

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 530 825**

②1 N° d'enregistrement national :

**82 12733**

⑤1 Int Cl<sup>3</sup> : G 01 V 9/00; E 21 B 47/00, 47/10; E 21 D 9/00;  
E 21 F 17/00.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 21 juillet 1982.

③0 Priorité

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 4 du 27 janvier 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société Française de Stockage Géolo-  
gique « GEOSTOCK » (S.A.R.L.). — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Jean-Michel Noe et Bernadette Queyras.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Capri.

⑤4 Procédé de détection de zones perméables dans les travaux souterrains à l'avancement.

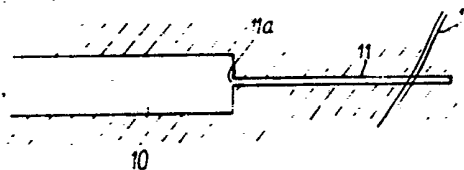
⑤7 On effectue un forage 11 à l'avancement dans le front de  
taille 11a de la galerie 10. Ensuite :

a. On amène la pression de l'eau dans le forage à une valeur  
différente de la pression d'équilibre;

b. On ferme l'entrée du forage et on laisse la pression  
revenir à la pression d'équilibre, en relevant les valeurs de la  
pression en fonction du temps;

c. On trace la courbe de la pression en fonction du temps  
et on la compare à un modèle théorique.

Les anomalies indiquent la présence d'une zone perméable  
12 située au voisinage du forage, mais ne le recoupant pas.



FR 2 530 825 - A1

## 1

La présente invention a pour objet un procédé permettant lors du creusement des galeries souterraines, de détecter des zones présentant une perméabilité supérieure à celle de l'environnement, comme par exemple des fissures ou des karsts.

Un des problèmes rencontrés dans le creusement des galeries souterraines est lié à la présence de l'eau. L'incident à redouter est une venue d'eau importante imprévue. Si la galerie est creusée dans un massif peu perméable, on risque de rencontrer une fissure dans laquelle l'eau peut s'écouler et venir inopinément inonder le chantier. Si le massif est perméable et imprégné d'eau, il y a un écoulement permanent régulier, et des mesures sont prises pour maîtriser l'écoulement : pompage de l'eau et injection de ciment. Le même risque existe de rencontrer une fissure provoquant brutalement une venue d'eau importante pour laquelle l'équipement n'est pas prévu.

Pour ces raisons, le procédé classique consiste à effectuer des forages à l'avancement. On se reporte à la figure 1 des dessins ci-joints qui représentent schématiquement en coupe une galerie horizontale 10. Il s'agit de l'application la plus fréquente, mais le procédé est général et est valable pour une galerie non horizontale. On creuse au moins un forage 11 en avant dans la direction de la galerie. Le forage peut avoir quelques centimètres de diamètre, et une longueur déterminée par le tracé de la galerie et les méthodes de creusement. Il correspond à la zone à reconnaître à l'avant des travaux et peut mesurer quelques dizaines de mètres. Si le forage rencontre une fissure 12, on observe une venue d'eau importante. La méthode usuelle consiste alors à injecter du ciment dans le forage de façon à colmater la fissure dans les régions voisines du forage. Il est alors possible de continuer le creusement de la galerie. Mais il se peut qu'une fissure située à proximité de ce forage ne le recoupe pas, et ce, même si l'on effectue plusieurs forages en différents points de la section. C'est alors une venue d'eau importante quand la galerie parvient à la fissure.

La présente invention a pour but de supprimer efficacement ce risque, en localisant les zones perméables (fissures, karsts) situées au voisinage d'un forage, mais ne le rencontrant pas. L'invention a donc pour objet de savoir à partir d'essais sur des forages à l'avancement, s'il y a une hétérogénéité en avant de la galerie, et de savoir où elle est.

Conformément à la présente invention, on procède de la façon suivante :

- a) on amène la pression de l'eau dans le forage à une valeur différente de la pression d'équilibre et on la maintient pendant une certaine période ;
- b) on ferme l'entrée du forage et on laisse la pression revenir à la pression d'équilibre, en relevant les valeurs de la pression en fonction du temps ;
- c) on trace la courbe de la pression en fonction du temps et on la compare à un modèle théorique, les anomalies indiquant la présence d'une zone perméable située au voisinage du forage, mais ne le recoupant pas.

Il est déjà connu de tracer des courbes de ce genre, en particulier pour déterminer les caractéristiques pétrophysiques d'un massif. (Voir en particulier la publication de Robert C. Earlougher 1977, Society of Petroleum Engineers of AIME, New York, Dallas, notamment le chapitre 5).

On peut tracer la courbe pendant la phase de changement de la pression, mais ce n'est pas indispensable, et selon l'invention, on trace la courbe pendant la période de retour à l'équilibre.

Dans un premier mode d'application de l'invention, pour amener la pression de l'eau dans le forage à une valeur différente de la pression d'équilibre, on procède à une injection d'eau dans le forage, à pression supérieure à la pression d'équilibre.

Dans un autre mode d'application de l'invention, pour amener la pression de l'eau dans le forage à une valeur différente de la pression d'équilibre, on laisse l'eau s'écouler hors du forage (production) pendant un certain temps.

Avantageusement, on trace la courbe de la pression en fonction du temps en prenant pour abscisse

$$\text{Log } \frac{t_0 + \Delta t}{\Delta t} \quad (\text{méthode dite de Horner})$$

- $t_0$  étant le temps pendant lequel on a maintenu la pression de l'eau dans le forage à une valeur différente de la pression d'équilibre (injection, production), et
- $\Delta t$  le temps mesuré à partir de l'arrêt de cette opération (injection, production).

La courbe théorique ayant dans ce cas une allure linéaire, une zone perméable voisine du forage, mais ne le recoupant pas, est signalée par amortissement de la courbe dans la période finale du retour à l'équilibre.

Conformément au premier mode d'application de la présente invention, on effectue les opérations suivantes :

- on place un obturateur à l'entrée du forage, l'obturateur étant muni d'un passage avec une vanne, et l'on met la vanne en position fermée ;
- on attend que la pression dans le forage soit stabilisée et on mesure cette pression qui est la pression statique du massif au niveau du forage ;
- on procède ensuite à une injection d'eau à débit constant pendant un temps déterminé de façon à faire monter la pression dans le forage ;
- puis on laisse redescendre la pression jusqu'au retour au voisinage de la pression d'équilibre (relaxation) en enregistrant la pression pendant ce retour à l'équilibre ;
- enfin on interprète la courbe obtenue de la pression en fonction du temps.

Si cette courbe présente une anomalie par rapport au profil théorique qui sera expliqué plus en détail ci-après, de la loi d'écoulement en régime transitoire par exemple sur un modèle radial circulaire, on en déduit que le massif présente une zone perméable, et la forme de l'anomalie permet de localiser la zone perméable.

Les temps d'injection et de relaxation sont à ajuster en fonction des caractéristiques du massif. A titre indicatif, l'injection peut durer de 15 à 30 mn et la relaxation de 30 à 60 mn.

En variante, selon le deuxième mode d'application de l'invention, il est possible de procéder à une production au lieu d'une injection : on laisse l'eau s'écouler pendant un temps du même ordre que précédemment ; puis on obture le forage et on laisse la pression remonter jusqu'à l'établissement de la pression d'équilibre dans le massif, en relevant les valeurs de la pression en fonction du temps, et l'on trace la courbe correspondante que l'on interprète dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Les pressions sont relevées avec précisions au moins pendant la dernière période (relaxation ou rétablissement de la pression) soit par un relevé continu, soit par des relevés à fréquence élevée.

D'autres caractéristiques de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif en regard des dessins ci-joints, et qui fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

Les dessins montrent :

Figure 1, une vue en coupe longitudinale schématique d'une galerie avec un forage à l'avancement, et avec une fissure recoupant le forage (coupe perpendiculaire au plan de la fissure) ;

figure 2, une vue en coupe d'un exemple d'un obturateur de forage ;

figure 3, une vue en coupe schématique de l'entrée d'un forage avec un obturateur installé ; et

figure 4, des graphiques représentant des courbes de relevés de la pression en fonction du temps.

L'obturateur 20 de la figure 2 comporte deux douilles 21, 22 coulissant l'une dans l'autre et pouvant comprimer entre elles, au moyen de deux épaulements 21a, 22a, un manchon de caoutchouc. Le serrage du caoutchouc est obtenu par un écrou 24 engagé sur un filetage de la douille 22. Le vissage de l'écrou provoque le serrage du caoutchouc, lequel étant incompressible se dilate extérieurement. Si dans un forage de section ronde on place un obturateur de dimension en rapport avec la section du forage, la dilatation du

caoutchouc provoque :

- 1) la fixation de l'obturateur, c'est-à-dire de la tubulure formée par la douille 22, et
- 2) l'étanchéité entre cette tubulure et la paroi du forage.

5 Sur la figure 3 on a représenté à plus grande échelle l'entrée 11a du forage avec un obturateur 20, qui peut être celui qui est décrit sur la figure 3. Il existe d'autres modèles, par exemple gonflables. L'obturateur peut être placé à par exemple 1 ou 2 mètres dans le forage, pour éviter  
10 le risque de fissuration du massif sous l'effet de la pression du caoutchouc. Pour compléter l'équipement, on ajuste sur la douille 22 un tube 25 avec une vanne 26 et un manomètre 27.

15 Les courbes de la figure 3, représentent des relevés de la pression en fonction du temps, plus précisément en fonction de

$$\text{Log } \frac{t_0 + \Delta t}{\Delta t}$$

Dans cette expression,

- $t_0$  représente la durée d'injection (courbes 1 et 2) ou de production (courbes 3 et 4), et
- $\Delta t$  est le temps mesuré à partir de l'arrêt de l'injection (courbes 1 et 2) ou à partir de l'arrêt de la production (courbes 3 et 4).

25 Avec les coordonnées choisies, le tracé est effectué de la droite vers la gauche et toutes les courbes se terminent au point (0,0) puisque avec  $\Delta t$  croissant

$$\frac{t_0 + \Delta t}{\Delta t}$$

30 tend vers 1 dont le logarithme est zéro. La pression zéro est la pression d'équilibre du massif  $P_e$ , vers laquelle tend la pression quand le forage est obturé et qu'il n'y a plus aucune intervention, par diffusion de l'onde de pression autour du forage.

Dans un massif homogène, dans le cas où il n'y a pas de zone très perméable aux abords du forage, la pression suit la loi d'écoulement en régime transitoire et modèle radial circulaire, comme cela est rappelé et expliqué en  
 5 détail dans l'ouvrage cité ci-dessus (R.C. Earlougher) :

$$\Delta_p = \frac{\mu Q}{4\pi Hk} Ei \left( - \frac{D^2}{4Kt} \right)$$

dans laquelle les différents symboles représentent :

- $\Delta_p$  : écart entre la pression statique  $P_e$  et la pression mesurée
- 10  $\mu$  : viscosité de l'eau
- $Q$  : débit de l'eau dans la phase initiale (jusqu'à  $t_1$  ou  $t_2$ )
- $H$  : longueur du forage
- $k$  : perméabilité du massif (en Darcy)
- $Ei (-)$  : fonction exponentielle intégrale
- 15  $D$  : rayon du forage
- $K$  : diffusivité hydraulique
- $t$  : temps

On interprète la relaxation en traçant la courbe de  $\Delta_p$  en fonction du logarithme du temps ; elle a alors l'allure  
 20 linéaire indiquée par la figure 3 (courbes 1 et 3).

S'il existe une zone à forte perméabilité (par exemple fissure ou karst) au voisinage du forage, mais ne le rencontrant pas, l'évolution de la pression instantanée sera comparable à celle observée précédemment tant que l'onde de  
 25 pression se propagera en milieu homogène ; c'est-à-dire au début des périodes d'injection (ou production) et relaxation (ou remontée en pression).

A partir de l'instant  $t_1$  où l'onde atteint l'hétérogénéité, on observe un amortissement de la pression (cf. figure 3).  
 30 Cet amortissement est net surtout pour la période de relaxation.

L'intervalle de temps  $\Delta t_1$  entre la fin de l'injection (ou production) et le début de l'amortissement en période de relaxation permet d'apprécier la distance de l'hétérogénéité  
 35 au forage.

Pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention, il n'est pas nécessaire de connaître les caractéristiques

du massif. On trace la courbe de la pression en fonction de

$$\text{Log } \frac{t_0 + \Delta t}{\Delta t}$$

dans les conditions expliquées ci-dessus. Si la courbe relevée  
 5 a une allure linéaire (1 ou 3), jusqu'à l'établissement de  
 la pression d'équilibre  $P_e$ , on peut en conclure qu'il n'y a  
 pas de zone anormalement perméable dans le massif (fissure  
 ou karst) ou au moins au voisinage du forage. Si par contre,  
 le tracé présente une inflexion (5, 6), après laquelle la  
 10 pente change sensiblement, on peut en conclure qu'il y a une  
 zone perméable au voisinage du forage. Ce changement de pente  
 correspond au moment où l'onde de pression rencontre l'hété-  
 rogénéité. Pour estimer la distance séparant la fissure du  
 forage, il faut déterminer les valeurs des paramètres du  
 15 terrain, notamment la perméabilité du massif et la diffusi-  
 vité hydraulique.

Ces paramètres peuvent être déjà connus ou peuvent  
 être déterminés à partir de la partie linéaire de la courbe  
 de relaxation. Connaissant le temps  $t_1$  mis par l'onde pour  
 20 atteindre l'hétérogénéité, la diffusivité hydraulique, on  
 détermine la distance du forage à l'hétérogénéité en suivant  
 par exemple une des méthodes décrites dans la publication  
 citée plus haut (Earlougher).

Le modèle courant est en général en transitoire sur  
 25 sur un modèle radial circulaire, mais dans certains contextes,  
 on pourrait envisager d'autres modèles.



REVENDEICATIONS :

- 1.- Procédé pour détecter des zones perméables, telles que des zones fissurées ou karstiques au voisinage des forages à l'avancement effectués pendant le creusement de galeries souterraines dans un massif, caractérisé par la succession des étapes suivantes :
- 5 a) on amène la pression de l'eau dans le forage à une valeur différente de la pression d'équilibre ;
- b) on ferme l'entrée du forage et on laisse la pression revenir à la pression d'équilibre, en relevant les valeurs de la pression en fonction du temps ;
- 10 c) on trace la courbe de la pression en fonction du temps et on la compare à un modèle théorique, les anomalies indiquant la présence d'une zone perméable (12) située au voisinage du forage, mais ne le recoupant pas.
- 15 2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour amener la pression de l'eau dans le forage à une valeur différente de la pression d'équilibre, on procède à une injection d'eau dans le forage, à pression supérieure à la pression d'équilibre, pendant un temps déterminé.
- 20 3.- Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'injection est effectuée à débit constant.
- 4.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour amener la pression de l'eau dans le massif à une valeur différente de la pression d'équilibre, on laisse l'eau s'écouler hors du forage (production), pendant un temps déterminé.
- 25 5.- Procédé selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on trace la courbe de la pression en fonction du temps en prenant pour abscisse  $\text{Log } \frac{t_0 + \Delta t}{\Delta t}$ ,  $t_0$  étant le temps mis pour amener la pression de l'eau dans le massif à une valeur différente de la pression d'équilibre (injection, production), et  $\Delta t$  le temps mesuré à partir de l'arrêt de cette opération (injection, production), le modèle
- 30 théorique ayant dans ce cas une allure linéaire, une zone perméable voisine du forage, mais ne le recoupant pas, est signalée par un amortissement de la période finale de la courbe.
- 35

1/2

Fig. 1

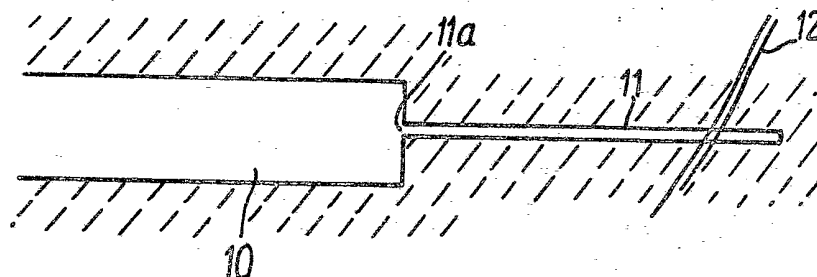
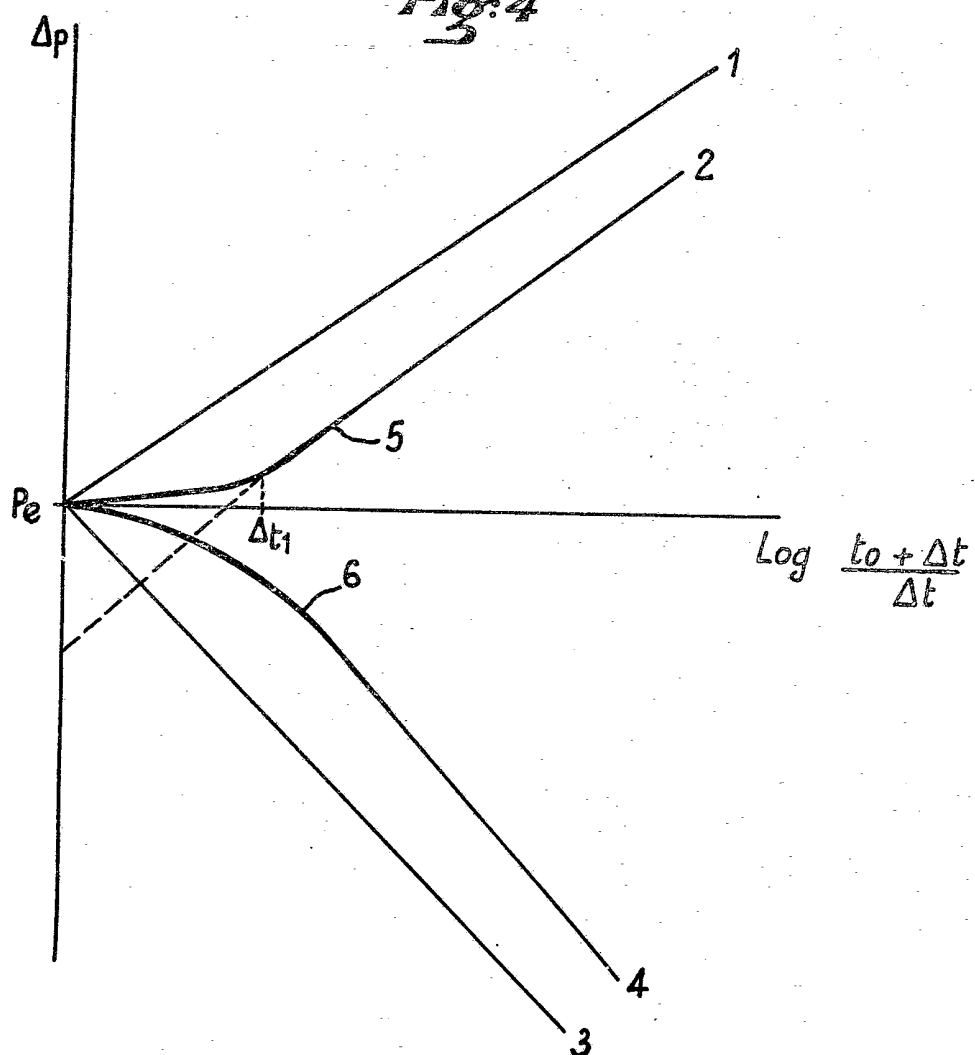
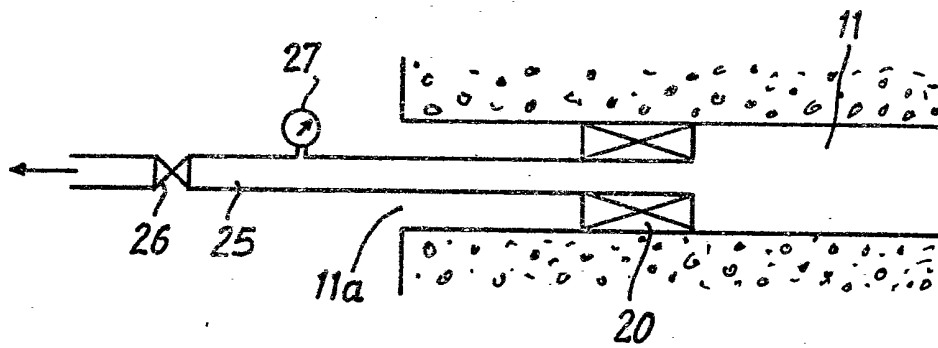


Fig. 4



*Fig. 3**Fig. 2*