

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.

Mesure des déformations d'un pieu soumis à des pressions horizontales au moyen d'un procédé optique

Measurement of the Deformations of a Pile Subject to Horizontal Pressure by Means of an Optical Method

A. VAN MILAAN, *Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. Delft, Pays-Bas*

E. LOUSBERG, *Ingénieur à l'Institut Géotechnique de l'Etat, Gand et Assistant à l'Université de Louvain, Belgique*

SOMMAIRE

Le calcul des pressions horizontales exercées par le sol sur un pieu n'est pas encore entièrement mis au point. La connaissance précise de la déformation d'un pieu sous des efforts horizontaux peut aider à résoudre ce problème. Le Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. de Delft (Pays-Bas) a mis au point un procédé optique permettant de mesurer avec grande précision l'écart d'un point par rapport à une droite définie par deux autres points, qui fut appliqué pour la première fois à la mesure de la déformation de pieux d'essai au droit du complexe de sidérurgie maritime Sidmar à Sint-Kruis-Winkel. Une gaine en plastique de 6,5 cm de diamètre est placée dans le pieu, au fond de laquelle on place une source lumineuse ponctuelle tandis qu'une lunette est placée à la tête du pieu. Le rayon lumineux définit une droite par rapport à laquelle on peut mesurer la déformation du pieu en utilisant le principe des franges d'interférence, obtenues par une plaque zonée placée perpendiculairement aux rayons lumineux. L'article décrit la méthode utilisée, l'application au cas d'un pieu et les lectures effectuées.

SUMMARY

An equation for the solution of horizontal soil pressure exerted on a pile has not been fully developed. The actual deformation of a pile due to horizontal pressures would help to solve this problem. The Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. (Delft, Netherlands) has developed an optical method of precise measurements which was first applied to the deformation of research piles situated in an area of the Sidmar steel works at Sint-Kruis-Winkel. A plastic tube, 6.5 cm in diameter, was inserted in the pile. At the lower end of the tube a point light source was placed, with an eye-piece at the top. The light ray defines a straight line; a zone plate is inserted in the path of the light ray and the interference pattern makes it possible to measure the deformation of the pile. This paper describes the method used for measuring deformation and its application to the solution of pile problems.

LA MÉTHODE D'ALIGNEMENT OPTIQUE

L'APPAREILLAGE DÉCRIT CI-APRÈS réalise les deux objectifs suivants: 1) placer une point sur un alignement déterminé par deux autres points; 2) déterminer l'écart d'un point par rapport à la droite de référence définie par deux autres points; objectifs qui ne peuvent être acquis avec grande précision au moyen d'appareils usuels tels le théodolite ou le niveau. La précision de ces appareils est notamment limitée par la réfraction de la lumière au travers de lentilles, si parfaites soient-elles: la présente méthode ne fait pas usage de lentilles.

Le principe utilisé est fort ancien et est démontré par l'expérience de Young: deux fentes étroites et parallèles éclairées par une source lumineuse monochromatique, donnent naissance à une frange lumineuse flanquée de deux franges obscures, celles-ci à nouveau flanquées de franges lumineuses, etc. . . . , parallèles entre elles. La frange centrale la plus lumineuse se trouve exactement dans le plan smn défini par la source s et la droite m équidistante des fentes f_1 et f_2 (fig. 1).

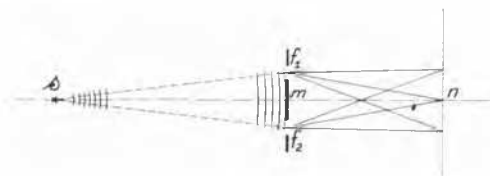


FIG. 1. Expérience de Young.

Le Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. de Delft (Pays-Bas) a adapté cette expérience en ce sens qu'il a remplacé les deux fentes parallèles par une fente circulaire. Le spectre d'interférence comprend un certain nombre de cercles concentriques alternativement lumineux et obscurs dont le centre est constitué par un point lumineux situé exactement sur la droite définie par la source lumineuse primaire et le centre de la fente circulaire. Si on fait usage d'une source ordinaire, le spectre d'interférence reste identique mais est composé de franges non plus claires et obscures mais teintées des différentes couleurs du spectre.

Au moyen d'une loupe ordinaire, il est possible d'observer le spectre d'interférence en chaque point de la droite définie par la source lumineuse et le centre de la fente. Si en plus on place perpendiculairement à cette droite une plaque de verre sur laquelle est reproduit un repère constitué de cercles concentriques noirs, on peut, avec grande précision, faire coïncider un des cercles du repère avec une des franges circulaires du spectre d'interférence (fig. 2).

La grande précision que l'on peut obtenir est due à la faculté qu'à l'œil humain d'être sensible aux phénomènes de symétrie. Sans difficulté on peut atteindre une précision d'une seconde d'arc c-à-d de 0,1 mm sur une distance de 20 m. Une telle précision ne peut être obtenue que parce que le procédé ne nécessite pas l'interposition de lentilles, ni de mises au point de l'image mais uniquement la mise en position symétrique de cercles-repères par rapport au spectre d'interférence.

L'appareillage pratique consiste essentiellement en: 1)

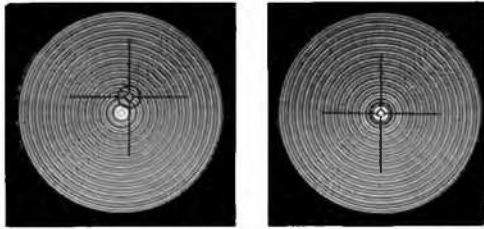


FIG. 2. Superposition du repère et du spectre d'interférence.

et d'autre part une loupe et un œilleton permettant l'observation simultanée du repère et du spectre d'interférence (fig. 3c).

LA DIGUE D'ESSAI DE SINT-KRUIS-WINKEL

En vue de la construction d'un complexe sidérurgique le long du canal de Gent à Terneuzen à Sint-Kruis-Winkel lez Zelzate (Belgique), le maître de l'œuvre Sidmar a fait ériger un remblai d'une hauteur totale de 16 m retenu par un rideau de palplanches. Au pied de ce rideau, 4 pieux forés repérés à la fig. 4 ont été placés dans le sol.

LE PRINCIPE DE LA MESURE DU DÉPLACEMENT DES TÊTES DE PIEUX

La fig. 4 montre le dispositif permettant de mesurer les déformations de la tête d'un pieu. Deux alignements sont nécessaires à savoir BAP et B'A'P, P représentant le pieu, A, A', B et B' étant quatre points de station constitués par des petits pieux en béton placés dans le sol à une distance suffisante du remblai pour ne plus être influencés par le tassement provoqué par celui-ci. La source lumineuse est placée sur le pieu P, la lunette en B ou B', la plaque zonée est montée sur un statif placé en A ou A'. Celui-ci est muni de deux micromètres placés perpendiculairement entre eux dans un plan vertical et dont le réglage permet de conserver les alignements BAP et B'A'P lorsque la tête du pieu se déplace et de mesurer ces déplacements.

Le déplacement vertical δ_v de la tête du pieu (fig. 3) se déduit comme suit lorsque l'on connaît le déplacement $\delta_{A,V}$ à imposer au micromètre placé en A :

$$\delta_v = \delta_{A,V} \frac{l_{BA} + l_{AP}}{l_{BA}} \quad (1)$$

l_{BA} et l_{AP} étant les distances entre les axes des statifs B, A et P.

Un seul alignement BAP ou B'A'P suffit (fig. 4) pour calculer le déplacement vertical d'une tête de pieu. Etant donné que l'on dispose de deux alignements, on utilisera une lecture comme contrôle de l'autre.

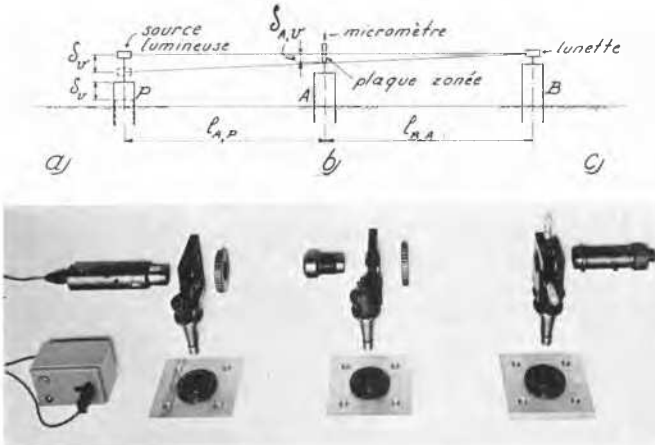


FIG. 3. Appareillage de la méthode d'alignement optique.

Une source lumineuse constituée d'un support d'une lampe de projection dont le filament projette la lumière à travers un trou circulaire dont le diamètre varie entre 0,2 et 1 mm (fig. 3a). Ce trou joue le rôle d'une source lumineuse ponctuelle. 2) Une plaque zonée qui est une plaque métallique dans laquelle sont découpées un certain nombre de fentes circulaires concentriques (fig. 3b). La présence de plusieurs fentes augmente la luminosité du spectre d'interférence sans en diminuer la netteté. 3) Une lunette comprenant d'une part un repère constitué d'une plaque de verre sur laquelle sont reproduits des cercles concentriques (fig. 2)

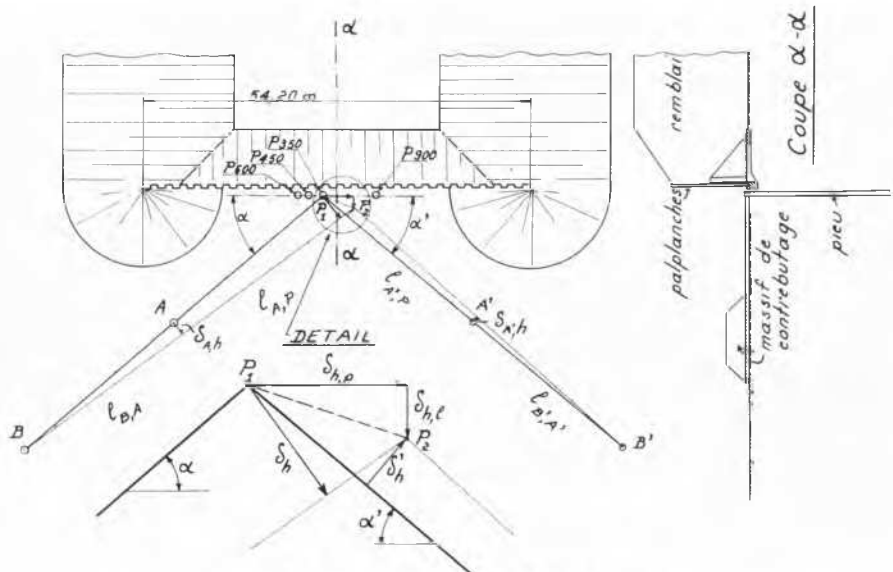


FIG. 4. Plan de situation de l'aire d'essai.

Le déplacement horizontal de la tête du pieu P se décompose en un déplacement $\delta_{h,l}$ perpendiculaire aux palplanches et un déplacement $\delta_{h,p}$ parallèle aux palplanches. Ces déplacements s'expriment en fonction des déplacements mesurés δ_h et δ'_h respectivement perpendiculaires aux alignements BAP et B'A'P (fig. 4) par :

$$\delta_{h,p} = (\delta_h \cos \alpha' + \delta'_h \cos \alpha) / \sin(\alpha + \alpha') \quad (2)$$

$$\delta_{h,l} = (\delta_h \sin \alpha' - \delta'_h \sin \alpha) / \sin(\alpha + \alpha') \quad (3)$$

α et α' étant les angles que font les alignements avec l'axe du rideau de palplanches.

Les déplacements δ_h et δ'_h à introduire dans les formules 2 et 3 se déduisent des lectures $\delta_{A,h}$ et $\delta_{A',h}$ faites aux micromètres horizontaux situés en A et A' (fig. 4) :

$$\delta_h = \delta_{A,h} \frac{l_{BA} + l_{AP}}{l_{BA}} \quad (4)$$

et
$$\delta'_h = \delta_{A',h} \frac{l_{B'A'} + l_{A'P}}{l_{B'A'}} \quad (5)$$

Les valeurs de α , α' , l_{BA} , $l_{B'A'}$, l_{AP} et $l_{A'P}$ sont mesurées une fois pour toutes.

LE PRINCIPE DE LA MESURE DE LA DÉFORMATION DE L'AXE VERTICAL D'UN PIEU

Pour mesurer la déformation d'un pieu sous l'influence de charges horizontales, on place dans celui-ci une gaine g en plastique d'une longueur égale à celle du pieu et d'un diamètre de 6,5 cm, placée au centre des pieux en béton ou collée contre la paroi intérieure du pieu en acier. On descend dans la gaine au fond du pieu la source lumineuse qui, centrée, matérialise un point de l'axe du tube (fig. 5a). La lunette est placée à la tête du pieu et peut balayer toute la section de la gaine; son déplacement est mesuré au moyen de deux micromètres perpendiculaires entre eux (fig. 5a).

A la profondeur où l'on désire connaître la déformation du pieu, on descend la plaque zonée montée sur un statif (fig. 6), guidé au moyen de roulettes prenant dans une rainure ménagée dans la gaine. La plaque zonée peut être déplacée par rapport au centre de son statif: la position du centre de la plaque est définie par rapport au centre de son statif par l'angle β et la distance d (fig. 5a).

En donnant à la plaque zonée une position adéquate (β et d) et en déplaçant les micromètres de la lunette de telle façon que l'alignement L (œilleton de la lunette) P (centre de la plaque zonée) S (source lumineuse) soit réalisé (fig. 5b) les déformations δ_1 et δ_p , composantes respectivement

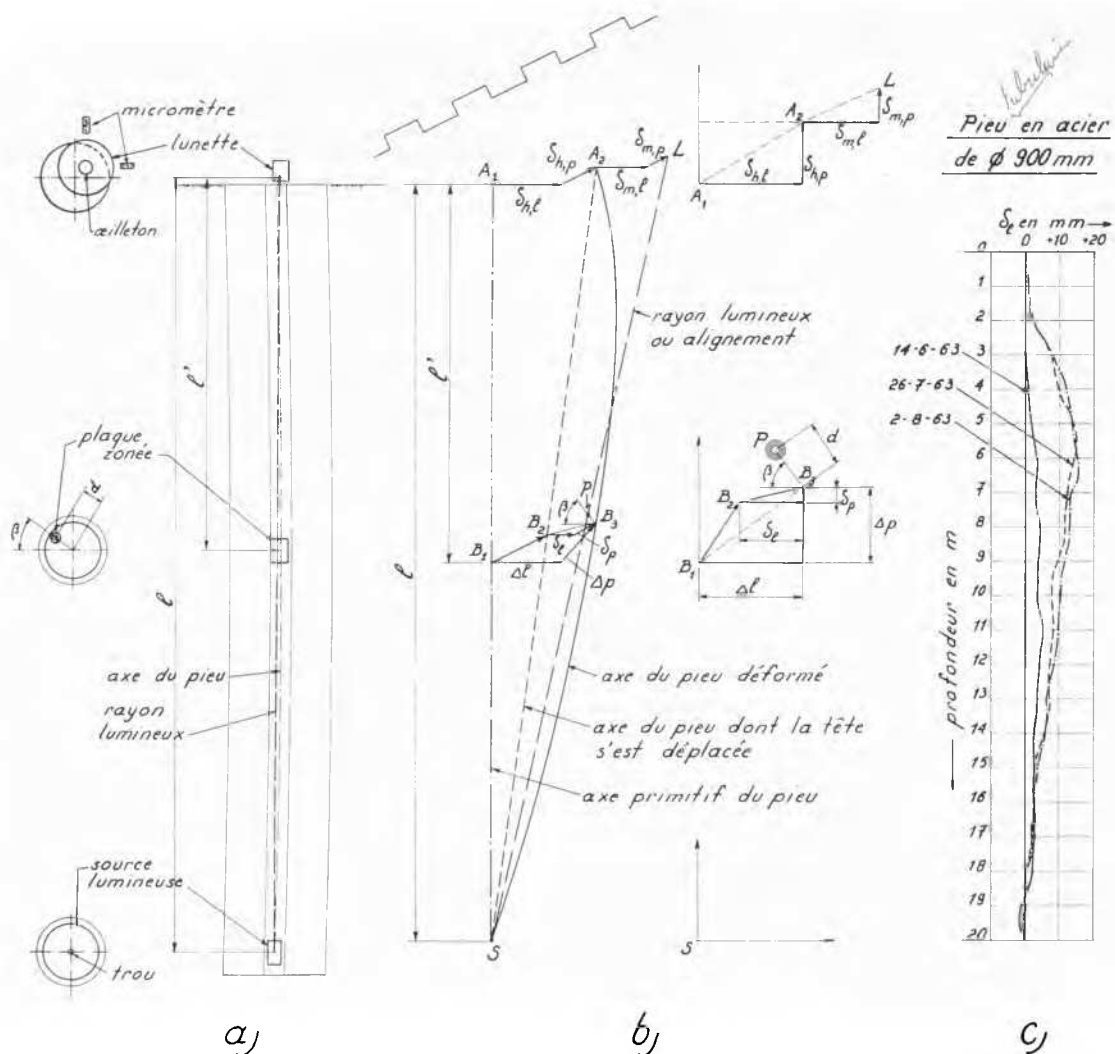


FIG. 5. Déformation de l'axe vertical d'un pieu.



FIG. 6. Plaque zonée.

perpendiculaire et parallèle au rideau de palplanches de la déformation B_2B_3 de l'axe du pieu, sont obtenues comme suit:

par une projection sur un plan vertical perpendiculaire aux palplanches:

$$\delta_1 = \delta_{m,1}(1 - l'/l) + d \cos \beta, \quad (6)$$

par une projection sur un plan vertical parallèle aux palplanches:

$$\delta_p = \delta_{m,p}(1 - l'/l) - d \sin \beta, \quad (7)$$

avec l' = profondeur à laquelle on effectue la mesure, l = profondeur de la source lumineuse, d et β = positions de la plaque zonée par rapport au centre de son statif, $\delta_{m,1}$ et $\delta_{m,p}$ = lectures faites aux micromètres de la lunette.

Les déplacements absolus Δ_1 et Δ_p d'un point de l'axe du pieu perpendiculairement et parallèlement au rideau de palplanches s'obtient en ajoutant aux déformations δ_1 et δ_p le déplacement de l'axe de référence à la profondeur désirée (fig. 5b), soit:

$$\Delta_1 = \delta_1 + \delta_{h,1}(1 - l'/l), \quad (8)$$

$$\Delta_p = \delta_p + \delta_{h,p}(1 - l'/l). \quad (9)$$

RÉSULTATS AU DROIT DE LA DIGUE D'ESSAI

La digue d'essai placée derrière le rideau de palplanches a été mise en place entre le 19 mai et le 29 juillet 1963. La fig. 7c montre en fonction du temps l'augmentation des pressions dans le sol. Le déplacement vertical de la tête du pieu en béton de 45 cm δ_v est donné à la fig. 7b, et les déplacements horizontaux de la tête du pieu $\delta_{h,1}$ et $\delta_{h,p}$ respectivement perpendiculaire et parallèle aux palplanches sont données à la fig. 7c en fonction du temps. A la fig. 5c on a reproduit à diverses dates les déformations du pieu de 90 cm par rapport à l'axe de référence.

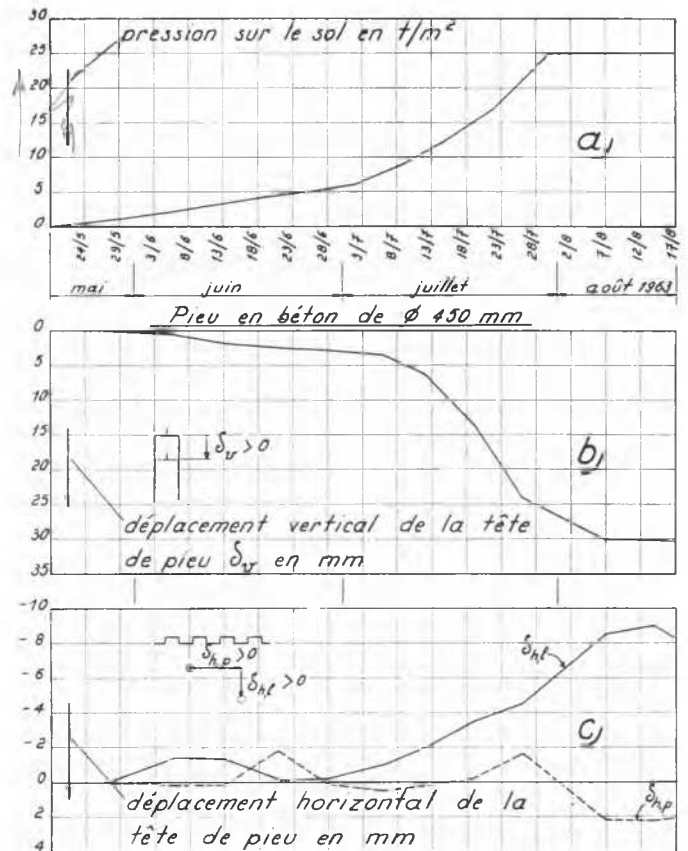


FIG. 7. Résultats au droit de la digue d'essai.

CONCLUSIONS

Le procédé optique est une méthode élégante pour mesurer avec précision la déformation d'un pieu. Néanmoins la mise au point en est délicate et demande un soin particulier. Diverses difficultés ont dû être surmontées notamment dues à la forme hélicoïdale de la rainure, aux joints des gaines et à la déformation des gaines dans les pieux en béton.

REMERCIEMENTS

Cette publication a été autorisée par le maître de l'œuvre Sidmar et l'ingénieur-conseil Traction et Electricité. La mise au point a été faite par le Technisch Physische Dienst de Delft tandis que les mesures furent exécutées par l'Institut Géotechnique de l'Etat sous la responsabilité du Professeur E. De Beer.

RÉFÉRENCES

- VAN HEEL, A. C. S. (1961). Modern alignment devices, in *Progress in optics*, Vol. 1, chap. 8. Amsterdam, North Holland Publishing Co.
- LIEM, S. H. (1961). Optische precisiemetingen op civiel en werktuigkundig gebied in de praktijk. *De Ingenieur*, Jaargang 73, No. 8.
- VAN MILAAN, A. (1964). Bijzondere optische metingen in de praktijk. *TNO-Nieuws* (Delft), Jaargang 19.