

Dimensionnement des structures des chaussées urbaines

MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION D'UN CATALOGUE ADAPTÉ AU CONTEXTE LOCAL



Dimensionnement des structures des chaussées urbaines

MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION D'UN CATALOGUE ADAPTÉ AU CONTEXTE LOCAL

avril 2000

Ministère de l'Équipement,
des Transports et du Logement



Centre d'études sur les réseaux, les transports,
l'urbanisme et les constructions publiques



Collection Références

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné assez vaste, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel courant doit savoir. Le Certu s'engage sur le contenu.

Le Certu publie aussi les collections: débats, dossiers, rapports d'étude, enquêtes et analyses.
Catalogue des publications disponible sur <http://www.certu.fr>.

Ce document a été réalisé par un groupe de travail composé de:

Jean Maurice BALAY du LCPC,

Pierre BERGA du laboratoire de Bordeaux,

François BONVALOT du CERTU,

Gérard BONNET du CERTU,

Jean Pierre CHRISTORY du LROP,

Jean Claude DELEURENCE du laboratoire de Lille*,

Armand GAVALDA de la DESGI du CETE Normandie Centre,

Jean François GRISELIN du laboratoire d'Angers,

Jacques MARIBAS du laboratoire d'Autun,

Michel MASSIP du LROP,

Nelly PRIOLET du laboratoire de Lille.

* décédé en novembre 1996

Sommaire

- Introduction

CHAPITRE 1

- Généralités - Matériaux

CHAPITRE 2

- Dimensionnement

CHAPITRE 3

- Réhabilitation

- Annexes

- Légende des sigles

- Bibliographie

- Table des matières

Introduction

Une enquête effectuée par le LCPC, en 1993, auprès d'une dizaine de villes ou communautés urbaines (rapport Bourges de novembre 1993) fait ressortir le besoin d'un document de conception et de dimensionnement mieux adapté au contexte urbain que ne le sont le catalogue des structures LCPC-SETRA de 1977 et le manuel des chaussées neuves à faible trafic de 1981.

Il est certain que ces documents conçus pour le trafic interurbain font prendre en compte une agressivité du trafic et des coefficients qui entraînent un surdimensionnement des structures urbaines donc un surcoût.

Le CERTU a lancé, en 1994, un programme de travail visant à l'élaboration d'un document spécifique à la voirie urbaine.

Une première partie du travail a consisté en :

- une étude de synthèse sur les documents déjà édités traitant de la conception et de la construction de voiries urbaines (annexe 1) ;
- une étude de synthèse sur les catalogues de structures déjà en service dans certaines villes et communautés (annexe 2) ;
- une enquête plus importante et plus ciblée sur le dimensionnement des structures que celle de 1993 du LCPC (annexe 3).

Les résultats de cette première partie ont d'une part fait apparaître des disparités importantes entre les documents édités ainsi qu'entre les catalogues, et d'autre part confirmé le besoin déjà exprimé d'un document spécifique au milieu urbain.

À partir des résultats de l'enquête CERTU, des premières mesures d'agressivité du trafic urbain et des réflexions des membres du groupe de travail spécialisés dans les études, le suivi et le contrôle des chantiers de voirie urbaine, des paramètres de calcul mieux adaptés au milieu urbain ont été déterminés.

Ces paramètres nous ont permis d'établir, en suivant la démarche de la méthode française de dimensionnement qualifiée de «rationnelle» et détaillée dans le **Guide technique LCPC-SETRA «Conception et Dimensionnement des structures de chaussées»**, de 1994, des abaques donnant pour les principaux matériaux et pour différentes catégories de voie et de qualité de plate-forme, les épaisseurs d'assise de chaussée en fonction du trafic, exprimé en nombre d'essieux de 130 kN, supporté pendant la durée de service souhaitée.

À partir de ces abaques, chaque projeteur devrait pouvoir établir un catalogue de structures adapté aux matériaux et aux besoins locaux.

Nous n'avons pas, dans ce document, considéré la réutilisation possible des matériaux provenant de la démolition de chaussées à réhabiliter. Ce problème important du point de vue écologique et économique devra cependant être pris en compte par le projeteur après étude de leurs caractéristiques.



1 Généralités - Matériaux

1.1 Constitution d'une chaussée

COUCHE DE ROULEMENT
COUCHE DE LIAISON
COUCHE DE BASE
COUCHE DE FONDATION
COUCHE DE FORME



COUCHE
DE SURFACE

ASSISE



Partie supérieure des terrassements (PST)

La couche de forme est facultative. Elle ne fait pas partie intégrante de la chaussée, elle dépend de la portance de la plate-forme et de l'état de la partie supérieure des terrassements. Elle peut se limiter éventuellement à une couche de réglage.

L'assise est généralement constituée d'une couche de fondation surmontée d'une couche de base. C'est cette partie de la structure que l'on déterminera dans ce document, en tenant compte de la couche de roulement choisie.

La couche de roulement est la partie supérieure de la chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions du trafic et du climat. Une couche dite de liaison est parfois intégrée entre la couche de roulement et la couche de base de l'assise, elle permet d'une part de «spécialiser» la couche de roulement au confort et à la sécurité des usagers, et d'autre part d'obtenir un support très bien réglé et imperméable pour les couches de roulement de faible épaisseur et/ou perméables.

La couche de roulement et la couche de liaison constituent alors la couche de surface.

1.2 La couche de roulement

La couche de roulement d'une chaussée est la seule couche perçue par les usagers et les riverains. Ses fonctions décrites ci-après sont multiples et de son choix pourra dépendre la nature des couches d'assise sachant que le couple «couche de roulement (ou couche de surface)/structure» devra être capable de supporter le trafic prévu.

- Fonctions traditionnelles de la couche de roulement

- assurer la protection de l'assise contre les agressions du trafic (abrasion, poinçonnement), du climat (infiltration des eaux pluviales) et des polluants accidentels;
- assurer la sécurité et le confort des usagers: adhérence, drainabilité, l'uni.

- Fonctions spécifiques de la couche de roulement en milieu urbain

- elle doit assurer le déplacement d'usagers différents: véhicules, cycles, piétons;
- elle doit résister à une circulation souvent canalisée avec des freinages fréquents: carrefours, voies et arrêts de bus, etc.;
- elle doit s'intégrer à l'environnement architectural;
- elle doit limiter les bruits de roulement des véhicules;

- elle doit être réparable techniquement et esthétiquement, en particulier en cas d'interventions sur les réseaux souterrains;
- elle doit être facilement nettoyable.

- Contraintes de construction de la couche de roulement en milieu urbain

- les emprises et les chantiers sont en général de taille réduite; le matériel traditionnel est donc peu adapté;
- la mise en œuvre est réalisée par petites surfaces;
- la présence d'émergences et de seuils qui pose des problèmes pour le respect des épaisseurs et de la qualité du compactage des matériaux.

- Types de couches de roulement à liant hydrocarboné

- Sans apport structurel :
 - les enduits superficiels;
 - les coulis et enrobés coulés à froid (ECF);
 - les bétons bitumineux très minces (BBTM) et ultra-minces (BBUM);
 - les asphaltes pour trottoirs (AC1) ou pour voies de circulation (AC2).

- Avec apport structurel plus ou moins important :
 - les bétons bitumineux semi-grenus (BBSG);
 - les bétons bitumineux à module élevé (BBME);
 - les bétons bitumineux drainants (BBDr);
 - les bétons bitumineux minces (BBM).

Les équivalences dimensionnelles entre ces matériaux sont les suivantes :

1 cm de BBSG = 2 cm de BBDr = 0,66 cm de BBME = 1 cm BBM ou BBTM

Les couches de liaison sont réalisées soit avec des BBSG (cas le plus fréquent), soit avec des BBM.

- Types de couches de roulement non bitumineuses

- les matériaux modulaires : pavés et dalles en pierre naturelle, en béton ou en terre cuite mis en œuvre sur l'assise avec interposition d'un lit de pose.

La couche de roulement constituée avec ces matériaux n'est pas prise en compte dans le calcul de la structure;

- les bétons de ciment qui constituent également la couche de base de l'assise ou l'assise elle-même.



Mise en œuvre BBM

1.3 Les matériaux pour assises

Les différents matériaux sont exposés dans le tableau ci-après.

MATÉRIAUX	AVANTAGES	OBSERVATIONS
GRAVE BITUME (GB)	Entretien facile. Pas de fissuration.	Train de mise en œuvre important : finisseur, compacteur. Demande un compactage énergétique. Températures de mise en œuvre difficiles à respecter en milieu urbain. Variations des épaisseurs des couches.
ENROBÉ À MODULE ÉLEVÉ (EME)	Beaucoup moins sensible à l'orniérage que la GB en particulier aux températures ambiantes élevées. Entretien facile. Épaisseurs plus faibles.	Train de mise en œuvre important : finisseur, compacteur. Mise en œuvre pointue. Sensible aux variations d'épaisseur. Risques de fissuration par températures ambiantes basses.
GRAVE NON TRAITÉE (GNT)	Entretien facile. Coût.	Inadaptée pour la réalisation des couches de base des voies principales et des voies de transport en commun. Utilisation uniquement en couche de fondation pour ces voies.
MATÉRIAUX TRAITÉS AUX LIANTS HYDRAULIQUES (MTLH)	Bonne couche d'assise. Pas de fluage. Différents liants utilisables : ciment, liants routiers, cendres, laitiers.	Train de mise en œuvre important : niveleuse, compacteurs. Nécessitent un compactage énergétique sensible à la teneur en eau du matériau. Délai de compactage variable selon les liants. Risque de feuillette. Reprises de mise en œuvre délicates. Réparations assez difficiles. Fissuration de retrait qui remonte dans la couche de roulement. Pré-fissuration ou procédé pour ralentir la remontée des fissures parfois nécessaires.

MATÉRIAUX	AVANTAGES	OBSERVATIONS
<p align="center">BÉTON DE CIMENT (BC5 ; BC3)</p>	<p>Accepte une plate-forme de portance moyenne.</p> <p>Pas d'engins de compactage.</p> <p>Épaisseurs plus faibles que MTLH.</p> <p>Possibilité d'adapter les performances aux contraintes exercées par le trafic à supporter.</p> <p>Plusieurs types de structure et de traitement de surface possibles.</p> <p>Solidité, pérennité.</p>	<p>Mise en œuvre assez facile mais phasage des travaux délicat.</p> <p>Joint de retrait-dilatation à entretenir.</p> <p>Raccordements avec voies d'accès.</p> <p>Délais de mise en service pénalisants.</p> <p>Protection du chantier pendant le durcissement du béton.</p> <p>Peu de solutions d'entretien. Réparations difficiles.</p> <p>Utilisé en assise (couche de base) pour revêtements modulaires et asphalte.</p> <p>Coût assez élevé.</p>



Mise en œuvre GB

1.4 Tableau : couches de roulement/assises

COUCHE DE ROULEMENT	ASSISE	AVANTAGES <i>Usages privilégiés</i>	OBSERVATIONS	TRAFIC MAXI (3)
ENDUIT SUPERFICIEL (1)	GB MTLH GNT	Macrotexture importante. Imperméabilise l'assise. Réparabilité. Différenciation visuelle possible. Faible coût. <i>Entretien.</i>	Nécessite une assise non indentable. N'améliore pas l'uni de la chaussée. Bruit de roulement. Rejet de gravillons. Difficile à nettoyer. Peu utilisé en chaussée neuve en milieu urbain.	Sur GNT → T5. Autres → T1.
COULIS et ECF (1)	GB EME BC	Mise en œuvre facile. Faible macrorugosité pour les coulis. Réparabilité. <i>Entretien.</i>	Nécessite une assise non déformée. Légèrement sensible au fluage. Ne pas utiliser sous trafic lourd.	T3 (coulis). T1 (ECF).
BBTM BBUM (1)	GB EME MTLH	Macrotexture importante. Faible épaisseur. <i>Réfection de couches de roulement. Rétablissement de l'adhérence.</i>	N'imperméabilise pas l'assise. Difficile à nettoyer. La fissuration des MTLH remonte très vite.	
ASPHALTE	BC MTLH EME	Mise en œuvre facile pour petites surfaces. Réparabilité. Coloration possible. Bonne rugosité si gravillonné. <i>Trottoirs, voies piétonnes et de desserte.</i>	Sensible au poinçonnement. Nécessite une assise rigide et pas déformée. Sensible aux contraintes horizontales.	AC1 → T5. AC2 → T3.
BBDr	GNT (2) GB MTLH BC	Drainage : pas de film d'eau en surface et capacité de stockage des eaux. Diminution des bruits de roulement.	Il faut imperméabiliser le support et éliminer l'eau à l'interface. Se colmate et perd son efficacité dans un environnement polluant.	Sur GNT et MTLH → T5. Sur GB et BC → T1.

COUCHE DE ROULEMENT	ASSISE	AVANTAGES <i>Usages privilégiés</i>	OBSERVATIONS	TRAFIC MAXI (3)
BBM	GB GNT	Bonne rugosité. Léger apport structurel.	Choisir les BBMa de classe 2 ou 3. BBM b, c et d sensibles à l'orniérage. Nécessite une assise rigide et pas déformée.	< T3 BBMa classe 2. T1 BBMa classe 3.
BBSG	GB EME MTLH GNT	Technique courante. Macrotecture correcte. Apport structurel. Améliore l'uni et imperméabilise l'assise.	Épaisseur > 4 cm. Demande un compactage efficace qui peut être difficile à réaliser pour de petites surfaces et autour des seuils des réseaux.	Sur GNT → T3. Autres → T1.
BBME	GB EME	Résistent à l'orniérage. Apport structurel. <i>Trafic agressif: lourd, canalisé.</i>	Épaisseur > 4 cm. Risque de fissuration thermique. Macrotecture faible.	Sur GNT → T3. Sur GB → T1.
MATÉRIAUX MODULAIRES	BC MTLH EME	Différenciation visuelle. Esthétique. Réparabilité. <i>Voirie piétonne.</i>	Bruit de roulement. Confort. N'imperméabilisent pas l'assise. Coût.	T5 (dalles). T3 (pavés).
BÉTON DE CIMENT	BC (maigre) MTLH GNT	Sert de couche d'assise. Différenciation visuelle. Différents traitements de surface possibles. Coloration facile. <i>Trafic lourd et voirie piétonne.</i>	Confort (si joints). Réparabilité difficile.	T1.

(1) Techniques très utilisées en entretien

(2) BBDr/GNT poreuse en chaussée réservoir

(3) T1 MJA: 150 à 1000 PL/J; T3 MJA: 25 à 150 PL/J; T5 MJA: 1 à 25 PL/J par voie et par sens de circulation

1.5 Récapitulatif des matériaux normalisés pour chaussées

NORME	DATE DE PARUTION	PRODUIT CONCERNÉ	ABRÉVIATION	ÉPAISSEURS MOYENNES D'UTILISATION (cm)	ÉPAISSEUR MINIMALE (cm)
NF P 98 - 130	11/91	Béton bitumineux semi-grenu	BBSG 0/10	6 à 7	4 ♦
		Béton bitumineux semi-grenu	BBSG 0/14	7 à 9	5 ♦
NF P 98 - 132	06/94	Béton bitumineux mince	BBM 0/10	3 à 4	2,5 ♦
			BBM 0/14	3,5 à 5	3 ♦
NF P 98 - 133	12/91	Béton bitumineux clouté	BBC 0/6	3	2 ♦
			BBC 0/10	6	4 ♦
NF P 98 - 134	12/91	Béton bitumineux drainant	BBDr 0/10	4	3 ♦
			et 0/14		
			BBDr 0/6	3	2 ♦
NF P 98 - 136	12/91	Béton bitumineux chaussées souples à faible trafic	BBS 1	4 à 5	-
			BBS 2	4 à 6	-
			BBS 3	8	-
			BBS 4	10 à 12	8 ♦
NF P 98 - 137	05/92	Béton bitumineux très mince	BBTM	2 à 2,5	1,5 ♦
NF P 98 - 139	01/94	Béton bitumineux à froid	BBF 0/10	5 à 7	4 ♦
			BBF 0/14	6 à 9	5 ♦
NF P 98 - 140	10/92	Enrobés module élevé de classe 2	EME2 0/10	6 à 10	5 ♦
			EME2 0/14	7 à 12	6 ♦
			EME2 0/20	10 à 15	8 ♦
NF P 98 - 141	11/93	Béton bitumineux à module élevé	BBME 0/10	6 à 7	5 ♦
			BBME 0/14	7 à 9	6 ♦
NF P 98 - 145	01/92	Asphalte coulé pour trottoirs	AT 0/4	1,5 à 2	1,5 ♦
		- pour chaussées courantes	AT 0/6	2 à 2,5	2 ♦
			AC1 0/6	2 à 2,5	2 ♦
		- pour chaussées lourdes	AC1 0/10	2,5 à 3,5	2,5 ♦
			AC2 0/10	3 à 3,5	3 ♦
			AC2 0/14	3,5 à 4	3,5 ♦
NF P 98 - 121	11/93	Grave émulsion type 2 ou 3	GE 0/10	6 à 10	3 *
			GE 0/14	6 à 12	4 *
			GE 0/20	8 à 15	6 *
NF P 98 - 138	10/92	Grave bitume de classes 2 et 3	GB 0/14	8 à 12	7 *
			GB 0/20	10 à 15	9 *

NORME	DATE DE PARUTION	PRODUIT CONCERNÉ	ABRÉVIATION	ÉPAISSEURS MOYENNES D'UTILISATION (cm)	ÉPAISSEUR MINIMALE (cm)
NF P 98 - 129	11/94	Grave non traitée (ex GRH)	GNT-B 0/20	20 à 35	15 *
		Grave non traitée	GNT-A 0/60	30 à 50	25 *
		Grave non traitée	GNT-A 0/20 à 0/40	20 à 35	20 *
NF P 98 - 116	07/91	Grave ciment	GC	15 à 25	12 *
NF P 98 - 122	11/91	Grave liant spécial routier	GLR	15 à 25	12 *
NF P 98 - 120	11/91	Grave cendres volantes hydrauliques	GCVH	15 à 25	12 *
NF P 98 - 117	07/91	Grave pouzzolanes chaux	GPz — MTLH	15 à 25	12 *
NF P 98 - 118	07/91	Grave laitier	GL	15 à 25	12 *
NF P 98 - 123	11/92	Grave laitier cendres volantes chaux	GLCV	15 à 25	12 *
NF P 98 - 119	07/91	Grave cendres volantes chaux	GVCV	15 à 25	12 *
NF P 98 - 128	11/91	Béton compacté routier et Grave traitée aux liants hydrauliques et pouzzolaniques à hautes performances	BCR et GHHP	17 à 25	15 *
NF P 98 - 113	11/94	Sables traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques	STLH	20 à 30	15 *
NF P 98 - 124	11/92	Cendres volantes chaux gypse	CVCG	20 à 30	15 *
NF P 98 - 160	01/94	Enduit superficiel d'usure	ESU	selon dimension des granulats	
NF P 98 - 170	07/92	Béton dense	BC	14 à 40	12 *
		Béton maigre	BM	12 à 40	10 *

- ♦ Épaisseur en place en tout point normalisée
- * Épaisseur en place en tout point recommandée

Nota : Pour la mise en œuvre de matériaux modulaires, se référer au fascicule 29 et aux normes existantes.

2 Dimensionnement mécanique

2.1 Principes du dimensionnement mécanique

Le dimensionnement mécanique d'une structure de chaussée a pour objet de fixer les épaisseurs des différentes couches de matériaux constituant la chaussée, afin de lui permettre de résister aux agressions d'ordre mécanique appliquées par le trafic. Ces agressions se traduisent :

- par un endommagement progressif conduisant à la rupture par fatigue ;
- et/ou par une accumulation des déformations permanentes conduisant à un orniérage excessif.

Le dimensionnement mécanique doit tenir compte des conditions d'environnement particulières telles que les conditions climatiques : pluviométrie, gel, températures, gradients thermiques.

Il repose de plus sur le choix :

- d'une durée de service donnée ou période initiale de calcul qui est fonction de la stratégie d'investissement et d'entretien retenue par le maître d'ouvrage ;
- d'une probabilité de rupture, fonction du niveau de service visé.

Ce guide propose de dimensionner les chaussées urbaines selon la démarche française de dimensionnement, qualifiée de « rationnelle ».

Cette démarche générale est détaillée dans le **Guide technique LCPC-SETRA « Conception et dimensionnement des structures de chaussées »** de 1994, qui nous servira de référence autant de fois que nécessaire.

Cette méthode rationnelle s'appuie sur une modélisation théorique des structures, dont les résultats sont calés en fonction des comportements observés dans la réalité.

Des exemples de dimensionnement mécanique sont présentés dans ce chapitre, calculés dans la logique d'application du guide à partir de paramètres spécifiques à la voirie urbaine.

2.2 Paramètres nécessaires au dimensionnement

2.2.1 La qualité de la plate-forme

Les chaussées sont construites sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constitué : du sol-support et d'une couche de forme éventuelle. La portance en est définie après mesures ou estimée. On distingue les classes de portance suivantes :

■ Cas des chaussées neuves

PF1 : essai de plaque EV2 : 20 à 50 MPa ;
ou $200 \leq \text{déflexion} < 300 / 100^e$ de mm
PF2 : essai de plaque EV2 : 50 à 120 MPa ;
ou $100 \leq \text{déflexion} < 200 / 100^e$ de mm
PF3 : essai de plaque EV2 : > 120 MPa ;
ou $\text{déflexion} < 100 / 100^e$ de mm.

■ Cas des réhabilitations (remise en état) et des renforcements (augmentation de la capacité)

Chaussées souples

Déflexion d'avant travaux sur ancienne chaussée	Décaissement partiel (il reste plus de 10 cm de l'ancienne assise)	Décaissement total (il reste moins de 10 cm de l'ancienne assise)
$d < 50/100^\circ$ de mm (1)	PF3	PF3
$50 \leq d < 100/100^\circ$ de mm	PF3	PF2
$100 \leq d < 150/100^\circ$ de mm	PF2	PF1
$150 \leq d < 200/100^\circ$ de mm	PF1	PF1

(1) réhabilitation inutile : les problèmes éventuels n'intéressent que la couche de surface.

Chaussées rigides ou semi-rigides : la déflexion n'étant pas le seul critère déterminant, on considérera :

- **Décaissement partiel :** PF3 ;
- **Décaissement total :** PF2 (considérant que sous l'effet de la circulation la portance sous les matériaux traités a pu atteindre au moins le niveau PF2).

2.2.2 La durée de service

Le maître d'ouvrage choisira une durée de service ou durée initiale de calcul qui est fonction de sa stratégie d'investissement et d'entretien. Cette durée sera en général comprise entre 10 et 20 ans, la voirie urbaine ne se prêtant pas dans la plupart des cas à des opérations de réparation ou de renforcement : environnement sensible aux nuisances, problèmes d'altimétrie, etc.

2.2.3 Le risque de calcul

Il est fixé également par le maître d'ouvrage. Il correspond à la probabilité de rupture de la chaussée à l'issue de la durée de service, probabilité qui est fonction du niveau de service visé (voir définition en annexe 5).

2.2.4 Le trafic

La détermination des trafics est explicité dans la **norme NF P 98.082**.

La démarche française ne considère que le trafic poids lourds (**PL**) définis comme les véhicules de poids total autorisé en charge (**PTAC**) > à **35 kN**.

Ce trafic est exprimé en moyenne journalière annuelle **MJA** par voie et par sens de circulation.

Il est traduit pour le calcul du dimensionnement en nombre d'essieux équivalents **NE**, en France l'essieu de **130 kN**, que devra supporter la chaussée pendant la durée de service envisagée.

La méthode de calcul de NE est exposée en annexe 4.

2.2.5 Les matériaux pour assises

Leurs caractéristiques mécaniques sont celles prescrites par les normes pour les matériaux normalisés (Qualité dénommée **Q1** dans ce document).

Cependant, les conditions spécifiques et souvent difficiles de réalisation de certains chantiers urbains (taille, phasage, contrôles..) nous ont amené à prendre en compte également dans les calculs des performances moins élevées pour les matériaux (Qualité dénommée **Q2** dans ce document).

Le projeteur, pour dimensionner la structure, choisira Q1 ou Q2 en fonction du chantier à réaliser, sachant que des matériaux de qualité Q1 seront toujours exigés au marché.

2.2.6 Les données climatiques et d'environnement

L'état hydrique du sol-support, les données climatiques (à savoir les cycles saisonniers de température ou encore la fréquence et l'intensité des périodes de gel) ont une influence sur la résistance, la durabilité, la déformabilité des chaussées et de leur support.

En particulier, le dimensionnement complet de la chaussée **devra comporter une phase de vérification vis-à-vis des effets du gel-dégel** prenant en compte la localisation géographique du projet et son exposition aux rigueurs hivernales.

Cette vérification propre à chaque site ne sera pas traitée dans ce document, sa méthode est exposée dans le Guide technique LCPC-SETRA.

2.3 Abaques de dimensionnement

2.3.1 Présentation des abaques

La présentation de structures types de chaussées urbaines (cf. Catalogue des structures types de chaussées neuves en rase campagne LCPC-SETRA de 1998) n'a pas été retenue pour ce guide. Nous avons préféré la présentation d'abaques de dimensionnement, d'utilisation plus large.

Celles-ci fournissent le résultat du dimensionnement mécanique pour les différentes classes de portance du support, en fonction du trafic cumulé NE (exprimé en essieu standard de 130 kN), ceci pour le risque de calcul de la catégorie de voie considérée.



Encombrement
de chantier

Les abaques de dimensionnement mécaniques sont proposés pour les structures suivantes :

Abaque n°	Type de structure
1	BB/GNT
2	BBSG/GB3
3	4 BB/EME2
4	BBSG/GC3 ou GLp
5	Béton BC5/Béton maigre BC3
6	Béton BC5 sur 10 cm de GNTP

Ces différents abaques sont présentés dans la suite de ce chapitre.

Les hypothèses utilisées pour leur établissement sont indiquées ci-dessous.

2.3.2 Hypothèses utilisées pour l'établissement des abaques de dimensionnement

Les abaques de dimensionnement mécaniques ont été établis selon la démarche et les hypothèses de la méthode française de dimensionnement rationnel des chaussées (cf. Guide LCPC-SETRA), en particulier pour le coefficient de Poisson, les températures équivalentes, les écarts types sur les épaisseurs.

Cependant, pour son application au calcul des chaussées urbaines, nous avons pris en compte des hypothèses complémentaires concernant les performances mécaniques des matériaux et des risques de calcul différents.

- Matériaux

- QUALITÉ Q1 : Conforme aux normes

	Module 15° C - 10 Hz	ϵ_s 10° C - 25 Hz	Interface
BBSG	5 400 MPa	100 μ def	Collée
GB	9 300 MPa	90 μ def	Collée
EME	14 000 MPa	130 μ def	Collée

	Module MPa	σ^6 MPa	Interface
Grave Ciment	23 000	0,75	Semi-collée
Grave Laitier	15 000	0,60	Collée
Grave Cendres Volantes	30 000	1,15	Glissante
Béton de Ciment	35 000	2,15	Glissante
Béton maigre	24 000	1,63	Glissante

GNT Base : classe B, catégorie 1, module 600 MPa

GNT Fondation : classe A, catégorie 1, module 3 fois celui de la plate-forme.

- QUALITÉ Q2 : Performances diminuées d'environ :
 - 20 % pour les modules des produits bitumineux ;
 - 10 % pour les modules des produits hydrauliques ;
 - 10 % pour les déformations et 10 à 15 % pour les contraintes admissibles.

Cette diminution des performances prend en compte l'augmentation constatée sur les chantiers urbains de l'écart type Sh des variations d'épaisseur des couches mises en œuvre.

	Module 15° C - 10 Hz	ϵ_0 10° C - 25 Hz	Interface
BBSG	4 300 MPa	90 μ def	Collée
GB	7 500 MPa	81 μ def	Collée
EME	11 200 MPa	117 μ def	Collée

	Module MPa	σ^0 MPa	Interface
Grave Ciment	20 700	0,64	Semi-collée
Grave Laitier	13 500	0,51	Collée
Grave Cendres Volantes	27 000	0,98	Glissante
Béton de Ciment	31 500	1,90	Glissante
Béton maigre	21 600	1,37	Glissante

GNT Base : classe B, catégorie 2, module 400 MPa

GNT Fondation : classe A, catégorie 2, module 2,5 fois celui de la plate-forme.

Il reste bien entendu que les performances exigées au marché seront celles imposées par les normes en vigueur ou les CCTG donc la qualité Q1.

Les solutions de « variantes » éventuellement proposées par les entreprises devront être comparées avec une solution de base calculée à partir de matériaux de qualité Q1.

- Catégories de voies

Pour le milieu urbain, suite à l'enquête réalisée, nous avons retenu quatre catégories de voies avec les trafics **indicatifs** suivants:

– voies de desserte à circulation réduite: secteurs résidentiels, zone piétonnière, absence de transports en commun (TC)...
trafic → $MJA = 1 \text{ à } 25 \text{ PL/J} \cong T5$,
valeur moyenne: 12 PL/J

– voies principales ou de distribution: avenues, boulevards, axes principaux, voies avec quelques passages de TC...
trafic → $MJA = 25 \text{ à } 150 \text{ PL/J} \cong T3$,
valeur moyenne: 100 PL/J

– voies principales à trafic lourd: voies de zones industrielles ou commerciales, voies de liaison traversantes, voies avec passages de TC, roclades...
trafic → $MJA = 150 \text{ à } 1\,000 \text{ PL/J} \cong T1$,
valeur moyenne: 500 PL/J

– voies réservées aux transports en commun
trafic en principe connu

- Risque de calcul

Nous avons choisi les coefficients de risque suivants:

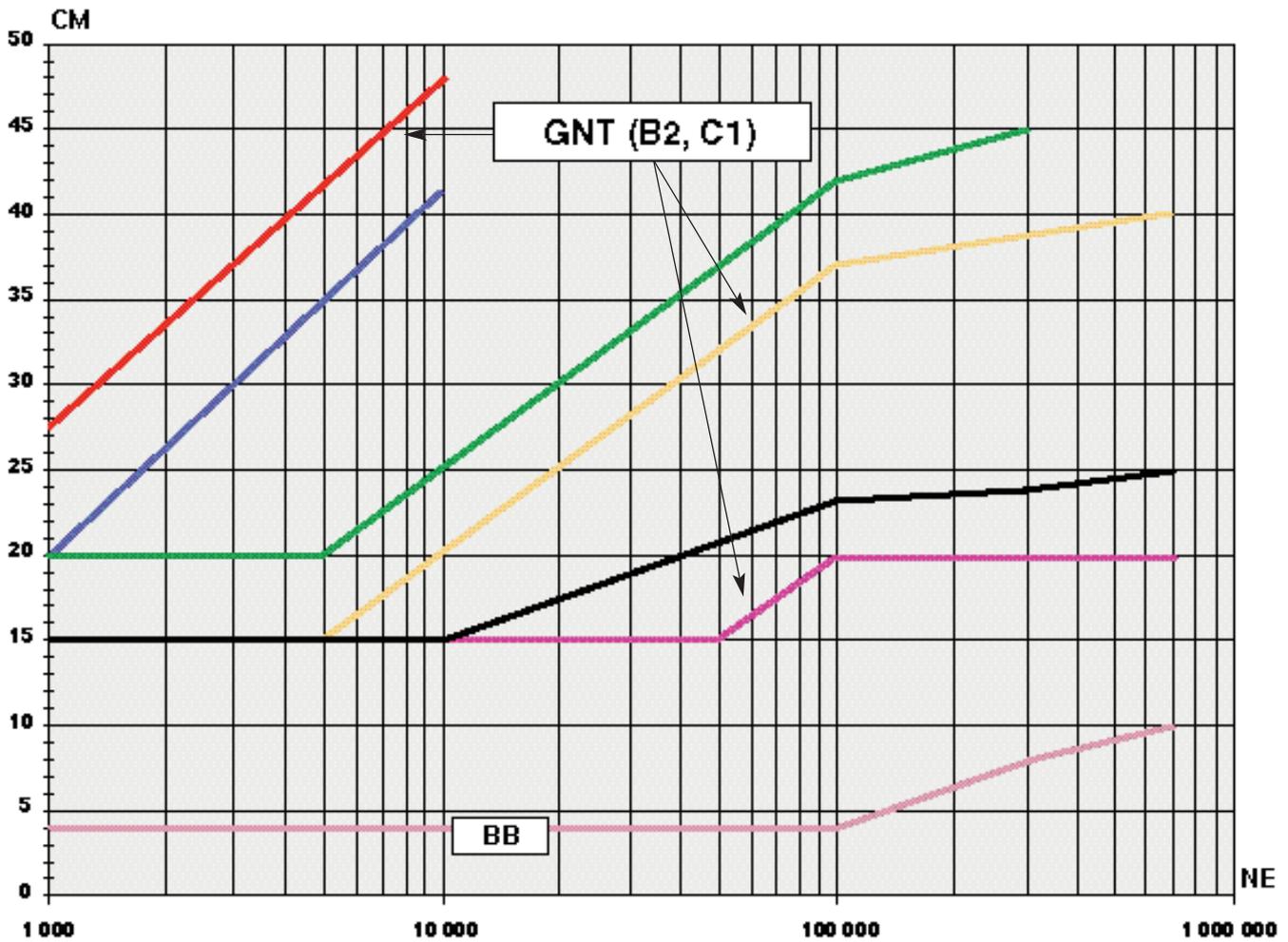
– Voies de desserte:	risque = 25 %
– Voies de distribution:	risque = 25 %
– Voies principales à trafic lourd:	risque = 5 %
– Voies TC:	risque = 5 %



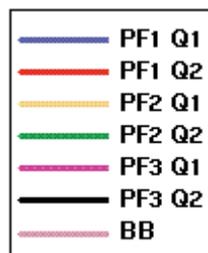
Préparation manuelle d'un joint longitudinal

BB / GNT

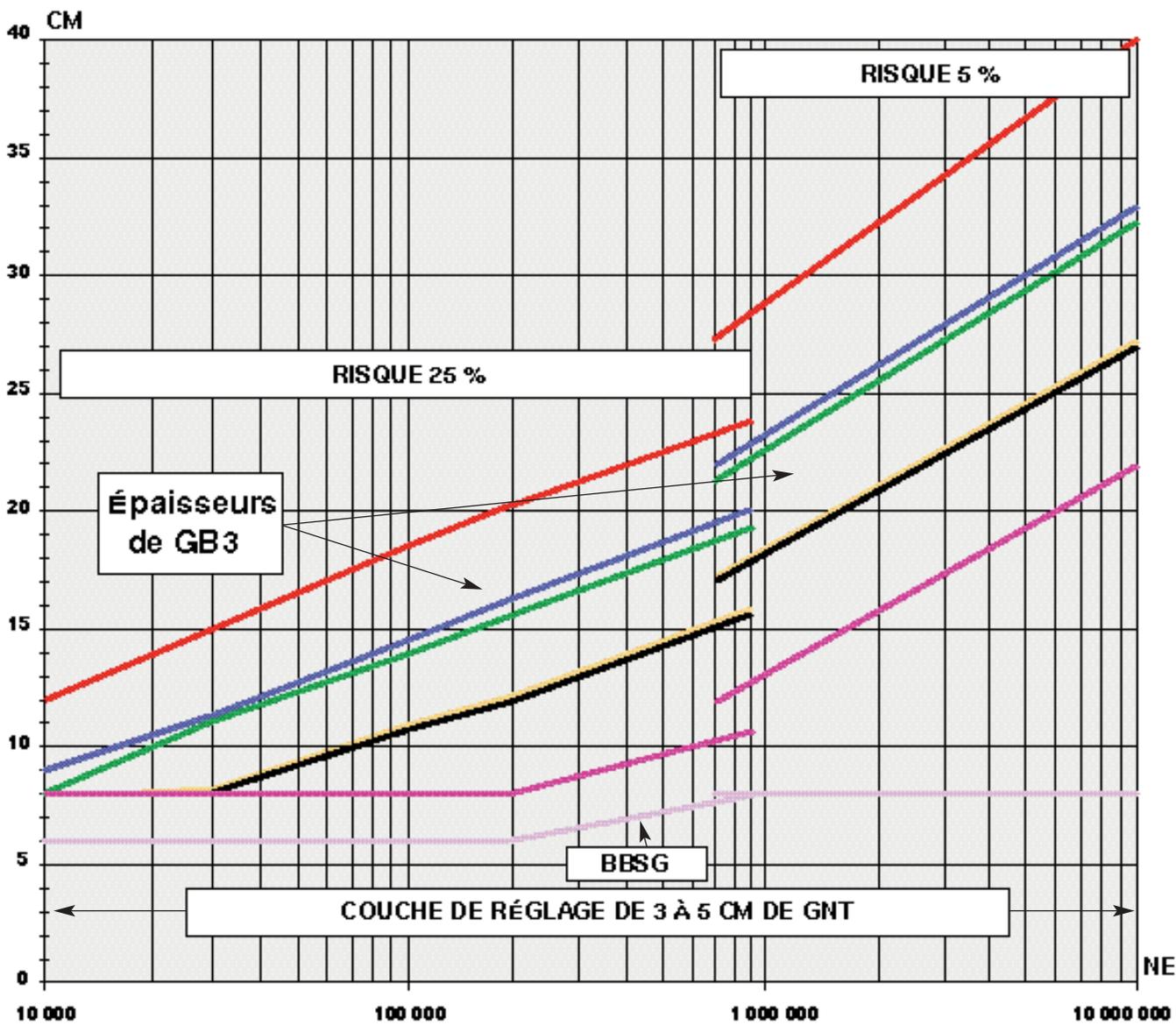
Épaisseurs de BB et de GNT (B2, C1)



BB = BBS pour NE < 10 000; BB = BBM ou BBSG pour NE = 10 000 à 700 000



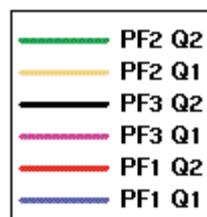
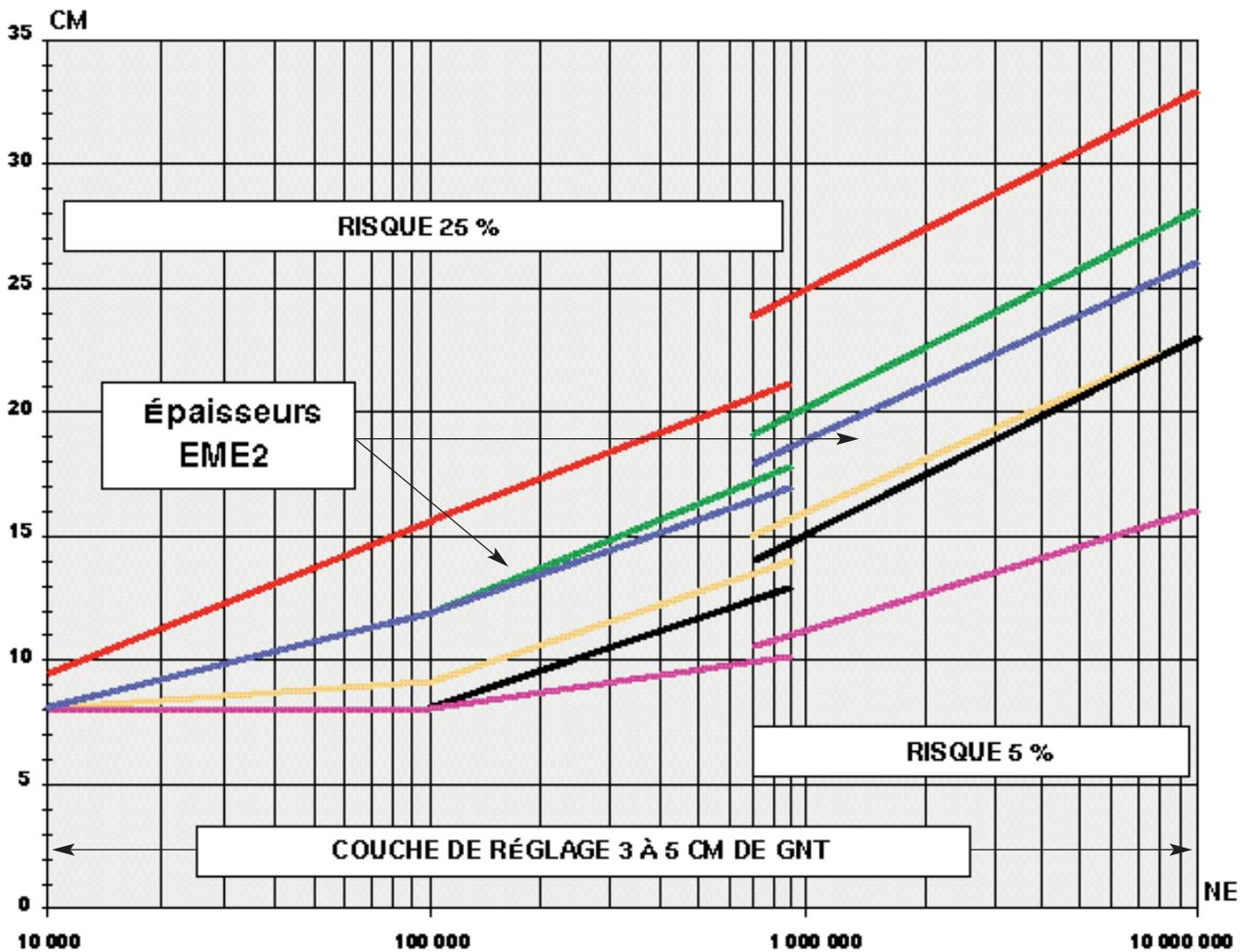
6 à 8 cm de BBSG / GB3
Épaisseur de GB3



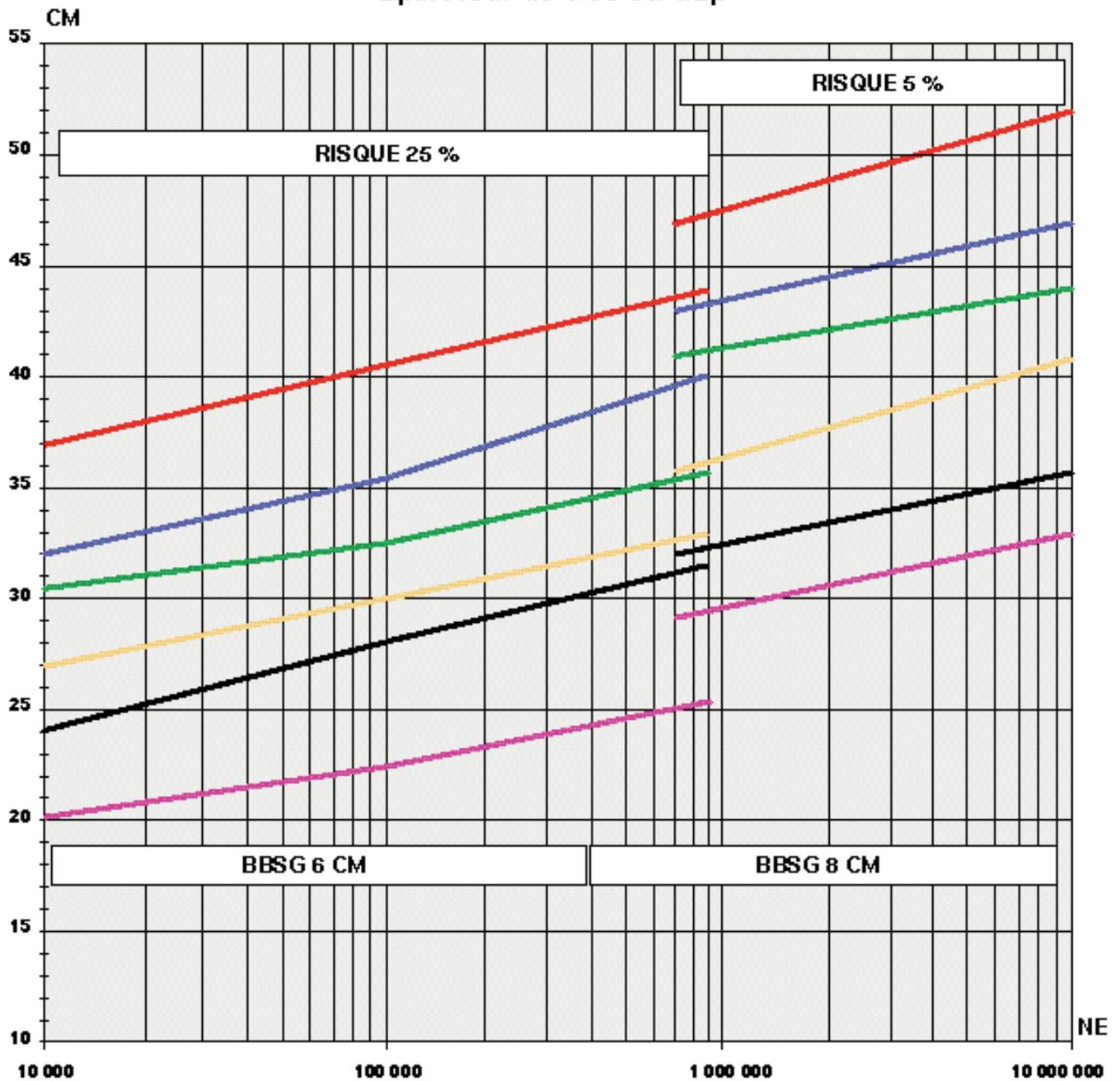
Pour GB de classe 2, ajouter 2 cm

- PF1 Q2
- PF1 Q1
- PF2 Q2
- PF2 Q1
- PF3 Q2
- PF3 Q1
- BBSG

4 cm de BBSG / EME2
Épaisseur de EME2



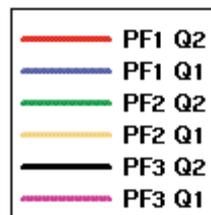
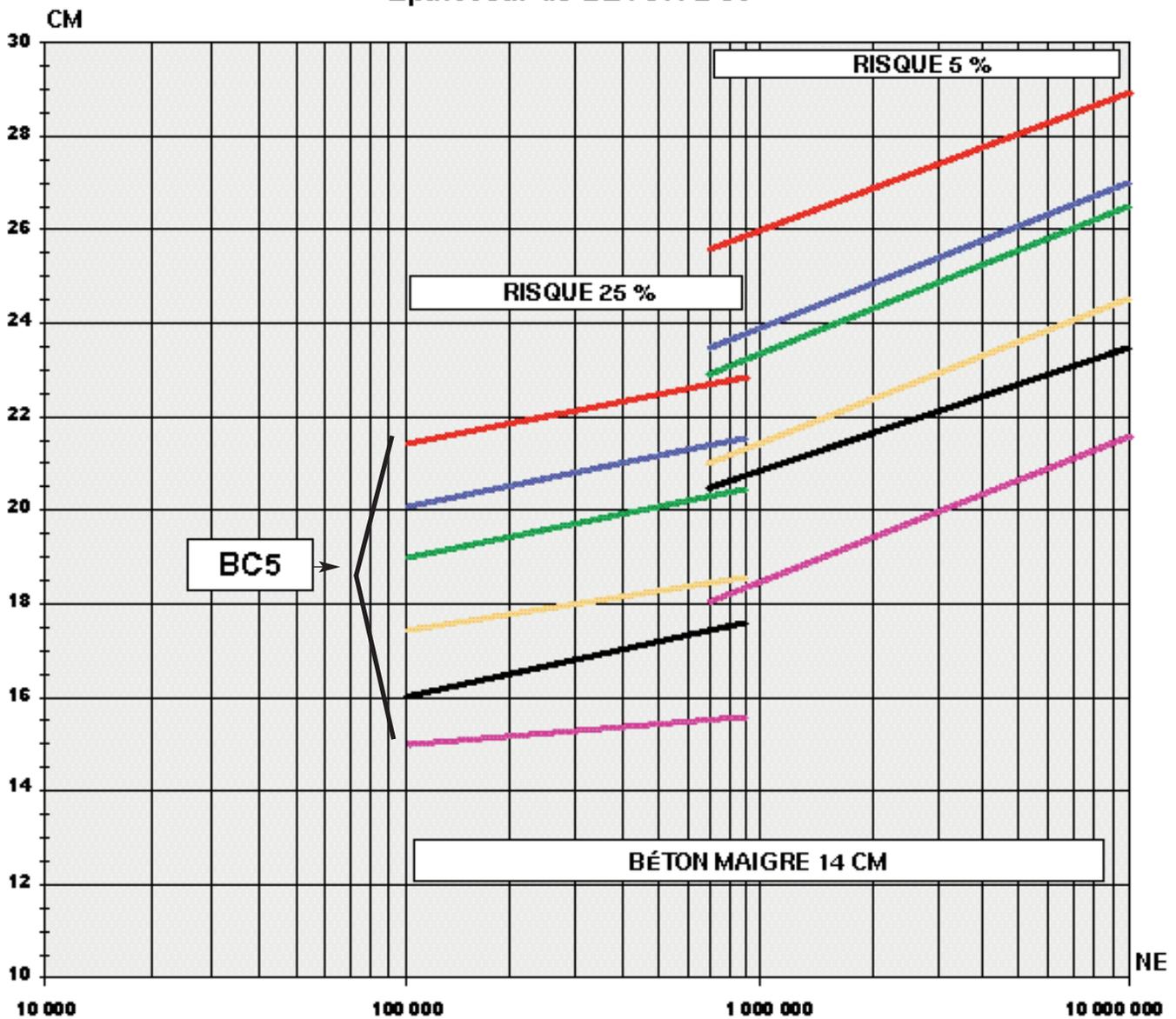
6 à 8 cm de BBSG / Grave Ciment 3 ou Grave Laitier Prébroyé
Épaisseur de GC3 ou GLp



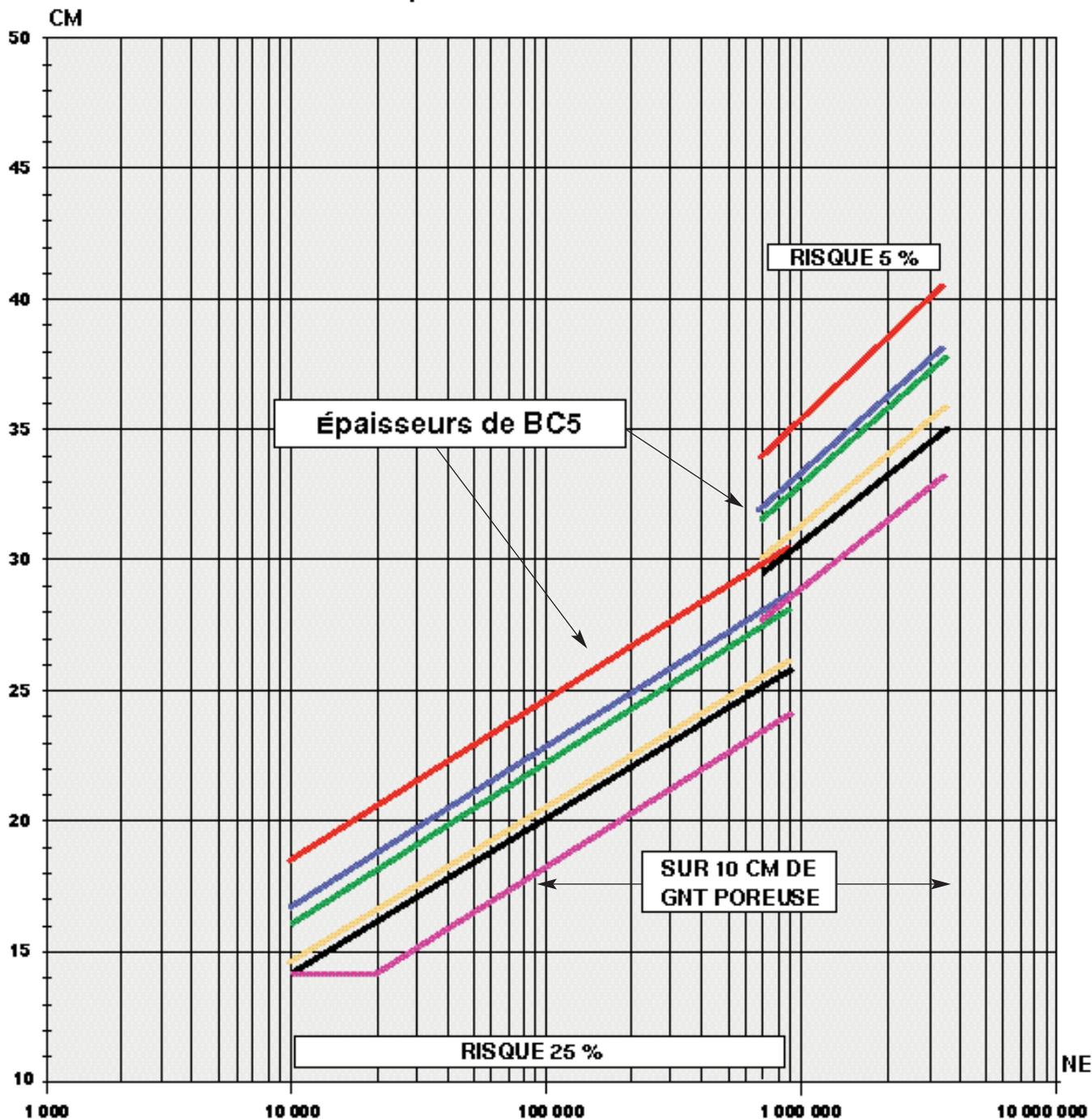
Mise en œuvre en 2 couches pour e > 25 cm
La préfissuration de ces matériaux est vivement conseillée
Pour grave laitier granulé au lieu de GC3, ajouter 5 cm
pour grave cendres volantes au lieu de GC3, enlever 3 cm

- PF1 Q2
- PF1 Q1
- PF2 Q2
- PF2 Q1
- PF3 Q2
- PF3 Q1

BÉTON BC5 / 14 cm de BÉTON MAIGRE BC3
Épaisseur de BÉTON BC5



BÉTON BC5 DALLE ÉPAISSE SUR 10 cm de GNTP
Épaisseur de BÉTON BC5



- PF1 Q2
- PF1 Q1
- PF2 Q2
- PF2 Q1
- PF3 Q2
- PF3 Q1

3 Réhabilitation

3.1 Présentation

Pour redonner des caractéristiques mécaniques correctes à une chaussée « fatiguée » ou pour adapter les caractéristiques d'une chaussée à une augmentation des contraintes du trafic, on procède soit à un rechargement en ajoutant de nouvelles couches, soit à un renforcement en remplaçant tout ou partie de la structure existante par de nouvelles couches de matériaux plus performants.

Dans le cas de la voirie urbaine, les contraintes spécifiques de niveau - caniveaux, avaloirs, bordures, seuils d'habitations, dispositifs d'accès aux réseaux - font que la solution rechargement, classique pour les chaussées de rase campagne, est peu utilisée. Le renforcement après fraisage, décaissement partiel ou décaissement total, nous paraît être la solution logique de réhabilitation des chaussées urbaines.

3.2 Mesures préalables nécessaires

- Mesures de déflexion pour les chaussées souples.

- Sondages ou carottages pour connaître la nature et les épaisseurs des couches de la chaussée ainsi que la nature du sol-support.

- Calculer le trafic, en nombre d'essieux équivalents **NE**, que la chaussée devra supporter pendant la durée de service choisie.

3.3 Fraisage - Décaissement partiel

- Le fraisage: il consiste à enlever par l'action d'un tambour rotatif muni de dents une épaisseur régulière des couches supérieures d'une chaussée.

Le matériel de fraisage actuel permet de travailler correctement jusqu'à 20 cm de profondeur dans des matériaux liés: béton bitumineux, grave bitume, matériaux traités aux liants hydrauliques, bétons de ciment.

En revanche, le fraisage ne peut pas être utilisé dans de bonnes conditions dans des graves non traitées, des blocages ou différents macadams que l'on rencontre dans des chaussées « traditionnelles ». Dans le cas de chaussées revêtues de matériaux modulaires, ceux-ci devront également être déposés avant le fraisage.



*Décaissement partiel
par fraisage*

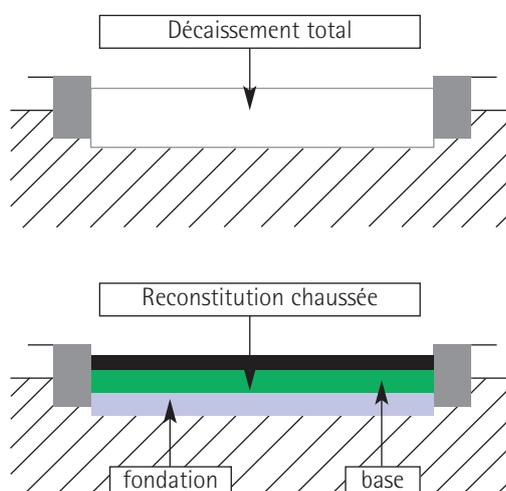
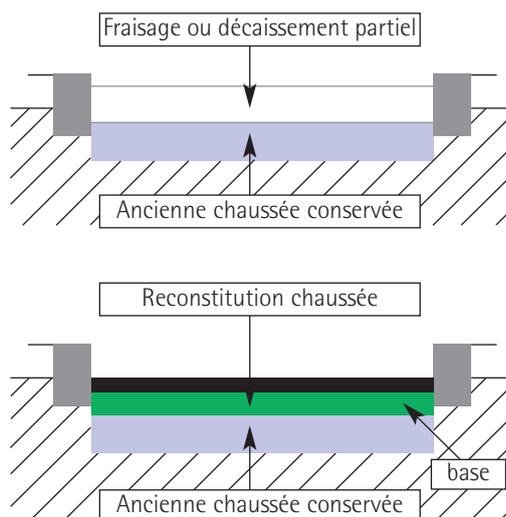
Le fraisage doit être conduit de manière à ne pas atteindre les matériaux non liés **en conservant au moins 3 à 4 cm de matériaux bitumineux homogènes** (aucune interface déficiente à moins de 3 à 4 cm du fond de fraisage) ou **au minimum 10 cm de matériaux traités aux liants hydrauliques**.

- Le décaissement partiel : il consiste à enlever, par d'autres moyens que le fraisage, une partie de la structure de l'ancienne chaussée en général en matériaux non liés. **On conservera au minimum 10 cm de la structure** qui pourra constituer une couche de fondation ou une sous-couche de la nouvelle structure.

Une chaussée fraisée ou décaissée partiellement n'ayant plus aucune étanchéité est particulièrement vulnérable aux intempéries. Les travaux devront donc se dérouler en période climatique favorable et le délai entre le fraisage -ou le décaissement- et la mise en œuvre de la nouvelle structure devra être le plus court possible.

3.4 Décaissement total

Le décaissement total atteint le sol-support ou **laisse moins de 10 cm** du corps de l'ancienne chaussée.



3.5 Dimensionnement

- Cas du décaissement total

Le dimensionnement s'effectue comme pour une chaussée neuve en choisissant des matériaux qui permettent d'obtenir, avec l'épaisseur disponible, une structure de chaussée capable de supporter le trafic prévu pendant la durée de service fixée avec le risque choisi.

- Cas du fraisage ou du décaissement partiel

On dimensionne comme indiqué au chapitre 2 la couche d'assise (fondation + base) avec comme couche de forme la structure résiduelle en place. Le dimensionnement devra précéder le fraisage ou décaissement de façon à en optimiser techniquement et économiquement la profondeur en fonction de la nature et des épaisseurs des structures possibles.

Dans les deux cas, les abaques présentés au chapitre 2 seront utilisés.

Il sera le plus souvent intéressant pour diminuer l'épaisseur de la nouvelle chaussée de choisir les matériaux performants : remplacer le BBSG par du BBTM et la grave bitume par de l'EME en appliquant la règle d'équivalence dimensionnelle suivante :

$$1 \text{ cm BBSG} = 1 \text{ cm BBTM} = 0,75 \text{ cm GB3}$$

$$1 \text{ cm BBSG} = 0,5 \text{ cm EME2}$$

$$1 \text{ cm BBME} = 1,5 \text{ cm BBSG}$$

$$1 \text{ cm EME2} = 1,5 \text{ cm GB3}$$

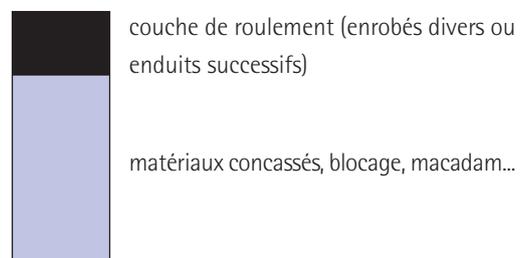
Par exemple :

une structure : **6 BBSG/12 GB** est équivalente à :
2 BBTM/10 EME

Comme pour les chaussées neuves une vérification au gel-dégel doit être effectuée.

3.6 Cas des différents types de chaussées

- Chaussées « traditionnelles »



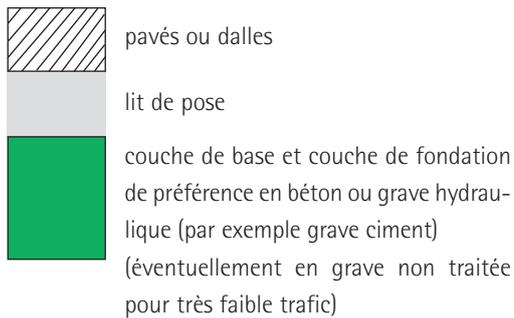
Décaissement partiel	Décaissement total
Enlèvement de la couche de roulement et d'une partie du corps de chaussée.	Enlèvement de la totalité de la chaussée jusqu'au terrain naturel.
Mise en œuvre d'une nouvelle couche de base (par exemple en grave bitume ou en enrobé à module élevé).	Mise en œuvre d'une nouvelle structure de chaussée comprenant : <ul style="list-style-type: none"> - couche de forme éventuelle ; - couche de fondation ; - couche de base.
Mise en œuvre d'une couche de roulement.	

• Chaussées « modernes »

	couche de roulement en béton bitumineux, enduits, E.C.F.
	couche de base et couche de fondation en grave non traitée, ou en grave traitée aux liants hydrauliques ou grave bitume ou EME

Décaissement partiel	Décaissement total
Enlèvement (par engin de terrassement ou par fraisage dans le cas de couche de base liée) de la couche de roulement et d'une partie du corps de chaussée (couche de base en matériaux traités ou non).	Enlèvement par engin de terrassement de la totalité de la chaussée pratiquement jusqu'au terrain naturel (épaisseur résiduelle < 10 cm).
Mise en œuvre d'une nouvelle couche de base en grave traitée (grave-bitume par exemple) ou en enrobés à module élevé.	Mise en œuvre d'une nouvelle structure de chaussée comprenant : <ul style="list-style-type: none"> - couche de forme éventuelle ; - couche de fondation ; - couche de base.
Mise en œuvre d'une couche de roulement.	

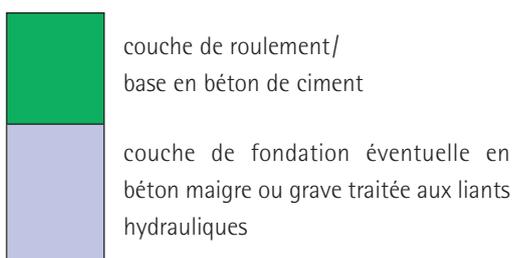
- Chaussées à revêtements modulaires



Décaissement partiel	Décaissement total
Enlèvement des matériaux modulaires, du lit de pose et d'une partie du corps de chaussée (couche de base par exemple).	Enlèvement de la totalité de la chaussée jusqu'au terrain naturel.
Mise en œuvre d'une nouvelle couche de base en grave traitée aux liants hydrauliques, en béton de ciment, en respectant les tolérances de nivellement imposées pour les couches support de matériaux modulaires.	Mise en œuvre d'une nouvelle structure de chaussée comprenant : <ul style="list-style-type: none"> - couche de forme éventuelle ; - couche de fondation éventuelle ; - couche de base en grave traitée aux liants hydrauliques ou en béton de ciment.
Mise en œuvre d'un lit de pose et des matériaux modulaires.	

Remarque : Dans le cas où l'on ne souhaite pas remettre des matériaux modulaires, on se retrouve dans le cas précédent de la chaussée « moderne ».

- Chaussées en béton



Décaissement partiel	Décaissement total
Démolition et enlèvement de la couche de roulement + base en béton de ciment.	Démolition de la totalité de la structure en béton (jusqu'au terrain naturel).
<p>Deux solutions possibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement/ base en béton de ciment ; Pour les forts trafics, les dalles reconstruites doivent être goujonnées aux dalles conservées ; • mise en œuvre d'une grave traitée (grave bitume par exemple) ou d'enrobés à module élevé et d'une nouvelle couche de roulement en béton bitumineux. 	<p>Mise en œuvre d'une nouvelle structure de chaussée comprenant :</p> <ul style="list-style-type: none"> – couche de forme éventuelle ; – couche de fondation ; – couche de base ; – couche de roulement en béton bitumineux (sauf si couche de base/roulement en béton).

Remarque : Dans le cas d'une structure dalle épaisse (couche de base/roulement sur couche drainante), un décaissement partiel pourra être réalisé par fraisage et la chaussée sera reconstituée en matériaux bitumineux.

Annexe 1

Guides de construction de chaussées publiés

	PORTANCE	TRAFIC
STU 1980 Rues et places piétonnes dans les quartiers traditionnels	Sols peu porteurs: teneur en fines > 5 % Sols porteurs: teneur en fines < 5 %	$T_A \rightarrow$ pas de véhicule $T_B \rightarrow$ quelques PL essieu < 5 t $T_C \rightarrow$ quelques PL essieu \leq 9,5 t
SETRA 1981 Chaussées neuves à faible trafic	P0: CBR \leq 3 P1: 3 < CBR \leq 6 P2: 6 < CBR \leq 10 P3: 10 < CBR \leq 20 P4: CBR > 20	 CA = 0,4 0,5 0,7 0,8 Durée de vie conseillée: 20 ans Taux de croissance conseillé: 4 %
CETUR 1984 Chaussées réservées aux T.C.	Idem	6 silhouettes de véhicules avec un CA fonction de la structure Mêmes classes, durée de vie et taux de croissance que SETRA 1981
CETUR 1988 Chaussées piétonnes	P_A : CBR > 10 ou déflexion: $D_1 < 1$ mm P_B : 3 < CBR \leq 10 1 < $D_2 \leq 2$ mm $D_3 > 2$ mm	$T_A \rightarrow$ pas de véhicule $T_B \rightarrow$ PL essieu < 5 t et 30 PL de PTAC > 3,5 t par jour $T_C \rightarrow$ PL essieu < 9 t et 30 PL de PTAC > 3,5 t + 80 bus/jour
CETUR 1988 Chaussées en pavés de béton	$P_2 \rightarrow$ EV2 40 à 50 MPa ou D_2 2 à 2,5 mm $P_3 \rightarrow$ EV2 > 50 MPa ou $D_3 < 2$ mm ou P0 à P4 comme SETRA 1981	Pour chaussées piétonnes T_A, T_B, T_C Pour autres chaussées T_5 à T_2 de 0 à 300 PL/jour (PL > 5 t CU) CA varie en fonction de la structure (T_2 souple CA = 0,75 T_2 rigide CA = 1,30)
CIIC 1990 Voirie à faible trafic en béton de ciment	P0: CBR \leq 3 ou EV2 \leq 15 MPa P1: 3 < CBR \leq 6 ou 15 < EV2 \leq 30 P2: 6 < CBR \leq 10 ou 30 < EV2 \leq 50 P3: 10 < CBR \leq 20 ou 50 < EV2 \leq 120 P4: 20 < CBR \leq 50 ou 120 < EV2 \leq 250	 T_6 : CA = 0,3 autres: idem SETRA 1981 durée de vie: 20 à 40 ans taux de croissance: 4 %

	PORTANCE		TRAFIC	
CETUR 1992 - 1995 Guide pavés en terre cuite Guide pavés et dalles en pierres naturelles	$P_2: 6 < \text{CBR} < 10$ $P_3: 10 < \text{CBR} < 20$	$\text{EV}2 > 40 \text{ MPa}$ $\text{EV}2 > 50 \text{ MPa}$	3 catégories: Cat.1 → idem T_A Cat.2 → idem $T_B T_C$ Cat.3 → tous véhicules T_5 à T_2 Taux de croissance: 4%	
CERIB 1992 Guide chaussées en pavés de béton	idem SETRA 1981 plus $P_5: \text{CBR} \geq 50 \text{ EV}2 > 250 \text{ MPa}$		T_5 à T_3^+ comme SETRA 1981 avec 3 classes de T_5 : 0 à 2 PL 2 à 10 PL (PL essieu > 9t) 10 à 25 PL	
Normes Tranchées 1994 P 98331	Importance du trafic (nombre de poids lourds en moyenne journalière annuelle)	Zones industrielles, portuaires, gares routières (nombre de poids lourds de poids total autorisé en charge supérieur à 35 kN)	Interurbain ou traverses d'agglomérations (nombre de poids lourds de poids total autorisé en charge supérieur à 35 kN)	Trafic urbain ou périurbain (nombre de poids lourds de poids total autorisé en charge supérieur à 35 kN)
	trafic fort	> 75 PL	> 190 PL	> 375 PL
	trafic moyen	25 à 75 PL	60 à 190 PL	125 à 375 PL
	trafic faible	< 25 PL	< 60 PL	< 125 PL
SETRA - LCPC 1994 Guide remblayage des tranchées	$\text{PF}1: 20 < \text{EV}2 \leq 50 \text{ MPa}$ $\text{PF}2: 50 < \text{EV}2 \leq 120 \text{ MPa}$ $\text{PF}3: 120 < \text{EV}2 \leq 200 \text{ MPa}$ $\text{PF}4: \text{EV}2 > 200 \text{ MPa}$		$T_5, T_4, T_3^-, T_3^+, T_2, T_1, T_0$ 0 30 60 125 190 375 940 PL → PTAC > 3,5t	

	PORTANCE	TRAFIC
SETRA-LCPC 1994 Guide technique de dimensionnement des structures de chaussées	PF1 : $20 < EV2 \leq 50$ MPa PF2 : $50 < EV2 \leq 120$ MPa PF3 : $120 < EV2 \leq 200$ MPa PF4 : $EV2 > 200$ MPa	T_5 T_4 T_3^- T_3^+ T_2^- T_2^+ T_1^- T_1^+ T_0^- T_0^+ 0 25 50 100 150 210 300 475 750 1200 2000 Pour $\leq T_3^+$ CA \rightarrow idem SETRA 1981 Pour $> T_3^+$ CA = 0,8 souples ≤ 25 cm CA = 1 souples > 25 cm CA = 1,3 rigides
Groupe avis technique Enrobés spéciaux et enduits		idem Durée de vie : 15 ans Taux de croissance : 7 %

Annexe 2

Catalogues de structures étudiés

	PARIS	LYON	LILLE	BORDEAUX	NANTES
CATÉGORIES DE VOIES	3 Transit 1 Transit 2 Desserte	5 Transit Liaison Distribution Desserte Lotissement - Rurale	2 Axes interurbains Voies urbaines	3 Structurantes Lotissements Parkings	3 Transit - Liaison Distribution Liaison secondaire (boucles, impasses, parkings)
CLASSES DE TRAFIC	3 T ⁺ (≅ T ₀) T (≅ T ₁) t (≅ T ₃) PL = CU > 5t	6 T ₀ , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ idem catalogue structures SETRA PL = PTAC > 3,5t	4 pour axes Ti ₀ (≅ T ₀) Ti ₁ (≅ T ₁ T ₂) Ti ₂ (≅ T ₃ T ₄) Ti ₃ (≅ T ₅) 3 pour voies Tv ₁ (≅ T ₁ T ₂) Tv ₂ (≅ T ₃ T ₄) Tv ₃ (≅ T ₅) 2 pour voies TC Ti ₀ (200 à 400 bus/J) Ti ₁ (50 à 200 bus/J) PL = PTAC > 3,5t	7 T ₀ , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ idem catalogue structures SETRA + T ₆ (10 PL/J) PL = CU > 5t	pas précisé
DURÉE DE VIE	50 ans	8 et 15 ans selon catégorie	10 ans	20 ans	pas précisé
TAUX DE CROISSANCE TRAFIC	1 %	4 %	?	4 %	pas précisé
COEFFICIENT D'AGRESSIVITÉ	0,5	0,4-0,5-0,6-0,7 selon catégorie	? 1 PL/axe = 3 PL/voie	idem catalogue SETRA	pas précisé

	PARIS	LYON	LILLE	BORDEAUX	NANTES
PORTANCE	PF3 avec 2 valeurs de module selon sol remanié ou non 160 et 250 MPa	PF1+ PF2 PF2+ PF3	PF0 \geq 50MPa) PF1 \geq 75MPa) ^{axes} PPO \geq 20MPa) PP1 \geq 50MPa)	P0 à P5 et PF1 à PF3 voies	pas précisé 10 cm de sable concassé sur PST
MATÉRIAUX	BBSG GB EME MTLH	BBSG BBDr EME GB GNT	BBSG MTLH GRH	BBSG BBDr GB GBP BC BCP pavés enduits GNTP	BBSG GB pavés enduits
EXEMPLES DE STRUCTURES T₁ sur PF3 BBSG : béton bitumineux semi-grenu BBDr : béton bitumineux drainant EME : enrobé module élevé GB : grave bitume GBP : grave bitume poreuse MTLH : matériau traité aux liants hydrauliques GNTP : grave non traitée poreuse GRH : grave reconstituée hydraulique					

Annexe 3

Enquête

Les services techniques de 30 villes de 15 000 à 200 000 habitants et de 2 départements de la région parisienne ont été interviewés directement selon le questionnement suivant :

■ Questionnement proposé

VILLE
 NOMBRE D'HABITANTS
 LINÉAIRE VOIRIE
 HIÉRARCHIE VOIES
 CONNAISSANCE TRAFIC TOUS VÉHICULES
 CONNAISSANCE TRAFIC PL
 TRANSPORTS EN COMMUN VOIE NORMALE
 TRANSPORTS EN COMMUN VOIE PROPRE
 ÉTUDES RÉALISÉES AVANT TRAVAUX
 DURÉE DE SERVICE PRISE EN COMPTE
 UTILISATION DES MATÉRIAUX LOCAUX
 CATALOGUE DE STRUCTURES TYPES
 PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT
 OUTIL DE GESTION
 CONSULTATION USAGERS
 ACCEPTATION DES VARIANTES
 ACCEPTATION DES TECHNIQUES INNOVANTES
 CRITÈRES DE CHOIX
 GUIDE DE DIMENSIONNEMENT VOIRIE URBAINE :
 CONTENU PRÉSENTATION
 DIVERS

■ Principaux résultats

1 Hiérarchie des voies

On distingue généralement 3 catégories :

- les voies à fort trafic qui comprennent les RN ou RD traversantes, les rocades, les boulevards, les accès aux zones industrielles ;
- les voies à trafic moyen que sont les rues de liaison et de desserte ;
- les voies à faible trafic : lotissements, rues semi-piétonnes, impasses... auxquelles s'ajoutent, lorsqu'elles existent, les voies de trafic en commun en site propre.

2 Connaissance du trafic

Le trafic PL est le plus souvent estimé à partir d'un comptage tous véhicules. Quelques services réalisent des comptages PL un seul effectue comptage et pesage. Le trafic TC est bien pris en compte.

3 Études avant travaux

Elles sont réalisées pour les voies à fort trafic. Les études pour RN et RD sont réalisées par les DDE. Pour les autres voies, on fait appel à des bureaux d'études extérieurs : CETE ou privés.

Les voies à trafic moyen ou faible sont le plus souvent dimensionnées « comme d'habitude » c'est-à-dire comme les voies existantes.

4 Durée de service

En majorité, on choisit 15 à 20 ans (minimum 8 / maximum 40 ans).

5 Matériaux locaux

Leur utilisation, lorsqu'ils existent, est très recherchée pour les structures de chaussées.

6 Structures types

Des communautés urbaines et quelques grandes villes ont fait établir par les CETE des catalogues de structures. Dans de nombreux cas, on dimensionne «comme d'habitude».

7 Paramètres de dimensionnement

- Portance de la plate-forme plus estimée par expérience que par des mesures.
- Durée de service (15 à 20 ans).
- Trafic (estimé mais on tient compte d'une évolution possible).

8 Variantes et techniques innovantes

Les variantes sont parfois acceptées surtout pour les travaux de réhabilitation et d'entretien. On note beaucoup de méfiance pour les techniques innovantes.

9 Critères de choix

Le coût n'apparaît pas comme le critère principal. Sont mis en évidence :

- la facilité d'entretien : nettoyage et réparations ;
- la gêne pendant les travaux ;
- la pérennité ;
- la réduction des bruits de roulement et le confort de la chaussée ;
- l'esthétique.

Les usagers sont fréquemment consultés avant le choix.

10 Contenu, présentation d'un guide de dimensionnement

Il est demandé des planches de structures adaptées à la voirie urbaine et un logiciel simple de dimensionnement.

Annexe 4

Trafic

La détermination des trafics fait l'objet de la norme NF P 98-082.

Les poids lourds sont les seuls véhicules pris en considération pour décrire et quantifier le trafic dans les opérations de conception et de dimensionnement des structures de chaussées.

Définition du poids lourd pour le dimensionnement des chaussées du catalogue de structures types LCPC-SETRA : véhicule de plus de 35 kN de poids total autorisé en charge : PTAC

Le trafic poids lourds intervient à la fois :

- comme critère de choix des qualités de certains matériaux constituant la chaussée (exemple : la dureté des granulats à exiger d'une grave non traitée);
- et comme paramètre d'entrée pour l'analyse mécanique du comportement en fatigue de la structure de chaussée.

Vis-à-vis du premier objectif, la notion de classe de trafic, en rapport avec le volume journalier du trafic poids lourds, est généralement suffisante. Vis-à-vis du dimensionnement, c'est le trafic cumulé sur la durée initiale de calcul qui est à considérer.

1 Les classes de trafic

La classe d'un trafic considéré est déterminée par le **trafic poids lourds**, exprimé en moyenne journalière annuelle (MJA) à l'année de mise en service, par sens de circulation et pour la voie la plus chargée.

Dans le cas des chaussées à deux voies de largeur L inférieure à 6 m, le recouvrement des bandes de roulement est pris en compte à travers la règle suivante :

- $L \leq 5$ m MJA = 100 % du trafic total PL des deux sens;
- $5 \text{ m} < L < 6$ m MJA = 75 % du trafic total PL des deux sens.

Les classes de trafic sont déterminées par les limites données en MJA par le tableau 1 (ci-dessous), la ligne inférieure du tableau donnant la moyenne géométrique de chaque classe.

NOTA : Le nouveau catalogue de structures LCPC-SETRA d'octobre 1998 considère des classes de trafic exprimées en nombre cumulé de PL sur 20 ans, pour les voies non structurantes avec un taux de croissance annuelle linéaire $\tau = 2\%$, et sur 30 ans pour les voies structurantes avec $\tau = 5\%$.

Ces classes vont de TC1 à TC8, les MJA prises en compte correspondraient à T5, T3 et T1 pour respectivement TC1, TC3, et TC5 de l'ancien catalogue.

Tableau 1 : Classes de trafic

	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		TEX	
			T3-	T3+	T2-	T2+	T1-	T1+	T0-	T0+	TS-	TS+		
1		25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000	
2	5	35	65	113	173	245	387	612	949	1550	2450	3875		

1 : limites supérieures de classe en MJA

2 : moyenne géométrique en MJA

Pour le milieu urbain, nous proposons, comme indiqué page 20, quatre catégories de voies avec les trafics **indicatifs à la mise en service** suivants :

- **voies de desserte :**
trafic → $MJA = 1 \text{ à } 25 \text{ PL/J} \cong T5$
- **voies de distribution :**
trafic → $MJA = 100 \text{ PL/J} \cong T3$
- **voies principales à trafic lourd :**
trafic → $MJA = 500 \text{ PL/J} \cong T1$
- **voies réservées aux transports en commun :**
trafic à préciser.

2 Le trafic équivalent

À une valeur de **MJA** donnée et pour un calcul de durée initiale **p** années, avec un taux d'accroissement **arithmétique** annuel constant **τ** , correspond un nombre cumulé de poids lourds **N**, obtenu par la formule :

$$N = 365 \times MJA \left(p + p\tau \times \frac{p-1}{2} \right)$$

Pour le milieu urbain nous avons considéré un taux d'accroissement du trafic PL :

$$\tau = 1 \%$$

Pour le dimensionnement des chaussées, le trafic est caractérisé par le nombre équivalent d'essieux de référence, **NE**, déterminé à partir du trafic poids lourds cumulé **N**.

L'essieu de référence pour le dimensionnement en France est l'essieu isolé à roues jumelées de 130 kN (essieu maximum légal).

N et **NE** sont liés par la relation suivante, où **CAM** désigne le coefficient d'agressivité moyen du trafic poids lourds :

$$NE = N \times CAM$$

3 Le coefficient d'agressivité moyen : CAM

L'agressivité du trafic dépend :

- de sa composition (distribution des silhouettes d'essieux et des charges sur les essieux) ;
- de la nature du matériau de chaussée considéré et du type de chaussée ;
- de la canalisation des charges.

En conséquence, pour le dimensionnement d'une chaussée en milieu urbain dont le trafic poids lourds est ou sera important, celui-ci devra faire l'objet d'une analyse spécifique au cas par cas, intégrant les particularités éventuelles du site, en considérant alors comme poids lourds **les véhicules dont la somme du poids effectif des essieux est > 35 kN**.

Cette analyse demande des informations fiables **de comptage et de pesage** pour calculer les coefficients CAM selon la méthode exposée dans la norme NF P 98-082 qui permettent d'obtenir des NE réalistes.

Dans le cas où cette analyse n'a pas été ou ne peut être réalisée, on pourra utiliser les coefficients CAM proposés dans le tableau 2 ci-après. La définition des poids lourds est celle indiquée en tête de chapitre : véhicules de poids total autorisé en charge > 3,5 tonnes.

Le trafic est alors estimé par simple comptage.

Nous avons considéré, pour établir ce tableau, qu'en milieu urbain l'agressivité du trafic poids lourds se caractérise en général par des valeurs beaucoup moins élevées du coefficient CAM, que celles prises en compte pour la rase campagne. D'autre part, si une forte stabilité globale caractérise le trafic en rase campagne et périurbain sur l'ensemble du territoire français, au contraire, la composition et donc l'agressivité des trafics urbains sont très sensibles aux situations particulières, par exemple celles de desserte de zone industrielle, de voie pour transport en commun.

Ces valeurs de CAM ont été confirmées par des analyses récentes de trafic urbain mais encore très peu nombreuses, c'est pourquoi elles doivent être encore considérées comme indicatives.

	STRUCTURES BITUMINEUSES	STRUCTURES SEMI-RIGIDES et RIGIDES
Voies de desserte	CAM = 0,10	CAM = 0,10
Voies de distribution	CAM = 0,10	CAM = 0,10
Voies principales à trafic lourd	CAM = 0,20	CAM = 0,40
Voies réservées TC	CAM = 0,50	CAM = 0,80

Tableau 2: Agressivité du trafic en milieu urbain. Valeurs de CAM

À défaut de toute information sur le trafic, si l'on considère uniquement chacune des catégories de voie retenues au §11 hors voies TC-avec le nombre de PL/J proposé, on obtient pour les **NE** suivants:

Durée de service	10 ANS	15 ANS	20 ANS	30 ANS
Voies de desserte	5 000	7 000	10 000	15 000
Voies de distribution	38 000	58 000	80 000	110 000
Voies principales à trafic lourd Structures bitumineuses,	380 000	580 000	800 000	1 200 000
Voies principales à trafic lourd Structures semi-rigides et rigides	760 000	1 200 000	1 600 000	2 500 000

ATTENTION :

Une voie principale à trafic lourd peut présenter un trafic MJA < 500 PL/J mais aura un CAM de 0,50 et, de la même façon, une voie de desserte peut présenter une MJA > 100 PL/J avec un CAM de 0,20. Ainsi, il ne faut pas relier automatiquement catégorie de voie et MJA.

Si la voie supporte ou doit supporter des véhicules de transport en commun, bus et trolleybus, étant donné leur forte agressivité (canalisation, démarrages,

freinages), on considérera que leur **CAM est égal à 0,5 ou 0,8 selon la structure** et on rajoutera donc le nombre NE calculé avec le nombre de véhicules de TC devant emprunter la chaussée pendant sa durée de service au NE calculé à partir du trafic PL courant. **Les véhicules de TC à trois essieux ainsi que les trolleybus seront comptés pour deux véhicules de TC.**

Annexe 5

Notion de risque dans le calcul de dimensionnement des chaussées

La structure d'une chaussée est dimensionnée pour une durée de service longue allant de 10 à 50 ans, généralement de 10 à 20 ans.

Si l'on considère, par exemple, une chaussée dimensionnée et construite pour durer 20 ans, cela ne signifie pas cependant que pendant 20 ans la totalité de cette chaussée assurera un service parfait et que brutalement à 20 ans elle ne sera plus utilisable.

En effet, pour effectuer le calcul de dimensionnement, de nombreux paramètres variables sont pris en compte, en particulier :

- la portance de la plate-forme ;
- la qualité des matériaux constitutifs et surtout leur comportement à la fatigue ;
- les épaisseurs mises en œuvre ;
- l'agressivité du trafic et son évolution au cours de ces 20 ans.

De ce fait, certaines portions de la chaussée réalisée pourront présenter des dégradations structurelles avant 20 ans et devront faire l'objet de travaux.

L'importance prévisible de ces travaux est associée à la notion de risque de calcul dont la définition officielle du Guide technique de dimensionnement des structures de chaussées LCPC-SETRA de 1994 est la suivante :

Un risque de X% sur une période de p années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité pour qu'apparaissent, au cours de ces p années, des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilables à une reconstruction de la chaussée, en l'absence de toute intervention d'entretien structurel dans l'intervalle.

Si l'on considère une chaussée calculée pour durer 20 ans avec un risque de 5% il existe donc une probabilité de 95% pour qu'au cours de ces 20 années il n'apparaisse aucun désordre structurel sur cette chaussée.

Sur un grand nombre de sections de chaussées calculées et réalisées dans les mêmes conditions, ce risque peut-être assimilé au pourcentage de surfaces dont la structure aura nécessité des interventions au cours de ces 20 ans.

Les opérations d'entretien des couches de roulement réalisées au fur et à mesure des prévisions et des besoins ne sont pas intégrées dans la notion de risque. À l'issue de ces 20 ans, même si des désordres structurels sont apparus, la chaussée ne sera pas détruite ; les sections concernées auront été réparées et les sections les plus fortes - zones de surépaisseur ou réalisées avec des matériaux de qualité supérieure à la moyenne - pourront durer plus longtemps. Néanmoins, il sera alors judicieux d'envisager des travaux de renforcement sur l'ensemble de la chaussée.

Dans le calcul de dimensionnement la diminution du risque entraîne logiquement une augmentation de l'épaisseur de la structure donc du coût de construction. L'importance du rôle fonctionnel de la chaussée - en particulier d'assurer dans de bonnes conditions le passage du trafic pour lequel elle sera dimensionnée - intervient dans le choix du % de risque : plus ce trafic est important moins le risque sera élevé. C'est pourquoi dans les exemples de dimensionnement que nous proposons nous avons considéré un risque de 5% pour le trafic T1 et 25% pour T3 et T5.

En revanche, nous n'avons pas estimé nécessaire d'adapter en plus le risque à la nature de la structure comme le proposent le Guide et le catalogue LCPC-SETRA.

Légende des sigles

- **BB**
Béton bitumineux
- **BBSG**
Béton bitumineux semi-grenu
- **BBME**
Béton bitumineux à module élevé
- **CAM**
Coefficient d'agressivité moyen
- **CETE**
Centre d'études techniques de l'équipement
- **EME**
Enrobé à module élevé
- **GB**
Grave bitume
- **GC**
Grave ciment
- **GCV**
Grave cendres volantes
- **GLp**
Grave laitier prébroyé
- **GLg**
Grave laitier granule
- **GNT**
Grave non traitée
- **GNTp**
Grave non traitée poreuse
- **MTLH**
Matériau traité aux liants hydrauliques
- **LCPC**
Laboratoire central des ponts et chaussées
- **PST**
Partie supérieure des terrassements
- **SETRA**
Service d'études techniques des routes et autoroutes

Bibliographie

- Norme NF P 98-082
Chaussées terrassements. Dimensionnement des chaussées routières. Détermination des trafics routiers pour le dimensionnement des structures de chaussées
- Norme NF P 98-170
Chaussées en béton de ciment
- Fascicule 25 du CCTG
Exécution des corps de chaussées
- Fascicule 27 du CCTG
Fabrication et mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés
- LCPC-SETRA
Enrobés hydrocarbonés à chaud - Guide d'application des normes pour le réseau national
Décembre 1994
- LCPC-SETRA
Chaussées neuves à faible trafic - Manuel de conception
Juillet 1981
- LCPC-SETRA
Conception et dimensionnement des structures de chaussées - Guide technique
Décembre 1994

Table des matières

	Introduction	5
CHAPITRE 1	Généralités - Matériaux	6
	1.1 Constitution d'une chaussée	6
	1.2 Couche de roulement	6
	1.3 Matériaux pour assises	8
	1.4 Tableau couches de roulement/assises	10
	1.5 Récapitulatif matériaux normalisés pour chaussées	12
CHAPITRE 2	Dimensionnement	14
	2.1 Principes du dimensionnement mécanique	14
	2.2 Paramètres nécessaires au dimensionnement	14
	2.2.1 La qualité de la plate-forme	14
	2.2.2 La durée de service	15
	2.2.3 Le risque de calcul	15
	2.2.4 Le trafic	15
	2.2.5 Les matériaux pour assises	16
	2.2.6 Les données climatiques et d'environnement	16
	2.3 Abaques de dimensionnement	16
	2.3.1 Présentation des abaques	16
	2.3.2 Hypothèses utilisées pour l'établissement des abaques	17
	2.4 Démarche pour l'utilisation des abaques	21
CHAPITRE 3	Réhabilitation	28
	3.1 Présentation	28
	3.2 Mesures préalables nécessaires	28
	3.3 Fraisage - Décaissement partiel	28
	3.4 Décaissement total	29
	3.5 Dimensionnement	30
	3.6 Cas des différents types de chaussées	30

ANNEXE 1	Tableau synthétique des paramètres des guides de construction de chaussées existants	35
ANNEXE 2	Tableau synthétique de catalogues de structures de chaussées établis par certaines villes et communautés	39
ANNEXE 3	Enquête CERTU sur les chaussées urbaines : questionnaire et principaux résultats	43
ANNEXE 4	Trafic : détermination du trafic en milieu urbain	47
ANNEXE 5	Notion de risque dans le calcul de dimensionnement des chaussées	51
	Légende des sigles	53
	Bibliographie	55

© CERTU - 2000

Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement,
Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du CERTU est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination : Service Éditions (Patrick Marchand)

Mise en page : PAO Concept ☎ 04 72 07 69 03

Réimpression : JOUVE ☎ 01 44 76 54 40

Achévé de réimprimer : octobre 2002

Achévé d'imprimer : avril 2000

Dépôt légal : 1er trimestre 2000

Cet ouvrage est en vente au CERTU

Bureau de vente :

9, rue Juliette Récamier

69456 LYON cedex 06 - France

☎ 04 72 74 59 59

Internet : <http://www.certu.fr>

- Aménagement et urbanisme
- Aménagement et exploitation de la voirie
- Transport et mobilité
- Constructions publiques
- Environnement
- Technologies et systèmes d'information

■ Les résultats d'une double enquête (LCPC et CERTU) ont montré que les structures des chaussées urbaines étaient le plus souvent dimensionnées «comme à l'habitude», donc que le guide SETRA-LCPC établi pour les chaussées de rase campagne était peu utilisé.

Le trafic supporté par les chaussées urbaines est moins agressif que celui pour lequel sont calculées les chaussées de rase campagne, par contre les conditions de leur construction sont en général plus pénalisantes.

Le dimensionnement de leur structure doit néanmoins être étudié pour que leur durée de service et leurs coûts de construction et d'entretien restent raisonnables.

En respectant pour l'essentiel les règles du Guide de dimensionnement SETRA-LCPC de 1994, nous proposons des hypothèses de calcul «urbanisées» et les abaques établis à partir de celles-ci.

Ces derniers permettront au projeteur à partir d'une estimation -ou mieux d'une mesure- du trafic de pouvoir dimensionner rationnellement des structures de chaussées mieux adaptées à la qualité des matériaux utilisés localement et aux conditions de réalisation des chantiers urbains.

■ **Dimensioning urban roadways** *Design methods from a catalogue suited to the local context* The results from a dual survey (LCPC and CERTU) have shown that urban roadway structures were most often dimensioned «as usual» and thus that the SETRA-LCPC guide to cross-country roadways was little used.

The traffic carried by urban roads is less aggressive than the traffic that cross-country roadways are calculated for, however the conditions for their construction are generally more punishing.

Nonetheless, their structure should be dimensioned so their lifespan and construction and maintenance costs remain reasonable.

In basically respecting the rules in the 1994 SETRA-LCPC dimensioning guide, we suggest «urbanised» calculation assumptions and the graphs that result from them.

The graphs enable those undertaking a project, from an estimate -or better still, a measurement- of traffic to be able to rationally dimension roadway structures better suited to the quality of the materials used locally and to the working conditions of urban sites.

■ **Medidas de la estructura de las calzadas urbanas** *Metodología para diseñar un catálogo adaptado al contexto local* Tras los resultados de una doble investigación (LCPC y CERTU) se ha demostrado que la estructura de las calzadas urbanas se mide a menudo «como de costumbre», y que por tanto el manual oficial SETRA-LCPC para las calzadas de zonas no urbanas se utiliza poco.

El tráfico que aguantan las calzadas urbanas es menos agresivo que aquel para el cual se calculan las calzadas en zona no urbana. Sin embargo las condiciones para su construcción suelen ser más perjudiciales.

No obstante, deben estudiarse las medidas de la estructura para que la duración de servicio y el coste de construcción y mantenimiento sean razonables.

Sin dejar de respetar en lo esencial las normas del Manual de medidas SETRA-LCPC de 1994, proponemos hipótesis de cálculo «urbanizadas» y ábacos establecidos a partir de las mismas. Gracias a éstos, el proyectista podrá medir de forma racional, a partir del tráfico estimado (o mejor, medido), las estructuras de las calzadas que mejor se adapten a la calidad de los materiales utilizados localmente y a las condiciones de ejecución de obras urbanas.

Service technique placé sous l'autorité du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques a pour mission de faire progresser les connaissances et les savoir-faire dans tous les domaines liés aux questions urbaines. Partenaire des collectivités locales et des professionnels publics et privés, il est le lieu de référence où se développent les professionnalismes au service de la cité.

