

# Le turboforage à grand diamètre

J. BRYCH,

Chef de Travaux à la Faculté Polytechnique de Mons.

## RESUME

*Le procédé de turboforage à grand diamètre permet de creuser des puits de mines en une seule passe, sans soutènement provisoire, dans des terrains de nature très variée. Ces possibilités, peu exploitées jusqu'ici en Europe occidentale, lui ouvrent un vaste champ d'application.*

*L'article expose le principe du procédé et en décrit succinctement l'outillage, en se référant à l'expérience acquise à l'étranger.*

## INHALTSANGABE

*Mit Turbinenbohrern kann man Schächte in einem Arbeitsvorgang ohne provisorischen Ausbau in sehr verschiedenartigem Gestein niederbringen. Diese in Westeuropa bisher nur selten ausgenutzte Möglichkeit eröffnet dem Turbinenbohrverfahren ein breites Anwendungsfeld.*

*Unter Hinweis auf die im Ausland gewonnenen Erfahrungen schildert der Artikel das Prinzip des Verfahrens und gibt eine kurze Beschreibung der Geräte.*

Depuis quelques années, le forage rotatif à grand diamètre tend de plus en plus à se substituer aux procédés classiques de fonçage pour le creusement des puits. Cette nouvelle technique, si séduisante soit-elle, n'est cependant pas toujours la plus rationnelle ni la plus économique : elle ne doit être adoptée qu'après un examen approfondi des conditions géologiques (allure, nature et propriétés des roches) et géométriques (profondeur et diamètre) particulières à chaque cas.

## SAMENVATTING

*Met het draaiboorprocédé op grote doormeter kunnen mijnschachten in één enkele bewerking gedreven worden, zonder voorlopige ondersteuning, in gesteenten van uiteenlopende aard. Deze mogelijkheid werd tot nu toe in West-Europa weinig benut maar opent nieuwe perspectieven voor het procédé.*

*Het artikel zet het principieel van het procédé uiteen en geeft een korte beschrijving van de apparatuur, met verwijzing naar in het buitenland opgedane ervaring.*

## SUMMARY

*The large section turbo-drilling process makes it possible to drive mine shafts in one go, without any temporary support, in rocks of very varied nature. These possibilities have not so far been greatly exploited in Western Europe and they open up a wide field of application.*

*The article gives the principle of the process and briefly describes the equipment required and the experience gained abroad.*

D'après les statistiques récentes, les puits de diamètre supérieur à 9 m sont en général creusés de la façon conventionnelle. Dans le domaine de 4 à 9 m de diamètre, il existe déjà pas mal d'exemples d'utilisation avantageuse de différents systèmes de forage. En ce qui concerne les diamètres de 0,60 à 4 m, le fonçage par forage semble donner les résultats les plus satisfaisants, par comparaison avec les systèmes classiques de creusement. Pour la traversée des morts-terrains aquifères,

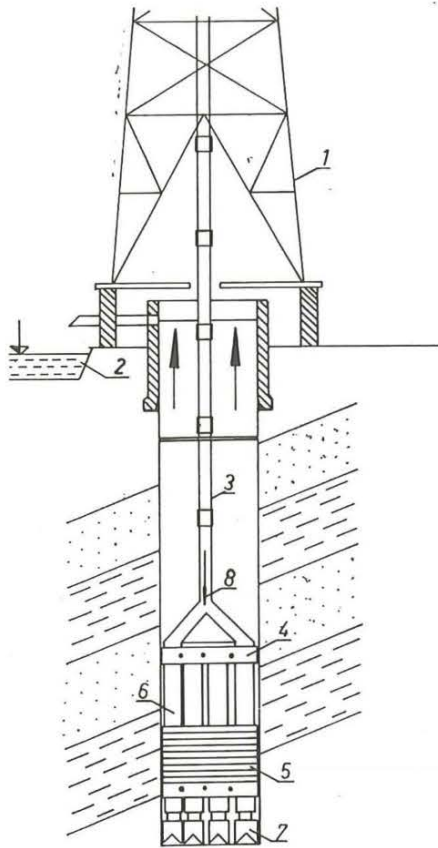


Fig. 1.

Schéma de l'agrégat de turboforage à grand diamètre.

1. — Derrick.
2. — Bassin de décantation.
3. — Tiges de forage.
4. — Agrégat T.G.D.
5. — Masse-tiges.
6. — Turbines.
7. — Rock-Bits.
8. — Schéma de circulation de la boue.

ébouleux, gonflants, fissurés, etc., l'utilisation du forage est bien souvent plus rapide, plus aisée et plus économique que le recours à des méthodes conventionnelles consacrées par une longue expérience (telle la congélation).

Nous ne considérons pas ici les systèmes qui mettent en œuvre le forage rotatif exclusivement en terrains tendres et homogènes (Hönigmann, Sepotjev-Ivanov, etc...) ni le creusement des puits en bons terrains par alésages successifs de sondages à petit diamètre.

Nous nous limiterons à l'application d'une méthode encore relativement peu connue, permettant de creuser les puits directement au diamètre définitif, en quelque terrain que ce soit. Il s'agit du forage à la turbine inventé en U.R.S.S. et mis au point au cours des années 1962 à 1968 en Tchécoslovaquie par la Société Nationale Geologický Pruzkum d'Ostrava, sous la direction de l'Ingénieur O. Juranek.

Ce procédé n'utilise pas d'équipement de conception spéciale comme le font par exemple les procédés Hönigmann et similaires. Le turboforage à grand diamètre met en œuvre l'appareillage lourd classique, éventuellement extrapolé, des chantiers de sondage au pétrole et au gaz naturel. Cette particularité est de nature à lui faire donner la préférence dans bien des cas.

L'organe essentiel du turboforage des puits est une tête de creusement à trépan multiples disposés en satellites et actionnés par des turbines à boue alimentées en parallèle. La tête de creusement peut tourner librement autour de l'axe du train de tiges sous l'effet du couple de réaction résultant. L'action combinée de la rotation individuelle de chaque turbine et de la rotation de la tête imprime à chaque trépan — ou satel-

TABLEAU I

Caractéristiques techniques de différentes compositions des agrégats de turboforage à grand diamètre utilisés en U.R.S.S. [5]

Diamètre de creusement	2080 mm	2080 mm	1560 mm	1020 mm
Nombre de turbines	3	3	2	2
Diamètre des trépan	490 mm	490 mm	750 mm	490 mm
Nombre de trépan	3	3	2	2
Poids de l'agrégat de forage T.G.D.	50 T	31 T	48 T	25 T
Nombre de pompes à boue	4	5	3	3
Type de turbines	T12RT9''	T31RT9''	T12RT9''	T12RT9''

TABLEAU 2

Caractéristiques techniques des différentes compositions des agrégats de turboforage à grand diamètre utilisés par la Société Geologický Pruzkum Ostrava en Tchécoslovaquie [2]

Diamètre de creusement	3600 mm	1870 mm	1870 mm	1800 mm	1020 mm
Nombre de turbines	4	4	3	4	2
Diamètre des trépan	750 mm	346 mm	490 mm	308 mm	490 mm
Diamètre des turbines	9''	9''	9''	9''	9''



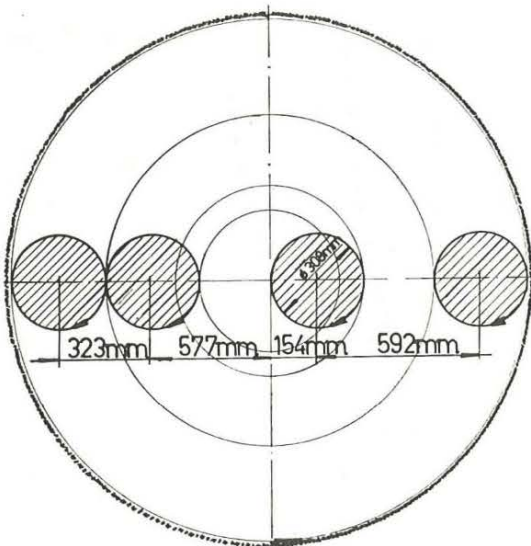


Fig. 2.

Disposition des turbines et des trépan Rock-Bits dans un agrégat de turboforage pour puits de 1870 mm de diamètre. (chantier VPV-GP Ostrava - Tchécoslovaquie).

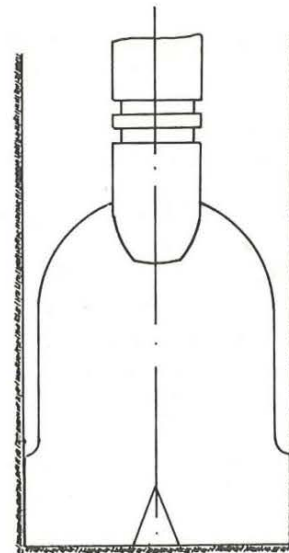


Fig. 4.

Schéma du mouvement rotatif normal du trépan au fond du trou.

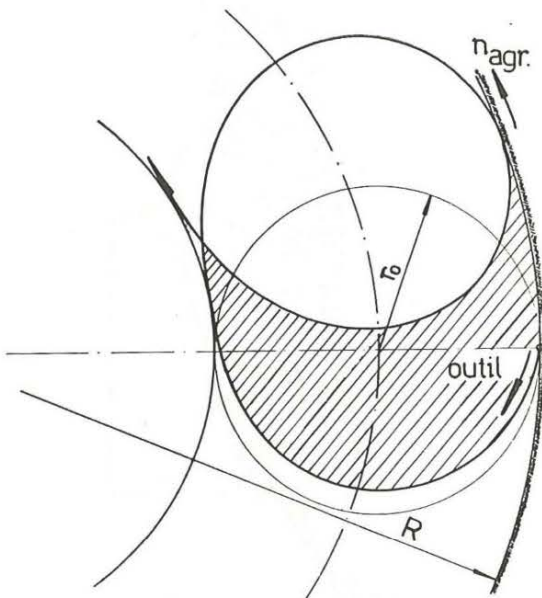


Fig. 3.

Mouvement hypocycloïdal des éléments des trépan sur le fond du trou.

lite — une trajectoire hypocycloïdale (fig. 2 et 3). Les trépan (rock-bits ou drag-bits suivant les caractéristiques de la roche) effectuent simultanément une rotation et un glissement par rapport au fond du trou.

Pour le forage rotatif normal, utilisant les outils drag-bits animés d'un simple mouvement de rotation on peut, en négligeant le déplacement axial, écrire les équations suivantes (fig. 4) :

$$\begin{aligned}
 x &= r_0 \cdot \cos \varphi = r_0 \cdot \cos \omega_0 \cdot t \\
 y &= r_0 \cdot \sin \varphi = r_0 \cdot \sin \omega_0 \cdot t \\
 \varphi &= \omega_0 \cdot t \\
 v_x &= \frac{dx}{dt} = -r_0 \cdot \omega_0 \cdot \sin \omega_0 \cdot t \\
 v_y &= \frac{dy}{dt} = r_0 \cdot \omega_0 \cdot \cos \omega_0 \cdot t
 \end{aligned}$$

d'où :  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = r_0 \cdot \omega_0$

En ce qui concerne le turboforage à grand diamètre (T.G.D.), les éléments des trépan se déplacent (fig. 2, 3) en décrivant une trajectoire hypocycloïdale [2] (fig. 3). Dans ce cas, les équations du mouvement sont les suivantes :

$$\begin{aligned}
 x &= R \cos \omega_a \cdot t + r_0 \cdot \cos [(\omega_0 - \omega_a) \cdot t] \\
 y &= R \sin \omega_a \cdot t + r_0 \cdot \sin [(\omega_0 - \omega_a) \cdot t]
 \end{aligned}$$

d'où :  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{R^2 \cdot \omega_a^2 + r_0^2 (\omega_0 + \omega_a)^2 + 2 R \cdot r_0 \cdot \omega_a (\omega_0 - \omega_a) \cdot \cos \omega_0 \cdot t}$

où :  $v$  = vitesse du mouvement hypocycloïdal

$\omega_o$  = vitesse angulaire de l'outil

$\omega_a$  = vitesse angulaire de l'agrégat ou tête de forage

$R$  = rayon de l'agrégat

$r_o$  = rayon de l'outil.

La grande latitude de choix des trépan d'une géométrie normale ou adaptée convenant aux terrains à traverser, donne théoriquement à ce système la possibilité de forer dans toutes les conditions géologiques sans trop de difficultés. En étudiant spécialement l'usure des outils, utilisés en T.G.D., on a constaté que la durée de vie est plus faible que lors du forage rotatif classique dans les mêmes conditions géologiques. Cette diminution de vie est à mettre au compte de l'usure par glissement au fond du trou dans le mouvement hypocycloïdal.

On a parfois utilisé en turboforage, pour la traversée de terrains tendres, des trépan drag-bits du type schématisé par la figure 5 et la figure 5a. Mais ces expériences ont été peu encourageantes et ont montré que seuls les rock-bits (tricônes molettés) adaptés aux terrains tendres donnaient satisfaction (fig. 5b).

Les tiges de forage Rotary classiques (6 5/8" et 5 9/16") sont employées pour les puits dont le diamètre ne dépasse pas 2 à 3 m. Pour les creusements à plus grande section, atteignant 600 à 700 m de profondeur, on utilise des tiges spéciales de 9 pouces.

Grâce à la présence d'une boue de forage dont les paramètres sont, suivant l'expérience des forages au pétrole, adaptés aux propriétés mécaniques des terrains traversés, aucun soutènement des parois n'est nécessaire jusqu'à ce que le creusement ait atteint sa profondeur finale. La circulation de la boue requiert la mise en œuvre de pompes généralement deux fois plus puissantes, toutes choses égales, que pour un turboforage aux diamètres usuels des sondages. Ces pompes doivent pouvoir débiter de 30 à 40 litres/s sous des pressions pouvant atteindre 200 à 300 kg/cm<sup>2</sup>, ce qui entraîne l'emploi de moteurs de 500 à 600 ch. Les pompes à boue de type U8-3 ou 4 MGR ou autres des spécifications russes GOST (ou similaires d'après les normes API) conviennent parfaitement.

Le tubage suit immédiatement le forage : les tubes (fig. 6), spécialement calculés dans chaque cas, sont descendus dans le puits suivant la même technique que dans les sondages Rotary. Les éléments de tubage sont soudés bout à bout et revêtus d'un enduit anti-corrosion, au fur et à mesure de la descente de la colonne. Ils sont pourvus de guides pour assurer la verticalité du tubage.

Après la descente de la colonne (dont l'épaisseur est de 20 mm environ), l'espace libre entre tubage et parois est cimenté au moyen du matériel usuel des forages pétroliers. Toutefois, il s'agit ici d'une cimentation par passes successives progressant de bas en haut : il faut donc attendre la prise d'une passe avant de cimenter

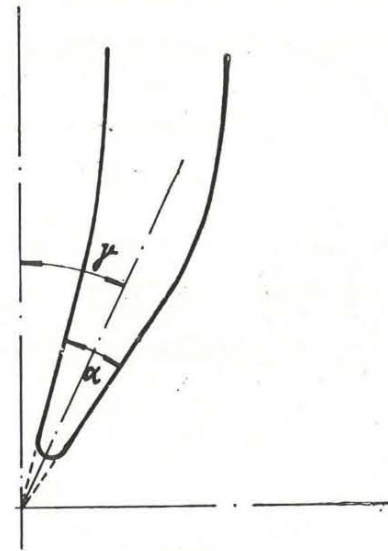


Fig. 5.  
Géométrie des trépan Drag-Bits convenant au turboforage à grand diamètre dans les terrains tendres : les angles recommandés :  $\gamma = 20^\circ$  —  $\alpha = 25^\circ$  ; écarts permis sur ces valeurs :  $\pm 11^\circ 30'$ .

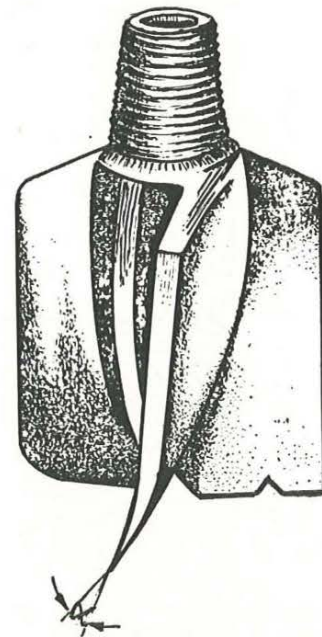


Fig. 5a.  
Drag-Bit.



Fig. 5b.  
Rock-Bit.





Fig. 6.

Les tubes spécialement calculés et fabriqués pour le tubage des puits. Photo prise sur le chantier Geologický Pruzkum, Ostrava (Tchécoslovaquie). Diamètre du puits 1800 mm.

la suivante. La hauteur maximale d'une passe est déterminée par la limite de tension de compression admissible sous l'effet de la différence des pressions régnant à l'intérieur et à l'extérieur du tubage. Si  $\Delta_p$  est la différence de pression admissible sur le tubage, il faut que (fig. 7)

$$\Delta_p \leq K [(P_{CE} + P_{BE}) - P_{BI}]$$

$$P_{CE} = H_{CE} \times \gamma_{CE}$$

pression hydrostatique due au lait de ciment

$$P_{BE} = H_{BE} \times \gamma_{BE}$$

pression hydrostatique extérieure due à la boue

$$K = \text{coefficient de sécurité}$$

$$P_{BI} = H_{BI} \times \gamma_{BI}$$

pression hydrostatique intérieure due à la boue.

Après achèvement de la cimentation, la colonne est vidée de la boue et l'on vérifie l'étanchéité du tubage. Les fuites éventuelles sont obturées par soudure.

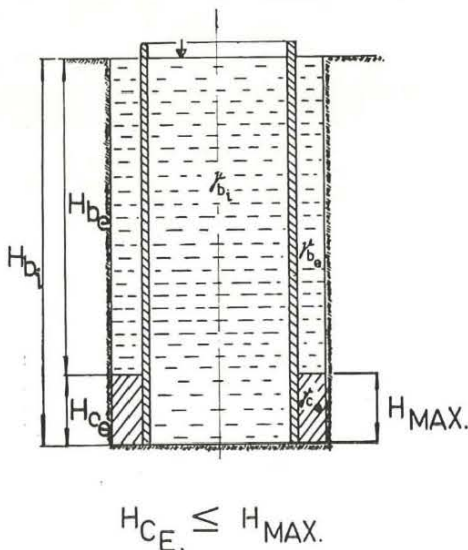


Fig. 7.

Schéma de cimentation des trous à grand diamètre.

Le turboforage à grand diamètre implique une étude préalable minutieuse : propriétés des roches à traverser, dimensionnement et choix de l'outillage, géométrie de la tête de forage, choix des paramètres de forage et de cimentation, etc...

Il permet des vitesses de creusement élevées qui varient évidemment avec la nature des roches traversées. Pour des grès dont la résistance à la compression simple est comprise entre 1000 et 1700 kg/cm<sup>2</sup>, des vitesses de forage de 1 à 5 mètres par heure ont été réalisées [5].

Le choix de la qualité des outils de forage et de leurs régimes de travail est déterminant. Des recherches doivent être poursuivies dans ce domaine, notamment par l'étude des propriétés mécaniques des roches. Nous pensons que les recherches entreprises sur l'abrasivité des roches au laboratoire d'Exploitation des Mines de la Faculté Polytechnique de Mons (Prof. L. Brison) apporteront une contribution utile à la solution des problèmes qui se posent encore [3].

À l'époque actuelle, il est possible de remplacer les turbines par des électroforeuses et, dans ce cas, s'ouvrent d'autres possibilités d'utilisation et d'application du système pour le creusement des puits et des galeries dans tous les types de roches.

La pression sur l'outil et le débit de boue sont calculables d'après les méthodes classiques utilisées en forage conventionnel. La vitesse de rotation des turbines dépend de leur construction : elle varie de 500 à 700 tours/min. Le couple de réaction résultant impose au train de tiges une vitesse de 12 à 60 tours/min dans des conditions de travail correctes.

Le turboforage à grand diamètre paraît particulièrement séduisant pour les sociétés qui possèdent un appareillage lourd de sondage pour la prospection pétrolière profonde (4000 à 5000 m) et qui utilisent couramment le turboforage. La possibilité d'utiliser des outils diamantés de construction spéciale n'est pas exclue pour la traversée de certaines assises. Il est à prévoir que le creusement de puits par turboforage, qui est encore en phase de développement, concurrencera avec succès les méthodes classiques de fonçage.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. BULLACH : Analyse de la cinématique des trépan à molettes (en russe - Moscou 1962).
- [2] SLADCEK J. : Analyse de la cinématique des trépan à lames pour le turboforage à grand diamètre (en tchèque - publication interne de la Société Geologický Pruzkum, Ostrava 1965).
- [3] L. BRISON - J. BRYCH : Abrasivité des roches (Revue de l'Industrie Minérale, France - à paraître fin 1969).
- [4] IOANESJAN : Théorie de forage à la turbine (en russe - Moscou 1960).
- [5] Rapport d'un stage des étudiants de l'Université d'Ostrava (Faculté Mines et Géologie), sur les chantiers de turboforage à grand diamètre en U.R.S.S. en 1960/61 (en tchèque - publication interne de l'Université d'Ostrava).