t ₃₋ | 1501 à 2000 |
| t ₄ | 751 à 1500 |
| t ₅ | 151 à 750 |
| t ₆ | 30 à 150 |
| t ₇ | 0 à 30 |

3.3. Trafic poids lourds cumulé et nombre équivalent d'essieux de référence

Pour le dimensionnement mécanique de la chaussée, il est également nécessaire de déterminer le trafic cumulé sur la période de dimensionnement. Le dimensionnement mécanique de la chaussée est réalisé en considérant le trafic poids lourds cumulé pour la durée de dimensionnement retenue, représenté par le Nombre cumulé de Poids Lourds (NPL) et calculé selon l'Équation.

$$NPL = 365 \times t \times C$$

Où :

NPL : nombre cumulé de Poids Lourds ;

t : est le trafic à la mise en service exprimé en nombre de poids lourds par jour et par sens de roulement ;

C : facteur de cumul du trafic pour la durée de dimensionnement.

■ 3.3.1. Détermination de t

La valeur du trafic à la mise en service à prendre en compte est la suivante :

- si le trafic t est connu précisément, c'est cette valeur qui est utilisée pour le calcul du Nombre cumulé de Poids Lourds (NPL) ;
- si le trafic t est connu sous forme de classe de trafic journalier à la mise en service, le calcul de NPL est réalisé avec le trafic correspondant à la moyenne géométrique de la classe de trafic considérée (cf. Tableau 8).

■ 3.3.2. Détermination de « C »

Le facteur de cumul C est déterminé à partir des hypothèses fixées par le projeteur et concernant, d'une part, la période de service et, d'autre part, le taux annuel de croissance du trafic.

Le calcul du coefficient C dépend de l'hypothèse de croissance du trafic poids lourds. Son expression pour une période de cumul de « n » années est donnée en équation (1) pour une croissance arithmétique et dans l'équation (2) pour une croissance géométrique.

$$C = n.[1 + (n - 1).T/2] \quad (1)$$

Où :

T : taux de croissance arithmétique du trafic poids lourds en %;

n : période de cumul en année.

$$C = [(1 + T)^n - 1].1/T \quad (2)$$

Où :

T : taux de croissance géométrique du trafic poids lourds en % ;

n : période de cumul en année.

La détermination de C nécessite de choisir une période de service n, et un taux annuel de croissance du trafic T. Ce choix appelle les commentaires suivants :

- Période de service

Elle est définie comme la période probable pendant laquelle la chaussée supportera le trafic prévu sans devoir recourir à un entretien structurel.

Dans le cas des voiries, on retient en général l'hypothèse d'une période de service longue, au moins égale à vingt ans.

- Taux annuel de croissance du trafic

En règle générale, il n'est pas facile d'évaluer ce taux d'une façon précise. Il dépend de plusieurs facteurs : les conditions économiques locales, la position stratégique de la route dans le réseau régional, etc.

Dans le cas le plus simple où le taux de croissance est constant sur l'ensemble de la durée de dimensionnement, la période de cumul n est alors égale à la durée de dimensionnement d. Les tableaux 10 et 11 donnent les valeurs du facteur de cumul C respectivement pour un taux de croissance arithmétique et géométrique du trafic.

Dans le cas contraire, le calcul du coefficient C est réalisé en considérant autant de périodes sur lesquelles le taux de croissance est constant. Le TMJA au début de chaque période est déduit de celui de la période précédente. Les différents NPL calculés (avec les formules précédentes) sont ensuite sommés pour déterminer le NPL global.

Tableau 10: Facteur de cumul dans le cas d'un taux de croissance arithmétique du trafic

| Facteur de cumul C | | Taux de croissance arithmétique du trafic | | | | |
|--------------------|----|---|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Période de service | 10 | 10,00 | 10,45 | 10,90 | 11,35 | 11,80 |
| | 20 | 20,00 | 21,90 | 23,80 | 25,70 | 27,60 |
| | 30 | 30,00 | 34,35 | 38,70 | 43,05 | 47,40 |
| | 40 | 40,00 | 47,80 | 55,60 | 63,40 | 71,20 |
| | 50 | 50,00 | 62,25 | 74,50 | 86,75 | 99,00 |

Tableau 11: Facteur de cumul dans le cas d'un taux de croissance géométrique du trafic

| Facteur de cumul C | | Taux de croissance géométrique du trafic | | | | |
|--------------------|----|--|-------|-------|--------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Période de service | 10 | 10,00 | 10,46 | 10,95 | 11,46 | 12,01 |
| | 20 | 20,00 | 22,02 | 24,30 | 26,87 | 29,78 |
| | 30 | 30,00 | 34,78 | 40,57 | 47,58 | 56,08 |
| | 40 | 40,00 | 48,89 | 60,40 | 75,40 | 95,03 |
| | 50 | 50,00 | 64,46 | 84,58 | 112,80 | 152,67 |

■ 3.3.3. Trafic cumulé d'essieux de référence

Pour le dimensionnement, le nombre de poids lourds cumulé sur la durée de dimensionnement (NPL) est converti en un Nombre Equivalent d'essieux de référence (NE) à l'aide du coefficient d'agressivité moyen du trafic CAM, suivant l'équation (3).

$$NE = NPL \times CAM \quad (3)$$

Où :

NE : nombre équivalent d'essieux de référence,

NPL : nombre de poids lourds calculé pour la durée de dimensionnement,

CAM : coefficient d'agressivité moyen du trafic.

Le trafic cumulé exprimé en Essieux de référence est basé sur le produit du nombre NPL par un coefficient d'équivalence appelé Coefficient d'Aggressivité Moyen du trafic, noté CAM, dont la valeur dépend de la nature de la structure de chaussée et

de la composition du trafic Poids Lourds (silhouettes des poids lourds et fréquences de passage). La méthode de calcul de ce coefficient est développée dans la norme NF P 98-082. Elle doit être utilisée notamment dans le cas des zones de trafic recevant des poids lourds dérogeant au Code de la Route français ou à la directive européenne n°96-53. Pour les autres zones et en l'absence des informations nécessaires pour mener un tel calcul, les valeurs du coefficient CAM données dans les tableaux 12 et 13 peuvent être utilisées.

Nota

Le coefficient d'agressivité moyen CAM d'un trafic donné est l'agressivité du trafic poids lourds considéré, divisé par le nombre de poids lourds constituant ce trafic. L'agressivité d'un trafic est la somme arithmétique des agressivités de l'ensemble des véhicules d'un trafic donné. L'agressivité d'un poids lourd est égale à la somme des agressivités de ses essieux. L'agressivité est estimée vis à vis de l'endommagement par fatigue de la chaussée. Elle correspond au dommage provoqué par le passage d'un essieu de charge P, par rapport au dommage dû au passage d'un essieu standard de référence de charge PO.

Tableau 12: Coefficient d'agressivité moyen pour les chaussées rurales à faible trafic

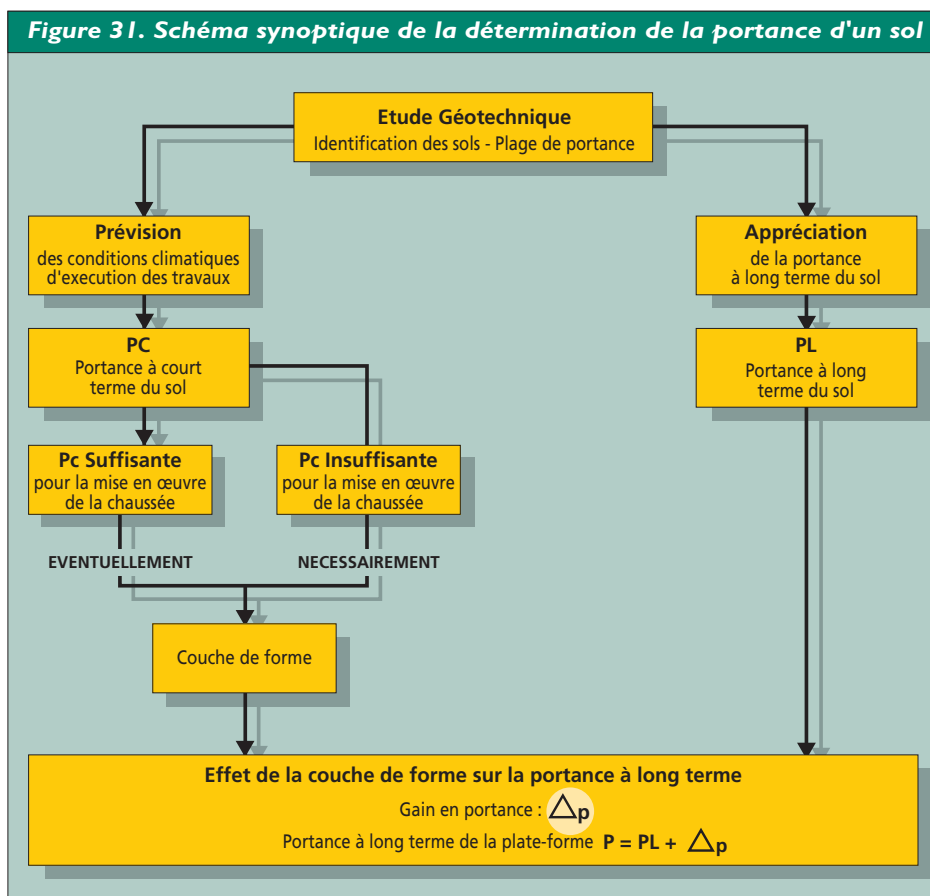
| Classe de trafic | Coefficient d'agressivité moyen CAM |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| t ₇ et t ₆ | 0,3 |
| t ₅ | 0,4 |
| t ₄ | 0,5 |
| t ₃₋ | 0,6 |
| t ₃₊ | 0,6 |

Tableau 13: Coefficient d'agressivité moyen pour les chaussées urbaines à faible trafic

| Classe de trafic | Coefficient d'agressivité moyen CAM | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | Sur voie courante | Sur carrefour giratoire |
| Voie de desserte | 0,1 | 0,2 |
| Voie de distribution | 0,2 | 0,5 |
| Voie principale à Poids lourds | 0,4 | 1,0 |

4. Évaluation de la portance de la plate-forme

Pour dimensionner correctement une voirie, il est indispensable d'évaluer la portance à long terme du support. Cette portance est égale à la portance à long terme du sol mis à nu par les terrassements, augmentée, le cas échéant, du gain de portance obtenu soit par une éventuelle couche de forme, soit par un éventuel traitement en place du sol (voir figure 31).



Le guide technique des Terrassements Routiers GTR définit cinq niveaux de portance du sol support désignés, dans l'ordre croissant, par AR0 ; AR1 ; AR2 ; AR3 et AR4. D'autre part, le Guide technique de traitement des sols à la chaux et /ou aux liants hydrauliques GTS définit cinq niveaux de portance de la plate-forme support désignés, dans l'ordre croissant, par PF1 ; PF2, PF2qs ; PF3 et PF4. Le tableau 14 donne les critères de classification des sols et de la plate-forme support, soit par l'essai CBR, soit par un examen visuel, soit par l'essai à la plaque.

Tableau 14: Classification des sols et des plates-formes support en fonction de leur portance

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

5. Caractéristiques des bétons routiers

Les bétons routiers doivent répondre aux sollicitations répétées du trafic et des effets climatiques.

Pour le dimensionnement, le béton routier doit présenter des caractéristiques mécaniques adéquates.

Le tableau 15 donne les caractéristiques mécaniques requises de ces matériaux, conformément aux normes NF P 98 086 et NF P 98 170. La composition des bétons doit donc être établie compte tenu des caractéristiques des matériaux disponibles et des résistances à atteindre.

Tableau 15 : Classification des bétons routiers

| Désignation des bétons routiers et domaines d'emploi (NF P 98 170 et NF P 98 086) | Résistance caractéristique à 28 jours (MPa) | Résistance en compression (NF EN 206/CN) | Résistance en fendage (NF P 98 170) |
|---|---|--|-------------------------------------|
| BC1 Couche d'assises | < 20 (8 ; 12 et 16) | C 8/10 ; C12/15 ; C 16/20 | < 1,3 (0,7 ; 1,0 et 1,3) |
| BC2 Couche d'assises | 20 | C 20/25 | 1,7 |
| BC3 Couche d'assises | 25 | C 25/30 | 2,0 |
| BC4 Couche de roulement | 29 | C 30/37 | 2,4 |
| BC5 Couche de roulement | 32 | C 35/45 | 2,7 |
| BC6 Couche de roulement routière et aéroportuaire | 38 | C 40/50 | 3,3 |

Les classes BC1 et BC2 correspondent à des bétons destinés en général aux couches d'assises (fondation et base).

Les classes BC3 et BC4 correspondent à des bétons destinés aux couches d'assises mais elles peuvent être utilisées dans les couches de roulement de chaussées dont le trafic est inférieur à t_3 (150 PL/j).

Les classes BC5 et BC6 correspondent à des bétons destinés en général aux couches de roulement routières.

La classe BC6 correspond à un béton destiné aux couches de roulement routières et aéroportuaires.

Dans ce guide, la détermination des épaisseurs du revêtement en béton a été effectuée avec un béton de classe BC5. Pour un béton de classe BC4, il faut ajouter 2 cm. Pour un béton de classe BC6, il faut retrancher 2 cm.

En outre, du fait de leur usage, les bétons de voiries et d'aménagements urbains peuvent être exposés à des environnements et des conditions d'exploitation agressifs. Ils doivent, par conséquent résister au gel, au salage et à l'action du sel d'origine marine. Ces bétons doivent respecter les exigences des classes d'exposition XFi, conformément au tableau NA.1 de la norme NF EN 206/CN.

- Pour les aménagements situés en bord de mer et soumis aux embruns, les prescriptions de la classe d'exposition XS3 doivent également être respectées.
- Les bétons de fondation n'ont généralement aucune restriction d'emploi. Ils seront donc de classe d'exposition X0.

NOTE 1 : La rigueur moyenne de l'hiver peut être évaluée à partir de la carte figurant en Figure NA.2 de la norme NF EN 206/CN, complétée par le Fascicule de Documentation FD P 18-326.

6. Détermination des épaisseurs des revêtements en béton

Pour déterminer les épaisseurs du revêtement en béton, il convient en premier lieu de préciser les points suivants :

- le trafic à la mise en service « t »,
- la période de service « n »,
- le taux annuel de croissance du trafic « τ »,
- la classe de portance à long terme de la plate-forme support,
- les caractéristiques mécaniques du béton.

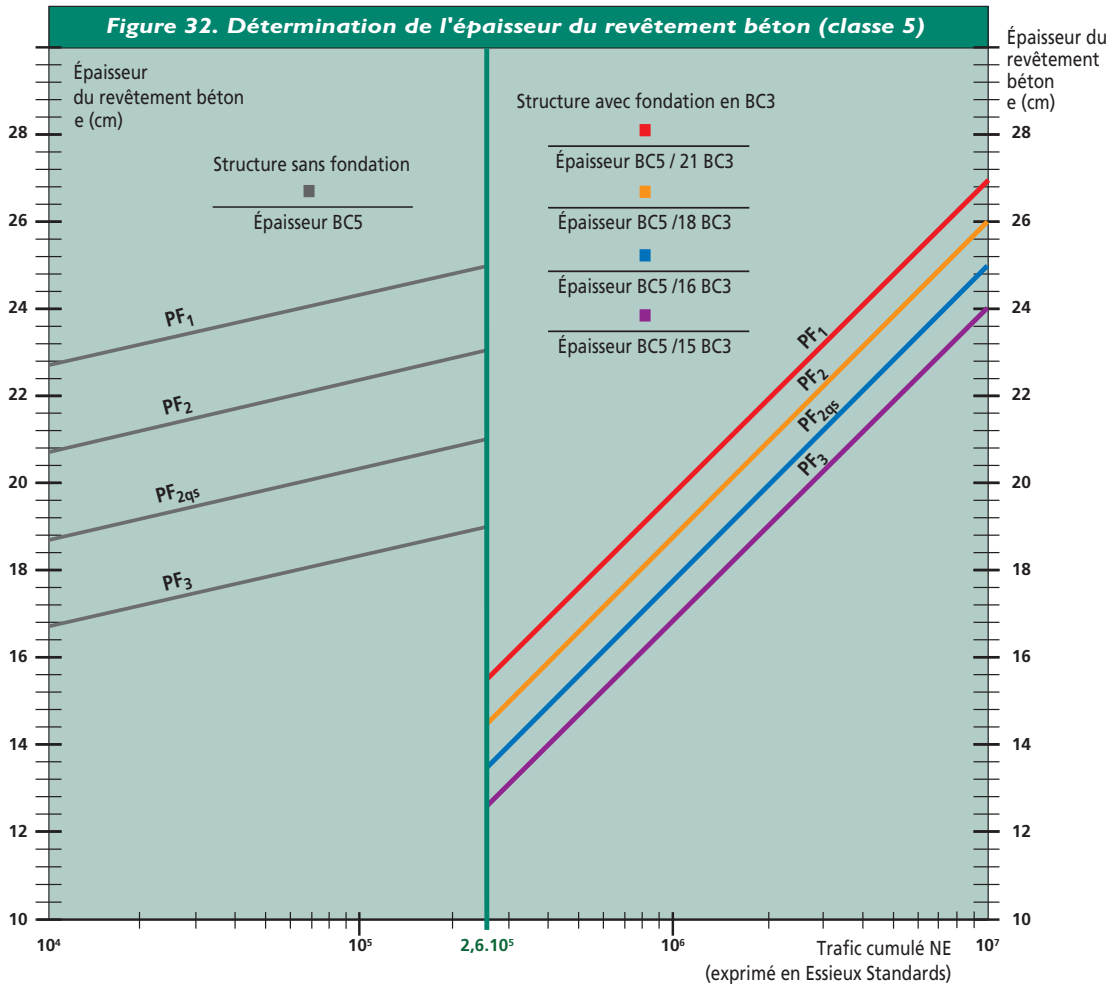
Ensuite, deux méthodes équivalentes sont possibles :

6.1. Abaque de calcul

Il s'agit de calculer le trafic cumulé NE, exprimé en nombre d'essieux standards, comme nous l'avons exposé dans ce chapitre, et déduire ensuite l'épaisseur de la chaussée à partir de l'abaque de dimensionnement de la figure 32.

Le dimensionnement du revêtement en béton est effectué en lisant sur l'abaque (Fig. 32) l'épaisseur de la couche de roulement en béton en fonction du trafic cumulé NE, exprimé en essieux standards de 13 tonnes et de la portance de la plate-forme (PF₁, PF₂, PF_{2qs} et PF₃) et en fonction de la structure envisagée pour la chaussée (structure sans fondation, structure avec fondation en béton maigre, structure avec fondation en grave bitume).

Dans le cas où le trafic cumulé estimé dépasse $2,5 \cdot 10^6$ essieux standards, il est conseillé de goujonner les dalles béton du revêtement dans le but d'améliorer le



comportement à long terme de la structure. L'utilisation des goujons, aux droits des joints transversaux de retrait flexion, permet au niveau de la couche de roulement les réductions d'épaisseur suivantes :

- structure goujonnée sans fondation, posée sur couche drainante ou géotextile : - 3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 32, toutes conditions égales par ailleurs.
- structure goujonnée avec fondation en béton maigre : - 3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 32, toutes conditions égales par ailleurs.

6.2. Fiches de structures

Les propositions de dimensionnement font ainsi l'objet d'une série de tableaux (16, 17 et 18). Chacun correspond à une période de service donnée (20 ; 30 et 50 ans). Chaque tableau donne le dimensionnement des structures en béton en fonction de la plate-forme support ($PF_1 - PF_2 - PF_{2qs}$ et PF_3) et de la classe de trafic ($t_7 - t_6 - t_5 - t_4 - t_3^-$ et t_3^+). Le choix des paramètres d'entrée permet la lecture de l'épaisseur du revêtement en béton (à joints goujonnés ou non) et éventuellement de sa fondation (en béton maigre ou en grave bitume).

Une simple consultation de la fiche de dimensionnement permet de constater qu'il est possible de prolonger la période de service ou de se prémunir contre d'éventuelles croissances du trafic grâce à une faible surépaisseur de la voirie béton (de l'ordre de 2 cm).

■ 6.2.1. Structures en béton pour une période de service de 20 ans

Les calculs ont été effectués en retenant les hypothèses suivantes :

Dimensionnement VFTB – hypothèses : BC5 et BC5g ; taux de croissance arithmétique du trafic poids lourds 2% ; durée de service 20 ans ; interface BC/sol collée ; interface BC5 ou BC5g/BC3 décollée ; Interface BC5g/GB3 collée ; $k_d = 1/1,7$ pour BC5 ; $k_d = 1/1,47$ pour BC5g/BC3 ; $k_d = 1/1,37$ pour BC5g/GB3 ; k_s = selon Portance PF de la plate-forme; $sh = 0,03$ pour BC/sol ; $Sh = 0,01$ pour BC/fondation ; $r = 25$ % CAM selon trafic prévu.

Tableau 16 : Dimensionnement des structures en béton pour une période de service de 20 ans

| Plate-forme support | Trafic | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| | t_7 20 ans | t_6 20 ans | t_5 20 ans | t_4 20 ans | t_{3-} 20 ans | t_{3+} 20 ans | | |
| | NE $0,4 \cdot 10^4$ | NE $0,15 \cdot 10^5$ | NE $0,6 \cdot 10^5$ | NE $1,5 \cdot 10^5$ | NE $3,4 \cdot 10^5$ | NE $6,0 \cdot 10^5$ | | |
| PF1 | 22 BC5 | 23 BC5 | 24 BC5 | 26 BC5 | 15 BC5 21 BC3 | 18 BC5 21 BC3 | 15 BC5g 21 BC3 | – |
| PF2 | 20 BC5 | 21 BC5 | 22 BC5 | 23 BC5 | 15 BC5 18 BC3 | 17 BC5 18 BC3 | 14 BC5g 18 BC3 | – |
| PF2qs | 18 BC5 | 19 BC5 | 20 BC5 | 21 BC5 | 14 BC5 16 BC3 | 16 BC5 16 BC3 | 13 BC5g 16 BC3 | 14 BC5g 9 GB3 |
| PF3 | 16 BC5 | 17 BC5 | 18 BC5 | 19 BC5 | 13 BC5 15 BC3 | 15 BC5 15 BC3 | 12 BC5g 15 BC3 | 13 BC5g 9 GB3 |

■ **6.2.2. Structures en béton pour une période de service de 30 ans**

Les calculs ont été effectués en retenant les hypothèses suivantes :
 Dimensionnement VFTB - hypothèses : BC5 et BC5g ; taux de croissance arithmétique du trafic poids lourds 2% ; durée de service 30 ans ; interface BC/sol collée ; interface BC5 ou BC5g/BC3 décollée ; Interface BC5g/GB3 collée ; $k_d = 1/1,7$ pour BC5 ; $k_d = 1/1,47$ pour BC5g/BC3 ; $k_d = 1/1,37$ pour BC5g/GB3 ; k_s = selon Portance PF de la plate-forme; $sh = 0,03$ pour BC/sol ; $Sh = 0,01$ pour BC/fondation ; $r = 25$ % CAM selon trafic prévu.

Tableau 17 : Dimensionnement des structures en béton pour une période de service de 30 ans

| Plate-forme support | Trafic | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| | t_7 30 ans | t_6 30 ans | t_5 30 ans | t_4 30 ans | t_{3-} 30 ans | t_{3+} 30 ans | | |
| | NE $0,64 \cdot 10^4$ | NE $0,24 \cdot 10^5$ | NE $0,96 \cdot 10^5$ | NE $2,5 \cdot 10^5$ | NE $5,5 \cdot 10^5$ | NE $9,5 \cdot 10^5$ | | |
| PF1 | 23 BC5 | 24 BC5 | 25 BC5 | 26 BC5 | 15 BC5 21 BC3 | 18 BC5 21 BC3 | 15 BC5g 21 BC3 | – |
| PF2 | 20 BC5 | 21 BC5 | 22 BC5 | 23 BC5 | 15 BC5 18 BC3 | 16 BC5 18 BC3 | 13 BC5g 18 BC3 | – |
| PF2qs | 18 BC5 | 19 BC5 | 20 BC5 | 21 BC5 | 16 BC5 16 BC3 | 17 BC5 16 BC3 | 14 BC5g 16 BC3 | 14 BC5g 9 GB3 |
| PF3 | 16 BC5 | 17 BC5 | 18 BC5 | 19 BC5 | 15 BC5 15 BC3 | 16 BC5 15 BC3 | 13 BC5g 15 BC3 | 13 BC5g 9 GB3 |

■ 6.2.3. Structures en béton pour une période de service de 50 ans

Les calculs ont été effectués en retenant les hypothèses suivantes :

Dimensionnement VFTB - hypothèses : BC5 et BC5g ; taux de croissance arithmétique du trafic poids lourds 2% ; durée de service 50 ans ; interface BC/sol collée ; interface BC5 ou BC5g/BC3 décollée ; Interface BC5g/GB3 collée ; $k_d = 1/1,7$ pour BC5 ; $k_d = 1/1,47$ pour BC5g/BC3 ; $k_d = 1/1,37$ pour BC5g/GB3 ; k_s = selon Portance PF de la plate-forme; $sh = 0,03$ pour BC/sol ; $Sh = 0,01$ pour BC/fondation ; $r = 25\%$ CAM selon trafic prévu.

Tableau 18 : Dimensionnement des structures en béton pour une période de service de 50 ans

| Plate-forme support | Trafic | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| | t_7 50 ans | t_6 50 ans | t_5 50 ans | t_4 50 ans | t_3^- 50 ans | t_3^+ 50 ans | | |
| | NE $1,25 \cdot 10^4$ | NE $0,45 \cdot 10^5$ | NE $1,85 \cdot 10^5$ | NE $4,9 \cdot 10^5$ | NE $1,08 \cdot 10^6$ | NE $1,86 \cdot 10^6$ | | |
| PF1 | 24 BC5 | 25 BC5 | 26 BC5 | 15 BC5 21 BC3 | 17 BC5 21 BC3 | 19 BC5 21 BC3 | 16 BC5g 21 BC3 | – |
| PF2 | 21 BC5 | 22 BC5 | 23 BC5 | 15 BC5 18 BC3 | 17 BC5 18 BC3 | 19 BC5 18 BC3 | 16 BC5g 18 BC3 | – |
| PF2qs | 19 BC5 | 20 BC5 | 21 BC5 | 16 BC5 16 BC3 | 17 BC5 16 BC3 | 18 BC5 16 BC3 | 15 BC5g 16 BC3 | 17 BC5g 9 GB3 |
| PF3 | 17 BC5 | 18 BC5 | 19 BC5 | 15 BC5 15 BC3 | 16 BC5 15 BC3 | 18 BC5 15 BC3 | 15 BC5g 15 BC3 | 16 BC5g 9 GB3 |



Chapitre

6

Exemple de dimensionnement

- 1. Introduction**
- 2. Le projet**

1. Introduction

Ce chapitre est destiné à familiariser le lecteur avec l'utilisation de la méthode de dimensionnement exposée dans ce Guide. Il présente donc un projet fictif – mais aussi réaliste que possible - qui constitue ainsi un cas d'école. Il a été rédigé avec le souci d'être le plus complet possible et d'illustrer les cas extrêmes quant aux choix des différents paramètres d'entrée.

2. Le projet

Une commune rurale d'environ 1500 habitants, dispose d'un terroir agricole où l'on cultive principalement les betteraves. L'accès au terroir et aux différentes parcelles se fait par un ancien chemin de caractéristiques (tracé, largeur) très médiocres et dont la structure de chaussée est très dégradée.

L'Association Foncière de Remembrement envisage un programme de remembrement qui consiste à viabiliser environ 7000 mètres de chemins agricoles, de largeur 3,5 mètres, dans le but d'optimiser l'espace agricole et de créer en même temps une infrastructure routière capable de supporter le trafic de poids lourds qui s'intensifie durant la période de récolte (Octobre et Novembre).

On se propose, donc, en suivant la démarche indiquée dans ce guide, de définir la structure béton de la chaussée à construire.

2.1. Le Trafic

On recherche d'abord le trafic à la mise en service « t », puis le trafic cumulé « NE », exprimé en nombre d'essieux standards.

■ 2.1.1. Trafic à la mise en service « t »

On a procédé sur le chemin existant à des comptages. Le compteur donne une estimation du nombre de poids lourds, de poids total autorisé en charge PTAC à 3,5 tonnes.

Ces comptages ont été effectués durant le mois de Mars pendant quinze jours consécutifs, sur un sens de circulation et on a obtenu 15 poids lourds par jour et par sens (poids lourds de PTAC > 3,5 tonnes).

a) Trafic Moyen Journalier Annuel « TMJA » à la mise en service

Il s'agit ici d'apporter les corrections au trafic obtenu par comptage. On estime que pendant les mois de décembre, janvier et février, le trafic lourd diminue de 75 % par rapport à celui de mars pris pour référence. Par ailleurs, le transport de la récolte qui se fait en octobre et en novembre engendre durant cette période un trafic cinq fois supérieur à celui du mois de mars.

Le trafic Moyen Journalier Annuel « TMJA » de l'année de comptage est alors :

$$\text{TMJA} = 15 \text{ PL} \times 30 \text{ j} \times 1/365 \times (7 \text{ mois} \times 1 + 2 \text{ mois} \times 5 + 3 \text{ mois} \times 0,25)$$

$$\text{TMJA} = 21,88 \text{ PL/j/sens, soit } 22 \text{ PL/j/sens}$$

D'où: $\text{TMJA} = 22 \text{ PL} / \text{j} / \text{sens}$

On prévoit que la mise en service de la voirie aura lieu au printemps de l'année suivant celle du comptage. On estime, d'autre part, que la croissance du trafic liée à l'activité agricole est de l'ordre de 2 % par an.

Le trafic « TMJA » à la mise en service sera donc

$$22 \times 1,02 = 22,44 \text{ PL/j/sens}$$

soit: $\text{TMJA} = 22,44 \text{ PL} / \text{j} / \text{sens}$

b) Trafic à la mise en service tenant compte de la largeur de la route

La voirie est bidirectionnelle et dont la largeur est inférieure à 5 mètres. Le coefficient de recouvrement des voies « R », donné par le tableau 7, page 62, est : R = 2.

D'où :

$$t = 22,44 \times R$$

$$t = 22,44 \times 2$$

$$t = 45 \text{ P.L./j/sens (P.L. désigne ici poids lourds de Poids total autorisé en charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes.)}$$

■ 2.1.2. Classe de trafic

$$t = 45 \text{ P.L./j/sens (P.L. de Poids total autorisé en charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes.)}$$

La classe de trafic, pour le sens de circulation étudié est donc « T4 » selon la définition des classes données dans le tableau 8, page 62. On suppose que le trafic est équilibré dans les deux sens.

■ 2.1.3. Détermination du trafic cumulé de Poids Lourds « NPL »

Le trafic cumulé Poids Lourds « NPL » est déterminé par la formule :

$$NPL = 365 \cdot t \cdot C$$

Où « C » est le facteur de cumul.

a) Facteur de cumul « C »

Les tableaux 10 et 11, page 65, donnent les facteurs de cumul « C » en fonction des hypothèses prises sur la période de service, du taux annuel de croissance du trafic et de la nature du taux de croissance du trafic (arithmétique ou géométrique).

En ce qui concerne la période de service, on a retenu une durée longue de 30 ans.

En matière de taux annuel de croissance de trafic, nous retenons les hypothèses :

- taux de croissance arithmétique ;
- taux de croissance de 2 % pendant les 30 années.

Le tableau 10 page 65 donne le facteur de cumul C :

$$C = 38,70$$

b) Trafic cumulé de Poids Lourds sur la période de service de 30 ans

$$NPL = 365 \cdot t \cdot C$$

$$NPL = 365 \times 45 \times 38,70$$

$$NPL = 635\,648 \text{ Poids Lourds}$$

$$NPL = 6,5 \cdot 10^5 \text{ PL}$$

■ 2.1.4. Détermination du trafic cumulé en Essieux Standards « NE »

Le trafic cumulé, exprimé en Essieux Standards « NE » est déterminé par la formule :

$$NE = NPL \cdot CAM$$

Où « CAM » est le coefficient d'agressivité moyen.

a) Coefficient d'Aggressivité Moyen « CAM »

Le tableau 12, page 66, donne pour la classe de trafic « t4 » :

$$CAM = 0,5$$

b) Trafic cumulé d'Essieux Standards sur la période de service de 30 ans

$$NE = NPL \times CAM$$

$$NE = 635\,648 \times 0,5$$

$$NE = 317\,824 \text{ Essieux Standards}$$

$$NE = 3,2 \cdot 10^5 \text{ Essieux Standards}$$

2.2. La plate-forme support de chaussée

Le tracé projeté a une longueur de 7 km, la ligne rouge est située au niveau du terrain naturel.

On recherche, tout d'abord, la portance à long terme des sols qui seront mis à nu par les terrassements, puis la portance de la plate-forme tenant compte des améliorations projetées (traitement des sols en place, couche de forme, etc.).

■ 2.2.1. *Portance du sol à long terme*

a) Identification

Une reconnaissance sommaire sur le terrain a permis de constater l'existence de matériaux hétérogènes : sols fins et sable avec des fines plastiques. Les essais d'identification réalisés sur des échantillons de ces sols ont montré qu'il s'agit de sols de types A₂ et B₆ (selon la classification géotechnique du Guide des Terrassements Routiers).

Ce sont donc des sols sensibles à l'eau, dont les portances se situent entre AR₀ et AR₂ (selon l'échelle de portance SETRA / LCPC).

b) Portance des sols

Une étude Proctor-CBR a permis de déterminer les portances prévisibles des sols rencontrés. On a trouvé une portance AR₁ pour les sols A₂ et une portance AR₂ pour les sols B₆.

■ 2.2.2. *Portance de la plate-forme support de chaussée*

Les sols A₂, ayant une portance AR₁ et risquant au moment du chantier d'avoir seulement une portance AR₀, nécessitent une amélioration avant la réalisation de la chaussée.

Les sols B_6 , tout en ayant une portance AR_2 , risquent au moment du chantier, qui aura lieu probablement en automne, d'avoir une portance à court terme insuffisante, inférieure à AR_2 .

Nous avons décidé donc d'améliorer les sols sur tout le tracé, par traitement en place à la chaux et au liant hydraulique routier.

Conformément au tableau 3, page 41, l'épaisseur à traiter pour les sols A_2 est de 35 cm. Le gain en portance sera de 2 classes. D'autre part, l'épaisseur à traiter pour les sols B_6 est de 20 cm. Le gain en portance sera d'une classe.

Les portances à long terme retenues sont donc les suivantes :

- pour sols A_2 , portance $P = PF_2$
- pour sols B_6 , portance $P = PF_2$

2.3. La Classe de résistance du béton

La norme NF P 98-170 définit six classes de résistance pour le béton. Le choix d'une classe de résistance se fait en fonction de la catégorie de la voirie (classe de trafic et agressivité du trafic) et en fonction de la destination du béton (couche de fondation ou couche de roulement).

Pour le projet, le trafic estimé à la mise en service est « t4 » et le béton sera utilisé en couche de roulement. On peut donc choisir soit la classe 3, soit la classe 4, soit la classe 5 (tableau 15, page 69).

2.4. Détermination de l'épaisseur

L'épaisseur du revêtement en béton est déterminée soit en lisant sur l'abaque (figure 32, page 71), soit en se reportant au tableau 17 page 73, l'épaisseur de la couche de roulement en béton correspondant à un trafic cumulé de $3,2 \cdot 10^5$ Essieux Standards et à une plate-forme de portance PF_2 .

Pour un béton de classe 5, on obtient une épaisseur : $e = 23$ cm

Nota : pour un béton de classe 4, on obtient une épaisseur : $e = 25$ cm

2.5. Dispositions des joints

La voirie est conçue en 3,5 mètres de largeur, il n'y a donc pas nécessité de réaliser des joints longitudinaux.

En ce qui concerne les joints de retrait/flexion transversaux, le tableau 5, page 51, donne, pour un revêtement **d'épaisseur 23 cm**, un **espacement de 5 mètres** et pour un revêtement **d'épaisseur 25 cm** un **espacement de 5 mètres aussi**.



Chapitre

7

Les atouts de la solution béton

- 1. Introduction**
- 2. Atouts techniques**
- 3. Atouts économiques**
- 4. Atouts écologiques**
- 5. Atouts esthétiques**

1. Introduction

La voirie en béton est en plein développement. Son succès est dû à la satisfaction qu'elle apporte aux usagers comme aux responsables techniques et aux représentants des collectivités locales pour des atouts techniques, économiques, écologiques et esthétiques.

2. Atouts techniques

Les principales qualités techniques des voiries en béton sont :

2.1. Une grande rigidité

Les voiries en béton assurent une bonne répartition des charges sur le support de la chaussée et permettent une excellente adaptation aux sols de faible portance.

Conséquences

- **une absence de fondation complexe**
- **une réduction des épaisseurs de la structure**, donc des terrassements
- **une économie en matériaux** (structure moins épaisse, à performances mécaniques égales)
- **une simplicité de mise en œuvre** (structure monocouche et matériel de mise en œuvre facilement disponible et d'utilisation simple).



2.2. Une bonne tenue à la fatigue

Un revêtement en béton, bien conçu et bien dimensionné, peut résister très longtemps à la répétition des charges, donc à un trafic cumulé important.

Conséquences

- **une grande durabilité** (40 à 60 ans)
- **un entretien quasi nul** sur la période de service

2.3. Une solidité à toute épreuve



La voirie en béton offre un ensemble de qualités de résistance :

- **aux charges et au poinçonnement** (grâce aux caractéristiques mécaniques du béton)
- **à la chaleur** (elle demeure rigide et stable par temps chaud sans déformation ni orniérage)
- **au froid** (elle est insensible au gel et aux sels grâce à la présence dans le béton de micro-bulles d'air)
- **aux hydrocarbures**
- **à l'érosion et aux inondations** (absence d'érodabilité des bords du revêtement)
- **à l'usure de surface** (sous l'effet du trafic et des conditions climatiques)
- **au dégel** : par sa rigidité, le revêtement répartit les charges.

Conséquences

- **un entretien quasi nul**
 - la durabilité de la structure et des caractéristiques de surface est assurée quelles que soient l'intensité du trafic et les conditions climatiques,
 - l'uni est inaltérable.
- **une sécurité accrue** (due au maintien, pendant de très longues périodes, de l'uni et des caractéristiques de surface : absence de déformation et d'orniérage, donc pas de rétention d'eau sur la chaussée, et par conséquent, moins de risques d'aqua-planing).

Remarques

a) Les joints

Il est nécessaire de réaliser des joints, en particulier des joints de **retrait/flexion** qui doivent faire l'objet d'une attention particulière lors de la mise en œuvre (bons espacements, suppression des angles vifs).

Dans certains cas, la présence de fibres dans le béton apporte un meilleur comportement au retrait.

b) Dimensionnement, sécurité et longévité

Toute structure béton est très sensible à un sous-dimensionnement ou aux surcharges qui n'auraient pas été explicitement prises en compte lors du dimensionnement.

Un faible surcroît d'épaisseur de béton (2 cm) procure une bonne sécurité vis à vis de surcharges éventuelles et assure une longévité accrue du revêtement (doublement de la durée de service).

3. Atouts économiques

Le béton est un matériau constitué d'éléments disponibles localement (sable, granulats, ciment, eau) et contrairement au bitume, s'accommode bien des différents types de granulats et de sables.

Il est disponible partout : environ 1700 centrales de béton prêt à l'emploi quadrillent la France (aucun chantier n'est donc jamais à plus de 30 km d'une centrale BPE).

3.1. Une technique à l'échelle locale

- **elle peut être du ressort des entreprises locales**, formées à la mise en œuvre des bétons d'environnement et de voirie.

- **elle utilise des granulats de la région**, disponibles sur place ou à faible distance, qu'ils soient d'origines alluvionnaires ou de roches massives, roulées ou concassées.



3.2. Une technique très compétitive

■ 3.2.1. Au stade de la construction

La solution béton est tout naturellement compétitive par rapport à d'autres matériaux.

Mais il faut en plus, tenir compte, au moment de l'évaluation des coûts de construction, de certains éléments financiers qui jouent en faveur des structures en béton et qui peuvent se cumuler :

- **minoration des terrassements :**

l'épaisseur de la chaussée est plus faible dans le cas des structures en béton.

- **économie d'énergie importée :**

on consomme moins d'énergie pour 1 m² de route en béton que pour 1 m² de route en bitume

- **économie en matériaux, en quantité et en qualité :**

le béton consomme moins de matériaux pour des performances mécaniques égales et utilise des granulats locaux

- **gains sur les travaux d'assainissement**

l'eau de ruissellement peut être canalisée par le profil de la route (écoulement latéral ou écoulement central).

Il en résulte une économie de bordures, de caniveaux et de fossés.

■ 3.2.2. Après la construction

- Le béton ne nécessite pratiquement **aucun entretien** sur la période de service prévue, d'où un niveau élevé de **service à l'utilisateur**.

- En considérant le coût global (coût de construction et coûts d'entretien actualisés), la solution béton est la solution **la plus économique** sur une période de 30 ans.

- Autres avantages économiques :

- possibilité d'obtention **d'une subvention** pour la construction de la chaussée,
- **récupération de la TVA** sur l'investissement alors que les dépenses d'entretien ne le permettent pas.

4. Atouts écologiques

• Le béton est un **matériau obtenu à froid, par mélange de plusieurs constituants naturels**. Il est, de ce fait, un matériau écologique, obtenu sans dégagement de substances polluantes dans l'atmosphère.

• **Il participe à la gestion d'une ressource rare: les granulats.**

La solution béton requiert moins de granulats.

• **Il constitue, en se prêtant au recyclage, un gisement potentiel de matériaux** pour de nouvelles routes et apporte donc sa contribution pour préserver notre environnement.

• **Il s'intègre** harmonieusement dans l'architecture et les paysages locaux.



5. Atouts esthétiques

Ils sont dus essentiellement aux possibilités, offertes par le béton, au niveau **des formes, des couleurs et des textures**.

5.1. Les formes

Étant un matériau **moulable**, le béton peut adopter toutes les formes possibles. Dès lors, les surfaces bétonnées peuvent être conçues en trois dimensions (retraits, saillies, creux, reliefs, arrondis, etc.).



5.2. Les couleurs

Gris ou blanc, le ciment, mélangé aux éléments les plus fins du sable donne au béton brut sa teinte de fond qui peut être modifiée par l'ajout de **colorants**. Dans le cas des bétons désactivés, c'est la couleur des granulats qui influencera la teinte du béton.



5.3. Les textures

Elles vont des surfaces **lisses** aux surfaces **rugueuses** (lavées, désactivées, grenillées, bouchardées, imprimées, etc.).

Suivant la nature du traitement choisi, le relief obtenu à la surface du béton sera plus ou moins accentué et l'esthétique de surface dépendra directement de la qualité de la texture minérale du béton.



5.4. Conséquences

Le matériau béton permet d'obtenir des **formes**, des **couleurs** et des **textures** extrêmement variées dans des conditions économiques très compétitives.

Leur combinaison, associée à la possibilité de réaliser de **grandes superficies** et des **formes complexes**, permet de répondre à toutes les exigences d'intégration aux sites, et de voisinage avec les Monuments Historiques.



Chapitre

8

Principales applications : fiches techniques

Fiche n°1 - Les voiries urbaines en béton

Fiche n°2 - Les aménagements piétonniers en béton

Fiche n°3 - Les voies réservées aux bus

Fiche n°4 - Les pistes cyclables en béton

Fiche n°5 - Les voiries rurales en béton

1. Introduction

En France comme dans les pays industrialisés, plus des trois quarts des habitants vivent en ville, et la voirie, sous ses divers aspects, représente un patrimoine considérable.

En se limitant aux seules grandes villes de plus de quinze mille habitants, la voirie urbaine, représente trois fois le linéaire des autoroutes et routes nationales. Dans les zones fortement urbanisées comme la région Ile-de-France, plus de la moitié des travaux routiers est relative aux voiries des zones d'habitation et d'aménagement au sens large.

Ce qui modèle le paysage urbain, c'est que la rue dessert toutes les parcelles, abrite les déplacements et est un lieu de communication. Ces déplacements se font de multiples manières : en voiture, en transport en commun, en deux roues, à pied, en patins à roulettes, etc. Il faut faire cohabiter harmonieusement tous ces modes.

La rue est l'espace public par excellence. Elle a un rôle social : lieu de rencontres, lieu de promenades, lieu de jeux, lieu d'activités diverses.

Certaines formes privilégient ces fonctions : places, placettes, squares, trottoirs, rues, etc.

La rue modèle l'espace urbain par les proportions qu'elle crée entre espace bâti et espace non bâti. En termes d'aménagement, on peut rechercher des espaces ryth-



més, des espaces fermés, des espaces cohérents (voies de type urbain minérales, voies de type rural sinueuses et végétales).

La rue est enfin un sujet évolutif car, outre la prise en compte des évolutions technologiques (réseaux câblés, infrastructures urbaines industrialisables), la voirie s'inscrit pleinement dans l'histoire de l'urbanisation et des formes urbaines qui se concrétisent par :

- la réhabilitation des centres villes anciens,
- la multiplication des maisons individuelles et le développement des grandes surfaces à la périphérie,
- les rocades de contournement des villes,
- la reconquête des voiries de centre ville, des voiries de lotissement,
- le traitement des axes d'entrée de villes,
- le traitement des traversées de villes et villages,
- l'amélioration du cadre de vie,
- la réhabilitation de tous les modes de déplacement.

Les nouveaux concepts de trames urbaines se généralisent : trame des voies de transit, trame du réseau de desserte, trame commerçante, trame piétonne, trame verte, trame paysagère. Donner un rôle aussi exclusif à l'automobile est donc très réducteur vis-à-vis de la voirie urbaine.

A l'inverse, les lieux les plus riches de la ville, les plus vivants, sont aussi ceux où de nombreuses trames se superposent. On appelle cela parfois « les hauts lieux de la ville », qui appellent à des traitements spécifiques, y compris au niveau des revêtements des voiries.

La technique béton de ciment a pleinement accompagné ces évolutions. Longtemps utilisé dans la partie structurelle des aménagements urbains, enfoui sous d'autres matériaux, le béton présente aujourd'hui d'autres possibilités d'application comme matériau de surface caractérisé par un choix varié de couleurs, de formes et de textures.

2. Avantages spécifiques du béton

Le choix d'un revêtement résulte toujours d'un compromis, l'exercice étant rendu plus difficile en ville, eu égard à la diversité des fonctions et à la multiplicité des acteurs. En matière de conception des structures de voirie (arrangement et architecture des couches), il y a, de manière très schématique, deux stratégies :

- La stratégie classique, dans laquelle une voirie est avant tout une chaussée avec des composants : sol, trafic, matériaux, plate-forme, corps de chaussée. Dans ce cas, on termine la conception par un revêtement dans un esprit d'optimum économique de la structure.
- L'approche de l'aménageur, dans laquelle la voirie est conçue en tant que module d'un parti d'aménagement qui est l'axe de réflexion majeur. Dans ce cas, on choisit un revêtement ou une composition de revêtement, le problème étant ensuite le choix de l'assise adaptée à ce revêtement.

Cette dernière approche correspond beaucoup mieux à la conception moderne de la ville et se substitue à la première.

Dans ce contexte, les exigences des maîtres d'ouvrage et des usagers peuvent être classées en huit familles dont le descriptif rapide permet déjà d'esquisser l'adéquation parfaite avec les bétons.

2.1. La sécurité

Le revêtement en béton contribue à renforcer la sécurité par :

- un choix varié de couleurs et d'aspects créant une rupture avec une route de rase campagne,
- une adhérence élevée et une variété de textures adaptables (béton brossé, lavé, strié, désactivé, bouchardé, imprimé, squamé, drainant, etc.),
- une visibilité nocturne améliorée : teinte dominante claire quel que soit le traitement de surface.



2.2. Le confort

La possibilité de régler l'intensité des traitements de surface d'un revêtement en béton permet de répondre aux besoins spécifiques d'un aménagement urbain : conciliation des exigences de sécurité, de confort (à la marche) et d'entretien (facilité de nettoyage). En outre, par sa clarté, il atténue l'effet d'îlot de chaleur urbain.

2.3. L'esthétique

Le matériau béton permet d'obtenir des formes, couleurs et textures extrêmement variées. Leur combinaison, associée à la possibilité de réaliser de grandes superficies et des formes complexes, permet de répondre aux besoins d'intégration à l'environnement immédiat (bâti, Monuments Historiques...).

2.4. La mise en œuvre

a) Finition

Le matériau béton s'accommode des contraintes urbaines : plasticité et moulabilité permettent d'épouser toutes les formes requises avec une qualité de finition irréprochable.

b) Rapidité d'exécution

La mise en œuvre des revêtements en béton est rapide : structure monocouche, cadence élevée quelle que soit l'épaisseur à réaliser, vitesse d'exécution adaptable à l'importance du chantier du fait des nombreuses méthodes d'application.

c) Remise en circulation

La remise en service peut être autorisée dans des délais courts : 1 jour pour les véhicules légers, 3 à 7 jours pour les véhicules lourds.



2.5. L'entretien courant (nettoyage)

Dès la construction, on peut protéger la surface du béton par un produit « anti-salisures » qui empêche les incrustations et facilite le nettoyage. Pour le béton drainant, le nettoyage et l'entretien assurent un fonctionnement durable du revêtement,

2.6. Le confort acoustique

Procuré par le béton drainant ou le béton désactivé avec granulats de faible dimension (8 ou 10 mm maximum).

2.7. L'exploitation (accès aux réseaux enterrés)

Pour les travaux neufs, tout se joue au moment de la conception: il convient de préparer soigneusement le projet, prévoir des fourreaux en attente sous la voirie ou éventuellement dans le béton et/ou des bandes de pavés au droit de tout ou partie du réseau.

Pour les réparations, celles-ci sont aisées et durables grâce aux scies et trancheuses permettant d'ouvrir des tranchées nettes et de reconstituer une chaussée de qualité.

2.8. L'économie

Le revêtement en béton est très compétitif par rapport aux autres matériaux urbains, sur le plan :

- investissement

son coût (fourniture + mise en œuvre) se situe dans la fourchette 30 à 60 € HT/m²

(valeur 2008) en fonction de la nature, de l'importance et de la géométrie de l'aménagement, de la coloration et du traitement de surface recherché.



- **entretien**

son coût est quasi nul (voir « Atouts économiques », pages 84 et 85).

C'est un élément important qui entre en compte dans la décision des Maîtres d'ouvrage.

- **suppression de la double voirie**

dans les voiries de lotissements neufs, seul le béton n'oblige pas à refaire la voirie après le passage des engins de chantier.

- **économie d'éclairage public**

à éclairage équivalent, le revêtement en béton, de par sa clarté, réduit la consommation d'énergie de l'éclairage public de l'ordre de 50 %.

1. Introduction

Depuis une trentaine d'années, devant la place grandissante prise par les véhicules automobiles dans les villes, le problème de l'aménagement d'espaces réservés aux piétons s'est posé. Il s'en est suivi la création de voies et d'espaces piétons dans les grandes villes et notamment dans les villes nouvelles.

L'objectif est d'améliorer la sécurité des usagers, les conditions de circulation et le cadre de vie.

Cette nouvelle orientation a nécessité un réaménagement géométrique de l'espace urbain assorti d'une palette d'exigences en matière de sécurité, d'esthétique, d'intégration à l'environnement, de confort et de durabilité.

La technique béton de ciment a pleinement accompagné ces évolutions. Longtemps utilisé dans la partie structurale des aménagements urbains, enfoui sous d'autres matériaux, le béton présente aujourd'hui d'autres possibilités d'application comme matériau de surface caractérisé par un choix varié de couleurs, de formes et de textures.



2. Définition

Une zone piétonne est un endroit où les piétons peuvent en toute sécurité se promener, flâner, se reposer, regarder les vitrines des magasins, se rencontrer, bavarder, aller au marché, observer, jouer, se rendre à l'école ou au travail, assister à un spectacle de rue, etc.

3. Domaines concernés

Bien que cette fiche concerne essentiellement des aménagements piétonniers, il ne faut pas perdre de vue que, dans leur conception, ceux-ci sont souvent appelés à supporter un certain trafic lié aux véhicules de service ou d'urgence (pompiers, ambulances, etc.). En outre, de nombreux espaces ont une double vocation, piétonne, et circulation de véhicules : voiries de lotissements, allées et places en centre-ville, marché, parkings, etc. Il est nécessaire de distinguer deux catégories d'aménagements piétonniers.

3.1. Aménagements sans contraintes de trafic

Ce sont :

- **Les cheminements piétons hors voiries**, tels qu'arcades, cours intérieures, galeries marchandes, jardins, squares, aires de jeux, cheminements sur berges, places, parvis, trottoirs, etc.
- **Les pistes cyclables** non accessibles à la circulation automobile.
- **Les accès privés** (maisons individuelles).



3.2. Aménagements circulés

Ce sont :

- **Les rues piétonnes**, où toute circulation est interdite sauf pour assurer les livraisons et les services municipaux ou de secours indispensables.

- **Les rues libres, à priorité piétonne**, où tout le monde a le droit d'aller : piétons, cyclistes, automobilistes, etc. Chacun doit y trouver sa place, mais aucun ne doit y prendre le pas sur l'autre. Ce sont, en quelque sorte, des rues piétonnes dans lesquelles les automobilistes ont le droit de pénétrer à vitesse limitée.



4. Dimensionnement

4.1. Choix de la classe de trafic

Nous retenons, pour les aménagements piétonniers, trois classes de trafic désignées par t_7 , t_6 , t_5 et définies dans le tableau 19.

Tableau 19: Classes de trafic pour les aménagements piétonniers

| Classe de trafic Trafic à la mise en service | Aménagements sans contraintes de trafic t_7 | Aménagements circulés | |
|---|--|-----------------------|--------------|
| | | t_6 | t_5 |
| Exprimé en poids lourds (de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes) | 0-2 P.L./j | 3-10 P.L./j | 11-25 P.L./j |
| Exprimé en nombre total de véhicules (tous véhicules) | 0-40 VH/j | 41-150 VH/j | 151-750 VH/j |

4.2. Définition de la classe de résistance du béton

Le tableau 20 donne les caractéristiques mécaniques requises d'un béton de classe BC5, conformément aux normes NF P 98-170 et NF EN 206/CN.

| <i>Tableau 20: Caractéristiques mécaniques exigées d'un béton pour les aménagements piétonniers</i> | |
|---|------------------------------|
| Caractéristiques mécaniques | Béton de ciment (classe BC5) |
| Résistance à la compression à 28 jours (NF EN 206/CN) | C35/45 |
| Résistance à la traction par fendage (essai brésilien) | 2,7 MPa |

4.3. Détermination de l'épaisseur

Hypothèses de calcul :

- période de service : 20 ans ;
- taux de croissance annuel du trafic : 0 % ;
- béton : classe BC 5.

Le tableau 21 constitue une fiche de structures-types pour les aménagements piétonniers en béton.

| <i>Tableau 21 : Dimensionnement des aménagements piétonniers en béton</i> | | | |
|---|---|-----------------------|-------|
| Trafic à la mise en service \ Classe de trafic | Aménagements sans contraintes de trafic t_7 | Aménagements circulés | |
| | | t_6 | t_5 |
| PF1 | 22 cm | 23 cm | 24 cm |
| PF2 | 20 cm | 21 cm | 22 cm |
| PF2qs | 18 cm | 19 cm | 20 cm |
| PF3 | 16 cm | 17 cm | 18 cm |

1. Avantages spécifiques du béton

1.1. La résistance aux sollicitations

L'agressivité spécifique du trafic bus (trafic important, charges et canalisation des charges) conduit à rechercher des revêtements présentant une résistance élevée à l'orniérage. De plus, au droit des arrêts des bus, les efforts de cisaillement importants dus aux accélérations et aux décélérations répétées toujours sur les mêmes zones, associés aux charges statiques dues aux stationnements répétés des bus aux mêmes emplacements, nécessitent de la part du revêtement une résistance accrue au poinçonnement, au cisaillement et aux attaques d'hydrocarbures.



Le béton s'avère parfaitement adapté pour résister à ces agressions.

1.2. Les qualités en matière de caractéristiques superficielles

En matière d'adhérence, le béton offre un choix varié de textures de surface (béton brossé, lavé, strié, désactivé, bouchardé, imprimé, etc.) assurant une adhérence élevée. En outre, la possibilité de régler l'intensité des traitements de surface d'un revêtement en béton permet de répondre aux besoins spécifiques d'un aménagement urbain : conciliation des exigences de sécurité, de confort et d'entretien (facilité de nettoyage).

Le revêtement doit présenter un uni longitudinal et un uni transversal convenables. Cela est nettement plus difficile à obtenir en ville qu'en rase campagne car de nombreux événements ponctuent et perturbent les profils : carrefours, raccordements, regards, bouches à clés, tranchées, etc. Le revêtement doit aussi présenter des

caractéristiques d'adhérence adaptées à la vitesse des véhicules. Certes les vitesses de circulation des bus sont généralement peu élevées mais le besoin en adhérence demeure important compte tenu ; d'une part, de la masse du véhicule et, d'autre part, de la fréquence élevée des zones de freinage et de décélération (carrefours, passages piétons, etc.).

Le revêtement en béton apporte des réponses adéquates à l'ensemble de ces exigences.

2. Le dimensionnement

2.1. Détermination du trafic cumulé

Le trafic cumulé NE, exprimé en nombre cumulé d'essieux standards de 13 tonnes, est déterminé par l'expression.

$$NE = T \cdot C \cdot (CAM) \cdot B$$

où :

NE : représente le trafic cumulé exprimé en essieux standards ;

T : caractérise le trafic cumulé de l'année de mise en service, exprimé en nombre de véhicules de transport en commun ;

C : est le facteur de cumul qui tient compte de la période de service choisie et du taux annuel de croissance du trafic ;

CAM : est le Coefficient d'Agressivité Moyen du trafic bus qui permet de convertir un véhicule donné en essieu standard ;

B : est le facteur d'agressivité lié à la canalisation des charges.

Dans le cas où les voies réservées aux transports en commun sont empruntées par différentes catégories de véhicules caractérisés par des agressivités différentes, le trafic cumulé N est alors déterminé, pour plusieurs silhouettes, par :

$$N = \sum_i T_i C_i (CAM)_i B$$

a) Détermination de T

À partir de l'indication du trafic journalier t communiqué par le service exploitant, en distinguant le cas échéant chaque catégorie de bus, on déterminera la valeur T du trafic cumulé pour l'année de mise en service en utilisant l'expression suivante :
 $T = 365 t$ (pour chaque catégorie de bus)

b) Détermination de C (voir tableaux 10 et 11 page 65)

c) Détermination de CAM

L'examen du parc des véhicules de transport en commun, utilisés en France a permis de distinguer plusieurs familles de véhicules se distinguant par leurs charges et leurs types d'essieux.

Chaque famille ou silhouette présente un coefficient d'agressivité propre vis-à-vis du revêtement en béton, exprimé en nombre équivalent d'essieux standards de 13 tonnes.

Le tableau 22 présente pour chaque famille de véhicules ou silhouette le coefficient d'agressivité propre CAM.

| Tableau 22 : Coefficients d'agressivité moyen CAM des différentes familles de bus (d'après CERTU). | |
|---|------------|
| Famille de bus | CAM |
| Bus standards | 0,5 |
| Bus articulés | 1 |
| Tramway sur pneus, trolleybus, etc. | 1 |

Nota

Sur une voie empruntée par différentes familles de bus, le coefficient d'agressivité moyen CAM peut être calculé en prenant en compte la distribution prévisible des silhouettes et des poids des bus (CAM se situera entre 0,50 et 1). A défaut d'un calcul réel, le projecteur pourra retenir un CAM égal à 1.

d) Détermination de B

Pour tenir compte de l'agressivité due à la canalisation des charges qui est particulière aux voies réservées aux transports en commun, on introduit un coefficient pondérateur B qui est lié à la largeur utile de la voie.

Ce coefficient est donné dans le tableau 23.

| Largeur de la voie « L » | Voie en section courante | Zones d'arrêt |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| $L > 3,50 \text{ m}$ | 1 | 2 |
| $3 < L \leq 3,50 \text{ m}$ | 1,3 | 2 |
| $L \leq 3 \text{ m}$ | 1,6 | 2 |

2.2. Définition de la classe de résistance du béton

Le tableau 24 donne les caractéristiques mécaniques requises des bétons de classes 3 et 5, conformément aux normes NF P 98-170 et NF EN 206/CN.

| Caractéristiques mécaniques | Béton de ciment pour couche de roulement | Béton maigre pour couche de fondation |
|--|--|---------------------------------------|
| Résistance à la compression à 28 jours (NF EN 206/CN) | C35/45 | C20/25 |
| Résistance à la traction par fendage (essai brésilien) | 2,7 MPa | 1,7 MPa |

2.3. Détermination de l'épaisseur

Le dimensionnement du revêtement en béton est effectué :

- soit en lisant sur l'abaque (figure 33) l'épaisseur de la couche de roulement en béton en fonction du trafic cumulé NE, exprimé en essieux standards de 13 tonnes, de la portance de la plate-forme (PF_1 , PF_2 , PF_{2qs} et PF_3) et en fonction de la structure envisagée pour la chaussée (structure sans fondation, structure avec fondation en béton maigre, structure avec fondation en grave bitume) ;
- soit en se reportant aux tableaux 16, 17 et 18 (pages 73 et 74).

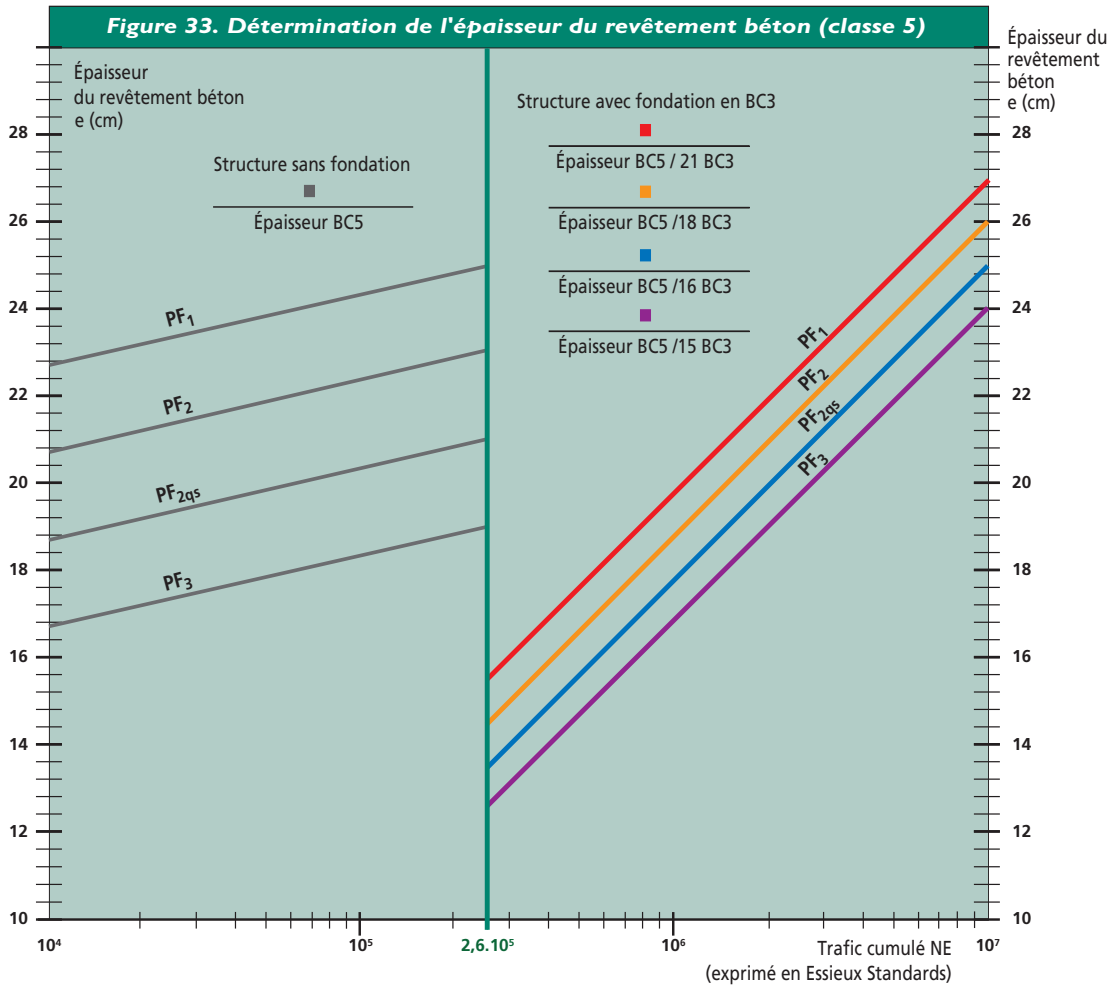


Fig. 33: Détermination des épaisseurs pour une chaussée réservée aux transports en commun

Dans le cas où le trafic cumulé estimé dépasse $2,5 \cdot 10^6$ essieux standards, il est conseillé de goujonner les dalles béton du revêtement dans le but d'améliorer le comportement à long terme de la structure. L'utilisation des goujons, au droit des joints transversaux de retrait flexion, autorise au niveau de la couche de roulement, les réductions d'épaisseur suivantes.

- structure goujonnée sans fondation, posée sur couche drainante ou géotextile :
- 3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 33, toutes conditions égales par ailleurs.
- structure goujonnée avec fondation en béton maigre : -3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 33, toutes conditions égales par ailleurs.

Nota

Pour une couche de roulement réalisée avec un béton de classe 4, il convient d'ajouter une surépaisseur de 2 cm aux valeurs obtenues sur l'abaque de la figure 33.

1. Introduction

Dans certains pays, en particulier les Pays-Bas et l'Allemagne, la circulation à bicyclette est une tradition culturelle et les pistes cyclables y existent déjà depuis longtemps.

Ce moyen de transport se développe aujourd'hui sensiblement dans d'autres pays, telle la France, bien qu'avec un certain retard. On redécouvre les vertus de la « petite reine ».

C'est un moyen de transport économique, non bruyant, propre. C'est aussi un mode de déplacement qui maintient en forme, qui est agréable à utiliser et non dangereux pour les autres.

Mais, dans la rue ou sur la route telle qu'elle est aménagée traditionnellement, pédaler relève de l'exploit et constitue souvent un mode de déplacement dangereux et désagréable pour les cyclistes.

Il est donc impératif d'améliorer leur sécurité et leurs conditions de circulation par un réaménagement de l'espace urbain, où les vélos auront leur place.

Une telle politique est maintenant de plus en plus appliquée en Belgique, au Luxembourg, en Suisse et en France, après être devenue la règle ou presque aux Pays-Bas et en Allemagne.

La technique béton a pleinement accompagné ces évolutions. Technique résistante et durable pour les chaussées aéronautiques et les chaussées routières à fort trafic, telle était sa réputation d'origine ; elle s'est maintenant considérablement élargie à la très grande diversité des typologies et des fonctions des voiries, et en particulier aux pistes cyclables, où sont mis en valeur ses avantages techniques, esthétiques et économiques.



2. Domaines d'application

Il existe principalement deux catégories de pistes cyclables :

a) **les pistes cyclables en site propre** longeant une route ou une voie existante. Leur fonction est d'assurer la sécurité des usagers entre l'habitation et l'école ou le lieu de travail.

Elles sont séparées de la chaussée par une berme revêtue ou non, qui est parfois agrémentée de plantations ;



b) **les pistes cyclables** dont le tracé est totalement indépendant de toute route ou voirie existante, destinées à la **pratique du cyclisme de loisirs**. Il s'agit de créer des itinéraires spécifiques, éloignés des routes et permettant la découverte de régions et de sites touristiques.

La création de ces pistes peut très souvent se limiter à l'aménagement de sentiers existants. L'assiette des anciens chemins aménagés le long des voies d'eau de même que celle des voies de chemin de fer abandonnées constituent ainsi des sites privilégiés.

3. Atouts du béton

Un intérêt croissant pour les structures en béton se développe, en France, pour la construction des pistes cyclables. Cet essor est dû à plusieurs raisons :

- **techniques :**

le revêtement en béton présente les avantages techniques suivants :

- polyvalence : fonction circulation et fonction esthétique,
- solidité et résistance à l'érosion,
- sécurité ;

- **économiques :**

les avantages économiques sont :

- durabilité,
- coût d'entretien réduit.

Le développement de cette technique depuis plusieurs années est un des signes concrets qui traduit bien cette prise de conscience vers une politique d'aménagement à long terme, autant qualitative que quantitative.

4. La conception

4.1. Les caractéristiques géométriques

Elles sont définies en fonction de la catégorie de la piste cyclable (en bordure d'une route existante ou en site propre) et du trafic moyen de vélos prévu par jour.

a) Profils en travers-types

Pour les pistes cyclables longeant des routes existantes à fort trafic, la solution la plus sûre est de prévoir une piste à sens unique de chaque côté de la chaussée. En effet, les pistes à double sens de circulation posent, dans ce cas, des problèmes de sécurité au niveau des carrefours.

Ces pistes doivent être séparées de la chaussée par une berme revêtue ou non, qui est parfois agrémentée de plantations. La largeur de cette berme de sécurité doit être d'au moins 1 m sur les routes à fort trafic. Le long des voiries secondaires, elle peut être ramenée à une bande de sécurité de 0,50 m. Pour garantir la sécurité des cyclistes, un dévers de 1 à 2 % doit être prévu pour assurer l'évacuation des eaux de ruissellement (voir coupes en travers-types, figures 34 et 35).

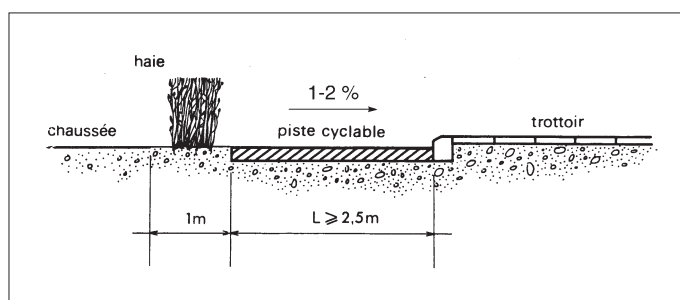


Fig. 34: Coupe en travers-type d'une piste cyclable bidirectionnelle en zone urbaine

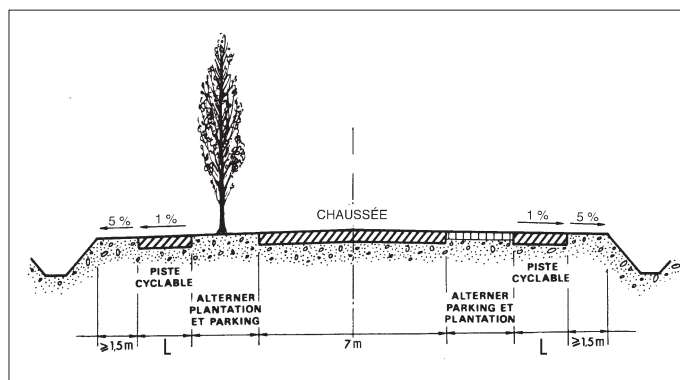


Fig. 35: Coupe en travers-type d'une piste cyclable unidirectionnelle aménagée de part et d'autre d'une route à fort trafic

Pour les pistes cyclables destinées à la pratique du cyclisme de loisirs (conçues indépendamment de tout itinéraire routier), une bande unique à double sens de circulation convient parfaitement (voir coupe en travers-type, figure 36).

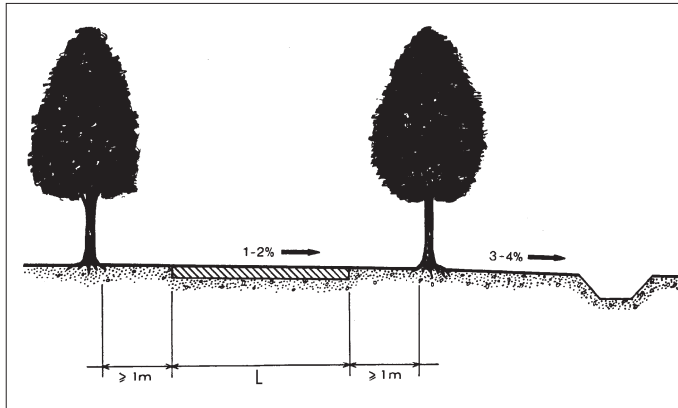


Fig. 36: Coupe en travers-type d'une piste cyclable bidirectionnelle destinée à la pratique du cyclisme de loisirs

b) La largeur

Elle est déterminée en fonction de la conception adoptée (piste à sens unique ou à double sens de circulation) et en fonction du trafic de vélos prévisible. Le tableau 25 permet la détermination de la largeur des pistes cyclables.

| Tableau 25: Détermination de la largeur des pistes cyclables | | |
|---|---|---|
| Largeur des pistes cyclables: L | | |
| Trafic estimé: nombre moyen journalier de vélos | Piste à sens unique de circulation | Piste à double sens de circulation |
| ≤ 500 | 1,50 m | 2,50 m |
| de 500 à 1000 | 2,00 m | 3,00 m |
| de 1000 à 2000 | 2,50 m | 3,50 m |
| > 2000 | 3,00 m | 4,00 m |

5. Le dimensionnement

Pour une piste cyclable en béton construite en site propre, il n'y a pas en principe de trafic poids lourds ni véhicules légers (les vélos ne comptent pas) et son dimensionnement ne dépendra que de la qualité de la plate-forme support et des caractéristiques mécaniques du béton utilisé.

Mais il ne faut pas perdre de vue que, dans sa conception, une piste cyclable peut être appelée à supporter occasionnellement le passage des véhicules de service ou d'intervention et, en certains points particuliers (croisements avec des voies d'accès à des habitations, à des usines, etc.), un trafic d'accès permanent. Le dimensionnement d'une piste cyclable doit donc tenir compte de ces particularités.

5.1. Choix de la classe de trafic

Nous distinguons deux domaines :

- **en section courante**, une piste cyclable ne devrait en principe subir que le passage des vélos et occasionnellement le trafic des véhicules de service. Nous retenons ici une classe de trafic T_7 , telle qu'elle est définie dans le tableau 26 ;
- **en situation de croisement avec des voies d'accès**, une piste cyclable est amenée à subir un trafic permanent dont l'intensité peut varier en fonction de la zone desservie. En ces points particuliers, la piste cyclable sera dimensionnée comme une structure routière. Nous retenons ici deux classes de trafic, t_6 et t_5 , telles qu'elles sont définies dans le tableau 26.

Tableau 26: Classes de trafic pour pistes cyclables

| Classe de trafic Trafic à la mise en service | Pistes cyclables en section courante t_7 | Pistes cyclables en situation de croisement avec des voies d'accès | |
|--|---|--|--------------|
| | | t_6 | t_5 |
| Exprimé en poids lourds (de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes) | 0-2 P.L./j | 3-10 P.L./j | 11-25 P.L./j |
| Exprimé en nombre total de véhicules (tous véhicules) | 0-40 VH/j | 41-150 VH/j | 151-750 VH/j |

5.2. Définition de la classe de résistance du béton

Le tableau 27 donne les caractéristiques mécaniques requises d'un béton de classe BC5, conformément aux normes NF P 98-170 et NF EN 206/CN.

| <i>Tableau 27: Caractéristiques mécaniques du béton</i> | |
|---|-----------------------------------|
| Caractéristiques mécaniques | Béton de ciment (classe 5) |
| Résistance à la compression à 28 jours (NF EN 206/CN) | C 35/45 |
| Résistance à la traction par fendage (essai brésilien) | 2,7 MPa |

5.3. Détermination de l'épaisseur

Hypothèses de calcul :

- période de service : 20 ans ;
- taux de croissance annuel du trafic : 0 % ;
- béton classe BC5.

Le tableau 28 constitue une fiche de structures-types pour les pistes cyclables en béton.

| <i>Tableau 28 : Dimensionnement des pistes cyclables en béton</i> | | | | |
|---|-------------------------|--|---|-------|
| Portance du support | Classe de trafic | Pistes cyclables en section courante t_7 | Pistes cyclables en situation de croisement avec des voies d'accès | |
| | | | t_6 | t_5 |
| | PF1 | 22 cm | 23 cm | 24 cm |
| | PF2 | 20 cm | 21 cm | 22 cm |
| | PF2qs | 18 cm | 19 cm | 20 cm |
| | PF3 | 16 cm | 17 cm | 18 cm |

Nota

Pour une couche de roulement réalisée avec un béton de classe BC4, il convient d'ajouter 2 cm aux valeurs figurant dans le tableau 28.

1. Introduction

Le développement des exploitations agricoles, viticoles et forestières est intimement lié à l'aménagement de l'espace rural et, en particulier, à l'infrastructure routière mise à sa disposition.

La voirie rurale est destinée à permettre l'accès aux exploitations et aux différentes parcelles cultivables. Ces routes appartiennent soit au domaine privé des Communes, soit à des associations foncières, soit à l'Office National des Forêts (pour les voiries forestières).

La croissance continue de la dimension des exploitations a induit un trafic caractérisé par le passage de charges de plus en plus élevées, concentré en arrière-saison alors que les conditions climatiques sont les plus défavorables : sols gorgés d'eau, perte localisée de la portance du support, etc. Il en découle généralement une dégradation de ces chemins dont la remise en état constitue un effort financier considérable pour les Collectivités Locales.



Une autre spécificité de ces routes est qu'elles sont rarement destinées à l'usage public, le croisement d'engins y est occasionnel. Leur largeur utile est faible et limitée à 3 mètres. Mais l'emprise réelle est plus grande : il est prévu, en effet, la réalisation de fossés de part et d'autre de la voirie assurant le ruissellement de l'eau. Ces routes couvrent ainsi une surface importante de terrain ; ce qui constitue, dans certains cas, un handicap économique certain.

De cette analyse, il apparaît clairement que la conception d'une voirie rurale doit répondre en priorité à des impératifs d'ordre économique et fonctionnel.

En effet :

- le revêtement de la voirie rurale doit être **rigide**, capable de répartir des charges uniformément sur le sol support quelle que soit la variation de sa portance ;
- le revêtement de la voirie rurale doit être apte à **prendre des formes ou profils** susceptibles de canaliser les eaux de ruissellement.

Le béton de ciment est un matériau qui répond parfaitement à ces deux critères.

Avec la solution béton, les fossés ne sont plus nécessaires, ce qui permet de supprimer tous les passages busés servant d'accès aux parcelles. La limite des champs est ainsi ramenée au ras de la chaussée, augmentant d'une façon appréciable la surface cultivable.

2. Les voiries agricoles

2.1. Définition

La route agricole est destinée à permettre l'accès aux exploitations agricoles et aux différentes parcelles cultivables. Le trafic qui y circule, est essentiellement local et évolue peu au fil des années. La classe de trafic est généralement, t_5 (inférieur à 25 poids lourds par jour de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes).

2.2. Domaines d'utilisation

Citons :

- les routes appartenant au domaine privé des communes,
- les chemins d'exploitation créés à l'occasion de remembrement et appartenant aux associations foncières.
- les voies de desserte appartenant soit à une association syndicale de propriétaires, soit aux propriétaires de 2 parcelles adjacentes.



2.3. Les atouts spécifiques du béton

En plus des arguments généraux en faveur de la voirie à faible trafic en béton (voir chapitre 7), le revêtement en béton offre des avantages technico-économiques, spécifiques adaptés à la route agricole :

- **La récupération des eaux de ruissellement par le profil de la voie**

Grâce à sa solidité, le revêtement béton est utilisé pour faire circuler l'eau de ruissellement. Un profil en travers adapté la canaliserait soit en son milieu, soit vers l'un ou l'autre de ses côtés. L'eau sera ensuite évacuée de façon classique à travers des avaloirs judicieusement placés.



- **La suppression des fossés, des accotements, des buses**

L'emprise de la route se limitant à la largeur de la chaussée, la surface cultivable s'en trouvera augmentée et les manœuvres d'engins facilitées.

3. Les voiries viticoles

3.1. Définition

La route viticole est destinée à permettre l'accès aux exploitations viticoles et aux différentes parcelles de vignes. Le trafic qui y circule est essentiellement local et évolue peu au fil des années. La classe de trafic est généralement t_5 (inférieur à 25 poids lourds par jour de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes).



3.2. Domaines d'utilisation

Citons :

- les routes appartenant au domaine privé des communes,
- les chemins d'exploitation créés à l'occasion de remembrement et appartenant aux associations foncières,

- les voies de desserte appartenant soit à une association syndicale de propriétaires, soit aux propriétaires de 2 parcelles adjacentes.

3.3. Les atouts spécifiques du béton

La culture de la vigne se développe, en général, sur des coteaux. Pour y accéder, il faut emprunter des chemins difficiles ayant une **pente relativement forte** pouvant atteindre 20 %. La plupart des chemins viticoles sont restés non revêtus.

En période de beau temps, l'accès aux vignobles reste possible mais **en cas d'orage**, les matériaux constituant ces chemins sont emportés en **torrents de boue**. La circulation et les manœuvres des tracteurs créent des **ornières** et le chemin devient vite **impraticable**. Chaque année, le maître d'ouvrage doit engager des dépenses pour reprofiler la surface de ces chemins.



Remédier à ce problème délicat, c'est trouver un **revêtement** capable de **résister à l'érosion** en période de pluie, **à la chaleur** en période très chaude, et offrant **une bonne adhérence** dans les fortes pentes.

Le revêtement en béton apporte des solutions adéquates aux problèmes spécifiques de la voirie viticole :

- **La technique d'exécution de la voirie en béton est simple**, se contente de l'usage d'une règle vibrante et d'un coffrage. Alors que les machines habituellement utilisées n'ont guère accès à des endroits où les pentes peuvent atteindre 20 %.



- **La voirie en béton réduit l'érosion des terres** en canalisant les orages par son profil et **évite les inondations des parties basses** avec des bassins de rétention d'eau judicieusement placés.

- **Les voiries viticoles en béton résistent bien aux manœuvres des engins agricoles** dans les fortes pentes car le béton ne flue pas sous l'effet de la chaleur.

- Un traitement de surface adéquat confère au béton des **qualités d'adhérence** indispensables pour la circulation dans les **fortes pentes**.
- **L'emprise de la route se limite à la largeur de la chaussée**, grâce à la **suppression des fossés, des accotements, des buses**. La surface cultivable s'en trouve augmentée et les manœuvres d'engins sont facilitées.

4. Les voiries forestières

4.1. Définition

La plupart des routes forestières sont destinées à permettre l'accès aux exploitations forestières et aux différentes parcelles boisées. D'autres assurent le rôle de desserte touristique ou de lutte contre l'incendie.

Ces routes sont soumises à un trafic local limité, généralement de classe t_5 (inférieur à 25 poids lourds par jour de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes).



4.2 Domaines d'utilisation

Citons :

- les routes appartenant au domaine privé des communes,
- les routes des forêts domaniales qui sont financées et gérées par l'Office National des Forêts (O.N.F.).

4.3. Les atouts spécifiques du béton

La croissance de la dimension des exploitations forestières a induit un trafic caractérisé par le passage de charges de plus en plus élevées (charges à l'essieu de 13 tonnes et plus), en toutes saisons, quelles que soient les conditions climatiques : gel, fortes chaleurs, pluie, etc.

La route forestière doit résister à toutes ces contraintes climatiques et assurer la permanence de service. Elle doit, en outre résister aux feux de forêts et constituer un coupe-feu durable.

Le revêtement en béton apporte des solutions adéquates aux problèmes spécifiques de la route forestière :

- **Il résiste à toutes les conditions climatiques.** En période de chaleur, il ne se déforme pas (ni orniérage, ni fluage). En période de froid, il résiste au gel et aux sels de déverglaçage. Enfin, en période de pluie ou d'inondation, il garde sa solidité et sa cohésion (pas de nids de poule).
- **Il résiste à l'agression des charges lourdes** (débardage de grumes) **et aux manœuvres d'engins lourds** (engins à chenilles). Il est solide, rigide en surface comme aux bords et résiste ainsi à l'arrachement et à l'usure.
- **Il résiste à la chaleur et aux feux de forêts** ce qui représente deux avantages spécifiques :
 - il assure aux pompiers la permanence de service et d'accès,
 - il empêche la propagation de l'incendie sur le sol et constitue ainsi un coupe-feu durable.
- **Il permet de réaliser des économies au stade de la construction :**
 - minoration des terrassements : structure moins épaisse,
 - gain sur les travaux d'assainissement : suppression des fossés, des accotements, des buses. La récupération des eaux de ruissellement se fait par le profil de la route (écoulement latéral ou central).



5. Conception

Une voirie rurale doit être conçue en fonction de la spécificité du matériau béton. En effet, par sa forte résistance aux diverses sollicitations extérieures, en particulier à l'érosion, il permet une grande variété de profils (en travers et en long), car c'est la chaussée elle-même qui peut être utilisée pour assurer le ruissellement des eaux (profil à écoulement central ou latéral). L'eau sera ensuite évacuée de façon classique à travers des avaloirs judicieusement placés.

Le béton permet donc la réduction des emprises et un gain sur le foncier. (Fig. 37)

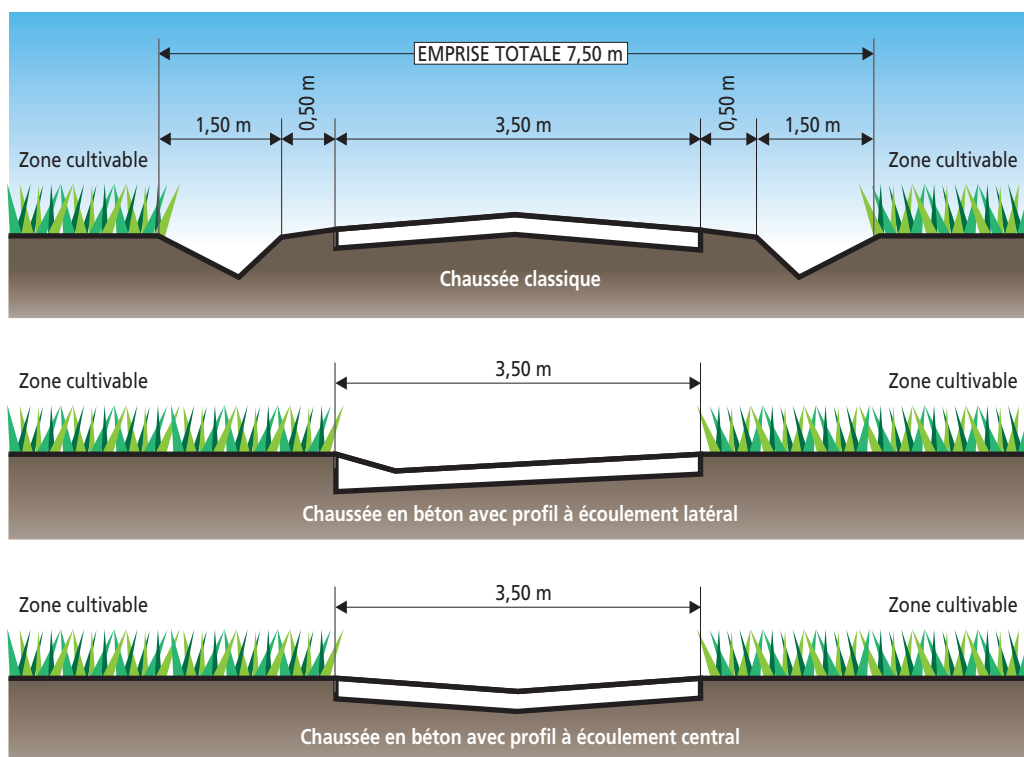


Fig. 37 : Profils en travers types d'une chaussée classique et d'une chaussée en béton

6. Dimensionnement

6.1. Choix de la classe de trafic

La classe de trafic est désignée à partir du trafic moyen journalier annuel « TMJA », estimé à la mise en service et exprimé en poids lourds de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes (*voir chapitre 5 - Dimensionnement*).

Le tableau 29 donne les différentes classes de trafic pour les voiries rurales.

| Classes de trafic | Trafic à la mise en service (exprimé en poids lourds de Poids Total Autorisé en Charge PTAC supérieur à 3,5 tonnes par jour et par sens) |
|-------------------|---|
| t ₆ | 0 à 10 |
| t ₅ | 11 à 25 |
| t ₄ | 26 à 50 |

6.2. Définition de la classe de résistance du béton

Le tableau 30 donne les caractéristiques mécaniques requises d'un béton de classe BC5, conformément aux normes NF P 98-170 et NF EN 206/CN.

| Caractéristiques mécaniques | Béton de ciment (classe 5) |
|---|----------------------------|
| Résistance à la compression à 28 jours | C35/45 |
| Résistance à la traction par fendage (essai brésilien) | 2,7 MPa |

6.3. Détermination de l'épaisseur

Hypothèses de calcul :

- période de service : 20 ans ;
- taux de croissance du trafic : 2 % par an ;
- béton de roulement : classe BC5 ;
- béton de fondation : BC3.

Le tableau 31 constitue une fiche de structures-types pour les voiries rurales en béton.

| Tableau 31 : Dimensionnement des routes rurales en béton | | | |
|---|--------------------------|----------------------|----------------------|
| Plate-forme support | Classes de trafic | | |
| | t₆ | t₅ | t₄ |
| PF₁ | 23 BC5 | 24 BC5 | 26 BC5 |
| PF₂ | 21 BC5 | 22 BC5 | 23 BC5 |
| PF_{2qs} | 19 BC5 | 20 BC5 | 21 BC5 |
| PF₃ | 17 BC5 | 18 BC5 | 19 BC5 |

Nota

Pour une couche de roulement réalisée avec un béton de classe BC4, il convient d'ajouter 2 cm aux valeurs figurant dans le tableau 31.

Bibliographie

1. *Voiries et aménagements urbains en béton - Tome 2 : Mise en œuvre*, CIMBETON, Réf. T 51.
2. *Voiries et aménagements urbains en béton - Tome 3 : CCTP-type ; bordereau de prix unitaires BPU ; Détail estimatif DE*, CIMBETON, Réf. T 52.
3. *Espaces urbains en béton désactivé - Conception et réalisation* CIMBETON, Réf. T 53, LCPC, IVF, CERTU, CIMBETON.
4. *Revue Routes et Documentation technique Routes*, édition trimestrielle, CIMBETON.
5. *Conception des chaussées à faible trafic*, IDRRIM, 2019.
6. *Conception et dimensionnement des structures de chaussées*, guide technique SETRA, LCPC, 1994.
7. *Voiries à faible trafic - Éléments pour la conception et l'entretien*, SETRA, 1985.
8. *Catalogue des structures-types de chaussées neuves*, SETRA, LCPC, 1998.
9. *Chaussées en béton*, guide technique LCPC, SETRA, 1997.
10. *Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR)*, guide technique SETRA, LCPC, 2000.
11. *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme (GTS)*, guide technique SETRA, LCPC, 2000.
12. *La route en béton de ciment*, AIPCR, 1987.
13. « Le ciment et la chaux dans les routes », *Revue Générale des Routes et Aérodrômes* 1981.
14. « Exécution des chaussées en béton de ciment », *Bulletin officiel*, fascicule 28, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme.
15. Norme NF P 98-170 : Chaussées en béton de ciment - exécution et contrôle.
16. Norme NF EN 206/CN : Béton – Partie 1 : spécifications, performances, production et conformité et son annexe nationale.
17. Norme NF EN 12620 : Granulats pour béton.
18. Norme NF P 18-545 : Granulats, éléments de définition, conformité et codification.

IMPRIMÉ EN FRANCE