Discussion

Autor(en): **Kögler, F.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **1 (1932)**

PDF erstellt am: **11.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-671

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Traduction.

L'affaissement des éléments des fondations sous l'influence de la charge sera envisagé, dans ce qui suit, d'après le point de vue suivant : cet affaissement résulte de deux causes principales, dont les influences doivent être distinguées l'une de l'autre et traitées numériquement séparément. On distinguera donc :

a. — la compression du sol.

Cette notion comprend aussi bien la compression élastique qui est appelée à disparaître en cas de disparition de la charge, que la compression permanente. Les deux conduisent à une modification de la structure du sol dans le sens d'une réduction des vides ; le coefficient de vide devient plus petit.

b. — le déversement du sol.

Le sol se déverse latéralement sous l'influence de la charge, tout particulièrement à la périphérie. Ce déversement est interprété, dans ce qui suit, comme ne correspondant nullement à une compression.

Toute preuve de l'existence de ces deux sortes de mouvement interne du sol sous l'influence de chaque charge, est parfaitement superflue ; il va de soi que le degré de participation de ces mouvements à l'affaissement total d'un élément de charge varie très largement suivant la nature du sol. La figure 1 montre dans quelle mesure et sous quel rapport entre eux ils se manifestent dans le sable. Au déplacement vertical des grains, de 9,5 mm., qui se produit directement au-dessous de l'élément de charge, correspondent des déplacements latéraux, en direction horizontale, à une certaine profondeur au-dessous du bord de la plaque de charge (4 à 5 mm.). On sait qu'à une distance relativement éloignée du bord de la plaque de charge, le mouvement des grains de sable peut même se produire vers le haut. Les mesures que nous avons effectuées ont confirmé ainsi que le montre la figure 1, le fait que les deux sortes de mouvements peuvent se manifester même pour de très faibles contraintes et que, même dans ce cas, leurs importances sont dans le même rapport approximativement. Ces mesures ont été faites en noyant dans le sable, suivant un plan déterminé, de petites pièces de bois et en déterminant avec le plus grand soin leurs positions exactes. Après mise en charge et décharge, le sable fut dégagé par soufflage et la position nouvelle des petites pièces de bois déterminée à nouveau d'une manière précise. Les différences entre les deux séries de mesures indiquent les déplacements, que l'on traduit suivant les axes de coordonnées.

Lorsque l'on étudie de près l'affaissement de la charge d'un ouvrage sur ses fondations, et que l'on analyse attentivement les différents phénomènes qui se manifestent, on constate toujours qu'ils se ramènent aux deux mêmes causes ; il arrive toutefois fréquemment qu'il ne soit pas facile de les mettre nettement en évidence, de les dégager l'une de l'autre et d'en déterminer les constantes.

L'intérêt que présente l'étude individuelle de ces deux causes résulte par exemple du fait que les deux manières suivant lesquelles se produit l'affaissement des fondations par suite des ouvrages eux-mêmes, sont très différentes pour des surfaces portantes elles-mêmes différentes : l'une augmente progressivement en même temps que la surface portante, tandis que l'autre diminue au

contraire lorsque la surface portante augmente. De sorte que si l'on se propose par exemple d'étendre les conclusions auxquelles on arrive sur de faibles surfaces portantes (échantillons d'essai) aux surfaces portantes importantes que représente une construction, il devient absolument indispensable de faire intervenir les deux causes ci-dessus indépendamment dans les calculs (compression et déversement) ; on ne peut pas d'ailleurs les faire intervenir avec, pour le sol, les mêmes constantes, ainsi qu'on a tenté maintes fois de le faire jusqu'à maintenant :

1. — Affaissements en fonction de la grandeur de la surface de charge.

Signalons tout d'abord à titre d'exemple ce qui suit : les essais effectués depuis 1926 à mon Institut au sujet de l'affaissement d'éléments de charge reposant sur du sable, pour différentes valeurs de la surface portante, ont conduit à des résultats qui, au premier abord, paraissent singuliers. Ces résultats sont indiqués sur la figure 2. On trouvera par ailleurs des indications plus détaillées [1] et [2].

Ainsi que le montre la figure 2, on a constaté la relation suivante entre l'affaissement s et la grandeur de la surface de charge F : pour de grandes surfaces, s croît avec F (branche de droite) ; par contre (et c'est précisément ce qui paraît remarquable au premier abord), pour de très petites surfaces, les courbes de s ont à nouveau une allure ascendante très marquée (branche de gauche). Il existe un minimum d'affaissement ; pour un sol donné et pour une pression donnée, ce minimum se produit pour une surface déterminée F ; ce minimum se déplace d'ailleurs vers la droite avec la pression p_0 au-dessous de la surface d'appui.

Comment ceci peut-il s'expliquer ? Très facilement, en pratique, si l'on prend soin de décomposer la courbe des affaissements en deux parties, qui correspondent aux deux différentes causes intervenant dans cet affaissement.

a. — Compression proprement dite.

Toutes les déductions théoriques en vue du calcul de l'affaissement d'un élément de charge uniquement à partir de la compression du sol en tenant compte d'un coefficient d'élasticité constant E, aboutissent au résultat ci-dessous :

$$s_a = k_a \sqrt{F} \tag{1}$$

Ces déductions sont faites en partant de l'hypothèse unique de la compression simple du sol et en admettant la répartition courante des pressions d'après la largeur et la profondeur, avec sol de fondation uniforme, admettant un coefficient de compressibilité élastique constant jusqu'à une profondeur indéterminée. La formule 1 exprime que l'affaissement s_a résultant de la

1. Discours de l'auteur : Dresde, École polyt., Févr. 1928 ; Berlin, D. Ges. f. Bauwesen, Nov. 1928. — Bautechnik, 1931, n° 24, page 359. Kögler, Ueber Probebelastungen.
2. Geologie und Bauwesen, 1932, n° 3. Görner.

compression est directement proportionnel à la racine carrée de la surface F, droite *a* dans la figure 3.

b. — Déversement.

Le déversement latéral du sol est provoqué par les contraintes horizontales qui se manifestent dans le sol au-dessous de l'élément de charge, par suite de la pression verticale qu'il exerce sur le sol de fondation. Si l'on considère le cylindre de sol qui se trouve au-dessous de cette surface de charge, il se déforme latéralement ; à cette déformation s'oppose toutefois la pression passive exercée par le sol lui-même tout autour de ce cylindre. Cette dernière pression dépend de la grandeur de la surface de charge. Un examen élémentaire suffit pour se rendre compte que l'affaissement de l'élément de charge par suite du déversement latéral du sol au-dessous de lui doit être inversement proportionnel à la grandeur de la surface de charge.

Supposons qu'autour de l'élément de charge de surface portante F et sous l'action du poids P, il se produise un déversement latéral sous forme d'une couronne de section triangulaire ABC (figure 4). Supposons que le déplacement horizontal soit *a* et la profondeur intéressée t. On peut admettre [1] que le déplacement *a* est directement proportionnel à la pression verticale p_o et inversesement proportionnel à la résistance horizontale à la déformation latérale w, soit :

$$a = c\,\frac{p_o}{w}\,.$$

On a pour la résistance horizontale :

$$w = \varepsilon\,.\,\gamma\,.\,t \qquad \text{d'où :}$$

$$a = c\,\frac{p_o}{\varepsilon\gamma\,t} = k\,.\,\frac{p_o}{t}$$

La quantité de sol que l'élément de charge de surface portante F déplace d'une quantité *s* par suite de son affaissement est expulsée latéralement en dehors de l'espace qui se trouve au-dessous de cette surface F ; c'est précisément cette quantité de sol qui déplace latéralement la couronne triangulaire de la quantité *a*. On a donc :

$$\mathrm{F}\,.\,s = \mathrm{U}\,.\,t\,.\,a = \mathrm{U}\,.\,t\,.\,\frac{k\,.\,p_o}{t}$$

d'où

$$s_b = k\,.\,\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{F}}\,.\,p_o = k_b\,.\,\frac{l}{\sqrt{\mathrm{F}}} \qquad (2)$$

Cette relation est représentée par la courbe *b* de la figure 3.

c. — Si l'on bloque les deux courbes, on obtient la courbe *c* de la figure 3. Elle correspond aux courbes que nous ont fournis nos essais de Freiberg et qui ont été confirmées par des essais sur le terrain, sur sable et sur argile [2].

---

1. Aichhorn, Geologie und Bauwesen, 1932, Heft 1.
2. Kögler, Ueber Baugrundprobebelastungen, Bautechnik, 1931, nº 24.
Press, Baugrundbelastungsversuche.., Bautechnik, 1930, nº 42...

On peut avoir un doute au sujet de l'exactitude de la représentation par la droite a. Cette représentation repose sur l'hypothèse que le coefficient de compressibilité élastique est constant jusqu'à une profondeur indéterminée. Tous les calculs qui ont été publiés jusqu'à maintenant par la littérature technique admettent cette hypothèse.

Cette hypothèse n'est toutefois naturellement pas exacte. Dans les grandes profondeurs, le sol se trouve chargé par son poids propre, donc, toutes choses égales d'ailleurs, il est plus comprimé et par suite plus difficile à comprimer. Le coefficient de compression K devrait donc croître avec la profondeur Z, suivant une loi semblable à :

$$K = K_0 + k.\ z = C\ (v + z)$$

Si, en partant de cette hypothèse et en adoptant la marche de calcul conduisant aux équations (1) et (2), on détermine la compression du sol, on obtient alors :

$$s = \frac{p_0\ r}{C\ (r\text{-}v\ \mathrm{tg}\ \alpha)^2}\left(v\ \mathrm{tg}\ \alpha - r + r \times \ln \frac{r}{v\ \mathrm{tg}\ \alpha}\right) \qquad (3)$$

La courbe a de la figure 3 cesse alors d'être une droite mais devient la courbe a'. Elle est intéressante en ce qu'elle possède un point singulier [1]. En partant de a' au lieu de a, on obtient la courbe d au lieu de c, cette dernière courbe étant remarquablement conforme, ainsi que le montre la figure 5, aux résultats expérimentaux.

2. — Déversement du sol au-dessous du bord de l'élément de charge.

Le même résultat permet en outre la déduction suivante :

Si une bande d'une largeur δ située à la périphérie et au-dessous de l'élément de charge subit le déversement, cette bande ne contribue plus à supporter la charge de l'élément (figure 6) ; la partie portante n'est plus alors représentée que par une largeur $r_0 - \delta$ qui seule subit la compression effective. Il en résulte d'après le processus de calcul courant, pour la compression s, et en tenant compte des hypothèses indiquées plus haut :

$$s = \frac{p_0\ r_0^2}{k.\ \mathrm{tg}\ \alpha\ (r_0 - \delta)} \qquad (4)$$

Cette relation est représentée par la courbe c de la figure 3.

Le minimum de s correspond à $r_0 = 2\ \delta$. En opérant ainsi, on peut donc, en sens inverse, et à partir des courbes établies au cour des essais, déterminer l'importance de δ, c'est-à-dire la largeur de la bande périphérique qui ne collabore pas à la charge, au-dessous du bord de l'élément de charge et qui, dans une certaine proportion, subit un déversement. La concordance entre l'allure des courbes déterminées d'après la méthode ci-dessus et celles qui ont été établies au cours d'essais au laboratoire et sur le terrain indique l'influence du

1. Aichhorn, Geologie und Bauwesen, 1932, n° 1.

déversement, dans les cas qui ont fait l'objet des essais, est nettement et exactement exprimée.

La figure 7 montre également quelle influence importante exerce l'aptitude du sol au déversement sur l'affaissement effectif. Par opposition aux essais qui ont été faits avec dalles rigides de mise en charge et dans lesquels on ne sait rien de précis en ce qui concerne la répartition de la pression au-dessous de la dalle de charge, on a eu recours ici à une mise en charge par un système d'éléments, indépendants les uns des autres, chacun d'eux représentant toutefois exactement la même charge. La transmission de la charge par un système rappelant une sorte de pont permettait de réaliser une répartition uniforme.

Les affaissements correspondant à différentes pressions sont portés au-dessous de la série des éléments de charge et reproduits à droite dans leurs variations en fonction de l'augmentation de la charge.

On peut constater d'une manière très nette que les éléments du centre présentent les affaissements minima, les éléments situés à la périphérie accusant les affaissements maxima et que l'écart entre eux s'accentue lorsque la charge augmente. Les valeurs plus fortes des affaissements des éléments périphériques doivent être attribuées au déversement latéral du sable.

3. — Affaissement s en fonction de la pression p_0.

Le diagramme des affaissements en fonction de la pression permet de discriminer les influences particulières des deux causes des affaissements, la compression a et le déversement b ; ce diagramme, qui fait l'objet de la figure 8, donne l'affaissement s d'une surface déterminée en fonction de la pression p_0.

L'affaissement total (courbe inférieure) se divise en deux fractions :

— contraction, comportant un tassement a et une compression élastique e ;

— affaissement b provoqué par le déversement.

a. — En ce qui concerne le tassement, il est évident à priori qu'il ne peut augmenter que de plus en plus lentement lorsque la pression p_0 croît, car le matériau est de plus en plus compact, et que de plus il doit suivre une courbe affectant la forme de la courbe a (figure 8) : les accroissements relatifs diminuent. Le phénomène correspond au tassement d'un sol dans lequel l'expansion latérale serait empêchée ; les courbes correspondantes ont été déjà souvent données dans la littérature technique.

b. — Par contre, il est également très net que le déversement augmente considérablement lorsque p_0 croît, car la zone de perturbation située au-dessous de la charge[1] est de plus en plus large et par suite une quantité de sol de plus en plus grande est intéressée par la pression et expulsée latéralement. La pente de la courbe augmente avec p_0. On constate ainsi, sinon d'une manière chiffrée, tout au moins très nettement de fait, le rapport qui existe entre la participation des deux causes à l'affaissement résultant et la distinction entre elles.

On peut donc dès maintenant étudier la forme de ces diagrammes d'affaissement et pression, qui donnent des indications sur la nature du sol. En compa-

1. Kögler, Bautechnik, 1928, Heft 15, Abb. 21. — Krynine, Civ. Engg, 1933, Okt.

rant par exemple les deux courbes de la figure 9, qui correspondent à une même surface de charge, on constate la différence des affaissements que l'on obtient, en fonction de p_0, pour un sable sans cohésion et pour un sable admettant une très forte cohésion.

La différence de forme des courbes résulte également très nettement de la figure 7, diagramme de droite. L'affaissement de l'élément 8, qui se trouve au centre de la charge et qui ne subit par suite aucun déversement latéral, se traduit par une courbe semblable à la courbe *a* de la figure 8 et à la courbe correspondant au sable de forte cohésion de la figure 9. Les courbes des éléments 1 et 2, qui se trouvent au-dessous du bord de la charge, accusent une forme semblable à celle de la courbe *b* de la figure 8 et de la courbe de la figure 9 pour un sable sans cohésion.

4. — L'affaissement en fonction de la « profondeur de fondation ».

Un autre procédé pour discriminer les deux causes de l'affaissement d'une manière nette consiste à interpréter les résultats suivants :

Nos essais sur la valeur de l'affaissement *s*, qui ont été effectués à Freiberg sur une période de plusieurs années, ont porté tout d'abord sur des charges appliquées à la surface même du sable ; tout récemment, nous avons fait intervenir des charges agissant à différentes profondeurs au-dessous de cette surface, ce qui correspond en somme à différentes « profondeurs de fondation ». La figure 10 traduit quelques-uns des résultats obtenus. On a porté en direction horizontale les affaissements *s*, en fonction de la profondeur de fondation *t* sous forme de pourcentage par rapport aux affaissements *s* qui se manifestent à la surface ($t = o$). Les courbes ont été tracées pour 3 grandeurs de surface différentes F = 285, 500 et 1.000 cm².

Lorsque l'on se propose de distinguer entre la compression et le déversement, on peut faire l'hypothèse suivante : la compression proprement dite *a*, à l'exclusion de toute influence de déversement *b*, peut être à peu de chose près considérée comme étant indépendante de la profondeur de fondation, car à toute profondeur, les conditions relatives dans lesquelles se trouve le sol au-dessous de la charge sont identiques ; il en résulte que même à de grandes profondeurs, la compression du sol doit être la même. Par suite, l'asymptote de la courbe s/t indique la fraction de l'affaissement total qui correspond à la compression *a* proprement dite ; la différence représente naturellement l'affaissement *b* qui résulte du déversement du sol. D'après cette conception, les courbes de séparation en traits discontinus p_0 devraient être des droites (figure 10 *a*). Il faut toutefois tenir compte de l'augmentation du coefficient de compression E vers le bas, d'où il résulte, pour une profondeur plus forte *t*, une compression légèrement plus accusée, ce qui donne pour les courbes de séparation une allure quelque peu incurvée comme dans la figure 10 b.

Considérons la courbe correspondant à F = 285 cm². A une faible profondeur, la fraction *b* est considérablement plus forte que la fraction *a* ; elle diminue toutefois très rapidement lorsque la profondeur augmente, pour s'annuler progressivement. La figure 10 montre nettement que pour de grandes surfaces,

les courbes sont plus inclinées, la fraction a est importante, la fraction b est beaucoup plus faible ; il en est ainsi non seulement en valeur relative, mais également en valeur absolue, pour différentes valeur de la surface F.

On voit que l'affaissement, pour les grandes surfaces, dépend beaucoup moins de la profondeur de fondation t que pour les petites surfaces. La fraction de b qui est variable avec t est, tout d'abord, tant en valeur absolue que par rapport à a, plus petite, enfin elle dépend beaucoup moins de t que dans les petites surfaces.

Il en résulte que la profondeur d'enfouissement d'un large radier de fondation n'a que peu d'importance en ce qui concerne la diminution des affaissements, si ce radier ne repose pas directement sur un sol qui soit particulièrement peu consistant ou qui ait tendance au déversement. En tout cas, la discussion des courbes de la figure 10 confirme la conception que nous avons de l'influence respective des deux causes indiquées et des conditions suivant lesquelles elle dépend de la surface F.

Des considérations ci-dessus, il ne résulte toutefois aucune représentation quantitative de l'influence de chacune des deux causes ; on en déduit toutefois un aperçu qualitatif très net.

Les essais ont été effectués tout d'abord uniquement sur de petites surfaces ; les pressions et les affaissements sont faibles ; on peut cependant en conclure que même pour de grandes surfaces et de fortes pressions, les résultats seront semblables ; ceux qui ont été ainsi obtenus constituent donc une base effective ; ils permettront d'orienter les recherches, peut-être aussi de formuler des hypothèses et pourront servir de point de départ à de nouveaux essais.

5. — Application aux essais de charge en direction verticale.

L'importance des résultats que traduisent les figures 2 et 5 et la relation qui lie l'affaissement s à la grandeur de la surface F conduit aux conclusions suivantes, en ce qui concerne l'exécution pratique de l'étude des sols par essais en charge :

L'affaissement s sur un sol déterminé, sous l'influence d'une charge p_0, dépend dans une large mesure de la grandeur de la surface de charge, en particulier pour les fortes pressions. Ce fait est particulièrement important dans le cas suivant : considérons des essais en charge donnant un affaissement $s = 10$ mm pour une pression au sol de $p_0 = 5$ atm. La construction accusera-t-elle un affaissement de 10 mm. également pour 5 atm ? Non. Quel sera alors son affaissement ? Cela dépend de la grandeur des surfaces de charge qui ont été employées pour l'essai. Il est tout d'abord bien certain que si les surfaces d'essai adoptées correspondent à la branche gauche des courbes, on ne pourra tirer de ces essais aucun résultat positif, car l'affaissement obtenu sera trop fort et ne donnerait qu'une idée fausse ; la proportion de déversement qui intervient dans l'essai est trop forte et l'on pourrait presque dire qu'il s'exerce, dans le cas de ces petites surfaces, une influence analogue à celle d'un pieu qui écarte le sol latéralement.

Les surfaces d'application des charges d'essai doivent tout au moins corres-

pondre à la branche de droite de la courbe ; en pratique, la grandeur minimum de F doit être d'autant plus élevée que p_0 doit elle-même être plus forte (figures 2 et 5). L'affaissement de la construction elle-même est-il alors le même que celui de la surface d'essai ? Encore non. On peut toutefois ici donner une réponse partielle. En effet, le s de la construction est plus fort que le s de la surface d'essai. Peut-on alors déduire de la première valeur concernant la surface d'essai celle qui correspond à la construction elle-même ? Pas directement ou en tout cas pas sur la base d'un essai effectué sur une seule grandeur de surface. Il faut effectuer des mesures d'affaissement sur deux surfaces au moins, ces deux surfaces ayant des grandeurs aussi différentes que possible l'une de l'autre. On peut alors écrire, d'après les équations (1) et (2) :

$$\text{Surface } F_1 \ldots \qquad s_1 = k_a . \sqrt{F_1} + k_b : \sqrt{F_1}$$
$$\text{Surface } F_2 \ldots \qquad s_2 = k_a . \sqrt{F_2} + k_b : \sqrt{F_2}$$

On peut ainsi déterminer k_a et k_b ce qui permet d'effectuer le calcul de s_3 pour F_3.

La détermination de l'affaissement d'une construction d'après le processus ci-dessus, basé sur deux essais de charge, suppose que le sol se comporte, même dans ses couches profondes, exactement de la même manière que dans les couches qui ont été intéressées par les essais de charge. Il ne faut cependant pas perdre de vue que la large surface d'appui d'une construction agit à une profondeur beaucoup plus grande que celle sur laquelle porte la charge d'essai, ou, en d'autres termes, qu'une pression de 1 atm, par exemple, se manifeste dans le sol, au-dessous du milieu de la surface de charge, à une profondeur d'autant plus forte que la surface de charge est plus grande. La construction elle-même intéresse et comprime à 1 atm des couches sur lesquelles la charge d'essai n'exercera qu'une pression de 0, 1 atm, les comprimant par suite beaucoup moins.

Des considérations qui précèdent et de la littérature récemment parue à ce sujet, il résulte que si l'on désire obtenir des données certaines en ce qui concerne les affaissements qu'il y a lieu de prévoir pour une construction, il faut entreprendre une sérieuse étude du sol de fondation et que si ces recherches consistent en essais de charge, il faut apporter le plus grand soin aux conditions dans lesquelles ils sont effectivement exécutés.

D'ailleurs, les essais de charge normaux tels qu'on les a pratiqués jusqu'à maintenant sont entachés de toute une série de défauts, qui rendent extrêmement douteuse la valeur des résultats obtenus.

Tout d'abord, ainsi que nous l'avons vu, dans les résultats que donne l'essai de charge avec une surface de charge relativement faible, à une faible profondeur, intervient un degré de déversement relativement important b, alors que le déversement effectif est notablement moins fort avec les grandes surfaces des constructions. Pour éliminer cette influence, il faudrait travailler avec deux surfaces d'essai, ce qui complique les opérations. Il faut en outre extrapoler, ce qui manque de précision.

Il existe encore une cause d'imprécision plus importante : l'affaissement s de l'élément de charge, qu'il soit placé à la surface du sol, ou à une certaine

profondeur au-dessous de cette surface, représente toujours une somme constituée par l'ensemble des affaissements élémentaires de toutes les couches qui se trouvent au-dessous de la charge jusqu'à une certaine profondeur, chaque couche comportant sa compression, produite par la pression p reçue de la charge P. Il n'est toutefois pas possible de discerner, dans le résultat global s, quelle est la part qui revient à telle couche particulière.

On sait en outre qu'une surface de charge réduite (pour une même pression p_0) n'exerce pas son influence à une profondeur aussi grande qu'une surface importante, car par suite de sa dispersion latérale, la pression qu'elle exerce devient rapidement nulle, ou si faible qu'elle n'est plus susceptible d'exercer aucune influence. Les grandes surfaces de charge des constructions exercent leur influence à des profondeurs considérablement plus grandes que les surfaces de charge d'essai.

Si donc il existe quelque part dans le sol des couches défectueuses, subissant fortement la compression, elles ne seront pas intéressées par les charges d'essai ordinaires, qui ont une faible surface, c'est-à-dire que leur compression ne sera pas exprimée, ou tout au moins pour une très faible partie seulement dans le résultat de l'essai de charge, tandis que l'ouvrage lui-même en recevra une fraction importante de son affaissement. En pareil cas, l'essai de charge ordinaire ne peut, par suite de la faible valeur de la surface correspondante, donner aucun résultat sûr, car cette surface n'agit pas en profondeur et parce qu'en tous les cas elle ne donne qu'un résultat d'ensemble ne permettant pas de discerner la part qui revient à une couche déterminée du sol.

Si l'on envisage par contre de mettre en jeu des surfaces d'essai importantes, qui puissent agir profondément, l'ancienne méthode d'essai nécessite encore des charges considérables, dont la manutention, l'installation sur place, la mesure, l'enlèvement et l'installation à un autre endroit coûtent cher, prennent beaucoup de temps et ne sont souvent pas sans dangers.

6. — Essai de charge du sol sous pression horizontale, avec trou de forage.

On en arrive, pour tous les cas dans lesquels il est imposssible de prélever dans le sol un échantillon d'essai qui soit intact aux fins d'étude en laboratoire, ou dans lesquels on ne dispose pas d'un laboratoire, au système consistant à étudier le sol de fondation dans un forage et qui permet d'accéder à chaque couche à sa profondeur normale. Il en résulte en outre un avantage capital : au lieu d'une charge verticale, qui nécessite toujours l'intervention de poids morts avec tous leurs inconvénients, on peut faire intervenir des efforts horizontaux, s'exerçant latéralement sur la paroi du trou de forage des deux côtés, chacun d'eux indiquant la réaction d'appui correspondant à l'autre ; l'essai peut être fait avec un appareil très simple, qui ne nécessite qu'un opérateur et dont le transport d'un forage à l'autre peut être effectué par un seul homme ; la compression peut ainsi être déterminée avec une pression voulue, ainsi qu'on l'a déjà mentionné, pour une couche arbitraire, située même à une grande profondeur. La pression horizontale présente encore cet avantage que l'essai ne porte que sur une seule couche et que le résultat que l'on obtient n'est pas une somme correspondant à plusieurs couches. En outre, autre

avantage, aucun poids mort n'intervient et les essais peuvent porter sur des surfaces importantes. Les essais sont ainsi peu coûteux, rapides et faciles ; l'essai sous charge peut toutefois être prolongé à tout endroit, aussi longtemps qu'il est désirable.

On emploie deux sortes d'appareils :

a. — Appareil à commande mécanique : deux éléments demi-cylindriques en acier comprimant la paroi du trou de forage en deux directions ; hauteur de l'appareil : 0,60 m, diamètre du trou de forage : 0,20 m.

b. — Appareil à commande hydraulique, avec cloche entièrement cylindrique de caoutchouc, exerçant sa pression sur la paroi du trou de forage suivant toutes les directions. — Diamètre du trou de forage : 0,15 ou 0,20 m ; hauteur de l'appareil : 1,2 ; poids de ce 2e appareil : 50 kg.

Les résultats obtenus sont reproduits sur les figures 11 et 12. La compressibilité du sol est exprimée par la pente de la courbe par rapport à l'axe des p. Le diagramme de la figure 11 concerne un terrain naturel. Le sable situé à des profondeurs de 8 et 7,50 m, courbes 1 et 2, est très compact, celui qui se trouve à des profondeurs moindres, courbes 3 et 4, l'est moins. Le sable argileux n° 4 accuse, par suite de la présence du liant, une résistance un peu plus élevée que le n° 3 ; il cède relativement moins ; la courbe 4 descend rapidement. Il est vraisemblable que l'on se trouve ici en présence de notables « déversements », dans le sens indiqué au début de cet exposé ; l'essai 4 est en effet effectué à une très faible profondeur, de sorte qu'il peut se produire un déversement vers le haut. Par contre, les courbes 1 et 2 présentent une allure qui correspond nettement à celle de la courbe *a* de la figure 8, c'est-à-dire à une compression pure. Les essais 1 et 2 ont été en effet effectués à grande profondeur.

La figure 12 indique les résultats d'essais effectués sur sol rapporté (stériles dans une exploitation de lignite à ciel ouvert) à différentes profondeurs de 2,4 à 12, 9 mètres. La résistance du sol augmente nettement avec la profondeur. Ce n'est toutefois qu'à 12,9 m qu'elle est égale à celle du sol 2 naturel à une profondeur de 6 mètres.

La figure 13 montre également la relation qui existe entre le coefficient de compression du sol et la profondeur, telle que la met en évidence l'appareil à compression latérale. On a environ la même représentation que sur la figure 10, qui concerne la charge verticale à différentes profondeurs.

En utilisant l'appareil hydraulique et par suite de la grande surface de pression qui entre en jeu, on est assuré qu'il ne se produit aucun déversement du sol et que le chiffre déterminé ne se rapporte par suite qu'à une compression pure du sol, de sorte que l'on peut le faire intervenir dans les calculs d'affaissement des constructions.

Zusammenfassung.

Die Einsenkung eines Bauwerkes rührt her :

a) von der Verdichtung der Bodenschichten in lotrechter Richtung,

b) vom seitlichen Ausweichen derselben in wagrechter Richtung. Diese

beiden Ursachen sind deutlich in allen Versuchs- und Probebelastungsergebnissen zu erkennen; das wird im einzelnen dargelegt. Die Anteile dieser beiden Ursachen an der Gesamteinsenkung sind sehr verschieden, je nach der Grösse der Lastfläche und der Gründungstiefe, selbstverständlich auch je nach der Bodenart. Es wird versucht, die Anteile dieser beiden Ursachen voneinander zu trennen und zwar für die vorliegenden Laboratoriumsversuchsreihen, für die üblichen Probebelastungen mit lotrechter Last und für die Bodenuntersuchungen im Bohrloche mit dem Seitendruckapparat nach Kögler.

Résumé.

L'affaissement d'une construction est causé par :

a) la compression ou tassement des couches du sol en direction verticale et

b) par un déversement latéral de ce sol en direction horizontale.

Ces deux causes sont nettement mises en évidence dans tous les résultats fournis par les essais de charge sur échantillons et sur le terrain ; ces résultats sont indiqués dans leurs détails. La participation de ces deux causes à l'affaissement total est très différente, suivant l'importance de la surface de charge et la profondeur de fondation, naturellement aussi d'après la nature du terrain. L'auteur s'efforce de séparer ces deux causes l'une de l'autre, tant pour les séries d'essais qui ont été effectués au laboratoire que pour les essais courants, sur place, en charge verticale et pour les essais sur forage avec l'appareil de compression latérale de Kögler.

Summary.

The sinking of a structure is caused by :

a) Compression of the layers of soil in the vertical direction,

b) Lateral movements of the soil in a horizontal direction.

Both these causes can be clearly recognised in all results of research and test loading : this is shown in detail. The extent to which each of these two factors contributes to the total sinking differs greatly, depending on the size of loaded surface, on the depth of foundations, and of course also on the nature of the ground. An attempt is made here to show the separate influences of these two factors ; this is done for the available series of laboratory tests, for the usual test loadings with vertical load, and for investigations of the soil in boreholes by means of the Kögler lateral-pressure apparatus.

Dr. Ing. L. ELLERBECK,

Ministerialrat, Reichsverkehrs-Ministerium, Berlin.

Nach dem Bericht von Regierungs- und Baurat Ehrenberg, Berlin.

Die Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau zu Berlin hat sich mit Untersuchungen auf dem Gebiete der Tragfähigkeit des Baugrundes beschäftigt. Einige Ergebnisse mögen hier kurz mitgeteilt werden.