

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Observations d'affaissement sur les ouvrages d'art du réseau allemand
d'autostrades

Autor: Casagrande, L.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-2996>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

VIII 2

Observations d'affaissement sur les ouvrages d'art du réseau allemand d'autostrades.

Setzungsbeobachtungen an Brückenbauten der Reichsautobahnen.

Subsidence in Bridge Constructions on the German State Arterial Roads.

Dr. Ing. L. Casagrande,*
Berlin.

I. — Introduction.

Reconnaissant en temps opportun la valeur effective des études sur les terrains, l'Inspecteur Général des Routes Allemandes a décidé, peu de temps après son entrée en fonctions, qu'avant la mise en chantier de tout élément d'ouvrage destiné au réseau allemand d'autoroutes, le terrain, devant recevoir les fondations devrait faire l'objet d'essais d'après les progrès les plus récents de la technique des sols de fondation. Au cours de l'année 1934, il a été créé dans chaque Direction Principale du Service des Autoroutes une section d'Essai des sols, qui est chargée non seulement d'effectuer des investigations sur l'état des terrains qui doivent supporter les routes, mais également de faire des essais sur l'état du terrain qui doit supporter un ouvrage d'art, afin d'en tirer des conclusions en ce qui concerne le choix du type de fondations et du type d'ouvrage lui-même. Dans ce but, les Sections d'Essais des Sols sont équipées avec des appareils qui permettent de déterminer la compression et la perméabilité d'échantillons de sol à l'état naturel et aussi les prévisions en ce qui concerne les tassements probables. Outre leur intérêt propre, ces études des affaissements ont pour but de fournir une représentation anticipée approximative de l'ordre de grandeur des affaissements qui sont à prévoir; le nombre des ouvrages qui seront construits, dans l'avenir, sur des sols semblables, est en effet très important. Ces études auront principalement pour objets:

- 1° — la connaissance des couches supérieures du sol dans toute l'Allemagne, en ce qui concerne la capacité de charge et la compressibilité;
- 2° — le contrôle de la théorie du calcul des affaissements par comparaison avec des affaissements effectivement constatés;
- 3° — la possibilité d'étudier plus économiquement les projets concernant les nouvelles fondations des ponts.

* avec la collaboration des spécialistes de l'étude des sols des autostrades du Reich.

Les points 2 et 3 ci-dessus sont étroitement liés, car la réalisation de construction plus économiques exige nécessairement une étude des affaissements à prévoir.

Les Ingénieurs et les Géologues appartenant aux Sections d'Essai des Sols du Service des Autoroutes n'ont pas eu l'opportunité d'étudier à fond, au cours de leur formation technique, la « mécanique du sol », car jusqu'à maintenant peu d'écoles spéciales ont incorporé cette technique dans leurs programmes d'enseignement. Ce fait, joint à la pénurie d'aides qualifiés et au peu de temps dont on dispose pour la construction des ouvrages, explique le caractère incomplet et imparfait des études d'affaissement qui ont été faites avant la construction des ouvrages déjà existants. Quoi qu'il en soit, l'importance des bases dont on dispose dès maintenant permet d'aboutir à des conclusions intéressantes, dont l'exposé et l'interprétation constitueront l'objet du présent mémoire.

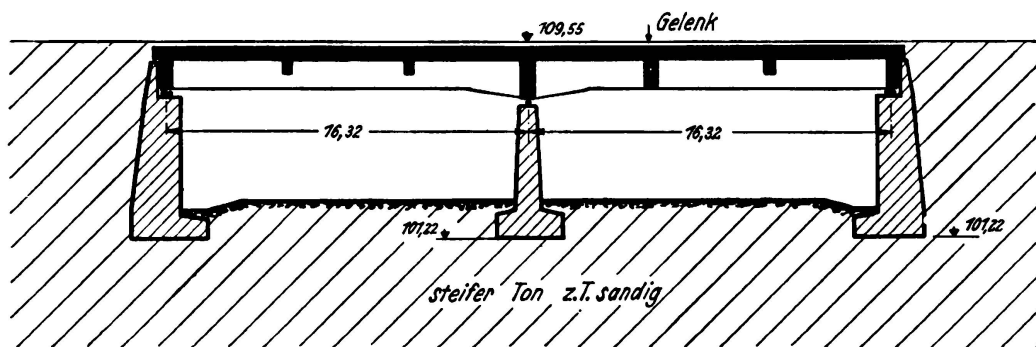


Fig. 1.

Pour le vocabulaire des expressions contenues dans les figures, voir à la fin de ce travail.

II. — Théorie des affaissements probables par compression simple du sous-sol.

La compression d'un sol est conditionnée par la réduction du volume des pores qu'il contient. Ceci suppose que l'on considère le grain de matière constituant le sol et l'eau comme relativement incompressibles. Cette réduction a d'ailleurs

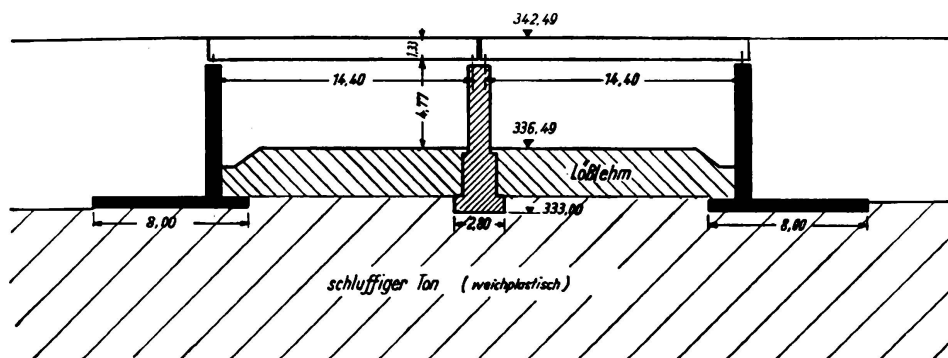


Fig. 2.

pour corollaire immédiat l'expulsion de l'eau qui se trouvait dans ces vides. Plus un sol est perméable, plus l'humidité qu'il renferme peut être expulsée rapidement, c'est-à-dire plus il est susceptible de subir la compression que peut provoquer l'application d'une charge déterminée. Alors que ce processus d'expulsion se produit presque immédiatement dans le cas des sables, il peut

demander plusieurs années lorsqu'il s'agit de sols cohérents (argiles, glaise, etc.), suivant la perméabilité et l'épaisseur des couches. Entre les deux extrêmes ci-dessus, on trouve un nombre considérable de sols divers et par suite de vitesses d'affaissement probables.

Une autre donnée importante est la valeur de la compressibilité des sols. Les sables ne possèdent qu'une faible compressibilité, tandis que la compressibilité des argiles est plus grande, par suite du volume beaucoup plus grand des vides qu'elles présentent. Si l'on charge une éprouvette de sable et une éprouvette d'argile au même taux, la compression qu'accusera l'argile sera en général plus grande que celle du sable. Des investigations minutieuses ont été effectuées par *Terzaghi* au sujet de l'influence de la forme des grains et de la structure de sol.¹

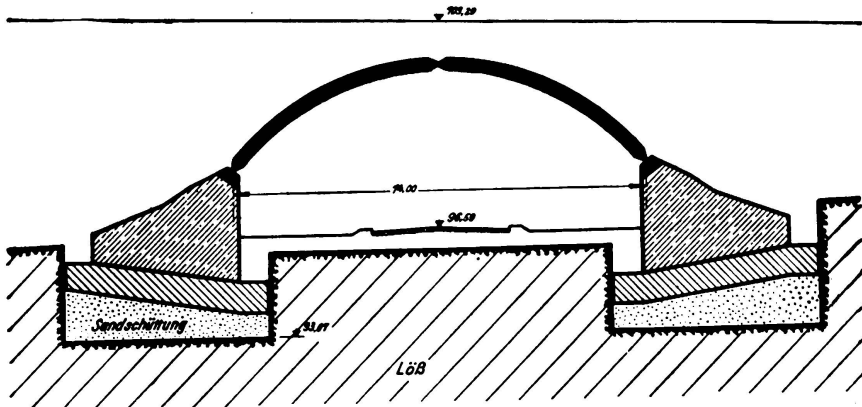


Fig. 3.

L'essai de compression permet de répondre aux deux questions ci-après:

- 1° — Dans quelle mesure l'échantillon de sol subit-il la compression sous l'influence d'une charge donnée?
- 2° — Suivant quel processus cette compression se produit-elle dans le temps?

Nous ne pouvons pas aborder ici l'étude plus détaillée des affaissements probables. *Terzaghi* et *Frölich* ont traité en détail, dans un ouvrage qui a paru

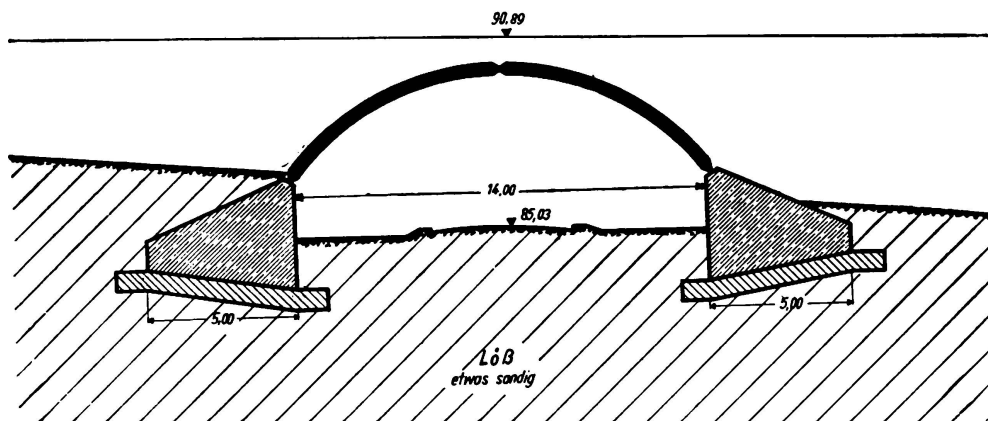


Fig. 4.

¹ *K. v. Terzaghi*: „Erdbaumechnik“, Vienne, 1925.
 du même auteur: „Festigkeitseigenschaften der Schüttungen, Sedimente und Gele“, *Auerbach und Hort*, Handbuch der Mechanik, Vol. IV, Leipzig, 1931.
Redlich-Terzaghi-Kampe: „Ingenieurgeologie“, Vienne et Berlin, 1929.

récemment,² cette question du tassement des sols argileux. On trouvera dans cet ouvrage des formules simples et des tableaux concernant la grandeur des affaissements et leur évolution dans le temps.

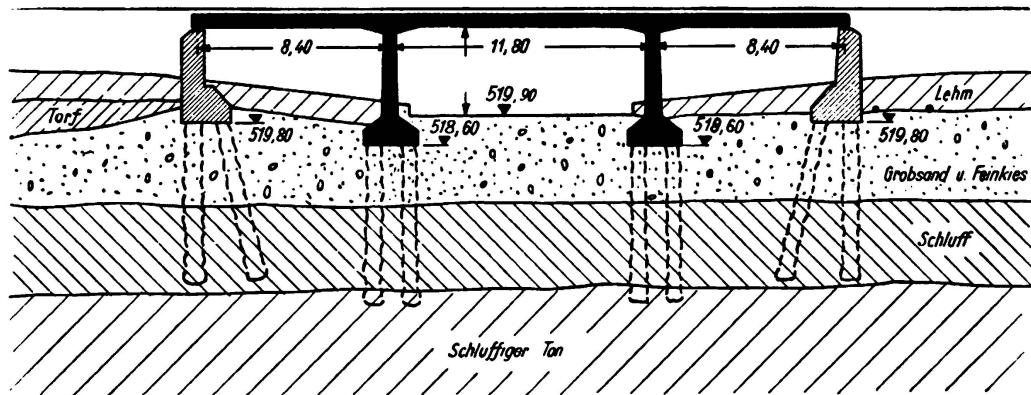


Fig. 5.

III. — Affaissements observés sur un certain nombre de ponts d'autoroutes allemandes après achèvement.

Par suite des circonstances exposées précédemment, il n'a été jusqu'à maintenant possible de faire porter les prévisions d'affaissements basées sur des essais de sols en laboratoire que sur un nombre relativement restreint de cas. Les études d'affaissements ainsi effectuées présentent néanmoins, dans leur imperfection, une concordance suffisamment exacte pour les besoins de la pratique entre les valeurs calculées et les valeurs observées. Il est à remarquer

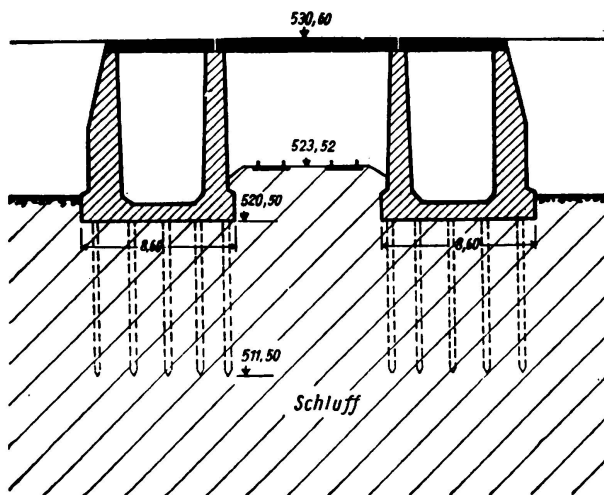


Fig. 6.

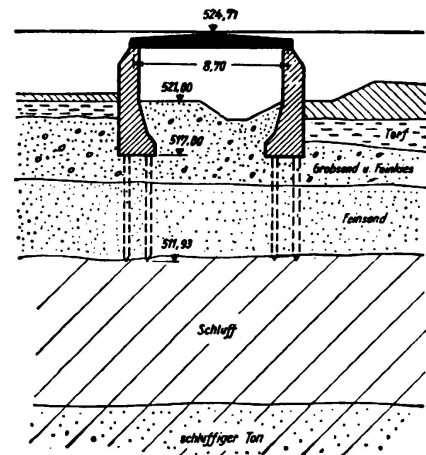


Fig. 7.

à ce sujet que les valeurs des affaissements probables déterminées d'après la théorie sont toujours plus élevées que celles que l'on a obtenu par l'observation effective. Dans quelques cas, les écarts constatés ont atteint le maximum de 100 %, c'est-à-dire que pour des affaissements calculés de 100 mm, on n'a observé que des affaissements effectifs de 50 mm.

² K. v. Terzaghi et O. K. Fröhlich: „Theorie der Setzung von Tonschichten“, Leipzig et Vienne, 1936.

de gravier et de marne irrégulièrement disposées, puis roche. Ouvrage complètement terminé en décembre 1935; affaissement maximum des piles 52 mm à la dernière mesure en mars 1936. L'affaissement continue; aucun dommage constaté.

3° — Ouvrage au km 38,982. Direction Principale de Dresde. Poutres planes en béton armé à 2 travées de 14,4 m chacune (fig. 2). Fondation en faible profondeur sur argile limoneuse plastique dont l'épaisseur va jusqu'à 12 m; teneur en eau à l'état naturel 16 à 21,3 %; limite de liquidité 29,9 à 56,3 %; limite de plasticité 15,7 à 18,8 %. Pression sur le sol environ 1,5 kg/cm² pour les culées

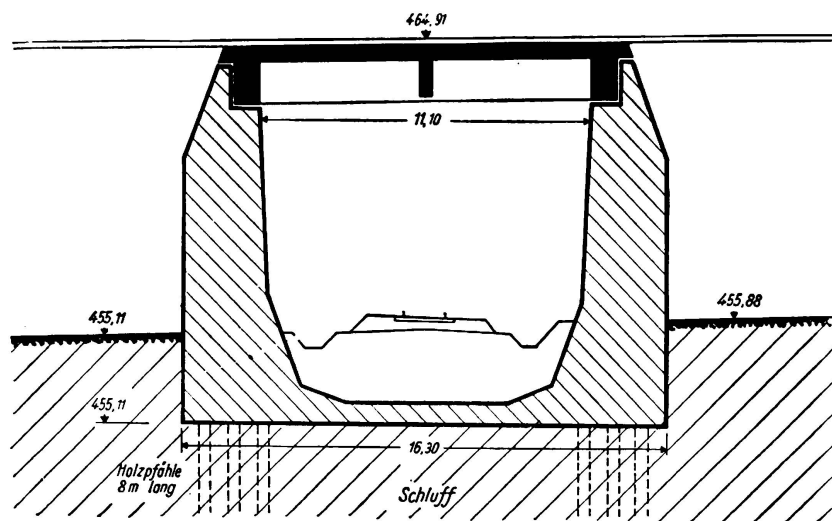


Fig. 10.

et 1 kg/cm² pour les piles. Ouvrage complètement terminé en août 1935, affaissement prévu environ 150 mm pour les culées et 60 mm pour les piles. Affaissement constaté environ 46 mm pour les culées et 25 mm pour les piles; dernière mesure effectuée en août 1935. Les affaissements sont arrêtés; aucun dommage n'a été constaté.

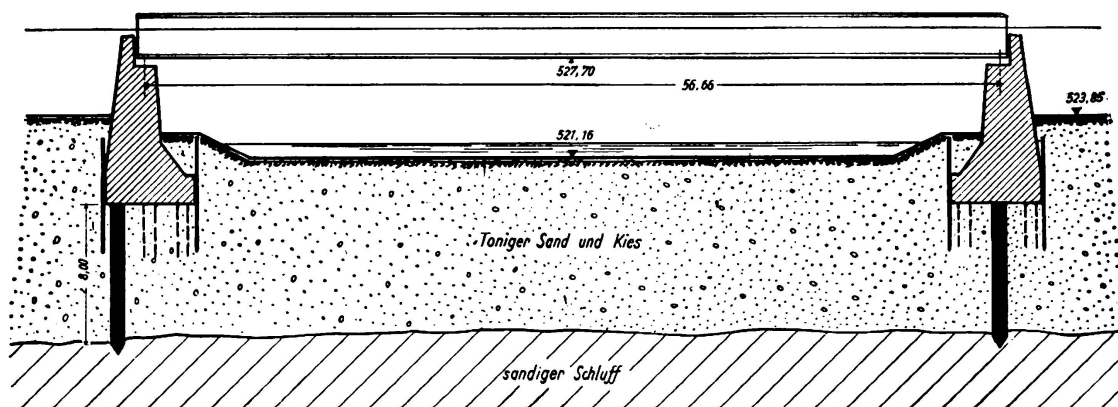


Fig. 11.

4° — Ouvrage W 26, au km 48,425, Direction Principale de Halle. Arc encastré (ponceau voûté), fondation en faible profondeur sur limon argileux peu résistant avec épaisseur de couche d'environ 1,50 m sur du sable. Pression sur le sol 2,75 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en février 1936; affaisse-

ments prévus environ 95 mm; affaissements constatés 50 mm. Les affaissements sont arrêtés.

5° — Ouvrage W 45 a, au km 15,135, Direction Principale de Halle. Ouvrage en cadres en béton armé, fermés, sur fondation en faible profondeur, pression

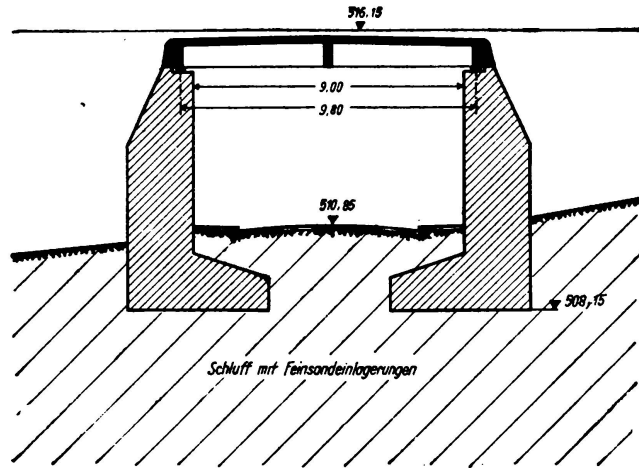


Fig. 12.

sur le sol de l'ordre de 1,1 kg/cm², sous-sol constitué par une argile sableuse de 8 à 10 m d'épaisseur, puis par du sable. Ouvrage complètement terminé en novembre 1935. Affaissement prévu environ 220 mm. Affaissement constaté 140 mm. Les affaissements continuent; aucun dommage.

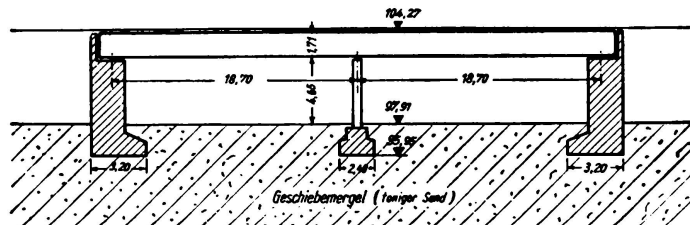


Fig. 13.

6° — Ouvrage au km 40,584, Direction Principale de Stuttgart. Ponceau en voûte; fondation en faible profondeur sur 1,30 m de sable avec au-dessous limon argileux plastique (terre d'Aue); teneur en eau à l'état naturel 43 0/0; limite de liquidité 54 0/0; limite de plasticité 31 0/0. Pression sur le sol environ 1,5 kg/cm².

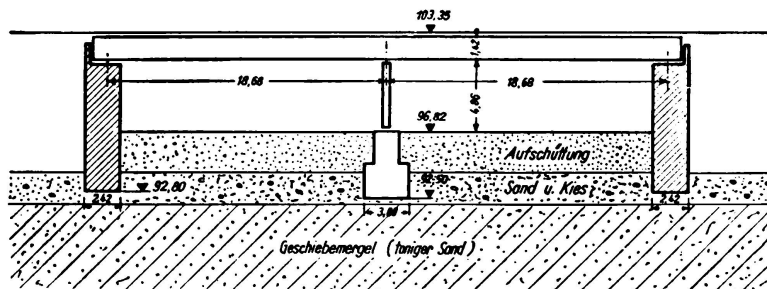


Fig. 14.

Ouvrage complètement terminé en décembre 1935; affaissement constaté jusqu'à avril 1936, environ 280 mm; l'affaissement de l'ouvrage continue.

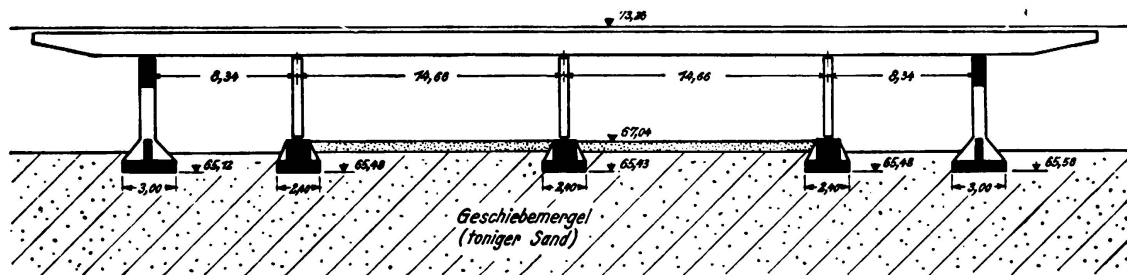


Fig. 15.

7° — Ouvrage n° 66, au km 89,515; Direction Principale de Königsberg. Poutres en tôle à deux travées ayant chacune une portée de 16 m. Fondation en faible profondeur; pression sur le sol de 1,4 kg/cm²; sous-sol constitué par des

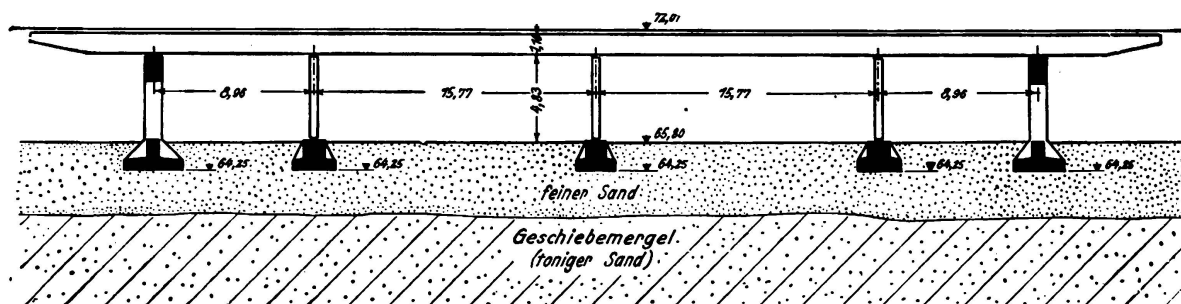


Fig. 16.

couches alternées d'argile grasse et limoneuse. Teneur en eau de l'argile grasse à l'état naturel 35 à 37 %; limite de liquidité 57 à 67 %; limite de plasticité 24 à 26 %. Teneur en eau de l'argile limoneuse à l'état naturel 25 à 30 %; limite de liquidité 35 à 38 %; limite de plasticité 13 à 23 %. Ouvrage complètement terminé en juillet 1935; affaissements constatés; environ 35 mm pour les culées, 70 mm pour la pile; dernière mesure effectuée en août 1935; les affaissements continuent.

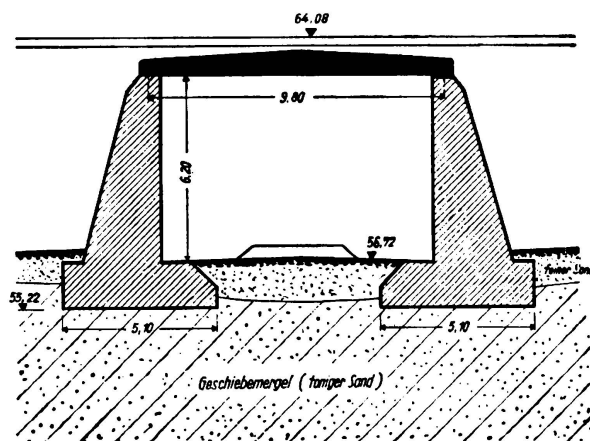


Fig. 17.

8° — Ouvrage n° 228, au km 323,030. Direction Principale de Hanovre. Arc à trois articulations, portée de 14 m; fondation sur loess en couche épaisse (fig. 24). Pression sur le sol 2,6 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en juin 1935; affaissement jusqu'en avril 1936, environ 40 mm. L'affaissement s'arrête progressivement; aucun dommage constaté (fig. 3).

9° — Ouvrage n° 229, au km 323,538; Direction Principale de Hanovre. Arc à trois articulations, portée de 14 m (fig. 4). Pression sur le sol 2,6 kg/cm². Fondation en faible profondeur sur loess en partie sableux. Ouvrage complètement terminé en août 1935; affaissement constaté jusqu'en avril 1936, environ 23 mm; l'affaissement s'arrête progressivement; aucun dommage constaté.

10° — Ouvrage au km 89,255; Direction Principale de Munich. Poutres pleines en béton armé, sur trois travées; travée centrale type Gerber; portées extérieures 8,40 m; portée intérieure 11,60 m (fig. 5). Fondation sur pieux en

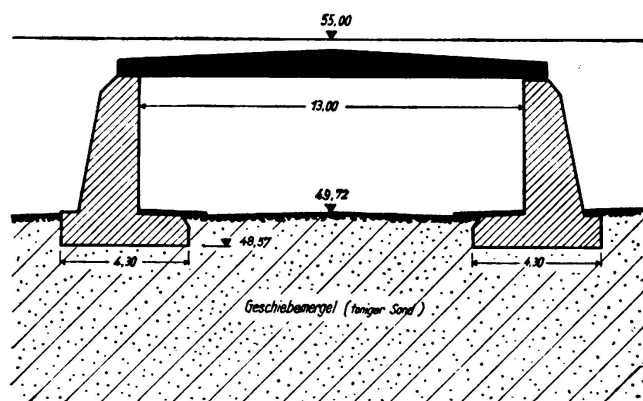


Fig. 18.

eau (pieux Franki) sur environ 10 m de longueur; pression moyenne sur le sol: 1,1 kg/cm² sous les culées, 1,4 kg/cm² sous les piles. Sous-sol constitué par une couche de sable gros et de gravier fin, sur limon et argile limoneuse (fig. 25). Teneur en eau à l'état naturel; 32—33 %; limite de liquidité 36 à 38 %; limite de plasticité 27 %. Ouvrage complètement terminé en décembre 1935; affaissement prévu pour les culées environ 120 mm, pour les piles 90 mm. Affaissement constaté jusqu'en avril 1936 pour les culées environ 125 mm, pour les piles environ 60 mm; l'affaissement continue (fig. 33).

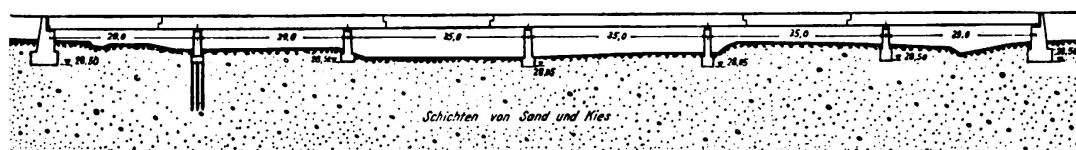


Fig. 19.

11° — Ouvrage au km 77,695; Direction Principale de Munich. Poutres pleines en béton armé, à trois travées (fig. 6). Fondation individuelle par culée et par rang de piles sur radier continu, sur pieux Franki foncés en eau de 9 m de longueur. Pression sur le sol sur le bord inférieur des fondations de l'ordre de 1,1 kg/cm². Sous-sol constitué par du limon sur plus de 40 m d'épaisseur; teneur en eau à l'état naturel 34 à 64 %; limite de liquidité 32 à 72 %; limite de plasticité 8 à 28 %; perméabilité $3,7 \cdot 10^{-5}$ à $1,3 \cdot 10^{-4}$ cm/min (Granulation, voir fig. 26). Ouvrage complètement terminé en mai 1936. Affaissement prévu de l'ordre de 470 mm; affaissement constaté de l'ordre de 500 mm jusqu'à mai 1936. L'affaissement continue et l'ouvrage a souffert (fig. 34).

12° — Ouvrage au km 89,213. Direction Principale de Munich (fig. 7). Dalle en béton armé de 8,70 m de portée; pression moyenne sur le sol de l'ordre de 1,5 kg/cm²; sous-sol constitué par un sable grossier et du gravier fin sur sable fin; couches inférieures de limon et d'argile (fig. 27). Fondations sur pieux foncés jusqu'au lit de limon. Caractéristiques du lit de limon; teneur en eau à l'état naturel 33 à 36 %; limite de liquidité 36 à 38 %; limite de plasticité 27 %. Ouvrage complètement terminé en décembre 1935. Affaissement prévu environ 200 mm; affaissement constaté 150 mm jusqu'en mai 1936 (fig. 35); aucun dommage constaté.

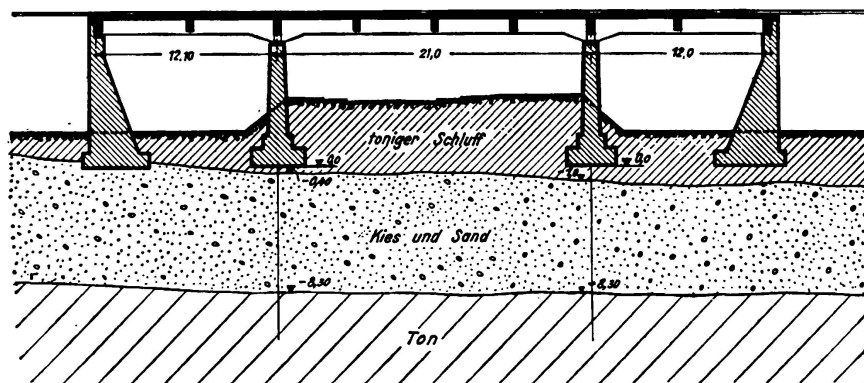


Fig. 20.

13° — Ouvrage au km 78,246. Direction Principale de Munich. Poutres pleines en béton armé, portée 13 m (fig. 8). Fondation sur pieux Franki d'environ 10 m de longueur; pression moyenne sur le sol de 1,5 kg/cm²; sous-sol de sable et de gravier sur lit de sable puis limon argileux (fig. 28) admettant une teneur en eau à l'état naturel de 19 à 32 %; limite de liquidité 31 à 39 %; limite de plasticité 16 à 24 %; perméabilité $2,6 \cdot 10^{-7}$ à $1,1 \cdot 10^{-6}$. Ouvrage complètement terminé en août 1935. Affaissement prévu environ 250 mm; affaissement constaté jusqu'à mars 1935 environ 60 mm (fig. 36); aucun dommage constaté.

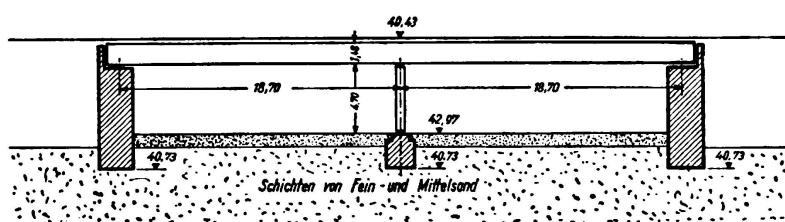


Fig. 21.

14° — Ouvrage au km 86,455. Direction Principale de Munich. Poutres pleines en béton armé sur portée libre de 13 m (fig. 9). Culées sur pieux Franki d'environ 10 m de longueur; pression moyenne sur le sol de 1,3 kg/cm²; sous-sol constitué par des couches de limon avec inclusions de sable fin jusqu'à une profondeur de 20 m; au-dessous, marne compacte (fig. 29). Limon: teneur en eau à l'état naturel 32 à 54 %; limite de liquidité 32 à 51 %; limite de plasticité 27 à 38 %; perméabilité $1,1 \cdot 10^{-6}$ à $4 \cdot 10^{-5}$ cm/min. Ouvrage complètement terminé en octobre 1935. Affaissement prévu environ 350 mm; affaissement constaté jusqu'en mai 1935, 230 mm (fig. 37). L'affaissement continue, avec légère inclinaison des culées en arrière (sur remblayage).

15° — Ouvrage au km 61,863. Direction Principale de Munich. Poutres pleines en béton armé sur portée libre de 11,1 m (fig. 10). Culées fondées sur radier commun, fondation sur pieux avec pieux en bois de 8 à 11 m de longueur; pression moyenne sur le sol de $1,0 \text{ kg/cm}^2$; sous-sol constitué par un limon avec veines minces de sable; épaisseur non déterminée; caractéristiques de la couche de limon teneur en eau à l'état naturel 24 à 32 %; limite de liquidité 30 à 33 %; limite de plasticité 15 à 22 %; perméabilité $2 \cdot 10^{-6} \text{ cm/min}$ (granulation, voir fig. 30). Ouvrage complètement terminé en novembre 1935; affaissement prévu environ 350 mm; affaissement constaté jusqu'en mai 1935, 200 mm (fig. 38); l'affaissement continue; aucun dommage constaté.

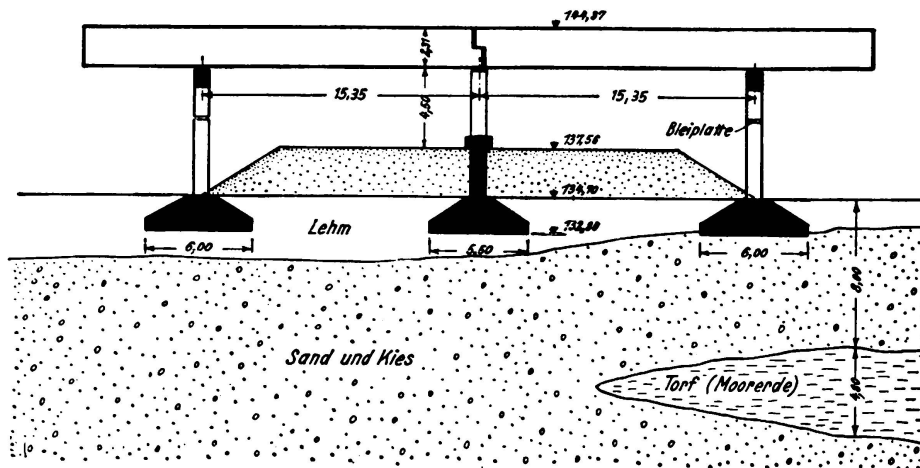


Fig. 22.

16° — Ouvrage au km 88,695. Direction Principale de Munich. Poutres en tôle de 56,66 m de portée (fig. 11). Fondation des culées sur pieux en bois

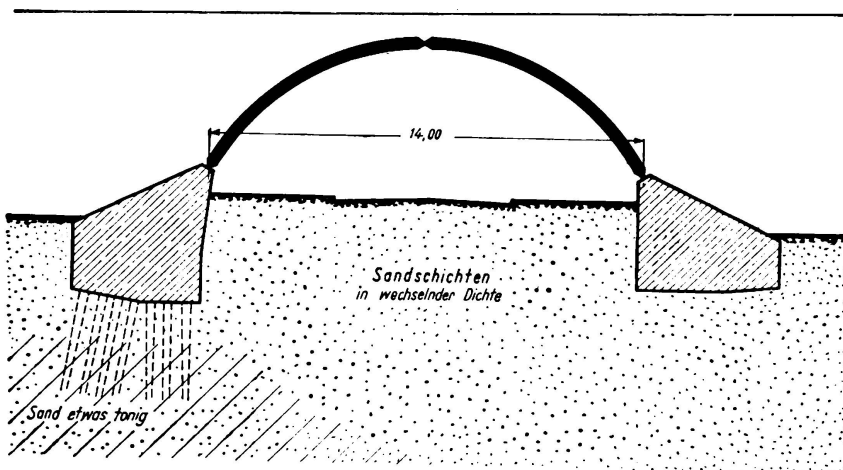


Fig. 23.

d'environ 8 m de longueur; pression moyenne sur le sol 2 kg/cm^2 ; sous-sol constitué en sable argileux et gravier, sur couche de limon sablonneux, parfois très plastique (fig. 31); teneur en eau à l'état naturel 32 à 48 %; limite de liquidité 23 à 43 %; limite de plasticité 22 à 41 %; perméabilité $8 \cdot 10^{-7}$ à $4 \cdot 10^{-6} \text{ cm/min}$. Ouvrage complètement terminé en juillet 1936. Affaissement prévu sur culée est 900 mm, sur culée ouest 500 mm. Affaissement constaté, en moyenne, 300 mm (fig. 39). L'affaissement continue, les culées se sont inclinées vers l'arrière (remblayage).

17° — Ouvrage au km 65,179. Direction Principale de Munich. Poutres pleines en béton armé sur portée de 9,80 m (fig. 12). Fondation en faible profondeur sur couche de limon (fig. 32) avec inclusions de sable fin, de grande épaisseur; pression moyenne sur le sol de 1,8 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en juillet 1935. Affaissement prévu environ 350 mm. Affaissement constaté 280 mm jusqu'en mai 1936 (fig. 40). L'affaissement continue avec légère inclinaison des culées vers l'arrière et fissuration aux joints de l'ouvrage.

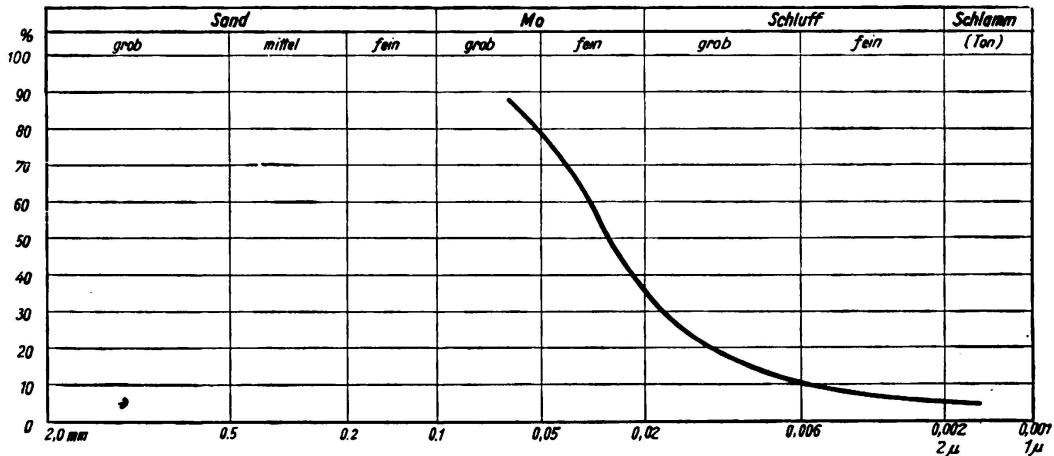


Fig. 24.

18° — Ouvrage n° 32, au km 43,8. Direction Principale de Berlin. Poutres sur deux travées de chacune 15,3 m de portée (fig. 13). Fondations en faible profondeur sur marne caillouteuse (argile sablonneuse); teneur en eau à l'état

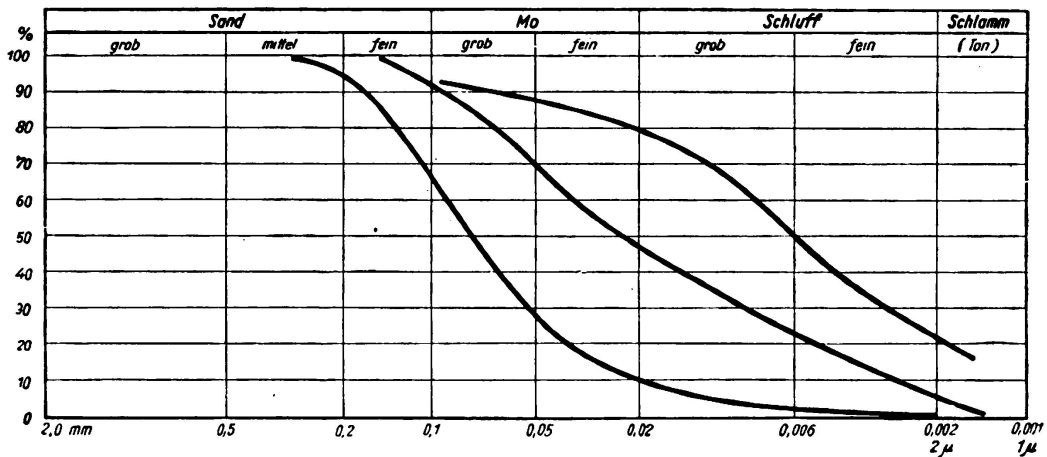


Fig. 25.

naturel 15 %. Pression moyenne sur le sol 2,5 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en décembre 1935. Affaissement prévu 80 à 100 mm. Affaissement constaté jusqu'à décembre 1935 environ 12 mm; l'affaissement s'arrête progressivement; aucun dommage constaté.

19° — Ouvrage n° 33, au km 44,6. Direction Principale de Berlin. Poutres sur deux travées de chacune 18,7 m de portée (fig. 14). Fondation en faible profondeur sur couche mince de gravier sablonneux; au-dessous, marne caillon-

teuse sur plus forte épaisseur. Pression moyenne sur le sol 3,0 kg/cm². Ouvrage entièrement terminé en mars 1936. Affaissement prévu environ 10 mm; affaissement constaté en mars 1936 environ 14 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

20° — Ouvrage n° 102, au km 6,928. Direction Principale de Berlin. Poutres sur 4 travées d'une longueur totale de 46 m (fig. 15). Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse: teneur en eau à l'état naturel 12,4 0/0. Pression

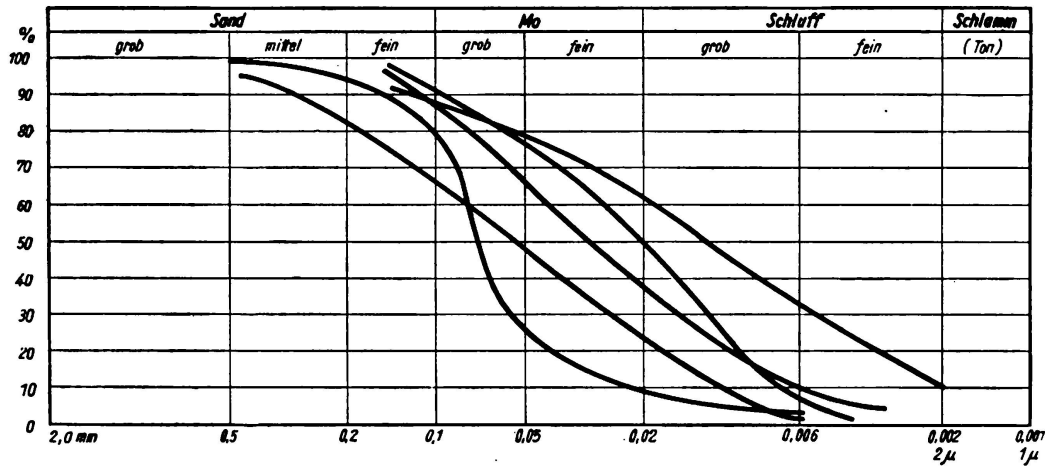


Fig. 26.

moyenne sur le sol 3 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en novembre 1935. Affaissement prévu environ 20 mm; affaissement constaté jusqu'en janvier 1936 environ 5 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

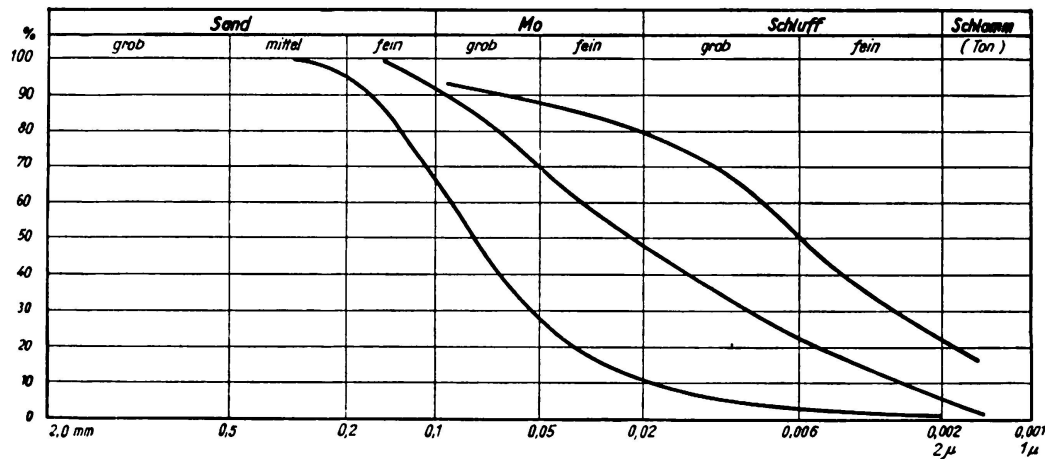


Fig. 27.

21° — Ouvrage n° 104, au km 9,628. Direction Principale de Berlin. Poutres sur 4 travées d'une longueur totale de 49,5 m (fig. 16). Fondation en faible profondeur sur couche de 3 m de sable fin; au-dessous, marne caillouteuse: teneur en eau à l'état naturel 12 0/0. Pression moyenne sur le sol 3 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en novembre 1935. Affaissement prévu environ 20 mm; affaissement constaté jusqu'à janvier 1936 environ 5 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

22° — Ouvrage n° 111, au km 16,553. Direction Principale de Berlin. Poutres pleines en béton armé sur portée de 9,8 m (fig. 17). Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse: teneur en eau à l'état naturel 10,7 ‰; pression moyenne sur le sol 3 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en novembre 1935. Affaissement prévu environ 20 mm; affaissement constaté jusqu'à janvier 1936 environ 15 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

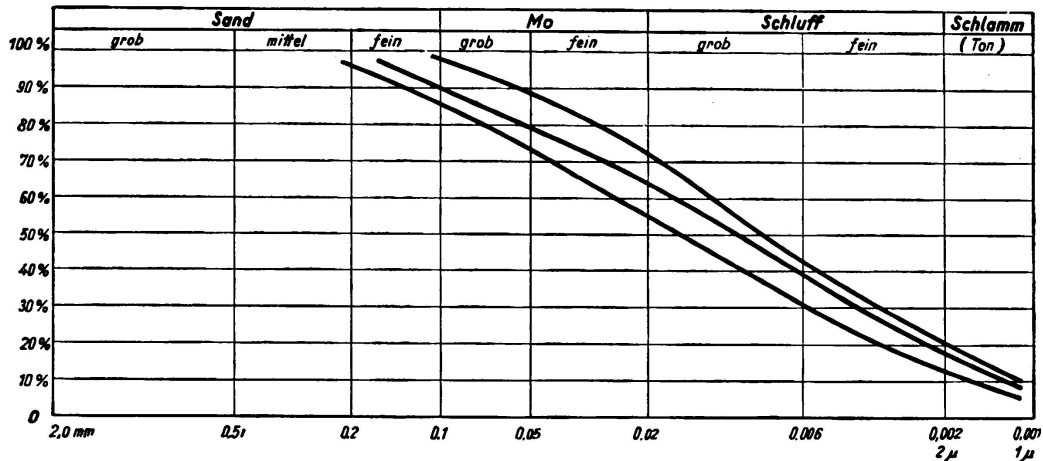


Fig. 28.

23° — Ouvrage n° 115, au km 20,560. Direction Principale de Berlin. Pont à poutres de 13 m de portée libre (fig. 18). Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse: teneur en eau à l'état naturel 14,7 ‰; pression moyenne sur le sol 2,5 kg/cm². Ouvrage entièrement terminé en juillet 1935. Affaissement

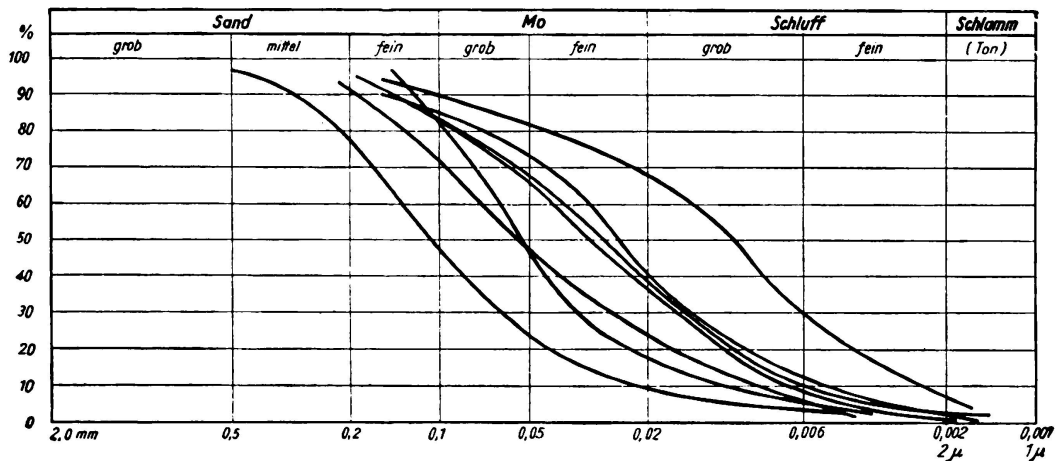


Fig. 29.

prévu 60 à 80 mm. Affaissement constaté jusqu'à janvier 1936 environ 16 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

24° — Ouvrage n° 15, au km 19,942. Direction Principale de Königsberg. Poutres sur 4 travées avec portée totale de 55,8 m. Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse. Pression moyenne sur le sol 2,5 kg/cm² pour les culées et 3 kg/cm² pour les piles. Ouvrage complètement terminé en janvier

1935. Affaissement constaté jusqu'en août 1935 environ 5 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

25° — Ouvrage n° 16 a, au km 21,658. Direction Principale de Königsberg. Pont à poutres de 4,50 m de portée. Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse. Pression moyenne sur le sol de 2,5 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en avril 1935. Affaissement constaté environ 15 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

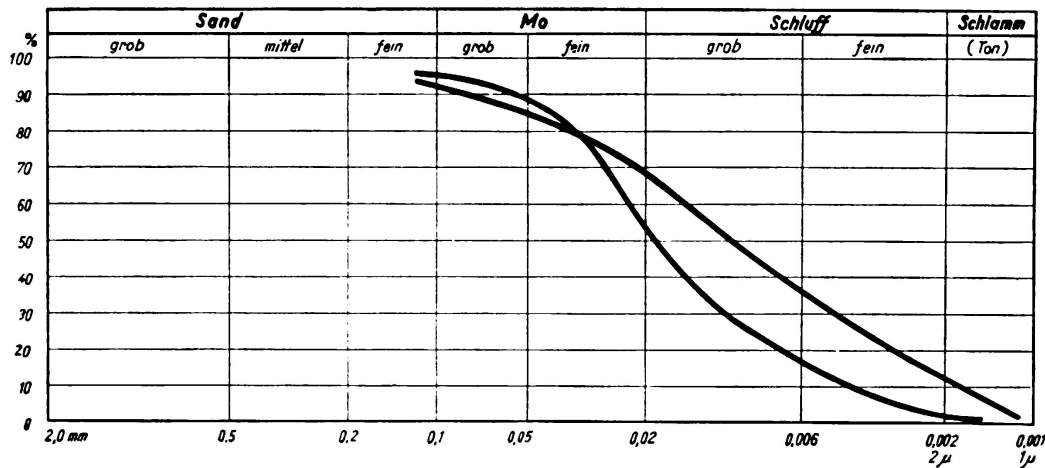


Fig. 30.

26° — Ouvrage n° 157, au km 52,555. Direction Principale de Königsberg. Cadres fermés de 6,0 m de portée libre. Fondation en faible profondeur sur couche de sable de 2 à 3 m; au-dessous, marne caillouteuse sur grande profon-

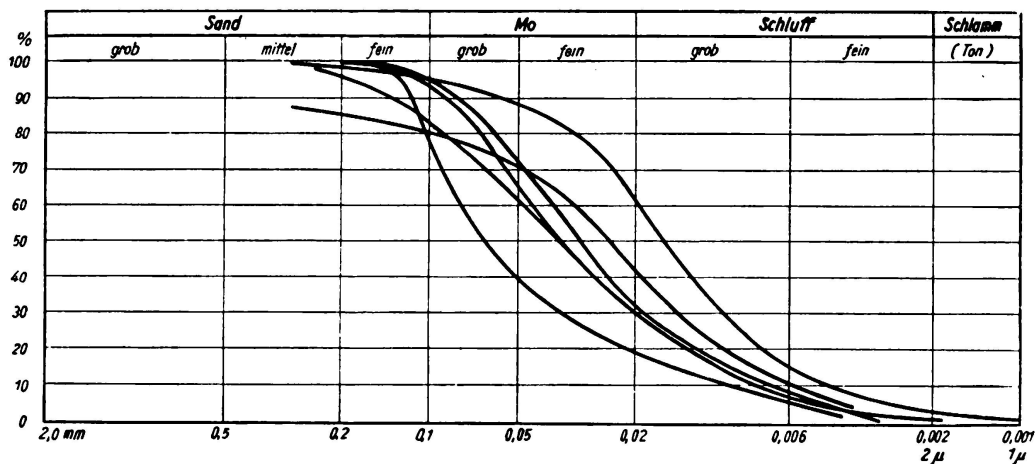


Fig. 31.

deur: teneur en eau à l'état naturel 15 à 27 %; limite de liquidité 27 à 34 %; limite de plasticité 18 à 20 %. Pression moyenne sur le sol 2 kg/cm². Ouvrage complètement terminé en août 1934. Affaissement constaté jusqu'à août 1935, moyenne de 120 mm environ. L'affaissement est arrêté; dénivellations aux joints (par suite des irrégularités de charge).

27° — Ouvrage n° 14, au km 19,400. Direction Principale de Königsberg. Poutres sur deux travées. Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse, avec veines intermédiaires de sable argileux fin. Pression moyenne sur le sol de 2,5 kg/cm² pour les culées et de 3 kg/cm² pour les piles. Ouvrage entièrement terminé en novembre 1934. Affaissement constaté jusqu'à août 1935 environ 12 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

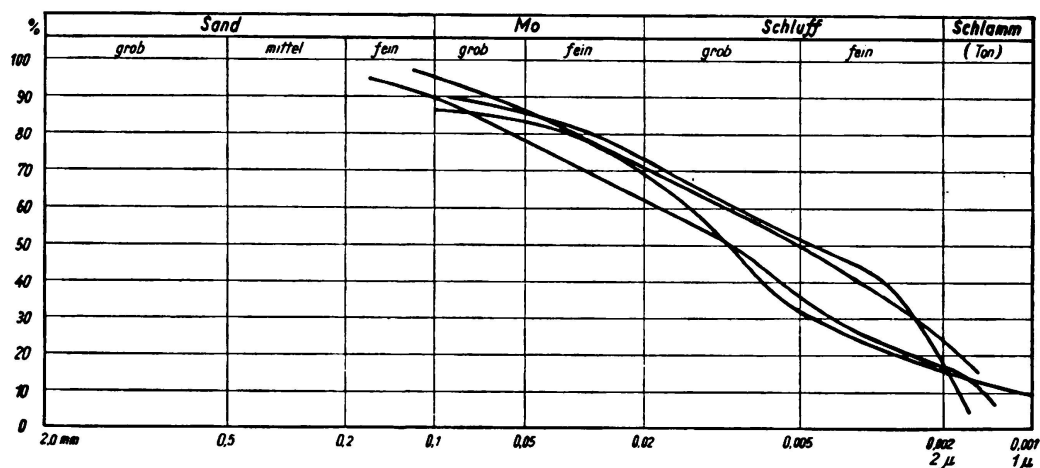


Fig. 32.

28° — Ouvrage n° 13, au km 18,6. Direction Principale de Königsberg. Poutres sur deux travées de 14,3 m de portée chacune. Fondation en faible profondeur sur une couche de sable fin argileux de 1,50 m; au-dessous, couches alternées de sable fin argileux et de marne caillouteuse. Pression moyenne sur le sol de 2,5 kg/cm² pour les culées et de 3 kg/cm² sur les piles. Ouvrage complètement achevé en novembre 1934. Affaissement constaté jusqu'à août 1935 environ 10 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

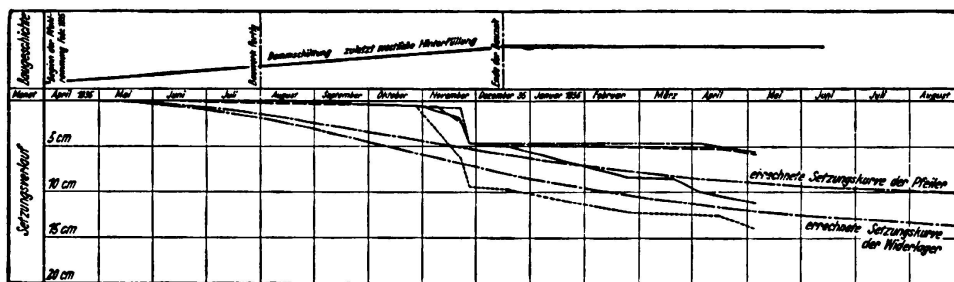


Fig. 33.

29° — 5 ouvrages sans désignation précise d'emplacement. Direction Principale de Stettin. Fondations en faible profondeur sur marne caillouteuse. Pressions moyennes sur le sol 2,8 à 3 kg/cm². Pas d'affaissement, pas de dommages constatés.

30° — 9 ponts à poutres pleines en béton armé sur deux travées. Direction Principale de Stettin. Fondation en faible profondeur sur marne caillouteuse. Pressions moyennes sur le sol 2,5 à 4 kg/cm². Pas d'affaissement, pas de dommages constatés.

31° — 3 ponts à poutres pleines en béton armé sur deux travées. Direction Principale de Stettin. Fondations en faible profondeur sur couche de 2 à 3 m d'épaisseur de sable limoneux; au-dessous, marne caillouteuse. Pressions moyennes sur le sol de 2,65 kg/cm². Pas d'affaissement et pas de dommages constatés.

32° — 3 ponts à poutres pleines en béton armé sur deux travées. Direction Principale de Stettin. Fondations en faible profondeur sur couche de sable limoneux de 2 à 3 m d'épaisseur, au-dessous, couches de sable de plus forte épaisseur. Pressions moyennes sur le sol de 2,2 à 2,5 kg/cm². Affaissements constatés entre 0 et 5 mm; aucun dommage constaté.

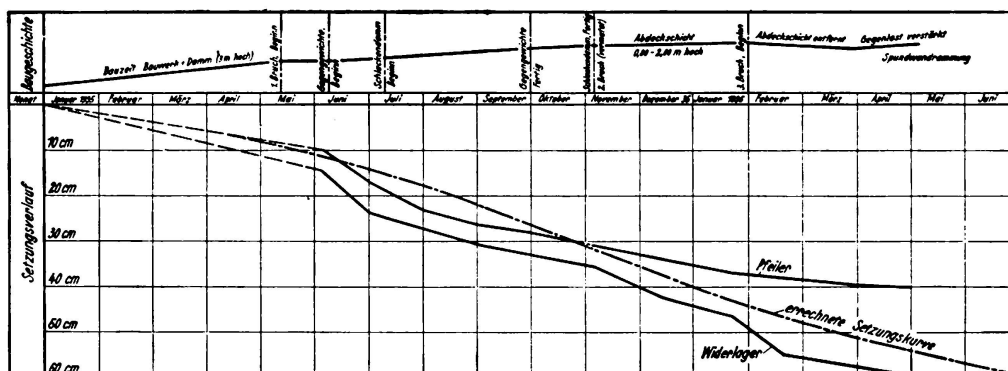


Fig. 34.

33° — Ouvrage n° 8, au km 12,63. Direction Principale de Königsberg. Cadres en béton armé avec 15,4 m de largeur libre, sur pieux en béton armé de 4 à 6 m de longueur. Sous-sol en sable fin argileux et gravier. Ouvrage complètement achevé en juin 1935. Affaissement constaté jusqu'à juin 1935, environ 10 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

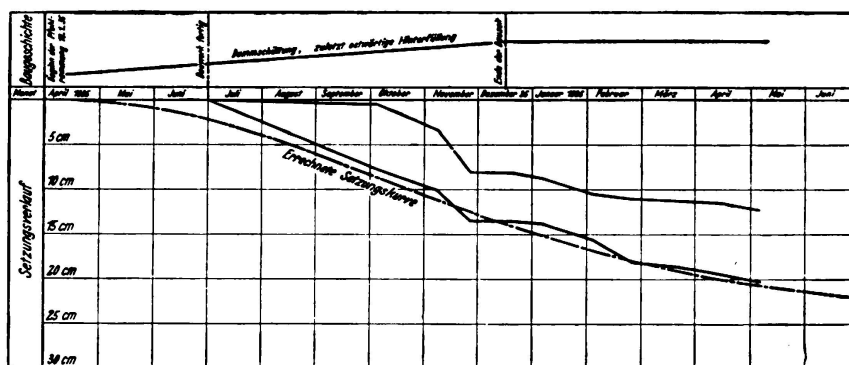


Fig. 35.

34° — Ouvrage au km 69,122. Direction Principale de Dresde. Poutres continues sur 4 appuis. Fondation en faible profondeur à 2,5 kg/cm² sur sable argileux; teneur en eau à l'état naturel 21 %; limite de liquidité 35 %; limite de plasticité 30 %. Ouvrage complètement achevé en août 1935. Affaissement constaté jusqu'à août 1935, environ 4 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

35° — Ouvrage n° 155, au km 48,262. Direction Principale de Königsberg. Poutres en tôle sur 5 travées, de 140 m de longueur, avec 2 travées extrêmes de 25 m de portée chacune et 3 travées médianes de 30 m de portée chacune. Fondations en faible profondeur; pression moyenne sur le sol de 2 kg/cm^2 pour les culées et 3 kg/cm^2 pour les piles médianes. Les piles médianes ont été fondées entre palplanches métalliques. Sous-sol constitué par des couches de sable, en partie faiblement argileux, noyées dans la marne caillouteuse sur 10 à 14 m de profondeur. Ouvrage complètement terminé en septembre 1934. Affaissement constaté environ 5 mm; l'affaissement est terminé; aucun dommage constaté.

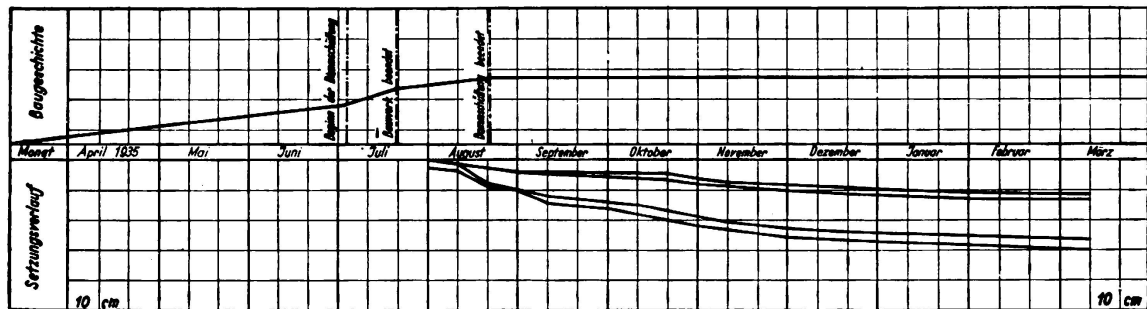


Fig. 36.

36° — Ouvrage n° 337, au km 408,0. Direction Principale de Hanovre. Poutres Gerber sur 6 travées, longueur totale 190 m (fig. 19). Fondation en faible profondeur sur couches de sable et de gravier. Pour la première pile de gauche, fondation sur pieux, par suite de la présence locale d'argile et de tourbe. Pressions moyenne sur le sol aux culées $1,5$ à $1,7 \text{ kg/cm}^2$, aux piles $1,5$ à 3 kg/cm^2 . Ouvrage complètement terminé en mars 1936. Affaissements constatés: 16 mm aux culées et 15 mm aux piles, avec 19 mm pour la première pile de gauche. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

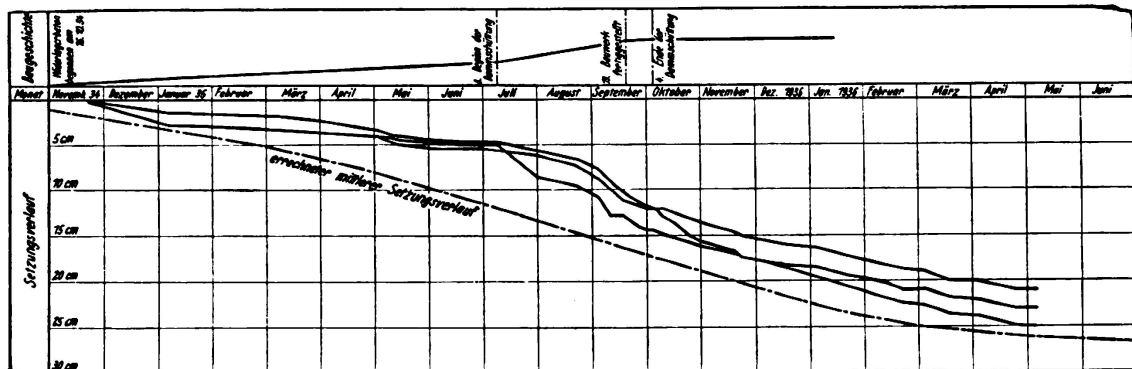


Fig. 37.

37° — Ouvrage n° 252, au km 334,7. Direction Principale de Hanovre. Poutres pleines en béton armé sur trois travées; travées extérieures de 12 m de portée chacune; travée médiane de 21 m de portée. Sous-sol constitué par du sable et du gravier sur forte épaisseur; au-dessous, argile (fig. 20). Pressions moyennes sur le sol, aux culées $1,4 \text{ kg/cm}^2$; aux piles $1,5 \text{ kg/cm}^2$. Ouvrage complètement terminé en août 1935. Affaissement constaté sur culée ouest entre 22

et 100 mm (appui à rouleaux relevé), sur culée est entre 20 et 45 mm, sur les piles, en moyenne 15 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté (l'affaissement important sur la culée est dû au remplissage de l'ouvrage).

38° — Ouvrage n° 18, au km 19,431. Direction Principale de Berlin. Poutres à deux travées ayant chacune 19,7 m de portée (fig. 21). Fondation en faible profondeur sur couches de sable de différentes compositions granulométriques.

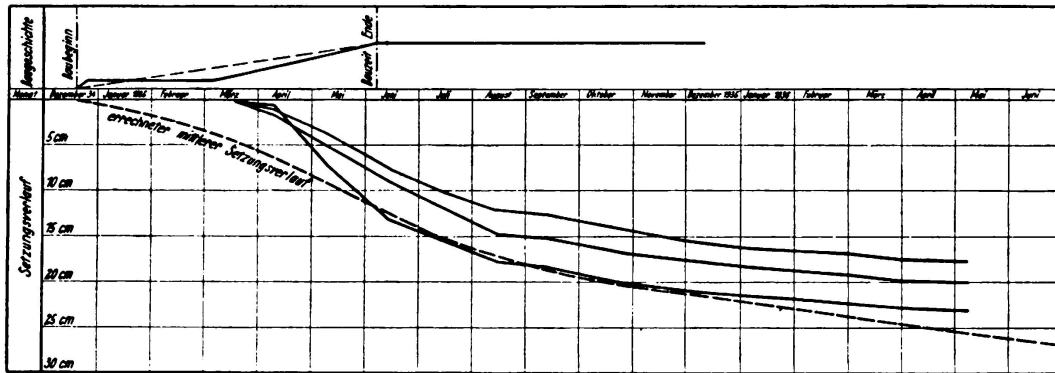


Fig. 38.

Pression moyenne sur le sol de $2,5 \text{ kg/cm}^2$. Ouvrage complètement terminé en février 1936. Affaissement prévu d'environ 10 mm; affaissement constaté jusqu'à février 1936, environ 10 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

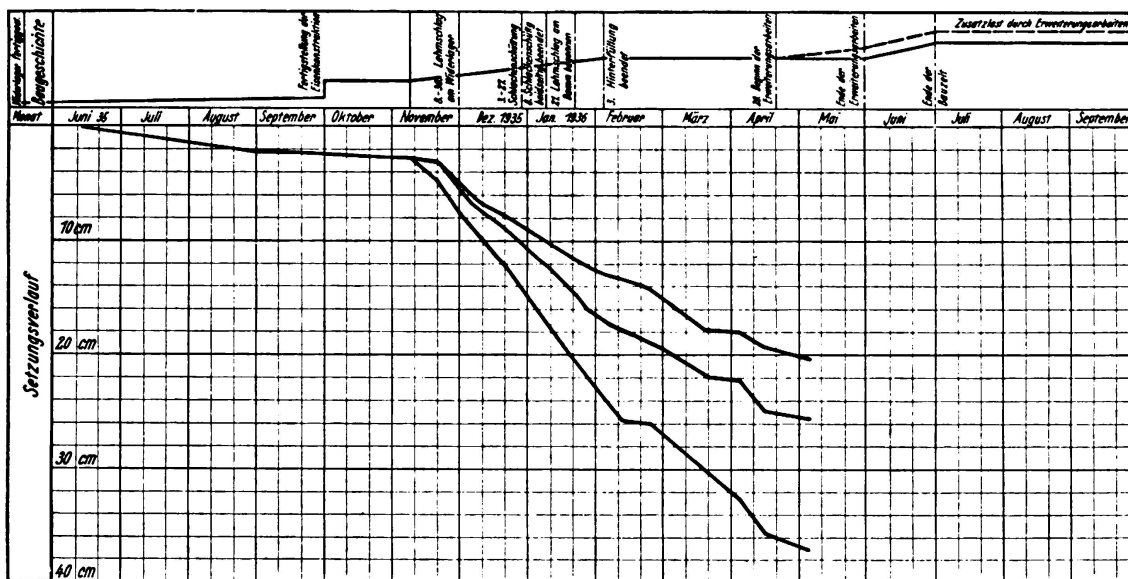


Fig. 39.

39° — Ouvrage n° 7, au km 4,863. Direction Principale de Breslau. Poutres sur deux travées avec articulation type Gerber sur la pile médiane; portées de 15,35 m chacune (fig. 22). Fondation en faible profondeur sur terrain glaiseux et sur couches épaisses de sable et de gravier. Sous la pile extérieure de droite, tourbe en forte épaisseur. Pression moyenne sur le sol sur les piles extérieures $1,5 \text{ kg/cm}^2$, sur la pile médiane 2 kg/cm^2 . Ouvrage complètement terminé en

octobre 1934. Sur les piles extérieures, torsion moyenne de 45 mm vers l'extérieur (mars 1935); en outre, sur la pile extérieure de droite, affaissement d'environ 30 mm. L'affaissement est arrêté; aucun dommage constaté.

40° — 13 ponts à poutres. Direction Principale de Stettin. Fondations en faible profondeur, partiellement sur sable très fin atteignant une épaisseur de 12 m. Pressions moyennes sur le sol de 2,5 kg/cm². Pas d'affaissement, pas de dommages constatés.

41° — Ouvrage n° 79, au km 241,380. Direction Principale de Hanovre. Arcs à trois articulations de 14 m de portée. Pression moyenne sur le sol de 2,7 kg/cm² (fig. 23). Sous-sol constitué par des couches de sable d'épaisseurs variables, légèrement argileux sous la culée de gauche, d'où la nécessité de fonder sur pieux à cet endroit. Ouvrage complètement terminé en avril 1935. Affaissements constatés de 4 mm sous la culée ouest, de 15 mm sous la culée est (de gauche), au jusqu'à mars 1936. L'affaissement est arrêté. L'arc nord accuse des fissures.

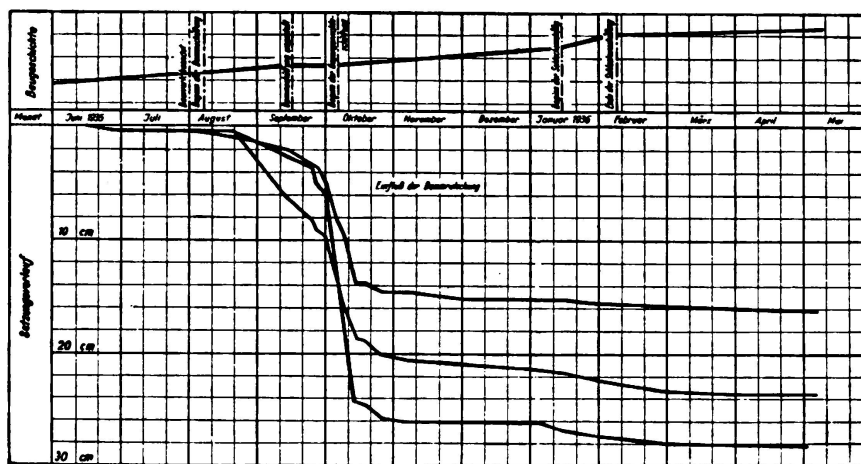


Fig. 40.

42° — Ouvrage au km 7,167. Direction Principale de Francfort. Cadres en béton armé de 19,55 m de portée. Fondations sur pieux foncés en béton armé de 10 à 11 m de longueur. Sous-sol constitué par une couche de sable et de gravier de 5 à 10 m d'épaisseur; au-dessous, argile compacte (en partie sablonneuse). Pression moyenne sur le sol de 2,2 kg/cm². Pas d'affaissement, pas de dommages constatés.

43° — Ouvrage au km 7,292. Direction Principale de Francfort. Poutres en béton armé sur trois travées; travée centrale avec poutre renforcée sur portée de 31,2 m; travées latérales de 8,6 m de portée chacune. Pression moyenne sur le sol de 2,1 kg/cm². Travées latérales exécutées en cadres avec paroi continue entre palplanches. Sous-sol constitué par du sable et du gravier sur une épaisseur de 5 à 10 m; au-dessous, argile compacte (en partie sablonneuse). Pas d'affaissement, pas de dommages constatés.

44° — Ouvrage au km 6,849. Direction Principale de Francfort. Cadres en en béton armé sur 12,6 m de portée. Fondation en faible profondeur sur couche

de sable et de gravier de 4 à 5 m d'épaisseur; au-dessous, argile compacte (en partie sablonneuse) sur forte épaisseur: teneur en eau à l'état naturel 15 à 21 %; limite de liquidité 25 à 50 %; limite de plasticité 9 à 15 %. Pression moyenne sur le sol 2,2 kg/cm². Pas d'affaissement, pas de dommages constatés.

IV. Résumé et Conclusions.

Afin de mieux se rendre compte du comportement d'ensemble des différents ouvrages ci-dessus, il a été dressé une série de tableaux rassemblant les éléments essentiels (Tableaux 1 à 4). En premier lieu, les sols en présence desquels on se trouve peuvent être répartie en 4 groupes: Argile et loess, limon, marne caillouteuse, sable et gravier (en partie argileux). On a comparé les affaissements moyens qui correspondent à ces 4 catégories de sols (tableau 5), en rapportant les différentes valeurs obtenues au temps correspondant à la partie la plus importante des affaissements, d'après les courbes théoriques. On a ainsi obtenu une certaine classification, malgré les influences diverses d'une série de facteurs tels que l'épaisseur des couches et la pression sur le sol. Pour éviter toutefois toute ambiguïté, il importe d'indiquer expressément que les données comparatives du tableau 5, ainsi que les conclusions que l'on peut en tirer, ne s'appliquent exclusivement qu'aux conditions correspondantes du sous-sol de l'Allemagne.

Sur les 72 ouvrages observés, la moitié environ comporte des fondations sur marne caillouteuse et le tiers sur couches épaisses de sable et de gravier. Ainsi qu'il résulte du tableau 5, on a atteint dans ces deux groupes, des affaissements respectifs de 0 à 20 et de 0 à 10 mm. Des calculs ultérieurs ont montré que le coefficient de sécurité des culées et des piles atteint entre 4 et 7 pour les pressions correspondantes maxima de 4 et 3 kg/cm² sur le sol. Les faibles affaissements constatés et les valeurs élevées des coefficients de sécurité correspondants permettraient donc d'aller à des pressions spécifiques plus élevées, sur la marne caillouteuse et sur les couches de sable et gravier. En admettant des pressions sur le sol de l'ordre de 6 et de 5 kg/cm² respectivement, on atteindrait des coefficients de sécurité respectifs de 2 et 3, pour des affaissements qui ne seraient pas sensiblement plus élevés. Les observations effectuées sur les ouvrages fondés sur sols argileux sur lesquels se sont manifestés relativement rapidement des affaissements allant jusqu'à 200 mm, montrent que des affaissements même élevés, mais uniformes, ne provoquent pas de dommages sur ces ouvrages. Les dommages tels que basculement des appuis par exemple, se sont sans exception manifestés dans les cas où le remblayage a été effectué seulement après l'achèvement de l'ouvrage ou bien dans les cas où le remplissage entre remblais et culées était très important (très large). Il en est de même, en particulier, pour les ouvrages fondés sur couches de limon plastique, dans la mesure où les dommages n'ont pas été provoqués par des éboulements des remblayages.

Les ouvrages ci-dessus ont, en majorité, été fondés en faible profondeur; l'emploi des pieux a été limité aux cas où les irrégularités des différentes couches du sous-sol pouvaient faire prévoir des irrégularités d'affaissements, ou quand la présence de couches de limon de faible résistance a contraint d'adopter les fondations sur pieux.

A titre de résultats essentiels de l'étude ci-dessus, nous mettrons en évidence les deux points de vue suivants:

- 1° — La marne caillouteuse et les couches de sable et gravier de forte épaisseur admettent des charges plus élevées que celles qu'il était courant d'adopter jusqu'à maintenant.
- 2° — Les remblayages doivent être effectués aussitôt que possible, afin d'éviter tout mouvement ultérieur non régulier des ouvrages. Les bouchages ou cales de remplissage appliquées derrière les culées après achèvement des ouvrages doivent être aussi peu importants que possible, lorsque les ouvrages sont fondés sur sols plastiques et peu perméables.

Tableau 1.

C = Culée
P = Pile

n°	Fondation	Pression moy. sur le sol kg/cm ²	Constituant principal du sol	Fin de constr.	Affaissements		Etat actuel
					calc. mm	obs. mm	
1	Faible profond.	1,4	Argile compacte	6/1935	—	C 54 P 56 (4/1936)	continue
2	Faible profond.	2,4	Argile compacte	12/1935	—	P 52 (3/1936)	continue
3	Faible profond.	C 1,5 P 1,0	Argile limoneuse plastique	8/1935	C 150 P 60	C 46 P 25 (8/1935)	arrêt
4	Faible profond.	2,75	Limon argileux plastique	2/1936	95	moy. 50 (4/1936)	arrêt
5	Faible profond.	1,1	Argile sablon	11/1935	220	140 (4/1936)	continue
6	Faible profond.	1,5	Limon argileux plastique	12/1935	—	280 (4/1936)	continue
7	Faible profond.	1,4	Argile grasse et argile limoneuse	7/1935	—	C 35 P 70 (8/1935)	continue
8	Faible profond.	2,6	Loess	6/1935	—	40 (4/1936)	arrêt progressif

Tableau 2.

CE = culée est
CO = culée ouestC = culée
P = pile

no	Fondation	Pression moy. sur le sol kg/cm ²	Constituant principal du sol	Fin de constr.	Affaissements		Etat actuel
					calc. mm	obs. mm	
9	Faible profond.	2,6	Loess sablon.	8/1935	—	23 (4/1936)	arrêt progressif
10	Pieux	C 1,1 P 1,4	Limon, Argile limoneuse	12/1935	C 120 P 90 (4/1936)	C 125 P 60 (4/1936)	continue
11	Pieux en eau	1,1	Limon plastique	5/1936	470 (5/1936)	moy. 500 (5/1936)	continue
12	Pieux en eau	1,5	Limon plastique	12/1935	200 (5/1936)	moy. 150 (5/1936)	continue
13	Pieux en eau	1,5	Limon plastique	8/1935	250	60 (3/1936)	continue
14	Pieux en eau	1,3	Limon plastique	10/1935	350	230 (5/1935)	continue
15	Pieux en eau	1,0	Limon plastique	11/1935	350	200 (5/1935)	continue
16	Pieux en eau	2,0	Limon plastique	7/1936	CE 900 CO 500	moy. 300 (5/1936)	continue
17	Faible profond.	1,8	Limon	7/1935	350 (5/1936)	moy. 280 (5/1936)	continue
18	Faible profond.	2,5	Marne caillouteuse Argile sablon.	12/1935	80—100	12 (12/1935)	arrêt progressif
19	Faible profond.	3,0	Marne caillouteuse Argile sablon.	3/1936	10	moy. 14 (3/1936)	arrêt
20	Faible profond.	3,0	Marne caillouteuse Argile sablon.	11/1935	40—60	moy. 7 (1/1936)	arrêt

Tableau 3.

C = culée PE = piles extérieures
P = pile PM = piles médianes

n°	Fondation	Pression moy. sur le sol kg/cm ²	Constituant principal du sol	Fin de constr.	Affaissements		Etat actuel
					calc. mm	obs. mm	
21	Faible profond.	3.0	Marne caillouteuse Argile sablon.	11/1935	20	moy. 5 (1/1936)	arrêt
22	Faible profond.	3.0	Marne caillouteuse Argile sablon.	11/1935	20	moy. 15 (1/1936)	arrêt
23	Faible profond.	2.5	Marne caillouteuse Argile sablon.	7/1935	60—80	moy. 16 (1/1936)	arrêt
24	Faible profond.	P 3,0 C 2,5	Marne caillouteuse Argile sablon.	1/1935	—	moy. 5 (8/1935)	arrêt
25	Faible profond.	2,5	Marne caillouteuse Argile sablon.	4/1935	—	moy. 15 (8/1935)	arrêt
26	Faible profond.	2.0	Marne caillouteuse Argile sablon.	8/1934	—	moy. 120 (8/1935)	arrêt
27	Faible profond.	C 2,5 P 3,0	Marne caillouteuse Sable fin argileux	11/1934	—	moy. 12 (8/1935)	arrêt
28	Faible profond.	C 2,5 P 3,0	Argile Sable Marne caillouteuse	11/1934	—	moy. 10 (8/1935)	arrêt
29	Faible profond.	3.0	Marne caillouteuse Argile sablon.	—	—	0	—
30	Faible profond.	2,5—4,0	Marne caillouteuse Argile sablon.	—	—	0	—
31	Faible profond.	2,65	Marne caillouteuse Argile sablon.	—	—	0	—
32	Faible profond.	2,2—2,5	Sable glaiseux	—	—	0—5	arrêt

CO = culée ouest
CE = culée est

Tableau 4.

C = culée PE = piles extérieures
P = pile PM = piles médianes

n°	Fondation	Pression moy. sur le sol kg/cm ²	Constituant principal du sol	Fin de constr.	Affaissements		Etat actuel
					calc. mm	obs. mm	
33	Faible profond.	3.0	Sable Limon argileux	6/1935	—	moy. 10 (6/1935)	arrêt
34	Faible profond.	2.5	Sable argileux	8/1935	—	4 (8/1935)	arrêt
35	Faible profond.	C 2,0 P 3,0	Sable faiblement argileux	9/1934	—	moy. 5 (2/1935)	arrêt
36	Faible profond.	C 1,5—1,7 P 1,5—3,0	Sable Gravier Pile 1: Argile tourbe	3/1936	—	C 16 P 15 Pile 1: 19 (4/1936)	arrêt
37	Faible profond.	C 1,4 P 1,5	Sable Gravier partiellement argileux	8/1935	—	C 20—100 P 15 (4/1936)	arrêt
38	Faible profond.	2,5	Sable	2/1936	10	10 (2/1936)	arrêt
39	Faible profond.	PE 1,5 PM 2,0	Glaize mince Sable Gravier	10/1934	—	horiz. 45 (3/1935)	arrêt
40	Faible profond.	2,5	Sable	—	—	0	—
41	Faible profond. pour CO Pieux CE	2,7	Sable partiellement argileux	4/1935	—	CO 4 CE 15 (3/1936)	arrêt
42	Pieux	2,1	Sable Gravier Argile	—	—	0	—
43	Faible profond. Pal-planches	2,2	Sable Gravier Argile	—	—	0	—
44	Faible profond	2,2	Sable Gravier Argile	—	—	0	—

Tableau 5.

Nombre des ouvrages	Classe de sol	Pression moy. sur le sol kg/cm ²	Affaissements en mm
9	Limon	1,1—2,0	200—1000
8 (11)	Argile, Loess, Glaise etc.	1,1—2,6	50—200
31	Marne caillouteuse Argile avec sable et gravier	2,5—4,0	0—20
24 (21)	Sable, gravier	1,5—3,0	0—10

Vocabulaire pour les textes des figures.

Allemand

Français

A

Abdeckschicht entfernt
Abdeckschicht ... hoch
Aufschüttung

couche de recouvrement éloignée
couche de recouvrement ... haute
remblais

B

Baubeginn
Baugeschichte
Bauwerk beendet }
Bauwerk fertiggestellt }
Bauzeit, Bauwerk und Damm (3 m hoch)

début de la construction
journal de la construction
ouvrage terminé
durée de la construction ouvrage et digue
(3 m de hauteur)

Beginn der Dammschüttung
Beginn der Pfahlrammung Februar 1935
Beginn der Erweiterungsarbeiten
Beginn der Gegengewichtsschüttung
Beginn der Schlackenschüttung
Bruch, Beginn
Bruch (vermutet)

début du remblayage de la digue
début du damage des pieux: février 1935
début des travaux d'agrandissement
début du ballastage du contre-poids
début du ballastage de scories
rupture, début
rupture (évaluée)

D

Dammschüttung, zuletzt westliche Hinterfüllung
Dammschüttung, zuletzt ostwärtige Hinterfüllung
Dammschüttung beendet
Dammschüttung eingestellt

remblayage de la digue, terre-plein Ouest à la fin
remblayage de la digue, terre-plein Est à la fin
remblayage de la digue terminée
remblayage de la digue mis en place

E	
Einfluß der Dammrutschung	influence du glissement de la digue
Ende der Bauzeit	fin de la construction
Ende der Dammschüttung	fin du remblayage de la digue
Ende der Erweiterungsarbeiten	fin des travaux d'agrandissement
Ende der Schlackenschüttung	fin du ballastage de scories
Errechneter mittlerer Setzungsverlauf	allure moyenne calculée de l'affaissement
Errechnete Setzungskurve der Pfeiler	courbe calculée de l'affaissement des piles
Errechnete Setzungskurve der Widerlager	courbe calculée de l'affaissement des culées
F	
fein	fin
Feinsand	sable fin
Fertigstellung der Eisenkonstruktion	achèvement de la construction métallique
G	
Gegengewichte, Beginn	contrepoids, début
Gegengewichte fertig	contrepoids, finis
Gegenlast verstärkt	contrepoids, renforcé
Gelenk	articulation
Geschiebemergel (toniger Sand)	marne caillouteuse (argile sablonneuse)
Grob	grossier
Grobsand und Feinkies	gros sable et gravier fin
H	
Holzpfähle 8 m lang	pieux de bois de 8 m de long
Hinterfüllung beendet	terre-plein terminé
K	
Kies	gravier
L	
Lehm	terre glaise
Lehmschlag am Widerlager	corroi de terre glaise à la culée
Lehmschlag am Damm begonnen	corroi de terre glaise commencé à la digue
Löß, etwas sandig	loess, un peu sablonneux
Lößlehm	loess limoneux
M	
Monat	mois
mittel	moyen
Mo (= Moorerde)	Mo (= terre de marais)
P	
Pfeiler	pile
S	
Sand, etwas tonig	sable, un peu argileux
Sandschichten in wechselnder Dichte	couches de sable d'épaisseur variable
Sandschüttung	ballastage de sable
Sand	sable
sandiger Schluff	limon sablonneux
Setzungsverlauf	allure de l'affaissement
Schichten von Fein- und Mittelsand	couches de sable fin et moyen
Schichten von Sand und Kies	couches de sable et gravier
Schlackendamm Beginn	digue de scories, début
Schlackendamm fertig	digue de scories, finie
Schlackenschüttung	ballastage de scories
Schlackenschüttung beidseitig beendet	ballastage de scories terminé des deux côtés
Schlamm	vase
Schluff	limon
Schluff mit Feinsandeinlagerungen	limon avec couches de sable fin
schluffiger Ton (weichplastisch)	argile limoneuse (plastique)
steifer Ton, z. T. sandig	argile compacte momentanément sablonneuse
Spundwandrammung	dammage des palplanches

T

Ton
toniger Sand und Kies
toniger Schluff
Torf (Moorerde)

argile
sable et gravier argileux
limon argileux
tourbe (terre de marais)

W

Widerlagerbeton begonnen am
Widerlager
Widerlager fertiggestellt

béton de la culée commencé le
culée
culée terminée

Z

Zusatzlast durch Erweiterungsarbeiten

charge supplémentaire par les travaux d'agrandissement

Résumé.

L'auteur décrit pour un grand nombre d'ouvrages nouveaux des autoroutes allemandes les conditions du sol et des fondations; il rassemble sous forme de tableaux les résultats des observations d'affaissement et il compare ces résultats avec les hypothèses faites auparavant sur ces affaissements.