

# Essais pour déterminer la distribution des efforts dans la surface d'appui d'une fondation

Autor(en): **Hruban, K. / Hacar, B.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-3120>

## **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.

## VIII 2

### Essais pour déterminer la distribution des efforts dans la surface d'appui d'une fondation.

#### Versuche zur Bestimmung der Spannungsverteilung in Gründungssohlen.

#### Experiments to Determine the Distribution of Pressure over a Foundation.

Ing. Dr. techn. K. Hruban et Ing. Dr. techn. B. Hacar,  
Prague.

1° — *But des Essais.*

On connaît la solution de *Boussinesq* du problème du solide limité à un plan horizontal, sur lequel agit une force perpendiculaire par l'intermédiaire d'un cylindre rigide (fig. 1). Si les déplacements verticaux de tous les points de la base du cylindre sont égaux, l'effort en un point quelconque M est

$$v_M = \frac{a}{2 \sqrt{a^2 - x^2}} \cdot p,$$

$p$  étant la valeur moyenne de la pression. En cas de problème à deux dimensions, l'expression analogue, due à *Sadowsky*, est

$$v_M = \frac{2a}{\pi \sqrt{a^2 - x^2}} \cdot p.$$

Les deux équations donnent la distribution des efforts, indiquée par la ligne  $v$  (fig. 1). Le minimum de la pression se trouve au centre C et peut avoir une

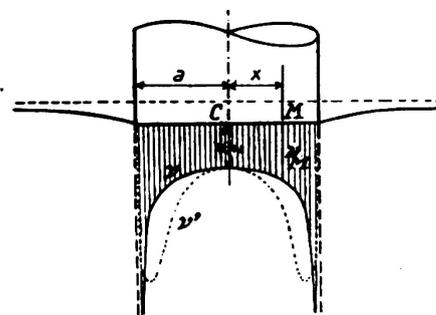


Fig. 1.

Distribution des efforts d'après la théorie.

valeur de  $0,5 p$  à  $0,637 p$ , selon la forme de la surface d'appui. En réalité, les efforts ne peuvent être infiniment grands. A proximité du contour de la surface comprimée, il y aura des modifications, causées par les déformations plastiques, et il faut admettre que la ligne pointillée  $v'$  représente approximativement la répartition réelle des efforts. La courbe a donc une forme de selle, les deux maxima de pression se trouvent près du contour de l'aire chargée et dépendent des mouvements de glissement qui se produisent à l'intérieur des deux corps en contact.

En est-il de même sous les fondations reposant sur des terrains compressibles? Cette question fut vivement discutée au cours de ces dernières années. Les essais

de MM. Kögler et Scheidig<sup>1</sup> exécutés à la surface d'une masse de sable, ont donné le maximum de pression au centre de la plaque de charge. Au contraire, les mensurations d'efforts dans la surface d'appui des piliers à Ludwigshafen<sup>2</sup> et à Niederfinow<sup>3</sup> indiquent clairement la forme de selle de la courbe de pression, en accord avec la théorie du solide élastique. Enfin, les expériences de M. Press<sup>4</sup> semblent confirmer que les deux cas peuvent se présenter sous certaines conditions.

Pour le calcul de vastes semelles de fondation ou du radier général, il est très important de connaître la distribution réelle des réactions du sol. Afin de contribuer à l'éclaircissement de ce problème, l'Association Tchécoslovaque de Recherches a entrepris des essais dont nous allons donner un bref aperçu.

## 2° — Disposition.

L'affaissement d'une fondation est due à deux phénomènes différents:

1° compression élastique du sol,

2° changements irréversibles de sa structure intérieure. Ceux-ci dépendent du rapport des tensions principales totales, provenant et de l'action de la charge et du poids des couches supérieures du terrain voisin, reposant sur le plan de la surface d'appui. Pour étudier le travail du terrain sur un modèle à échelle réduite, il est donc indispensable de mettre le sol d'essai au même état de contrainte qu'il subit sous une fondation réelle. Il faut alors employer non seulement un matériau d'essai d'une compacité correspondante à la nature, mais aussi appliquer aux côtés de la plaque de charge un poids, remplaçant la masse supérieure. Conformément à ces principes, notre modèle devait imiter la section d'un long mur, fondé à la profondeur habituelle. Comme matériaux d'essai, nous avons choisi les sables fins, dont le taux de fatigue admissible est généralement estimé à 1 kg/cm<sup>2</sup> environ. Une série d'essais analogues a été effectuée sur une couche de caoutchouc.

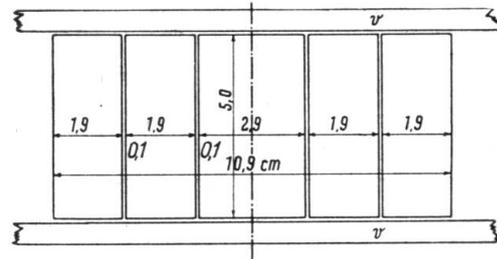


Fig. 2.

Plaque de charge, divisée en cinq parties.  
v = parois de verre.

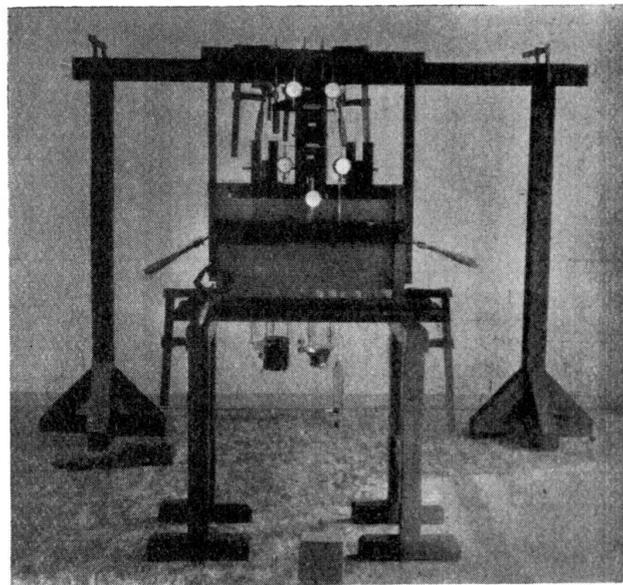


Fig. 3.

Disposition générale de l'essai.

<sup>1</sup> Bautechnik 1929, p. 268, 828.

<sup>2</sup> Bautechnik 1932, p. 595; Bauingenieur 1933, p. 242, 473.

<sup>3</sup> Bautechnik 1934, p. 522.

<sup>4</sup> Bautechnik 1934, p. 569.

La disposition de nos essais était la suivante :

La plaque de charge était divisée en cinq parties (fig. 2) qui pouvaient être chargées par l'intermédiaire de trois petites tables rigides et s'enfoncer indépendamment l'une de l'autre. On mesurait leur déplacements par six appareils, indiquant directement les centièmes de millimètre et permettant d'en apprécier les millièmes. Les photographies ci-jointes (fig. 3 et 4) montrent les détails de la disposition.

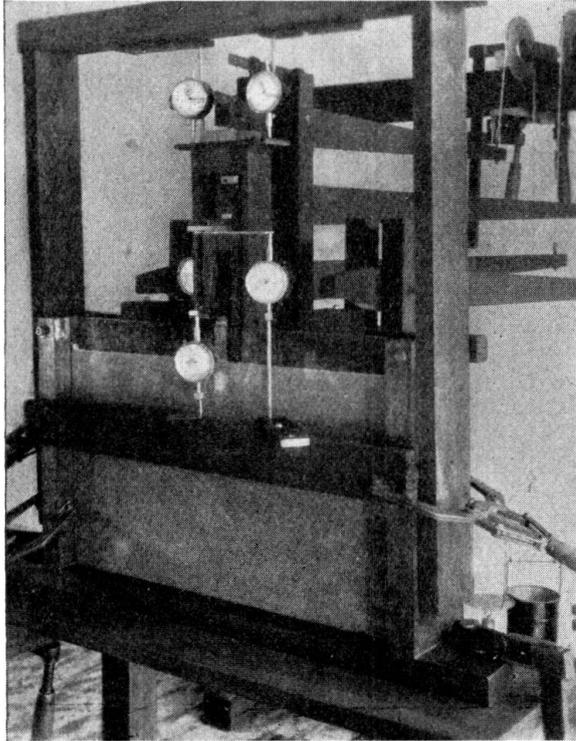


Fig. 4.

Disposition des appareils de mesure.

A l'aide de cette installation, nous avons étudié les déplacements des parties de la plaque, en y appliquant diverses charges et en mesurant leurs enfoncements totaux (pendant l'action de la charge) et irréversibles (après son écartement). Jusqu'au mois de juillet 1936, nous avons effectué 16 séries d'essais (désignées par A, B . . .), chacune se composant de plusieurs mensurations (a, b . . .). Il fallait préparer de nouveau le matériau pour chaque série, parce que la compressibilité du sable se modifie à la suite de chaque mise en charge. Évidemment, il se forme des zones de plus grande résistance, les conséquences de la déformation irréversible se manifestent autrement au-dessous de chaque partie de la plaque et la consolidation du matériau s'effectue différemment pour chaque mode de distribution des efforts.

### 3° — Caractéristiques des matériaux employés.

Désignation	Poids spécifique kg/dm <sup>3</sup>	Composition granulométr. Restes sur tamis de mm						Teneur en eau % du poids	Volume des vides % du volume total	Indice de vide $\epsilon$
		2,0	1,0	0,5	0,25	0,1	<0,1			
		%	%	%	%	%	%			
Sable I	1,583	—	4,3	47,8	44,8	2,2	0,9	3,6	41,8	0,718
„ II	1,672	—	4,3	47,8	44,8	2,2	0,9	3,6	38,4	0,624
„ III	1,741	—	4,3	47,8	44,8	2,2	0,9	1,8	34,7	0,532
„ IV	1,768	24,6	20,7	26,7	25,5	2,0	0,5	0,9	33,2	0,497
„ V	1,567	—	4,3	47,8	44,8	2,2	0,9	0,5	40,9	0,693

La limite  $p_0$  de la proportionnalité de l'enfoncement du centre de la plaque à la charge appliquée se manifestait, quand la pression moyenne dans la surface d'appui atteignait à peu près  $2\frac{1}{2}$  fois la charge d'à côté.

Le corps d'essai en caoutchouc avait les dimensions de  $45 \times 14,3 \times 5,1$  cm. Il était constitué de bandes d'épaisseur moyenne de 0,68 cm collées ensemble et assis sur une couche tassée de sable IV de 20 cm de hauteur; autour de la surface d'appui n'agissait aucune charge.

#### 4° — Répartition uniforme de la charge.

La fig. 5 montre les compressions de la couche de caoutchouc. La ligne T (resp. I) est celle des enfoncements totaux (resp. irréversibles) causés par la fatigue uniforme de  $0,53 \text{ kg/cm}^2$ . Les propriétés différentes du sable se manifestent par la proportion prépondérante des enfoncements irréversibles; ceux-ci

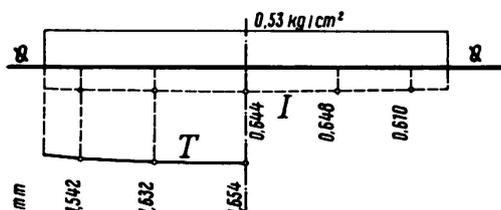


Fig. 5.

Charge répartie uniformément sur la couche de caoutchouc, essai Qa.

T = enfoncements totaux,  
I = enfoncements irréversibles.

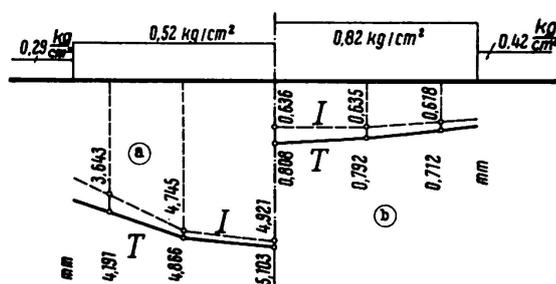


Fig. 6.

Charge répartie uniformément.

a) Sable I, essai Eb ( $p_0 \approx 0,5 \text{ kg/cm}^2$ ),  
b) Sable III, essai Ha ( $p_0 \approx 1,0 \text{ kg/cm}^2$ ).  
T = enfoncements totaux,  
I = enfoncements irréversibles.

auront déterminé l'allure de la courbe T (fig. 6). Il en résulte que la distribution des efforts sous une plaque rigide dépend surtout de l'état d'équilibre du sol au-dessous de son contour, à savoir du rapport  $p : p_0$ .

a) Quand la disposition de l'essai correspondait aux circonstances générales qu'on rencontre dans la pratique, la proportion de l'enfoncement total des bords de la plaque à celui du centre était  $0,68 \div 0,98$  (0,88 en moyenne pour 11 essais avec charge de  $0,5 \div 1,1 \text{ kg/cm}^2$  sur la surface d'appui, la charge agissant autour de la plaque d'appui étant  $0,23 \div 0,49 \text{ kg/cm}^2$ , ce qui correspond à une fondation sise à  $1,5 \div 3$  mètres de profondeur sur un terrain de nature équivalente au matériau d'essai).

Pour obtenir des enfoncements égaux sur toute l'étendue de la plaque (cas d'une fondation rigide), il est donc nécessaire d'augmenter les charges à la proximité des bords. En admettant que la pression à l'extrémité de la plaque soit égale à celle d'à côté, on obtient la ligne de distribution en forme de selle, correspondant aux résultats précités des mensurations à la surface d'appui des piliers.

b) Quand on applique une charge assez élevée à la surface libre du sable, la ligne prend une forme inverse, le minimum d'enfoncement se trouve au centre de la plaque. La fig. 7 en donne un exemple. Dans le cas d'une plaque rigide, la

distribution serait indiquée par une ligne d'allure à peu près parabolique, connue par les essais de *M. Kögler*.

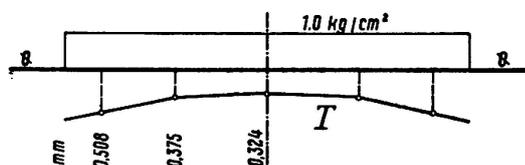


Fig. 7.

Charge répartie uniformément à la surface libre.

Sable III, essai Oa ( $p_0 = \phi$ ).

### 5° — Répartition, entraînant des enfoncements égaux.

Même sur les solides élastiques, cette répartition dépendra des mouvements irréversibles qui se produiront sous les bords de la plaque. Il n'est donc pas possible de calculer les rapports mutuels des charges partielles d'après l'influence de l'augmentation de l'une d'elles et il faut procéder par voie d'essai et de mensuration directe. La fig. 9 montre le résultat obtenu avec le caoutchouc. La différence entre les enfoncements mesurés ne s'élève qu'à 0,003 mm (0,3 %), ce qui correspond à la limite de précision des appareils de mesure. D'après les valeurs

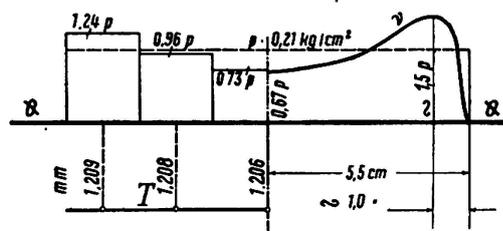


Fig. 8.

Répartition égalisant les enfoncements. Couche de caoutchouc chargée pour la première fois, essai Qh.

des charges appliquées, on arrive à tracer la ligne approximative de la distribution des efforts ( $v$ , fig. 8). Nos observations signalent une pression centrale un peu plus grande (de 5 % environ) que celle donnée par la théorie.<sup>5</sup>

Avec les sables, il n'était pas possible d'atteindre une telle précision et les résultats obtenus étaient moins réguliers. Pour tracer les lignes de distribution, nous avons ajouté aux charges partielles une petite correction calculée à l'aide d'autres

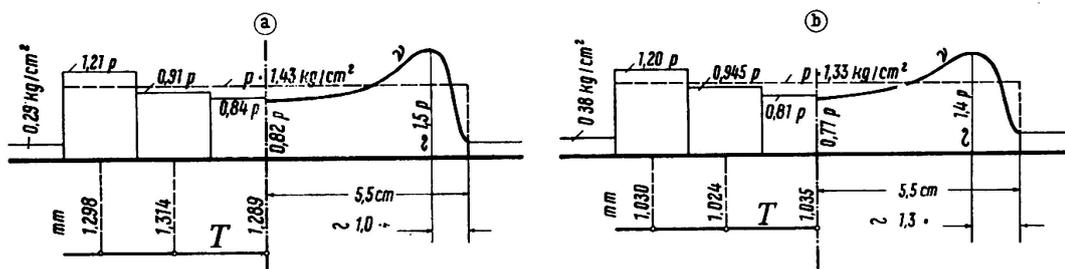


Fig. 9.

Répartition égalisant les enfoncements.

a) Sable II, essai Fn ( $p_0 \approx 0,8 \text{ kg/cm}^2$ ).

b) Sable III, essai Bl ( $p_0 \approx 0,9 \text{ kg/cm}^2$ ).

essais. Les exemples (fig. 9) indiquent les répartitions obtenues avec fatigue moyenne dépassant déjà d'une moitié la limite de proportionnalité, ce qui repré-

<sup>5</sup> Il faut remarquer que même le caoutchouc donne une ligne un peu modifiée, si on répète la mise en charge.

sente le maximum possible dans la pratique des constructions. Quand les charges seront moins grandes, la forme de la ligne  $v$  ressemblera plus à celle que nous avons trouvée pour le caoutchouc. Néanmoins, ces résultats numériques ne peuvent être généralisés, chacun d'eux dépendant des données de l'essai respectif. (Nous nous proposons de continuer ces essais avec d'autres sols et à plus grande échelle dans la nature.)

Afin de pouvoir observer le changement qui se produit, si la fatigue dépasse le taux généralement admissible, nous avons ajouté une série d'essais avec le sable sec et peu chargé aux côtés de la surface d'appui. La limite de proportionnalité  $p_0$  était ici environ  $0,5 \text{ kg/cm}^2$ , ce qui aurait donné une résistance admissible de  $0,75 \text{ kg/cm}^2$ . En sollicitant le sable à une pression moyenne de  $1,24 \text{ kg/cm}^2$  (c'est-à-dire  $2,5 p_0$ ), nous avons obtenu la répartition, nécessaire

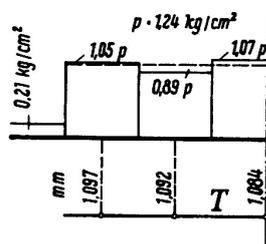


Fig. 10.

Répartition égalisant les enfoncements.  
Sable V, essai Ng ( $p_0 \approx 0,5 \text{ kg/cm}^2$ ).

pour égaliser les enfoncements, indiquée à la fig. 10. On remarque l'écoulement des efforts vers le centre. Il semble qu'avec des fatigues excessivement croissantes on parvienne enfin à une ligne de distribution de la forme de cloche, semblable à celle, observée à la surface libre.

#### 6° — Conclusions.

Le modèle employé étant de petites dimensions, il faut voir si les résultats mentionnés ci-dessus concordent avec les mesures effectuées sous de véritables dalles de fondation. Il en est ainsi, puisqu'en cas de problème à trois dimensions (surface d'appui carré ou rectangulaire pas trop longue), l'effort au centre devrait s'élever approximativement à une moitié de la pression moyenne. Nos essais donnent d'ailleurs l'explication des différentes allures des courbes de pression observées dans les divers cas.

Ajoutons encore que les très nombreuses mensurations, effectuées par l'institut de M. *Klokner* sur des terrains de fondation divers, ont déterminé les valeurs de leurs compressions élastiques et irréversibles. Le calcul montre que la flexion d'un fondement en béton armé cause une flèche qui est beaucoup moins grande que l'amplitude du tassement non élastique d'un sol compressible. En ce cas, on peut considérer toutes les dalles de fondation comme rigides.

Supposant la fondation sur une couche pratiquement homogène, on arrive ainsi aux conclusions suivantes:

*La distribution des efforts sous un élément de fondation est variable et dépend de l'état d'équilibre du sol. Jusqu'à ce que la fatigue moyenne ne dépasse pas la limite de proportionnalité de plus d'une moitié, la ligne de pression a la forme de selle et ses maxima se trouvent dans les quarts extérieurs de la largeur de la surface chargée. Une fatigue excessive entraîne le maximum de pression vers le centre.*