

**MINISTÈRE DES TRANSPORTS**  
DIRECTION GÉNÉRALE DES TRANSPORTS INTÉRIEURS

---

# **Chaussées neuves à faible trafic**

**Manuel de conception**



DIRECTION DES ROUTES ET  
DE LA CIRCULATION ROUTIÈRE



**MINISTÈRE DES TRANSPORTS**  
**DIRECTION GÉNÉRALE DES TRANSPORTS INTÉRIEURS**

---

Direction des Routes et de la Circulation Routière - 244, Bd Saint-Germain - 75775 PARIS CEDEX 16

**Manuel de conception  
des chaussées neuves  
à faible trafic**

Document réalisé et diffusé par

le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
58 bd Lefebvre 75732 PARIS CEDEX 15

**LCPC**

le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes  
46 avenue Aristide Briand - 92223 BAGNEUX

**SETRA**

MINISTÈRE DES TRANSPORTS

DIRECTION GÉNÉRALE  
DES TRANSPORTS INTÉRIEURS

DIRECTION DES ROUTES  
ET DE LA CIRCULATION ROUTIÈRE

SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES  
DES ROUTES ET AUTOROUTES  
S E T R A

J. BERTHIER

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées  
DIRECTEUR

46, avenue Aristide-Briand - B.P. 100  
92223 BAGNEUX — Tél. : 664 14 77  
TELEX 260763 SETRA BAGNX

BAGNEUX, le 2 juillet 1981

Le Directeur du Service d'Études Techniques  
des Routes et Autoroutes

à

Monsieur le Directeur Départemental  
de l'Équipement

**OBJET : MANUEL DE CONCEPTION DES CHAUSSÉES NEUVES A FAIBLE TRAFIC.**

*Afin de compléter la gamme de structures définie par le Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves et conformément aux souhaits exprimés par les services, le SETRA et le LCPC ont élaboré un Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic que je vous adresse ci-joint.*

*Ce document concerne essentiellement les voiries des collectivités locales et il a été tenu compte, pour son établissement, des problèmes propres à ce type de voirie et notamment :*

- de la diversité des maîtres d'ouvrage et des modes de financement des projets, ce qui justifie que différents choix sont offerts concernant la stratégie de dimensionnement ; une stratégie se caractérise essentiellement, pour un niveau de service donné, par les parts respectives des dépenses que l'on est prêt à consacrer à la construction d'une part et à des rechargements ou renforcements ultérieurs d'autre part ;*
- de l'intérêt d'utiliser des matériaux locaux, de qualité et d'origine diverses qui n'ont donc pas toujours la qualité de ceux mis en œuvre sur routes à fort trafic ; le Manuel définit donc pour différentes qualités de matériaux les règles d'utilisation et de dimensionnement correspondantes ;*
- de la faible longueur des projets (cas usuel), ce qui implique que les méthodes de prise en compte des sols et du trafic puissent s'accommoder de différents niveaux d'études.*

*Il résulte de ces considérations que le Manuel ne peut se présenter comme un catalogue de structures précalculées mais constitue une méthode générale de dimensionnement qui définit des structures de chaussées à partir d'abaques, en fonction des différents cas de trafic, de sols et de matériaux, en laissant à l'utilisateur certains choix relatifs à la durabilité de la structure (durée de service et taux de croissance du trafic).*

*Ce document général est normalement destiné à être complété au niveau régional par des guides d'application aux conditions locales.*

*Des premières actions en ce sens ont été lancées dans les CETE et des financements partiels ont été mis en place à cet effet ; l'état d'avancement des travaux est variable selon les régions et il serait souhaitable que vous preniez contact avec la Division Terrassements-Chaussées de votre CETE, pour définir avec elle le contenu et la forme du document régional qui vous paraît le mieux approprié.*

*Ce Manuel présente, dans la gamme de trafic concernée, une zone de recouvrement ( $T_3$ ) avec le Catalogue des structures types de chaussées neuves ; j'attire votre attention sur le fait que les structures définies par les deux documents ne sont équivalentes que dans la mesure où l'on choisit, ici, une durée de service longue et un taux de croissance du trafic de 7%.*

. \* .

*Je vous invite à faire part de vos remarques ou suggestions ainsi que des difficultés d'application que vous pourriez rencontrer, à la Division des Chaussées et Terrassements du SETRA.*

*L'Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,  
Directeur du SETRA*



J. BERTHIER

## SOMMAIRE

<b>Abréviations et définitions</b> .....	5
<b>Introduction</b> .....	7
1. La stratégie de dimensionnement .....	7
2. Les études préalables.....	7
3. Les matériaux .....	8
4. Le gel .....	8
<b>Chapitre 1 - Trafic</b> .....	9
1. Introduction.....	9
2. Trafic à la mise en service (t).....	9
3. Trafic cumulé (N).....	11
<b>Chapitre 2 - Plate-forme support de chaussée</b> .....	13
1. Préambule .....	13
2. Portance des sols .....	13
3. Détermination de la portance des plates-formes .....	17
4. Réalisation du chantier.....	18
<b>Chapitre 3 - Chaussées à assises non traitées</b> .....	20
1. Introduction.....	20
2. Conditions d'utilisation des matériaux non traités .....	20
3. Dimensionnement .....	24
4. Utilisation de grave-émulsion en couche de base .....	26
<b>Chapitre 4 - Chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques</b> .....	28
1. Introduction.....	28
2. Les matériaux envisagés.....	28
3. Conditions d'utilisation des matériaux traités aux liants hydrauliques .....	29
4. Dimensionnement .....	31
<b>Chapitre 5 - Tenue au gel - dégel</b> .....	35
1. Appréciation de la sensibilité au gel des sols et des matériaux de couche de forme.....	36
2. Détermination de la protection thermique Z apportée par les matériaux non gélifs de la couche de forme et des couches de chaussées .....	37
3. Détermination de IA, indice de gel admissible de la chaussée.....	37
<b>Chapitre 6 - Dispositions constructives</b> .....	38
1. Plate-forme support de chaussée .....	38
2. Assainissement.....	39
<b>Chapitre 7 - Stratégies de dimensionnement</b> .....	41
1. Niveau de service - caractéristiques superficielles .....	41
2. Niveau de risque - dimensionnement des structures .....	42
3. Financement .....	43

## ABRÉVIATIONS ET DÉFINITIONS

### RELATIVES AU TRAFIC

MJA	moyenne journalière annuelle
t	trafic à la mise en service
$t_i$	classe de trafic à la mise en service
N	trafic cumulé

### RELATIVES AU SUPPORT DE CHAUSSÉE

A, B, C, D, E, F	classes géotechniques de sol
$\gamma_d$	densité sèche
OPN	optimum proctor normal
OPM	optimum proctor modifié
CBR	indice portant californien
P	portance
$EV_2$	module à la plaque
R	coefficient de restitution dynaplaque
$w_p$	limite de plasticité
$I_p$	indice de plasticité

### RELATIVES AUX MATÉRIAUX ET STRUCTURES

1, 2, 3	catégories de graves non traitées
ES	équivalent de sable
ES 10%	équivalent de sable avec 10% de fines (propreté des sables)
LA	coefficient Los Angeles
MDE	coefficient micro-Deval en présence d'eau
VB	valeur au bleu de méthylène
$I_c$	indice de concassage
$h_b$	épaisseur de la couche de base en grave non traitée
$h_f$	épaisseur de la couche de fondation en grave non traitée
$\Delta h_f$	majoration d'épaisseur de la couche de fondation en grave non traitée
$E_{sup}$	enduit superficiel
BB	béton bitumineux
GE	grave-émulsion
GNT	grave non traitée
BC	béton de ciment
GH	graves traitées aux liants hydrauliques
GL	grave-laitier
GC	grave-ciment
SH	sables traités aux liants hydrauliques
SL	sable-laitier
SC	sable-ciment
GCV	grave-cendres volantes
CV	cendres volantes traitées

LTCC	limon traité à la chaux et au ciment
IPI	indice de portance immédiate
E	module de déformation
$R_f$	résistance à la flexion
$R_t$	résistance à la traction directe
h	épaisseur de l'assise traitée
$\Delta h$	majoration d'épaisseur de l'assise traitée

#### RELATIVES A LA TENUE AU GEL-DÉGEL

Indice de gel	somme (en °C × jours) des températures moyennes journalières négatives d'une période de gel
IA	indice de gel admissible de la chaussée
QS	quantité de gel admissible du sol gélif
$SG_x$	classe de sensibilité au gel : $SG_n$ non gélif $SG_p$ peu gélif $SG_t$ très gélif
$h_i$	épaisseur des différentes couches de chaussées
$h_n$	épaisseur des matériaux non gélifs du support
$h_p$	épaisseur des matériaux peu gélifs du support
Z	protection thermique apportée par les matériaux non gélifs des couches de chaussée et de couche de forme.



# INTRODUCTION

La conception des chaussées à faible trafic se caractérise par les aspects essentiels suivants :

1. La stratégie de dimensionnement n'est pas unique et peut varier selon les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvre (départements, communes, administrations diverses...);
2. Les études sont souvent réduites ;
3. Les matériaux sont des matériaux locaux de qualités et d'origines diverses ;
4. Les problèmes de gel-dégel ne revêtent pas l'importance qu'ils ont sur les routes à fort trafic.

Il résulte des caractères ci-dessus que ce Manuel ne peut définir des structures précalculées comme c'est le cas du Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves applicable aux routes nationales. Il fournit par contre, sous forme d'abaques, des règles de dimensionnement à partir des différents cas de trafics, de sols et de matériaux. Il pourra être complété à l'échelon régional par des guides régionaux dans lesquels ces règles générales seront appliquées aux conditions locales ; ces guides se présenteront sous une forme plus commodément utilisable par les maîtres d'œuvre.

Les caractères essentiels cités plus haut et qui ont conduit à l'élaboration de ce Manuel appellent quelques commentaires.

## 1. LA STRATÉGIE DE DIMENSIONNEMENT

Elle n'est pas unique et peut varier selon les maîtres d'ouvrage.

Certains maîtres d'ouvrage peuvent choisir une stratégie qui consiste à rechercher un investissement initial réduit que l'on vient compléter par un entretien approprié, voire par un renforcement de la chaussée à assez court terme.

Cette stratégie peut effectivement être intéressante dans certains cas, à la condition de retenir des structures souples utilisant notamment de la grave non traitée. Il faut cependant souligner qu'un tel choix implique de pouvoir intervenir effectivement au titre de l'entretien en temps voulu, c'est-à-dire avant que les dégradations des chaussées ne présentent un caractère grave ou irréversible.

Une autre solution consiste, au contraire de la précédente, à consentir un investissement initial plus important et à minimiser les dépenses d'entretien. Elle présente naturellement moins de risques mais nécessite des investissements plus élevés.

Le choix entre les différentes stratégies dépend dans une large mesure du mode de financement (budget, emprunt, subvention...) c'est-à-dire des financements disponibles pour la construction de la chaussée d'une part et pour son entretien ultérieur d'autre part.

Le Manuel donne des éléments susceptibles d'aider le projeteur dans ce choix entre les différentes stratégies.

## 2. LES ÉTUDES PRÉALABLES

Elles sont souvent exécutées rapidement, de façon parfois assez sommaire, notamment pour ce qui concerne les sols.

2.1. Le Manuel définit une méthode de caractérisation de la portance des sols, adaptée à ce type de projet, et qui s'accommode de différents niveaux d'études.

2.2. En ce qui concerne le trafic poids lourds, très souvent mal connu, on propose des méthodes permettant d'évaluer au mieux ce paramètre fondamental pour le dimensionnement des chaussées.

### 3. LES MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés ne sont pas toujours conformes aux Directives et Recommandations SETRA - LCPC puisque l'on recherche le plus souvent l'utilisation de matériaux locaux.

Les principes de classement, d'utilisation des matériaux et de dimensionnement proposés par ce Manuel sont les suivants :

- on définit des matériaux de référence en s'appuyant sur les textes techniques ou réglementaires (Directives et Recommandations SETRA - LCPC et Instruction provisoire relative aux granulats routiers de décembre 1977). On établit un dimensionnement de base pour ces matériaux de référence ;
- on définit ensuite, en dérogation à ces textes, d'autres qualités de matériaux en acceptant des écarts sur la qualité des constituants ou sur les performances finales du matériau élaboré ;
- on indique enfin, en fonction de ces écarts, le domaine d'utilisation des différents matériaux, leur dimensionnement et la couche de surface nécessaire à leur protection.

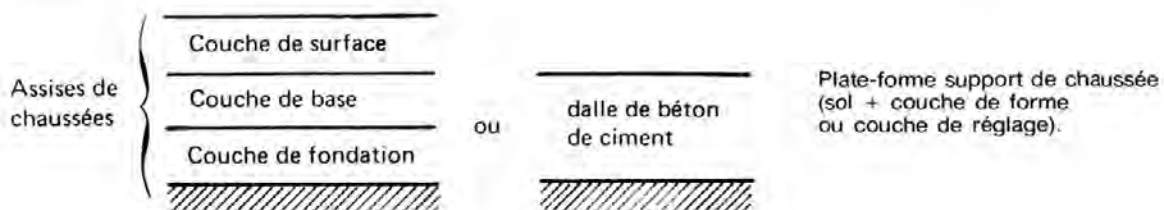
### 4. LE GEL

Les problèmes de gel-dégel ne revêtent pas généralement l'importance que l'on se doit de leur attacher sur les routes à fort trafic ; le Manuel ne préconise donc pas une protection systématique des chaussées contre le gel mais propose cependant une méthode simplifiée pour apprécier la tenue au gel-dégel de la chaussée.

L'utilisateur décidera en fonction du contexte local, et en connaissance de cause, si les risques encourus sont admissibles ou non.

Les ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux ou de drainage interne n'ont pas, sur ces routes, la même importance, en volume de travaux et en complexité, que sur un ouvrage neuf à fort trafic, il n'en reste pas moins que l'assainissement superficiel est nécessaire et que le drainage interne est souvent essentiel pour faciliter une bonne exécution des travaux et permettre un bon comportement ultérieur de la chaussée ; le Manuel donne donc quelques règles pratiques simples en la matière.

Pour les trafics visés et pour les différentes qualités de sols, le Manuel propose des structures simples composées de couches donc chacune est mise en place en une seule fois. La terminologie adoptée est la suivante :



Ces schémas appellent quelques commentaires :

- toutes ces couches n'existent pas toujours simultanément ;
- les structures de chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques, y compris le béton de ciment, ne comportent pas de couches de fondation non traitée ; on utilise, par contre, la grave naturelle dans la couche de forme ou en couche de réglage, cette dernière étant presque toujours nécessaire pour permettre le respect des épaisseurs de chaussées ;
- dans le cas de chaussées à assises non traitées, on peut également utiliser de la grave naturelle en couche de forme mais ces matériaux sont alors moins élaborés ou de moins bonne qualité.

# CHAPITRE 1

## TRAFIC

### 1. INTRODUCTION

Le trafic, et principalement le trafic lourd, constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. La prise en compte de ce paramètre, dans ce Manuel, se fait en conséquence à partir du trafic « poids lourds ».

Compte tenu du grand nombre de cas possibles résultant des différentes hypothèses de durée de service des chaussées et de taux de croissance du trafic que peut faire le projeteur, on caractérise le trafic par deux paramètres :

- t, lié au trafic à la mise en service, qui sera réparti en quatre classes,
- N, lié au trafic cumulé sur la durée choisie.

Le paramètre t intervient dans la conception de la structure (coefficient de sécurité, couche de surface) et dans les prescriptions sur les granulats; le paramètre N caractérise la durabilité de la chaussée et gouverne donc le choix de l'épaisseur des couches.

### 2. TRAFIC A LA MISE EN SERVICE (t)

L'intensité du trafic lourd et son agressivité sont souvent mal connues et cela est encore plus vrai sur les routes à faible trafic puisque l'on ne dispose en général pas d'études préalables sur la rentabilité de l'investissement ni de comptages systématiques.

Compte tenu de l'importance du paramètre trafic dans le dimensionnement des chaussées, on ne saurait qu'inciter les maîtres d'œuvre à réaliser les comptages nécessaires sur les voies existantes et à effectuer une étude de trafic dans la zone intéressée par le projet.

#### 2.1. DÉTERMINATION DU TRAFIC A LA MISE EN SERVICE

##### *Moyens de comptage*

Outre les moyens classiques de comptage du trafic (comptage du trafic total par tuyau pneumatique, comptage manuel par catégories de véhicules...) il existe maintenant des appareils légers et peu coûteux qui peuvent fournir des renseignements précis sur l'intensité du trafic lourd. Ces appareils, de conception simple, se déplacent facilement et permettent des mesures à des coûts limités, ce sont :

- un appareil utilisant un tuyau pneumatique et une boucle magnétique qui permet de compter, selon le réglage, les poids lourds de poids total autorisé supérieur à 3,5t ou les poids lourds de charge utile supérieure à 5 t ;
- un appareil utilisant un câble piézo-électrique qui permet de compter les essieux de poids supérieur à un seuil donné, éventuellement les poids lourds, et peut même fournir un histogramme simplifié des charges.

De façon à permettre l'utilisation des données provenant de ces différents moyens de comptage possibles, le trafic poids lourds pourra selon les cas être caractérisé à partir :

- du nombre de poids lourds de charge utile supérieure à 5 t,
- du nombre de poids lourds de poids total autorisé supérieur à 3,5t,
- du nombre d'essieux de charge supérieure à 9t,
- du trafic total tous véhicules.

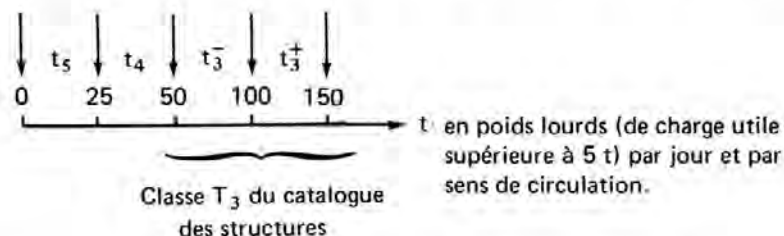
### Détermination du trafic moyen journalier annuel (MJA) à partir de comptages sur une courte période

Le temps disponible pour les études des projets de chaussées à faible trafic étant le plus souvent limité, il n'est pas toujours possible de réaliser des comptages pendant six semaines complètes, réparties sur toute une année, comme le veut la méthode classique ; le cas le plus fréquent est celui où l'on peut réaliser des comptages pendant une ou plusieurs semaines consécutives. Il faut alors dans certains cas effectuer des corrections sur le trafic ainsi évalué pour tenir compte des variations saisonnières connues (transport de betteraves, vendanges, vacances...) et des augmentations temporaires de trafic (déviation).

Les corrections nécessitent une analyse des causes des variations saisonnières, l'affectation d'un coefficient de variation par rapport au mois de la mesure et l'évaluation des augmentations temporaires de trafic.

## 2.2. CLASSES DE TRAFIC

Les quatre classes  $t_3^+$ ,  $t_3^-$ ,  $t_4$  et  $t_5$  sont définies à partir du trafic à la mise en service que l'on caractérise par un nombre  $t$ . Ce nombre est relatif à un sens de circulation, il est déterminé à partir des résultats des différents moyens de comptages, et est exprimé en nombre de poids lourds de charge utile supérieure à 5t.



- a) Les classes de trafic  $t_3^+$  et  $t_3^-$  recouvrent la classe du trafic  $T_3$  du Catalogue des structures types de chaussées neuves mais avec, dans ce Manuel, différents choix possibles pour la durée de service et le taux de croissance. Cette classe était trop « large » pour être utilisée dans le dimensionnement de chaussées aussi sensibles à la variation du trafic.
- b) A défaut d'information sur la répartition du trafic lourd par sens de circulation, on supposera le trafic équilibré dans les deux sens.
- c) Le trafic à prendre en compte est le trafic par sens de circulation pour les routes dont la largeur est supérieure à 6 m. Pour tenir compte du recouvrement des bandes de roulement, on prendra pour les routes de largeur inférieure à 5 m, le trafic dans les deux sens de circulation et, pour les largeurs comprises entre 5 et 6 m, les trois quarts du trafic dans les deux sens.
- d) Les très faibles trafics (0 à 10 poids lourds par jour) peuvent relever de solutions spécifiques, autres que celles indiquées dans le Manuel.

Le nombre  $t$  est déterminé en multipliant les résultats des différents moyens de comptage par un nombre  $k$  donné par le tableau I.

TABLEAU I

Résultat de la mesure	Valeur de k	
Nombre de poids lourds de charge utile supérieure à 5 t (par jour et par sens)	1	
Nombre d'essieux de charge supérieure à 9 t (par jour et par sens)	1	
Nombre de poids lourds de poids total autorisé supérieur à 3,5 t (par jour et par sens)	0,8	
Nombre total des véhicules (par jour et par sens)	> 1000	0,10
	500 - 1000	0,07
	< 500	0,05

Ce tableau permet également d'utiliser les résultats de comptages automatiques que l'on devra réaliser chaque fois que cela sera possible compte tenu de la plus grande fiabilité des résultats et de leur commodité d'emploi. Parmi ces données c'est le nombre d'essieux de charge supérieure à 9 t qui représente le mieux l'agressivité réelle du trafic. Le trafic total ne devra être choisi comme entrée que dans les cas où il n'est pas possible de disposer de renseignements plus précis.

Les correspondances entre les différentes entrées ont été établies à partir d'équivalences moyennes ; ces chiffres peuvent être localement adaptés si les données disponibles conduisent à des écarts significatifs.

### 3. TRAFIC CUMULÉ (N)

Il est caractérisé par un nombre N qui représente le nombre cumulé d'essieux standards pendant la durée de service choisie.

| Dans ce Manuel, le terme d'essieu standard désigne l'essieu de 13 t qui est l'essieu légal en France.

Le trafic cumulé N est déterminé en multipliant le trafic à la mise en service par un facteur de cumul C, et un facteur d'agressivité A.

$$N = t \times C \times A \times 10^3$$

où :

N représente le trafic cumulé exprimé en essieux standards,

t caractérise le trafic moyen journalier annuel (cf. § 2.2),

C est un facteur de cumul donné par le tableau II en fonction de la durée de service et du taux de croissance du trafic,

A est un facteur d'agressivité du trafic qui est fonction de la composition du trafic lourd. On adoptera les valeurs suivantes :

$$A = 0,8 \text{ en } t_1^2$$

$$A = 0,7 \text{ en } t_3$$

$$A = 0,5 \text{ en } t_4$$

$$A = 0,4 \text{ en } t_5$$

| Ces valeurs pourront dans certains cas être adaptées dans la mesure où l'on disposerait de renseignements sur la composition du trafic lourd (répartition des poids lourds entre les différentes silhouettes) et sur les charges à l'essieu.

TABLEAU II - Valeurs du facteur de cumul C.

Taux de croissance annuel (%)	Durée de service (ans)	5	10	15	20	25
		0	1,8	3,6	5,4	7,2
4		2,0	4,4	7,3	10,9	15,2
7		2,1	5,0	9,2	15,0	23,1
10		2,3	5,8	11,6	20,9	35,9

La détermination du trafic cumulé nécessite donc de choisir une durée de service et un taux de croissance : le choix de ces hypothèses appelle les deux commentaires suivants :

#### *Durée de service*

La durée de service est, pour des hypothèses moyennes (trafic réellement supporté, qualité de réalisation...), la période pendant laquelle on n'aura pas, en principe, à effectuer d'entretien structurel, les seules opérations nécessaires étant celles liées aux caractéristiques superficielles.

La durée de service est à choisir par le projecteur en fonction du trafic à la mise en service, de la localisation de la voie (zone urbaine ou rase campagne), de sa destination (itinéraire touristique par exemple) et du niveau de service que l'on souhaite offrir ou du niveau de risque que l'on s'est fixé.

Comme cela est indiqué dans l'introduction et développé au chapitre 7, le choix de cette durée correspond en fait au choix d'une stratégie de dimensionnement qui doit se faire en considérant toutes ses implications (possibilités de financement pour construire la chaussée et réaliser l'entretien ultérieur, nécessité de suivre l'évolution des chaussées quand cette durée est courte...)

On conseille en pratique d'appliquer les principes généraux suivants :

- durée dans tous les cas supérieure à cinq ans,
- durée supérieure à dix ans pour les classes de trafic  $t_3^+$  et  $t_3^-$ ,
- durée supérieure à quinze ans (vingt ans en  $t_3^+$  et  $t_3^-$ ) si l'on envisage d'utiliser des matériaux traités aux liants hydrauliques,
- durée supérieure à vingt ans dans les cas où l'on veut limiter l'entretien ou assurer un bon niveau de service (voirie urbaine, itinéraire touristique...).

Compte tenu des propriétés des matériaux traités aux liants hydrauliques, on verra plus loin qu'avec ce type de matériau un objectif de longue durée peut être atteint par une faible surépaisseur et donc pour un faible coût marginal.

#### *Taux de croissance*

Le tableau II permet de retenir un taux géométrique de croissance pouvant aller de 0 à 10 %. Il n'est pas facile d'évaluer ce taux mais on pourra dans certains cas utiliser des données régionales sur l'évolution du trafic ou raisonner à partir de considérations sur les conditions d'exploitation. Dans les cas où l'on ne disposera pas d'informations sur l'évolution probable du trafic, on retiendra de préférence un taux de 4 %.

Dans l'hypothèse où le taux de croissance prendrait plusieurs valeurs pendant la durée choisie, on utilisera successivement le tableau II pour les différentes périodes et les différents taux.

## CHAPITRE 2

# PLATE-FORME SUPPORT DE CHAUSSÉE

### 1. PRÉAMBULE

1.1. Les chaussées reposent sur la plate-forme support de chaussée, constituée du sol terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme ou d'une couche de réglage.

Dans ce Manuel, l'expression « plate-forme support de chaussée » sera condensée dans le mot « plate-forme ».

1.2. La plate-forme est caractérisée par *son état de portance à long terme, c'est-à-dire sous la chaussée en service.*

La portance du support de la chaussée dépend du sol dans son environnement hydrique et des améliorations qui peuvent lui être apportées par les travaux d'assainissement ou par un traitement adapté (chaux, ciment) et par la présence d'une couche de forme.

La couche de forme joue, suivant les cas, un ou plusieurs des rôles suivants :

- réglage convenable des couches de chaussée,
- amélioration de la portance,
- protection des sols contre les intempéries,
- homogénéisation de la portance du support qui permet donc de concevoir des chaussées d'épaisseurs constantes,
- protection thermique des sols.

La portance des sols est appréciée à partir des résultats de la reconnaissance géotechnique.

La portance des plates-formes est ensuite déterminée en tenant compte des améliorations projetées (assainissement, traitement, apport d'une couche de forme).

1.3. Le paragraphe 4 fournit ensuite des indications sur les améliorations de portance nécessaires pour réaliser les chaussées dans de bonnes conditions ainsi que les différents moyens de vérification de la qualité de la plate-forme.

### 2. PORTANCE DES SOLS

#### 2.1. ECHELLE DE PORTANCE

Pour classer les sols en fonction de leur portance, on utilise l'échelle définie par le tableau III ; cette classification sera ensuite également utilisée pour les plates-formes.

Les différentes classes sont dans un premier temps définies de façon qualitative ; on indiquera plus loin des critères quantitatifs adaptés aux différents types de sols.

**TABLEAU III - Echelle de portance**

Portance (P)	Caractéristiques
0	<p><b>SOLS TRÈS DÉFORMABLES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il s'agit très fréquemment de sols fins argileux saturés et à faible densité sèche en place, éventuellement de sols spéciaux (tourbes par exemple).</li> <li>• Ces sols sont incompactables et toute circulation de chantier y est impossible.</li> </ul>
1	<p><b>SOLS DÉFORMABLES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ce sont généralement les sols classés <b>A, B</b> ou <b>C</b> à teneur en eau élevée.</li> <li>• De faibles variations de teneurs en eau peuvent néanmoins leur conférer des qualités de portance assez différentes, d'où la distinction entre 1 et 2.</li> <li>• Ces sols sont de réglage difficile et peuvent être sujets au matelassage.</li> </ul>
2	
3	<p><b>SOLS PEU DÉFORMABLES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il s'agit le plus souvent de sols fins ou de matériaux graveleux à forte proportion de fines (<b>A, B</b> ou <b>C</b>) dont la teneur en eau varie de moyenne à faible.</li> </ul>
4	<p><b>SOLS TRÈS PEU DÉFORMABLES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il s'agit généralement des matériaux insensibles à l'eau (<b>D</b> essentiellement).</li> </ul>

**TABLEAU IV - Définition des classes : caractères généraux.**

Classe	Dénomination	Critères caractéristiques	Exemples	Commentaires
<b>A</b>	Sols fins.	Diamètre des plus gros éléments < 50 mm. Tamisat à 80 µm > 35%	Silts, limons, argiles, etc.	Tous les sols des classes A, B et C, même non plastiques (silts, sables très fins) sont sensibles à l'eau, cette sensibilité étant considérée dans l'optique de l'exécution des terrassements (traficabilité, compactage) et du comportement des plates-formes.
<b>B</b>	Sols sableux ou graveleux avec fines.	Diamètre des plus gros éléments < 50 mm. Tamisat à 80 µm entre 5 et 35%.	Sables et graves argileux, etc.	La différence entre les classes A et B est dans le pourcentage de fines, d'où des différences de sensibilité à l'eau (plus ou moins long temps de réponse aux variations des conditions météorologiques) et de comportement mécanique (frottement, cohésion).
<b>C</b>	Sols comportant des fines et des gros éléments.	Diamètre des plus gros éléments > 50 mm. Tamisat à 80 µm > 5%.	Argiles à silex alluvions grossières, etc.	La différence principale entre les classes B et C concerne les gros éléments : présence de cailloux et de blocs dans les sols de la classe C, d'où : — emploi possible ou non selon la classe de certains outils de terrassement, — difficulté, pour les sols C, de réglage des plates-formes, d'exécution des tranchées...
<b>D</b>	Sols et roches insensibles à l'eau.	Tamisat à 80 µm < 5%.	Sables et graves propres, matériaux rocheux sains, etc.	L'insensibilité à l'eau est considérée dans l'optique de l'exécution des terrassements : effet négligeable des conditions météorologiques sur la qualité des ouvrages réalisés.
<b>E</b>	Roches évolutives.	Fragilité et altérabilité définies par des essais dépendant de la nature des matériaux.	Craies, schistes, etc.	Matériaux évoluant pendant les travaux ou par la suite vers un sol sensible à l'eau ou vers une structure différente pouvant entraîner des tassements.
<b>F</b>	Matériaux putrescibles, combustibles, solubles ou polluants.	Critères caractéristiques dépendant de la nature des matériaux.	Tourbe, schistes houillers, gypse, résidus industriels polluants, etc.	Lorsqu'ils sont utilisables, ces matériaux doivent l'être dans les conditions applicables à la classe A, B, C ou E à laquelle ils se rattachent d'après leurs caractéristiques granulométriques ou éventuellement leur caractère de roche évolutive.

Des matériaux exceptionnels possédant les qualités d'une couche de fondation ont une portance P égale à 5 (sols très peu déformables). Une couche de forme traitée aux liants hydrauliques d'épaisseur suffisante peut aussi permettre de conférer au support une portance égale à 5.



## 2.2. DÉTERMINATION DE LA PORTANCE DES SOLS

L'identification des sols se fait à partir de sondages dont la fréquence dépend de la complexité du site.

Le sol doit être considéré sur une épaisseur de 0,80 m au moins, non compris la couche de forme éventuelle.

Le niveau de référence est l'arase des terrassements, mais cela ne préjuge pas de la profondeur à laquelle les sondages doivent être effectués puisque la ligne rouge n'est pas encore connue et que les sondages peuvent avoir d'autres objectifs (sols compressibles, stabilité de déblais par exemple).

Les sols mis en évidence par les sondages sont regroupés en familles de sols qui doivent présenter un comportement comparable en fonction des variations de teneur en eau.

Le regroupement des sols en familles s'effectue dans ce Manuel en utilisant la classification proposée par la Recommandation pour les terrassements routiers (SETRA-LCPC, 1976) qui est présentée dans les tableaux IV et V.

TABLEAU V - Définition des sous-classes.

Sols fins. <b>A</b>	D < 50 mm Tamisat à 80 µm > 35%	$I_p < 10$		A <sub>1</sub>	
		$10 < I_p < 20$		A <sub>2</sub>	
		$20 < I_p < 50$		A <sub>3</sub>	
		$I_p > 50$		A <sub>4</sub>	
Sols sableux et graveleux avec fines. <b>B</b>	D < 50 mm Tamisat à 80 µm entre 5 et 35%	Tamisat à 80 µm de 5 à 12%	Refus à 2 mm inférieur à 30%	ES > 35	B <sub>1</sub>
			Refus à 2 mm supérieur à 30%	ES < 35	B <sub>2</sub>
				ES > 25	B <sub>3</sub>
			ES < 25	B <sub>4</sub>	
		Tamisat à 80 µm de 12 à 35%	$I_p < 10$		B <sub>5</sub>
			$I_p > 10$		B <sub>6</sub>
Sols comportant des fines et des gros éléments. <b>C</b>	D > 50 mm Tamisat à 80 µm > 5%	Tamisat à 80 µm élevé			C <sub>1</sub>
		Tamisat à 80 µm faible	D < 250 mm		C <sub>2</sub>
			D > 250 mm		C <sub>3</sub>
Sols et roches insensibles à l'eau. <b>D</b>	Tamisat à 80 µm < 5%	D < 50 mm	Refus à 2 mm inférieur à 30%	D <sub>1</sub>	
			Refus à 2 mm supérieur à 30%	D <sub>2</sub>	
		50 mm < D < 250 mm			D <sub>3</sub>
		D > 250 mm			D <sub>4</sub>
Roches évolutives. <b>E</b>	Matériaux à structure fine, fragile avec peu ou pas d'argile. Matériaux à structure grossière, fragile avec peu ou pas d'argile. Matériaux évolutifs argileux.	NON CONSIDERES DANS CE DOCUMENT			E <sub>1</sub>
					E <sub>2</sub>
					E <sub>3</sub>
Matériaux putrescibles, combustibles, solubles ou polluants. <b>F</b>					F

### 2.2.1. Plage vraisemblable de la portance des sols

L'identification géotechnique permet de différencier les sols suivant leur sensibilité à l'eau. Elle n'est pas toujours suffisante pour attribuer un niveau de portance.

On a indiqué dans le tableau VI les plages de portance auxquelles conduit l'identification. En l'absence d'études plus fines, on retient la valeur inférieure de la plage.

TABLEAU VI - Plage de portance des sols.

Classification géotechnique du sol	Plage de portance	Commentaires Etudes permettant d'affiner le niveau de portance
<b>A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, C<sub>1</sub></b>	0 - 3	Sols sensibles ou très sensibles à l'eau.
<b>B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub></b>	1 - 3	Il est conseillé de s'appuyer sur une étude proctor-CBR (cf. § 2.2.2).
<b>A<sub>4</sub></b>	1 - 2	Sols très plastiques.
<b>B<sub>1</sub>, D<sub>1</sub></b>	1 - 4	Niveau de portance en général égal à 3 si le degré de saturation est inférieur à 50%. Niveau de portance égal à 0 si le sol baigne dans la nappe.
<b>B<sub>3</sub> D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub></b>	3 - 4	Niveau 4 si $EV_2^* > 120$ MPa.
<b>C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub></b>	1 - 3	Sols se prêtant mal aux mesures; la portance dépend des contacts possibles entre gros éléments.
* Essai à la plaque, LCPC.		

### 2.2.2. Cas des sols sensibles à l'eau

Dans le cas des sols sensibles à l'eau, il convient de préciser le niveau de portance à partir d'essais faisant intervenir la teneur en eau.

Différentes approches sont possibles selon le niveau des études, lequel doit être adapté à la connaissance du site et à la taille du chantier.

a) L'utilisation des résultats d'études antérieures, effectuées sur des sols de la même famille, peut parfois suffire à préciser la portance.

b) Dans les autres cas, il faut étudier la variation de la portance en fonction de la teneur en eau (étude proctor, poinçonnement CBR), faire des hypothèses sur cette teneur en eau et déterminer une valeur caractéristique du CBR. On se ramène alors à l'échelle de portance en utilisant le tableau VII.

TABLEAU VII  
Portance des sols  
sensibles à l'eau.

Portance	CBR immédiat
0	CBR < 3
1	3 < CBR < 6
2	6 < CBR < 10
3	10 < CBR < 20
4	20 < CBR

b. 1) En l'absence de renseignements sur la teneur en eau d'équilibre à long terme, on pourra souvent supposer le sol à sa teneur en eau de plasticité et retenir la valeur du poinçonnement CBR (sans imbibition) à une densité égale à 95% de la densité à l'OPN ( $\gamma_{OPN}$ ) et à une teneur en eau égale à sa limite de plasticité ( $w_p$ ).

La densité de 95% de  $\gamma_{OPN}$  a été choisie car elle constitue la valeur de référence fréquemment visée sur les chantiers; d'autres références sont utilisables et notamment celles faisant appel à l'essai proctor modifié.

b. 2) Il peut être intéressant, notamment pour les chantiers importants, de se fonder sur une étude proctor-CBR plus complète pour apprécier la portance du sol et ses risques de variation.

Cette étude permet de déterminer :

- les relations entre la teneur en eau et la densité sèche pour diverses énergies de compactage et en particulier pour l'énergie conventionnelle dite énergie proctor normal,
- les relations entre le CBR et la teneur en eau pour les différentes énergies ; on en déduit la relation entre le poinçonnement CBR et la teneur en eau pour une densité de référence, le plus souvent 95 % de la densité à l'OPN.

L'appréciation de la teneur en eau sur le terrain et de ses variations permet de retenir une valeur du CBR et d'évaluer les risques de variations autour de la valeur retenue.

Il faut être conscient que l'appréciation des variations de la teneur en eau d'un sol au cours d'un cycle annuel est délicate ; elle exige le concours de gens d'expérience et, autant que possible, des campagnes de mesure sur le site dont la durée peut dépasser l'année.

### 3. DÉTERMINATION DE LA PORTANCE DES PLATES-FORMES

La portance des plates-formes est fonction de la portance du sol et des améliorations susceptibles d'avoir un effet à long terme.

#### 3.1. ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE

Lorsqu'un assainissement efficace est assuré tout au long de la vie de la chaussée et que le sol est susceptible de s'essorer, la portance du support est augmentée d'un point.

Les sols susceptibles de s'essorer sont en particulier les sols **A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>**.

#### 3.2. COUCHES DE FORME

Le choix de la couche de forme se fait essentiellement en fonction des impératifs de chantier ; on donnera au paragraphe 4 quelques indications permettant de guider ces choix.

Le tableau VIII permet d'apprécier l'effet d'une couche de forme sur la portance de la plate-forme à long terme.

TABLEAU VIII - Portance des plates-formes.

Nature et épaisseur de la couche de forme	Gain en portance
Couche de réglage	néant
Couche de forme d'épaisseur <ul style="list-style-type: none"><li>● supérieure à 20 cm : matériaux traités au ciment.</li><li>● supérieure à 30 cm : matériaux non traités ou matériaux traités à la chaux.</li></ul>	+ 1
Couche de forme d'épaisseur <ul style="list-style-type: none"><li>● supérieure à 35 cm : matériaux traités au ciment.</li><li>● supérieure à 50 cm : matériaux non traités ou traités à la chaux.</li></ul>	+ 2

Si la couche de forme est constituée de matériaux non traités, la portance à long terme ne peut pas dépasser la portance du matériau utilisé en couche de forme.

## 4. RÉALISATION DU CHANTIER

### 4.1. CHOIX DE LA COUCHE DE FORME

On a indiqué au paragraphe 3 comment tenir compte de la présence de la couche de forme dans la détermination de la portance de la plate-forme. Mais le choix de cette couche de forme doit être fait avant tout en fonction des impératifs de réalisation du chantier. On rappelle que sur des sols de faible portance, le recours à une couche de forme est nécessaire pour permettre de réaliser des couches de chaussée dans des conditions acceptables.

Sans proposer dans ce Manuel une méthode de dimensionnement des couches de forme, on donne ci-après quelques indications sur les choix possibles en fonction de la portance des sols lors de l'exécution du chantier.

On distinguera par la suite :

- les couches de forme *épaisses* : plus de 80 cm de matériaux non traités ou plus de 60 cm de matériaux traités à la chaux ou plus de 40 cm de matériaux traités au ciment,
- les couches de forme *moyennes* : plus de 40 cm de matériaux non traités ou plus de 30 cm de matériaux traités à la chaux, ou plus de 20 cm de matériaux traités au ciment,
- les couches de forme *minces* : plus de 20 cm de matériaux non traités, ou plus de 20 cm de matériaux traités à la chaux.

Un géotextile peut contribuer à l'amélioration de la portance en évitant la contamination d'une couche de forme non traitée ; il contribue dans certains cas à faciliter l'exécution des travaux.

A moins d'être exécutés suffisamment tôt, les travaux d'assainissement n'apportent pas d'amélioration notable de la portance au moment des travaux.

Le tableau IX donne en fonction de la portance estimée du sol au moment des travaux le type de couche de forme à retenir au projet.

TABLEAU IX - **Choix de la couche de forme.**

Portance du sol (au moment des travaux)	Couche de forme pour chaussée en grave hydraulique	Couche de forme dans les autres cas
0	épaisse	moyenne
1	moyenne	mince
2	mince	néant
3	néant	néant

Cette portance des sols dépend des conditions climatiques qui ont précédé le chantier. Au stade du projet on devra prévoir l'épaisseur nécessaire de couche de forme à partir d'hypothèses raisonnables sur la période d'exécution du chantier et sur les conditions d'exécution (trafic de chantier, drainage préalable), ce qui conduira le plus souvent à se placer dans des conditions défavorables.

On pourra estimer la portance des sols à partir des résultats de l'essai proctor-CBR.

L'approche pourra en particulier consister :

- à réaliser l'essai à la teneur en eau constatée sur les sondages (teneur en eau naturelle),
- à corriger le résultat obtenu P pour tenir compte de la représentativité de cette teneur en eau, conformément au tableau X.

**TABLEAU X - Portance des sols au moment des travaux.**

Type de sol	Sondage non représentatif (effectué en période favorable)	Sondage représentatif (effectué en période défavorable)
Peu sensible ou peu sujet aux variations de la teneur en eau <b>A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, C<sub>1</sub></b>	P - 1	P
Sensible ou sujet aux variations de la teneur en eau <b>A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub></b>	P - 2	P

#### 4.2. VÉRIFICATION AU MOMENT DES TRAVAUX

Le maître d'œuvre vérifie au moment de l'exécution des travaux les hypothèses retenues lors de l'établissement des projets :

- identification des sols (nature et état)
- degré de saturation,
- portance à la réalisation du chantier.

L'exécution des couches de chaussée nécessite que la portance de la plate-forme soit adaptée à la technique de chaussée choisie.

Suivant l'importance du chantier et la nature du matériau de la plate-forme, on pourra utiliser l'une des techniques données dans le tableau XI.

**TABLEAU XI - Techniques de réception.**

	Technique de réception	Seuils	
		Chaussées en graves traitées (GH)	Autres cas
Densité	Gammadensimètre	$\gamma_d > \gamma_{OPN} \times 95\%$ éventuellement $\gamma_d > \gamma_{OPN} \times 90\%$	
	Densitomètre à membrane		
Portance	Restitution dynaplaque R	R > 50%	R > 45%
	Module à la plaque EV <sub>2</sub>	EV <sub>2</sub> > 50 MPa	EV <sub>2</sub> > 40MPa
	Déflexion Benkelmann	200 mm/100	250 mm/100
	Déflexion au déflectographe		

| Ces critères ne sont pas nécessairement équivalents ; ils ne sont donnés qu'à titre indicatif.

## CHAPITRE 3

# CHAUSSÉES A ASSISES NON TRAITÉES

### 1. INTRODUCTION

Ce chapitre contient les règles d'utilisation des matériaux non traités, c'est-à-dire la définition des qualités possibles de matériaux en fonction du trafic, puis les règles pratiques de dimensionnement.

La conception des structures de chaussées à assises non traitées repose sur les principes généraux suivants :

- ces structures comportent une couche de base et éventuellement une couche de fondation en matériaux non traités, revêtues d'une couche de surface en enduits superficiels ou en enrobés bitumineux ; sont également définies des structures à couche de base en grave émulsion sur fondation non traitée,
- les critères de caractérisation et de classement des matériaux sont établis par rapport à l'Instruction provisoire relative aux granulats routiers (circulaire du 26.12.1977) et à la Recommandation SETRA-LCPC pour la réalisation des assises de chaussées en graves non traitées (mai 1974) et à son complément (décembre 1980),
- les qualités possibles des matériaux utilisés en couche de base et en couche de fondation sont liées au trafic à la mise en service et à la couche concernée,
- le dimensionnement des assises est fonction du trafic cumulé, de la portance du support ainsi que de la qualité de la grave.

Ce chapitre ne contient pas de spécifications sur la fabrication et sur la mise en œuvre des graves non traitées. On veillera bien sûr à la qualité de la réalisation et on pourra pour cela se référer utilement aux conseils et spécifications contenus dans la Recommandation pour la réalisation de chaussées en graves non traitées, et ce notamment en ce qui concerne le compactage qui est un facteur déterminant.

### 2. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX NON TRAITÉS

La mise en œuvre d'une chaussée dans de bonnes conditions et son bon comportement supposent que différents critères soient satisfaits et notamment :

- que la plate-forme ne soit pas trop déformable, particulièrement au moment des travaux ;
- que les matériaux soient de qualité et puissent subir sans dommages les effets du trafic.

On définira donc différentes qualités de matériaux et on précisera les possibilités d'utilisation en fonction du niveau de trafic et du rôle de la couche de chaussée (base ou fondation).

#### 2.1. CRITÈRES DE DÉFORMABILITÉ DE LA PLATE-FORME

Il faut prévoir des solutions d'amélioration (couche de forme), chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est inférieure à 2 ; les améliorations nécessaires sont indiquées au chapitre 2.

#### 2.2. QUALITÉ DES MATÉRIAUX

Le choix des matériaux est guidé par le souci d'obtenir des couches stables, résistant bien aux charges répétées. Cela conduit à classer les différentes graves non traitées en trois catégories, cette définition étant complétée par des spécifications pour les différentes utilisations possibles.

### 2.2.1. Catégories de grave non traitée

Les trois catégories envisagées sont notées 1, 2, 3 par ordre décroissant de qualité ; ce classement en catégories s'appuie sur la forme de la courbe granulométrique (fuseau de spécification - fig. 1) et sur la propreté de la grave (tableau XII).

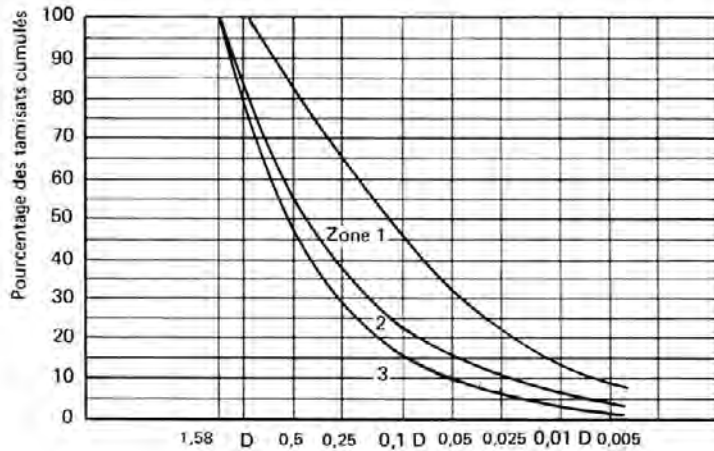


Fig. 1  
Forme du fuseau de spécification.  
Grave 0/D.

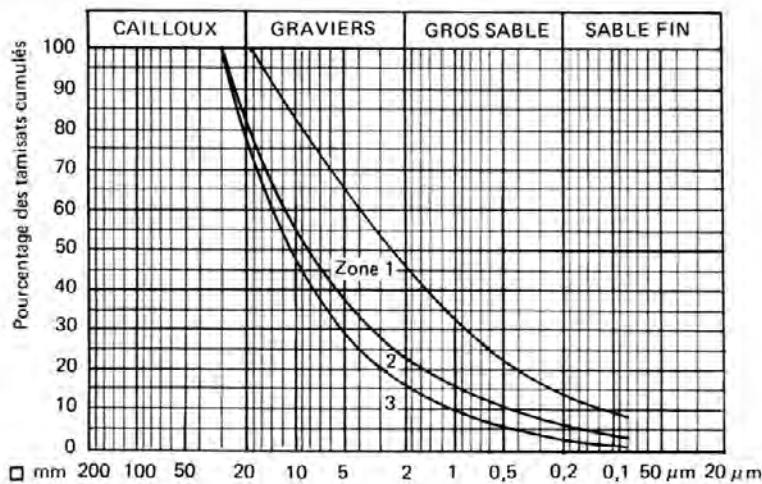


Fig. 2  
Exemple : grave 0/20.

TABLEAU XII - Catégories de grave non traitée.

Propreté	Forme du fuseau de spécification		
	1	2	3
$50 \leq ES\ 10\%$	1	2	3
$40 \leq ES\ 10\% < 50$	2	2	3
$35 \leq ES\ 10\% < 40$	3	3	3

La stabilité est obtenue en utilisant des courbes granulométriques conduisant à une compacité élevée, ce qui nécessite de maîtriser la forme, la régularité et l'homogénéité des courbes.

Le maintien de cette stabilité en présence d'eau nécessite de se fixer des seuils de propreté des sables.

#### Forme du fuseau de spécification

Les fuseaux de spécification des différentes graves ont été définies sur la figure 1.

Il apparaît trois zones sur la figure :

- si la courbe granulométrique est entièrement contenue dans la zone 1, la courbe considérée est de forme 1 ;
- elle est de forme 2 si elle est entièrement contenue dans les zones 1 et 2 ;
- elle est de forme 3 dans les autres cas.

La figure 2 fournit un exemple courant d'application, celui d'une grave 0/20.

### Propreté des sables (ES 10%)

Elle est mesurée selon la norme NF P 18.597 : équivalent de sable sur la fraction 0/2 avec 10% de fines.

Dans le cas où les valeurs du tableau XII ne sont pas respectées, on pourra apprécier la nocivité des fines par l'essai d'absorption au bleu de méthylène ; la valeur au bleu VB devra alors respecter les seuils suivants :

- catégorie 1 :  $VB \leq 1,5$ ,
- catégories 2 et 3 :  $VB \leq 2$ .

### 2.2.2. Spécifications relatives aux différentes catégories de grave non traitée

Ces spécifications sont définies par les tableaux XIII, XIV et XV. Elles se fondent sur deux considérations : l'importance du trafic et le rôle de la couche (base ou fondation). Cela conduit à des exigences complémentaires sur les granulats : homogénéité, résistance mécanique, frottement interne.

#### Homogénéité en granularité

Pour les fortes sollicitations, compte tenu des risques de ségrégation et des difficultés de réglage, on a limité la taille des plus gros éléments. Il faut à ce sujet souligner l'intérêt du procédé consistant à humidifier les graves à leur teneur en eau de compactage dès leur reconstitution, en carrière ou sur aire de stockage (graves recomposées humidifiées GRH) ; leur emploi est conseillé en couche de base en  $t_3^+$  et  $t_3^-$ .

#### Résistance mécanique des gravillons

La fragilité des granulats et leur résistance à l'attrition sont évaluées par l'essai Los Angeles et l'essai micro-Deval en présence d'eau (LA et MDE). On a distingué quatre classes de résistance mécanique définies par les limites suivantes (par ordre décroissant de qualité).

- 1 :  $LA < 25$  et  $MDE < 20$
- 2 :  $LA < 30$  et  $MDE < 25$
- 3 :  $LA < 40$  et  $MDE < 35$
- 4 :  $LA < 50$  et  $MDE < 45$

Compte tenu des règles de compensation admissible, ces classes sont représentées sur la figure 3 en tolérant un écart maximal de 5 points par rapport aux valeurs de base.

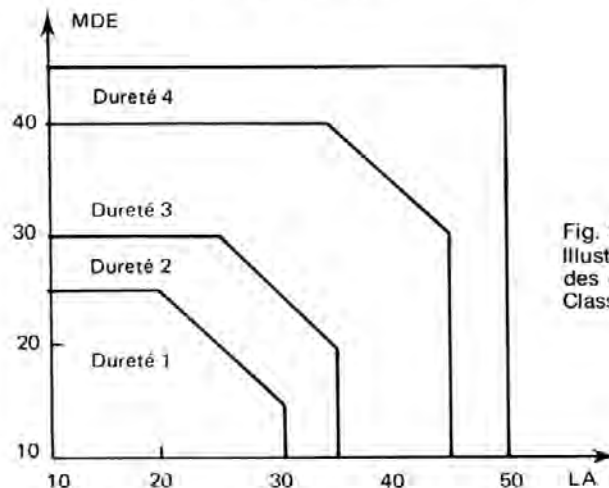


Fig. 3  
Illustration de la règle des compensations.  
Classes de dureté.

#### Frottement interne

On fait dans certains cas intervenir l'indice de concassage, la forme des granulats et l'indice de plasticité (ou la valeur au bleu VB).

##### ● Indice de concassage

Les seuils considérés sont les suivants :

$$\begin{aligned} I_c &= 100 \\ 60 &\leq I_c < 100 \\ 30 &\leq I_c < 60 \\ I_c &< 30 \end{aligned}$$

Ce paramètre n'intervient que dans la définition des spécifications pour l'utilisation dans les catégories 1 et 2.

##### ● Forme des granulats

Elle est appréciée par le coefficient d'aplatissement qui doit être inférieur à 30 pour les graves de catégorie 1.

Le coefficient d'aplatissement est mesuré sur la fraction 4/D par le pourcentage d'éléments pour lesquels le rapport de la grosseur à la plus petite dimension est supérieur à 1,58.



• Qualité des fines

Pour les graves de catégorie 3 et si l'essai au bleu de méthylène n'a pas été réalisé, on appréciera la qualité des fines par l'indice de plasticité ; les seuils considérés sont les suivants :

$$I_p \text{ non mesurable}$$

$$I_p \leq 6$$

$$I_p \leq 15$$

⌋ Ce Manuel ne fait pas référence au projet de norme AFNOR P 18-321 mais les seuils retenus sont néanmoins compatibles avec ce projet.

TABLEAU XIII - Spécifications pour utilisation en catégorie 1.

	Base		Fondation	
Catégorie de la grave	<b>1</b>			
Classe de trafic	$t_3^+ - t_3^-$	$t_4 - t_5$	$t_3^+ - t_3^-$	$t_4 - t_5$
Dimension de la grave	0/20	0/20	0/31,5	0/31,5
Dureté	1	$\leq 2$	$\leq 2$	$\leq 3$
Indice de concassage	100	$\geq 60$	$\geq 60$	$\geq 30$
Coefficient d'aplatissement	$\leq 30$	$\leq 30$	$\leq 30$	$\leq 30$

⌋ Une grave de catégorie 1 qui ne satisfait pas à toutes ces spécifications peut satisfaire à celles relatives aux catégories 2 ou 3.

TABLEAU XIV - Spécifications pour utilisation en catégorie 2.

	Base		Fondation		
Catégorie de la grave	<b>2</b>				
Classe de trafic	$t_3^+ - t_3^-$	$t_4 - t_5$	$t_3^+ - t_3^-$	$t_4$	$t_5$
Dimension de la grave	X	0/20	0/20 0/31,5	0/31,5 0/40	0/31,5 0/40 0/60
Dureté		1	$\leq 2$	$\leq 3$	$\leq 3$ $\leq 4$
Indice de concassage		$\geq 60$	$\geq 30$	$\geq 30$	

⌋ Une grave de catégorie 2 qui ne satisfait pas toutes ces conditions d'utilisation peut satisfaire aux spécifications pour utilisation en catégorie 3.

TABLEAU XV - Spécifications pour utilisation en catégorie 3.

	Base		Fondation		
Catégorie de la grave	<b>3</b>				
Classe de trafic	$t_3^+ - t_3^- - t_4$	$t_5$	$t_3^+ - t_3^-$	$t_4$	$t_5$
Dimension de la grave	X	0/20 0/31,5 0/40 0/60 0/D d/D	0/31,5 0/40	0/31,5 0/40 0/60	0/31,5 0/40 0/60 0/D*
Dureté		$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 4$
Indice de plasticité		$I_p \leq 6$	$I_p \leq 6$	$I_p \leq 6$	$I_p \leq 15$

\* Les granulats d/D sont exclus en couche de fondation, compte tenu des risques de pollution.

### 3. DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement de la chaussée est effectué en trois étapes :

- le choix de la couche de surface et de son épaisseur,
- le choix de la couche de base,
- le dimensionnement de la couche de fondation.

La première étape fait intervenir le trafic à la mise en service et la durée de service choisie.

La deuxième et la troisième étape utilisent le trafic cumulé et la catégorie des matériaux de couche de base et de couche de fondation.

#### 3.1. COUCHE DE SURFACE

Les bétons bitumineux utilisés doivent être adaptés au support déformable constitué par la grave non traitée. On doit donc utiliser des formules souples.

Cet objectif peut être atteint en intervenant sur la dureté du bitume et/ou en augmentant la teneur en mortier par rapport aux enrobés habituellement utilisés sur routes à fort trafic.

Ces modifications ne devront toutefois pas se faire aux dépens de la résistance à l'orniérage et des caractéristiques antidérapantes dont le niveau devra rester compatible avec celui du trafic ; on rappelle à ce propos que les exigences sur les granulats sont définies dans la circulaire 77.186 du 26 décembre 1977 (granulats durs présentant une bonne résistance au polissage).

Le choix de la couche de surface est fait à l'aide du tableau XVI.

TABLEAU XVI — Choix de la couche de surface.

Classe de trafic	Durée de service courte ou risque admis grand	Durée de service longue
$t_5$ $t_4$ $t_3$ $t_2$	$E_{sup}$ $E_{sup}$ $E_{sup}$ ou 4 à 5 BB* 6 à 8 BB*	$E_{sup}$ 6 à 8 BB* 10 BB 12 BB
* L'épaisseur est à choisir en fonction des expériences locales et du profil de la couche de base.		

Il est souvent intéressant de différer de six mois à un an la pose du tapis d'enrobés en réalisant un enduit en première phase de façon à attendre que les premières adaptations de la structure se soient produites.

#### 3.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE NON TRAITÉE

Le dimensionnement est effectué à partir :

- du trafic cumulé (N) déterminé au chapitre 1,
- de la portance de la plate-forme à long terme (P) déterminée au chapitre 2,
- de la catégorie des matériaux de couche de base et de couche de fondation (1/1, 1/2, 1/3, 2/2, 2/3, ou 3/3). Ces catégories ont été déterminées au paragraphe 2.2. de ce chapitre,
- de la nature du revêtement (enduit, enrobé) choisi en utilisant le tableau XVI.

##### 3.2.1. Couche de base ( $h_b$ )

Le dimensionnement est fait par application du tableau XVII.

TABLEAU XVII - Dimensionnement de la couche de base.

Trafic cumulé N	$< 10^5$	$\geq 10^5$
Epaisseur de la couche de base $h_b$ (cm)	15	20

Dans le cas de supports exceptionnels ( $P = 5$ ) on adoptera dans tous les cas  $h_b = 15$  cm si la couche de surface est en béton bitumineux.

### 3.2.2. Couches de fondation ( $h_f$ )

Le dimensionnement est lu sur la figure 4.

— le trafic cumulé N et la portance P de la plate-forme permettent de lire sur la figure 4 l'épaisseur  $h_f$  de la couche de fondation dans le cas où les matériaux de couche de base et de couche de fondation sont de catégorie 1 (1/1).

— pour d'autres catégories (1/2, 1/3, 2/2, 2/3, et 3/3), il faut majorer l'épaisseur  $h_f$  ainsi trouvée, d'une valeur  $\Delta h_f$  également lue sur la figure 4.

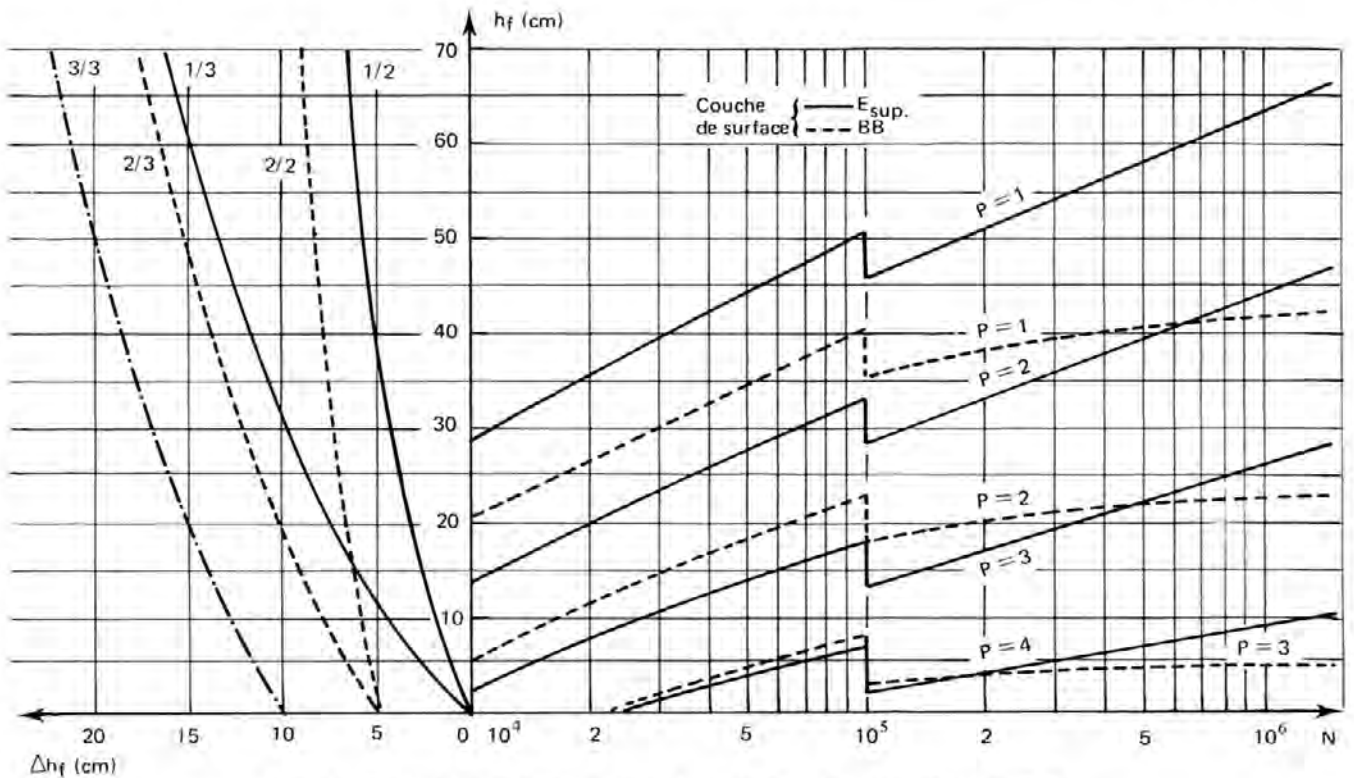


Fig. 4 - Détermination de l'épaisseur de la couche de fondation (base GNT)

- lire  $h_f$  en fonction de N (cas 1/1)
  - lire  $\Delta h_f$  en fonction de  $h_f$  (autres cas)
  - l'épaisseur est donnée par  $h_f + \Delta h_f$ .
  - si  $h_f + \Delta h_f < 10$  cm, on l'intègre à la couche de base.
- (i/j signifie couche de base de catégorie i sur couche de fondation de catégorie j).

## 4. UTILISATION DE GRAVE-ÉMULSION EN COUCHE DE BASE

L'utilisation de grave-émulsion est dans certains cas intéressante, notamment parce que la cohésion de ce matériau permet de réaliser en couche de surface un enduit superficiel au lieu d'un enrobé bitumineux.

Toutefois la nécessité de permettre le départ de l'eau et d'obtenir une bonne compacité limite l'épaisseur d'une telle couche de base (en pratique 12 cm).

Pour les trafics les plus forts, l'emploi de la grave-émulsion se trouve donc limité aux durées de service courtes, avec un enduit superficiel, ou moyennes avec un enrobé bitumineux.

### 4.1. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX

#### 4.1.1. Grave non traitée en couche de fondation

Les catégories de grave non traitée sont celles définies au § 2.2. pour couches de fondation.

#### 4.1.2. Grave-émulsion en couche de base

Les caractéristiques des granulats pour grave-émulsion sont indiquées dans le tableau XVIII.

TABLEAU XVIII - Qualité des granulats.

Classe de trafic	$t_3^+ - t_3^- - t_4$	$t_5$
Dimension de la grave	0/20 ou 0/14 selon l'épaisseur de la couche	
Propreté	ES 10 % $\geq$ 60	ES 10 % $\geq$ 50
Dureté	$\leq$ 2	$\leq$ 3
Indice de concassage	$\geq$ 30	—

### 4.2. DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement est effectué à l'aide de la figure 5.

La nature et l'épaisseur de la couche de base et de la couche de surface qui dépendent du trafic cumulé N se lisent à la partie supérieure de la figure.

Le dimensionnement de la couche de fondation se lit sur les courbes ; il est fonction :

- du trafic cumulé N déterminé au chapitre 1,
- de la portance P de la plate-forme à long terme déterminée au chapitre 2,
- de la catégorie de la grave non traitée en couche de fondation (1, 2 ou 3).

On lit sur la figure 5 l'épaisseur  $h_f$  de la couche de fondation de catégorie 1 et la valeur  $\Delta h_f$  dont il faut majorer cette épaisseur pour d'autres catégories de grave.

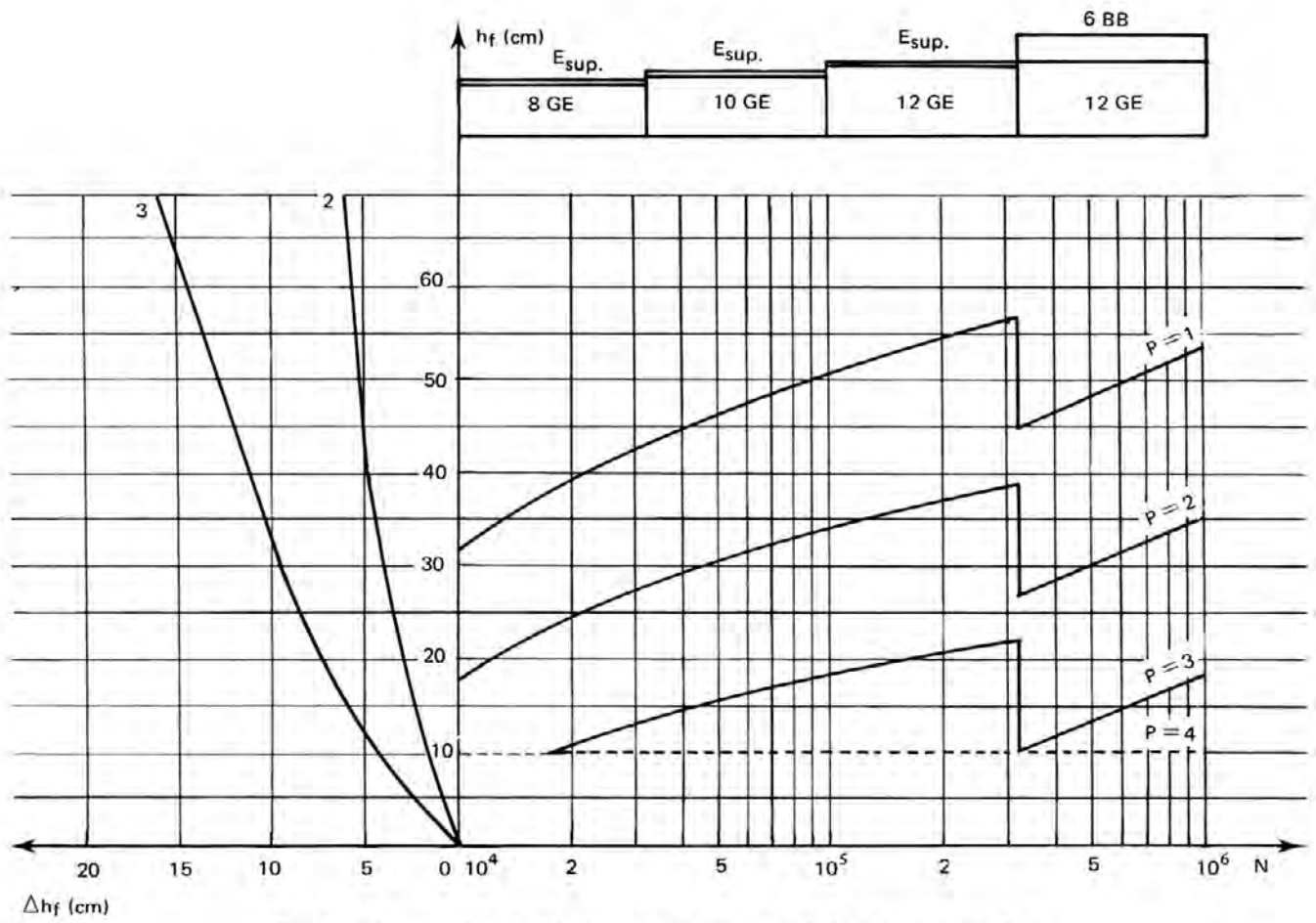


Fig. 5 - Détermination de l'épaisseur de la couche de fondation (base GE).

- lire  $h_i$  en fonction de  $N$  (GNT de catégorie I).
- lire  $\Delta h_i$  en fonction de  $h_i$  (autres cas).
- l'épaisseur est donnée par  $h_i + \Delta h_i$ .

## CHAPITRE 4

# CHAUSSÉES A ASSISES TRAITÉES AUX LIANTS HYDRAULIQUES

### 1. INTRODUCTION

Ce chapitre contient les règles d'utilisation des matériaux traités aux liants hydrauliques, c'est-à-dire la définition des qualités possibles de matériaux ainsi que leur dimensionnement en fonction du trafic et du support.

La conception de ces structures de chaussées à assises traitées repose sur les principes généraux suivants :

- le classement des matériaux traités aux liants hydrauliques est établi par référence aux prescriptions des Directives et Recommandations SETRA-LCPC,
- les matériaux peuvent, pour certaines caractéristiques, s'écarter de la référence dans certaines limites ; la conception des structures (dimensionnement, protection par les couches de surface...) tient compte de ces écarts.
- les matériaux envisagés sont traités en centrale à l'exception des limons traités à la chaux et au ciment.
- les structures proposées ne comportent que des matériaux traités ; il n'y a donc pas de couches de fondation non traitées, la grave naturelle se trouve en couche de forme ou en couche de réglage.

Le rôle structurel d'une couche de fondation en matériaux non traités est faible sous une assise traitée aux liants hydrauliques ; il est pris en compte dans ce document par le biais des variations de portance du support liées à la présence d'une couche de forme.

Il faut toutefois remarquer que, dans le cas des chaussées en béton et des chaussées en grave traitée aux liants hydrauliques qui ne comportent pas de couche de fondation traitée, la partie supérieure (15 cm environ) de la couche de forme doit comporter des matériaux exempts de fines et suffisamment durs pour se prémunir des risques de pompage ; cela s'impose en particulier pour les trafics  $t_4$  et  $t_3$ . Le respect des épaisseurs de chaussée imposera en outre un bon réglage du support.

La gamme de trafic envisagée dans ce chapitre est limitée aux classes  $t_5$ ,  $t_4$  et  $t_3$  de trafic à la mise en service. Pour les trafics de classe  $t_3$ , on se reportera au Catalogue des structures types de chaussées neuves.

### 2. LES MATÉRIAUX ENVISAGÉS

Le Manuel envisage l'utilisation des matériaux suivants :

#### 2.1. ASSISES DE CHAUSSÉES

- *Les bétons de ciment*, dans une conception « dalle sans couche de fondation ».

Pour permettre l'évacuation de l'eau, il faut réaliser une plate-forme de pente régulière et des exutoires latéraux. Le garnissage des joints est à prévoir pour les trafics les plus forts en fonction de la zone climatique.

- *Les graves traitées aux liants hydrauliques (GH)*, les liants étant le ciment, le laitier, les cendres volantes et les pouzzolanes ; les bétons secs compactés seront assimilés aux graves traitées aux liants hydrauliques pour les caractéristiques des granulats, le dimensionnement tenant compte des performances réelles de ces matériaux.

- *Les sables traités aux liants hydrauliques (SH)*, les liants étant le ciment et le laitier, éventuellement les cendres volantes.

L'aptitude de ces matériaux au compactage permet en général de les utiliser sur des supports plus déformables que les graves traitées. Il faudra toutefois veiller à l'obtention d'une bonne compacité et d'une bonne stabilité du matériau en place.

- *Les cendres volantes traitées à la chaux et au gypse ou les cendres volantes traitées au ciment (CV)*.

Ces matériaux ne doivent pas être utilisés en arrière saison (pas d'essorage en cas de grosse pluie).

- *Les limons traités à la chaux et au ciment (LTCC)* reposant sur une couche de forme en limon traité à la chaux sur 35 à 40 cm (traitements réalisés avec des malaxeurs rotatifs à couteaux).

Les dosages en liant doivent être précisés par une étude de laboratoire (ils sont de 1 à 3% pour la chaux, et 4 à 8% pour le ciment). On veillera particulièrement à obtenir une bonne homogénéité du mélange.

## 2.2. REVÊTEMENTS BITUMINEUX

Ces couches sont constituées d'enduits superficiels ( $E_{sup}$ ) ou d'enrobés bitumineux (BB).

Ces derniers peuvent avoir une formulation différente de celles définies par les Directives SETRA-LCPC ; les formules peuvent en effet être adaptées aux conditions et à l'expérience locale mais doivent présenter les deux qualités essentielles suivantes :

- bonnes caractéristiques antidérapantes,
- imperméabilité : pour les enrobés, on s'efforcera d'obtenir des compacités élevées.

L'accrochage de la couche de roulement en béton bitumineux est assuré sur les matériaux fins par la réalisation d'un enduit superficiel monocouche précédé d'un cloutage.

## 3. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX TRAITÉS AUX LIANTS HYDRAULIQUES

Ces conditions s'appliquent à la portance du support et à la qualité du matériau traité.

### 3.1. CRITÈRES DE DÉFORMABILITÉ DE LA PLATE-FORME

Il faut prévoir des solutions d'amélioration (couche de forme), chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est :

- inférieure à 2 (BC, SH, CV, LTCC),
- inférieure à 3 (GH).

Les améliorations nécessaires sont indiquées au chapitre 2.

### 3.2. QUALITÉ DU MATÉRIAU TRAITÉ AUX LIANTS HYDRAULIQUES

Le matériau doit posséder des caractéristiques suffisantes pour être stable lors de la construction de la chaussée et durant la période de prise ; il doit aussi permettre l'accrochage de la couche de roulement.

#### 3.2.1. Matériaux possédant un squelette granulaire (BC, GH) : qualité des granulats

##### 3.2.1.1. Angularité appréciée par l'indice de concassage $I_c$

Les valeurs limites sont indiquées dans le tableau XIX.

**TABLEAU XIX - Angularité.**

Classe de trafic à la mise en service	GH		BC
	Fondation	Base	
$t_5$	$I_c \geq 30$ (1)		(2)
$t_4 - t_3$			
(1) Cette valeur est conseillée pour faciliter l'exécution du chantier dans le cas du trafic $t_5$ . (2) Il est recommandé que les gros granulats aient subi un concassage surtout pour les trafics $t_3$ .			

**3.2.1.2. Propreté des sables ES 10% \***

Les valeurs limites sont indiquées dans le tableau XX.

**TABLEAU XX - Propreté.**

Classe de trafic à la mise en service	GH (1)		BC
	Fondation	Base	
$t_5$	ES 10% $\geq$ 40	ES 10% $\geq$ 40	ES $\geq$ 65
$t_4 - t_3$		ES 10% $\geq$ 50	
(1) Ces valeurs pourront être adaptées en fonction de l'expérience locale ; certains graves peuvent en effet donner des résultats satisfaisants sous faible trafic à condition de prendre des précautions particulières, quant à leur teneur en eau.			

**3.2.1.3. Résistance mécanique des gravillons**

On a distingué dans ce document quatre classes de résistance mécanique (par ordre décroissant de qualité) définies par le coefficient Los Angeles et le micro Deval en présence d'eau.

- 1 - LA < 25 et MDE < 20
- 2 - LA < 30 et MDE < 25
- 3 - LA < 40 et MDE < 35
- 4 - LA < 50 et MDE < 45

Compte tenu des règles de compensation admissibles, ces classes ont déjà été représentées sur la figure 3 en tolérant un écart maximal de 5 points par rapport aux valeurs de base.

Les valeurs limites sont indiquées dans le tableau XXI.

**TABLEAU XXI - Classes de dureté.**

Classe de trafic à la mise en service	GH		BC
	Fondation	Base	
$t_4 - t_5$	$\leq$ 4	$\leq$ 3	$\leq$ 4
$t_3$	$\leq$ 3	$\leq$ 2	$\leq$ 3

Ces valeurs ne correspondent pas toutes aux prescriptions des Directives et Recommandations SETRA-LCPC. Le dimensionnement des couches de roulement tient compte de certains écarts.

\* La propreté est l'équivalent de sable mesuré sur la fraction 0/2 avec 10% de fines (norme NF P18-597). Dans le cas particulier des bétons de ciment, on utilise l'équivalent de sable ES, mesuré sur la fraction 0/5 (norme NF P18-598).



### 3.2.2. Matériaux ne possédant pas de squelettes granulaires : cas des sables traités

#### 3.2.2.1. Propreté des sables

On appréciera la nocivité des fines par l'essai d'absorption au bleu de méthylène ; la valeur au bleu VB devra être inférieure à 2.

Ces valeurs pourront être adaptées en fonction de l'expérience locale ; certains sables limoneux peuvent en effet donner des résultats intéressants sous faible trafic, à condition de prendre des précautions particulières quant à leur teneur en eau.

#### 3.2.2.2. Stabilité

Pour les sables traités, cette propriété est liée à l'indice de portance immédiate (IPI)\*. Cet indice devra être supérieur à 35.

Cette limite pourra dans certains cas être adaptée en fonction de l'expérience locale.

## 4. DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement de la chaussée s'effectue en deux étapes :

- choix de la couche de surface,
- dimensionnement des assises.

### 4.1. CHOIX DE LA COUCHE DE SURFACE

Il est fonction de la classe de trafic à la mise en service  $t_5$ , du type de matériau constitutif de la couche de base et de la résistance des granulats pour les matériaux à squelette granulaire (en se référant aux zones de la figure 3).

Le choix de la couche de surface est effectué en utilisant le tableau XXII.

TABLEAU XXII - Choix de la couche de surface.

Matériau Trafic	GH		BC			SH CV	LTCC
	Dureté 3	Dureté 2 ou 1	Dureté 4	Dureté 3	Dureté 2 ou 1		
$t_5$	$E_{sup}$	$E_{sup}$	$E_{sup}$	néant	néant	4 à 5 BB	6 BB
$t_4$	4 à 5 BB	$E_{sup}$	$E_{sup}$	** néant	** néant	6 BB	8 BB
$t_3$		*** 4 à 5 BB	X	$E_{sup}$	** néant	6 BB	10 BB
$t_3^*$	cf. Catalogue des structures types de chaussée neuves.						
<p>* épaisseur à choisir en fonction de la formule de l'enrobé et du profil de la couche de base  ** un enduit est nécessaire si la friabilité du sable est supérieure à 20 en <math>t_3</math> et à 30 en <math>t_4</math>.  *** dans le cas des bétons secs compactés, un enduit superficiel est suffisant.</p>							

\* Résultat d'un essai CBR réalisé sans surcharge annulaire de l'éprouvette et sans imbibition.

## 4.2. DIMENSIONNEMENT DES ASSISES

Ce dimensionnement est effectué à partir :

- du trafic cumulé  $N$ ,
- de la portance de la plate-forme à long terme  $P$ ,
- de la couche de surface choisie au paragraphe 4.1.,
- de la résistance du matériau.

### 4.2.1. Résistance du matériau

Celle-ci est appréciée en fonction de la rigidité et de la résistance à la traction.

On a choisi de classer les divers matériaux en classes de résistance. Cette classe est liée à la résistance à la traction par flexion  $R_f$  pour les bétons de ciment et au couple (résistance en traction directe  $R_t$ , module de déformation  $E$ ) pour les autres matériaux.

I Le module  $E$  est le module sécant mesuré au tiers de la charge de rupture à la traction directe.

- Classes de résistance des bétons de ciment

TABLEAU XXIII - Classes de résistances (BC).

Résistance moyenne en flexion à 28 j ( $R_f$ )	Classe de résistance
$R_f < 3,5$ MPa	Cf. GH, avec $R_t = 0,6 R_f$ y compris pour le choix de la couche de roulement
$3,5$ MPa $< R_f < 5$ MPa	2
$5$ MPa $< R_f$	1

- Classes de résistance des autres matériaux

La classe de résistance des matériaux autres que le béton est déterminée à l'aide de la figure 6.

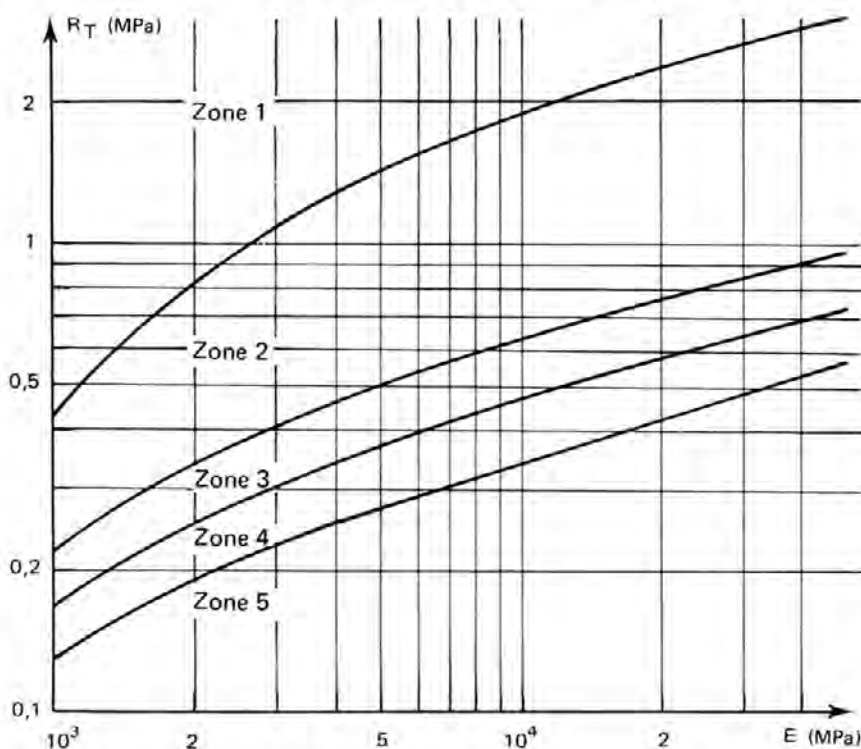


Fig. 6 - Classes de résistance. Détermination de la classe de résistance (à l'exception de BC).

$R_t$  : résistance à la traction directe mesurée dans les conditions de laboratoire ( $\gamma_a$  ou  $\gamma_{PN} \cdot W_{OPM} - 1$  ou  $W_{OPM}$  selon les cas).

$E$  : module

$R_t$  et  $E$  sont mesurés :

- à 90 jours (GC, SC)
- à 180 jours (GL, SL, CV, LTCC).

Classe de résistance selon la zone du graphique

Classe	GH, SH, CV	LTCC
1	Zone 1	
2	Zone 2	
3	Zone 3	Zone 1
4	Zone 4	Zone 2
5	Zone 5	Zones 3, 4, 5

Nota : l'utilisation des matériaux de classe 5 n'est pas envisagée dans ce document.

#### 4.2.2. Détermination de l'épaisseur totale de l'assise

L'épaisseur totale de l'assise est déterminée en utilisant la figure 7 (relative aux matériaux de résistance 1 et 3) ou la figure 8 (relative aux matériaux de résistance 2 et 4).

Dans tous les cas, le dimensionnement est effectué :

- en lisant sur la figure l'épaisseur  $h$  qui dépend du trafic cumulé  $N$  et de la couche de roulement choisie,
- en lui rajoutant un terme correcteur  $\Delta h$  qui est fonction de la portance à long terme ( $P$ ) de la plate-forme.

##### 4.2.2.1. Réalisation en deux couches

Si l'épaisseur ainsi trouvée est trop importante pour être mise en œuvre en une seule couche, la chaussée est réalisée en deux couches ; on ajoute alors trois centimètres à l'épaisseur totale de l'assise. Le découpage en deux couches est effectué en donnant à la couche de base une épaisseur supérieure à celle de la couche de fondation.

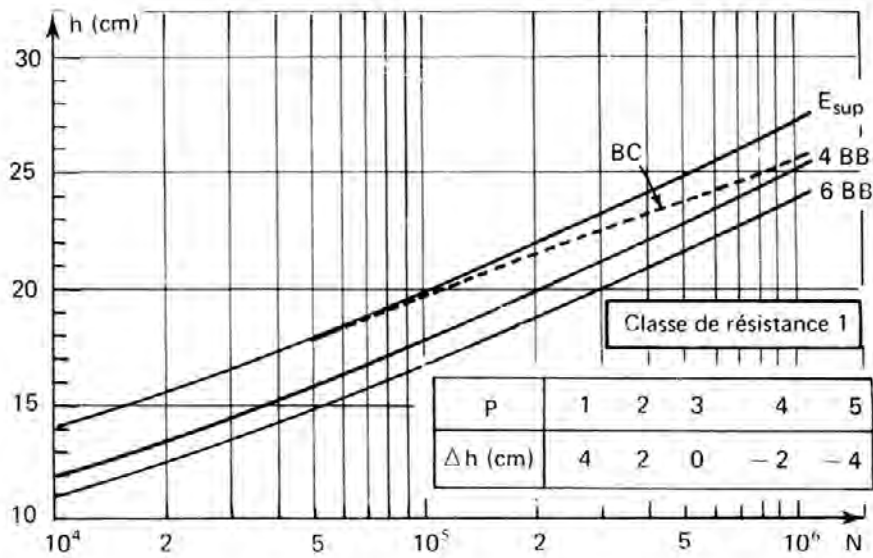
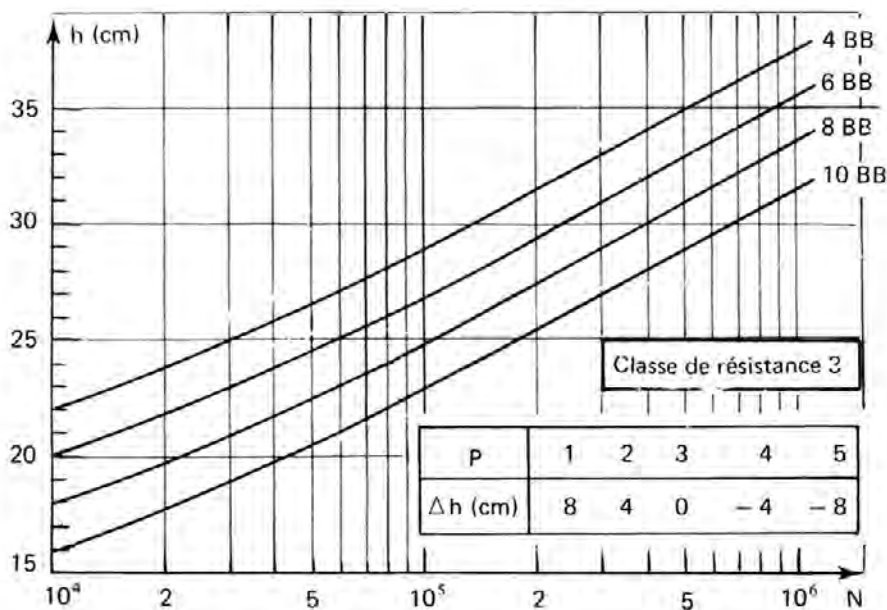


Fig. 7 - Détermination de l'épaisseur de l'assise traitée. Classes de résistance 1 et 3.



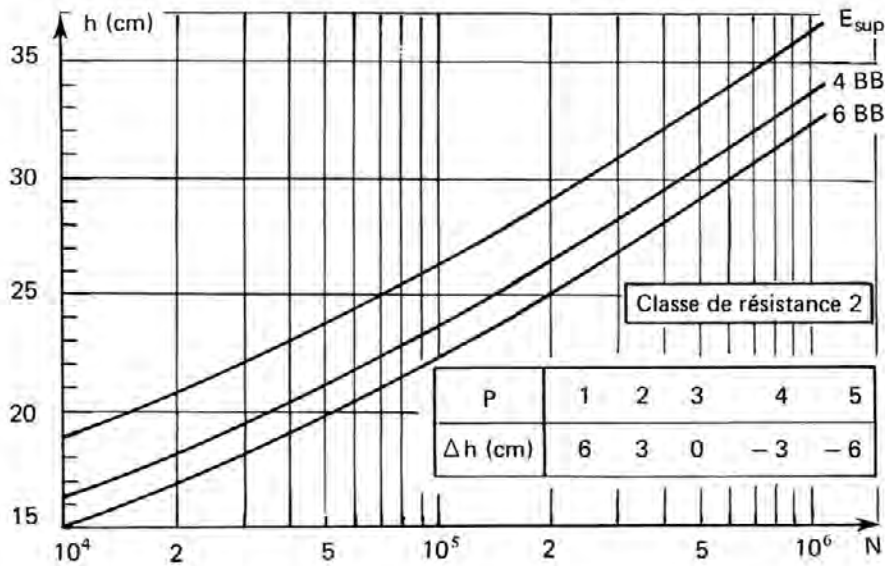
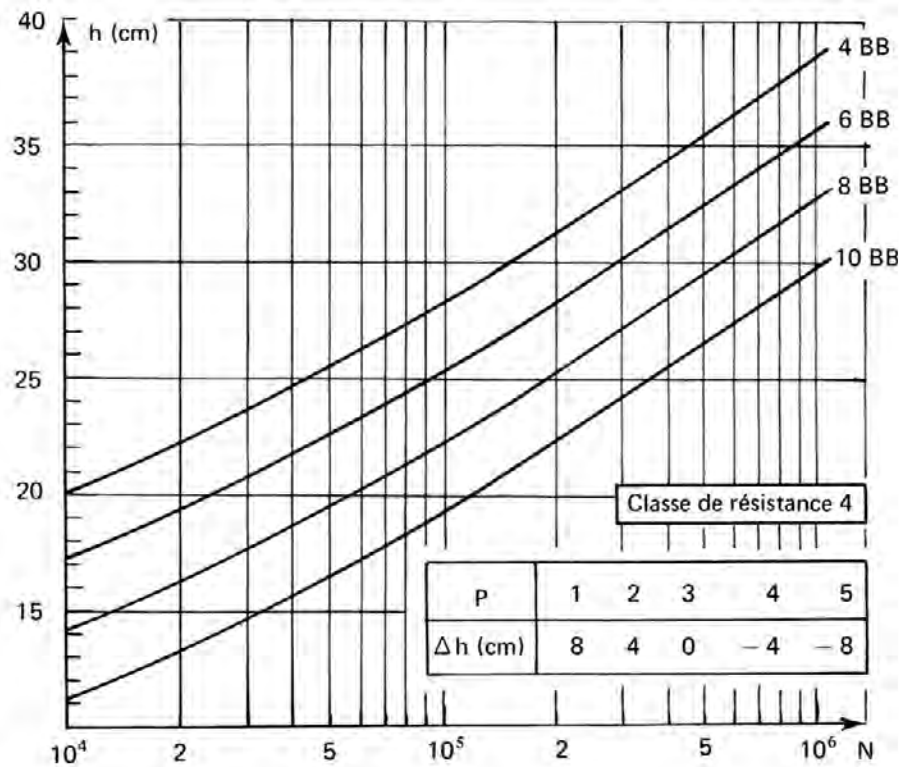


Fig. 8 - Détermination de l'épaisseur de l'assise traitée. Classes de résistance 2 et 4.



#### 4.2.2.2. Epaisseurs minimales

En aucun cas l'épaisseur d'une couche ne pourra être inférieure aux valeurs indiquées dans le tableau XXIV.

TABLEAU XXIV - Epaisseurs minimales.

Matériaux de classe de résistance	Cas général (cm)	Chaussée à très faible trafic (cm)
1 - 2	15	12
3	20	18
4	30	25

## CHAPITRE 5

### TENUE AU GEL - DÉGEL

Les problèmes de tenue au gel-dégel ne se posent pas sur ce type de routes de la même façon que sur les routes à fort trafic puisque l'on pourra dans la plupart des cas accepter de poser des barrières de dégel même en hiver courant.

Dans ce Manuel, on ne fixera donc pas de règles strictes de protection en choisissant comme pour les forts trafics un hiver de référence mais on appréciera la tenue de la chaussée au gel-dégel en calculant l'indice de gel IA admissible par cette chaussée et en le comparant aux indices des hivers connus. La confrontation pourra dans certains cas conduire à une augmentation de l'épaisseur de la chaussée ou à la décision d'appliquer des restrictions de circulation en cas d'hiver trop rigoureux ; le choix des hivers de référence sera fonction de la destination de la voie et de la politique menée par le maître d'ouvrage sur son réseau. L'étude de la tenue au gel-dégel n'est donc pas systématique, mais il est souhaitable de la réaliser dans les cas suivants :

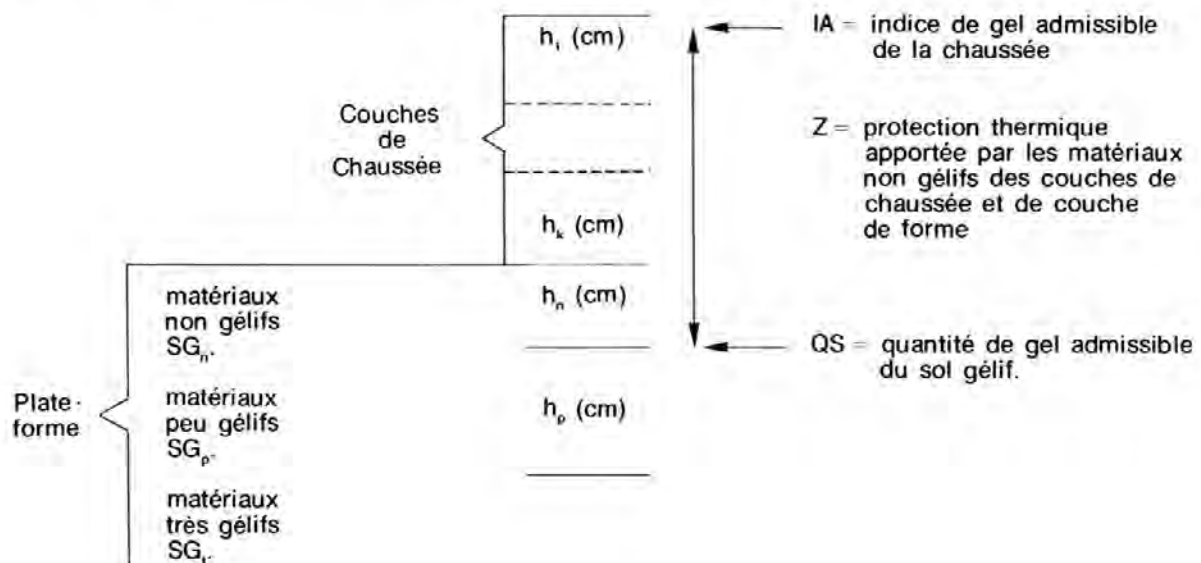
- zones à climat rigoureux,
- routes supportant un trafic  $t_3^*$  ou  $t_1^*$ ,
- projets traversant des sols réputés très gélifs.

L'aptitude mécanique de ces chaussées à supporter une perte de portance au dégel est souvent faible ; la pénétration du gel dans les couches gélives, dans le cas où la chaussée n'est pas protégée au dégel par la pose de barrières, pourra donc conduire à la ruine de la chaussée.

L'appréciation de la tenue au gel-dégel repose sur la détermination de l'indice de gel\* admissible de la chaussée IA et s'effectue en trois étapes.

- 1 - appréciation de la sensibilité au gel des sols et des matériaux de couche de forme et calcul de QS, caractéristique du gel admissible par le sol gélif,
- 2 - détermination de la protection thermique Z apportée par les matériaux non gélifs de couche de forme et des couches de chaussée,
- 3 - détermination de l'indice de gel admissible IA de la chaussée.

On adoptera pour ces différentes étapes la schématisation suivante :



\* L'indice de gel est la somme (en °C × jours) des températures moyennes journalières négatives d'une période de gel.

Si des matériaux non gélifs sont situés sous une couche peu gélive, on les assimilera à des matériaux peu gélifs.

Si des matériaux non gélifs ou peu gélifs sont situés sous une couche très gélive, on les assimilera à des matériaux très gélifs.

| Le problème de la tenue au gel-dégel ne se pose évidemment pas quand le support est non gélif.

## 1. APPRÉCIATION DE LA SENSIBILITÉ AU GEL DES SOLS ET DES MATÉRIEAUX DE COUCHE DE FORME

### 1.1. CLASSES DE SENSIBILITÉ AU GEL

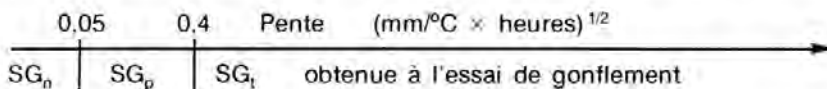
On a défini trois classes de sensibilité au gel :

$SG_n$  : sol non gélif,

$SG_p$  : sol peu gélif,

$SG_t$  : sol très gélif.

Ce classement est effectué sur la base des résultats de l'essai de gonflement réalisé par les Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées de Nancy, Clermont-Ferrand et Saint-Quentin.



a) dans la pratique, il ne sera pas toujours possible de réaliser cet essai : on pourra dans certains cas raisonner par analogie avec des sols déjà testés en se rapprochant du CETE.

b) en l'absence de renseignements et de résultats d'essai, on pourra appliquer le tableau XXV.

TABLEAU XXV - Classes de sensibilité au gel (en l'absence d'essai).

Classification géotechnique du sol (chapitre 2)	Classe de sensibilité au gel
$D_1, D_2, D_3, D_4$	$SG_n$
$A_4, B_1, B_2, B_3, B_4$	$SG_p$
$A_1, A_2, A_3, B_5, B_6$	$SG_t$

Il faut toutefois remarquer que les critères géotechniques ne suffisent pas à bien caractériser la gélivité d'un sol ; l'application de ce tableau peut conduire à des écarts importants avec la réalité.

### 1.2. CALCUL DE QS

Les matériaux gélifs ayant été schématisés comme indiqué précédemment, on calcule QS à l'aide de la figure 9.

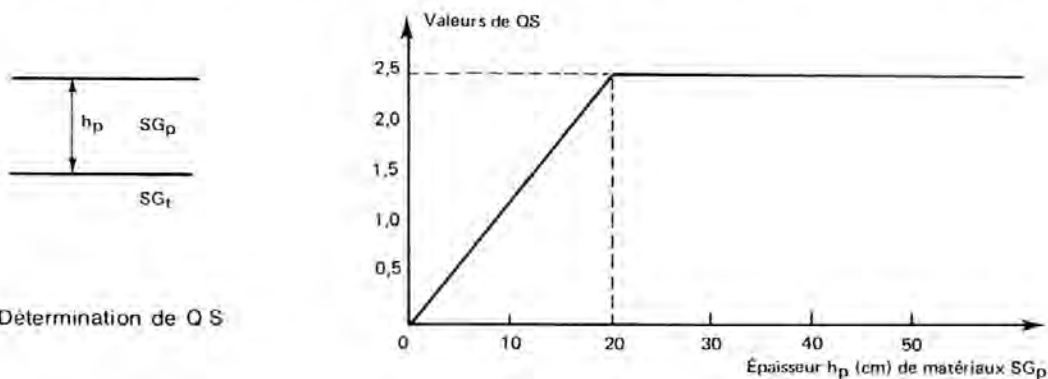
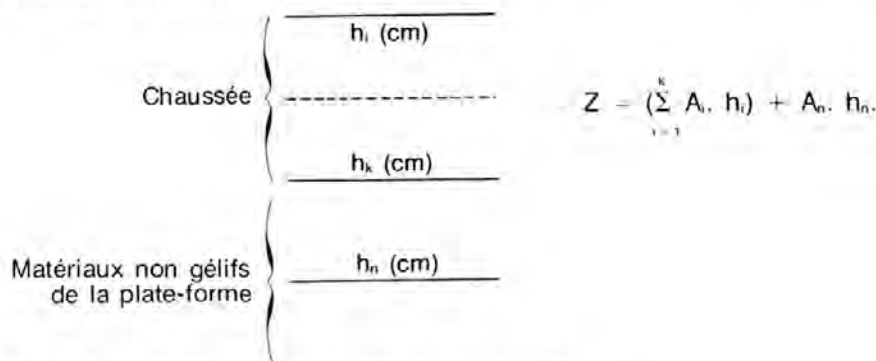


Fig. 9 - Détermination de QS

## 2. DÉTERMINATION DE LA PROTECTION THERMIQUE Z APPORTÉE PAR LES MATÉRIAUX NON GÉLIFS DE LA COUCHE DE FORME ET DES COUCHES DE CHAUSSEE

L'index Z se détermine à partir de la protection thermique apportée par les matériaux des couches de chaussée et de couche de forme.



Les valeurs de  $A_n$  et  $A_i$  sont données dans le tableau XXVI.

TABLEAU XXVI - Valeurs de  $A_n$  et  $A_i$ .

$A_n$	$A_i$				
Forme	BB	BC - GC - GNT - GE	GL - GCV	LTCC	CV - SL - SC
0,12	0,06	0,10	0,13	0,14	0,17

## 3. DÉTERMINATION DE IA, INDICE DE GEL ADMISSIBLE DE LA CHAUSSEE

L'indice de gel admissible IA de la chaussée est déterminé à l'aide de la figure 10 en fonction de Z et de QS ; l'abaque tient compte du décalage entre l'indice de gel à la surface de la chaussée et l'indice de gel atmosphérique calculé à partir des températures relevées dans les conditions normalisées par la Météorologie nationale. La vérification au gel-dégel est positive si l'indice de gel admissible IA est supérieur ou égal à l'indice de référence choisi par le maître d'ouvrage.

Dans le cas contraire, la vérification est négative. L'indice de gel calculé IA donne alors la valeur de l'indice au-delà duquel la chaussée est susceptible d'être insuffisante et nécessite des précautions au moment du dégel (surveillance systématique pouvant conduire à la pose de barrières de dégel).

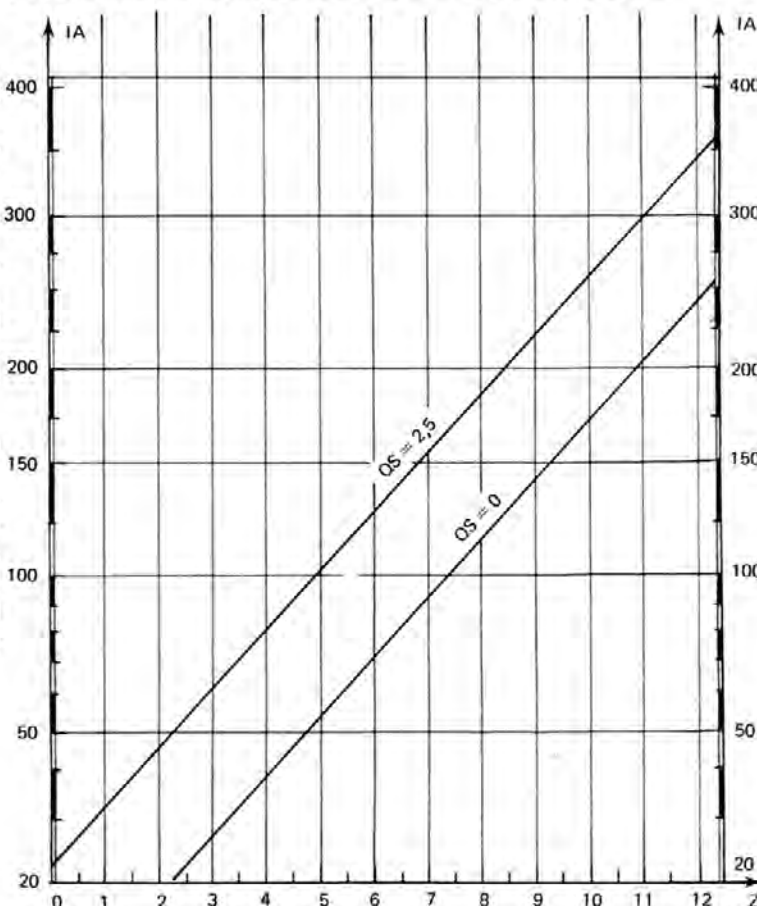


Fig. 10 - Détermination de IA.

## CHAPITRE 6

### DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

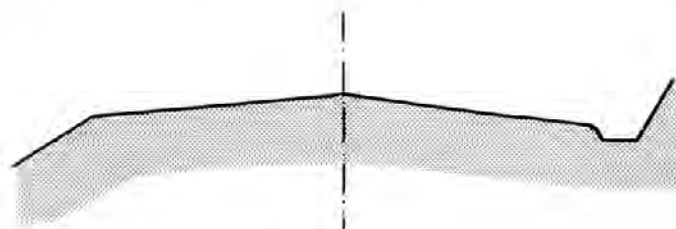
La réalisation d'une chaussée dans de bonnes conditions et son bon fonctionnement dans le temps nécessitent de respecter les règles de l'art en prenant certaines dispositions constructives touchant aux terrassements, à l'assainissement et à la coupe transversale de la chaussée et de ses annexes. Il ne s'agit pas, bien sûr, d'appliquer sur ce type de routes toutes les dispositions prévues sur les routes à fort trafic mais d'en retenir les plus essentielles, en les adaptant aux problèmes posés.

On trouvera donc dans ce chapitre des règles générales sur les dispositions à adopter pour éviter de graves déboires.

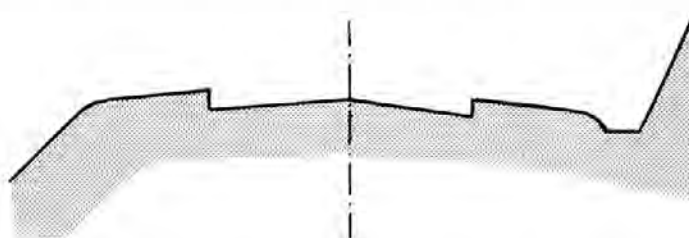
#### 1. PLATE-FORME SUPPORT DE CHAUSSÉE

1.1. *Il est préférable de construire* les chaussées sur un petit remblai plutôt qu'en déblai.

1.2. *On recommande d'utiliser* pour la plate-forme support de chaussée un profil non encaissé.



D'autres profils peuvent être rencontrés avec construction en encaissement de tout ou partie des assises.



Ces profils permettent une économie sur le volume des terrassements et sur les matériaux pour assises et accotements mais on réalise ainsi une « piscine » et l'on s'expose aux aléas météorologiques au moment de la construction ainsi qu'à la présence d'eau piégée, dans et sous la chaussée, risquant d'entraîner de graves dégradations.



A la limite, pour un projet de courte longueur à réaliser en période très favorable et pour lequel le support est perméable et ne risque pas de s'humidifier par la nappe (zone karstique, grave alluvionnaire...), on peut envisager de construire en encaissement la couche de fondation, à condition de prévoir les pentes et les exutoires nécessaires.

**1.3. Les pentes transversales du support de chaussée** doivent être en phase transitoire de 4 à 5% sauf dans le cas de graves propres ou de sols traités à la chaux ou au ciment où l'on peut retenir une pente de 2,5% comme sur la chaussée terminée.

## 2. ASSAINISSEMENT

Afin de lutter au maximum contre l'infiltration, qui est la principale cause de présence d'eau dans et sous les chaussées, il est essentiel d'assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles.

Il est par ailleurs souvent nécessaire de réaliser un drainage des eaux internes (déblais, nappes affleurantes, points singuliers...).

### 2.1. Collecte et évacuation des eaux superficielles

Afin d'assurer la sécurité et le confort de l'usager (aquaplanage, projections d'eau), il faut évacuer rapidement l'eau de la surface de la chaussée, ce qui est assuré par le dévers de la chaussée que l'on a intérêt à fixer à 2,5% au moins.

Il faut également éviter au maximum les infiltrations aux abords de la chaussée et concevoir en conséquence les accotements et les ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux.

On peut dans ce domaine énoncer les règles générales suivantes :

— *Accotements*

- il faut proscrire, en rase campagne, les accotements surélevés par rapport à la chaussée, même s'ils sont entrecoupés de saignées ; ils sont en effet inévitablement à l'origine d'accumulation d'eau et d'infiltrations au bord de la chaussée. Il est donc souhaitable que l'accotement soit à niveau légèrement inférieur, de l'ordre de 3 à 5 cm,
- les accotements auront une pente transversale de 8% s'ils sont engazonnés et de 5% s'ils sont dérasés ou revêtus,
- les accotements devront être réalisés de préférence avec des matériaux de faible perméabilité.

— *Fossés*

- il est nécessaire que le fond des fossés se trouve à une cote inférieure à celle de l'interface sol-couche de forme,
- l'écoulement longitudinal de l'eau doit y être possible, ce qui implique que la pente soit suffisante et qu'il soit procédé régulièrement à leur entretien ainsi qu'à celui des exutoires.

### 2.2. Drainage

Il est par ailleurs souvent nécessaire de se protéger contre les effets des eaux internes qui se traduisent par des difficultés et des défauts d'exécution ou par des dégradations sur l'ouvrage terminé.

On peut donner les quelques indications générales suivantes :

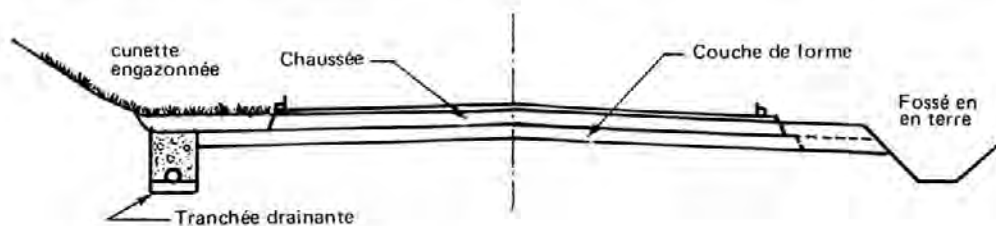
— *Déblais dans des sols sensibles à l'eau perméables*, susceptibles de s'essorer lentement (sols classés A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub> dans la classification, de la recommandation pour les terrassements routiers).

Il faut prévoir des fossés profonds (si cela toutefois est possible sans compromettre la sécurité des usagers) ou des tranchées drainantes latérales. Ces ouvrages pourront avoir une influence sur la portance du support à long terme mais, à moins d'être réalisés très à l'avance, n'auront en général que peu d'effet sur la portance au moment de la construction.

— *Déblais dans des sols peu ou pas sensibles à l'eau*, se drainant vite (sols classés B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, D, dans la classification de la recommandation pour les terrassements routiers).

Il convient d'éviter que le niveau maximal de la nappe ne puisse atteindre au cours des saisons le mètre supérieur du support de chaussée ; on peut pour ce faire réaliser des fossés profonds, ou mieux des tranchées drainantes.

On pourra dans ce type de sols se dispenser de drainage si aucune arrivée d'eau n'est à craindre (ni du sous-sol, ni des talus) ; il faudra alors veiller à éviter les infiltrations superficielles.



Si le matériau d'accotement est moins perméable que celui de la couche de forme, il se forme un piège à eau que l'on peut éviter en prolongeant la couche de forme, de préférence jusqu'au fossé.

— *Points 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 en fond de forme, relié à un drain et à un exutoire.

— *Pente accentuée du profil en long sur une grande longueur*

Il peut se produire dans ce cas des écoulements longitudinaux importants au niveau du support qui nécessitent, pour être arrêtés, des drains transversaux espacés d'une centaine de mètres.

## CHAPITRE 7

### STRATÉGIES DE DIMENSIONNEMENT

Une stratégie de dimensionnement des chaussées se caractérise par le choix d'une structure initiale et par le niveau des dépenses d'entretien que l'on est prêt à consentir.

Ces deux éléments ne sont pas indépendants puisque de leur choix dépend le niveau de risque que l'on tolère sur la résistance de la structure aux effets du trafic et du gel ainsi que le niveau de service offert à l'utilisateur.

Le choix d'une stratégie consiste à rechercher un optimum construction-entretien qui minimise le coût global de l'opération, y compris les coûts de l'utilisateur.

On peut donc dire que le choix d'une stratégie dépend de trois hypothèses de base :

**1. Niveau de service.** Le niveau de service offert à l'utilisateur dépend essentiellement des caractéristiques de surface (uni, glissance). Il est fonction de l'importance de la route et conditionne les dépenses d'entretien ; celui-ci peut dans certains cas être à caractère structurel quand il s'agit par exemple de restaurer l'uni d'une chaussée très déformée.

**2. Niveau de risque.** On accepte sur la structure un certain niveau de risque vis-à-vis des effets du trafic et du gel. Il dépend de l'importance de la route et conditionne les dépenses ultérieures au titre de l'entretien structurel proprement dit.

**3. Financement.** Les dépenses que le maître d'ouvrage peut consacrer à la construction d'une part et à l'entretien d'autre part peuvent varier selon les cas et notamment selon le mode de financement. Les différentes options possibles se caractérisent par différentes valeurs du taux d'actualisation, paramètre qui permet de chiffrer le coût global de l'opération en tenant compte de la date des différentes interventions.

Ce chapitre apporte des éléments partiels de réponse devant permettre à l'utilisateur d'effectuer son choix.

#### 1. NIVEAU DE SERVICE - CARACTÉRISTIQUES SUPERFICIELLES

##### 1.1. CONSTRUCTION

Le Manuel et les autres documents sur lesquels il s'appuie apportent des solutions aux problèmes soulevés au point 1 en fournissant des spécifications sur la qualité des couches de surface (dureté des granulats, déformabilité...).

##### 1.2. ENTRETIEN

Les opérations d'entretien qui seront ultérieurement nécessaires pour maintenir le niveau désiré consisteront essentiellement en la réalisation d'enduits superficiels dont la périodicité est de huit à quinze ans.

## 2. NIVEAU DE RISQUE - DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

Le contenu du Manuel en matière de stratégie concerne principalement le point 2, c'est-à-dire le dimensionnement des couches constituant la structure de la chaussée. Le choix entre les différentes solutions possibles se fait par l'intermédiaire d'une durée de service qui est, pour des hypothèses moyennes (trafic réellement supporté, qualité de réalisation...) la période pendant laquelle on n'aura pas, en principe, à effectuer d'entretien structurel, les seules opérations nécessaires étant celles liées aux caractéristiques superficielles citées ci-dessus.

Avant de fournir quelques précisions sur les choix possibles et sur leurs implications, il convient de remarquer que le comportement effectif d'une structure de chaussée, conçue pour un certain trafic et dans l'hypothèse d'une qualité moyenne de réalisation (épaisseur, compacité...), est fonction de la qualité des travaux et du trafic réellement supporté, éléments qui peuvent considérablement modifier la durée effective de service et la nature des travaux de renforcement.

### 2.1. CONSTRUCTION

Le choix de la durée de service intervient dans le calcul du trafic cumulé et donc dans le dimensionnement des assises de la chaussée. Cette durée peut être prise entre cinq et vingt-cinq ans et son choix nécessite quelques commentaires, en distinguant les différents types de chaussées.

#### — Chaussées à assises non traitées

Le choix d'une durée de service intervient également sur celui de la couche de surface puisqu'une couche bitumineuse a, sur ce type d'assises, un effet structurel non négligeable.

C'est également pour cette raison que l'on aura souvent intérêt avec ce type d'assises à choisir une durée relativement courte (cinq à dix ans) ; le choix d'une durée courte correspond à un investissement initial réduit complété par un entretien approprié, voire par un renforcement à court terme.

Il faut cependant souligner qu'un tel choix implique de pouvoir intervenir au titre de l'entretien en temps voulu (c'est-à-dire avant que les dégradations des chaussées ne revêtent un caractère grave ou irréversible) et nécessite une surveillance de l'évolution du trafic et de la chaussée.

#### — Chaussées à assises traitées (y compris le béton de ciment)

Le dimensionnement de la chaussée, donc son coût initial, varie en fait assez peu en fonction de la durée de service choisie, mais le choix d'une durée courte implique, à la fin de celle-ci, des opérations qui pourront s'avérer très coûteuses.

On aura donc en général intérêt à retenir une durée longue (quinze à vingt-cinq ans).

### 2.2. ENTRETIEN - RENFORCEMENT

Comme cela a déjà été souligné, il est très aléatoire de définir a priori les séquences d'entretien d'une structure de chaussée, l'entretien effectivement nécessaire ne pouvant être déterminé qu'après examen de l'état réel de la chaussée. Il apparaît cependant souhaitable de donner des indications sur les renforcements qui devraient être, dans les hypothèses moyennes (trafic, qualité...), nécessaires à la fin de la durée de service choisie.

Les séquences d'entretien définies dans ce paragraphe ne sont pas destinées à permettre la programmation de travaux d'entretien mais seulement à faciliter, au plan économique, la comparaison de plusieurs stratégies. Ces indications ne préjugent donc pas de l'évolution réelle des structures et sont à considérer en ayant présentes à l'esprit les réserves déjà faites sur la notion de durée de service.

Les opérations d'entretien des chaussées ont été classées en quatre types :

- type 1 : enduits superficiels et réparations localisées,
- type 2 : enrobés bitumineux de 3 à 6 cm,
- type 3 : enrobés bitumineux de 7 à 10 cm,
- type 4 : enrobés bitumineux d'épaisseur supérieure à 10 cm et renforcement à couche de base et couche de roulement (ou reconstruction).

Les solutions d'entretien et de remise en état à la fin de la durée de service doivent par ailleurs tenir compte de l'entretien réalisé pendant cette période qui peut, dans certains cas, constituer un apport structurel.

On aura en fait le choix entre deux stratégies :

- ne réaliser pendant la durée de service que l'entretien des caractéristiques superficielles (type 1) en s'orientant vers un entretien de type curatif (renforcement) à la fin de la durée de service,
- réaliser pendant la durée de service un entretien de type préventif (type 2) et donc adapter la structure de façon étalée dans le temps.

Ces stratégies sont schématiquement décrites dans le tableau XXVII.

**TABEAU XXVII - Stratégie avec renforcement en fin de période.**

	Entretien réalisé pendant la durée de service	Entretien nécessaire au bout d'un délai de 0,7 à 1,5 fois la durée choisie
Chaussées à assises non traitées	type 1	type 3 (éventuellement 4)
Chaussées à assises traitées	type 1	type 4
Chaussées en béton de ciment	type 1 (+ garnissage des joints) s'il y a lieu	type 4

**Stratégie comportant un entretien préventif.**

	Entretien réalisé avant 0,7 fois la durée de service	Entretiens ultérieurs nécessaires*
Chaussées à assises non traitées	type 2	type 2
Chaussées à assises traitées	type 2	type 2

\* La périodicité doit être compatible avec le nécessaire renouvellement des couches de surface (caractéristiques superficielles), de huit à quinze ans en fonction du niveau de trafic.

La solution d'entretien nécessaire doit bien sûr être également fonction du trafic : pour les trafics les plus forts ( $t_3^+$  et  $t_7^-$ ), on se situera dans le haut de la fourchette d'épaisseur alors que l'on sera plutôt vers le bas pour les classes  $t_4$  et  $t_5$ .

### 3. FINANCEMENT

La méthode, pour comparer deux stratégies, consiste à calculer le coût total actualisé de l'opération. Le résultat est très largement fonction du taux d'actualisation, c'est-à-dire des dépenses effectuées lors des différentes phases de travaux. La comparaison est donc à effectuer dans chaque cas en fonction des données fournies par ce Manuel et du contexte du projet (on peut rappeler que pour le réseau national, le calcul est effectué avec un taux de 9%.)

La comparaison doit bien sûr être effectuée sur une durée significative (de l'ordre de quinze à vingt-cinq ans selon les cas), ce qui implique de faire des hypothèses sur l'entretien nécessaire au-delà de la fin de la durée de service dans les cas où celle-ci aura été choisie courte. □

Ce document est propriété de l'Administration et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation du Directeur du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes ou du Directeur du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (ou de leurs représentants autorisés).

