

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 6

Artikel: Étuvage d'ouvrages de béton armé coulés en place
Autor: Thoma, Willy
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69369>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

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

Étuvage d'ouvrages de béton armé coulés en place

DK 693.557.3

Piscine de la ville de Strasbourg à la Kibitzenau
Par Willy Thoma, Ing. EPZ, Saint-Cloud (France)

Deutsche Zusammenfassung auf S. 92

Introduction

Le traitement par la chaleur des produits en béton manufacturés est connu depuis longtemps. A une époque plus rapprochée, l'étuvage des parties d'ouvrage, telles que poutres ou dalles, en usine ou en atelier forain, a fait son entrée parmi les procédés modernes de construction. Il restait à franchir le pas vers l'accélération systématique du durcissement d'ouvrages entiers coulés en place.

Pour mettre à l'abri du gel des ouvrages en béton fraîchement coulés, le séjour dans une enceinte tempérée a été utilisé avec succès. Mais dans une telle application, la température est volontairement modérée afin de ne pas modifier inutilement le processus normal de durcissement. Dans l'étuvage, au contraire, l'on cherche intentionnellement, par l'emploi d'une température la plus élevée possible, une résistance initiale maximale, en vue d'accélérer les opérations de démoulage, de décintrement ou de précontrainte.

Propriétés du béton étuvé

L'on sait qu'à une température plus élevée correspond un durcissement plus rapide. Mais cette accélération ne s'opère pas sans présenter certains inconvénients et certains dangers.

En premier lieu, en ce qui concerne les résistances mécaniques à la compression et à la traction, si les résistances initiales sont effectivement améliorées, les résistances finales sont indubitablement diminuées (voir fig. 13). Il s'agit donc de vérifier que les résistances finales amputées restent compatibles avec la destination de l'ouvrage. Ensuite, il y a risque de dessiccation prématuée du béton, d'où danger de fissuration. Il faut prévenir ce risque par des moyens appropriés. Enfin, il y a un doute sur la déformabilité du béton étuvé, il sied donc de la surveiller de près.

En résumé, l'étuvage du béton ressort à une idée de dopage avec toutes les sujétions d'une telle intervention.

L'ouvrage

L'ouvrage qui a servi de banc d'essai comporte un hall abritant le bassin olympique de 33,50 m de largeur pour 61,00 m de longueur,

soit une surface couverte de 2037 m² sans aucun appui intermédiaire (fig. 1, 4 et 5). L'une des façades est entièrement occupée par la tribune, tandis que l'autre est vitrée sur 9,50 m de hauteur et 61,00 m de longueur.

La couverture du hall est formée de hourdis en céramique, contreventés par des diagonales en béton armé. Des pannes préfabriquées en béton armé soutiennent les hourdis. Celles-ci prennent appui sur 8 poutres maîtresses de 34,50 m de portée et 1,60 à 2,50 m de hauteur. Côté gradins, ces poutres sont encastrées dans des poteaux courts et trapus. Côté façade vitrée, ces poutres sont articulées sur des poteaux métalliques de 0,32 m de diamètre, mais encastrées dans le plan horizontal dans la poutre façade. En raison de leurs liaisons d'encastrement, ces poutres ne se prêtent pas à la préfabrication. Par contre, la répétition de 8 éléments identiques appelle le réemploi des coffrages et la mobilité du cintre d'étalement.

Planning

Le planning initial prévoit donc (fig. 2) la succession des opérations d'étalement, de bétonnage et de décintrement, ce qui demande au total 20 semaines. En raison des mises au point du projet d'exécution d'une part, des intempéries d'autre part, ce planning est largement entamé lorsque l'on peut attaquer les poutres. Parmi les différents moyens possibles pour rattraper le temps perdu: multiplication des cintres et coffrages, dédoublement des équipes, emploi de ciments à durcissement rapide, etc., l'accord général se fait pour tenter l'expérience de l'étuvage des poutres bétonnées en place sur leur échafaudage.

Particularités du béton étuvé sur échafaudage (fig. 6 et 7)

Plusieurs objections se font jour, à l'encontre du béton étuvé sur échafaudage.

L'Ingénieur Conseil exprime des craintes sur la déformabilité de la poutre de 34 m de portée et sur l'adhérence du béton étuvé sur les aciers très denses et de gros diamètre du talon de la poutre.

Le Bureau de Contrôle, de son côté, attire notre attention sur

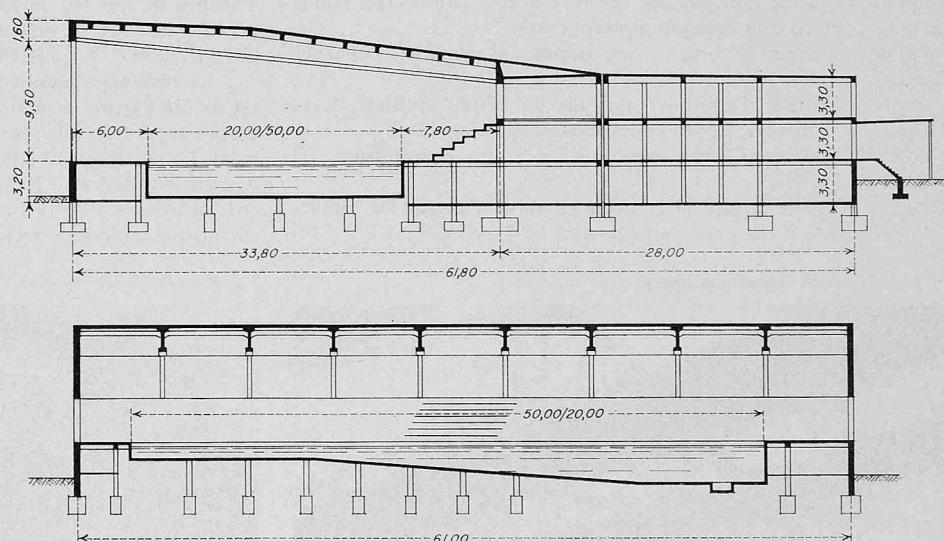


Fig. 1. Piscine de la ville de Strasbourg à la Kibitzenau. Coupes transversale et longitudinale 1:60

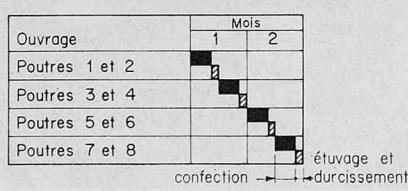
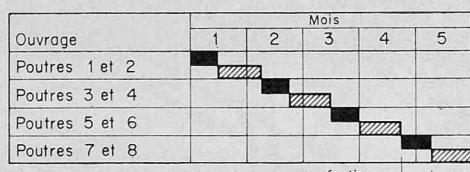


Fig. 2 (à gauche). Planning des travaux sans et avec étuvage

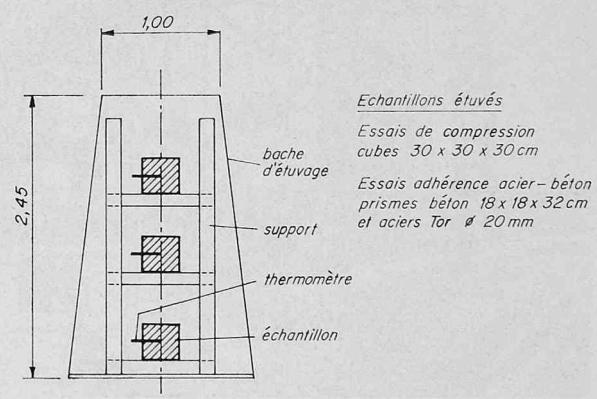


Fig. 3 (à droite). Essai préalable d'aptitude

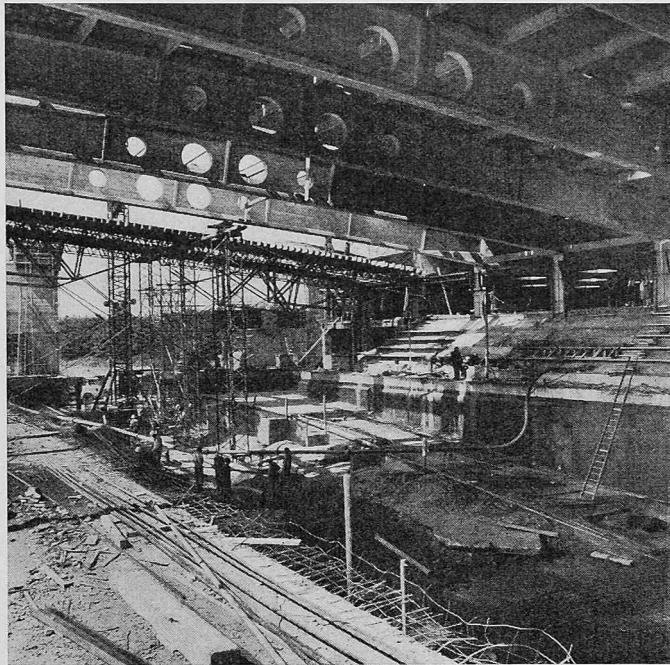


Fig. 5. L'ouvrage vu de l'intérieur

la nouveauté du procédé et sur les problèmes délicats à résoudre:
 — isolation de la chambre d'étuvage, en site exposé,
 — comportement du béton au raccord entre béton étuvé et béton non étuvé,
 — évolution du module de déformation du béton armé décintré immédiatement après étuvage,
 — évolution de la résistance à l'adhérence.

En effet, des publications récentes (voir bibliographie) concernant des recherches expérimentales, ont fait état de diminutions importantes du module d'élasticité et de la résistance à l'adhérence. Mais les essais en question ont été faits sur des bétons étuvés à l'autoclave, tandis que nous opérons à la pression atmosphérique.

D'un commun accord, il est décidé, alors, d'accompagner l'étuvage par trois mesures:

- essais préalables d'aptitude: aptitude du béton, aptitude de la chambre d'étuvage, aptitude des moyens de contrôle,
- contrôles de température, de résistance à la compression, de déformation,
- décintrement progressif et contrôlé en suivant presqu'au contact la déformation naturelle de la poutre.

Fig. 6. Etalement métallique des poutres

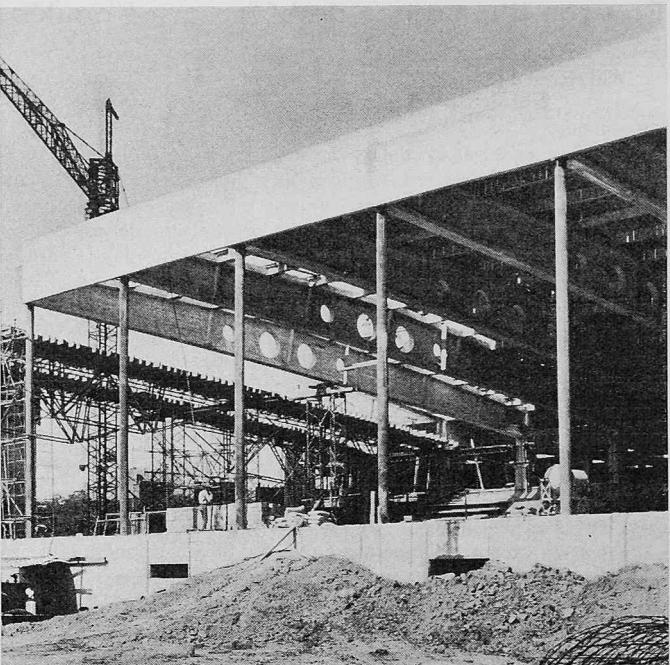
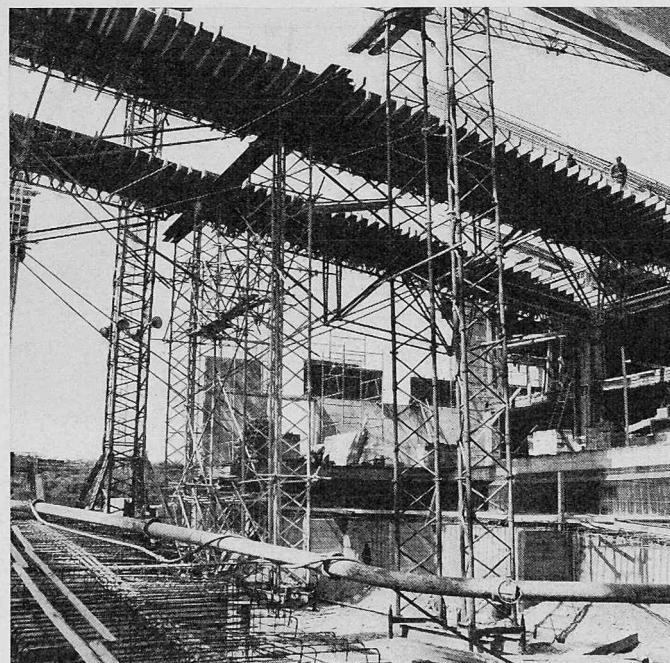


Fig. 4. L'ouvrage vu de l'extérieur

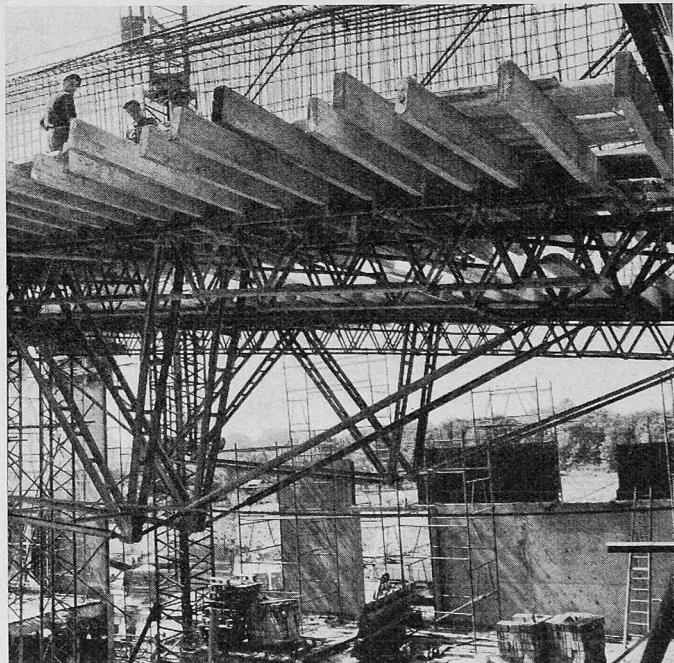
La troisième mesure sera imposée très strictement pour les premières poutres; elle pourra être relâchée quelque peu à la suite.
Essai préalable d'aptitude

Le dispositif d'essai (fig. 3) cherche à reproduire le plus fidèlement possible, en grandeur nature, la situation d'un tronçon de poutre en cours d'étuvage.

Trois cubes d'essai de $30 \times 30 \times 30$ cm et trois prismes de $18 \times 18 \times 32$ cm sont placés sur un support à des niveaux correspondant au talon, à l'âme et à la table de la poutre. Une bâche recouvrant le tout, l'on y produit le cycle d'étuvage déterminé d'avance: 3 heures de montée de température, 9 heures de maintien de température de 60°C de vapeur. La température mesurée en tête du tunnel est d'environ 3°C plus élevée qu'à la base.

La résistance mesurée sur cube, immédiatement après étuvage, est de 228 kg/cm^2 , avec une dispersion de $\pm 2\%$, soit une résistance un peu supérieure à la résistance de 200 kg/cm^2 exigée par le décintrement. La résistance à l'adhérence, mesurée par extraction d'une barre d'acières Tor diamètre 20 mm scellée dans le prisme de $18 \times 18 \times 32$ cm, est trouvée à 80 kg/cm^2 soit à un taux très comparable à un essai sur prisme témoin de même maturité.

Fig. 7. Etalement métallique des poutres, détail



Toutefois, un doute subsiste sur la valeur de preuve d'une extrapolation allant d'une seule barre de faible diamètre vers un paquet de 20 barres de gros diamètre 32 mm. Compte tenu des possibilités limitées des appareils de traction du Laboratoire, l'on renonce à pousser plus loin l'essai préalable.

Étuvage de la première poutre (fig. 8 et 9)

L'étuvage de la première poutre (fig. 3-11) nous a éclairés sur les points suivants:

Générateur de chaleur:

Les caractéristiques de la chaudière sont suffisantes pour étuver l'ouvrage répondant aux données suivantes:

- L'ouvrage répondant aux données suivantes:

 - cube de béton à chauffer de 18 °C à 60 °C, environ 35 m³
 - cube d'air à chauffer de 18 °C à 70 °C, environ 240 m³
 - surface de l'isolation: environ 480 m²

Isolation:

L'optimisme soulevé par l'observation de chantiers d'étuvage au sol ne s'est pas confirmé. L'isolation par simple bâche en nylon est insuffisante pour l'étuvage d'ouvrages isolés, situés à grande hauteur, soustraits au rayonnement terrestre nocturne mais exposés au vent. Il faut une isolation perfectionnée à triple couche: bâche nylon intérieure imperméable à l'air et à la vapeur, matière isolante, bâche en toile extérieure imperméable à la pluie.

Réglage de température:

L'égalité de température souhaitée, dans l'enceinte chauffante, ne peut être obtenue par réglage fixé à priori. Les perturbations extérieures, notamment les vents, s'y opposent. La pente longitudinale de 10° de l'enceinte ajoute une sujexion qui n'existe pas en étuvage au sol. Il s'est révélé indispensable de régler l'admission de la vapeur, par ouverture ou fermeture des arrivées individuelles, en cours d'étuvage.

Montée de température:

Dans les parties de faible épaisseur du béton (âme de 32 cm) la température monte en 3 heures de 18 °C à 60 °C. Dans le noyau des parties plus épaisses du béton (talon de 80 cm d'épaisseur), la température au bout de 4 heures n'est que de 25 °C. En fin de cycle de chauffage, elle n'est encore que de 55 °C, mais continue de monter au delà de 60 °C après arrêt du chauffage.

Mises au point faites, l'étuvage des 7 poutres suivantes s'est opérée sans incident.

A droite:

Fig. 8. Tunnel d'étuveage. Coupe longitudinale 1:40 et détail hotte d'étuveage

Fig. 9. Tunnel d'étuvage

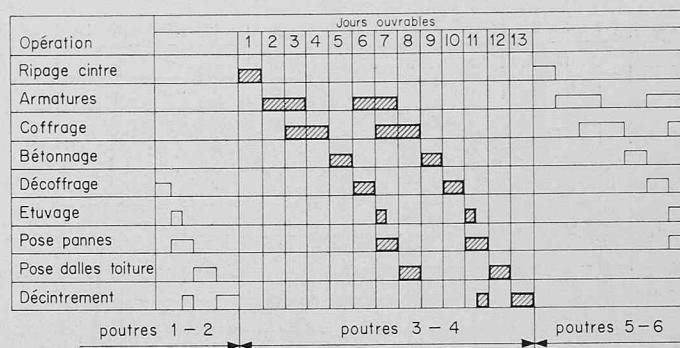
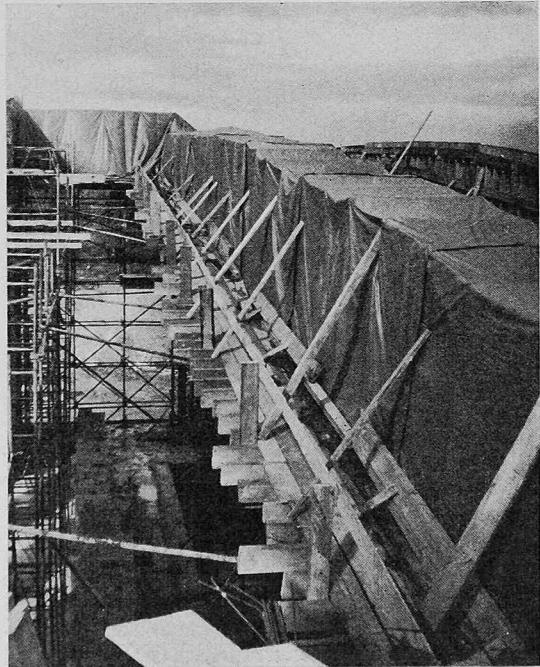


Fig. 10. Planning détaillé des opérations de l'étuvage de deux poutres

Contrôle de l'exécution

Le respect absolu des consignes de sécurité est vérifié par l'établissement d'une fiche signalétique pour chaque poutre (fig. 15). Dans cette fiche sont consignées les facteurs essentiels de l'opération:

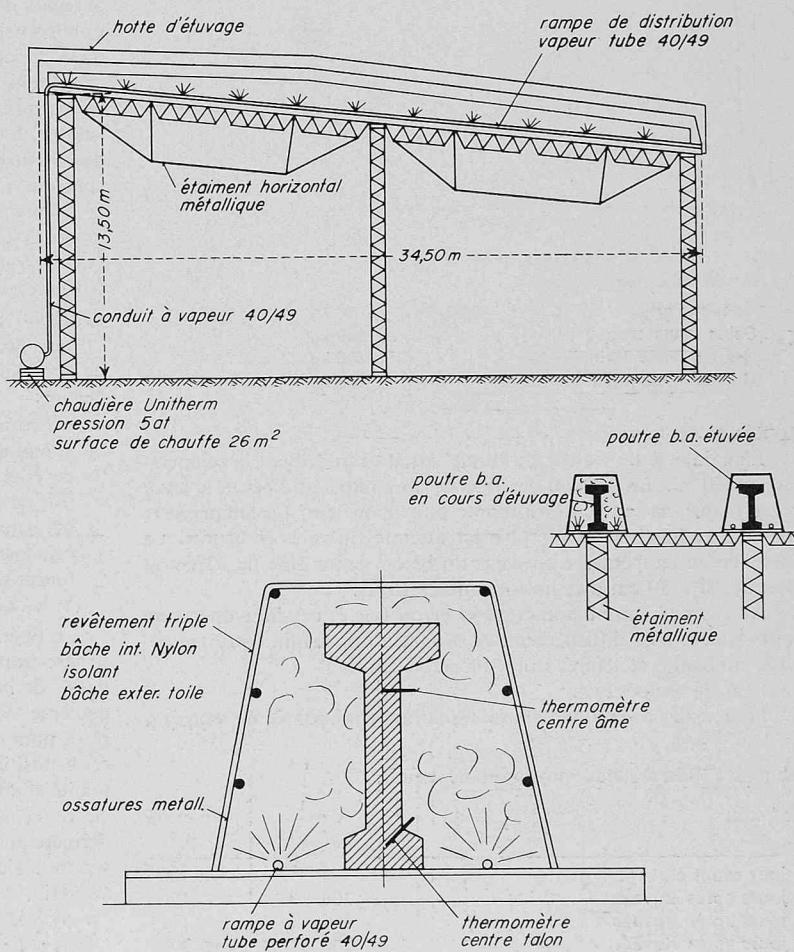
- évolution de la température du béton, pendant l'étuvage
 - évolution de la résistance à la rupture par compression, sur cubes d'essais et au scléromètre, en fonction du temps
 - évolution de la déformation de la poutre, après décintrement, en fonction des charges d'une part, en fonction du temps d'autre part.

Les valeurs à atteindre sans les dépasser (température), les valeurs à atteindre (résistances minimales), les valeurs à ne pas dépasser (flèche maximale) y sont consignées d'avance en pointillé. Les valeurs constatées y sont portées par trait plein.

L'exemple de fiche donné (fig. 15) montre que les consignes concernant les températures et les résistances ont pu être respectées approximativement. Le large respect des déformations prévisionnelles nous a procuré l'assurance indispensable.

Evolution de la température (cycle d'étuvage, fig. 10 et 11)

Le cycle d'étvûage prescrit au chantier, après confrontation des avantages et inconvenients d'autres cycles, comporte les branches suivantes (voir fig. 15).



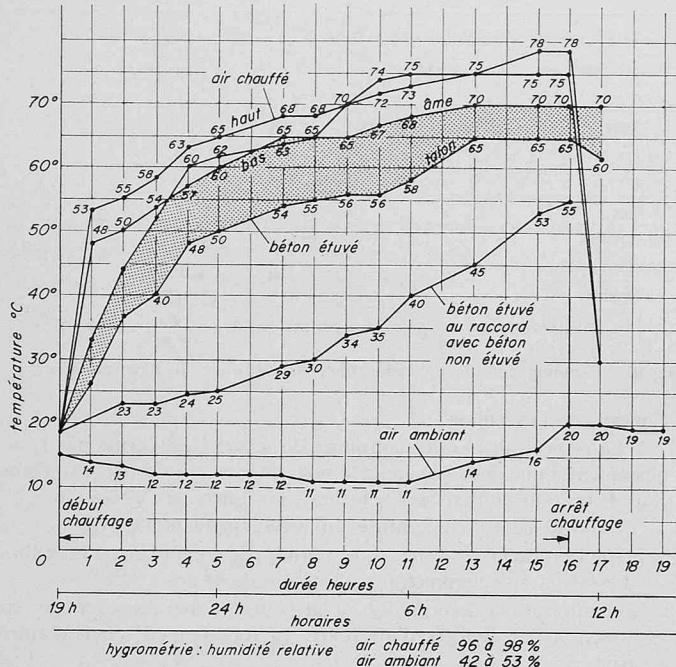


Fig. 11. Contrôle des températures de l'air ambiant, de l'air chauffé, du béton étuvé (cycle d'étuvage)

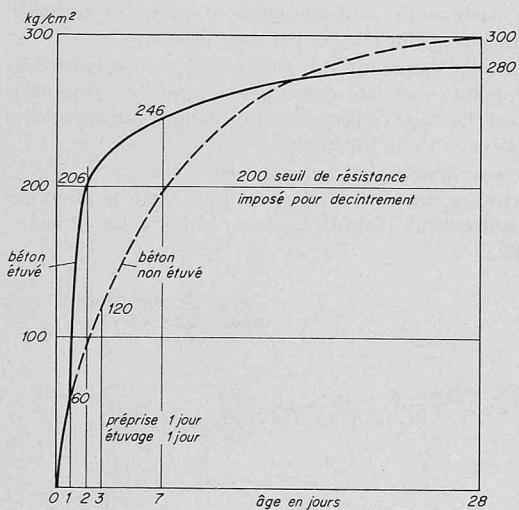


Fig. 12. Contrôle de résistance du béton
Composition du béton:

Ciment Portland fer. C. P. F. 210/315	350 kg
Sable roulé Rhin 0-7	680 kg
Gravier roulé Rhin 7-15	600 kg
Gravier roulé Rhin 15-25	480 kg

Montée en température:

L'air injecté de vapeur du tunnel atteint rapidement la température de 60 °C. En raison de l'inertie thermique du béton d'assez grosse masse, sa température monte plus lentement. La température moyenne recherchée de 60 °C n'est atteinte qu'après 7 heures. La différence de température en cœur du béton, entre âme de 32 cm et talon de 50 à 80 cm d'épaisseur, atteint 10 °C.

Au raccord entre béton étuvé et béton non étuvé, la température monte encore plus difficilement, se situant à mi chemin entre température ambiante et température du béton étuvé.

Maintien de température:

Pour tenir compte de l'allure hésitante de la montée de tempéra-

Tableau 1. Résistances moyennes du béton

âge béton	étuvé kg/cm²	non étuvé kg/cm²
1 jour avant étuvage	60	60
2 jours après étuvage	206	100
7 jours après étuvage	246	197
28 jours après étuvage	280	env. 300

ture au raccord, le chauffage est poursuivi pendant 15 à 16 heures depuis sa mise en route. En fin de chauffage, la température du béton se maintient un peu au dessus de 60 °C, tandis qu'au raccord avec le béton non étuvé, l'on atteint 55 °C. L'humidité relative de l'air étuvé est de 96 à 98 %, pour une hygrométrie ambiante de 42 à 53 %.

Évolution des résistances

La composition du béton, résultat d'une recherche en laboratoire préalable, est la suivante:

— ciment Portland de Fer CPF 210/315	350 kg
— sable roulé du Rhin 0-7 mm	680 kg
— gravillon roulé du Rhin 7-15 mm	600 kg
— gravier roulé du Rhin 12-25 mm	480 kg
— eau, env. 160 l	

Le contrôle de la résistance compression se fait sur des cubes 30 × 30 × 30 cm étuvés sous le tunnel d'étuvage en même temps que l'ouvrage. Les résistances moyennes du béton étuvé, comparé aux résistances du béton non étuvé, se trouvent dans le tableau 1.

En ce qui concerne la dispersion des résultats, l'écart quadratique moyen pour les cubes étuvés est de 12 %, ce qui range l'ouvrage étuvé dans la catégorie à régularité très soignée. Pour les cubes témoin non étuvés, cet écart est de 16 %. En portant ces résultats sur graphique (fig. 12), l'effet de dopage procuré par l'étuvage se présente de façon parlante.

La fidélité de la représentation de la résistance fournie par les cubes peut être mise en doute, en pensant notamment au point délicat du raccord entre béton étuvé et béton non étuvé. Par une campagne généreuse de contrôles de résistance au scléromètre, nous cherchons à lever ce doute. En effet, les résistances relevées au scléromètre se révèlent être partout du même ordre de grandeur que les résistances accusées par les cubes, sans que des points faibles soient détectés.

Contrôle de résistance au scléromètre

Il est connu que le contrôle de résistance au scléromètre doit être assuré par un étalonnage sur cubes. Dans notre cas, le nombre important d'étalonnages a permis de déterminer une plage de points d'étalonnage suffisamment garnie pour déterminer une courbe moyenne, avec une dispersion acceptable (fig. 13). Notre courbe moyenne d'étalonnage, obtenue avec des agrégats roulés du Rhin, se place à proximité de la courbe constatée par *Chefdeville* pour les agrégats de Seine, tout en se rapprochant quelque peu de la courbe publiée par *Schmidt* pour des agrégats suisses. En utilisant la courbe d'étalonnage ainsi obtenue, et non pas la courbe *Schmidt*, la concordance entre résistances sur scléromètre et résistances sur cube de même maturité, est satisfaisante. Cette constatation, rassurante, n'est valable, bien entendu, que pour les valeurs moyennes, la dispersion des mesures étant importante pour chacune des deux méthodes de contrôle.

Dans le cas présent, la méthode du scléromètre a permis d'explorer la zone particulière du raccord entre béton étuvé et béton non étuvé. Pour cette zone, le contrôle par cubes témoins ne pouvait être que peu significatif.

Évolution des déformations

La prévision des déformations élastiques et plastiques au milieu de portées, représentée graphiquement (fig. 14) comporte deux parties:

- déformation en fonction de la charge croissante: la courbe est composée de branches correspondant à la flèche instantanée (ou de courte durée) et de branches correspondant à la flèche finale (ou de longue durée)
- déformation en fonction du temps: cette courbe est composée également de branches correspondant à des déformations instantanées sous accroissement de charges, et de branches correspondant à des déformations différées sous charge constante.

L'opération de décintrement contrôlée est effectuée en suivant la progression des charges qui résulte de l'adjonction des pannes et des dalles de couverture. Dans une première opération, l'on effectue la descente du centre métallique par vérinage jusqu'à la flèche réelle prise pour la poutre, plus une fente de 1 cm. Il est admis que dans cette position, la poutre se porte elle-même, mais que, dans l'éventualité d'une déformation insolite, elle puisse venir se reposer sur le centre et améliorer ensuite son durcissement. À noter que cette dernière possibilité n'a jamais eu à fonctionner. Les charges des pannes venant s'ajouter au poids propre, l'on effectue une nouvelle descente au vérin, dans les mêmes conditions que précédemment. L'opération est répétée après application de la charge de la couverture en céramique et béton. Après constatation de l'arrêt pratique de déformation,

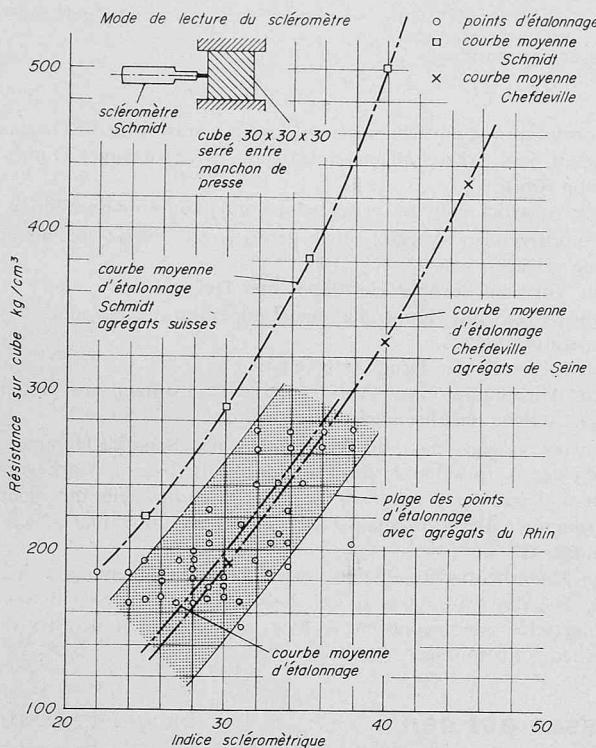


Fig. 13. Contrôle de résistance de béton, Etalonnage du scléromètre Schmidt

le cintre métallique, ayant joué son rôle d'étaï de secours, est ripé. Le contrôle de la flèche (fig. 14) montre que pratiquement la stabilisation est obtenue au bout de 8 jours, et qu'il reste une marge confortable par rapport aux prévisions, pour la flèche due aux charges de l'étanchéité et aux surcharges climatiques. Le contrôle de la flèche après 6 mois n'a pas permis de constater un accroissement de déformation par fluage. Un tel accroissement était attendu, mais il semble avoir été suffisamment petit pour être masqué par les variations hygrométriques et thermiques.

Matériel d'étuvage et prix de revient

Le matériel particulier au procédé d'étuvage comporte (fig. 8 et 9):

- un générateur à vapeur *Unitherm*, pression 5 à 7 at, surface de chauffe 26 m², avec adoucisseur *Watco*, sous abri de protection contre le froid, la pluie et le vent,
- une conduite à vapeur avec son enveloppe isolante,
- un tunnel d'étuvage, avec armature métallique et triple peau d'isolation.

Les dépenses particulières au procédé d'étuvage se composent de:

- main d'œuvre (ouvriers) pour confection, pose, entretien et dépose du dispositif d'étuvage,
- main d'œuvre (mensuels) pour lecture et mise en fiche,
- matières consommables (béton pour socles, isolants),
- énergie (fuel, lubrifiant, eau),
- location du matériel spécial.

L'ensemble de ces dépenses, rapporté à la valeur des 8 poutres étuvées, est d'environ 8 %. En rapportant cette dépense à la valeur totale du gros œuvre du bâtiment, ce rapport tombe à environ 2 %.

Conclusion

De l'expérience faite à la Piscine de Strasbourg, l'on peut conclure que l'étuvage des ouvrages isolés placés en hauteur est parfaitement possible, mais que le problème est nettement plus complexe que l'étuvage en usine fermée, ou même que l'étuvage en plein air mais au sol. L'étuvage, intervention rigoureuse dans le processus de maturation du béton, à allure de dopage, doit être guidé et surveillé pour mener au succès.

La Ville de Strasbourg est Maître de l'Ouvrage. La Direction des Travaux est assumée par le Service Architecture de la Ville, dont le Directeur *M. Sauer* a bien voulu nous autoriser à employer expérimentalement l'étuvage. Le Bureau d'études *Deroche & Gentner* à Strasbourg a établi le projet et les calculs statiques de l'ouvrage. La *Socotec* a été chargée du contrôle. Messieurs *Lebelle* et *Blevot*, du Bureau Sécuritas, nous ont prodigué leurs conseils.

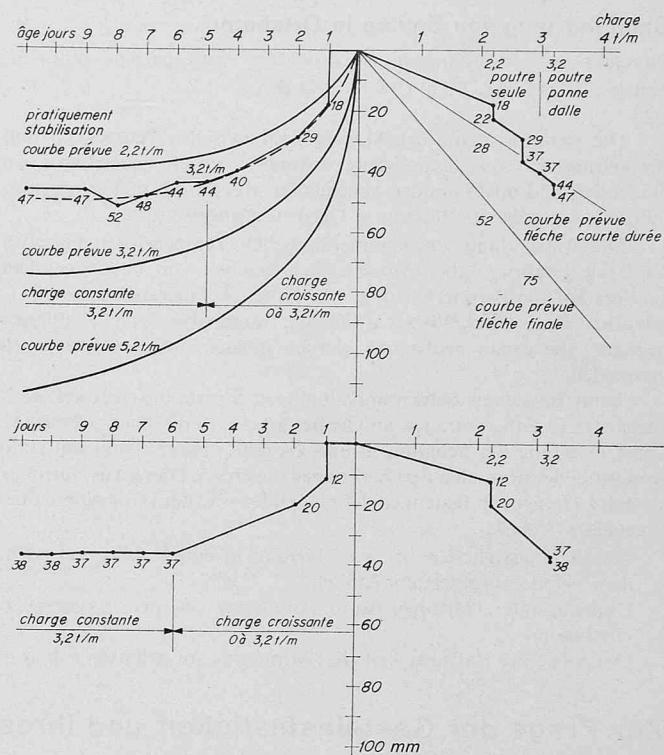
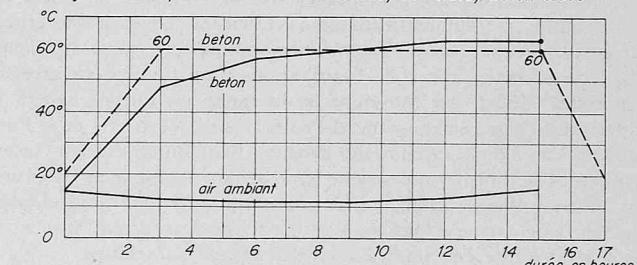
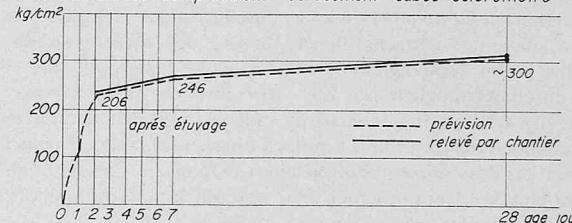


Fig. 14. Contrôle de déformation en fonction de charge et du temps. Déformations verticales en milieu de poutre

1. Cycle de température: air ambiant, air étuvé, béton étuvé



2. Résistance compression: écrasement cubes scléromètre



3. Déformation en fonction de charge et du temps: charge 4t/m

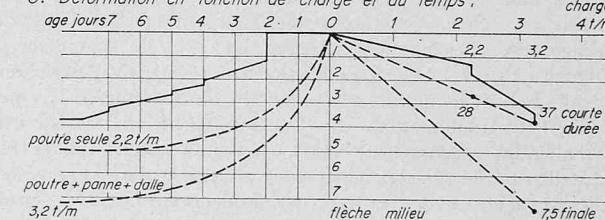


Fig. 15. Fiches signalétiques des éléments étuvés

Les travaux ont été réalisés par les Entreprises Zublin-Perrière à Paris et Moellé-Matter à Strasbourg.

Bibliographie

Mironov-Malinina: Traitement du béton à l'autoclave, Dunod 1962.

Mironov: Bétonnage d'hiver, Dunod 1958.

Chefdeville: Mesure de la résistance à la compression du béton par le scléromètre *Schmidt*, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, novembre 1955.

Adresse de l'auteur: *Willy Thoma*, Ingénieur EPZ, 40, Rue du Mont Valérien, Saint-Cloud (Seine et Oise), France.

Dampfhärtung von Bauten in Ortsbeton

Deutsche Zusammenfassung des Aufsatzes «Etuvage d'ouvrages de béton armé coulés en place»
Von Ing. W. Thoma, Saint-Cloud, S. et D.

Die Kenntnisse von der Abhängigkeit zwischen Temperatur und Betonfestigkeit, allzulange wenig bekannt, werden neuerdings von planenden und ausführenden Ingenieuren mit Erfolg in Fertigbetonfabriken wie auch für Bauten in Ortsbeton angewendet.

Die Anwendung von sommerähnlichen Temperaturen bis etwa 30 °C ist gefahrlos, aber wirtschaftlich gesehen von ungenügendem Einfluss auf die Betonerhärtung. Die hohen Temperaturen bis 80 °C erlauben eine gute Wirtschaftlichkeit, sind aber von Einflüssen begleitet, die genau beobachtet werden müssen, um Fehlschläge zu vermeiden.

Beim Bau einer Schwimmbadhalle in Strasbourg wurden weitgespannte Eisenbetonträger, an Ort hergestellt, durch Dampf erhärtet. Die Umsetzung der Schalungen und Gerüste konnte damit auf rund ein Drittel der normalen Zeit herabgesetzt werden. Diese Ausführungsart gab zu folgenden Bedenken der planenden und der kontrollierenden Ingenieure Anlass:

- Ungleichmässigkeiten bei der Härtung in einem relativ grossen, dem Winde ausgesetzten Tunnel,
- Ungenügende Härtung beim Anschluss an den ungeheizten Ortsbeton,
- Ungenügende Haftfestigkeit der Armierung im gehärteten Beton,

— Verformungsmodul wächst nicht in gleichem Masse wie die Druckfestigkeit, was trotz genügender Härtung zu unzulässiger Durchbiegung führt,

— Lokale Austrocknung des Frischbetons und dadurch Rissebildung.

Im vorliegenden Aufsatz wird gezeigt, wie diesen Bedenken Rechnung getragen wurde:

- durch Vorversuche über Heizdauer und Heizstärke;
- durch weitgehende Kontrolle des Temperaturanstiegs und des Temperaturabfalls;
- durch Kontrolle der Druckfestigkeiten;
- durch Anordnung einer Auffangstütze (Notstütze) am ersten Träger, welche nachher weggelassen wurde.

Es wird gezeigt, dass die Eichkurven des Schmidt-Hammers (Messung der Aufprallhärte) für französische Betonkiese stark verschieden sind von den schweizerischen. Bei jeder Baustelle mit nicht schon bekannten Betonzuschlagsstoffen muss eine individuelle Eichkurve aufgestellt werden.

Die Dauerbeobachtung der lotrechten Durchbiegungen hat ergeben, dass das befürchtete Kriechen des wärmegehärteten Betons nicht eingetreten oder wenigstens so klein ist, dass es von den hydrothermischen Verformungen überdeckt wird.

Zur Frage der Gesteinsfestigkeit und ihres Einflusses auf den maschinellen Stollenvortrieb

Von A. Schönholzer, dipl. Ing. ETH, SIA, ASIC, Thun

Die Maschinenfabrik Habegger AG in Thun hat im Laufe der letzten Jahre eine Tunnelfräsmaschine entwickelt. Diese schweizerische Konstruktion hat heute nach Überwindung der unvermeidlichen Kinderkrankheiten die volle Fabrikations- und Einsatzreife erreicht. Ein erstes Modell der Maschine ist in Japan im Einsatz, wo es im untermeerischen Seikan-Tunnel-Projekt am Vortrieb des Pilot-Stollens von 3,6 m Durchmesser arbeitet. Beim durchörterten Gestein handelt es sich bisher um weiche Sandsteine vulkanischen Ursprungs mit hohem Wassergehalt, vergleichbar mit unseren Molasse-Sandsteinen. Eine weitere Maschine wird nächstens in einem Stollen der Julia-Kraftwerke der Stadt Zürich den Dienst aufnehmen.

Die mit diesen ersten Maschinen vor ihrer Ablieferung in massigem mittelharten Gestein (Malmkalk) durchgeföhrten Versuche lassen erkennen, dass ein wirtschaftlicher Einsatz des neuen Gerätes in Felsen bis gegen 1600 kg/cm² Druckfestigkeit sicher und bis 2000 kg/cm² durchaus möglich ist. Ein Überschreiten dieser Grenze ist denkbar, die Wirtschaftlichkeit hängt indessen von den Bedingungen des betreffenden Projektes und den noch durchzuführenden Versuchen ab. Sicher ist, dass durch diese Neuentwicklung die Einsatzmöglichkeiten für eine Vortriebsmaschine ganz wesentlich in Richtung höherer Gesteins-Festigkeiten verschoben worden sind.

Dem Bauingenieur fällt die Aufgabe zu, aus den geologischen und geotechnischen Unterlagen die Einsatzmöglichkeit und die Leistungen der Maschine abzuschätzen. Die ihm als Grundlage zur Verfügung stehenden Angaben umfassen in der Regel die Beschreibung der geologischen Formation und allenfalls die am einfachsten messbare Gesteins-Qualifikation, die Druckfestigkeit am Probekörper, die wir aber, im Gegensatz zur Praxis, nicht ohne weiteres mit der Härte gleichstellen dürfen. Es sei daher ganz allgemein die Frage gestellt, welche Angaben für den Einsatz der Stollenbohrmaschine von Bedeutung sein können.

Die Qualifikation des Felsens lässt sich ungefähr in die folgenden Einzel-Aussagen aufteilen:

- die Härte der Einzelkörner und Kristalle,
- die Natur, Dichte und Härte des Verbandes, sowie das Porenvolumen und der Wassergehalt,
- die Festigkeit des Gefüges im präparierten Probekörper, trocken,
- die Festigkeit des Gefüges in natürlicher Lagerung, d.h. mit dem Einfluss der vorhandenen Risse und Schieferungen, sowie des Streichens und Fallens zur Stollen- und zur Schnittrichtung.

Auf der Maschinenseite stehen die folgenden, experimentell zu ermittelnden Kriterien gegenüber:

- die optimale Fräser-Schnittgeschwindigkeit,
- das optimale Verhältnis von Schnittbreite zu Brechbreite,

- die Standzeit der Fräser (Wirtschaftlichkeit),
- der Energiekonsum,
- das Verhalten des Gesteines im Schnittvorgang und in der Schutzeitung,
- die Möglichkeit der Wasserzugabe.

Es ist klar, dass die bisherigen Versuchsbohrungen viel zu kurz waren, um über diese Zusammenhänge endgültige Aussagen zu machen. Sie liessen aber die Vielschichtigkeit des ganzen Fragenkomplexes erkennen und gaben somit Anlass zu den nachfolgenden Überlegungen. Es wird überhaupt schwer sein, wirklich allgemein gültige Regeln aufzustellen, denn der innere Aufbau der alpinen Felsgesteine ist viel zu mannigfaltig. Zur Illustration stelle man sich das dichte Kristallgefüge eines Granites vor, ein Gemisch aus harten und mittelharten Körnern mit minimalem Porenvolumen (weniger als 1 %), und als Gegensatz dazu einen Molasse-Sandstein, aus an sich gleich harten Quarzkörnern, aber mangelhaft verkittet, und mit einem Porenvolume bis zu 20 %. Wieder anders sind die Verhältnisse bei weichen, blätterigen Schiefern oder schliesslich bei den dichten kalkigen Tiefseeablagerungen mit ihren stark veränderlichen Festigkeitswerten. Oftmals sind an sich sehr harte Felsen in grösseren und kleineren Abständen von Tonhäuten durchzogen, die als präparierte Bruchlinien wirken und den Zusammenhalt des Gefüges stark vermindern. Dazu ist jedes Gestein in seiner natürlichen Lagerung – und nur diese kann uns hier interessieren – als Folge der tektonischen Vorgänge von Rissen durchzogen, die je nach ihrer Charakteristik den Tunnelbau im allgemeinen und das Tunnelfräsen im speziellen beeinflussen. Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass die Angabe der geologischen Formation, der Lagerung und der Würfeldruckfestigkeit vorerst nur Indizien für die Zweckmässigkeit des Einsatzes einer Tunnelfräsmaschine und deren Leistungsbedarf und Kostenaufwand geben können.

Betrachten wir zunächst einmal den mechanischen Vorgang des Vortriebes mit dieser Maschine. Im Gegensatz zur klassischen Sprengung, die den Felsen auf 1 ÷ 3 m Tiefe und den vollen Querschnitt durch eine Serie Explosions zertrümmert, wird das Gestein an einer festen Zahl kleiner Angriffsstellen abgebaut. Der grosse Vorteil des Vorgehens liegt darin, dass die Zertrümmerung des Gefüges nur ganz oberflächlich bleibt. Der innere Zusammenhang des Gesteines wird viel weniger gestört als beim Sprengen; gefährliche Schichtungen können sich nicht so fatal auswirken. Das Überprofil, ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor, entfällt fast vollständig. Dieser Vorteil ist natürlich allen Stollen-Bohrmaschinen eigen. Neu und entscheidend bei der Habegger-Maschine ist der Abbau des Gesteines durch Fräsen. Der Begriff stammt aus der Metallbearbeitung und