

# Problèmes du revêtement des routes

Autor(en): **Peitrequin, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **84 (1958)**

Heft 6

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-63483>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

**ORGANE OFFICIEL**

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
de l'Association des anciens élèves de l'E.P.U.L. (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole  
polytechnique fédérale de Zurich)

**COMITÉ DE PATRONAGE**

Président: J. Calame, ing. à Genève  
Vice-président: † G. Epitoux, arch. à Lausanne  
Membres:  
Fribourg: H. Cicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: Cl. Groscurin, arch.; E. Martin, arch.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; E. d'Okolski, arch.;  
Ch. Thévenaz, arch.

**CONSEIL D'ADMINISTRATION**

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: A. Stucky, ing.  
Membres: M. Bridel; R. Neeser, ing.; P. Waltenspuhl, arch.  
Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

**RÉDACTION**

D. Bonnard, ing.  
Rédaction et Edition de la S. A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

**ABONNEMENTS**

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 26.—	Etranger. . . . .	Fr. 30.—
Sociétaires . . . . .	»	» 22.—	» . . . . .	» 27.—
Prix du numéro . . . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° II. 57 75, Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements  
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,  
Lausanne

**ANNONCES**

## Tarif des annonces:

1/1 page . . . . .	Fr. 275.—
1/2 » . . . . .	» 140.—
1/4 » . . . . .	» 70.—
1/8 » . . . . .	» 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.

Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

**SOMMAIRE**

Problèmes du revêtement des routes, par P. Peitrequin, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne  
Quelques questions de géométrie pure dans le tracé des routes, par André Girardelos, ing. dipl. EPUL-SIA

Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne: Diplômes

Carnet des concours

Documentation générale — Documentation du bâtiment — Service de placement

## PROBLÈMES DU REVÊTEMENT DES ROUTES

par P. PEITREQUIN, ingénieur,

professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne<sup>1</sup>

**Généralités**

La norme USPR n° 40310 définit ce qu'on nomme « revêtement » dans le cas des chaussées traitées au moyen de liants hydrocarbonés. C'est la couche superficielle, relativement mince, qui constitue la surface de roulement et qui repose sur une couche plus forte, dite « de support ».

Dans la route en béton de ciment, il est incontestable que c'est la dalle qui constitue le revêtement, qu'elle soit construite en une ou deux couches.

Et le pavage à son tour, posé sur son lit de sable, est sans aucun doute aussi un revêtement.

Si l'on tente de comparer entre eux ces trois types de revêtements, du point de vue de leur valeur technique, il faut bien reconnaître que le premier nommé est prétérité.

Cela nous incite, pour les besoins de nos conclusions, à incorporer la couche de support au revêtement proprement dit et à appeler « revêtement », dans son sens le plus général, toutes les couches qui surmontent la fondation de la route. Nous replaçons ainsi les trois

principaux types actuels de chaussées sur pied d'égalité.

Cette définition acquise, demandons-nous ce qu'on exige du revêtement d'une route, c'est-à-dire quel rôle on lui attribue et quelles sont ses qualités nécessaires.

1. Le revêtement doit supporter sans dégâts les charges statiques et dynamiques que la circulation lui impose, ainsi que les sollicitations connexes, telles que le frottement et la succion dus aux pneumatiques des véhicules (accessoirement l'usure par les chaînes à neige des véhicules). Le revêtement transmet les charges qui le sollicitent aux couches inférieures: fondation et infrastructure, selon une loi de répartition qui dépend de l'épaisseur et de la nature du dit revêtement. Chaque couche de la chaussée a un rôle réparateur des charges et celui du revêtement n'est pas négligeable; il devient même primordial dans les routes en béton.
2. Le revêtement doit constituer une protection du corps de la chaussée contre les intempéries (pluie, neige, gel). Cette protection n'est pas nécessairement uniquement mécanique, mais peut être thermique selon la nature du revêtement.
3. Le revêtement doit être apte à subir sans dégâts les légères déformations de la fondation et de l'infrastructure de la route, qui sont quasi inévitables dans le temps. Il doit donc avoir des facultés d'adaptation.
4. La surface de roulement d'un revêtement doit remplir un certain nombre de conditions relatives à la sécurité

<sup>1</sup> Conférence donnée lors du cours sur les techniques routières organisé à l'Ecole polytechnique de Lausanne, par la S.I.A. et l'U.S.P.R., en octobre 1957.

du trafic et au confort des usagers. Citons tout d'abord la rugosité pour lutter contre les dangers de glissance et de dérapage, c'est-à-dire un coefficient de frottement suffisant entre pneumatiques et revêtement dans n'importe quelle circonstance atmosphérique. Mentionnons encore dans cette catégorie de conditions : la couleur de la surface de roulement, de jour et de nuit, le miroitement par pluie ou brouillard, la formation de verglas, la douceur de la circulation, etc.

5. On demande enfin au revêtement d'être rationnel, économique et exécutable par des moyens rapides, en perturbant le moins possible le trafic. Il ne s'agit pas là de la seule économie immédiate dans le coût d'établissement, mais de qualités durables, n'entraînant qu'un minimum de frais d'entretien.

En présence de toutes les conditions idéales énumérées ci-dessus, examinons si nous sommes armés pour en contrôler la réalisation.

Les normes USPR en matière de revêtements donnent des prescriptions d'exécution, mais ne permettent pas de définir un test de qualité. Il ne suffit donc pas de les observer pour que la réussite d'un revêtement soit garantie. Un grand nombre de facteurs viennent compliquer le problème, d'autant plus que les produits hydrocarbonés se comportent de façon très variable selon les températures d'application et les conditions du milieu où ils sont mis en œuvre.

Il faudrait disposer de moyens pour capter par des mesures directes, soit sur la route, soit en laboratoire, tous les éléments qui caractérisent la qualité d'un revêtement (comportement sous l'effet du trafic et des intempéries, aptitude à la déformation, état de la surface de roulement, etc.). Sur la base d'un grand nombre de résultats, on fixerait des valeurs limites, qui permettraient alors de juger si tel ou tel revêtement est acceptable ou pas.

Les recherches dans ce sens se poursuivent, mais elles n'ont pas encore abouti à des solutions utilisables. Ne perdons d'ailleurs pas de vue que ce qui nous intéresse au premier chef, ce sont moins les qualités immédiates d'un revêtement, durant la période de la garantie de bonne exécution, que son comportement dans le temps, après qu'il ait subi une circulation intense et des intempéries extrêmes, après qu'il ait couru les risques de déformation de son support.

### Rappel historique

Dans toute technique quelle qu'elle soit, si l'on veut bien saisir l'état actuel de son développement, il est utile de considérer son évolution dans le temps. Les revêtements routiers n'échappent pas à cette règle générale et nous nous permettrons donc de faire une brève incursion dans le passé, sans toutefois remonter bien haut dans l'histoire des voies de communication.

Le début du XIX<sup>e</sup> siècle apporte un certain renouveau en matière de construction routière et l'ingénieur écossais Mac Adam peut être considéré comme précurseur en faisant appliquer en Angleterre, dès 1820, ses directives pour le gravelage des routes. Son procédé consistait en l'épandage de couches successives de pierres cassées, dures et propres, de calibre plus ou moins constant, formant après cylindrage une carapace résistante et quasi étanche à la suite de son colmatage à l'eau avec des matières d'agrégation. C'était, toutes proportions gardées, notre couche de support en gravier cassé 40/60 mm, que nous appelons d'ailleurs encore

« macadam ». Ajoutons pour être équitable que les Français revendiquent la primauté de ce système d'empierrement, appliqué déjà semble-t-il à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et sous Napoléon.

L'avantage primordial du macadam d'alors, qui formait une chaîne continue d'éléments jointifs, résidait dans sa faculté de résister aux efforts de cisaillement des bandages métalliques des roues de chars et de lutter contre la formation des redoutables ornières de jadis. De plus, l'idée de la répartition des surcharges concentrées par une couche portante était lancée.

L'invention des chemins de fer laissa la route un certain temps dans l'ombre et il fallut attendre l'apparition de l'automobile et son équipement par des pneumatiques (1886-1888) pour qu'on se rende compte que le rail n'était plus le seul moyen de communication rapide et pratique.

Si, du point de vue cisaillement, les pneumatiques ne sollicitaient plus la chaussée dangereusement, par contre, grâce à l'accroissement de la vitesse, ils créaient des phénomènes de frottement et de succion, qui conduisaient à une usure rapide de la surface des chaussées et provoquaient de la poussière.

Il est curieux de constater que c'est en voulant combattre la poussière qu'un médecin valaisan, le Dr Guglielminetti, proposa en 1905 de répandre du goudron sur les routes. L'idée fit du chemin et, après bien des vagues de scepticisme, l'expérience montra tout le parti qu'on pouvait retirer de l'emploi des liants hydrocarbonés pour la consolidation superficielle des chaussées.

Alors qu'en Europe, les premiers revêtements consistaient, soit en un répandage de goudron sur les routes rurales, soit en asphalte comprimé provenant de la mine de Travers dans les zones urbaines, les Etats-Unis pratiquaient depuis longtemps déjà l'enrobage mécanique à chaud par du bitume de gravillons concassés, calibrés et séchés. Il s'agissait, entre autres, du fameux béton bitumeux appelé « Topeka », dense, cassant, glissant, mais qui pour l'époque représentait un progrès considérable (le premier « sandasphalt », dont le « topeka » est un dérivé, apparut aux Etats-Unis en 1870 déjà, alors que ce même « topeka » ne fut introduit en Suisse qu'en 1925, pour être assez rapidement abandonné d'ailleurs).

L'extraordinaire développement de l'automobile qui se manifesta après 1918 provoqua une évolution parallèle de la route, mais il faut surtout attendre jusqu'à la seconde guerre mondiale, guerre de mouvement, pour assister à des progrès gigantesques aussi bien dans la mécanique que dans le génie militaire et civil. Puis vint la pléthore des véhicules à moteur, pléthore à laquelle la route ne peut plus faire face, situation qui est celle d'aujourd'hui.

### Classification

Le raccourci historique précédent nous amène à faire le point, c'est-à-dire à examiner comment se présente à l'heure actuelle la question générale des revêtements routiers. Pour être plus clair, et surtout plus bref, nous estimons opportun de présenter la situation sous forme d'un tableau synoptique donnant une classification schématique des revêtements de

routes pratiqués à notre époque (voir tableau n° 1).

Précisons les deux points suivants :

- le mot courant « macadam » désigne la couche de gravier cassé 40/60 mm posée sur la fondation de la chaussée ;
- l'adjectif « bitumeux » (les Américains préfèrent le mot « asphaltique ») est surtout pris dans le sens général d'« hydrocarboné ».

Le tableau n° 1 comprend tout d'abord trois grandes classes de revêtements, avec l'indication des pourcentages respectifs de surfaces exécutées à fin 1956 par rapport à la surface totale de 70 millions de m<sup>2</sup> des routes suisses pourvues de revêtement.

Bien qu'ils représentent en Suisse une proportion non négligeable, les pavages sont en nette régression, à cause de leur inétanchéité (sauf s'ils sont jointoyés au bitume), mais surtout vu leur coût élevé, qui n'est plus en rapport avec leurs avantages. Ils ont en outre tendance à former à la longue une surface de roulement irrégulière, très néfaste au trafic automobile.

Si l'on fait provisoirement abstraction des pavages, deux grands types de revêtements restent en présence, qui auront tous deux la faveur des constructeurs pour longtemps encore : les revêtements à base de liants hydrauliques (ou liants rigides) et ceux à base de liants hydrocarbonés (ou liants plastiques).

Nous avons encore cité pour mémoire les termes d'une ancienne classification, soit revêtements avec ou sans joints, mais qui n'est plus suffisamment absolue (les pavés sont aussi avec joints et depuis l'apparition du béton précontraint la suppression des joints des routes en béton de ciment est à l'ordre du jour).

Les subdivisions suivantes du tableau se passent de commentaires. Nous avons maintenu les catégories prévues par les quelques normes USPR publiées à ce jour et mentionnées en fin de tableau. Ces normes seront naturellement complétées pour englober tous les revêtements qui s'exécutent actuellement.

L'examen des diverses catégories de revêtement proposées conduit aux premières remarques suivantes :

1. La présence des stabilisations de sols dans ce tableau est discutable, mais nous estimons qu'il est indiqué de les considérer comme des genres de revêtement. (En Suisse, de telles stabilisations en sont encore au stade des essais.)
2. Dans notre pays, la catégorie de revêtement en asphalte coulé pourrait presque être supprimée, ce matériau n'étant plus utilisé pour les chaussées (sauf sur les ponts), mais nous l'avons maintenu quand même, car à l'étranger il a encore de grands succès (en Allemagne, par exemple).

Qui dit classification, dit nécessairement simplification et il est bien difficile de tout différencier nettement et de tout englober si l'on désire conserver la notion de synthèse. C'est ainsi que les stabilisations à l'argile ou à d'autres produits n'ont pas été mentionnées ; on a de même exclu toutes sortes de variantes de composition des tapis, qui constituent souvent des procédés brevetés ; on a passé sous silence les tapis-caoutchouc en particulier, etc.

Remarquons également que dans la catégorie des revêtements bitumeux par mélange préalable, on aurait pu ne pas différencier les tapis des enrobés de tout-venant, ces derniers différant des bétons bitumeux classiques bien davantage par l'origine des matériaux pierreux que par la conception du mélange.

Il y a en outre beaucoup d'analogie, du point de vue composition du mélange, entre les enrobés de tout-venant et les sols-bitumes ; seules les techniques de mise en œuvre diffèrent, et même pas nécessairement.

On a ainsi un aperçu de la complexité des revêtements hydrocarbonés et de la difficulté de les analyser avec toute la précision désirable. Ce n'est d'ailleurs pas là notre intention et nous nous bornerons à ne traiter plus à fond que la question des enrobés de tout-venant, après quelques considérations sur la structure des revêtements bitumeux et sur les tapis denses.

Quant aux revêtements à base de ciment, on nous permettra de ne rien en dire pour l'instant, sinon que les routes en béton sont en nette progression et que les essais tout récents de leur appliquer la précontrainte suscitent un grand intérêt. Les comptes rendus du congrès international de la route en béton qui s'est tenu à Rome à mi-octobre renseigneront les techniciens en détail sur les progrès et les espoirs de ce type de revêtement.

### Structure des revêtements bitumeux

En vue de mieux saisir le comportement des différents revêtements à base de liants plastiques, nous désirons formuler quelques remarques relatives aux principes de base qui caractérisent leur structure.

Partons du macadam, c'est-à-dire de la couche de gravier cassé. Celle-ci est constituée d'une ossature de pierres anguleuses, qui, lorsqu'elles sont cylindrées, se coincent les unes contre les autres pour former une masse stable, mais sans cohésion. Comme il s'agit en outre d'une granulométrie discontinue, le macadam comporte beaucoup de vides et représente une composition manquant de densité. Pour former un agglomérat, on a colmaté ce macadam à l'origine au moyen de matières adéquates introduites par l'eau (macadam à l'eau), tandis qu'aujourd'hui on l'imprègne d'un liant bitumeux. On obtient ainsi une masse dotée d'une certaine cohésion, mais qui n'est pas suffisamment étanche pour se passer d'une couverture. Un tel agglomérat possède une faible surface granulaire qui donne un film de liant d'épaisseur variable, donc une imprégnation inhomogène. La conséquence en est qu'à la longue les chocs et les vibrations dus à la circulation peuvent ébranler et disloquer les grains de ce macadam consolidé.

Les bétons bitumeux, de même que les enrobés de tout-venant, ont par contre un caractère totalement différent. Leur granulométrie est continue, l'échelonnement du calibre des grains donne une masse compacte, avec une proportion minimum de vides. Par l'enrobage chaque élément est recouvert d'un mince film de liant et l'on obtient en définitive un agglomérat homogène et parfaitement cohérent. Le rôle du liant n'est pas de remplir les vides, mais de coller les grains les uns aux autres. Lorsqu'on considère l'énorme surface granulaire à disposition dans un tel agrégat, surface encore augmentée par le filler, on se représente bien la distribution homogène du liant et la cohésion qui en résulte. Le filler constitue en outre un réservoir d'huiles légères du liant, très précieux pour la régénération du béton bitumeux.

On se trouve ainsi en présence de deux types de structure fondamentaux : le type « macadam » et le

## CLASSIFICATION SCHÉMATIQUE DES REVÊTEMENTS DE ROUTES

Grandes classes	Revêtements à base de liants hydrauliques (liants rigides) (Revêtements avec joints)			Pavages	Revêtements à base de liants hydrocarbonés (liants plastiques) (Revêtements sans joints)						
*	3 %			4,5 %	92,5 %						
Catégories générales	Revêtements en béton de ciment	Consolidation en place de macadam	Stabilisation du sol au ciment		Traitements superficiels (consolidation en place de macadam)		Revêtements bitumineux par mélange préalable			Stabilisation de sol aux liants bitumineux	Revêtement en asphalte coulé
Désignation du revêtement	Dalles en béton non armé, armé ou précontraint (une ou plusieurs couches)	Macadam au mortier de ciment	Sol-ciment	Gros pavés Petits pavés	Enduisage ou Surfçage (simple ou multiple)	Imprégnation ou Pénétration + Surfçage	Enrobé ouvert + Surfçage (granulométrie discontinue)	Tapis de béton bitumineux (AB-TA) (granulométrie continue) (une ou plusieurs couches)	Enrobé de tout-venant (granulométrie naturelle) (une ou plusieurs couches)	Sol-bitume	Asphalte coulé
Liants	Ciment Portland	Ciment Portland (c. de laitier)	Ciment Portland (c. de laitier)		Bitume Goudron Emulsions	Bitume Goudron Emulsions	Bitume Goudron Emulsions	Bitume Goudron	Bitume Goudron	Bitume Goudron Emulsions	Mastic de bitume
Matériaux pierreux (agrégats)	Sable et gravier ronds 0-40	Gravier cassé 40-60 + mortier	Sol naturel ou amélioré par ballast rond tout-venant		Gravier cassé 40-60 sablé. Gravillons cassés 5-25	Gravier cassé 40-60 Gravillons cassés 5-25	Gravillons cassés 10-15/30-40	Gravillons cassés 0-15/0-35 Filler	Tout-venant de gravière ou Déchets de carrière	Sol naturel ou amélioré par ballast rond tout-venant	Sable rond 0-8
Technique de construction	Béton fabriqué en poste fixe, transporté et posé	Application de mortier à un macadam en construction ou fini : a) en sandwich b) par épannage superficiel du mortier	Adjonction de liant au sol. Malaxage sur place (pulvimixer) ou en machine mobile (travel-plant)	Jointoyage au sable, au mortier de ciment ou à l'émulsion de bitume	Epannage de liant sur un macadam fini, puis gravillonnage	Imprégnation par un liant d'un macadam fini et surfçage final	Prérobage en poste fixe de gravillons, transport et pose à froid	Fabrication du béton en poste fixe à chaud ou à froid, transport et pose à chaud ou à froid	Technique du tapis ou fabrication sur place en machine mobile (moto-paver)	Même technique que pour les sols-ciment	Préparation à chaud en poste fixe, transport et pose à chaud
Normes USPR				40 481 40 482	40 410 40 411			40 430 40 432 (AB) 40 435 (TA)			

\* Proportion de surfaces exécutées à fin 1956 par rapport au réseau des routes suisses pourvues de revêtement.

Fig. 1. — Tableau I.

type « béton ». Dans la pratique, ces deux systèmes ne se différencient pas toujours d'une façon absolue. En consultant à nouveau le tableau n° 1, on remarque que les traitements superficiels se rapprochent du type macadam, de même que les enrobés ouverts, bien que ceux-ci figurent dans la catégorie des revêtements par mélange préalable. Les tapis et les enrobés de tout-venant se rapprochent eux du type béton, de même que le sol-bitume.

### Tapis denses

Les tapis désignés par les normes USPR sous les dénominations de béton de bitume (AB) et béton de bitume-goudron (TA), ainsi que les compositions analogues se trouvant sur le marché, sont considérés aujourd'hui comme techniquement les meilleurs parmi les revêtements hydrocarbonés.

Malgré la diversité de leur composition, ils donnent pleine satisfaction, à condition d'être exécutés par des entreprises expérimentées. Remarquons toutefois qu'on a la fâcheuse tendance de réduire exagérément l'épaisseur des couches, par raison d'économie immédiate. Avant 1930, on posait couramment des tapis de 4 à 5 cm d'épaisseur; ces dimensions ont été réduites depuis, même jusqu'à la moitié de leur valeur et aujourd'hui on conserve encore ces trop faibles épaisseurs. Le tapis n'a dans ces conditions plus qu'une fonction de couche d'usure, sans qualité portante appréciable.

Nous ne prétendons pas qu'il faille aller jusqu'aux épaisseurs pratiquées aux Etats-Unis, où le liant est moins coûteux que chez nous, mais nous citons quand même, à titre de simple orientation, que la récente New Jersey Turnpike, route de 190 km de longueur, a reçu un revêtement de béton bitumeux en trois couches, de 11,5 cm d'épaisseur totale. Et les exemples étrangers foisonnent où l'épaisseur des tapis ne descend pas en-dessous de 4 à 5 cm.

Reste à citer une évolution de la technique de construction des tapis qui tend à simplifier le procédé de fabrication et à abaisser ainsi le prix de revient. Des praticiens sont en effet partisans de supprimer le séchage des agrégats, tout en ne chauffant le liant qu'à un degré inférieur à la température habituelle, afin de lui conserver ses composants volatils les plus précieux. On dispose aujourd'hui de correctifs de liants hydrocarbonés qui permettent d'augmenter le pouvoir d'enrobage et d'adhésivité du liant à la pierre, même en présence d'humidité. Le séchage des gravillons et le chauffage presque exagéré du liant peuvent être considérés comme un artifice en vue d'obtenir un pouvoir agglomérant suffisant, artifice compliqué et coûteux dont on cherche à se passer en préconisant la technique du « tapis à froid » (en réalité « semi à froid », puisque seul le liant est tempéré).

### Enrobés de tout-venant

Chaque constructeur de routes sait que plus l'on se rapproche de la surface de roulement d'une chaussée, meilleure doit être la qualité des graviers cassés qui la constituent. La couche de support d'un tapis, généralement en macadam 40/60 mm, qui est parfois réduite à l'épaisseur d'un grain (6 cm) doit se composer d'une

roche très dure. Dans une bonne partie du canton de Vaud, par exemple, on exige pour cette couche du gravier cassé des Alpes, à l'exclusion de tout autre.

Or, l'extention des réseaux routiers demandera des approvisionnements considérables en matériaux. On ne pourra plus exiger telle ou telle provenance et il faudra même peut-être se contenter de qualités moyennes, sous peine de ne plus pouvoir maintenir le rythme adopté pour l'avancement des travaux. A l'étranger, on a songé depuis longtemps à cette difficulté et l'on a mis au point une technique de revêtement hydrocarboné qui fait usage exclusivement de matériaux ronds tout-venant de gravière, semblables à ceux d'un béton ordinaire de ciment. Ces agrégats tout-venant, agglomérés par l'enrobage d'un liant bitumeux approprié, constituent un béton bitumeux dense, sa granulométrie étant continue, appliqué en couche relativement épaisse directement sur la fondation habituelle de la chaussée, en remplacement de la couche de macadam. Une telle couche d'enrobés peut à la rigueur être considérée comme finale et recevoir la circulation en permanence (routes secondaires) ou alors elle constitue la couche de support d'un tapis mince (tapis d'usure).

Les difficultés d'approvisionnement des graviers de carrière convenables est un des facteurs qui ont favorisé l'évolution de cette technique, mais son caractère primordial est à rechercher dans les qualités de portance de cette couche épaisse d'enrobés, appelée « couche portante » (Tragschicht).

Le rôle du corps de la chaussée et de son revêtement est, comme on l'a vu, de répartir les surcharges, de façon que les pressions spécifiques sur l'infrastructure soient trop faibles pour occasionner des déformations permanentes. Mais par les grandes vitesses pratiquées aujourd'hui, les véhicules sollicitent la superstructure de la route de bien d'autres façons, dans le sens des chocs, des vibrations, des frottements, de la suction, etc. Il est donc souhaitable, sinon indispensable, que la chaussée possède la cohésion et l'élasticité suffisantes pour absorber l'effet de telles sollicitations. Malgré son imprégnation, la couche macadamisée ne peut pas à la longue jouer ce rôle et une couche d'enrobés denses la remplace avantageusement. Le bénéfice de cette substitution s'étend même à la transmission des charges au sous-sol, car des essais ont prouvé que les couches portantes cohésives et flexibles sont de meilleures répartiteuses que le macadam imprégné.

Les Etats-Unis ont entrepris de vastes recherches à ce sujet et chaque « routier » a entendu parler de la route expérimentale de Washo, où un grand nombre de types de revêtements ont été éprouvés par plus de 200 000 passages de camions lourds.

L'expérience américaine a montré que les couches supérieures de haute qualité (bétons bitumeux ou enrobés denses) se comportent comme de véritables dalles qui répartissent les charges et qu'une augmentation de leur épaisseur permet de réduire de façon considérable l'épaisseur totale du corps de chaussée par rapport aux épaisseurs pratiquées habituellement. A titre d'exemple, si l'épaisseur d'une couche portante bitumeuse passe de 5 cm à 10 cm, l'épaisseur totale de la route peut être réduite jusqu'à 50 % (ceci bien entendu indépendamment du problème du gel).

Il faut ajouter que la couche d'enrobé dense peut fort bien constituer la sous-couche d'une dalle en béton dont on voudrait réduire l'épaisseur au minimum. L'Allemagne et l'Autriche sont très partisans de cette manière de procéder. L'autoroute Salzbourg-Vienne comportera par exemple une couche portante bitumineuse de 10 cm sous des dalles de béton.

Nous résumons comme il suit les avantages des couches portantes bitumineuses :

1. Techniquement plus avantageuses que les méthodes classiques pour la répartition des surcharges et toutes les autres sollicitations du trafic.
2. Emploi de matériaux graveleux tout-venant ou de déchets de carrière, disponibles en grande quantité et à bas prix dans la région traversée par la route.
3. Mécanisation simplifiée et haut rendement de l'exécution, sans grande perturbation du trafic.
4. Possibilité de les associer à tout type de revêtement proprement dit (béton ou tapis) ou encore de les admettre comme surface de roulement, temporairement ou définitivement.
5. Faculté de s'adapter à toute déformation ultérieure de la chaussée (zones instables).
6. Etanchéité et protection thermique de l'infrastructure.
7. Aptitude à des renforcements éventuels.
8. Réduction de l'épaisseur totale du corps routier.

Afin de bien se convaincre des vastes possibilités qu'offre la technique des enrobés de tout-venant, nous donnons dans le diagramme n° 2 onze courbes granulométriques de matériaux naturels tout-venant de différentes provenances qui tous ont été utilisés à l'état brut dans la fabrication d'enrobés, soit à titre d'essais, soit pour l'exécution de tronçons de revêtements. Malgré leur composition granulométrique très différente, tous ces agrégats ont fourni des enrobés convenables, même les sables fins du Sahara, de granulométrie discontinue. Ces matériaux peuvent être dragués dans un lac ou en rivière, exploités à la butte en gravières (alluvions, moraines) ou encore provenir de dépôts de déchets de carrières. Ils peuvent être

utilisés directement, sans lavage, ni triage. Si l'on rencontre toutefois des éléments de calibre incompatible avec l'épaisseur de la couche d'enrobés à poser, il suffira de les séparer, de les concasser et de les réincorporer à la masse.

Du point de vue origine des matériaux pierreux, les enrobés de tout-venant se rapprochent passablement du béton de ciment des routes en béton, à ceci près cependant que les agrégats peuvent être bruts, alors que ceux du béton de ciment doivent au contraire être de haute qualité et granulés correctement.

Jusqu'à ces dernières années, on avait la tendance de considérer la route comme stratifiée, chaque couche ayant son rôle propre à jouer : la sous-chaussée pour le drainage et contre le gel, puis la fondation, puis la couche de support et enfin le revêtement. Aujourd'hui on se rend compte qu'il est indispensable de réaliser un corps homogène, capable de s'adapter à toute une gamme de conditions de charges et de conditions d'appui. Le revêtement n'est plus une simple carapace, il s'incorpore et prête main-forte aux autres éléments de la route.

Les considérations précédentes justifient la définition du revêtement hydrocarboné que nous avons voulu introduire au début de cet article, à savoir qu'il se compose de tout ce qui surmonte la fondation.

#### Perspectives d'avenir

En présence du vaste programme routier en préparation, on peut se demander ce que seront les revêtements de nos futures autoroutes suisses. Parmi toutes les études faites jusqu'à ce jour, leur a-t-on réservé la place qu'ils méritent ? A-t-on pu se faire une opinion impartiale sur les avantages et les inconvénients de chaque procédé, afin de pouvoir décider en parfaite connaissance de cause le moment venu ? Laissera-t-on

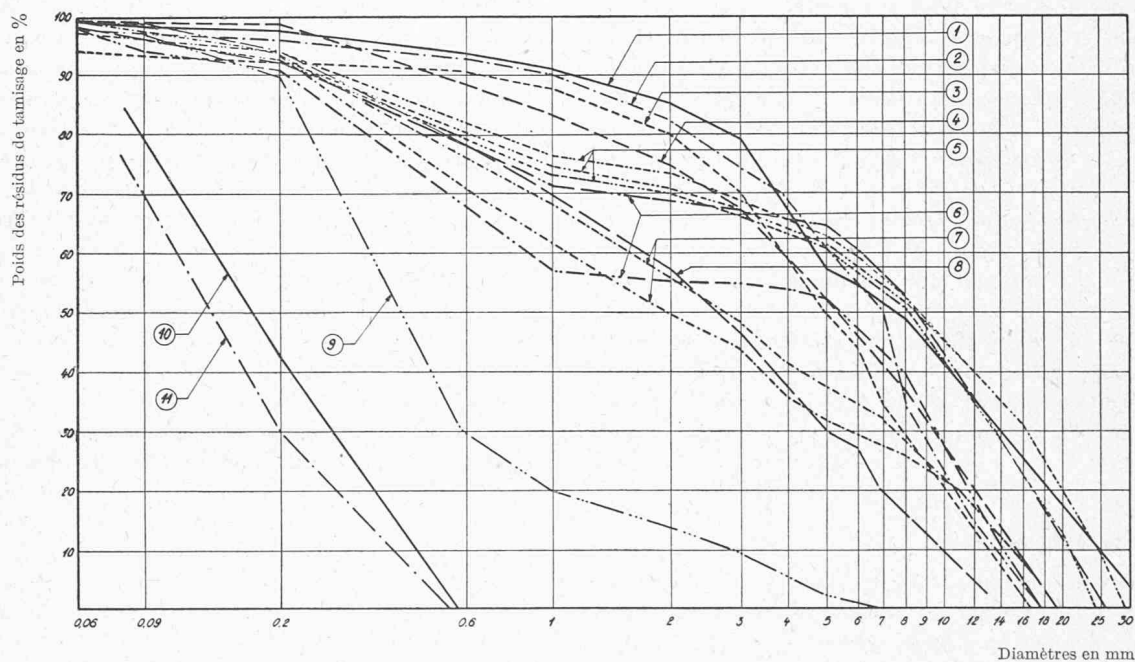


Fig. 2. — Courbes granulométriques de matériaux tout-venant

- ① ⑤ ④ ⑥ ⑦ Alluvions (Yverdon, Zurich, région lémanique) — ② ⑧ Moraines (Préalpes vaudoises)  
 ③ Déchets de carrière (Valais) — ⑨ Sable du Rhône (Valais) — ⑩ ⑪ Sables de dune (Sahara)

les producteurs de liants déployer leur offensive en vue du triomphe de leur systèmes respectifs ? Consultera-t-on l'usager de la route pour découvrir ce que la majorité préfère ?

Il semble, à première vue, qu'il n'y aie que l'alternative de choisir entre le blanc (routes en béton) et le noir (revêtements bitumeux). Or, nous croyons que les deux systèmes, si longtemps en concurrence, peuvent être appelés à collaborer et nous espérons que les considérations développées plus haut le prouvent.

La technique des couches bitumeuses portantes laisse nettement entrevoir la perspective d'une combinaison avec les dalles de béton. Aux Etats-Unis, en Belgique, en Hollande, en Autriche, les deux systèmes de revêtements ont déjà trouvé des emplois communs. Tantôt c'est la dalle de béton qui est en surface avec l'enrobé en sous-couche, tantôt c'est l'enrobé qui sert de surface de roulement sur une fondation en béton brut.

Quoiqu'il en soit, le problème du revêtement des routes est à l'ordre du jour. Pour le résoudre, les expériences étrangères peuvent nous guider, mais notre

tâche est cependant immense et urgente. Des enquêtes locales doivent être faites pour s'assurer l'approvisionnement en matériaux, des recherches pratiques et des essais doivent être mis en chantier et les entreprises spécialisées doivent être appelées à faire connaître leurs idées et leurs possibilités techniques. Les laboratoires routiers se donneront pour mission de toujours mieux saisir les caractéristiques des différents revêtements par des études, des observations et des mesures, dont les résultats seront confrontés avec le comportement des chaussées en service. Ils feront également fonction d'organes neutres pour contrôler l'application des normes.

Notre conclusion finale est une mise en garde, qui nous paraît être la condition d'un succès rapide dans la solution recherchée : éviter de pécher par excès de théorie d'une part et éviter de pécher par excès d'empirisme d'autre part. Dans la construction de routes, plus peut-être que dans toute autre science de l'ingénieur, le théoricien se doit de collaborer étroitement avec le praticien.

## QUELQUES QUESTIONS DE GÉOMÉTRIE PURE DANS LE TRACÉ DES ROUTES

par ANDRÉ GIRARD CLOS, ing. dipl. EPUL-SIA

ing. cantonal-adjoint du Service des ponts et chaussées de l'Etat de Neuchâtel<sup>1</sup>

### Introduction

#### 1. Cause de l'insécurité du roulement

Dans le déplacement de sa voiture, l'automobiliste occupant son siège est soumis à la force d'inertie. Son sentiment de sécurité est satisfait si l'assiette de la machine ne donne pas lieu à des mouvements latéraux de son corps. Au contraire, il est influencé défavorablement par les *variations* de l'accélération transversale. Ces variations donnent naissance à des balancements si elles ne sont pas compensées par une position transversale adéquate du véhicule.

La stabilité du roulement est donc intimement dépendante de la conformation du tablier de la route, qui imprime sa position à la voiture.

Or, la forme de ce tablier résulte ordinairement d'un compromis. Les tendances qui s'affrontent sont, d'une part : le souci de rendre la surface aussi apte que possible au déplacement sûr des véhicules rapides. D'autre part : la nécessité de tenir compte d'un trafic lent et de l'écoulement des eaux de pluie.

Cette forme n'est pas parfaite. Sa surface, étant même très unie, peut comporter certaines zones mal conditionnées qu'on distingue souvent dans le voisinage de l'entrée et de la sortie des courbes. La circulation à grande vitesse est particulièrement dangereuse à ces endroits, dans lesquels la voiture subit des mouvements de roulis plus ou moins heurtés. (Ceci, indépendamment d'une déformation qui peut résulter après la construc-

tion, de tassements de la fondation ou d'un entretien grossier.)

#### 2. Simplification du problème général

Le problème essentiel du réglage géométrique de la chaussée est donc la recherche de la forme à donner à la surface de raccordement entre les éléments simples du tracé. Nous entendons par éléments simples, les trajectoires *rectilignes* et les trajectoires *circulaires*.

Reprenons ce problème « ab ovo » et aventurons-nous dans une recherche toute théorique des formes les plus rationnelles, propres à augmenter le confort et la sécurité du roulement.

Pour arriver rapidement à un résultat concret, apportons quelques simplifications à ce problème. Occupons-nous donc, pour un instant du *trafic rapide* seulement et considérons un véhicule soumis à la pesanteur, animé d'une *vitesse constante* et roulant sur une route *horizontale débarrassée d'obstacles*. Le problème ne sera pas compliqué si l'on *néglige* encore le facteur de l'écoulement de *l'eau de surface* qui trouble les données mécaniques. Les conséquences de ces simplifications seront examinées après coup et le bilan des avantages et inconvénients établi en fin de compte.

### Tracé du raccordement

#### 3. Base du problème

Lorsque dans son mouvement un véhicule passe d'un alignement à un arc de cercle, son assiette ou inclinaison latérale doit se modifier. Pour bien aller, l'assiette de la voiture devrait toujours être perpendiculaire à la

<sup>1</sup> Conférence donnée lors du cours sur les techniques routières organisé à l'Ecole polytechnique de Lausanne, par l'U.S.P.R. et la S.I.A., en octobre 1957.