

Khaled Benyoucef

Le Guide de l'ingénieur des routes

*Construction de chaussée – Grave-ciment
Grave-émulsion – Bitume – Béton Bitumineux
Enduits superficiels – Matériels*



Préface

Après les bouleversements politiques et économiques qu'a subi le pays, il est devenu impératif de doter les générations montantes d'une documentation adéquate pour être en parfaite adéquation avec les efforts de redressement économiques voulu par les gouvernants.

Sur cette première formation, ce guide concernera non seulement les ingénieurs, mais aussi les techniciens supérieurs, chefs de chantier, bureau d'études...

Nous espérons volontiers que ce guide parfaiera les réalisations futures non seulement des nouvelles routes, voies à grande circulation, autoroutes, mais aussi la réfection des routes communales et wilayales.

Pour ne pas faire de cet outil de travail un ouvrage « trop technique », nous avons fait suivre chaque tâche par une expérience pratique et un questionnaire.

Ce guide s'occupe notamment de la construction de chaussées (surtout dites « noires »), graves-ciment, graves-émulsions, bitume, béton bitumineux, enduits superficiels et des matériels les plus usités.

Les commentaires sur les matériels sont faits par les constructeurs.

Nous avons basé cette recherche sur l'expérience de nos collègues européens et surtout français (S.E.T.R.A. et L.C.P.C.) qui sont très avancés sur ce domaine.

Nous sommes ouverts à toute critique, suggestion tendant à parfaire cet ouvrage car c'est dans la conjugaison des efforts pour une documentation optimale pour les générations montantes que nous sommes tous concernés.

L'Auteur.

Avant-propos (Historique des routes)

Les routes, hier et aujourd'hui

De toutes les grandes civilisations en Chine, Inde, Egypte, Syrie, Babylone et Assyrie, Perse et Grèce, l'empire romain, en ce qui concerne les routes, la construction de routes, les constructeurs étaient les plus avancés.

Au début il n'y avait que des sentiers, qui furent bientôt abandonnés. La découverte de la roue et des voitures de différentes sortes ont rendu la solidification du corps de chaussée indispensable de façon à ce qui naquirent les premières routes à pavés.

Signification Les routes avaient pour les anciennes civilisations une grande importance. C'est pourquoi résultèrent (par exemple en Chine et Syrie) des grandes routes commerciales, d'importantes routes administratives (par exemple en Inde et Perse) ou des routes de procession et de culte (comme en Grèce et Babylone), des routes de transport (comme pour la construction de pyramides au Nil), des routes royales ou de manifestation (comme en Syrie ou en Grèce) d'importantes routes de légionnaires (armées) (comme en Macédoie et Rome), des routes de cimetières (par exemple Rome photo 1), routes de représentation de faste et d'habitation.



Photo 1 – La via appia, reine des routes, fut construite 300 ans av. J.C. Elle a été pavée avec des plaques de pierres. Bordée par des tombeaux, elle mène de Rome à Brindisi.

Les constructions et réalisations de routes étaient durant des siècles très différentes et dépendaient plus qu'aujourd'hui de matériaux, conditions de sols et des conditions climatiques.

Le plus souvent c'étaient de simples routes de terre puis des routes de pierres et de ballast, souvent des madriers ou rondins ou bien même des pieux en tant que route grossière. Très tôt le pavé joua un rôle essentiel dans les routes de procession, de templiers. A Babylone et en Assyrie des routes de briques furent couvertes d'asphalte.

« Tous les chemins mènent à Rome »

Directement à l'exemple des grands empires romains, avant et après Jésus-Christ, naquit la signification de routes pour le soutien de puissance et d'administration, mais aussi pour rendre significatifs les multiples titres d'une grande civilisation. Nous ne pouvons qu'en être reconnaissants d'après les fouilles qui se pratiquent dans notre pays.



Photo 2 – Pavés d'une route romaine du 3^{ème} au 4^{ème} siècle dans la capitale de la province de Cologne.

Spécialement plus fréquents sont les pavés de l'empire romain (gros et petits pavés avec ou sans base). De nouvelles adjonctions de matériaux (pouzzolane, poudre de briques) et les sables, pierres, brique, roches naturelles. Ce « béton romain » est très fréquent dans les constructions de routes sans les couches de béton des routes des empires géants romains.

Avec la chute de l'empire romain, résultèrent, certes les routes, mais assurément les techniques des constructions de routes ne se sont pas développés et même les connaissances perdues. Ainsi a résulté pour l'Europe, un moyen âge sans une construction de routes significative.

18 et 19^{ème} siècles

Déjà au 18^{ème} siècle, la construction de routes, s'anime à travers une nouvelle réflexion sur la conduite de côtes et coupes. Du profond et instable orbite du moyen âge, la cailloutage, une notion, qui encore aujourd'hui est usuelle pour le commun des mortels. A travers une bonne planification « Planum » et sur un bon corps de chaussée et sur un épaissement artistique sera indiquée de prime abord. Aussi le pavage sera reconduit dans les principales routes de campagnes et dans les villes. (photo 3)



*Photo 3 – Importante route commerciale avec une route pavée
et sur le côté un chemin de compagne.*

Principalement au 19^{ème} siècle, résultèrent les coupes arrondies et les grosses bandes de pierres en tant qu'aboutissement (contrefort). Telford et MacAdam propagèrent une nouvelle technique, après un long arrêt de développement de la technique (tributaire de la construction utilisé jusque dans les années 50 de ce siècle (c'est-à-dire une couche d'assise avec des arêtes hautes où sont dressés des pavés de pierres, desquels sont tranchées les pointes et recouvertes de pierrailles).

20^{ème} siècle

Avec la propagation et le développement des voitures rapides, le besoin de routes est devenu de plus en plus fort. Au départ, on essaya de goudronner avec une base de poudre. Le développement du goudronnage, des pierrailles intérieures des routes (macadam goudron), commença le début des routes goudronnées et asphaltées, qui sont usuelles des nos jours, mais seulement avec des matériaux en tant liants, comme l'usage du bitume. La route goudronnée demeura malgré cela en usage. (photo 4)

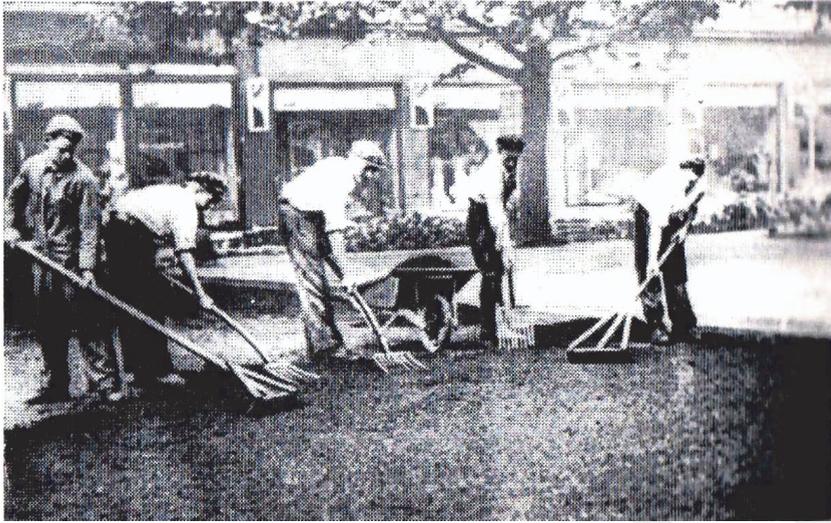


Photo 4 – Construction d'une route goudronnée dans les années 50.

Ainsi, à côté des routes pavées et les plus fréquentes routes de pierrailles, la route goudronnée est devenue importante, jusqu'à la fin du 20^{ème} siècle, l'adjonction d'une dalle de béton en tant ersatz, sera construite dans les routes à grande circulation et les autoroutes.

Avec cela, revivra le « béton romain ». Sa renaissance mais avec une nouvelle technique améliorée.

Aujourd'hui, le constructeur de route a un large éventail dans lequel la main d'œuvre manuelle est de plus en plus rare, mais dont les machines sont de plus en plus sophistiquées.

Des techniques modernes et un nombre important de matériaux et pièces finies demandent un savoir-faire plus poussé et placent un grand nombre de mesures et d'organisation.

Le champ de travail des routes, dont le drainage et les directives d'approvisionnement sont élargies, est devenu un tant soit peu des travaux souterrains.

Très souvent des connaissances en espaces verts, canalisations, câbles, conduites techniques, sont attendues et même exigées du constructeur de routes car les travaux contiennent ces éléments dans leurs contrats.

CH – I

Directive concernant la construction chaussée

Introduction

La présente directive concerne les réalisations des structures de chaussée
Dans le cadre des constructions neuves
Dans le cadre d'un renforcement

1 – Le sol support

1 – 1 – Classement géotechnique

Les sols en Algérie se répartissent suivant l'identification géotechnique habituelle. Une classification des fuseaux granulométriques des principaux sols supports a été effectuée selon la méthode L.P.C. prenant en compte la granulométrie et la plasticité. Celle-ci débouche sur sept familles de sols

- les graves
- les sables grossiers ou argileux
- les sables fins limoneux limoneux
- les limons
- les argiles peu plastiques
- les argiles très plastiques
- les tufs

1 – 2 – Incidence des conditions climatiques

Les zones climatiques ont été distinguées en fonction des précipitations moyennes annuelles et concernent les classes suivantes

	Zone	Précipitation moyenne annuelle (en mn)
Région Nord	I	plus de 600 mn
	II	entre 350 et 600 mn
Région Sud	III	entre 100 et 350 mn
	IV	inférieur à 100 mn

Les histogrammes des teneurs en eau naturelles des différents sols par zones climatiques indiquent que le comportement des différents sols dans les zones I et II, est le même, les conditions de teneur en eau naturelle étant très voisines.

Cette hypothèse est confirmée par l'analyse de variation, pour chaque sol, de la teneur en eau naturelle (W_p), pour les zones I et II (région Nord). En effet pour la plupart des sols considérés, la limite de plasticité est inférieure à la teneur en eau naturelle.

1 - 3 - L'influence des conditions de drainage des chaussées et des sols.

Bien que pour la plupart des sols identifiés, la teneur en eau est inférieure à leur limite de plasticité, il est nécessaire de considérer les conditions de drainage des sols argileux qui restent les plus sensibles à l'eau, en distinguant les conditions d'un bon drainage des sols qui restent les plus sensibles à l'eau, en distinguant les conditions d'un bon drainage ou d'un mauvais drainage. Les sols argileux très plastiques (A_t) ou peu plastiques (A_p) ont dans la plupart des cas une teneur en eau (W_o) supérieure à leur optimum proctor modifié (W_{op}).

1 - 4 - Portance des sols Supports

La mesure de l'indice C.B.R. à 100 % O.P.M. et à 95 % O.P.M. pour les différents sols considérés et sa relation en fonction de l'indice de plasticité (I_p) a permis de repérer quatre catégories de sol.

Ca catégories	Indice C.B.R. à 100% chaussées souples	Module de déformation tangent (en bars) pour les chaussées rigides
S1	25 à 40	4000
S2	10 à 25	2000
S3	5 à 10	1000
S4	5	500

En définitive, il est proposé une classification en quatre catégories des sols en fonction des différents paramètres examinés ci-dessus. Par convention S1 est le sol le meilleur et S4 le sol le plus mauvais.

2 – Le trafic et les conditions d’exploitations

Une deuxième catégorie de paramètres utilisables pour le dimensionnement de la structure de chaussée, est constituée par le niveau de trafic et par les mesures de déflexion.

2 – 1 – Le trafic

Le trafic à prendre en considération concerne le trafic poids lourd (5t) 6 classes de trafic ont été considérés, à partir du nombre de poids lourds supérieur à 5 tonnes, cumulés sur 20 ans (durée de vie moyenne d’une chaussée). Les trafics sont à considérer à la date de mise en service.

Classes de trafic	Nombre de P1/j (5t)	Nombre de P1 5t cumulé sur 20 ans
To	20	$3,5 \cdot 10^5$
T1	20 à 40	$3,5 \cdot 10^5$ à $7.3 \cdot 10^5$
T2	40 à 120	$7.3 \cdot 10^5$ à $2 \cdot 10^6$
T3	120 à 400	$2 \cdot 10^6$ à $7.3 \cdot 10^6$
T4	400 à 2000	$7,3 \cdot 10^6$ à $4 \cdot 10^7$
T5	≥ 2000	$4 \cdot 10^7$

2 – 2 – Mesures de déflexion et schéma itinéraire.

Dans le cas d’un renforcement, deux cas peuvent se présenter

– La route a déjà fait l’objet de l’établissement d’un schéma itinéraire par le LNTPB se référer aux coupes identifiées par le schéma et compléter l’examen par des sondages.

– La route n’a pas fait l’objet de l’établissement d’un schéma itinéraire

Le L.N.T.P.B. devra établir un schéma itinéraire à partir

- des mesures de déflexions
- des caractéristiques géométriques
- du relevé de l’état superficiel de la chaussée.
- des sondages dans la chaussée.

La considération des deux paramètres sol et trafic a conduit à l’établissement d’un catalogue de structures types de chaussées.

Il est important, cependant de compléter pour chaque cas les paramètres de choix techniques par des considérations économiques.

3 – Considérations économiques.

Tout projet routier doit être considéré comme une solution technico-économique.

Un effort particulier doit être fait pour adopter la variante de structure la plus économique. Pour cela, les éléments suivants sont à prendre en compte

1/ Assurer un approvisionnement en matériaux dans les conditions économiques

A ce titre il est indispensable de prévoir au niveau de l'étude, des conditions d'acheminement des matériaux, en vous basant sur l'étude établissant un bilan sur les gîtes à matériaux (anciens et nouveaux) et par une évaluation comparée des coûts de transport. Les possibilités de stockage de matériaux doivent être exploitées au maximum afin d'éviter les ruptures occasionnelles des travaux.

2/ Conduire les travaux en fonction des crédits disponibles

Le choix des techniques de réalisation, de même que le rythme de travaux doivent être adaptés à l'enveloppe retenue initialement, ainsi que le niveau des crédits de paiements mis à votre disposition. Une évaluation précise des coûts d'aménagements et d'entretien doit être effectuée.

3/ L'application du bordereau type de prix

Les évaluations des coûts d'aménagement et de gros entretiens doivent se faire sur la base du bordereau type de prix unitaires. Le devis élaboré pour chaque projet doit être considéré comme un cadre de contrôle de l'exécution des travaux.

Engin

La stabilisation permet de modifier les propriétés des sols humides de façon spécifique afin de rendre leur compactage possible. Ceci se fait à l'aide de stabilisateurs de sols qui fraisent la surface et mélangent simultanément un liant, par ex. du ciment ou de la chaux, au sol en place.

Lors du recyclage à froid, on fraise toute la structure de la chaussée existante. Grâce à l'adjonction de liants. On obtient un nouveau mélange de matériaux que le recycler remet directement en place et qui servira de couche de fondation ou de couche de base. Ce faisant, on réutilise à 100 pour cent aussi bien les couches liées que les couches non liées.

Différentes matières peuvent servir de liants. Ce sont en premier lieu le ciment, l'émulsion de bitume ou le bitume chaud expansé.

Pour les routes secondaires, la finition consistera en l'application d'un enduit sur la surface. Les routes à grande circulation seront dotées de couches d'enrobés en fonction de l'intensité du trafic.



Largeur de travail	2.438 mm
Profondeur de travail	0 - 500 mm
Puissance du moteur	448 kW / 610 PS
Poids en fonctionnement	maxi. 33.000 daN (kg)
Entraînement du tambour de fraisage	mécanique
Nombre de roues	4
Mécanisme de translation	hydraulique / toutes roues motrices

Appareil universel permettant la stabilisation de sols non portants (p. ex. avec de la chaux), la pulvérisation de couches liées et le recyclage de structures complètes de chaussées, en ajoutant p. ex. du ciment, d'émulsion ou du bitume mousse.

Questionnaire

- 1 - Combien de familles de sols trouve-t-on en Algérie ?
- 2 - Combien y a-t-il de zones climatiques en Algérie ?
- 3 - Par quoi est caractérisée la portance des sols supports ?
- 4 - Quelles sont les classes de trafic ?

CH – II

Réalisation des assises de chaussée en grave-ciment

Introduction

La présente directive concerne les graves-ciment utilisées

– En renforcement de chaussées (les graves-ciment ne seront pas normalement utilisées en renforcement sous circulation de chaussées supportant par jour plus de 500 poids lourds de la catégorie g et au-delà-charge utile de 5 tonnes et plus)

– pour les couches de base de chaussées comportant un revêtement hydrocarboné (dites chaussées noires), et les couches de fondation de chaussées en béton, pour lesquelles le même type de grave-ciment est utilisé ;

– pour les couches de fondation de chaussées noires.

Première partie

Constituants

1/ Grave

1.1 – Définition

Une grave est un mélange de granulats naturels ou artificiels, à granularité continue, de cailloux, de graviers et de sable, avec parfois présence de particules plus fines.

1.2 – Dimension maximale

Pour une grave 0/D, la dimension maximale des gros éléments sera

– pour une couche de base de chaussée noire ou une couche de fondation de chaussée en béton $D=20$ mm (tamis)

– pour une couche de fondation de chaussée noire $D=31,5$

Il s'agit là d'un maximum à ne pas dépasser une dimension maximale faible permet d'obtenir une plus grande homogénéité en facilitant le malaxage et en réduisant la ségrégation lors des diverses opérations de fabrication et de mise en œuvre ; elle permet également d'obtenir un bon uni. Pour une grave alluvionnaire, on n'hésitera pas à retenir une dimension maximale plus faible si la quantité d'éléments concassés qui serait obtenue avec une dimension maximale de 20 mm était insuffisante.

1.3 – Courbes granulométriques

On trouvera en fin de chapitre les fuseaux à imposer pour les graves utilisées

- en couche de base de chaussée noire ou en couche de fondation de chaussée en béton (grave 0/20) ;

- en couche de fondation de chaussée noire (grave 0/31,5)

Les fuseaux indiqués doivent être considérés à la fois comme exemples-types de fuseaux de contrôle et comme fuseaux et spécification (contenant 95 % des couches granulométriques obtenues lors des contrôles).

Les fuseaux imposés pour les couches de base sont assez étroits. Pour s'y tenir, les méthodes suivantes sont conseillées

Matériaux alluvionnaires roulés

Leur teneur en sable varie généralement beaucoup ; les séparera donc, après concassage, en deux fractions (0/4 et 4/D) approvisionnées séparément, la reconstitution s'effectuant au moment de la préparation du mélange.

Si la grave naturelle présente un excès de sable, on séparera par dessablage le maximum d'éléments inférieurs à 4 mm avant concassage.

On obtiendra ainsi

- un sable de dessablage 0/4 ;

- une fraction supérieure à 4 mm. Cette fraction sera concassée on obtiendra ainsi une grave 0/D, peu riche en sable, que l'en enrichira par apport de sable de dessablage, au moment de la préparation du mélange.

Cependant, sa réintroduction en quantité notable dans la grave devrait réapparaître une « bosse du sable ». Il est alors nécessaire de l'éliminer presque complètement et de produire du sable concassé ou broyé 0/6 en quantité plus importante, par une opération de concassage supplémentaire. Dans certains cas la même opération aura également pour but d'augmenter une teneur en fines insuffisante. On pourra aussi ajouter un sable concassé ou broyé 0/6 d'une autre provenance.

Enfin, si la « bosse du sable » se situe à des dimensions très basses, ils peut dans certains cas être avantageux, au cours de l'élaboration de la grave, de dessabler par

voie hydraulique à une dimension elle-même très basse, 0,6 par exemple.

Matériaux entièrement concassés

Les matériaux seront de concassage au moins secondaire.

On les séparera en deux fraction 0/6 et 6/D (car le sable entièrement concassé 0/6 est moins sujets au colmatage que le sable 0/4) que l'on approvisionnera et mettra en stock séparément. La reconstitution se fera au moment de la préparation du mélange.

1.4 – Angularité

On appellera « pourcentage d'éléments concassés » contenu dans la grave 0/D à traiter, le pourcentage, par rapport à cette grave, des éléments provenant du concassage des éléments supérieurs à D de la grave tout-venant d'origine.

Si la préparation du granulat s'effectue sans élimination d'aucune fraction (notamment sans dessablage), le pourcentage d'éléments concassés contenu dans la grave à traiter sera égal au pourcentage d'éléments supérieurs à D dans tout-venant. Dans le cas contraire, le pourcentage d'éléments concassés contenu dans la grave à traiter sera déterminé par le calcul, la quantité de matériaux éliminés étant connue.

Dans certains cas, lorsque plusieurs concasseurs ou broyeurs traitent la grave naturelle préalablement criblée en plusieurs fractions, le pourcentage des éléments concassés peut être très notablement supérieur au pourcentage défini au premier paragraphe. On pourra alors appliquer la définition ci-dessus à chaque concasseur, et on obtiendra le pourcentage de concassé du produit final en faisant la somme des valeurs pondérées déterminées pour chaque composant.

Le **tableau 1** indique, en fonction de l'emploi et du trafic, les pourcentages de concassés minimaux à utiliser.

Tableau 1

Trafic (PL>g)	Renforcement sous circulation	chaussées neuves	
		base de chaussée noire Fondation de chaussée en béton	fondation de chaussée Noire
<100	> 40 %	>25 %	grave entièrement roulée
100 à 500	>60 %	25 %	
500 à 1000	100 %	40	25 %
>1000		60 %	

* l'utilisation des graves-ciment en renforcement pour les routes supportant un trafic de 500 à 1000 (PL>g) n'est acceptée qu'à titre transitoire et lorsque toute autre technique entraîne des plus-values d'au moins 10 % par rapport à la technique grave-ciment.

1.5 – Dureté

Le coefficient Deval Humide des granulats sera supérieur à 3 (avec cependant une certaine tolérance pour les assises soumises aux efforts les plus faibles).

Le coefficient Los Angeles de granulat satisfera aux conditions figurant dans le tableau 2.

1.6 – Pollution

Les graves utilisées devront posséder

- un équivalent de sable ES= 30 ;
- un indice de plasticité Ip non mesurable.

Tableau 2

Trafic (PL>g)	Renforcement	Chaussées Neuves	
		Base de chaussée noire Fondation de En béton	Fondation de chaussée noire
<100	LA<35	LA<35	LA<40
100 à 500	LA<30	LA<35	LA<40
500 à 1000	La<30	LA<30	LA<40
<1000		La<30	LA<40

1.7 – Matières organiques

La teneur en matières organiques, déterminée par la méthode au bichromate, ne devra, en aucun cas, dépasser 0,3 % sur le mélange prêt à être répandu, eau comprise.

2/ Ciment

2.1 – Caractéristiques générales

Les graves utilisées étant exclusivement des graves propres, on pourra