

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 87 (1961)
Heft: 5

Artikel: Pieux forés et écrans en piles sécantes suivant le procédé Benoto
Autor: Bucher, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65019>

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: 04.05.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique
de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole
polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrin, arch.; E. Martin, arch.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;
M. Renaud, ing.; Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: D. Bonnard, ing.

Membres: M. Bridel; J. Favre, arch.; R. Neeser, ing.; A. Robert, ing.;

J. P. Stucky, ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

RÉDACTION

Vacat

Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »

Tirés à part, renseignements

Avenue de Cour 27, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 28.—	Etranger	Fr. 32.—
Sociétaires	»	» 23.—	»	» 28.—
Prix du numéro	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,
N° II 57 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,
Lausanne

ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 290.—
1/2 »	» 150.—
1/4 »	» 75.—
1/8 »	» 37.50

Adresse: Annonces Suisses S. A.

Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales



SOMMAIRE

Pieux forés et écrans en piles sécantes suivant le procédé Benoto, par Hans Bucher, ingénieur en chef de l'entreprise
AG. Heinr. Hatt-Haller, à Zurich.

Actualité industrielle (14). — Divers. — Bibliographie. — Les congrès.

Société vaudoise des ingénieurs et des architectes. — Société suisse des ingénieurs et des architectes.

Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Nouveautés, informations diverses.

PIEUX FORÉS ET ÉCRANS EN PILES SÉCANTES SUIVANT LE PROCÉDÉ BENOTO ¹

par HANS BUCHER, ingénieur en chef de l'entreprise AG. Heinr. Hatt-Haller, à Zurich

I. Le procédé Benoto

Que signifie la désignation « Benoto » ?

La Société française de construction de Bennes automatiques à Paris, nommée Société Benoto, construit entre autres du matériel de fondation et s'est occupée de son développement et perfectionnement depuis des années. Après la deuxième guerre mondiale, lors de la reconstruction des quais sud du port du Havre, qui avaient subi les plus importantes destructions sur une longueur d'environ 1500 m, la Société Benoto s'occupa très activement des problèmes difficiles de fondation, en collaboration avec de grandes entreprises françaises. Les anciens murs des quais, profondément ébranlés sous l'effet des bombardements, s'étaient effondrés et écroulés sur le fond du bassin. Le projet de reconstruction prévoyait une fondation par puits allant jusqu'à 30 m sous l'eau, traversant des couches de sable, d'argile, de galets calcaires, etc., pour s'appuyer finalement sur un rocher demi-dur (Kimmeridgien). Plus de 20 km de piles d'un diamètre de 1,0 à 1,5 m furent construites, supportant chacune une charge de 350 à 800 tonnes. Ce fut sur

ce chantier qu'on utilisa avec succès le matériel Benoto, tout spécialement les « Hammergrabs » pour le forage et les « tubeuses » pour l'enfoncement des tubes de coffrage.

Le « Hammergrab » est un outil dont le principe est celui d'une benne-preneuse. Son poids varie entre 1000 et 3000 kg, suivant le diamètre du puits à forer. Il est construit pour piocher le terrain, creuser et ramasser les déblais à évacuer. Il peut être utilisé pour travailler sans eau dans des terrains secs, dans l'eau dans les terrains aquifères, et sous l'eau dans les rivières et lacs.

Pour faciliter le fonçage des tubes de coffrage, Benoto a construit une machine appelée « tubeuse », permettant, grâce à un mouvement continu de louvoiment, de réduire au minimum la résistance due au frottement du tube et à la poussée des terres sur celui-ci. Au Havre, les treuils manœuvrant le « Hammergrab »

¹ Conférence tenue le 11 novembre 1960 à Soleure, lors de la Réunion d'automne de la Société suisse de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation.

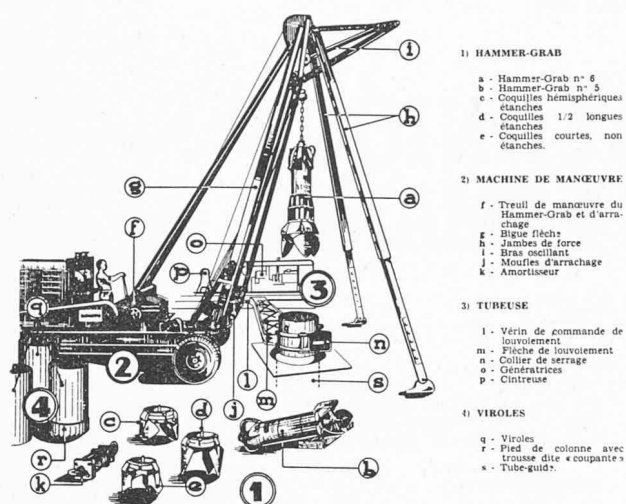


Fig. 1. — Matériel Benoto utilisé au Havre.

et la « tubeuse » étaient encore montés sur des machines indépendantes. Leur déplacement d'un puits à l'autre et leur mise en place exigeaient beaucoup de temps (fig. 1).

Le constructeur fut amené à perfectionner ce matériel. Il associa et synchronisa des moyens mécaniques et hydrauliques. Une nouvelle machine fut ainsi conçue, appelée Type Benoto « EDF 55 » (fig. 2).

Ce nouveau matériel, utilisé aujourd'hui en Suisse et dans le monde entier, permet de réaliser des fondations sur piles d'une façon économique et rapide et d'une capacité portante remarquable. Les temps morts imposés par les travaux de tubage et de détubage, et de déplacement de ce matériel de forage de pile à pile, ont pu être réduits considérablement.

Les avantages que ce nouveau matériel a apportés aux entrepreneurs de fondation sont considérables. Une comparaison entre l'ancienne méthode de travail et la nouvelle le démontrera.

a) *Le procédé classique* (fig. 3) pour l'exécution des pieux forés utilise comme matériel un treuil avec moteur de 5 à 25 CV, un trépied et une soupape de curage et d'épuisement. La soupape travaille pratiquement sous le couteau en créant un espace libre sous le tube et évacue les matériaux pendant que le tube de protection s'enfonce par son propre poids ou par percussion. Pour faciliter l'avancement du tube, celui-ci est souvent muni d'une surcharge. Le tube est pratiquement sans guidage, et le rendement de ces installations dans nos terrains est faible, c'est-à-dire 0,2 à 0,5 m/h. La terre formant chemise du pieu est souvent dérangée par des affouillements continus. Le remplissage du puits par du béton coulé ne peut se faire que par petites charges. Le danger de la rupture de la colonne de béton et son étranglement par la poussée des terres au moment du détubage est considérable. L'expérience a démontré que ce procédé n'est utilisable que pour des pieux s'appuyant sur une couche résistante, rocher ou autre, c'est-à-dire pour pieux résistants à la pointe (Aufstandspfähle). Pour les pieux flottants (Reibungspfähle), la capacité portante est relativement faible.

b) *Le procédé Benoto* pour la confection des pieux forés diffère beaucoup de la méthode classique. Le



Fig. 2. — Machine Benoto « EDF 55 ».

nouveau matériel EDF 55 a éliminé les défauts décrits ci-dessus (fig. 4). Le « Hammergrab » ou « benne-frappeuse » est conçu pour remplacer les tarières et les cloches à clapets et pour accélérer la vitesse de fonçage et réduire les difficultés provenant des rencontres de galets et de couches dures. Le fonçage du tube de protection ou de coffrage est facilité par un mouvement de louvoiment. Des pistons verticaux permettent d'enfoncer et d'arracher les tubes à volonté. La machine dans son ensemble se déplace facilement, malgré son poids de 30 à 50 tonnes. Elle garantit un guidage parfait du tube et l'enfonçage de ce dernier au-delà de 50 m de profondeur. La machine est actionnée par un moteur Diesel de 110 CV. Neuf vérins, alimentés par cinq pompes hydrauliques, permettent des manœuvres rapides et exactes. Le rendement de fonçage est important, c'est-à-dire de 3 à 6 m/heure.

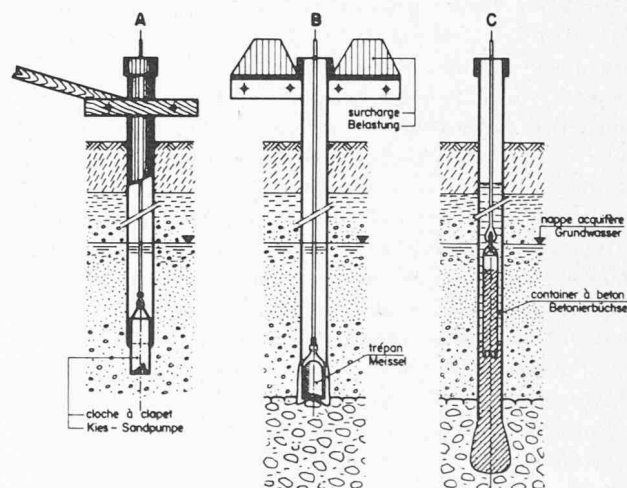


Fig. 3. — Pieux forés suivant le procédé classique.

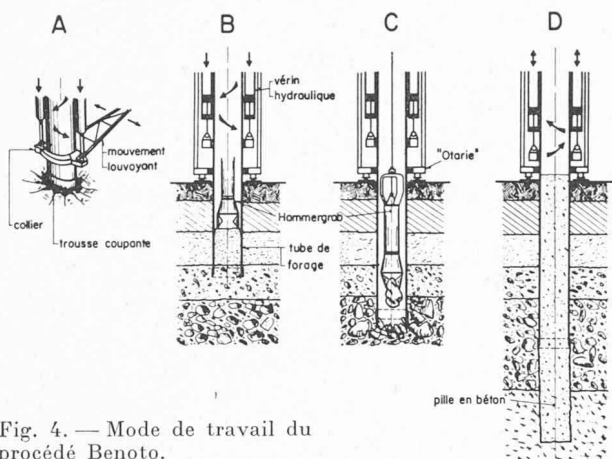


Fig. 4. — Mode de travail du procédé Benoto.

Le dessin (fig. 4) montre comment le tube de coffrage est enfoncé dans le sol. Le mouvement louvoyant est obtenu en communiquant au tube deux impulsions simultanées, le tube est toujours bien libre dans le sol et la trousse coupante située à sa base aide le travail du « Hammergrab » dans les terrains durs et compacts. Dans les terrains meubles ou bouillants, le tube précède le « Hammergrab » de quelques mètres et préserve la stabilité des terrains traversés. Le cas échéant, une surpression d'eau créée à l'intérieur du tube est indiquée, évitant ainsi une remontée du sol (Grundbruch). Le forage s'effectue dans le terrain sans modification de sa structure et de son état d'équilibre, en conservant sa cohésion initiale.

Le collier qui transmet le mouvement louvoyant au tube est serré ou desserré par un vérin hydraulique. Deux vérins verticaux fixés au collier permettent soit d'enfoncer, soit de remonter le tube. Ces deux vérins servent également à la mise en position verticale de la flèche.

Le « Hammergrab » à l'intérieur du tube tombe en chute libre, pénètre le sol, les coquilles accrochent le terrain, se referment, et les déblais sont remontés à la surface.

Lors du bétonnage de la pile, le tube est rempli rapidement. On veillera à ce que la colonne de béton frais atteigne une hauteur maximum, normalement supérieure à 10 m, avant de procéder au détubage. Pendant le remplissage et la remontée du tube, le louvoisement reste en action. En même temps, le tube est manœuvré de haut en bas et de bas en haut, compactant ainsi le béton.

L'expérience a démontré que grâce au mouvement louvoyant, combiné avec une compression verticale, la colonne de béton frais est constamment remalaxée et comprimée, assurant ainsi une forte pression sur le terrain et un béton d'une qualité excellente. Le béton ainsi compacté mécaniquement et sous la haute pression statique, s'introduit dans les anfractuosités des parois du puits et assure une adhésion totale entre pile et terrain. Aucune rupture de la colonne ou étranglement de celle-ci n'est à craindre. Dans la partie supérieure, le béton de la pile est pervibré, car la pression statique seule ne suffit plus pour obtenir un béton compact. Les pieux Benoto ainsi confectionnés bénéficient d'un frottement latéral important, augmentant considérablement la portance des piles.

Dans les cas où la pile doit être confectionnée sous la nappe aquifère, le bétonnage s'effectue par les

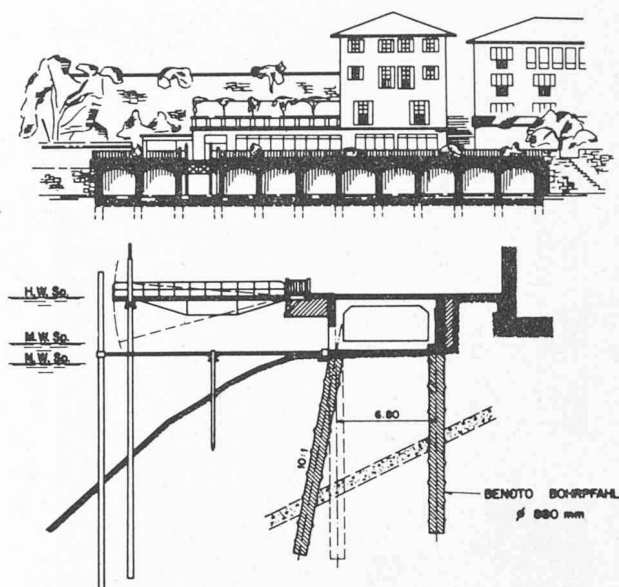


Fig. 5. — Reconstruction du quai effondré de Brissago.

moyens connus, tels que container, tube-plongeur, « Prepakt » ou « Colerète ».

Le nouveau matériel permet d'exécuter des forages inclinés sur la verticale de 10 à 15 %. La figure 5 ci-dessus démontre cette possibilité lors de la construction du quai de Brissago (projet ingénieur H. Eichenberger, Zurich).

II. La capacité portante des pieux forés

Il est nécessaire de distinguer entre
 pieux flottants (Reibungspfähle) et
 pieux résistants à la pointe } (Aufstandspfähle).
 ou pieux-colonnes

Le procédé Benoto permet d'obtenir des piles avec une surface très rugueuse et un angle δ de frottement entre colonne et sol égal à l'angle ϕ du frottement interne du terrain. Ces pieux possèdent, par conséquent, la qualité requise pour fondations par pieux flottants et plus encore pour des pieux-colonnes. Une comparaison de la capacité portante admissible pour les pieux forés suivant la méthode classique et les pieux suivant le procédé Benoto ressort du tableau ci-après (fig. 6).

A. Pieux forés, procédé classique (projet 1957 DIN 4014)		
Piles sans élargissement de la base		
diamètre de la pile cm	en béton coulé t	en béton sous air comprimé t
30	20	25
35	25	35
40	30	45
50	—	60
B. Pieux forés, procédé Benoto		
∅ cm	t	
53	100	
67	200	
88	300	
97	400	

Fig. 6. — Tableau de capacité portante des pieux forés (charges admissibles dans un sol portant)

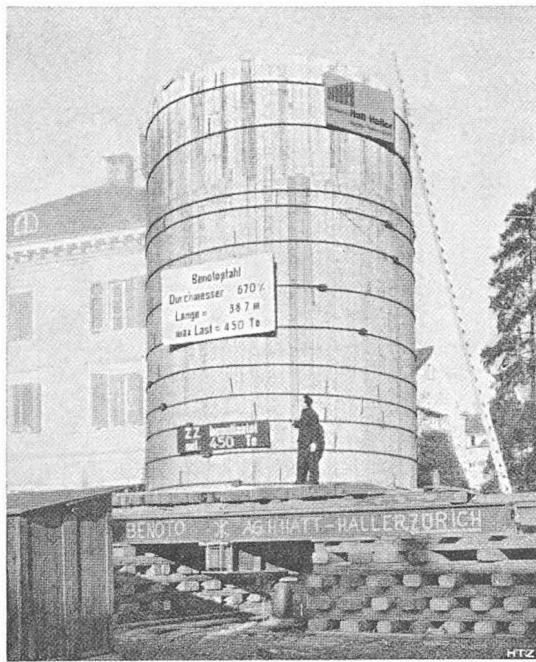


Fig. 7. — Essai de charge 450 tonnes, chantier « Palme ».

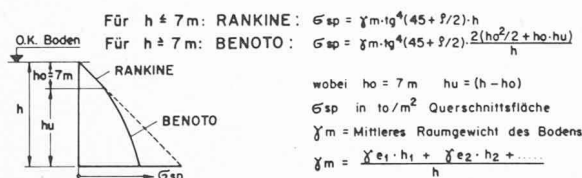
Sur un chantier à Zurich, par exemple, un essai de charge de 450 tonnes a été exécuté sur un pieu Benoto $\varnothing 670$ mm, correspondant à un taux de pression de la colonne de 128 kg/cm². D'après une expertise du professeur Haefeli, 90 % de la charge ont été supportés par la friction latérale et seulement 10 % sont arrivés à la pointe de la pile (fig. 7 et 8).

III. Prévisions et détermination de la capacité portante des pieux Benoto

a) Prévisions pour le devis de fondation

L'ingénieur chargé par le client de la direction des travaux, s'adresse, pour son devis, à l'entreprise spécialisée dans les fondations, en lui remettant normalement des résultats de sondages, un rapport du géologue, et un plan de répartition des charges de la future construction. L'entreprise déterminera approximativement le

A. Contrainte spécifique à la pointe.



B. Frottement spécifique sur le fût.

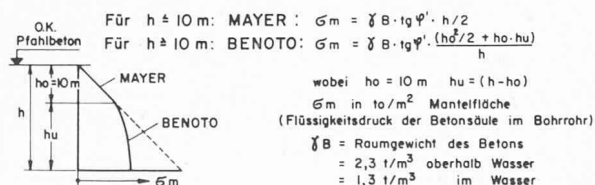


Fig. 9. — Formules statiques pour la capacité portante des pieux forés.

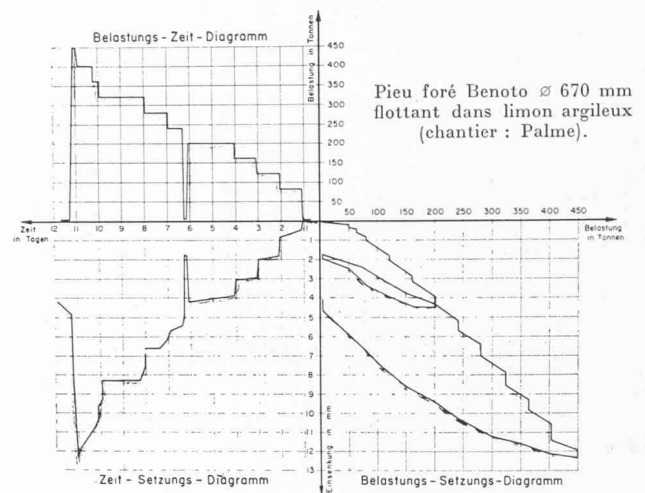


Fig. 8. — Diagrammes de charge et de tassement.

nombre, la longueur et la section des pieux, en se basant sur son expérience et les documents reçus.

Pour les charges admissibles sur les pieux Benoto, on a comparé les résultats des calculs statiques suivant les formules de Caquot-Kérisel, Doerr, Rankine et autres, à ceux des essais de charge en grandeur naturelle; le tableau (fig. 9) représente les formules statiques utilisées pour les pieux Benoto. La résistance à la pointe est déterminée en se rapprochant à la formule de Rankine. Pour le frottement latéral, la formule de Schneider y répond le mieux. En effet, la réaction des terres autour de la pile ne peut être supérieure à la pression hydraulique de la colonne du béton plastique au moment du détubage. Toutefois, cette hauteur admissible doit être limitée à 10 m, tenant compte de la friction entre tube et béton d'une part, et du commencement de la prise du béton d'autre part.

b) Détermination et contrôle de la capacité portante lors de l'exécution des pieux Benoto

Bien que pour le projet les formules statiques permettent une estimation approximative de la capacité portante, il est difficile de s'en servir pour l'exécution des fondations. Nos terrains sont, en général, trop hétérogènes pour qu'on puisse déterminer leurs caractéristiques en temps voulu, tel que l'angle de frottement et

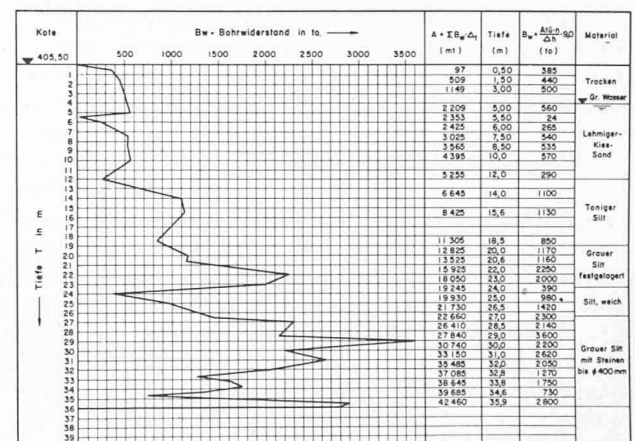


Fig. 10. — Diagramme de forage Benoto, procédé HHH.

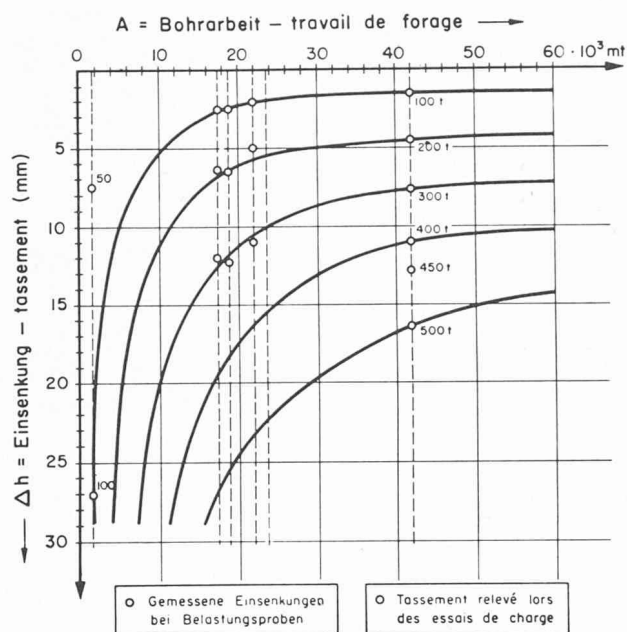


Fig. 11. — Diagramme « Travail de forage ».

le poids spécifique des sols. Ce fut la raison pour laquelle on a donné, jusqu'il y a quelques années, la préférence aux pieux battus ou aux piles moulées dans le sol moyennant un tuyau de coffrage fermé à sa pointe et enfoncé dans la terre par percussion. Pour ce type de pieux battus, on se base généralement sur les formules dynamiques de Stern et d'autres pour déterminer la capacité portante de chaque pieu.

Pour les pieux forés, il était logique de chercher un moyen de contrôle analogue, permettant de conclure sur la capacité portante admissible. Pour l'exécution de ces pieux suivant la méthode classique, seuls des essais de charge sur petite échelle au fond du puits sont réalisables. Ces essais sont très coûteux et entraînent une perte de temps considérable.

Le procédé Benoto, par contre, nous a permis de développer une méthode pour obtenir, lors de l'enfoncement du tube de coffrage, des indications sur la

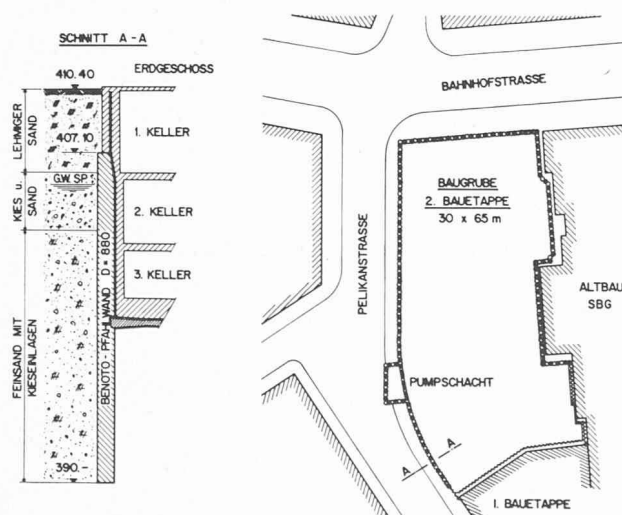


Fig. 13. — Enceinte Benoto. Union de Banques Suisses, Zurich.

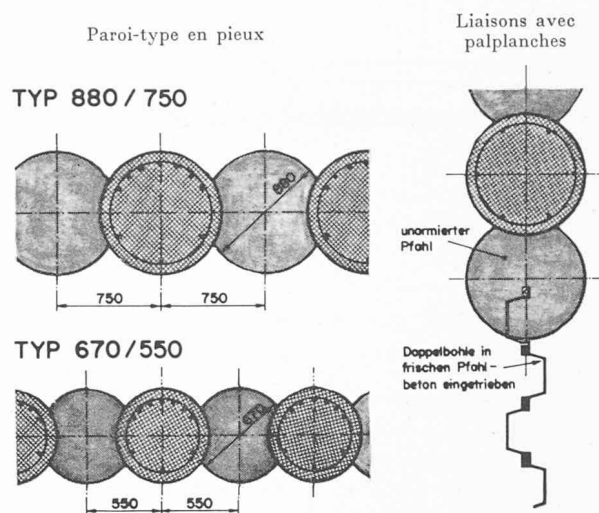


Fig. 12. — Types parois en piles sécantes Benoto.

résistance des terres par des mesures de contrôle continues. En effet, il existe une relation entre la force de louvoisement nécessaire sous une charge constante et l'enfoncement du tube pendant un nombre de mouvements déterminé. Les premiers essais entrepris, après avoir consulté les ingénieurs de la VAWE, nous ont démontré qu'il existe effectivement une relation entre ces mesures de contrôle et la capacité de charge admissible sur le pieu. Toutefois, il était indiqué d'appuyer les résultats ainsi obtenus par des essais de charge avant d'en tirer des conclusions définitives. A la suite d'une étroite collaboration avec le professeur Haefeli et les ingénieurs Henauer et Schubiger de Zurich, et grâce à un perfectionnement des outils de contrôle, nous sommes aujourd'hui en mesure de déterminer, lors du forage de chaque puits, la profondeur du pieu en fonction de sa capacité portante et du tassement admissible.

Les mesures de contrôle relatives à la « Résistance du sol » ainsi relevées sont portées, pour chaque pieu, dans un graphique, comme indiqué dans la figure 10 (diagramme de forage).

L'intégration de ces valeurs de résistance sur la profondeur totale de forage, correspondant à la surface du diagramme ci-dessus, indique le « Travail de forage »

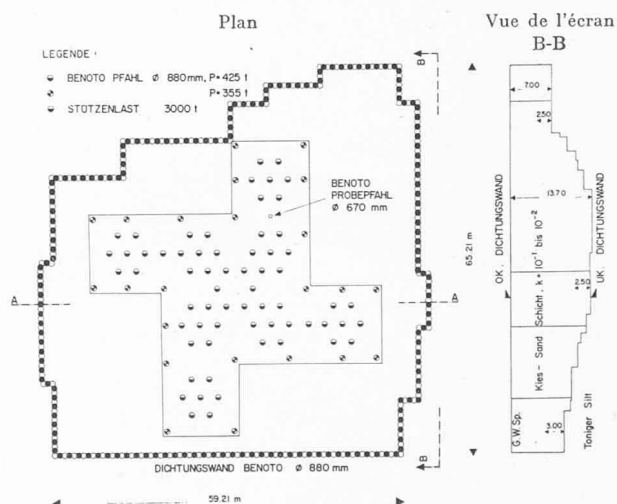
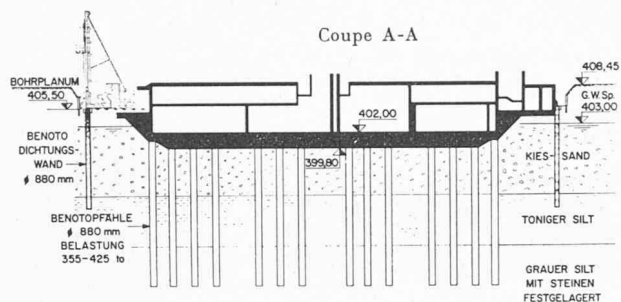


Fig. 14a. — Ecran étanche, chantier « Palme », à Zurich.



effectué et utile. Après avoir exécuté dans des terrains pulvérulents et cohérents plusieurs essais de charge en grandeur naturelle sur des pieux Benoto, nous avons pu dessiner une série de courbes indiquant, pour une charge portante déterminée, le « Travail de forage » nécessaire en fonction du tassement du pieu (fig. 11).

IV. Les écrans en piles Benoto

La réalisation des écrans et des enceintes de fouilles par piles jointives ou sécantes, remplaçant ceux exécutés par palplanches, est connue depuis plus de trente ans. Toutefois, ce mode de construction n'était appliqué, dans le passé, qu'à des ouvrages spéciaux et peu nombreux, vu son prix très élevé et le délai de réalisation très long. Le système de ces écrans est schématisé sur la figure 12.

Le nouveau matériel Benoto « EDF 55 » par contre permet aujourd'hui de confectionner des parois en piles sécantes et jointives à un prix et rendement se

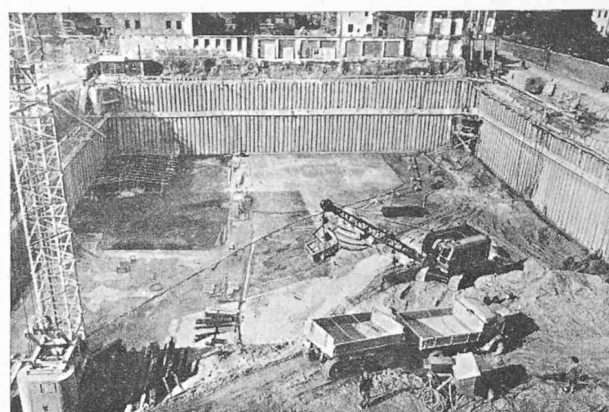
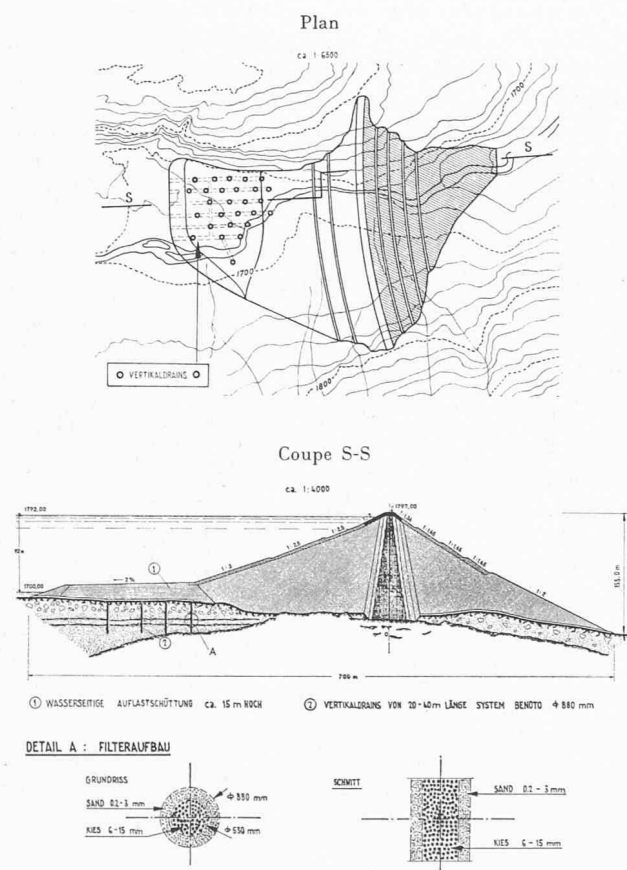


Fig. 15. — Enceinte de fouille Radio-Munich.

rapprochant de ceux des palplanches métalliques (fig. 13, 14 a et b, 15).

V. D'autres applications du procédé Benoto

Outre les pieux de fondation et les écrans en piles, le matériel Benoto « EDF 55 » permet l'exécution économique et rapide de puits filtrants et de sondages en grands diamètres.

Lors de la construction de la digue de Göscheneralp, des drains verticaux, de 0,88 m de diamètre et de profondeurs allant jusqu'à 40 m, furent réalisés pour pré-drainer le terrain sous la digue afin d'accélérer le tassement du sol sous celle-ci (fig. 16).

Comme exposé, le procédé Benoto permet de résoudre de nombreux problèmes de fondation au profit du client

suivant une technique nouvelle. La courbe (fig. 17) démontre son développement ininterrompu. Depuis 1955 à fin 1960, plus de 40 000 m de forage Benoto ont été exécutés par l'entreprise AG. Heinr. Hatt-Haller.

En plus des avantages techniques, la tendance générale de ces dernières années à atténuer le plus possible le bruit des machines sur les chantiers, est une cause importante pour le développement du procédé Benoto. La « Ligue nationale pour la lutte contre le bruit » a testé, à plusieurs reprises, le bruit occasionné par le matériel de forage Benoto et a constaté qu'il est inférieur à celui résultant du trafic dans les artères principales des villes. En outre, l'exécution des pieux par forage, c'est-à-dire sans utilisation de sonnettes et marteaux trépidateurs, s'effectue sans ébranlement du sol, ce qui permet d'éviter des indemnités souvent considérables pour dégâts de secousses occasionnées à des édifices et ouvrages à proximité.

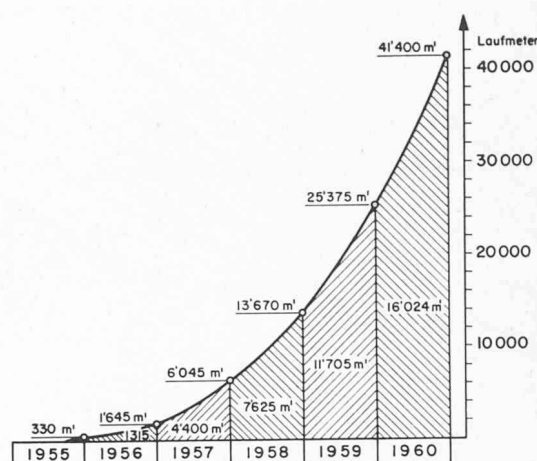


Fig. 17. — Courbe du développement du procédé Benoto en Suisse.

ACTUALITÉ INDUSTRIELLE (14)

La poutre Wellsteg

Une réussite dans la fabrication en série des poutres collées

Nous apprenons qu'une fabrique moderne pour la production en série des poutres collées est actuellement en construction, à Domdidier. C'est avec plaisir que nous saluons cette heureuse initiative, et nous félicitons ceux à qui en revient le mérite, en l'occurrence la maison Wellsteg S.A. Cette maison va ainsi développer en Suisse, dès fin juin 1961, une fabrication qui a déjà fait ses preuves en Allemagne, et qui fait l'objet de l'article ci-après.

L'emploi des poutres collées pour la construction des charpentes s'est considérablement développé ces dix dernières années. Le préjugé défavorable qui régnait à l'égard de ces poutres a pu être éliminé, grâce surtout à la mise au point de nouvelles colles insensibles au vieillissement et aux intempéries ainsi qu'à l'expérience acquise dans l'application pratique de ces colles à ce domaine particulier des poutres.

Récemment encore, un petit nombre seulement d'entreprises s'occupaient de la fabrication de poutres collées, car, outre les investissements relativement élevés que nécessitent les installations adéquates, il est indispensable de disposer de connaissances spéciales pour le calcul des charpentes et pour la mise en place des poutres collées.

Les procédés de collage proposés à l'origine ne convenaient pas non plus à une fabrication en série,

de sorte que les commandes devaient être exécutées individuellement, ce qui excluait dès lors toute pré-fabrication d'une certaine importance. Par ailleurs, l'artisan ne pouvait que rarement se charger de l'étude et de l'exécution de constructions collées.

Pour généraliser l'emploi de la construction collée et lui permettre d'atteindre le développement voulu, il était donc nécessaire de créer une poutre se prêtant particulièrement bien à la fabrication industrielle dans des dimensions standardisées et pouvant être mise dans les mains de n'importe quel professionnel qualifié. Il fallait donc tendre vers une certaine spécialisation, un fournisseur particulièrement bien équipé et hautement qualifié fabriquant et livrant aux maisons de charpente les poutres collées et standardisées. De cette manière, la poutre collée tend à être, pour les maisons de charpente, ce que le contreplaqué est aux maisons de menuiserie : un élément de base indispensable, produit en grandes quantités et selon les meilleurs critères de qualité par un fournisseur spécialisé.

La poutre collée Wellsteg, qui se prête admirablement à la fabrication automatique en continu, apporte certainement une solution intéressante à ce problème. L'âme ondulée de la poutre Wellsteg (fig. 1), qui en constitue la caractéristique principale, lui confère les avantages suivants :

1. L'âme ondulée, collée sur toute sa longueur, assure à la poutre une très grande rigidité, notamment en ce qui concerne sa résistance au flambage.

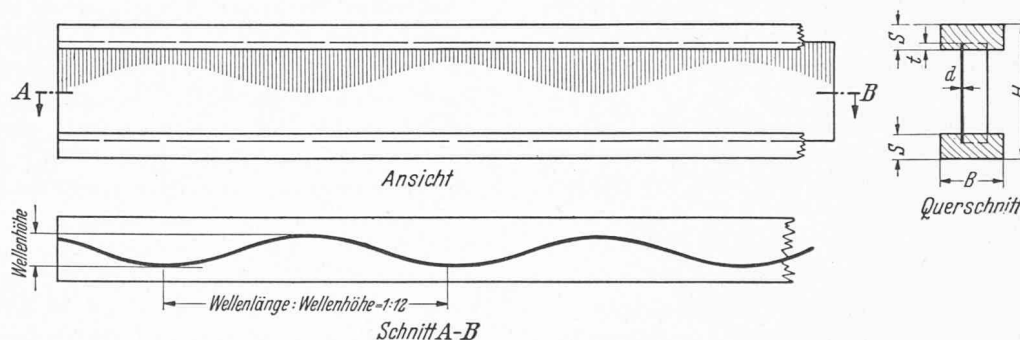


Fig. 1. — La poutre Wellsteg (élévation et coupes).