

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

Numéro de dépôt: **90401465.1**

Int. Cl.⁵: **E21B 49/00, E21B 44/00**

Date de dépôt: **31.05.90**

Priorité: **31.05.89 FR 8907178**

Date de publication de la demande:
05.12.90 Bulletin 90/49

Etats contractants désignés:
AT BE DE ES FR GB IT

Demandeur: **SOLETANCHE**
6, rue de Watford
F-92005 Nanterre(FR)

Inventeur: **Hamelin, Jean-Pierre**
22, rue Escudier
F-92100 Boulogne(FR)

Inventeur: **La Fonta, Jean-Ghislain**
17, rue des Ecoles
F-75005 Paris(FR)

Inventeur: **Mabille, Claude**
29, rue de la Noise
F-92140 Clamart(FR)

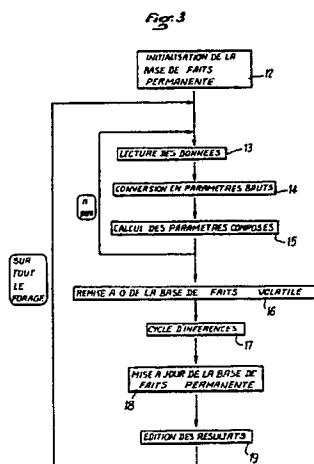
Inventeur: **Amaudric du Chaffaut, Benoît**
22, rue du Pré sous la Ferme
F-78960 Voisins le Bretonneux(FR)

Mandataire: **Nony, Michel et al**
Cabinet NONY & CIE, 29, rue Cambacérès
F-75008 Paris(FR)

Procédé de caractérisation d'une couche de terrain.

L'invention est relative à un procédé de caractérisation d'une couche de terrain, et notamment de détermination de sa stratigraphie.

On exécute un forage dans ce terrain on relève au cours du forage un certain nombre de paramètres bruts dont au moins la profondeur atteinte, suivant un protocole d'échantillonnage prédéterminé, on numérise ces paramètres, on introduit les paramètres ainsi numérisés dans une base de faits volatile contenue dans une mémoire d'une unité de traitement contenant également une base de faits permanente, une base de règles et un moteur d'inférence, pour au moins certains cycles d'échantillonnage on déclenche un cycle d'inférence du moteur d'inférence utilisant la base de faits volatile, la base de faits permanente et la base de règles pour en déduire le type de terrain traversé par le forage, on ajoute a la base de faits permanente au moins le type de terrain ainsi inféré associé à sa profondeur, et on remet à zéro la base de faits volatile.



Procédé de caractérisation d'une couche de terrain.

La présente invention concerne un procédé de caractérisation d'une couche de terrain.

On connaît déjà de tels procédés dans lesquels on effectue un forage et l'on relève un certain nombre de paramètres de ce forage tels que la pression du fluide de perforation, le couple de rotation, la poussée exercée sur l'outil, la vitesse d'avance, la vitesse de rotation de l'outil, ou les vibrations de la tige, soit en fonction du temps, soit en fonction de la profondeur.

A partir de ces paramètres ou de combinaisons de ces paramètres, un spécialiste peut attribuer certaines caractéristiques au terrain traversé, par exemple définir les paramètres d'une injection qui sera effectuée ultérieurement, ou même avoir une idée relativement précise du type de ce terrain.

Une telle analyse ne peut toutefois pas être effectuée en temps réel sur le lieu même du forage, de sorte que si ces résultats sont utiles en eux-mêmes pour la caractérisation du terrain, et notamment pour la connaissance de sa stratigraphie, ils ne peuvent être utilisés en particulier pour la conduite même du forage, que ce soit par le foreur ou par un automate qui lui serait substitué.

La présente invention vise à pallier ces inconvénients.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de caractérisation d'une couche de terrain et notamment de détermination de sa stratigraphie, caractérisé par le fait que l'on exécute un forage dans ce terrain, que l'on relève au cours du forage un certain nombre de paramètres bruts dont au moins la profondeur atteinte, suivant un protocole d'échantillonnage prédéterminé, que l'on numérise ces paramètres, que l'on introduit les paramètres ainsi numérisés dans une base de faits volatile contenue dans une mémoire d'une unité de traitement contenant également une base de faits permanente, une base de règles et un moteur d'inférence, que pour au moins certains cycles d'échantillonnage on déclenche un cycle d'inférence du moteur d'inférence utilisant la base de faits volatile, la base de faits permanente et la base de règles pour en déduire le type de terrain traversé par le forage, que l'on ajoute à la base de faits permanente au moins le type de terrain ainsi inféré associé à sa profondeur, et que l'on remet à zéro la base de faits volatile.

On connaît bien entendu déjà de nombreux systèmes experts utilisant une base de connaissances, une base de règles, et un moteur d'inférence pour simuler l'expertise d'un spécialiste.

On notera toutefois que l'une des caractéristiques essentielles de l'invention consiste à effectuer successivement une série de cycles d'inférence utilisant comme base de connaissances, d'une part un certain nombre de faits permanents et d'autre part des faits volatils qui ne sont conservés dans la base de connaissances que le temps d'un cycle et qui sont constitués au moins par certains des paramètres bruts échantillonnés.

D'autre part, selon une autre caractéristique essentielle, la partie permanente de la base de connaissances, à savoir la base de faits permanente, s'enrichit à chaque cycle d'inférence du terrain inféré à ce cycle, de sorte que, lors du cycle suivant, la base de connaissances comprend notamment toute la stratigraphie du terrain se trouvant au-dessus de la profondeur actuelle du forage.

L'échantillonnage des paramètres de forage peut être effectué soit à intervalles de temps prédéterminés, soit à intervalles de profondeur prédéterminés.

L'avantage d'échantillonner en fonction du temps est de permettre un bon contrôle des opérations de forage, y compris pendant les phases de changement de tige, et pendant les manoeuvres.

Par contre, l'inconvénient est que la quantité de données à stocker n'est pas a priori bornée supérieurement et peut par conséquent devenir extrêmement importante.

Par contre, l'échantillonnage en fonction de la profondeur permet de mieux restituer dans l'espace les informations acquises.

On a déjà vu que dans la base de faits permanente, les types de terrain précédemment traversés par le forage sont stockés associés à leur profondeur.

Selon une autre caractéristique importante de l'invention, tous les faits de la base de faits permanente sont associés à un intervalle de profondeur.

Ceci signifie que tous les faits permanents sont affirmés, et par conséquent vrais sur tout un intervalle de profondeur, alors que les faits volatils ne sont vrais que pour la profondeur correspondant au cycle d'inférence en cours.

On peut en outre prévoir d'introduire dans la base de faits volatile, outre les paramètres bruts, au moins un paramètre composé obtenu par traitement numérique de certains des paramètres bruts.

L'édition des sorties, c'est-à-dire au moins du terrain traversé par le forage, ainsi éventuellement que certains des paramètres bruts ou composés, peut se faire par exemple sur un écran ou sur une imprimante.

Mais les sorties peuvent également être utilisées en temps réel, par exemple par un automate en vue d'optimiser le forage.

Les sorties peuvent également déclencher certaines alarmes ou éventuellement interrompre le forage.

On décrira maintenant à titre d'exemple non limitatif un mode de réalisation particulier de l'invention en référence aux dessins schématiques annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue d'ensemble d'une machine de forage permettant de mettre en oeuvre le procédé selon l'invention,
- la figure 2 est un organigramme général de ce procédé,
- la figure 3 est un organigramme des opérations effectuées par l'unité de traitement, et
- la figure 4 montre un résultat obtenu à l'aide du procédé.

La machine 1 de la figure 1 comporte une tête de forage 2 assurant de façon connue l'entraînement en rotation du train de tiges 3 et l'injection du fluide de forage dans ces tiges. Un outil de forage 4 est monté à la partie inférieure du train de tiges 3.

La tête de forage 2 est reliée à un dispositif de mesure de la profondeur du forage et de la vitesse d'avance par un câble 5 passant sur une poulie de renvoi 6. Entre la tête de forage 2 et le train de tiges 3 est intercalé un dispositif de mesure électronique 7 relié par un câble non représenté à une unité de traitement 8.

Le dispositif 7 peut être du type décrit dans la demande de brevet français N°89.01624 ou, en variante, être remplacé par une boîte de capteurs de pression hydraulique connectée sur les circuits hydrauliques de la machine 1.

A titre d'exemple, le dispositif de mesure 7 peut relever la pression du fluide de perforation, le couple de rotation, la poussée exercée sur l'outil ainsi que les vibrations du train de tiges.

Ces paramètres, ainsi que la vitesse d'avance sont mesurés à chaque pas de profondeur, par exemple tous les 5mm.

Si on se réfère maintenant à la figure 2, on voit que le terrain 9 dans lequel est effectué le forage exerce certains efforts sur l'outil de forage 4. Ces efforts sont repris par la machine de forage 1 qui imprime à l'outil une certaine poussée et un couple de rotation, et qui fournit en outre le fluide de perforation sous pression.

Il en résulte un certain nombre de paramètres de forage qui sont détectés par les capteurs du dispositif 7 relié, par l'intermédiaire d'un boîtier d'acquisition 10 où s'effectuent l'échantillonnage et la numérisation, à l'unité de traitement 8, laquelle est reliée à tout moyen d'entrée/sortie 11 tel qu'une imprimante.

Si l'on se réfère maintenant à la figure 3 on voit que l'unité de traitement 8 commence en 12 à initialiser la base de faits permanente préalablement au début du forage. Cette initialisation s'effectue soit à partir d'une mémoire, soit directement par l'opérateur.

On voit ensuite que le programme se déroule selon deux cycles imbriqués. Le premier cycle est effectué tout les n pas de saisie, alors que le cycle extérieur est effectué sur toute la profondeur du forage.

Le premier cycle consiste tout d'abord à lire en 13 les données fournies par le boîtier d'acquisition, puis à traiter ces données pour les convertir en paramètres bruts en 14, et à combiner ensuite éventuellement certains de ces paramètres bruts pour obtenir des paramètres composés en 15.

Les paramètres composés peuvent être soit des combinaisons algébriques de certains des paramètres bruts, soit des valeurs lissées de ces paramètres sur les n pas.

Tous les n pas, la base de faits volatile est remise à zéro en 16, puis sont introduits les paramètres bruts et les paramètres composés choisis qui constituent les faits volatils en question.

En 17 le moteur d'inférence de l'unité de traitement effectue un cycle d'inférence d'où il déduit notamment le type de terrain qui vient d'être traversé.

En 18 la base de faits permanente est mise à jour en y ajoutant le type de terrain trouvé ainsi que la profondeur, et les résultats sont édités en 19.

On constate par conséquent que la base de faits volatile contient des valeurs de paramètres bruts et de paramètres composés uniquement valables pour un cycle d'inférence, à savoir le cycle qui se déroule à la profondeur atteinte par le forage.

Par contre la base de faits permanente comprend au moins tous les terrains trouvés aux cycles d'inférence précédents associés à leur profondeur.

Le tableau 1 ci-après définit une configuration particulière qui a été utilisée lors d'un forage ayant conduit aux résultats montrés à la figure 4.

Les paramètres bruts sont ceux qui ont été mentionnés ci-dessus, le couple de rotation ainsi que la poussée et la retenue exercée sur l'outil étant mesurés sous forme de pressions dans les circuits hydrauliques de la machine 1.

La définition des paramètres composés vise à obtenir le paramètre P13 qui est la valeur lissée sur dix pas du carré de la valeur absolue de la différence de poussée entre deux pas successifs.

Les sorties consistent en l'impression graphique des paramètres de pression et de poussée ainsi que

du paramètre P13, et en l'impression graphique et alphanumérique du terrain traversé tel qu'il est déterminé par le système expert.

Le tableau 2 montre les faits de la base de faits permanente.

Les faits du type AFF = "type de terrain" signifient qu'il y a lieu d'afficher, c'est-à-dire d'éditer sur l'imprimante ou sur l'écran, ce type de terrain.

Enfin le tableau 3 énonce les règles de la base utilisée.

On voit que ces règles sont du type :

		Si	i
10	et	Si	j
	et	Si	k
			
15		Alors	l
	et	Alors	m
	et	Alors	n
20			

dans lesquelles i,j, k,..., l,m,n... sont soit des faits de la base de faits permanente, soit des faits de la base de faits volatile.

On constate en outre qu'à chaque règle peut être affecté un ordre de priorité déterminant, dans le cas où deux règles peuvent être mises en oeuvre simultanément (c'est-à-dire dans le cas où les prémices de chacune sont toutes vraies), l'ordre dans lequel ces règles doivent être mises en oeuvre.

L'homme de métier pourra, à partir de la description qui précède et du présent exemple, écrire le logiciel informatique permettant d'obtenir le résultat représenté à la figure 4.

Cette figure représente en fonction de la profondeur la pression du fluide de perforation, la poussée exercée sur l'outil, le paramètre P13 ainsi que les types de terrains successivement rencontrés au cours du forage.

Diverses variantes et modifications peuvent bien entendu être apportées à la description qui précède sans sortir pour autant du cadre ni de l'esprit de l'invention.

Ce procédé est utilisable dans différents domaines du Génie Civil, tels que la reconnaissance de sol, le pilotage d'injection automatique ou la détermination du niveau d'ancrage des pieux et tirants.

TABLEAU 1

5	DEFINITION DES PARAMETRES DE FORAGE			
		NOM	VALEUR MAXIMUM	UNITE
10	P0	PROFONDEUR	0.005	m
	P1	PRESSION	35	bar
	P2	COUPLE	150	bar
	P3	POUSSEE	150	bar
	P4	AVANCE	1200	m/h
	P5	ROTATION	500	Hz
	P6	RETENUE	150	bar
	P7	VIBRATIONS	250	g
15	P8	TEMPS	8	s
20	DEFINITION DES PARAMETRES COMPOSES			
	NOM	DEFINITION		
25	P9	P10		
	P10	P3		
	P11	ABS(P10-P9)		
	P12	P11*P11		
	P13	Lissage de P12 sur 10 pas		
30	DEFINITION DES SORTIES			
		NOM	UNITE	ECHELLE
	1 G P1	PRESSION	Bar	10
	2 G P3	POUSSEE	bar	100
	3 S P13			100
35	4 X SYSTEME EXPERT			
	Echelle verticale 1/100.			

TABLEAU 2

FAITS DE LA BASE

- 45 FAIT N° 01 : AFF < > ALLUVIONS
 FAIT N° 02 : AFF = ALLUVIONS
 FAIT N° 03 : AFF = ARGILE
 FAIT N° 04 : AFF = CALCAIRE
 50 FAIT N° 05 : AFF CARRIERE_REMBLAYEE
 FAIT N° 06 : AFF = MARNES_ET_CAILLASSES
 FAIT N° 07 : AFF < > REMBLAI
 FAIT N° 08 : AFF = REMBLAI
 FAIT N° 09 : AFF = SABLE_DE_BEAUCHAMP
 55 FAIT N° 10 : P1 = 0
 FAIT N° 11 : P1 > 0
 FAIT N° 12 : P13 < 1
 FAIT N° 13 : P13 > 1

EP 0 401 119 A1

	FAIT N° 14 : P8 < 1
	FAIT N° 15 : P8 > 1
	FAIT N° 16 : PROF < 2
	FAIT N° 17 : PROF < 10
5	FAIT N° 18 : PROF > 10
	FAIT N° 19 : PROF < 20
	FAIT N° 20 : PROF > 20
	FAIT N° 21 : SITE = PARIS **vrai sur tout le forage**
	FAIT N° 22 : TERRAIN < > CALCAIRE
10	FAIT N° 23 : TERRAIN = DEBRIS
	FAIT N° 24 : TERRAIN = FORMATION__COMPACTE
	FAIT N° 25 : TERRAIN = REMBLAI
	FAIT N° 26 : TERRAIN < > SABLE
	FAIT N° 27 : TERRAIN__TROUVE = ALLUVIONS*PROF>5
15	FAIT N° 28 : TERRAIN__TROUVE = SABLE__DE__BEAUCHAMP

TABLEAU 3

20
REGLES DE LA BASE

25

30

35

40

45

50

55

Règle numéro 1 (ordre de priorité = 1) :

5 Si P1 = 0
Et Si PROF < 20

10 Alors TERRAIN < > SABLE
Et Alors TERRAIN < > CALCAIRE
Et Alors TERRAIN = DEBRIS

15 Règle numéro 2 (ordre de priorité = 1) :

20 Si TERRAIN = DEBRIS
Et Si P13 < 1

25 Alors AFF = ALLUVIONS

Règle numéro 3 (ordre de priorité = 1) :

30 Si TERRAIN = DEBRIS
Et Si P13 < 1

35 Alors AFF = REMBLAI

Règle numéro 4 (ordre de priorité = 1) :

40 Si P1 > 0

ALors TERRAIN = FORMATION_COMPACTE

45 Règle numéro 5 (ordre de priorité = 1) :

50

55

```

    Si TERRAIN = FORMATION_COMPACTE
    Et    Si P8 > 1

5      Alors AFF = MARNES_ET_CAILLASSES

Règle numéro 6      (ordre de priorité = 1) :
10
    Si PROF > 20
    Et    Si P1 = 0

15      Alors AFF = CARRIERE_REMBLAYEE

Règle numéro 7      (ordre de priorité = 1) :
20
    Si P8 < 1
    Et    Si TERRAIN = FORMATION_COMPACTE
25    Et    Si PROF < 10

    Alors AFF = SABLE_DE_BEAUCHAMP
30
)
Règle numéro 8      (ordre de priorité = 1) :

    Si P8 < 1
35    Et    Si TERRAIN = FORMATION_COMPACTE
    Et    Si PROF > 10
;

40      Alors AFF = CALCAIRE

Règle numéro 9      (ordre de priorité = 3) :
45
)
    Si TERRAIN_TROUVE = ALLUVIONS*PROF>5
    Et    Si AFF = REMBLAI

50      Alors AFF < >REMBLAI
5 Et    Alors AFF = ALLUVIONS

55      Règle numéro 10      (ordre de priorité = 3) :

```

```

5          Si PROF < 2
          Et  Si AFF = ALLUVIONS

          Alors AFF < > ALLUVIONS
          Et  Alors AFF = REMBLAI
10

          Règle numéro 11      (ordre de priorité = 3) :

15          Si AFF = ALLUVIONS
          Et  Si TERRAIN_TROUVE = SABLE_DE_BEAUCHAMP

          Alors AFF < > ALLUVIONS
20          Et  Alors AFF = SABLE_DE_BEAUCHAMP

```

Revendications

1. Procédé de caractérisation d'une couche de terrain, et notamment de détermination de sa stratigraphie, caractérisé par le fait que l'on exécute un forage dans ce terrain, que l'on relève au cours du forage un certain nombre de paramètres bruts dont au moins la profondeur atteinte, suivant un protocole d'échantillonnage prédéterminé, que l'on numérise ces paramètres, que l'on introduit les paramètres ainsi numérisés dans une base de faits volatile contenue dans une mémoire d'une unité de traitement contenant également une base de faits permanente, une base de règles et un moteur d'inférence, que pour au moins certains cycles d'échantillonnage on déclenche un cycle d'inférence du moteur d'inférence utilisant la base de faits volatile, la base de faits permanente et la base de règles pour en déduire le type de terrain traversé par le forage, que l'on ajoute à la base de faits permanente au moins le type de terrain ainsi inféré associé à sa profondeur, et que l'on remet à zéro la base de faits volatile.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on effectue l'échantillonnage à intervalles de temps prédéterminés.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on effectue l'échantillonnage à intervalles de profondeur prédéterminés.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que tous les faits de la base de faits permanente sont associés à un intervalle de profondeur.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que l'on introduit dans la base de faits volatile, outre les paramètres bruts, au moins un paramètre composé obtenu par traitement numérique de certains des paramètres bruts.

Fig. 1

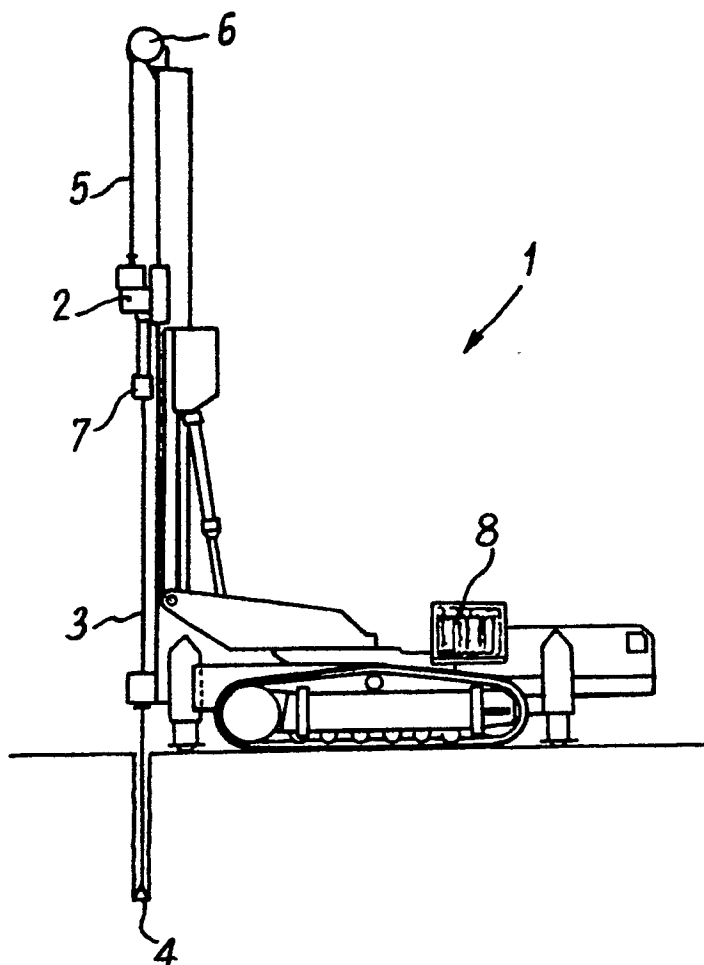


Fig. 2

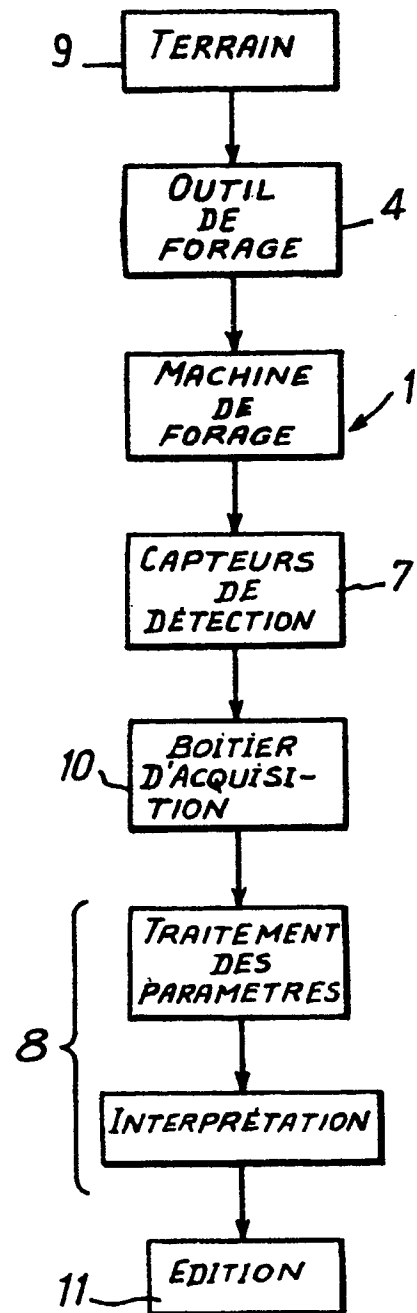
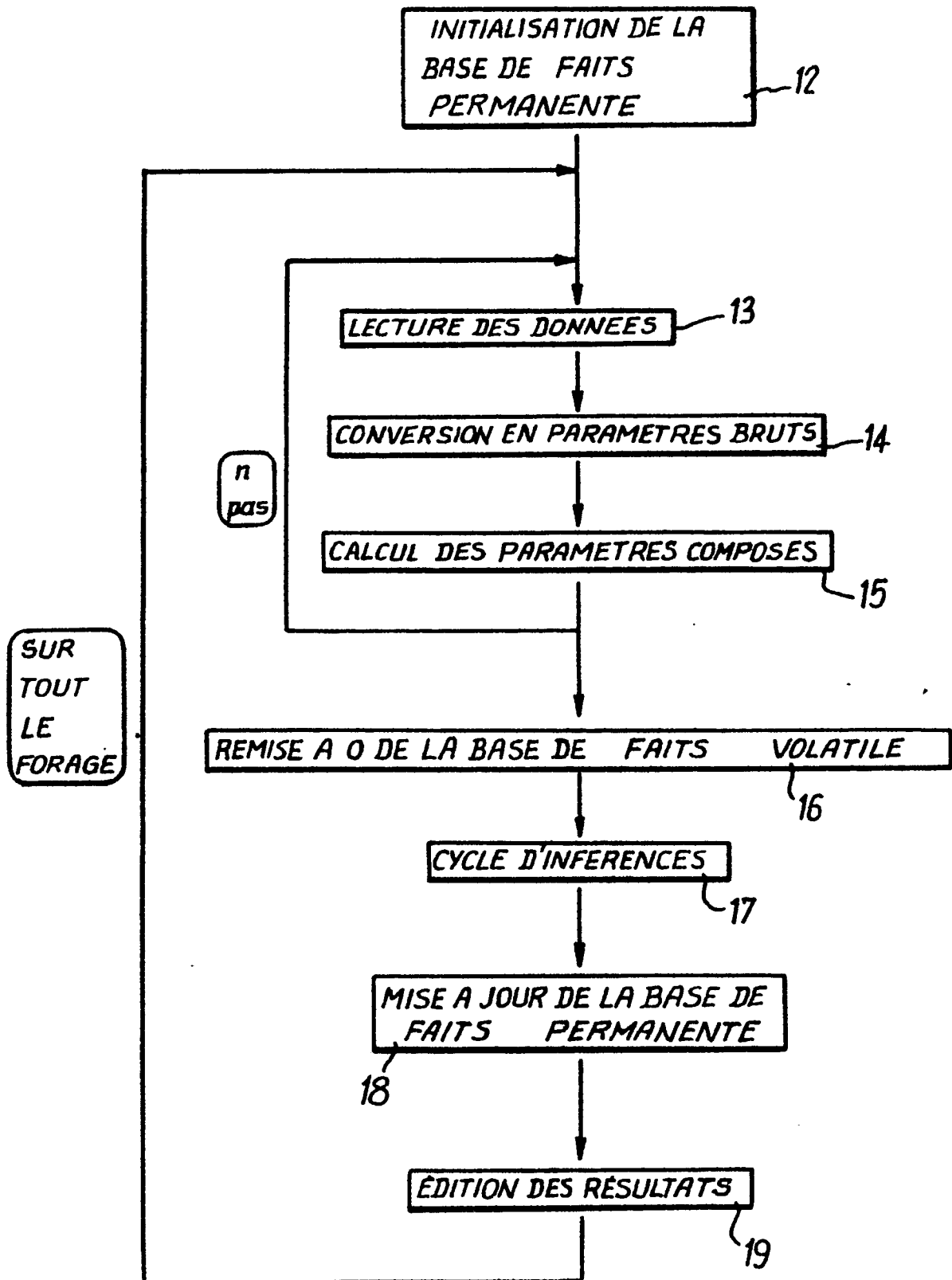
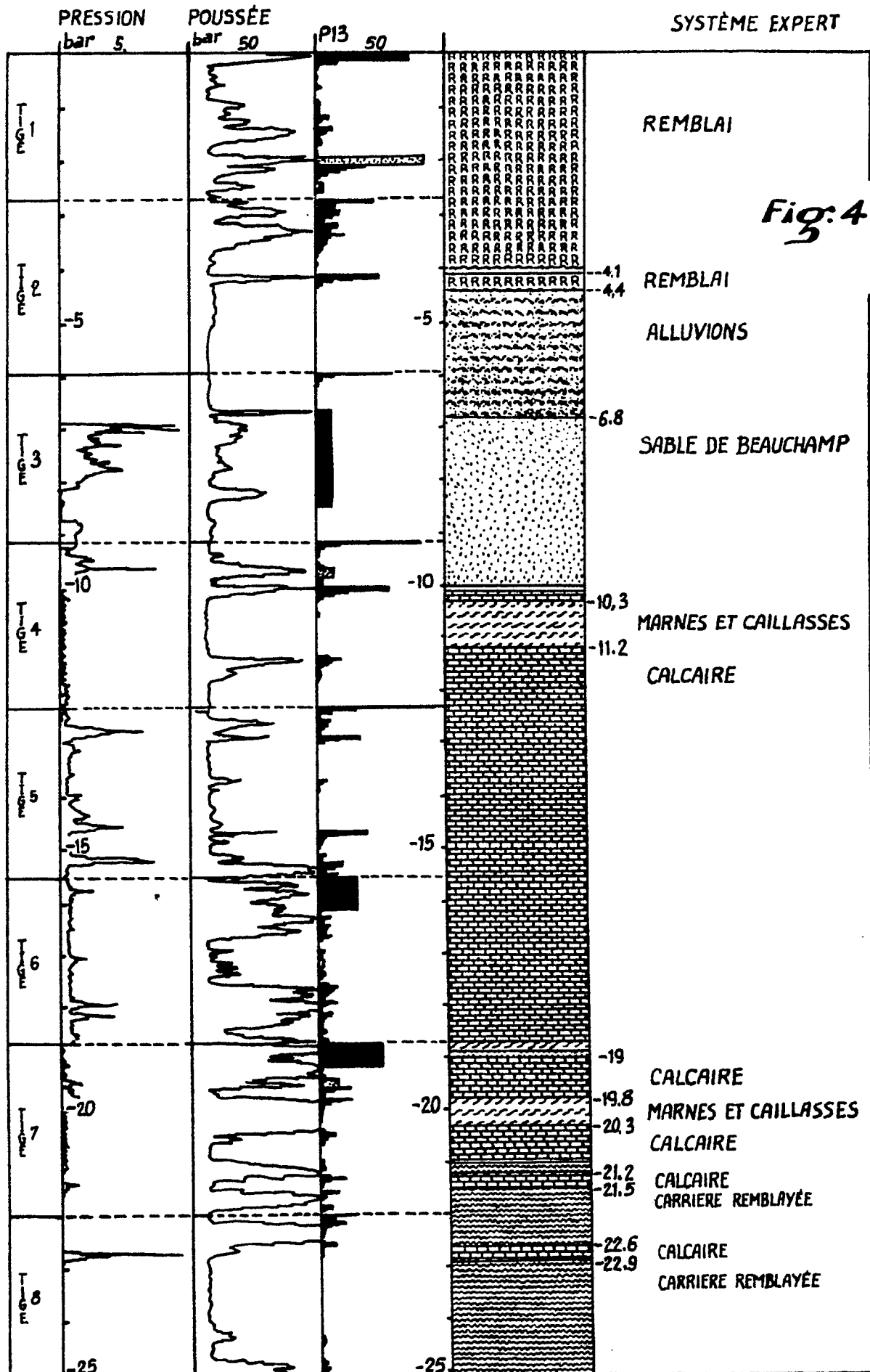


Fig. 3







Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 90 40 1465

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
X	EP-A-0 293 767 (EXPLORATION LOGGIN, INC.) * Figure 4; page 5, lignes 14-26; page 9, lignes 45-49 *	1-5	E 21 B 49/00 E 21 B 44/00
X	EP-A-0 101 158 (ENERGY OPERATION CORP.) * Résumé *	1-5	
A	US-A-3 752 966 (FOY) * Revendication 4 *	1-5	
A	US-A-4 407 017 (ZHILIKOV) * Colonne 13, lignes 5-17 *	1-5	
A	EP-A-0 168 996 (PRAD) * En entier *	1-5	
A	GB-A-2 164 744 (NL INDUSTRIES INC.) * Résumé *	1-5	
A	US-A-4 064 749 (PITTMAN) * Colonne 5, ligne 24 - colonne 6, ligne 8 *	1-5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5) E 21 B
A	US-A-3 916 684 (RUNDELL) * En entier *	1-5	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 20-08-1990	Examineur SOGNO M.G.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			