

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Certains aspects de la mécanique des chaussées souples

Certain Aspects of the Design of Flexible Pavements

par le Professeur N. IVANOV, Docteur ès Sciences, Institut Routier de Moscou, et A. KRIVISKI, Candidat ès Sciences, Institut de Recherches Routières de l'U.R.S.S., le Professeur I. TCHERKASSOV, Docteur ès Sciences, Académie de la Construction et de l'Architecture de l'U.R.S.S., le Professeur V. BABKOV, Docteur ès Sciences, Institut Routier de Moscou, et le Professeur A. BIROULIA, Docteur ès Sciences, Institut Routier de Kharkov

Sommaire

La méthode de calcul d'un revêtement flexible, présentée au IV^e Congrès de la Mécanique des sols et au XI^e Congrès International de la Route, qui tenait compte des applications de charge prolongée et du degré de rigidité (caractérisé par leur module de déformation) de chaque couche de la chaussée et du sol de fondation, est remplacée par une solution plus stricte du problème. On applique la théorie de l'élasticité à un système multicouche dont les caractéristiques sont déterminées dans le cas des charges rapides.

Il est possible de déterminer l'épaisseur d'une chaussée suivant deux critères :

(a) Soit d'après les déflexions relatives du revêtement sous applications de charges rapides qui doivent être de l'ordre de 0-0025-0-005, ce qui exclue l'apparition d'effets de fatigue.

(b) Soit d'après le critère des efforts de cisaillement qui peuvent apparaître dans le sous-sol de la fondation ou même dans une des couches de la chaussée.

Dans le premier cas il est nécessaire de calculer le module d'élasticité pour les camions les plus lourds sous application de charges à durée limitée. Dans le second il faut connaître le coefficient de frottement interne et la cohésion des matériaux de la chaussée et du sous-sol.

L'étude de ces deux solutions se poursuit en comparant des résultats d'essais obtenus en laboratoires et sur chantiers.

Il a été établi expérimentalement que même avec divers sols homogènes ayant une déformation relative uniforme, leurs caractéristiques varient largement et on est obligé d'introduire dans les calculs un coefficient d'hétérogénéité.

Les principes et méthodes de la Mécanique des Sols sont appliqués à l'étude des déformations du sol sous l'action d'un véhicule en mouvement. Ceci permet de proposer une méthode de calcul de la profondeur de l'ornière et de la résistance du terrain à l'effort de traction. Pour établir la possibilité de déplacement du terrain on utilise un appareil conique portatif à palettes du type « vane test ».

I. CALCUL DES CHAUSSÉES SOUPLES SOUS CHARGES RÉPÉTÉES

par N. IVANOV et A. KRIVISKI

On applique actuellement, en U.R.S.S., la méthode de calcul de chaussées souples présentée au IV^e Congrès International de la Mécanique des Sols [5], et au XI^e Congrès International de la Route [6]. En général, cette méthode a été consacrée par la pratique et incluse dans les instructions officielles. Cependant, la théorie sur laquelle elle est basée est jusqu'à un certain point conventionnelle, vu qu'on prend le module de déformation totale comme caractéristique mécanique ; or ce module est déterminé à la suite d'expériences

Summary

The authors propose an improved method of designing flexible road pavements, based on the theory of elasticity applied to multilayer systems and on parameters determined from loading tests of impact type. The authors suggest two methods for determining the thickness of a road pavement :

(a) Using permissible vertical deflexions on the pavement of from 0-0025 to 0-005 under repeating application of impact loads which do not cause fatigue.

(b) Using local shear stress in the underlying soil or in one of the layers of the pavement.

Item (a) involves a determination of the moduli of elasticity under the application of heavy wheel loads for a definite period.

Item (b) of the angle of internal friction and the coefficient of cohesion of the soil. These two procedures are being developed and compared with information gained both in the field and the laboratory.

Experiments have proved that the parameters differ even where soil conditions and deflexions are similar ; special coefficients are used in order to allow for these variations.

A new method for determining rolling resistance has been developed.

The authors have devised a new apparatus for testing the traffic resistance of a soil surface. This device combines a conical densimeter with an equipment similar to that used for vane tests.

avec charge statique, et maintien de cette charge jusqu'à l'amortissement complet des déformations.

L'état-limite d'une chaussée est alors déterminé par la déformation relative $\lambda = 0,03-0,06$; avec déflexion $\lambda = p/B$, rapport dans lequel p est la déflexion absolue correspondant à une charge unitaire dépassant la charge de base du fait de sa multiplication par un coefficient tenant compte de la répétition des charges et B est le diamètre d'un cercle équivalent à la surface de contact de la roue sur le revêtement.

En réalité, les chaussées travaillent sous l'application de charges dynamiques, leurs déformations sont nettement moins importantes et revêtent en général un caractère réversible.

C'est pourquoi on a entrepris l'élaboration d'une méthode de calcul plus rigoureuse des chaussées souples basée sur la

brèveté de l'application des charges. Cette méthode est fondée sur les considérations suivantes :

(a) En fait, la répartition des efforts dans une chaussée multicouche sous l'application de charges de durée limitée, est très proche de celle que l'on obtient par le calcul, en partant d'un système bicouche élastique semi-infini, à la condition que les agrégats des couches de fondation de la chaussée, et surtout ceux de la couche de forme, ne soient pas plastiques. Sinon, il convient de réduire les modules d'élasticité de base, en les divisant par 1,3 ou 1,5.

(b) Le calcul peut s'effectuer d'après les plus grandes déflexions relatives verticales admissibles, compte tenu de la fatigue résultant de la répétition des charges, ces charges étant de courte durée et étant entendu qu'il s'agit de déflexions reversibles du revêtement et des couches de base de la chaussée.

En général, ces déflexions augmentent avec l'épaisseur équivalente du revêtement (5, Fig. 1), mais pour les épaisseurs inférieures à $0,6 B$, elles peuvent être considérées comme constantes.

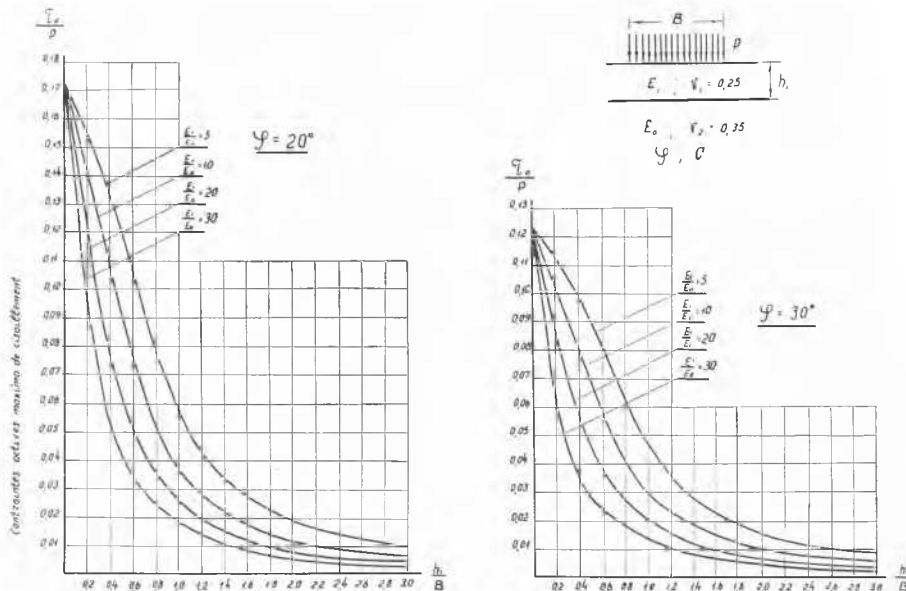


Fig. 1 Contraintes actives maxima de cisaillement dans la couche inférieure d'un système bicouche pour différents rapports des modules d'élasticité de la couche supérieure et de la couche inférieure.

The magnitude of the maximum shear stress in the lower layers of two-layer system for different ratios of elastic modulus of the upper and lower layers.

Jusqu'à complète élaboration de la théorie du système multicouche, on peut appliquer, de même qu'avec la méthode actuellement existante, les conclusions de la théorie du système bicouche, mais en tenant compte obligatoirement de l'augmentation du diamètre du cercle qui transmet la pression, en fonction de la profondeur. Il est indispensable d'introduire un coefficient $\alpha = 1,5$ ou $1,6$, dans la formule donnant la valeur du module d'élasticité du système multicouche.

(c) La déflexion relative admissible du revêtement au cours de la saison la plus défavorable, déterminée en tenant compte de la fatigue des matériaux à la condition que la durée d'application de la charge ne dépasse pas $0,1$ seconde, peut être considérée comme réversible. Sa valeur, d'après nos propres expériences, de même que d'après les rapports présentés par de nombreux pays au XI^e Congrès International de la Route et les essais «Washo» peut être considérée comme étant de l'ordre de $\lambda = 0,003$ ou $0,0025$, et pour les routes secondaires à faible circulation, de l'ordre de $\lambda = 0,004$ ou $0,006$. Ces chiffres sont basés sur l'hypothèse que la limite de portance de la fondation n'est atteinte que lorsque les déformations sont plus importantes.

Le module d'élasticité exigé dans ce cas doit être calculé

par la formule : $E_{ex} = \frac{\alpha}{\lambda} p$, dans laquelle p est la pression

spécifique non pas de la roue de base, mais de la roue du véhicule le plus lourd, et α , un coefficient de correction (voir par. (b)).

$E_{ex} = \frac{E_v}{1 - \nu^2}$, formule dans laquelle E_v est le module d'élasticité et ν , le coefficient de Poisson.

(d) Les modules d'élasticité des différentes couches de la chaussée et du sol de la plate-forme doivent être établis expérimentalement, pour la déformation relative admissible. Dans ce but, il ne faut pas appliquer la méthode de mesure de la vitesse de propagation des ondes élastiques, car elle conduit à des valeurs exagérées du module d'élasticité. Il ne faut pas non plus appliquer directement la méthode californienne basée sur l'hypothèse d'une charge statique. Cependant, entre le module d'élasticité et le coefficient CBR, il existe la relation approchée suivante :

$$E_v \cong 14 \times 3,5 \text{ CBR} \cong 50 \text{ CBR}$$

Cette relation donne la valeur du module d'élasticité avec une certaine marge, vu que la détermination du coefficient CBR a lieu lors d'une déformation relative de : $\lambda = 0,05$.

Afin de déterminer le module d'élasticité avec le maximum de précision, on peut effectuer une application dynamique de la charge de base (6,0 à 6,5 t) sur une plaque de 35 cm de diamètre, étant entendu que la durée de l'application doit être de l'ordre de 0,02-0,1 s.

On peut effectuer de telles expériences en précipitant la charge sur un ressort fixé à la plaque, et dont la force a été choisie de façon à assurer le temps d'application voulu.

On peut également déterminer le module d'élasticité après plusieurs chargements et déchargements statiques de la plaque, avec observation obligatoire de la relaxation.

L'analyse de nombreuses expériences faites sur les chantiers a montré qu'en général le module d'élasticité pour charges de courte durée est 3,5 fois supérieur au module de la déformation totale. C'est pourquoi, en fin de compte, les résultats des calculs effectués suivant la méthode existante, basée sur le module de déformation et suivant la phase élastique du travail de la chaussée, sont sensiblement voisins, bien que le rôle des couches plastiques supérieures soit quelque peu exagéré. Mais la détermination du module d'élasticité est simplifiée, car elle n'exige plus l'emploi de presses puissantes et son exécution est nettement plus rapide.

Les modules d'élasticité dépendent beaucoup moins de la déformation relative.

(e) Indépendamment du calcul à la déformation maximum, il est indispensable d'accorder une grande attention à la détermination de l'épaisseur des couches de fondation, en tenant compte de leur rôle dans la lutte contre le gonflement dû au gel.

A. Toulaev recommande dans les régions où l'on peut craindre un gonflement non-uniforme du sol à la suite du gel, avec une profondeur de congélation égale à H , de déterminer l'épaisseur de la couche de fondation (h_2) située sous des couches de base et de revêtement d'une épaisseur h_1 , par la formule :

$$h_2 = H \left(1 - \sqrt{\frac{h_{adm.}}{\beta h_{rég.}}} \right) - h_1$$

dans laquelle :

$h_{adm.}$, est le gonflement non-uniforme admissible des revêtements en béton asphaltique à la suite du gel, égal à 1,3-1,5 cm.

$h_{rég.}$, est le gonflement uniforme maximum à la suite du gel, observé dans la région du chantier, en l'absence d'une fondation résistant au froid, d'épaisseur suffisante (3-18 cm).

β , est le coefficient de passage du gonflement uniforme au gonflement non-uniforme, égal à 0,25-0,27.

Le calcul des chaussées souples d'après les déformations relatives du revêtement, conformément aux suggestions exposées ci-dessus du professeur N. Ivanov, ne peut être appliqué que si aucune déformation résiduelle plastique — sous forme de déplacement — n'a lieu dans les différentes couches de ce revêtement. Selon A. Krivisski, la réalisation d'un équilibre-limite local dans l'agrégat des couches de base et de fondation, ou bien dans le sol de forme, constitue un critère de l'état-limite des chaussées souples.

Pour les sols cohésifs, la condition de l'équilibre-limite en un point est la suivante :

$$\tau_{ab} = \frac{1}{2 \cos \varphi} [(\sigma_1 - \sigma_3) - \sin \varphi (\sigma_1 + \sigma_3)] \leq C_d$$

dans laquelle :

σ_1 et σ_3 : sont les contraintes principales maximum et minimum au point considéré ;

φ : est l'angle de frottement interne ;

τ_0 : est la contrainte active maximum du glissement, et

C_d : est la cohésion.

L'analyse théorique prouve que la contrainte active de déplacement dans la couche de fondation d'une chaussée multicouche atteint sa valeur maximum sous le centre de la surface chargée. En outre, le point correspondant au τ_0 maximum se trouve généralement situé dans le plan de contact des couches (dans l'hypothèse d'un collage des couches suivant leur plan de contact) ou dans son voisinage immédiat.

La Fig. 1 représente un exemple de valeur maximum de la contrainte spécifique active de glissement dans la couche de fondation d'un système bicouche, pour des rapports différents des modules d'élasticité des couches de base et de fondation, et des rapports différents de l'épaisseur de la couche de base au diamètre de la plaque circulaire chargée, dans le cas de valeurs de φ égales à 20° et à 30°. Au cours de ces calculs, on a utilisé les composantes des contraintes, obtenues par la solution du problème, suivant la théorie de l'élasticité du système semi-indéfini bicouche.

La correction à appliquer à la contrainte active totale du glissement, pour tenir compte du poids de la chaussée, est calculée par la formule :

$$\tau_{ab} = \frac{\gamma}{2 \cos \varphi} [1 - \varepsilon - (1 + \varepsilon) \sin \varphi] h,$$

dans laquelle : ε est le coefficient de pression latérale de la couche de fondation, et γ , le poids volumétrique de l'agrégat de la couche de base.

En se basant sur ces données, on peut calculer les épaisseurs de chaussées, pour lesquelles n'aurait pas lieu de déplacements plastiques locaux dans le sol sous-jacent, et aussi évaluer, de ce point de vue, les conditions de travail des chaussées existantes.

Jusqu'à la construction d'abaques de calcul conformes au modèle de la Fig. 1, pour des systèmes comprenant plus de deux couches, on est obligé, au cours même du calcul, de réduire les systèmes multicouches en systèmes bicouches.

La méthode de calcul qui vient d'être exposée a été plus d'une fois vérifiée expérimentalement ainsi qu'au moyen du calcul — exécuté à titre de contrôle — de chaussées existantes, depuis longtemps livrées à la circulation. Ces calculs de contrôle ont été exécutés pour de nombreux tronçons de routes importantes comportant des revêtements souples, situés dans différentes régions climatiques de l'U.R.S.S., ainsi que pour les routes expérimentales Washo [8].

II. VARIABILITÉ STATISTIQUE DU MODULE DE DÉFORMATION DU SOL

par I. TCHERKASSOV

L'exactitude du calcul des chaussées flexibles, indépendamment de la méthode employée, est, dans une large mesure, déterminée par l'exactitude des valeurs des caractéristiques mécaniques du sol de la forme, pendant la saison la plus défavorable. Dans la méthode de calcul adoptés actuellement en U.R.S.S. [5, 6], le module de déformation totale du sol, E_0 , a été choisi comme paramètre.

Les valeurs de base de E_0 furent déterminées par l'analyse des déformations des chaussées existantes par des essais exécutés au printemps en laboratoire et sur le chantier et au cours desquels les plaques chargées furent disposées à la surface du sol, et à différentes profondeurs. Ces derniers essais donnent les meilleurs résultats.

Les essais ont prouvé que les valeurs moyennes du module coïncident en général avec les valeurs obtenues par la méthode de calcul des chaussées souples, actuellement en vigueur, mais que, même lorsqu'il s'agit de courts tronçons aux sols identiques et de mêmes déformations relatives, les valeurs des modules, obtenues au cours de divers essais, marquent des différences fort sensibles. Ce fait s'explique par la varia-

bilité statistique de la densité, de l'humidité et, partiellement, de la composition du sol; cette variabilité est liée à l'action de facteurs locaux, tels par exemple le dégel et le dessèchement irréguliers. Des exemples caractéristiques de varia-

bilité du module, résultants de trois séries d'essais effectués avec des plaques de 71,6 cm et 60 cm de diamètre, pour une valeur de $\lambda = 0,01$, sont consignés dans le tableau ci-dessous.

| N ^o du tronçon | Sols | Valeurs de E_0 d'après divers essais | | | | | | | | E_0 moyen |
|------------------------------|--------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 1 | Limon sableux | 163 | 186 | 201 | 219 | 254 | 254 | 200 | 348 | 236 |
| 2 | Terre argileuse silteuse | 110 | 113 | 130 | 167 | 200 | 224 | — | — | 158 |
| 3 | Limon sableux fin | 79 | 121 | 133 | 147 | 155 | 156 | 224 | — | 146 |

Une telle variabilité est aussi le propre des modules de réaction et CBR; le module d'élasticité est quelque peu

moins variable.

$$K_{\text{hétér.}} = 0,7 - 0,6 \text{ et } E_0 \text{ rais.} = 0,7 - 0,6 E_0 \text{ moy.}$$

III. APPLICATION DES MÉTHODES DE LA MÉCANIQUE DES SOLS A L'ÉTUDE DES DÉFORMATIONS DU SOL SOUS L'ACTION D'UN VÉHICULE EN MOUVEMENT

par V. BABKOV et A. BIROULIA

Les questions relatives à l'action — sur le sol — du passage d'un véhicule, constituent un des chapitres principaux de la mécanique routière des sols, ayant une grande importance pour la construction et l'exploitation des routes en terre et pour la conception des roues des automobiles et des machines agricoles et routières. Ces derniers temps, de nouveaux travaux ont été entrepris dans ce domaine, et menés dans deux directions différentes.

(a) La méthode connue de calcul de la profondeur de l'ornière et de la résistance à l'effort de traction, a été développée et précisée. Cette méthode est basée sur la relation empirique :

$$q_z = C_z \cdot u$$

dans laquelle q_z représente la résistance du sol à l'enfoncement en profondeur z .

C et u sont des caractéristiques relatives à la résistance du sol à la déformation.

Les valeurs des caractéristiques C et u sont obtenues pour différents états typiques du sol.

Il est prouvé que les valeurs des caractéristiques C et u , pour un même sol, varient selon son humidité, son degré

de compactage et l'importance de la charge considérée. Avec des sols cohésifs compactés peu humides, lorsque la déformation est soumise à la loi linéaire, $u = 1$ si l'humidité est proche de la limite de liquidité, et $u \cong 1/2$ si on se trouve en présence d'une humidité moyenne. Lorsque le compactage se poursuit dans le sol (humidité optimum et au-dessous), nous avons : $u > 1$.

Pour de nombreux sols, on a déterminé expérimentalement l'influence sur la valeur de C et u , du degré de compactage et d'humidité du sol, ainsi que de sa limite de liquidité.

(b) On a appliqué au calcul de la profondeur de l'ornière les méthodes de totalisation par couches des déformations du sol sous l'action rapide d'un champ de contraintes dû au poids du véhicule en marche.

L'étude des déformations internes du sol lors de la formation de l'ornière, effectuée à l'aide de la pose de plaquettes intermédiaires colorées, a prouvé l'existence de déformations simultanées, matérialisées par un déplacement longitudinal et une poussée du sol vers les côtés, et aussi la présence d'un affaissement, suivi d'un compactage suivant la verticale (voir Fig. 2).

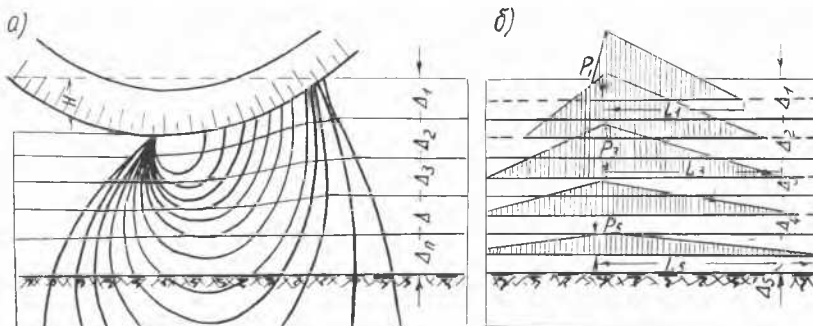


Fig. 2 Epure des contraintes de compression en profondeur : (a) compression réelle; (b) diagramme théorique pour le calcul. The distribution of stresses at different layers : (a) actual; (b) calculated.

de la formation de l'ornière, principalement par refoulement des terres vers les côtés, a lieu dans le cas de sols cohérents très humides, dont l'humidité relative dépasse 0,65-0,70 pour cent de la limite de liquidité. Si l'humidité relative est inférieure à 0,35 pour cent, l'ornière se forme presque exclusivement grâce à un compactage du sol. Le tassement vertical

du sol et le degré de sa densité diminuent avec l'augmentation de la vitesse du véhicule, alors que le déplacement longitudinal augmente.

La profondeur de l'ornière, formée principalement en raison du compactage du sol, peut être calculée par totalisation de la compression des couches élémentaires dans la

zone active du sol, sous l'action — d'une durée limitée — du tenseur des contraintes de compression, se déplaçant à la vitesse du véhicule.

Vu l'importance des déformations et la faible valeur de la surface de transmission des charges, les contraintes dans le sol ont été calculées par les formules de I. Ohde, pour des forces verticales et horizontales, appliquées à la surface du sol, en adoptant un coefficient de concentration $\nu = 6$ [10].

L'épure de répartition des contraintes verticales suivant l'horizontale, ayant la forme de cloche, a été remplacée par une épure isométrique triangulaire.

En exprimant les graphiques expérimentaux de compressibilité et de la vitesse de compression des sols par les relations hyperboliques de la forme :

$$\delta_p = \frac{t \cdot p}{p + u} \quad \text{et} \quad \delta_T = \frac{rT}{T + s} \delta_p$$

on a obtenu la formule de calcul de la compression relative d'une couche élémentaire, après un passage d'un véhicule :

$$\delta_T = \frac{Lrtp}{(p + u)(sv + L)}$$

dans laquelle :

- L : est la longueur de la base de l'épure triangulaire ;
- ν : est la vitesse du déplacement du véhicule ;
- r et s : sont des caractéristiques relatives à la vitesse de compression du sol ;
- t et u : sont des caractéristiques relatives à la compressibilité du sol.

La méthode proposée permet — en connaissant les caractéristiques de la déformabilité du sol dans son état le plus typique pour la période d'exploitation — de choisir la dimension de roue, qui assure la moindre résistance à l'effort de traction.

Lorsqu'il s'agit d'un véhicule dont les roues arrière suivent exactement la trace des roues avant, il importe de tenir compte de la compression supplémentaire résultant du passage des roues arrière.

La Fig. 3 indique, à titre de comparaison, les valeurs calculées et celles obtenues expérimentalement du coefficient de résistance au mouvement, dans différents cas de transmission de la charge, lors du passage d'un camion sur une terre noire, labourée sur une profondeur de 30 cm.

Les méthodes de la mécanique des sols ont été également appliquées à l'évaluation de l'adhérence des pneus à la surface du sol.

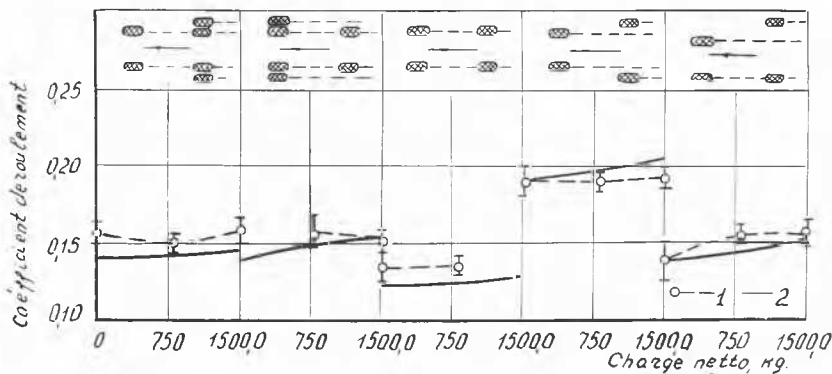


Fig. 3 Comparaison des coefficients de résistance du sol au roulement dans divers cas de répartition des charges : 1. données expérimentales ; 2. données théoriques.

The comparison of the calculated and experimental rolling resistance ratio for different cases of load transmission : 1. experimental data ; 2. theoretic data.

La méthode élaborée tient compte de la résistance totale du sol au cisaillement, aux emplacements situés entre les saillies de la bande de protection du pneu et aussi du frottement du caoutchouc sur le sol. On suppose que la résistance du sol au déplacement augmente, jusqu'à une certaine valeur maximum, suivant une relation parabolique ; au-delà de cette valeur maximum, la résistance considérée ne dépend plus que du frottement interne du sol.

La méthode proposée par V. Babkov permet d'évaluer l'influence du dessin de la bande de protection du pneu, celle de la charge par roue, ainsi que celle du dérapage, sur l'effort de traction développé. Les vérifications expérimentales de cette méthode ont donné des résultats satisfaisants.

Jusqu'à présent, pour l'évaluation de la capacité de la route à supporter le passage des véhicules, on utilisait différents appareils de mesure de la densité, qui déterminaient la résistance du sol au poinçonnement, c'est-à-dire qui don-

naient uniquement la relation avec la valeur de la résistance au roulement [11].

On sait que la possibilité de propulsion des voitures automobiles est déterminée par la relation $k\varphi - f$ dans laquelle :

- φ : est le coefficient d'adhérence ;
- f : est le coefficient de résistance au roulement ;
- k : est la fraction du poids du véhicule, qui correspond aux roues motrices.

Pour l'évaluation simultanée de l'adhérence des roues au sol, S. Rokas a proposé un appareil qui unit un mécanisme de mesure de la densité avec une pointe conique munie de palettes, du type employé pour les essais «vane test». Les essais exécutés sur les chantiers avec cet appareil (Fig. 4) ont donné des résultats concordant parfaitement avec les valeurs de la résistance au mouvement et celles de l'effort de traction, déterminées au dynamomètre.

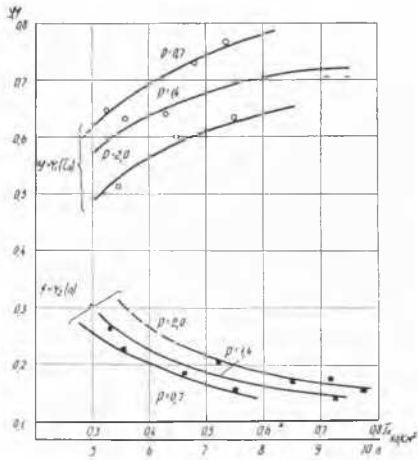


Fig. 4 Corrélations entre les caractéristiques du sol (τ_0 , μ), le coefficient de frottement des pneus et la résistance du sol au roulement du véhicule. (Essais effectués par S. I. Rokas.) p : pression des pneus.

Correlation between soil properties (τ_0 , μ) the rolling resistance of soil and skidding resistance of tyres.

Références

- [1] BABKOV, V. (1960). Routes automobiles, 2^e édition, *Avto-transizdat*.
- [2] — BIROULIA, A. et SIDENKO, V. (1958). Capacité du sol de supporter le passage des véhicules. *Avto-transizdat*.
- [3] — et SMIRNOV, A. (1959). Le roulement des roues d'avion sur le sol. Recueil *Problèmes de l'augmentation de la capacité des routes de supporter le passage des véhicules*. Editions de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.
- [4] BIROULIA, A. (1956). Exploitation des routes automobiles. *Avto-transizdat*.
- [5] IVANOV, N., BIROULIA, A., BABKOV, V. et POUSAKOV, N. (1957). Rapport 4/6. *IV^e Congrès intern. de la Mécanique du Sol et des Fondations*, London.
- [6] — BABKOV, V., BIROULIA, A., ORNATSKY, N., BESROUK, V., KRIVISSKY, A. et POUSAKOV, N. (1959). 1^{re} Question, n^o 20, *XI^e Congrès de la route*, Rio de Janeiro.
- [7] KOGAN, B. Contraintes et déformations des revêtements multicouches. *Œuvres de l'Institut des Routes de Kharkov*, fascicule 14 (1952) et fascicule 19 (1957).
- [8] KRIVISSKI, A. (1959). Revue « Les routes automobiles », n^o 12.
- [9] TCHERKASSOV, I. (1958). Les qualités mécaniques des chemins de terre. *Avto-transizdat*.
- [10] OHDE, J. (1939). Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund. *Der Bauingenieur*, No. 33/34.
- [11] SCHOOLKRAFT, G., BOYD, W. et FOSTER, G. (1948). Trafficability of Soil Studies. *Proceedings of the 11 International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Vol. V, Rotterdam.