

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 82 (1964)
Heft: 7

Artikel: Die Aluminium-Hütte der Schweizerischen Aluminium AG in Steg (Wallis): les fondations des constructions; Tassements calculés et tassements observés
Autor: Bonnard, D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-67443>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Die Aluminium-Hütte der Schweizerischen Aluminium AG in Steg (Wallis)

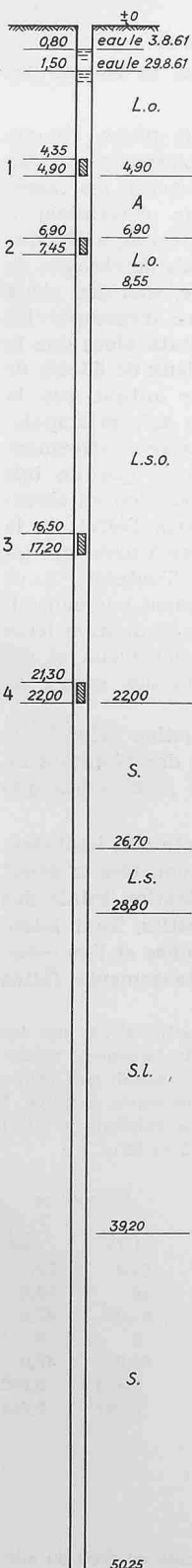
DK 669.713

Fortsetzung von S. 94

Les fondations des constructions; Tassements calculés et tassements observés ¹⁾

Par D. Bonnard, Professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne, ingénieur-conseil, associé du bureau Bonnard et Gardel

I. Nature des sols et type de fondation adopté



Toutes les installations de Steg sont édifiées sur des sols de mauvaise qualité, composés superficiellement d'argile limoneuse reposant elle-même sur des couches plus ou moins importantes de sable et de petit gravier alternant en profondeur avec des limons fins et des argiles gorgées d'eau; aucune couche bien caractérisée, de densité apparente élevée, ne pouvait servir d'appui stable à des fondations profondes. D'emblée, il apparut donc que toute construction serait affectée par des tassements non négligeables, qu'il s'agisse de fondations superficielles sur dalles ou radier, ou de fondations profondes sur pieux flottants. Les figures 1 à 7, choisies parmi l'abondante documentation fournie par les études exécutées par le Laboratoire de Géotechnique de l'Ecole polytechnique de Lausanne, donnent quelques chiffres caractérisant les sols découverts lors des campagnes de sondages. Il s'agit des résultats du sondage exécuté à l'emplacement du silo, au centre de la région couverte par les constructions; les nombreux sondages faits au droit des autres bâtiments révèlent la présence de sols identiques; seules les épaisseurs et la situation en élévation des diverses couches variaient d'un emplacement à l'autre.

A l'époque des études préliminaires, en ce qui concerne l'élément principal, la halle des fours, on avait estimé que si cette halle était fondée sur radier général, elle serait affectée de tassements inégalement répartis, pouvant atteindre 8 à 10 cm, alors que si l'on choisissait la solution par pieux, l'ordre de grandeur des affaissements estimés à l'époque se réduisait notablement.

L'hétérogénéité des sols rendait aléatoire l'estimation préalable de l'ordre de grandeur de l'inégalité des tassements d'un point à l'autre d'une même construction dans le cas d'une fondation sur radier constitué d'éléments séparés par des joints et répartissant de façon égale les charges sur les couches superficielles. Par contre, le choix d'une fondation sur

Fig. 1. Coupe du sondage exécuté au centre du silo, échelle 1:250. On distingue l'alternance des couches de limons et de sable. Les échantillons 1 à 4 ont été soumis à des essais de laboratoire; leurs propriétés sont données aux figures 2 à 7. Abréviations: S sable, s sableux, L limon, l limoneux, A argile, a argileux, o avec matières organiques.

pieux pour les bâtiments les plus lourds permettait, par les observations et mesures faites pendant l'exécution des pieux eux-mêmes, de déterminer de cas en cas la longueur de ceux-ci, de façon à pouvoir atténuer sensiblement les inégalités des tassements.

Ces considérations, ainsi que d'autres de moindre importance, telles que l'influence des variations de niveau de la nappe souterraine et la nécessité de ménager la possibilité de construire de nombreuses canalisations et caniveaux, ont en définitive conduit le maître de l'œuvre et ses conseillers à choisir d'une façon générale des pieux flottants pour les fondations des constructions les plus importantes de l'usine de Steg. Ces pieux, comportant un bulbe inférieur, sont de longueurs diverses adaptées en chaque point à la nature et stratification des sols.

Ce n'est que dans les cas de constructions ou de parties de constructions légères ou peu sensibles aux tassements que l'on put conserver localement des fondations sur semelles ou radier prenant appui à faible profondeur.

II. Nature des tassements prévus à l'époque de l'établissement des projets

Qu'il s'agisse de fondations les plus importantes sur pieux, ou de celles reportant aux sols des surcharges par dalles ou radier, les tassements à prévoir et inévitables étaient de ceux, ordinairement désignés par «tassement par consolidation», correspondant à une diminution lente de la teneur en eau de sols fins et à une augmentation de la densité apparente de ceux-ci sous l'effet des surcharges. Ces tassements devaient s'étendre dans le temps au-delà de l'achèvement des constructions, dans une mesure dépendant du degré de perméabilité du sous-sol et de la rapidité d'édification des ouvrages.

A ces tassements lents par consolidation vinrent s'ajouter, dans le cas des fondations sur pieux flottants, les légers affaissements résultant des faibles enfoncements des pieux indispensables, en début de surcharge, pour mobiliser, le long de leur fût, les forces de frottement; ce phénomène correspond en outre à une prise d'assise de la base du pieu.

Dans les cas où les pieux flottants sont distants les uns des autres de plus de trois à quatre fois leur diamètre, l'effet de groupe est peu apparent et le faible tassement nécessaire à la mobilisation des frottements représente une fraction importante du tassement total comprenant les phénomènes de consolidation; nous verrons que ce fut le cas notamment des fondations de la halle des fours.

Au contraire, si l'importance des charges à reporter aux sols exige un grand nombre de pieux très rapprochés les uns des autres, distants de deux et demi à trois fois leur diamètre, ou moins, l'effet de groupe est prépondérant, et aux tassements correspondant à la mobilisation des frottements le long des pieux s'ajoutent les affaissements par consolidation, beaucoup plus important, dus en grande partie au supplément de charge supporté par les couches profondes situées en contrebas de l'extrémité des pieux. Nous verrons que tel fut bien le cas pour le silo.

¹⁾ Pour la disposition des diverses constructions en plan et la description des superstructures nos lecteurs sont priés de se reporter à l'article de MM. M. H. Wipf et R. Oehler: «Die neue Aluminium-Hütte der Schweizerischen Aluminium AG in Steg (Wallis)» ainsi qu'à l'exposé de M. O. Flühmann, ingénieur chez Fietz & Leuthold: «Der Unterbau der Ofenhalle».

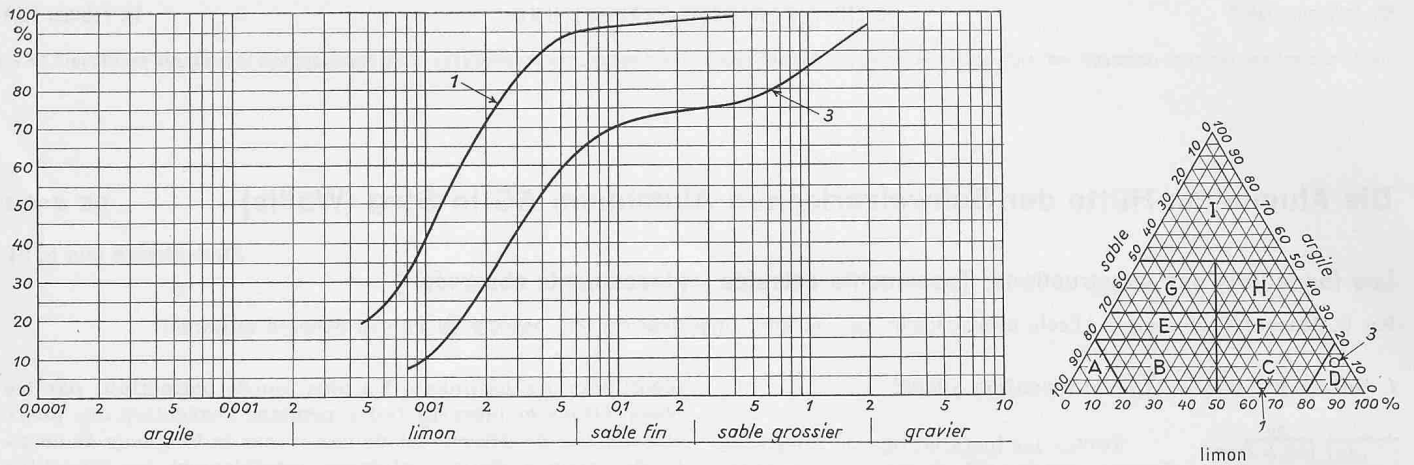


Fig. 2. Limite d'Atterberg, classification et courbes granulométriques des échantillons 1 et 3 prélevés dans le sondage exécuté au droit du silo.

Valeurs caractéristiques	Echantillon	
	1	3
Limite de liquidité	27,2	29,4
Limite de plasticité	23,2	25,1
Indice de plasticité	4,0	4,3
Classification USCS	ML	ML
Classification PRA	A4	A4
Degré d'uniformité $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	10	4,5
Courbure $\frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$	2,50	0,89

Certains des tassements survenus à Steg sont dus en outre à des surcharges constituées par les remblais de quelques mètres d'épaisseur qu'il a fallu disposer sur le terrain naturel pour créer, au droit des constructions et à l'intérieur de celles-ci, des aires de stationnement et de travail à niveau convenable. Les terres ainsi rapportées, s'étendant sur de très grandes surfaces, ont provoqué dans certains cas des tassements importants quoique la surcharge correspondante exprimée en t/m² soit restée faible, ce supplément de surcharge s'étant en effet fait sentir jusqu'aux couches compressibles situées à une grande profondeur.

Les considérations qui précèdent laissent prévoir, pour certains bâtiments de Steg, de fortes inégalités de tassements, une partie des éléments de ces constructions devant obligatoirement reposer sur pieux, alors que d'autres pouvaient, par raison d'économie et sans inconvénients, reporter leurs charges directement par dalles ou radier sur des sols superficiels naturels ou sur des sols rapportés.

Précisons enfin que, selon les dispositions prises, il ne devait apparaître à Steg aucun tassement dû à une surcharge exagérée de dalles ou pieux conduisant à une rupture du sol, à un refoulement latéral de celui-ci, phénomène connu sous le nom de « poinçonnement ». Les constatations faites ont bien apporté la preuve de l'absence de tels tassements.

III. Tassements prévus et tassements observés

A. Halle des fours

La halle des fours, aussi bien en ce qui concerne la charpente de la construction que les éléments lourds situés

à son intérieur, est entièrement fondée sur pieux, chaque pieu portant une charge de 70 t environ. L'espacement des pieux ne laissait pas prévoir, en ce qui concerne les tassements, un effet de groupe marqué. Pour déterminer à l'avance la longueur à donner aux pieux, on effectua, à l'époque des études et au début des travaux, des essais de charges de pieux du genre de ceux admis en définitive, soit des pieux Zeissl. Les figures 8 et 9 donnent à titre d'exemple les résultats essentiels d'un tel essai. L'on constata alors que la charge de 70 t pouvait être prise par des pieux de 55 cm de diamètre munis d'un bulbe inférieur, pour autant que la charge transmise au sol par ce dernier le soit principalement au sein des couches de sable et de gravier relativement plus résistantes. Les essais laissent prévoir que de tels pieux, dont la longueur variait selon la disposition en élévation des couches de sable, accuseraient, sous l'effet de la charge de service de 70 t, un tassement propre à mobiliser les effets de frottement de l'ordre de 1 cm. Toutefois, à ce premier tassement devait s'ajouter un tassement par consolidation du même ordre de grandeur, dû à la diminution lente de la teneur en eau des sols au voisinage des pieux et qui n'était pas apparu de façon complète lors des essais de pieux de durée relativement courte²⁾.

Les nivellements exécutés sur la construction achevée, le long de ses façades nord et sud, ont donné des résultats du genre de ceux de la figure 10, où ne sont mentionnés que quelques-uns des nombreux points nivelés.

Dans l'état actuel des choses, on constate que les tassements totaux sont compris entre 1,2 et 2,2 cm. Dès le début de 1963, soit environ six mois après l'application totale des charges, les mouvements deviennent très petits. Tout laisse donc supposer que la halle des fours se stabilise et l'on constate que, dans ce cas, les prévisions de tassements faites

²⁾ Les conditions imposées à l'Entreprise stipulaient que les pieux seraient considérés comme satisfaisants si le tassement restait inférieur à 10 mm pour une charge de 75 t et ne dépassait pas 40 mm sous une charge de 150 t. Les pieux d'essais représentés aux fig. 8 et 9 ne satisfont pas à ces exigences; d'une façon générale il fallut recourir à des pieux plus longs, compris entre 12 et 22 m.

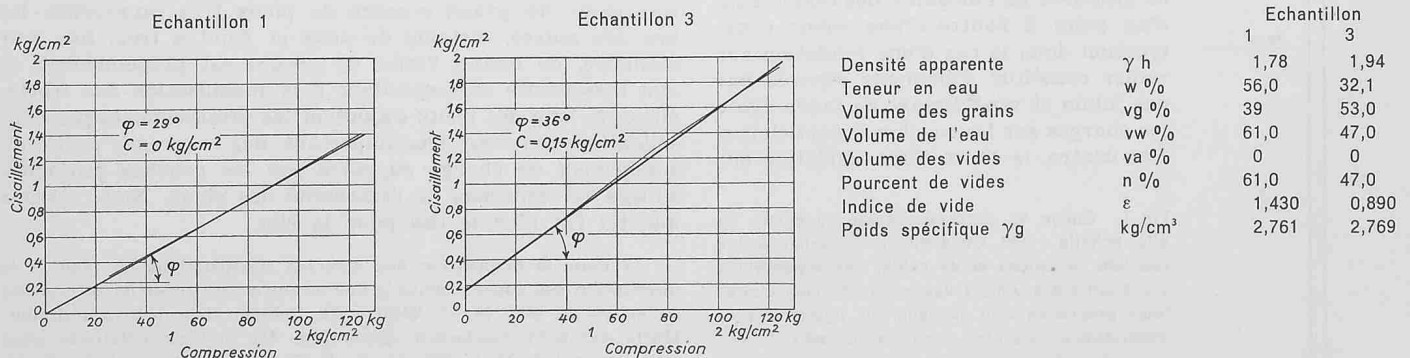


Fig. 3 et 4. Cohésion, angle de frottement interne et teneur en eau des échantillons N°s 1 et 3 prélevés dans le sondage exécuté au droit du silo.

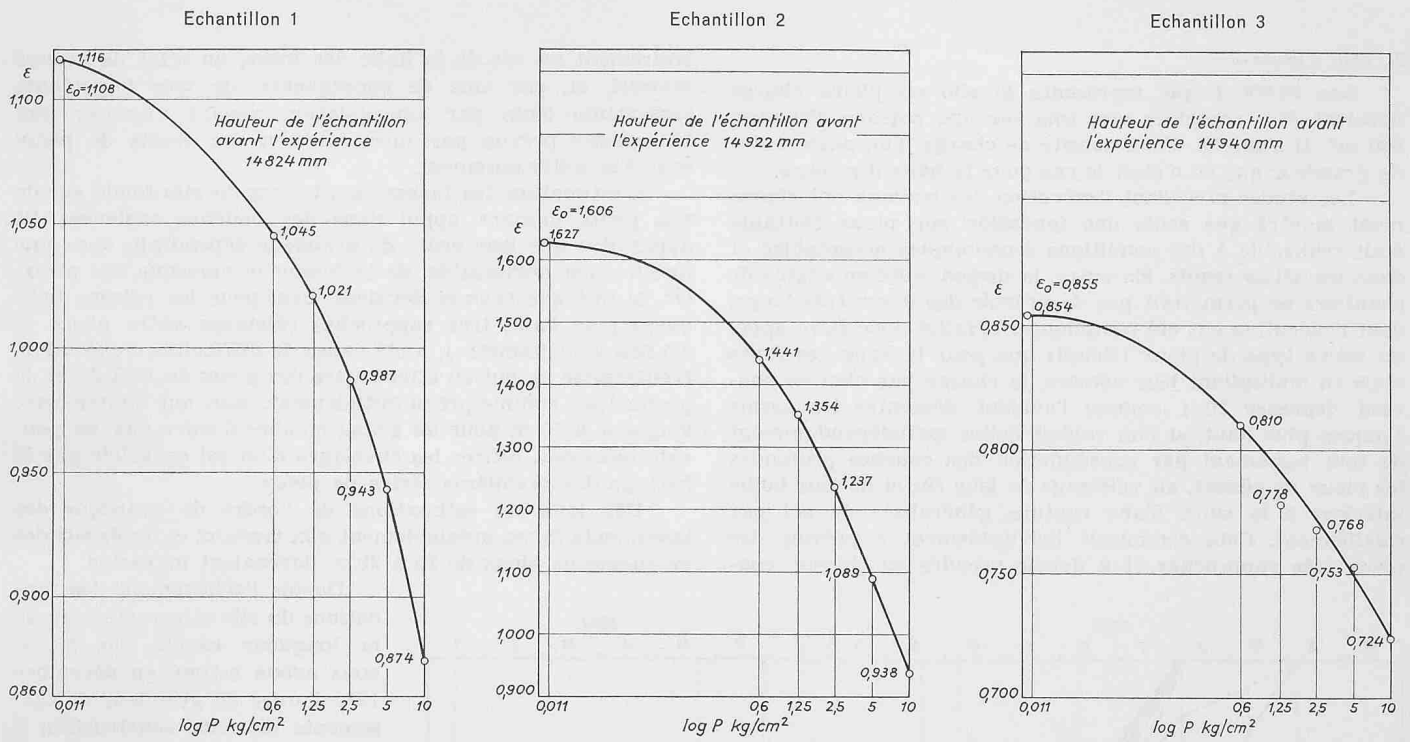


Fig. 5, 6 et 7. Compressibilité (diagramme œdométrique) des échantillons 1, 2 et 3 prélevés dans le sondage exécuté au droit du silo. Ce sont ces diagrammes ainsi que de nombreux autres du même type qui permirent d'estimer à l'avance l'ordre de grandeur des tassements des constructions de Steg.

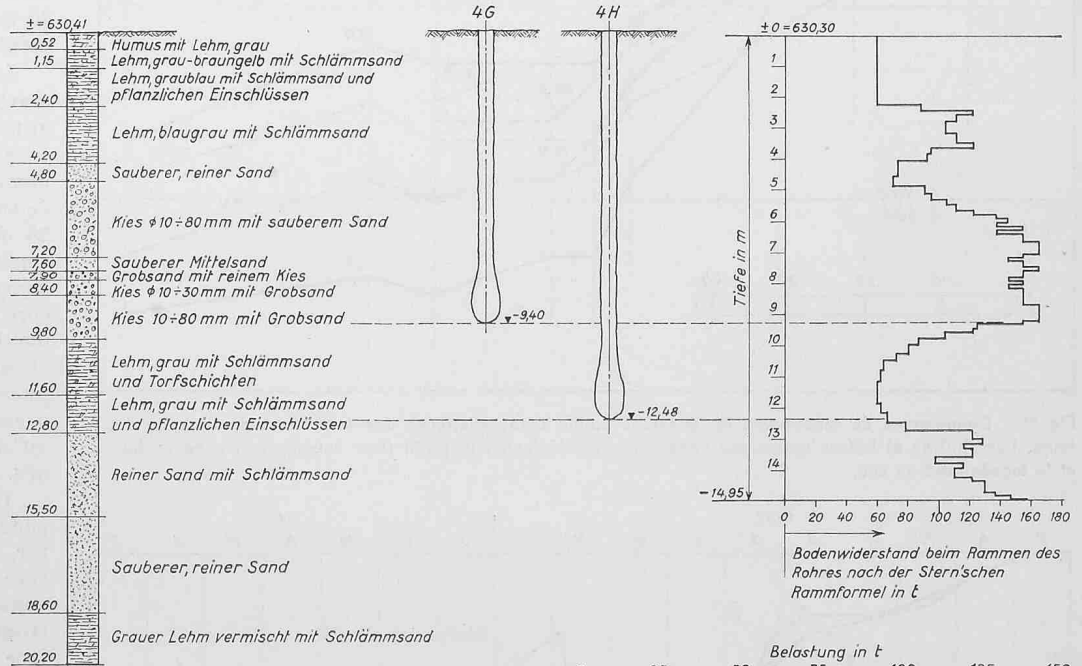


Fig. 8. Pieux d'essais exécutés dans la région ouest de la halle des fours. A gauche: profil géotechnique du sol dans cette région. Au centre: profil des pieux 4 G et 4 H soumis aux essais de charge. A droite: diagramme obtenu dans la même région lors du battage d'un cuvelage. (Document Losinger & Co S. A.)

sur la base d'essais de pieux interprétés en tenant compte de légers tassement lents subséquents de consolidation se sont révélées exactes.

Notons encore que dans le cahier des charges de l'entreprise à qui fut confiée la construction des pieux, il avait été stipulé que l'on ne tolérerait pas une inégalité de tassement de plus de 5 mm entre deux pieux d'un même groupe de quatre.

Les nivellements exécutés font apparaître entre la façade nord et la façade sud de la halle des fours une différence de tassement maximale de 25 mm sur une distance d'environ 22,50 m.

Aucune fissure ou désordre n'étant apparu dans la construction, l'on peut en conclure que la condition imposée à l'entreprise dans le cahier des charges est satisfait sans toutefois que la preuve en ait été apportée, aucune mesure permettant la comparaison des tassements de pieux d'un même groupe ayant été effectuée.

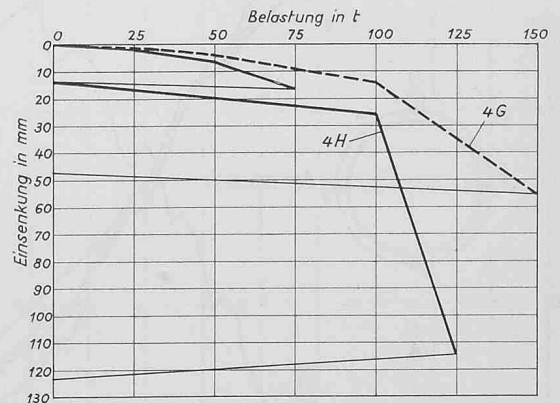


Fig. 9. Enfoncement des pieux d'essais 4G et 4H en fonction de la charge. Pour la charge de service de 70 t, l'enfoncement est d'environ de 1 à 2 cm; les deux pieux ont cédé (poinçonnement) sous une charge de 100 t. Ces essais démontrèrent la nécessité de prévoir des pieux plus larges (12 à 22 m) pour obtenir une sécurité suffisante au poinçonnement. (Document Losinger & Co S. A.)

B. Silo d'alumine

Les 25 000 t que représente le silo en pleine charge devaient être reportées aux sols sur une surface d'environ 800 m². Il s'agit là d'une densité de charge d'un autre ordre de grandeur que ce n'était le cas pour la halle des fours.

Les études précédant l'exécution des travaux ont clairement montré que seule une fondation sur pieux flottants était réalisable à des conditions économiques acceptables et dans les délais requis. En outre, la disponibilité en engins de chantiers ne permettait pas de prévoir des pieux très longs, dont l'exécution eut été compliquée. Il fallut donc faire appel au même type de pieux (Zeissl) que pour la halle des fours mais en multipliant leur nombre, la charge par pieu ne pouvant dépasser 70 t comme l'avaient démontré les essais évoqués plus haut, si l'on voulait éviter qu'indépendamment de tout tassement par consolidation des couches profondes les pieux ne cèdent, au voisinage de leur fût et de leur bulbe inférieur à la suite d'une rupture généralisée du sol par cisaillement. Cela conduisait inévitablement à prévoir des pieux très rapprochés et à devoir prendre en charge, con-

trairement au cas de la halle des fours, un effet de groupe marqué, et, par voie de conséquence, de très importants tassements lents par consolidation venant s'ajouter aux tassements prévus par interprétation des essais de pieux exécutés antérieurement.

L'estimation des tassements totaux du silo fondé sur de tels pieux prenant appui dans des couches sableuses fit apparaître que leur ordre de grandeur dépendrait, dans une mesure non négligeable, de la longueur moyenne des pieux. Or, le fait que ceux-ci devaient être, pour les raisons indiquées plus haut, très rapprochés (distance entre pieux $\leq 2,5$ fois leur diamètre), a été cause de difficultés d'exécution. L'entreprise ne put en effet battre des pieux de 15 à 20 m de profondeur, comme prévu initialement, mais dut limiter cette longueur à 10 m pour un grand nombre d'entre eux, ne pouvant sans cela retirer les cuvelages d'un sol consolidé par le battage des premières séries de pieux.

Dès lors, les estimations de l'ordre de grandeur des tassements faites préalablement aux travaux et basés sur des longueurs de pieux de 15 à 20 m devenaient inexacts.

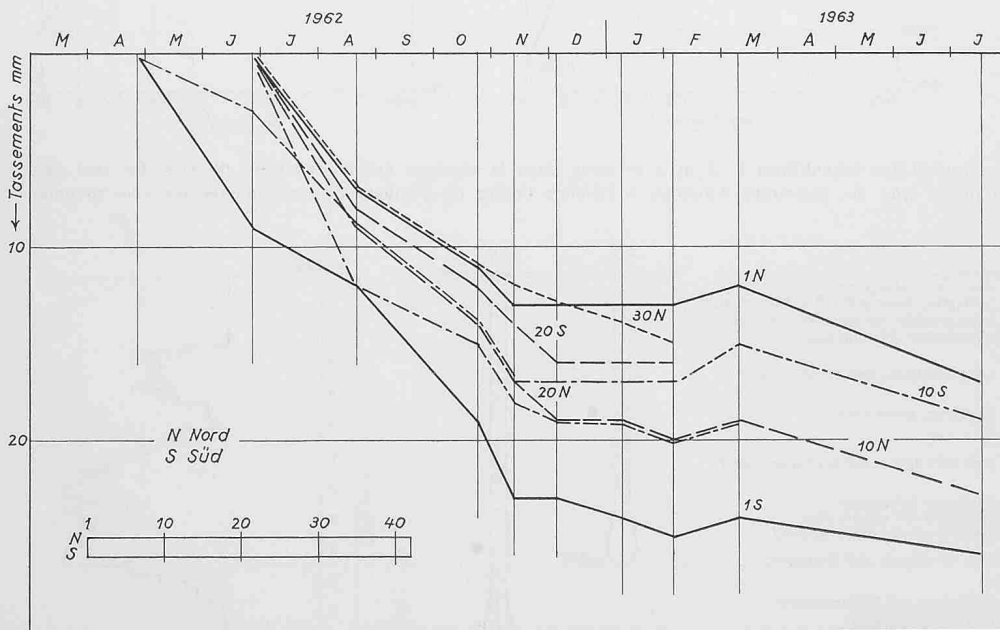


Fig. 10. Diagrammes de tassements de quelques points caractéristiques des fondations de la halle des fours. Les chiffres et lettres portés sur chaque courbe désignent le profil (voir schéma à gauche en bas) et la façade nord ou sud.

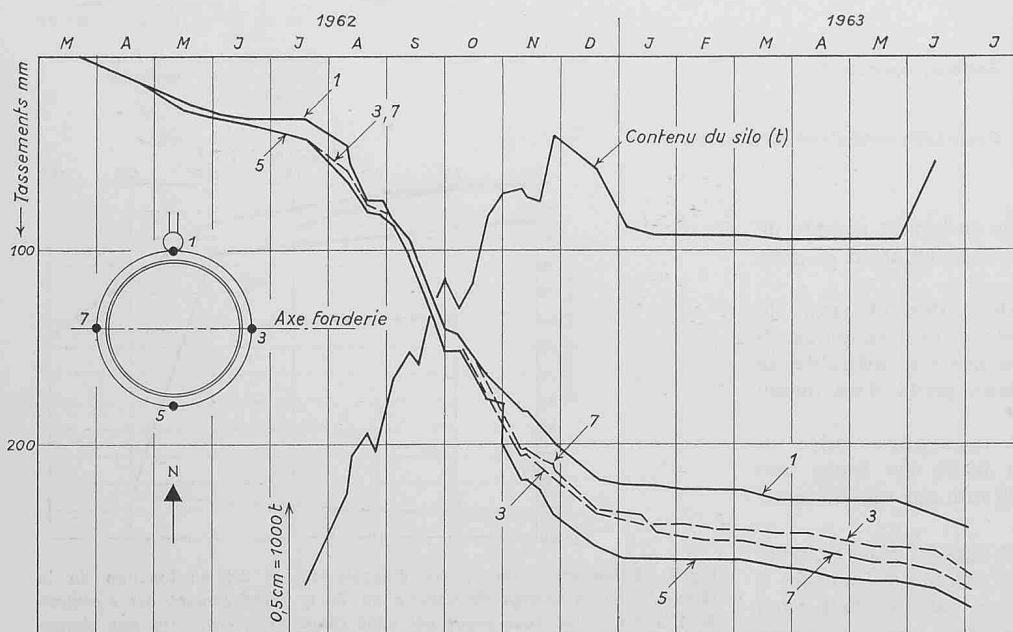


Fig. 11. Diagrammes de tassements des points nivelés sur les fondations du silo, en fonction du temps et de la surcharge (contenu du silo).

Depuis l'achèvement des fondations du silo et compte tenu de la longueur exacte des pieux, nous avons estimé en décembre 1962 l'ordre de grandeur de tassements de cette construction à 30 cm environ, étant entendu qu'il s'agissait là du chiffre déduit des essais de compressibilité du sol en laboratoire, diminué de 30 %, comme on le fait généralement dans de telles applications.

Les nivellements exécutés dès mars 1962, et encore en cours aujourd'hui, font apparaître à ce jour pour le silo de Stég un tassement moyen des différents points de sa fondation de l'ordre de 24 à 25 cm (voir figure 11). Il faut cependant remarquer que la surcharge totale de 15 000 t n'a encore jamais été appliquée, le maximum atteint étant 13 000 t, et que durant les six premiers mois de 1963 le silo n'a contenu presque de façon permanente qu'une dizaine de milliers de tonnes.

Dans ces conditions, nous pensons que lors des périodes à venir, durant lesquelles le silo sera entièrement plein, de nouveaux affaissements apparaîtront, comme semble le démontrer du reste l'allure des courbes de tassement dans la période de juin-juillet 1963. Il paraît donc très probable qu'en définitive, d'ici quelques mois ou quelques années, le silo aura tassé en tout cas de 30 cm confirmant ainsi les prévisions faites à l'époque des études préliminaires et lors de l'exécution des travaux.

Remarquons enfin que le tassement des fondations du silo est à peu de chose près égal sur tout son pourtour, les inégalités atteignant en deux points diamétralement opposés 4 cm au maximum, ce qui correspond à une inclinaison de la construction pratiquement négligeable et ne comportant aucun inconvénient. Il n'est pas exclu du

reste que cette dissymétrie soit due à des surcharges secondaires provenant des constructions voisines.

IV. Conclusions générales

Les études détaillées des sols de fondation des installations de Steg, études qui ont comporté de nombreux sondages, des essais sur échantillons en laboratoire, ainsi que des essais préliminaires de charge de pieux, ont permis de connaître, avant les travaux et de manière très complète, la nature des sols et la façon dont ceux-ci réagiraient sous l'effet des surcharges, quel que soit le mode de fondation adopté.

Ces études avaient entre autres montré, avant les travaux, que, quel que soit le mode de fondation choisi, l'on devait s'attendre à des tassements et qu'en particulier l'adoption de pieux ne permettait pas d'éliminer ceux-ci, étant donné l'importance des surcharges d'une part et le fait que la nature des sols conduisait à l'adoption de pieux flottants munis d'un bulbe d'autre part, pieux qui ne reposeraient en aucun cas, à leur base, sur des couches incompressibles.

Les études géotechniques avaient en outre laissé prévoir que les tassements s'étendraient sur plusieurs mois à partir de la mise en charge des sols, ceux-ci étant dans l'ensemble fins et à perméabilité moyenne. L'ordre de grandeur des tassements put être estimé sur la base d'essais de compressibilité exécutés sur échantillons en laboratoire.

Le problème du danger présenté par des tassements inégaux de diverses parties d'un même ouvrage avait motivé, lors des premières études, le choix d'une fondation sur pieux pour les constructions les plus chargées. Il en est résulté, pendant la phase d'exécution, la possibilité d'adapter la longueur des pieux à la nature des sols découverts en chaque point, en se basant principalement sur les diagrammes de battage des cuvelages. Cette manière de faire, connue des

entreprises spécialisées, fournit une documentation sûre à condition toutefois que l'interprétation soit préalablement vérifiée par quelques essais de charge de pieux, ce qui a été fait dans le cas des installations de Steg. En outre, en ce qui concerne la capacité portante des pieux comportant un bulbe inférieur, le volume de ce dernier et la façon dont il est constitué jouent un rôle déterminant. Les conclusions des nombreuses études préliminaires mentionnées ci-dessus n'auraient pu conduire à un résultat satisfaisant si par ailleurs, lors de l'exécution des pieux, il n'avait pas été procédé à un contrôle constant du volume de béton constituant le bulbe.

Toute la documentation fournie aujourd'hui par les importantes opérations de nivellements exécutées sur les constructions de Steg confirme les prévisions formulées à l'époque de l'établissement du projet, ainsi que le bien-fondé des dispositions prises ultérieurement au vu des premières expériences faites lors du début des travaux.

Au terme de cet article concernant la stabilité des constructions de Steg, nous nous plaisons à constater que l'importance que le maître de l'œuvre et ses mandataires ont su donner aux études préliminaires des sols, à la surveillance et à la direction des travaux, a permis d'éviter toute surprise, malgré des délais très courts, et de choisir des types de fondations parfaitement adaptés à la nature des sols.

Le fait que le maître de l'œuvre ait pris soin d'exécuter, durant une longue période, des nivellements détaillés des constructions a permis de tirer les conclusions formulées au présent mémoire. Ces conclusions, jointes à celles qui pourront, cas échéant, encore être tirées ces prochains mois, fournissent une base très sûre pour l'établissement des projets de nouvelles constructions à Steg et, dans une certaine mesure, pour d'autres usines à construire ailleurs.

Adresse de l'auteur: 10, Avenue de la gare, Lausanne.

Der Unterbau der Ofenhalle

Von O. Flühmann, dipl. Ing. ETH, in Firma Fietz & Leuthold AG, Zürich

Im Mai des Jahres 1961 konnten die Bauarbeiten für den Unterbau der 23 m breiten und 513 m langen Ofenhalle auf dem Fabrikgelände in Angriff genommen werden. Die Bauleitung setzte sich als Ziel, anfangs Januar 1962, also schon 8 Monate nach Arbeitsbeginn, mit der Montage der Ofen in der neu erstellten Halle beginnen zu können. Das zu erreichen war bei der Grösse des Bauobjektes und beim heutigen Mangel an qualifizierten Arbeitskräften keine leichte Aufgabe. In der vorgeschriebenen Zeitspanne mussten von

einer mit 75 cm Kiessand aufzufüllenden Arbeitsplattform aus ungefähr 11 km Beton-Pfähle mit 50 cm Durchmesser in den Boden gerammt, der Unterbau aus Eisenbeton erstellt und darüber die Stahlkonstruktion errichtet werden. Dieses forcierte Bauprogramm und die grosse Zahl gleicher Betonelemente drängten von Anfang an eine Vorfabrikation des Unterbaues auf. Mit der üblichen Methode des Betonierens in Schalungen an Ort und Stelle waren diese knappen Termine nicht mehr einzuhalten.

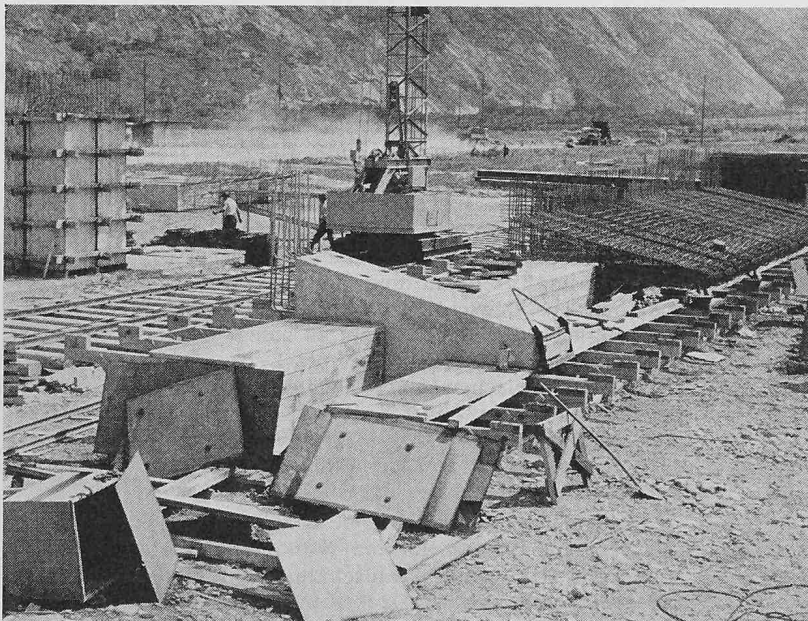


Bild 1. Betoniertisch zur Herstellung der Kathodenstützen

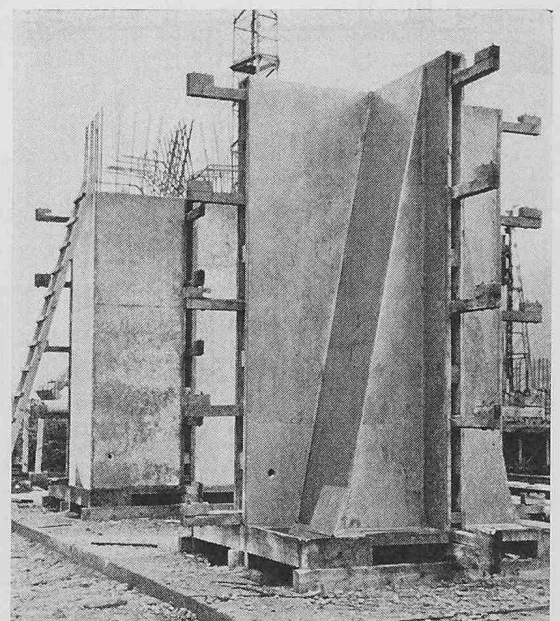


Bild 2. Schalelement für Wandstützen