

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



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

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

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

# Essais sur modèle réduit de la capacité d'ancrage d'éléments rigides horizontaux, enfouis dans le sable

## Scale Model Tests on the Anchorage Values of Various Elements Buried in Sand

par S. M. HUECKEL, Professeur à l'École Polytechnique à Gdansk (Pologne), Directeur de l'Institut des Recherches Hydrauliques de l'Académie Polonaise des Sciences à Gdansk, Gdansk 6, Majakowskiego 11,

et  
J. KWASNIEWSKI, Ingénieur à l'Institut des Recherches Hydrauliques de l'Académie Polonaise des Sciences à Gdansk, Gdansk 6, Majakowskiego 11

### Sommaire

La communication donne la description d'essais sur modèle réduit conduits pour déterminer la capacité d'ancrage d'éléments rigides horizontaux, plaques carrées, grilles et anneaux, enfouis dans du sable de dune.

Les auteurs discutent le phénomène, et proposent des formules empiriques donnant la capacité d'ancrage des éléments précités.

### Summary

The authors describe scale model tests carried out for evaluating the anchorage capacity of various elements, such as plates, gratings and rings, buried in beach sand. They give empirical formulae for calculating this anchorage capacity.

### Introduction

Les éléments rigides horizontaux, tels que plaques, grilles ou anneaux, sont relativement peu utilisés comme ancrages, et il faut l'avouer, moins qu'ils ne le méritent.

Pour les plaques, la capacité d'ancrage dépend de la valeur du frottement entre la terre et la surface de la plaque; pour les grilles ou anneaux, cette capacité dépend de la valeur du frottement interne du sol. Elle dépend également dans une certaine mesure de la valeur de la butée de la terre contre les arêtes des éléments orientées vers la force de traction.

Cette communication donne la description et les résultats d'essais sur modèle réduit des éléments cités, effectués par les auteurs à l'Institut des Recherches Hydrauliques de l'Académie Polonaise des Sciences à Gdansk.

### Description des dispositifs expérimentaux

La Fig. 1 donne la coupe schématique transversale du dispositif d'essais.

On a adopté un appareillage plus précis que celui utilisé dans des essais antérieurs [1], en particulier un vérin à vis muni d'un anneau dynamométrique.

Au milieu de l'une des arêtes de chaque élément, on a soudé

un tirant d'acier de 8 mm de diamètre, et au milieu du côté opposé un fil d'acier de 2 mm. Tirant et fil sortent de la caisse d'essais. Le tirant est lié au vérin à vis, et le fil au comparateur à cadran servant à mesurer les déplacements des éléments. Pour éviter que le frottement contre le sable ne vienne perturber les résultats, le tirant et le fil traversant deux tubes en laiton de 18 mm et 5 mm de diamètres respectifs. Pour ne pas troubler la marche du phénomène, le tube protégeant le tirant ne touchait pas l'élément étudié, dont il était écarté de 10 cm. Pour chaque essai, le sol était étalé en couches de 10 cm, et compacté par 100 passages d'un rouleau de 63 kg sur un panneau de fibre de bois.

### Sols employés au cours de l'essai

Tous les essais ont été effectués avec du sable de plage provenant du Golfe de Gdansk, Sopot, séché artificiellement avant d'être monté dans la caisse. Sa granulométrie est donnée par la Fig. 2. Le poids volumétrique était en moyenne de 1,7 t/m<sup>3</sup>, l'angle de frottement interne de 34°, et le coefficient de frottement contre l'acier était en moyenne de 0,53.

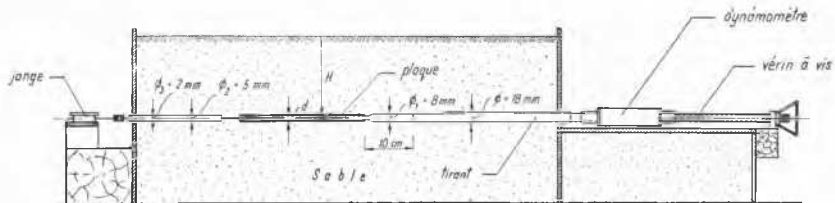


Fig. 1 Coupe du dispositif d'essai.

Cross-section of the arrangement.

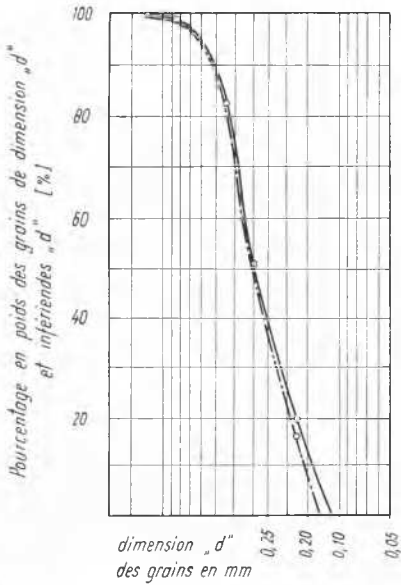


Fig. 2 Granulométrie du sable utilisé.  
Grain size characteristics of sand used in the tests.

### Description des essais

Trois groupes d'essais ont été réalisés avec les éléments suivants :

- I. plaques horizontales, carrées ou rectangulaires ;
- II. grilles horizontales avec des dispositions diverses des barres ;
- III. anneaux horizontaux.

Chaque groupe comprenait plusieurs séries d'essais (en nombre cité par la suite), chaque essai étant répété plusieurs fois dans des conditions identiques. Les résultats numériques obtenus ont été corrigés selon la théorie des erreurs. Au cours de chaque essai on a déterminé la valeur :

1. De la force horizontale agissant sur l'élément et du déplacement correspondant ;
2. De la force limite provoquant le glissement de l'élément dans le terrain, son mouvement se maintenant sans accroissement de la force.

### Groupe I

Des essais ont été réalisés avec des plaques en acier de quatre dimensions différentes, soit :  $30 \times 30$  cm,  $30 \times 15$  cm,  $30 \times 7,5$  cm et  $30 \times 1$  cm. L'épaisseur ( $d$ ) de chaque plaque était de 0,4 cm, et leurs surfaces étaient lisses.

Douze séries d'essais au total ont été effectuées, trois séries pour chaque plaque, en employant respectivement pour chacune d'elles une couverture de terre d'épaisseur  $H = 10$ , 20 et 30 cm. Chaque série comprenait trois essais. Les résultats numériques obtenus au cours des essais sont reportés sur le tableau 1. La Fig. 3 représente les diagrammes (moyens)

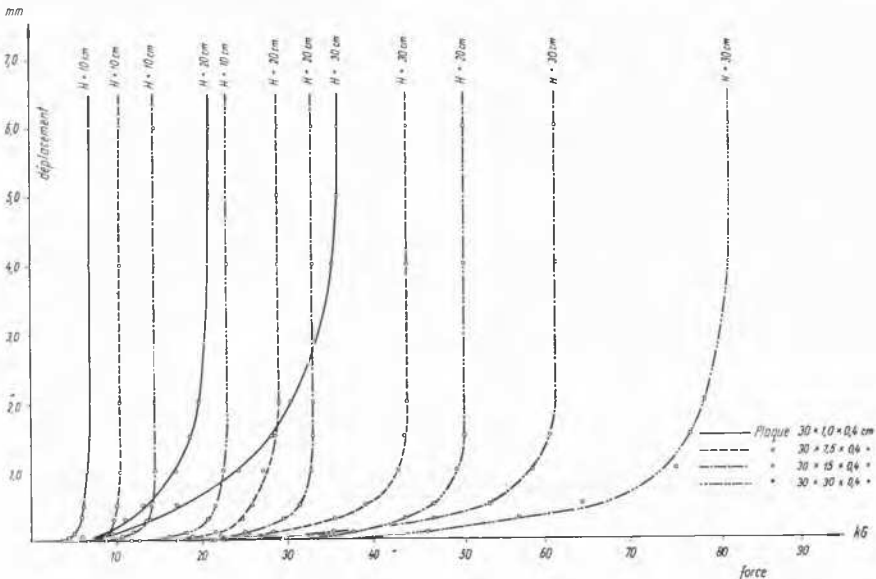


Fig. 3 Diagrammes montrant la relation entre la force horizontale et le déplacement de la plaque.  
Curves showing relationship between the horizontal force and displacement of test plate.

Tableau 1

Plaque	Force limite moyenne en kg		
	H = 10,0 cm	H = 20,0 cm	H = 30,0 cm
30 × 30 × 0,4 cm	22,5	50,7	81,8
30 × 15 × 0,4 cm	14,5	32,8	61,5
30 × 7,5 × 0,4 cm	10,5	29,0	43,8
30 × 1,0 × 0,4 cm	7,2	20,9	35,6

pour chaque série d'essais) illustrant le rapport entre la grandeur de la force horizontale de traction et le déplacement de la plaque. En plus des essais précités, une série d'essais a été réalisée dans un dispositif muni d'une paroi en verre, le sable étant réparti en couches marquées de sable coloré. Ces derniers essais ont permis l'observation de la marche du phénomène étudié en section verticale. Il a été constaté que le prisme de terre reposant sur la plaque se déplaçait avec celle-ci; ce mouvement est cependant limité, car la masse du sol devant la plaque constitue un obstacle. Ce prisme de terre est donc sujet à des déformations, à savoir, compactage, refolement du sol devant la plaque et affaissement du sol à l'arrière (Fig. 4).

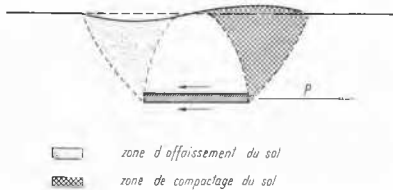


Fig. 4 Zones d'affaissement et de compactage et refolement du sol au voisinage de la plaque horizontale.

Zones of drawdown and compression and displacement of soil near a horizontal plate.

Mais, il n'y a pas que ce prisme de terre qui exerce une pression (au fur et à mesure du déplacement de la plaque) sur les masses se trouvant devant lui; il y a aussi l'arête frontale de la plaque qui presse ce sol en y causant une butée pareille à celle que l'on observe dans le cas de petites plaques verticales [2]. Ce phénomène est accompagné dans sa phase finale de la formation d'un coin de refolement en forme d'entonnoir qui, à la surface du sol, forme un gonflement elliptique. La largeur  $2B$  de ce gonflement, mesurée perpendiculairement à la direction de la force était dans la plupart des essais, environ  $2B = b + H$ , où  $b$  est la largeur de la plaque, et  $H$  l'épaisseur de la couverture de terre. Néanmoins, le glissement de la plaque qui correspond à la force limite, se produit généralement beaucoup plus tôt, et avant que n'apparaisse le coin de refolement.

### Groupe II

Trois types de grilles carrées en acier, aux dimensions de 30 × 30 cm et à système de barres représentés par la Fig. 5, ont été utilisés au cours des essais : chaque grille a été soumise à trois séries d'essais pour des couvertures de terre, de hauteur respective :  $H = 10, 20$  et 30 cm.

Le tableau 2 donne les résultats numériques obtenus au cours des essais. Les diagrammes, qui illustrent le déplacement de la grille en fonction de la force horizontale, sont analogues à ceux de la Fig. 3, mais ils sont plus raides dans

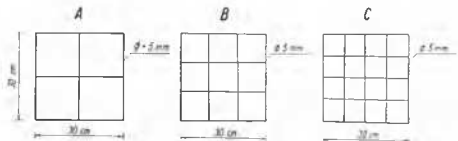
Fig. 5 Types de grilles (treillis).  
Types of gratings.

Tableau 2

Type de grille 30 × 30 × 0,5 cm	Force limite (kg) pour l'épaisseur de la couche superposée H cm		
	10	20	30
A	210,4	40,94	64,60
B	222,8	45,64	67,70
C	231,2	46,16	67,70

leur partie initiale. Compte tenu du volume limité du présent rapport, ils ne sont pas représentés ici.

### Groupe III

Deux séries d'essais ont été réalisées avec deux types d'anneaux rigides circulaires : anneaux en acier rond de 6 mm de diamètre, et anneaux en acier plat de 16 mm de largeur sur 3 mm d'épaisseur. Les deux séries d'essais ont été effectuées avec une couverture de terre de  $H = 30$  cm.

Le tableau 3 donne les résultats numériques obtenus au cours des essais.

Tableau 3

type	Anneau		Surface de l'anneau cm <sup>2</sup>	Force limite moyenne (kg) pour l'épaisseur de couche superposée 30 cm
	forme	diamètre en cm		
Rigide en acier rond ∅ 6 mm	circulaire	30	710	31,6
Rigide en acier plat 6 × 3 mm	circulaire	30	710	39,0

### Conclusions

1. En général, les plaques horizontales, ont une capacité d'ancrage inférieure (environ à 50 pour cent dans les conditions des essais), à celle des plaques verticales de la même grandeur, lorsque l'épaisseur de la couche de terre au-dessus de la plaque horizontale est égale à la profondeur à laquelle est fichée l'arête inférieure de la plaque verticale.

2. La capacité d'ancrage d'une grille horizontale est quelque peu inférieure à la capacité d'ancrage d'une plaque de même grandeur. La différence atteint environ 20 pour cent et augmente au fur et à mesure que l'élément est enfoncé plus profondément. La disposition des barres de la grille a une influence moindre sur la capacité d'ancrage et les différences dues à cette disposition sont de 5 à 10 pour cent.

3. La capacité d'ancrage des anneaux circulaires n'est pas grande; elle atteint en moyenne les 50 pour cent de la capacité d'ancrage des plaques carrées de même surface.

4. Le problème de l'influence de la distance entre les ancrages sur leur capacité d'ancrage n'a pas été soumis à des études directes. Cependant l'observation du contour du coin de refoulement se produisant à la surface du sol au-dessus des plaques horizontales, indique qu'une distance, entre arêtes des deux éléments voisins, égale à la profondeur à laquelle les éléments sont enfouis au-dessus de la surface du terrain, protège contre l'influence réciproque exercée par des éléments voisins. Dans ce cas, les éléments peuvent être considérés comme isolés.

5. La capacité d'ancrage d'éléments rigides horizontaux enfouis dans un sable sec de compacité moyenne, de poids volumétriques  $\gamma \sim 1,7 \text{ t/m}^3$  et de  $\varphi \sim 34^\circ$ , peut être calculée dans des conditions analogues à celles des essais (c'est-à-dire pour  $0,01 \leq d/H \leq 0,04$ ;  $1 \leq \frac{b}{L} \leq 4$ ;  $\frac{H}{b} < 5$ ), par les

formules : pour  $H/b \leq 1$

$$P_L = 0,043d(b + H)H + (\omega AH\gamma + G_p) \operatorname{tg} \psi$$

pour  $H/b > 1$

$$P_L = 0,25 \cdot \zeta \cdot d H^2 + (\omega AH\gamma + G_p) \cdot \operatorname{tg} \psi$$

Dans les formules :

- $P_L$  est la force limite en kg;
- $d$  l'épaisseur de l'élément en cm;
- $H$  la hauteur de la couche de sable recouvrant l'élément en cm;
- $A$  la surface de la projection horizontale de l'élément, mesurée jusqu'au contour extérieur en  $\text{cm}^2$ ;
- $\gamma$  le poids volumétrique du sol en  $\text{kg/cm}^3$ ;
- $G_p$  le poids de l'élément en kg;
- $\psi$  l'angle généralisé de frottement, égal à l'angle  $\delta$  de frottement «terre sur plaque» (pour les plaques) ou bien égal à l'angle  $\varphi$  de frottement interne du sol (pour les grilles et anneaux);

$b$  la largeur de l'élément, mesurée perpendiculairement au sens de l'action de la force  $P$  (ou le diamètre de l'anneau);

$\omega$  le coefficient empirique ( $\omega = 2$  pour les plaques,  $\omega = 1$  pour les grilles,  $\omega = 0,65$  pour les anneaux) ;

$\zeta$  le coefficient empirique calculé de la formule :

$$\zeta = 0,001 \cdot \frac{4,63}{\frac{H}{b} + 0,25} + 0,66$$

Les formules précitées sont tirées de l'étude [4].

6. Toutes les conclusions précédentes se rapportent uniquement aux sols dont les caractéristiques sont analogues à celles du sol étudié. Les formules ainsi que les coefficients empiriques dépendent également de la nature et de la compacité du sol. Il faut donc recommander d'en user avec réserve en vérifiant sur le chantier leur applicabilité dans des conditions différentes.

## Remerciements

Les auteurs remercient M. l'Ing. Szaraniec de son aimable concours à l'exécution des essais.

## Références

- [1] HUECKEL, S. (1957). Model tests on anchoring capacity of vertical and inclined plates. *Proc. of the 1Vth Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London.
- [2] — (1958). Capacité d'ancrage des plaques verticales ou inclinées enterrées dans le sol, étudiée au cours d'essais sur modèle réduit (en polonais). *Archiwum Hydrotechniki*, Varsovie, Vol. V, cah. 3.
- [3] KWAŚNIEWSKI, J. (1958). Procédés d'essais sur modèles réduits des systèmes d'ancrage (en polonais). *Archiwum Hydrotechniki*, Varsovie, Vol. V, cah. 2.
- [4] HUECKEL, S. (1960). Capacité d'ancrage des éléments rigides horizontaux enfoncés dans le sable. *Archiwum Hydrotechniki*, Varsovie, Vol. VII, cah. 3.