

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 – 45 Orléans (02) – Tél.: (38) 66.06.60

Mesures des vitesses verticales de circulation de l'eau dans les forages

Emploi du micromoulinet

par

Ph. DAGUE et H. GALLE-CAVALLONI



Département HYDROGÉOLOGIE

Service Hydrométrie

B.P. 6009 – 45 Orléans (02)

Tél.: (38) 66.06.60

71 SGN 210 HYD

Avril 1971

R E S U M E

La mesure de la vitesse verticale de circulation de l'eau dans les forages à l'aide de micromoulinets spécialement adaptés est une technique qui a fait ses preuves et est actuellement opérationnelle.

Le principe de la mesure est simple, mais sa mise en oeuvre requiert la présence d'une équipe de techniciens préparés à répondre à tous les aléas des chantiers et à la très grande diversité des problèmes posés.

L'interprétation des mesures conduit à la mise en évidence qualitative et quantitative des zones où se font les échanges d'eau entre le forage et le terrain aquifère. On en déduit la contribution de chaque niveau à la production totale de l'aquifère et le plan de crépinage de l'ouvrage peut être adapté exactement à la perméabilité des terrains rencontrés.

Le Service d'hydrométrie du Département d'hydrogéologie avec l'appui du département Géophysique dispose d'un micromoulinet de forage NEYRPIC, d'un diamètreur, des appareils enregistreurs adéquats. Il est susceptible dans presque tous les cas de fournir une mesure de la vitesse verticale de l'eau dans les forages.

T A B L E

RESUME

INTRODUCTION

1 . PRINCIPE DE LA MESURE

2 . THEORIE DE LA MESURE-EXEMPLES

3 . EQUIPEMENT ACTUEL DU SERVICE HYDROMETRIE

4 . PRATIQUE DES MESURES

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

Table des illustrations

Fig. n° 1 - Planche 1 : Exemple 1

Fig. n° 2 : Exemple de détermination du sens de circulation de l'eau

Fig. n° 3 - Planche 3 : Exemple 2

Fig. n° 4 - Planche 4 : Exemple 3

Fig. n° 5 - : Exemple 4

Fig. n° 6 - Equipement du Service hydrométrie et du département Géophysique

Fig. n° 7 - Dispositif de mesure

ANNEXES n° 1 - Diagraphie et équipement des forages d'exploitation d'eau

n° 2 - Mesures au micromoulinet dans un forage

n° 3 - Détail du micromoulinet

n° 4 - Type d'imprimé des mesures de vitesse verticale de l'eau

INTRODUCTION

Dans de nombreux cas, l'hydrogéologue se contente d'une approche globale de la connaissance de la perméabilité des terrains étudiés. En effet, un simple pompage d'essai ne donne par l'intermédiaire de la transmissivité qu'une perméabilité moyenne rapportée à l'épaisseur totale d'aquifère plus ou moins productif.

Les couches aquifères réelles sont pourtant le plus souvent trop peu homogènes, surtout verticalement, pour que la conception d'une perméabilité moyenne ne soit pas largement -parfois excessivement- simplificatrice. On sait qu'en fait ces couches se composent de strates élémentaires de perméabilités propres souvent très différentes et que quelques "strates conductrices privilégiées" (1) peuvent accaparer la transmissivité de l'ensemble. Dans beaucoup de cas la recherche des paramètres des couches aquifères par l'interprétation des données acquises par des pompages d'essai oblige à tenir compte de cette constitution, qu'il faut donc pouvoir décrire pour choisir à bon escient le "modèle" d'interprétation le plus adéquat (2). Cette description se base naturellement d'abord sur l'observation des données géologiques (log lithologique) d'un forage, complétées par diverses diagrapies. Mais l'emploi d'une technique de mesure hydrométrique présente le grand avantage de fournir une donnée directement liée aux caractères hydrodynamiques du terrain. L'"hydrométrie de forage" peut donc contribuer très efficacement à décrire la constitution d'une couche aquifère et à repérer l'existence et la position de strates privilégiées.

De plus, en pratique, faute de moyens appropriés, l'hydrogéologue ne peut généralement pas aider le foreur à localiser ces niveaux avec assez de précision pour équiper l'ouvrage dans les meilleures conditions. De même, la mise en production dans un même ouvrage de plusieurs nappes ou d'aquifères multiples pose des problèmes de communications entre niveaux aquifères qui ne peuvent être résolus simplement sur le chantier à l'aide des outils mis classiquement à la disposition des hydrogéologues.

Le micromoulinet destiné à mesurer la vitesse verticale de circulation de l'eau dans les forages est un outil qui permet de combler dans de nombreux cas cette lacune.

La présente notice a pour but de démontrer que la mise en oeuvre du micromoulinet est une opération des plus nécessaires et des plus rentables puisqu'elle permet de repérer les zones productrices des aquifères, d'adapter le plan de crépinage à la circulation réelle des eaux et d'éviter d'équiper en pure perte des zones reconnues stériles.

-
- (1) cf. rapport DS 63 A 18 : "Essai de puits. Interprétation nappe libre avec strate conductrice d'eau privilégiée" par E. BERKALOFF
- (2) cf. rapport 69 SGL 293 HYD : "Interprétation des données des pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. Aide mémoire par J. FORKASIEWICZ

1. PRINCIPE DE LA MESURE

On mesure la vitesse verticale de circulation de l'eau à une profondeur donnée de l'ouvrage à l'aide d'une hélice qui transmet des impulsions proportionnellement à sa vitesse de rotation. Ces impulsions transmises à la surface sont totalisées en fonction du temps par un compteur totalisateur d'impulsions.

L'étalonnage connu de l'hélice permet de restituer en fonction de sa vitesse de rotation la vitesse réelle de circulation de l'eau. Cette vitesse rapportée à la section détermine le débit. La section du forage est mesurée à l'aide d'un autre appareil appelé diamètreur, indispensable pour déterminer dans la zone des mesures un profil continu du forage. Ce profil est enregistré sur un graphique à l'échelle souhaitée.

2. THEORIE DE LA MESURE

Deux exemples illustrés par les planches 1 et 3 permettent d'expliquer la théorie de la mesure. Dans les deux cas, pour simplifier l'exposé, on supposera le diamètre du forage rigoureusement constant pour ne pas faire intervenir le calcul de la section.

- Exemple 1 : forage au repos avec une zone aquifère surmontée d'une zone imperméable et d'une zone absorbante (fig. 1).

L'enregistrement est réalisé dans le trou nu, c'est-à-dire dépourvu de tubages ou de crépines (fig. 1 a).

Le micromoulinet descendu au fond et les vitesses sont enregistrées en remontant, l'appareil étant arrêté tous les 50 cm pour la mesure.

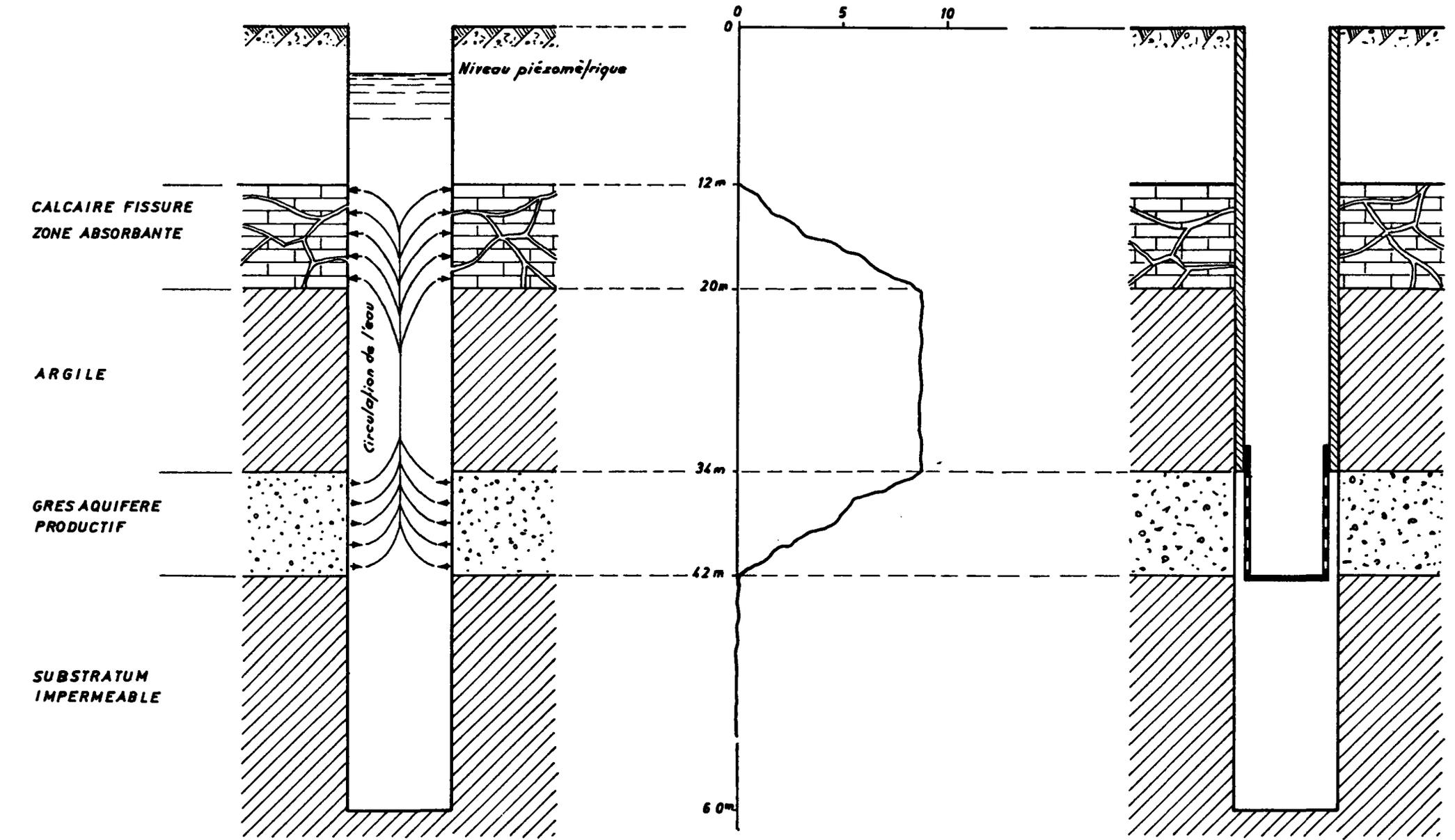
Les vitesses mesurées sont reportées en fonction de la profondeur sur la figure 1 b :

On observe en remontant :

- . de 60 à 42 m : une zone où la vitesse reste nulle : zone stérile imperméable
- . de 42 à 34 m : une zone où la vitesse est croissante : zone productrice
- . de 34 à 20 m : une nouvelle zone imperméable où la vitesse reste constante
- . de 20 à 12 m : une zone absorbante.

Il faut remarquer qu'il est important de connaître le sens de circulation de l'eau puisque le diagramme serait exactement le même si les rôles de la zone absorbante et de la zone aquifère étaient inversés : on lève l'indétermination en remontant ou en descendant le moulinet dans le forage à la même vitesse que le courant d'eau, ce qui a pour effet d'annuler la vitesse de rotation de l'hélice (fig. n° 2).

En conclusion de ces mesures, on proposera d'équiper le forage ainsi qu'il est représenté sur la planche 1c en isolant par tubage et cimentation la zone absorbante, en ne crépinant que la zone aquifère et en remblayant le substratum foré inutilement entre 42 et 60 m. L'opération "micromoulinet" a permis d'augmenter le débit produit par l'ouvrage en isolant une zone absorbante et une économie a été réalisée en ne crépinant pas la zone imperméable située entre 42 et 60 m.

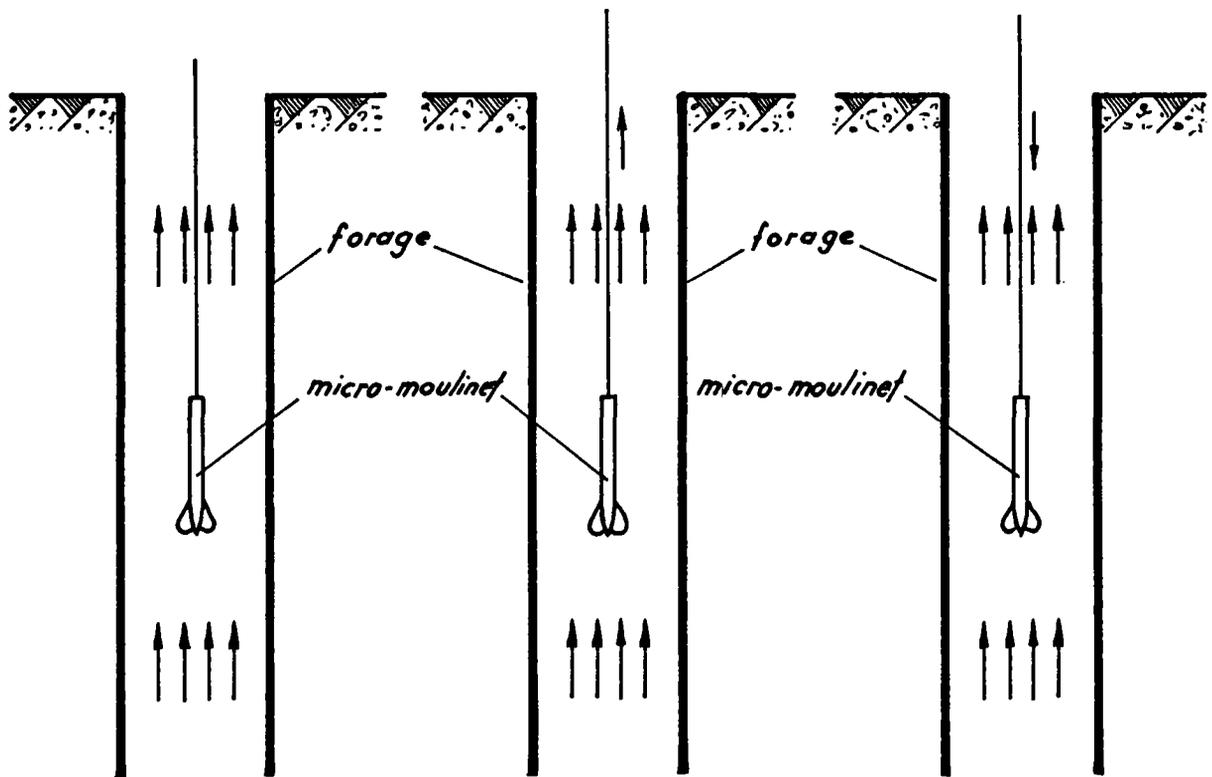


a. FORAGE OUVERT. ENREGISTREMENT AU MICRO MOULINET

b. DIAGRAMME DES VITESSES

c. SCHEMA D'EQUIPEMENT PROPOSE

Figure n°1 Exemple n°1

Figure n° 2

*Courant ascendant.
moulinet en station
fixe N_1 tours/seconde
Vitesse calculée V_1*

*Courant ascendant.
moulinet ascendant
 N_2 tours/sec. $N_2 < N_1$
Vitesse apparente calculée
 $V_2 < V_1$*

*Courant ascendant
moulinet descendant
 N_3 tours/sec. $N_3 > N_1$
Vitesse apparente calculée
 $V_3 > V_1$*

**EXEMPLE DE DETERMINATION DU SENS DE CIRCULATION
DE L'EAU PAR TRANSLATION DU MICRO.MOULINET._**

- Exemple 2 : Forage en pompage avec deux zones d'apport encadrant une zone absorbante et séparées par des zones imperméables.

L'enregistrement s'effectue comme dans le cas précédent.

Les vitesses mesurées sont reportées sur la fig. 3b.

On observe en remontant :

- .du fond à 52 m : une zone où la vitesse reste nulle : zone stérile imperméable
- .de 52 à 46 m : une zone où la vitesse est croissante : zone productrice
- .de 46 à 36 m : une nouvelle zone imperméable où la vitesse reste constante
- .de 36 à 32 m : une zone où la vitesse décroît : zone absorbante
- .de 32 à 28 m : une zone imperméable
- .de 28 à 20 m : une zone productrice.

Le schéma d'équipement proposé sur la fig. 3c montre l'économie réalisée d'une part en ne crépinant que les zones productrices, d'autre part en isolant la zone absorbante.

- Exemple 3 : Mise en évidence des zones productrices

Une méthode simple peut être proposée pour mettre en évidence immédiatement sur le terrain les zones productrices. Elle consiste à reporter sur un diagramme les vitesses réelles mesurées à l'aide du moulinet (ou le nombre de tours de l'hélice par unité de temps à une profondeur donnée en fonction du diamètre enregistré par le diamètreur.

Sur l'exemple choisi (fig. 4) concernant des mesures exécutées dans un forage entre 30 et 50 m de profondeur, une zone productrice encadrée par deux zones stériles a été mise en évidence. Considérons, en effet, sur le diagramme (fig. 4b) les points 1 à 5 correspondant aux profondeurs de 50 à 42 m : dans cette zone, le débit reste constant, c'est dire que le produit :

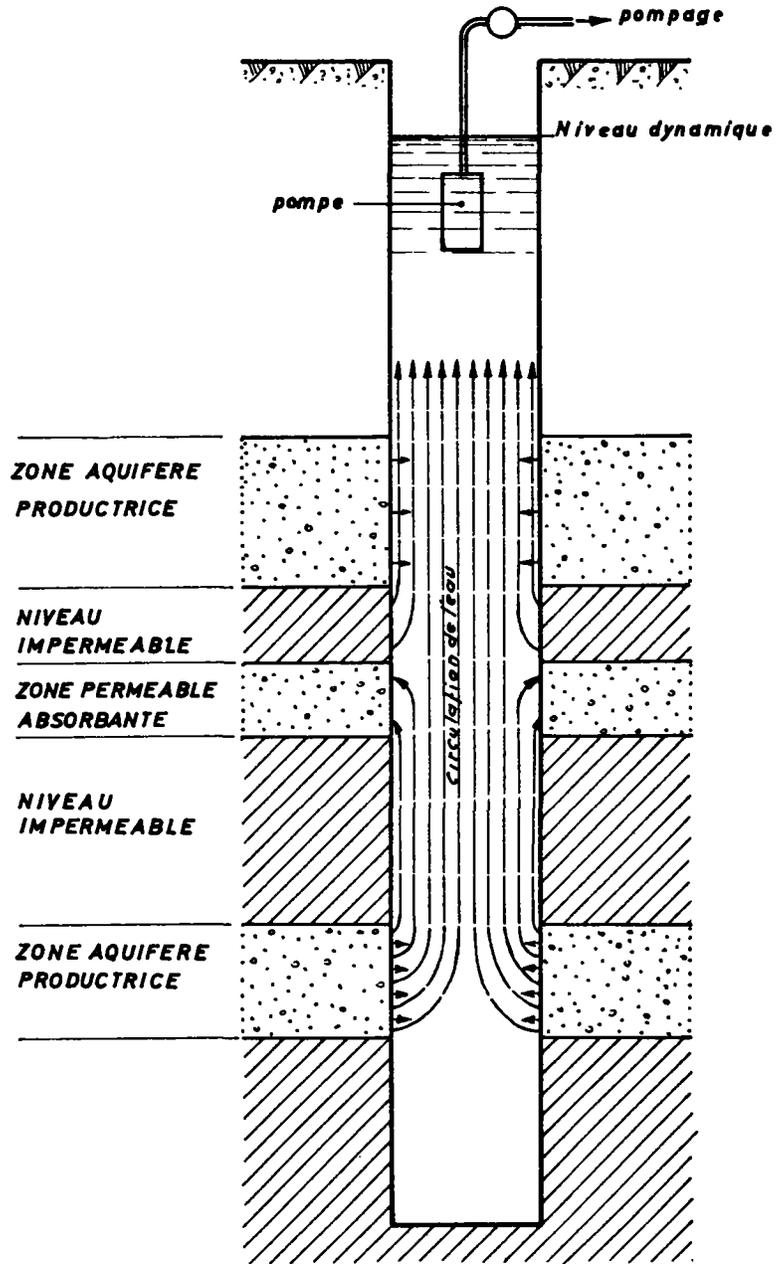
$$(\text{diamètre du forage})^2 \times (\text{vitesse de l'eau})$$

est constant ou que les points représentatifs de cette fonction dans cette zone se distribuent sur une courbe simple appelée "courbe à débit constant".

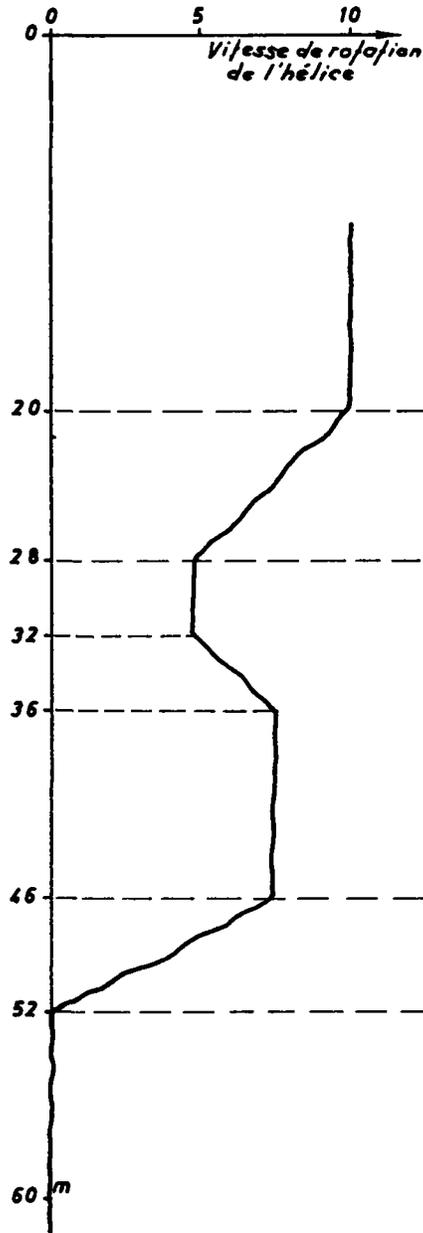
Il en est de même pour les points 7 à 11 de la deuxième zone stérile qui se regroupent sur une deuxième "courbe à débit constant".

TABLEAU DES MESURES

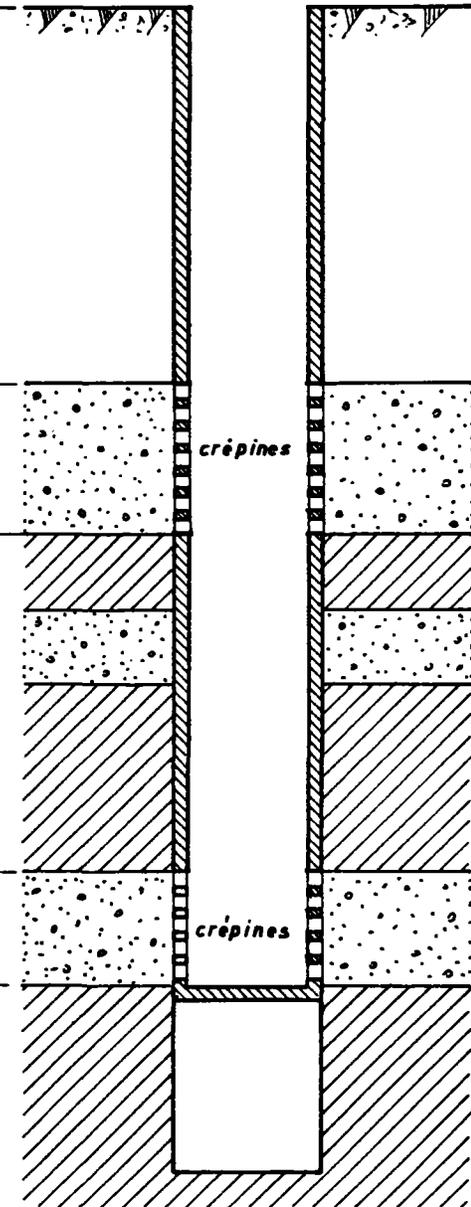
N° du pt. de mesure	Profondeur en mètre	Diamètre en mm	Vitesse de rotation de l'hélice en tours/seconde	Vitesse réelle de l'eau en cm/s
1	50	300	0,53	5
2	48	350	0,38	3,6
3	46	400	0,29	2,8
4	44	450	0,23	2,2
5	42	320	0,47	4,5
6	40	300	1,06	9
7	38	400	0,71	6,7
8	36	450	0,57	5,4
9	34	350	1,00	9
10	32	320	1,10	10,8
11	30	300	1,27	12



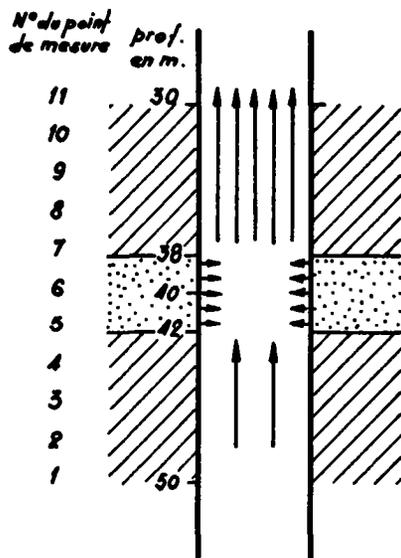
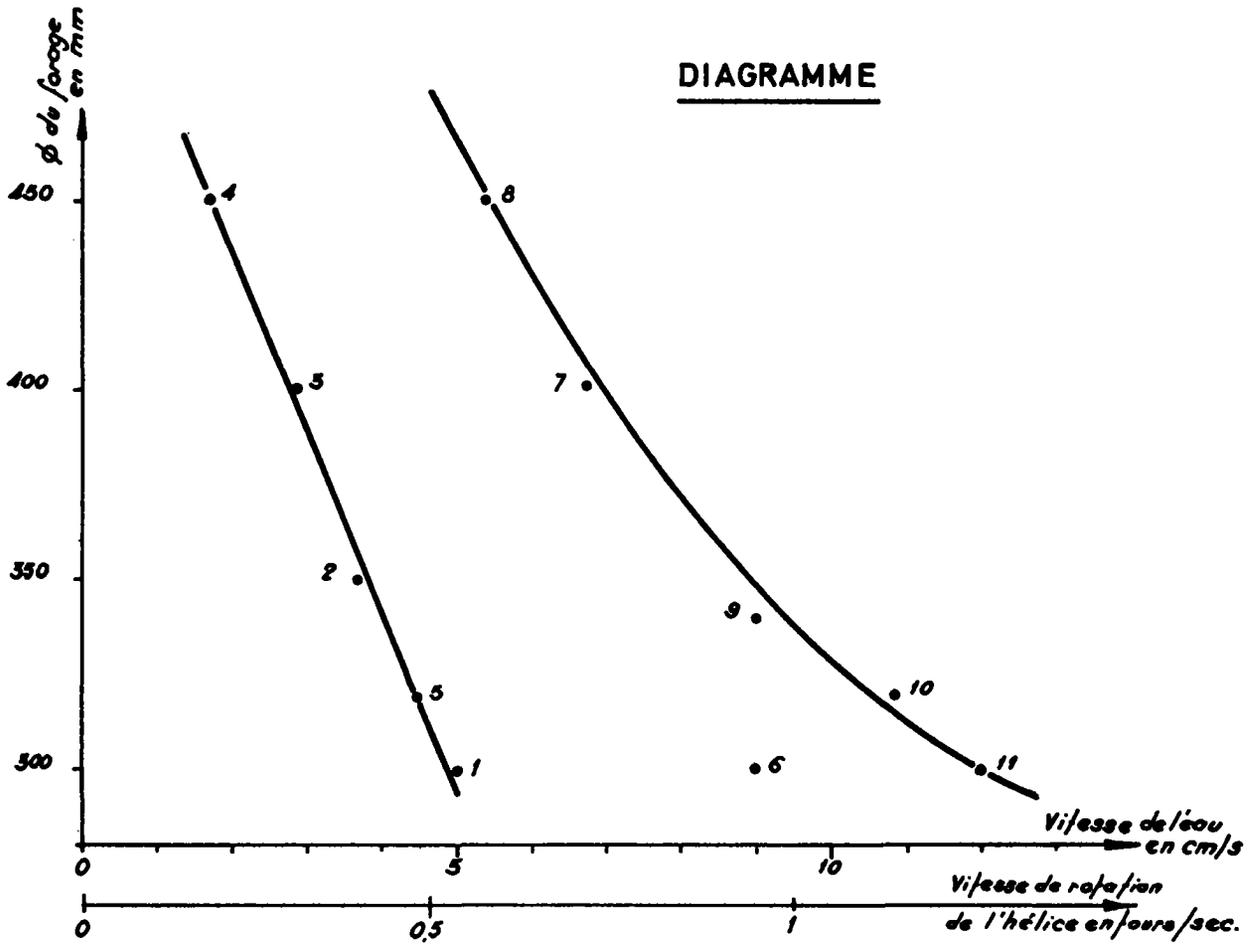
a. FORAGE OUVERT - ENREGISTREMENT AU MICRO MOULINET



b. DIAGRAMME DES VITESSES



c. SCHEMA DE L'EQUIPEMENT PROPOSE



SCHEMA DU FORAGE ENTRE 30 ET 50 m.

Chacune de ces courbes à débit constant regroupe donc un certain nombre de points caractérisant des mesures voisines dans le forage. Ces groupes de points correspondant aux zones stériles séparent des zones aquifères. Dans l'exemple choisi, la zone productrice se situe évidemment entre les points 5 et 7. Le calcul du débit supplémentaire fourni se fait facilement par différences en opérant dans deux sections du forage, choisies avant et après la zone d'apport.

- Exemple 4 : Calcul de la perméabilité des terrains traversés
Exemple : Campagne de reconnaissance (fig. 5)

Les travaux avaient pour but de rechercher dans des alluvions quaternaires un horizon exploitable capable de fournir un débit d'environ 800 litres/seconde. Plusieurs forages de reconnaissance ont été exécutés et entièrement équipés avec des crépines spéciales (brevet SOLETANCHE) dont la porosité est de l'ordre de 20 %.

La profondeur moyenne des forages était de 31 mètres.

Deux séries de mesures ont été exécutées au micromoulinet, les unes dans les forages "au repos" les autres en cours de pompage (fig. 5).

L'interprétation se fait de la manière suivante :

- soit V_1 la vitesse enregistrée dans la section S_1 à la profondeur h_1
- et V_2 " " " " " S_2 " " " h_2

Le débit qui transite à travers S_1 est $S_1 V_1$ et à travers S_2 , $S_2 V_2$.

La différence entre ces deux débits est égale au débit de la tranche de terrain comprise entre S_1 et S_2 .

Le débit par mètre linéaire d'aquifère est donc :

$$q = \frac{S_2 V_2 - S_1 V_1}{h_2 - h_1} = \frac{d}{dh} (SV)$$

c'est dire que le débit échangé horizontalement entre le forage et le terrain s'obtient en prenant la dérivée du débit vertical en fonction de la profondeur.

Dans le cas de l'exemple étudié, l'enregistrement de l'écoulement dans l'ouvrage au repos (écoulement naturel) montre :

- une pente positive entre 8 et 12 m de profondeur ; il s'agit d'une zone qui produit
- une pente négative entre 21 et 25 m correspondant à une zone absorbante.

Il existe donc deux nappes ayant des pressions légèrement différentes qui communiquent par l'intermédiaire du forage.

Un enregistrement pendant le pompage donne une deuxième courbe.

La différence entre les deux enregistrements (courbe résultante) donne la variation de débit pour un rabattement donné : la pente de la représentation graphique de cette dernière fonction est proportionnelle à la perméabilité des terrains étudiés.

Sondage 6

MESURES DANS LES ALLUVIONS (le 22.10.62)

Debit pompe : 3,5 l/s _ Rabattement : 0,022 m

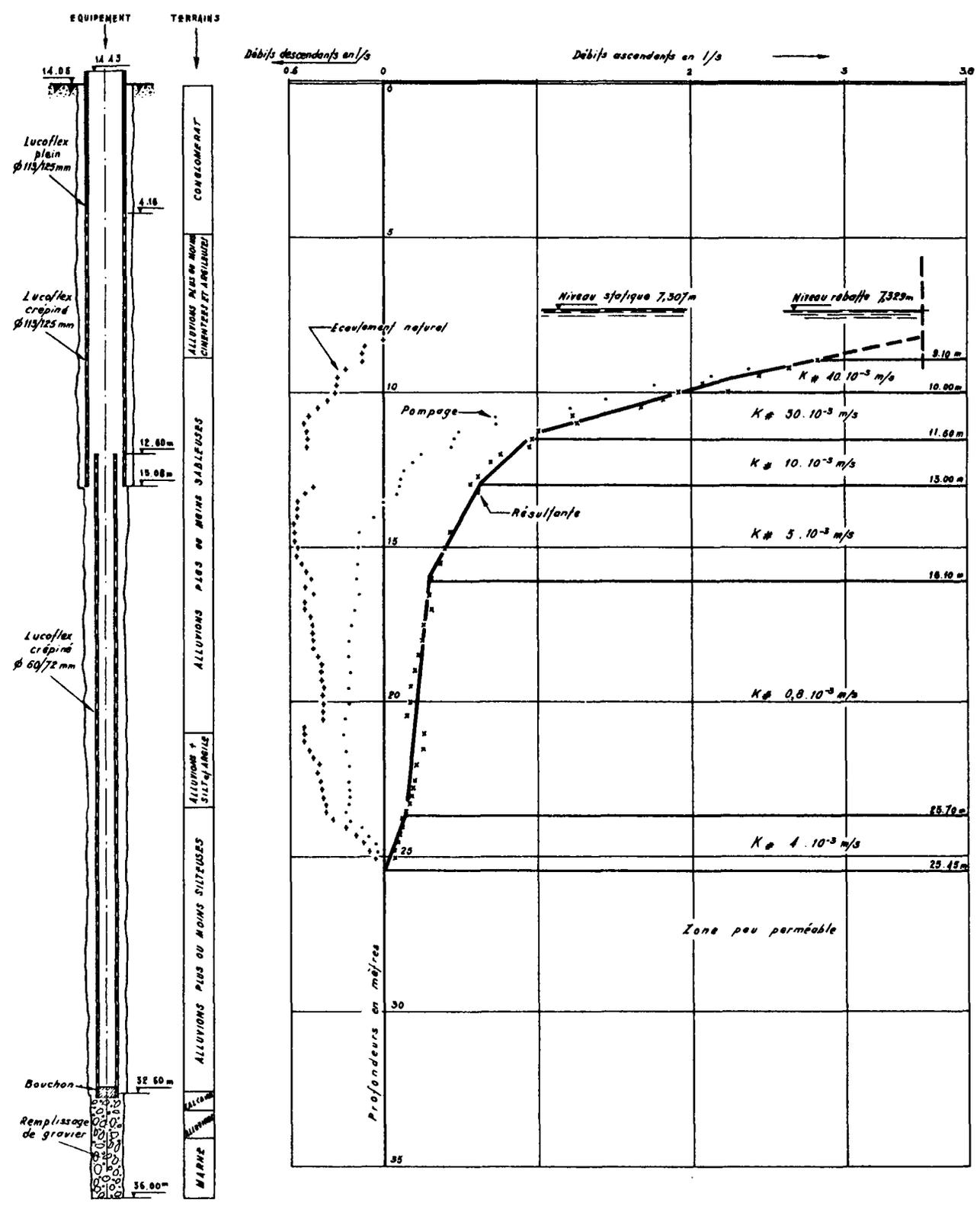


Figure n°5 - Exemple n°4

La perméabilité moyenne globale k étant obtenue par un pompage d'essai conduit de manière classique, il est facile par un simple calcul de proportionnalité de connaître la perméabilité propre de chaque horizon, grâce à la formule :

$$T = k_e = \sum k_i e_i$$

T = transmissivité

k = perméabilité moyenne

e = épaisseur totale de l'aquifère

k_i = perméabilité propre de l'horizon de l'aquifère d'épaisseur e_i

3. EQUIPEMENT ACTUEL DU SERVICE D'HYDROMETRIE

L'ensemble de l'équipement comprend (fig. 6) :

- un micromoulinet de forage
- un câble de suspension transmetteur d'impulsions
- un treuil de manoeuvre et ses accessoires
- un transmetteur et un compteur totalisateur d'impulsions
- un diamètreur

3.1. Le micromoulinet de forage

Il comprend une hélice très sensible dont l'axe vertical est monté sur saphirs. Sa vitesse de démarrage est légèrement inférieure au cm/s. Cette hélice entourée d'un cercle protecteur est montée à l'extrémité d'un tube lesté équipé de centreurs d'acier qui permettent de positionner l'appareil dans l'axe de l'ouvrage.

3.2. Un câble électroporteur

Galvanisé relie le micromoulinet à la surface. Il est équipé de trois conducteurs. Son diamètre est de 5,8 mm, sa longueur de 200 m et sa charge de rupture de l'ordre de 1 800 kg.

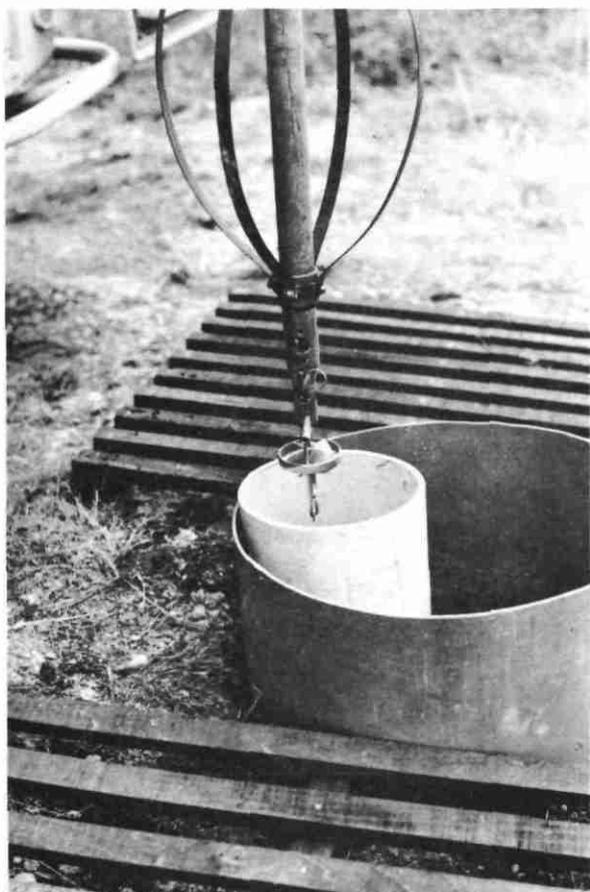
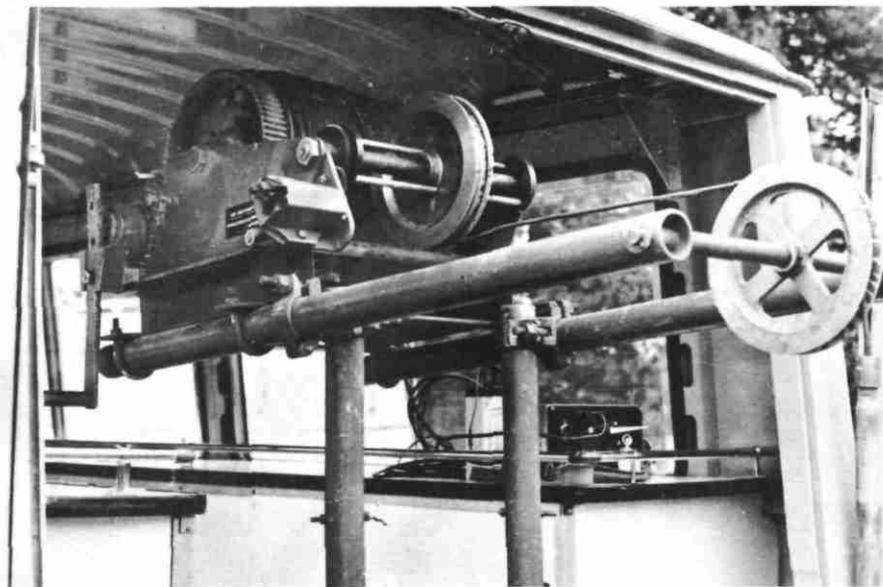
3.3. Le treuil de manoeuvre

Il est actionné soit à la main, soit à l'aide d'un régulateur de descente. Il est équipé d'un tambour amovible, ce qui permet d'utiliser plusieurs types de câbles. Un compteur de profondeur permet de repérer la profondeur de la mesure au centimètre près. Le signal transmis par le câble sort du treuil par l'intermédiaire de contacts tournants.

3.4. Un adaptateur récepteur d'impulsions et un compteur totalisateur d'impulsions

Associés à un chronomètre, permettent de mesurer la vitesse de rotation de l'hélice.

MICRO MOULINET DE FORAGE



3.5. Le diamètreur

La sonde du diamètreur comprend trois bras qui, en position ouverte, viennent frotter contre les parois du forage, l'outil restant toujours centré. L'angle d'ouverture des bras, fonction du diamètre du forage, définit la réponse de la sonde ; l'information est transmise à la surface sous forme impulsionnelle. Cet outil permet l'enregistrement continu du diamètre du forage (entre 45 mm et 750 mm) et constitue par là un instrument apte à déceler les zones cavées, la présence ou l'absence de tubage ainsi que l'épaisseur du "mind cake" indice de la présence de zones perméables. En outre, par la connaissance exacte du diamètre du trou et en association avec le micromoulinet, il est possible de calculer le débit des fluides dans le forage.

Le matériel ci-dessus peut être utilisé dans des forages dont le diamètre varie de 60 à 500 mm et jusqu'à une profondeur d'environ 200 m. Il est possible de modifier l'appareil pour l'adapter à des forages dont le diamètre serait supérieur à 500 mm.

D'autre part, dans le cas de forages profonds, le Service d'hydrométrie dispose d'un câble électroporteur à un conducteur de 900 m monté avec une hélice de 10 cm de diamètre dont la vitesse de démarrage est de l'ordre de 5 cm/s.

Remarque

L'appareillage actuel ne fournit que des données ponctuelles. Il est possible d'obtenir des enregistrements continus à l'aide d'un micromoulinet conforme aux normes requises pour les câbles, treuils et enregistreurs du Département géophysique.

4. PRATIQUE DES MESURES

4.1. Equipement du forage

Les mesures se feront de préférence en trou nu dépourvu de crépines. Si la mauvaise tenue des terrains l'impose, on s'efforcera toujours de mettre en place des crépines ou des tubes crépinés dont le diamètre se rapprochera le plus possible de celui du forage et dont les perforations seront les plus nombreuses et les plus régulières possibles.

4.2. Débit nécessaire

L'appareil ne peut déceler que des vitesses supérieures ou égales à 1 cm/s ce qui nécessite en particulier dans les forages de gros diamètre de disposer d'un débit suffisant pour créer cette vitesse.

Dans la pratique, les débits faibles correspondant à des échanges entre nappes superposées dans des forages "au repos" ne pourront guère être mesurés que dans des forages de petit diamètre.

Dans le cas d'un forage en pompage, on calculera le débit nécessaire en multipliant par un coefficient de 10 le débit correspondant à la plus faible vitesse mesurable (soit 0,01 m/s) à travers la section nominale de l'ouvrage.

Par exemple pour un forage de 0,400 m de diamètre, ce débit sera de :

$$\frac{\pi \times 0,4^2}{4} \times 0,01 \times 10 = 0,0125 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 65 \text{ m}^3/\text{h}$$

section	x	vitesse	x	coeff.	=	débit	débit
en m ²		minimale		multipl.		en	en
		en m/s				m ³ /s	m ³ /h

Aucune mesure ne sera obtenue dans la zone où le fluide circule avec une vitesse inférieure à 0,01 m/s (correspondant à 1/10 de la production totale de l'ouvrage). Seule une augmentation du débit total permettrait éventuellement de recueillir des informations sur ces niveaux.

4.3. Descente du micromoulinet dans le forage (fig. 7)

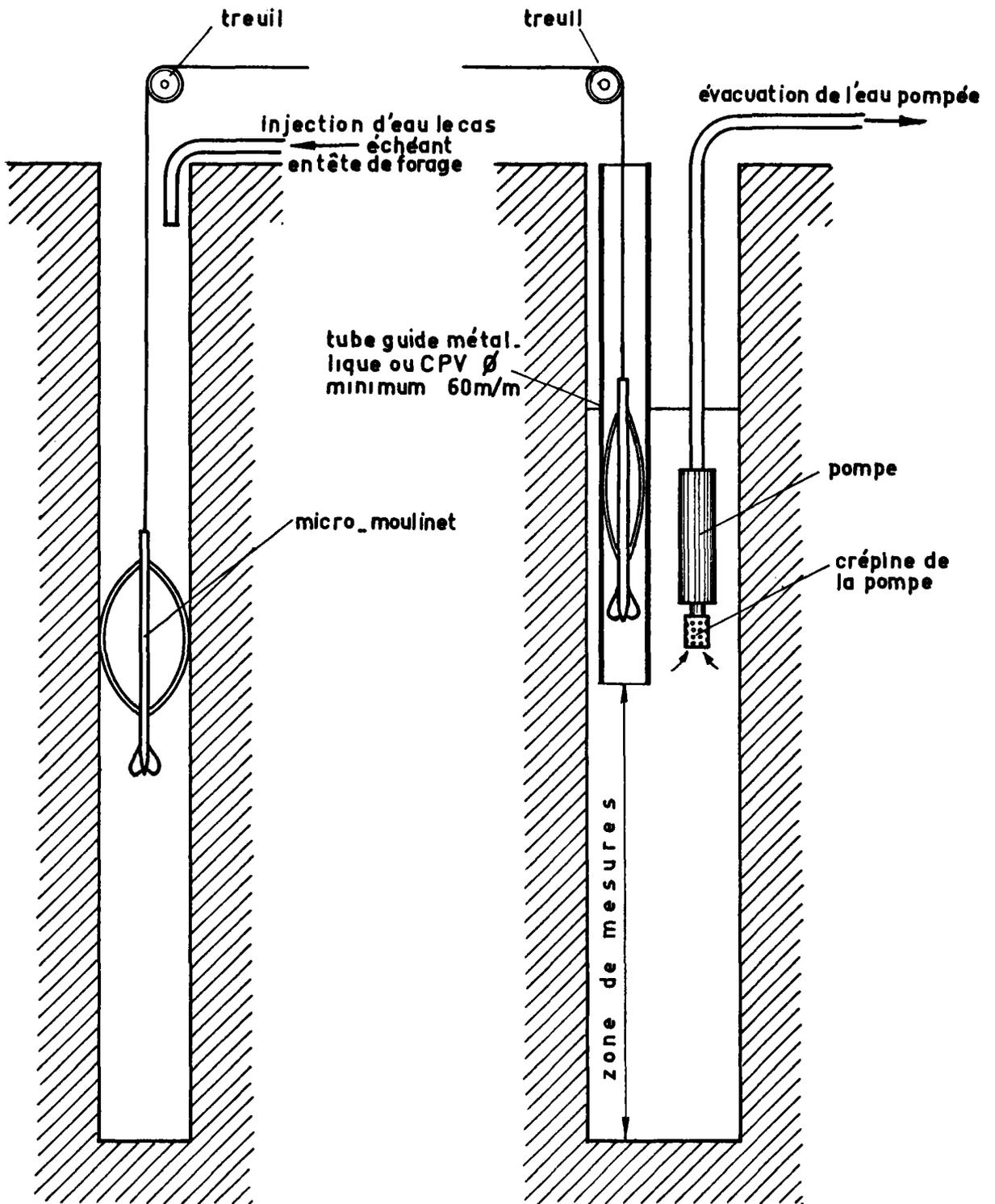
La descente de l'appareil ne pose pas de problèmes particuliers dans les ouvrages dépourvus de pompes (forages artésiens ou forages faisant communiquer des nappes superposées) d'autant plus que l'enregistrement préalable du profil du puits par le diamètreur aura mis en garde contre des réductions possibles de diamètre.

Dans le cas de forages en pompage, il est nécessaire de mettre en place un tube métallique ou CPV d'un diamètre minimum de 60 mm capable de guider la sonde à quelques centimètres en dessous de la crépine d'aspiration de la pompe. Les mesures se feront seulement entre ce point et le fond de l'ouvrage.

Enfin, si le diamètre du forage est trop faible pour permettre le passage d'une pompe et de la sonde, on pourra procéder à un essai par injection d'eau dans l'ouvrage.

4.4. Présentation des mesures

La vitesse de rotation sera enregistrée par stations fixes à intervalles réguliers et on reportera les observations sur un imprimé modèle du type reproduit en annexe.



SCHEMA DU DISPOSITIF INSTALLE
DANS UN FORAGE ARTESIEN
OU EN INJECTION

SCHEMA DU DISPOSITIF INSTALLE
DANS UN FORAGE EN POMPAGE

CONCLUSION

La mise en oeuvre du micromoulinet de forage a pour but de fournir à l'hydrogéologue responsable d'un chantier et à l'utilisateur futurs de la nappe, un complément d'informations indispensables à un équipement et à une mise en exploitation rationnelle d'un aquifère.

A court terme, la diminution du coût total du forage obtenue en réduisant le nombre de mètres forés ou équipés de crépines, est dans la plupart des cas, supérieure au coût total de l'opération micromoulinet.

A moyen terme, une exploitation rationnelle avec un rabattement choisi en connaissance de cause pour ne pas dénoyer les zones aquifères reconnues, permet de retarder considérablement les phénomènes de vieillissement et de colmatage des ouvrages.

Enfin, à long terme, l'hydrogéologue tirera un bénéfice certain d'une meilleure connaissance de l'aquifère observé.

BIBLIOGRAPHIE

SOLETANCHE (1961)

Etude des différentes nappes.
(25 janvier 1961)

SOLETANCHE (1962)

Fos-sur-Mer. Recherches hydrogéologiques. Campagne de reconnaissance 1962.
(1/2/1963)

SCHLUMBERGER WELL SURVEYING CORPORATION (1963)

Introduction to Schlumberger Production logging, février 1963.
(Traduction disponible)

POUCHAN P. (1964)

Etude de forages à l'aide d'un moulinet. Localisation des horizons producteurs.
(Communication présentée à l'Assemblée générale de l'A.I.H.S. Berkeley 1963). Publ. n° 64 de l'A.I.H.S., 1964, p. 235-238.

DAGUE Ph. (1970)

Diagraphie et équipement des forages d'exploitation d'eau.
(Techniques et sciences municipales - l'Eau, juillet 1970)
(En annexe)

ANNEXE n° 2

Mesures au micromoulinet dans un forage

Une série de mesures au micromoulinet a été effectuée en 1970 dans un forage en cours d'équipement avant la pose des crépines. Le but de ces mesures était de mettre en évidence les zones productrices de l'aquifère et de déterminer le plan de crépinage.

DISPOSITIF DE MESURES

Le forage était tubé de 0 à 50 m de profondeur environ, l'aquifère étant découvert de 50 à 144 m. Une pompe réglée à environ 38 m³/h était installée dans le forage. Un tube de plastique de 100 mm de diamètre a permis de descendre le micromoulinet sans incident en-dessous du niveau de la crépine de la pompe.

Les mesures ont été effectuées après quelques heures de pompage pour atteindre une stabilisation apparente du niveau de l'eau. On a opéré par points fixes successifs en descendant à partir de la profondeur de 50 m.

TABLEAU DES MESURES

Heure	Profondeur en m	VIT. de rotation en t./mm	Heure	Profondeur en m	VIT. de rotation en t./mm
11 h 20	50,00	24	12 h 04	63,36	12,5
11 h 30	55,00	17	12 h 05	64,16	10,5
11 h 35	56,50	15	12 h 25	64,41	10
	57,00	0	12 h 28	65,20	14,5
11 h 37	57,15	16	12 h 30	65,81	11,5
11 h 40	57,95	16,5	12 h 35	65,95	12,5
11 h 45	58,67	14		66,75	12,5
11 h 50	59,40	16	12 h 38	67,37	11,5
11 h 52	59,57	16	12 h 40	67,60	12
11 h 55	60,16	16,5	12 h 43	68,23	8,5
11 h 57	60,97	14,5	12 h 45	68,41	12
11 h 58	61,10	15	12 h 46	69,05	11
12 h 00	61,76	13	12 h 48	69,17	9,5
12 h 01	61,92	10,5	12 h 49	69,83	8,5
12 h 02	62,54	11,5	12 h 51	70,58	0
12 h 03	62,72	11,5			

.../...

INTERPRETATION

On admet que la vitesse de rotation de l'hélice est proportionnelle au débit dans le forage à la profondeur de la mesure.

C'est ainsi que l'on peut reporter sur un graphique (fig. n° 1) la vitesse de rotation de l'hélice en fonction de la profondeur du point observé.

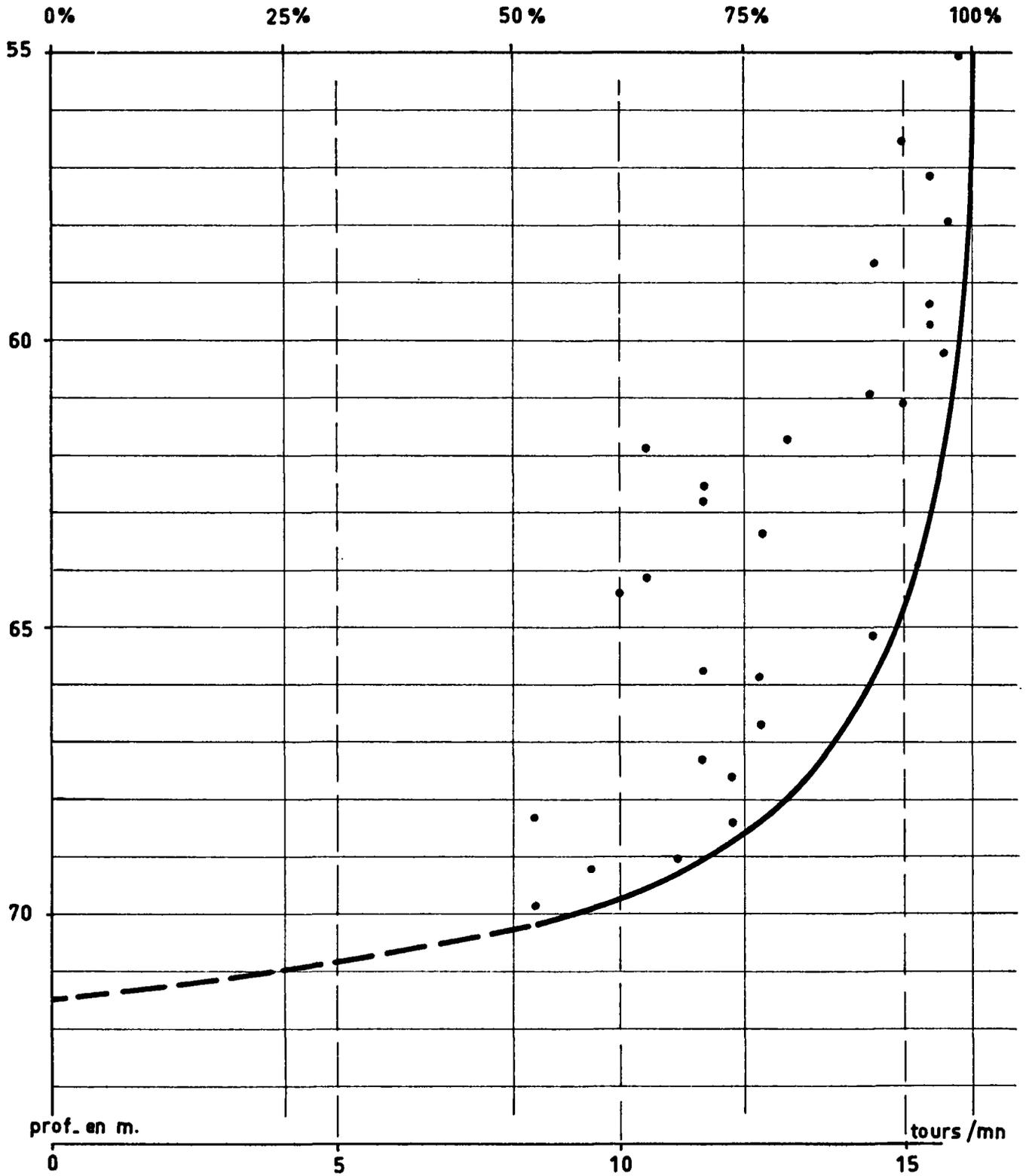
L'axe des abscisses peut également être gradué en valeur relative en attribuant le coefficient 100 à la plus forte vitesse observée et 0 à une vitesse nulle. On peut ainsi lire directement sur le graphique le pourcentage du débit total pompé produit en dessous d'une profondeur donnée.

En réalité, le graphique ne permet pas d'obtenir une courbe sur laquelle s'aligneraient les points de mesure ; mais un nuage de points admettant une courbe enveloppe que nous avons tracée. On doit attribuer la dispersion des mesures aux variations de diamètre du trou dues au cavage de la formation. L'absence d'enregistrement de diamètre ne permet pas d'effectuer la correction qui s'impose.

On doit cependant admettre que la courbe enveloppe représentant la vitesse maximum possible à une profondeur donnée correspond à un forage idéal de diamètre constant et égal au diamètre de l'outil de battage.

CONCLUSIONS

Les mesures effectuées dans ce forage montrent que la totalité de la production d'eau est obtenue entre 50 et 72 m de profondeur. Ce résultat est obtenu avec une précision de l'ordre de 10 %.



REPARTITION DES VITESSES DANS LE FORAGE

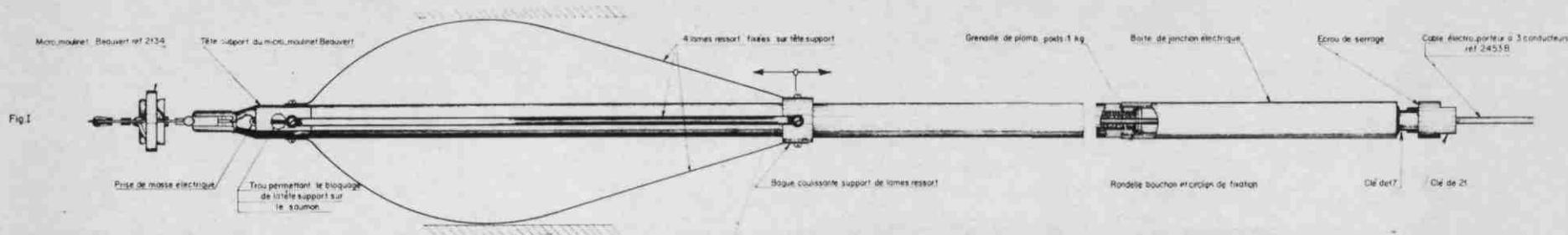


Fig I : MONTAGE AVEC MICRO_MOULINET BEAUVERT - Pour petits diamètres (>50mm) avec 3 conducteurs

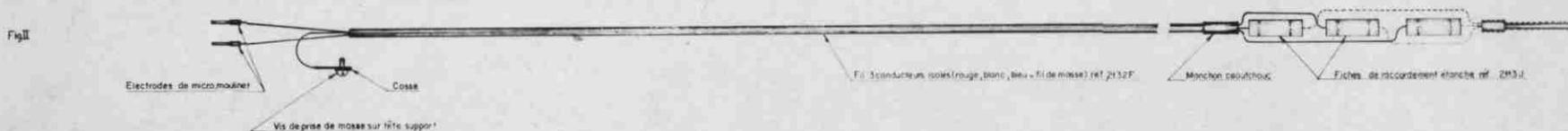


Fig II : MONTAGE ELECTRIQUE DU MICRO_MOULINET BEAUVERT

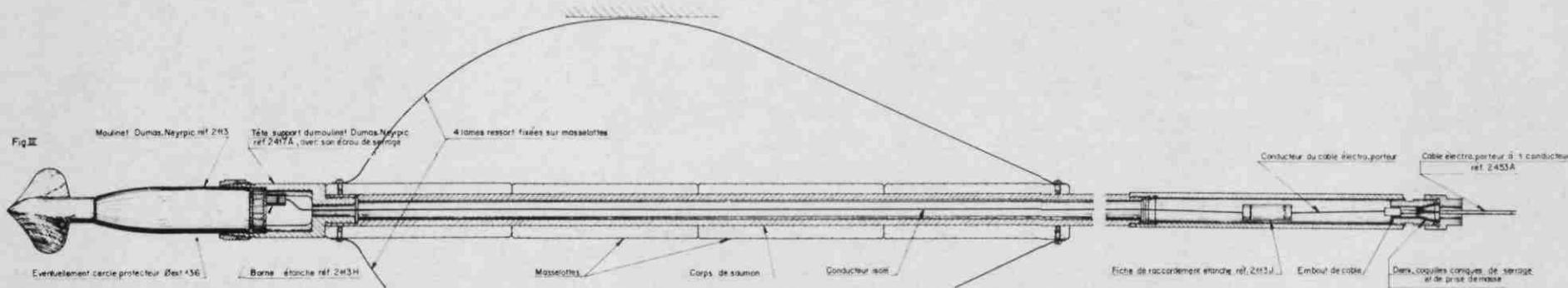


Fig III : MONTAGE AVEC MOULINET DUMAS_NEYRPIE - Pour gros diamètres (> 150 mm) avec 1 conducteur

DETAIL DU MICRO-MOULINET

Diagraphie et équipement des forages d'exploitation d'eau

Application à la nappe du grès vosgien *

par Philippe DAGUE,

Ingénieur E.N.S.G., Docteur-Ingénieur

L'application aux forages de recherche d'eau des techniques familières à l'industrie pétrolière a permis, dans l'est de la France, de mieux connaître et par là même d'exploiter de manière plus économique et plus rationnelle la nappe du grès vosgien.

C'est ainsi que les enregistrements de débitmètre continu et les prélèvements d'eau à des niveaux choisis de l'aquifère au forage de Nancy-thermal n° 3, ont conduit à la détermination des zones productives de l'aquifère et à la mise en évidence de la minéralisation de l'eau de ces niveaux. On en a déduit le mode d'équipement du puits.

La nappe du grès vosgien et le forage de Nancy-thermal n° 3

La nappe du grès vosgien est exploitée dans l'est de la France et plus particulièrement dans la région de Nancy par un grand nombre de forages. Après avoir traversé une couverture représentée par des terrains datés du Lias au Muschelkalk, ces forages mettent en production un aquifère gréseux dont le toit se trouve vers 700 m de profondeur et dont la puissance est de l'ordre de 230 m à l'aplomb de Nancy.

L'observation de l'évolution des débits artésiens au cours de la perforation du grès vosgien montre des variations aléatoires qui traduisent

l'hétérogénéité de l'aquifère; d'autre part il est apparu que la minéralisation de l'eau dont les variations horizontales sont bien connues, augmentait avec la profondeur. Aucune donnée quantitative n'existait avant 1965 et le forage de Nancy-thermal n° 3, poussé en reconnaissance jusqu'à la base du grès vosgien a permis de recueillir et d'exploiter les premiers renseignements chiffrés acquis grâce à un programme très complet de diagraphies.

Lors des enregistrements, le forage était équipé de la manière suivante :

-- de 0 m à 735 m de profondeur : tubage 9" 5/8 cimenté de bas en haut;

-- de 735 m à 920 m de profondeur : puits découvert foré dans l'aquifère au diamètre théorique de 8" 1/2.

Le débit artésien naturel de l'ouvrage était voisin de 60 m³/h.

* Travaux du service hydrogéologique de l'Ecole nationale supérieure de géologie appliquée et de prospection minière de Nancy.

Hétérogénéité verticale de l'aquifère Programme d'étude

Les mesures classiques de porosité et de perméabilité réalisées sur les carottes, l'enregistrement des diagraphies soniques et nucléaires mettent en évidence des variations importantes des paramètres physiques de l'aquifère.

Compte tenu de ces résultats et de l'observation qualitative de l'augmentation de la minéralisation de l'eau produite par l'artésianisme au cours de l'approfondissement de l'ouvrage, il était intéressant de faire la corrélation entre les zones perméables et leur participation à la production d'eau. D'autre part, on pouvait espérer mettre en évidence des niveaux produisant de l'eau plus minéralisée et les éliminer lors de l'équipement définitif du puits.

C'est dans ce but qu'il a été procédé par la S.P.E.S. SCHLUMBERGER à l'enregistrement d'une diagraphie de production appelé « débitmètre continu » et à des prélèvements d'eau à différentes profondeurs dans l'aquifère.

Enregistrement et interprétation du débitmètre continu

La sonde utilisée (fig. 1) est constituée par une hélice qui permet de mesurer la vitesse du courant d'eau dans le forage ouvert. Moyennant plusieurs corrections tenant compte du diamètre du trou et de la vitesse de translation de l'appareil, on lit sur un abaque le débit qui transite à travers une section du forage à la profondeur choisie. Dès lors, il est facile d'en déduire par simple différence le débit produit entre deux profondeurs quelconques.

L'interprétation du débitmètre continu proposé sur la figure 2 repose sur l'observation des enregistrements reproduits sur le même schéma.

Les débits mesurés en pourcentage du débit total et relatifs à des tranches de terrain de 10 m d'épaisseur sont représentés de 730 à 920 m par des bâtonnets de longueur proportionnelle à la mesure. En résumé, on observe une zone très aquifère jusqu'à 750 m de profondeur qui correspond à la base du conglomérat principal, puis une zone de 750 à 800 m où la production décroît rapidement. Cette dernière reste faible jusqu'à 850 m où l'on rencontre à nouveau une importante venue d'eau. Le grès vosgien ne fournit aucun débit appréciable mesurable entre 870 m de profondeur et le fond situé à 920 m.

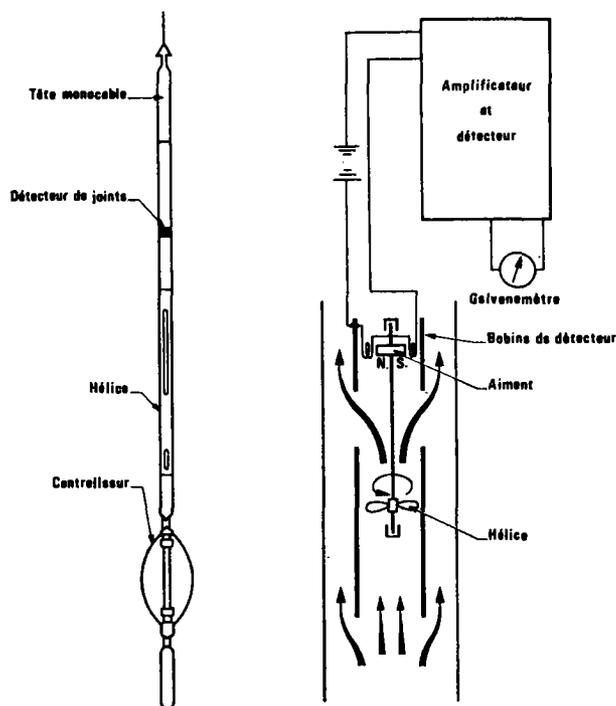


Fig. 1. — Débitmètre continu Schlumberger.

Evolution de la minéralisation avec la profondeur

L'échantillonnage a été effectué par la S.P.E.S. SCHLUMBERGER grâce à des flacons de prélèvement (fig. 3) descendus par un câble et dont l'ouverture, le remplissage et la fermeture sont commandés depuis la surface quand la profondeur souhaitée est atteinte.

L'échantillon prélevé en trou ouvert à une profondeur donnée de l'aquifère est un mélange des eaux de qualité chimique différentes, produites par les horizons sous-jacents; en d'autres termes, sa minéralisation représente la moyenne des minéralisations des eaux produites par chaque niveau, pondérée par la valeur des débits. Ces derniers étant connus par les enregistrements de débitmètre continu, on en déduit facilement la minéralisation moyenne de l'eau issue des niveaux compris entre deux cotes de prélèvements successifs. Ces résultats sont reportés sur la figure 2.

Dès lors, il apparaît que la minéralisation des eaux de la nappe du grès vosgien observée au forage de Nancy-thermal n° 3 croît avec la profondeur. Elle est de 4,7 g/l à la base même du conglomérat principal et atteint 15 g/l dans les niveaux très peu aquifères et conglomératiques de la base de la formation.

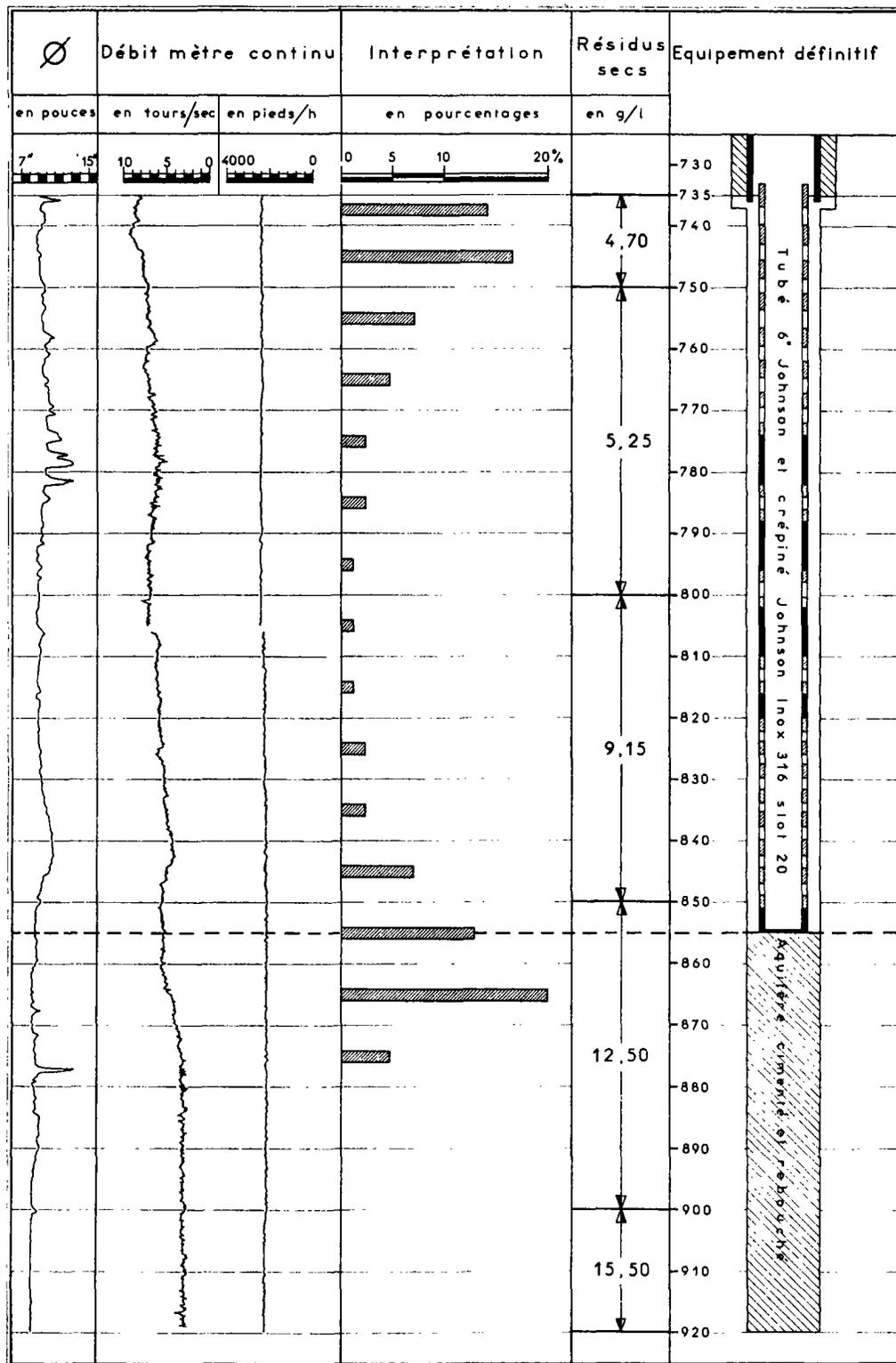


Fig. 2. — Enregistrements, interprétation et application des diagrames du forage de Nancy-Thermal n° 3.

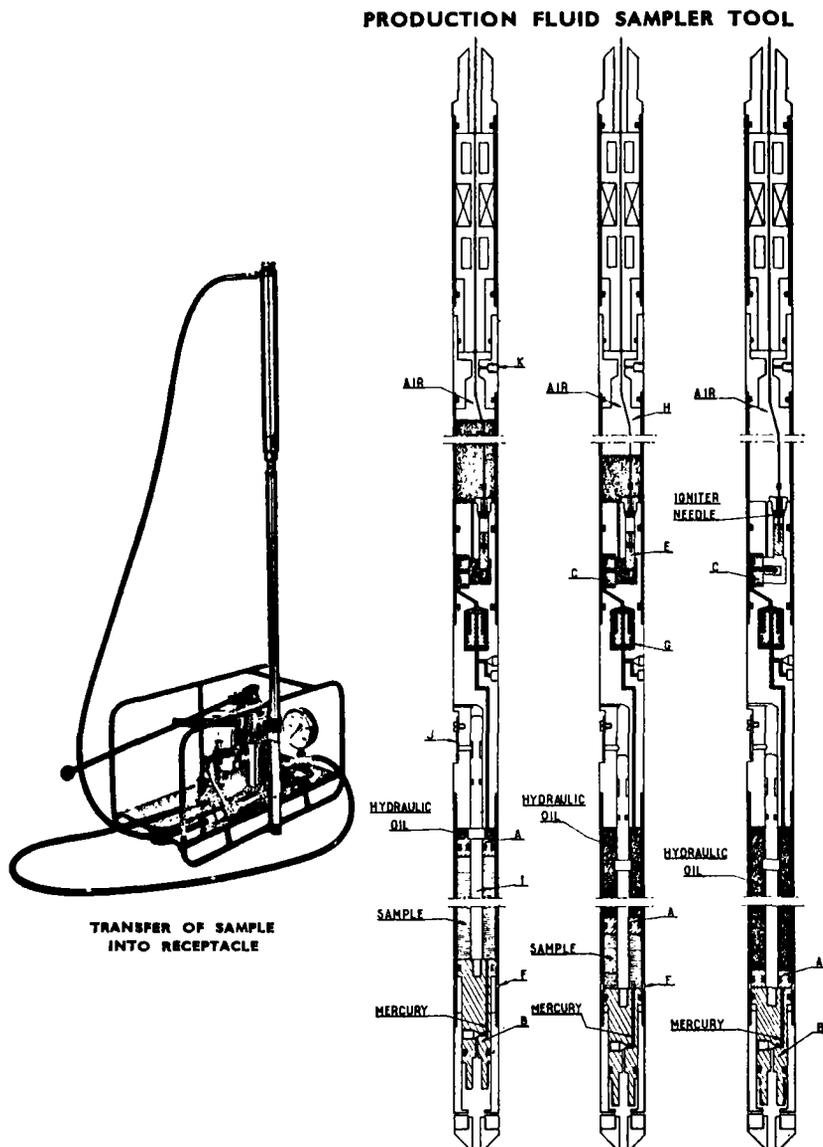


Fig. 3. — Echantillonneur de fluides Schlumberger.

Application à l'équipement de l'aquifère

Cimentation du fond.

La minéralisation totale moyenne de l'eau produite par artésianisme entre 735 m et 920 m était de 8,3 g/l.

Un calcul simple qui n'est pas reproduit ici et qui tient compte de l'interprétation du débitmètre et de l'analyse des échantillons d'eau permet d'aboutir au tracé de la courbe représentant les variations du résidu sec de l'eau pro-

duite en fonction de la profondeur atteinte par le forage dans l'aquifère (fig. 4). Il faut remarquer que ce résidu sec serait aussi obtenu en cimentant le fond de l'ouvrage de 920 m à cette même profondeur.

Pour ramener la minéralisation à un taux compatible avec les problèmes de corrosion lors de l'exploitation et pour ne pas diminuer considérablement le débit naturel du forage, il a été décidé d'obturer le fond du puits par un bouchon de ciment posé entre 850 et 920 m de profondeur. Après cette opération, les modifications de la minéralisation de l'eau ont été les suivantes :

ANALYSE *	AVANT CIMENTATION	APRÈS CIMENTATION
pH.	7,08	7,0
Résistivité (ohm-cm)....	85	135
Résidu sec (mg/l).....	8 320	5 037
Dureté (degrés français).	218,4	134,0
HCO ₃ ⁻ (mg/l).....	189	195
SO ₄ ⁻ (mg/l).....	115	119
Cl ⁻ (mg/l).....	4 450	2 650
Ca ⁺⁺ (mg/l).....	812	475
Mg ⁺⁺ (mg/l).....	37,5	37
Na ⁺ (mg/l).....	2 000	1 208
K ⁺ (mg/l).....	70	52

* D'après les résultats communiqués par l'Institut de recherches hydrologiques, 12, rue Ernest-Bichat à Nancy.

Le débit n'avait pratiquement pas diminué ce qui peut s'expliquer en tenant compte de l'amélioration des conditions de production des niveaux supérieurs libérés de l'influence des horizons sous-jacents. Il en résulte aussi immédiatement que le résidu sec de l'eau produite, soit 5,03 g/l, est inférieur à celui qui avait pu être calculé, soit 6,04 g/l.

Plan de crépinage.

La granulométrie du grès vosgien et l'agressivité de l'eau produite obligent à mettre en place des crépines Johnson 6" en inox 316 avec un slot égal à 20. En l'absence de données concernant la répartition des débits, l'aquifère eut été

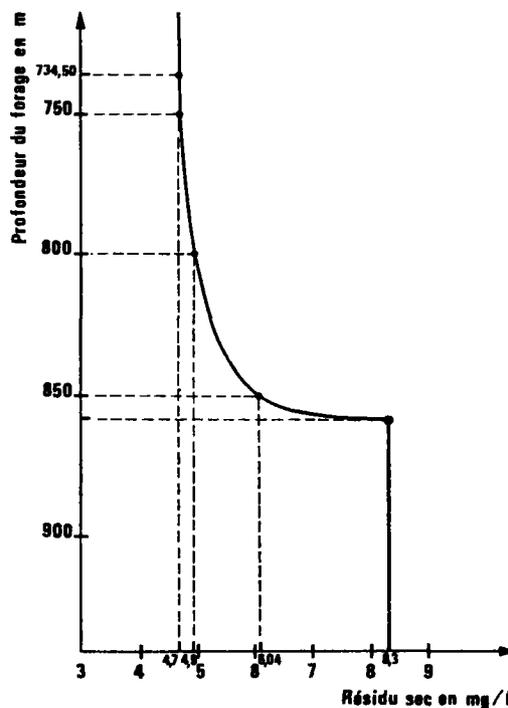


Fig. 4. — Minéralisation de l'eau en fonction de la profondeur du forage.

crépiné sur toute sa hauteur. Compte tenu des résultats acquis par les mesures de la S.P.E.S. SCHLUMBERGER, il a été possible de réduire la longueur crépinée en répartissant crépines et tubes pleins au droit des zones productrices et stériles. Le schéma représentant l'équipement définitif du puits a été reproduit sur la figure 2.

La mise en œuvre en hydrogéologie des techniques développées par la S.P.E.S. SCHLUMBERGER dans le domaine pétrolier a permis d'équiper dans les meilleures conditions le forage alimentant en eau chaude les piscines de Nancy-thermal.

La minéralisation totale de l'eau produite a pu être ramenée à une valeur acceptable et une économie importante a été réalisée au moment de la pose des crépines.

Au-delà de ces applications immédiates, il apparaît que les méthodes employées à Nancy-thermal n° 3 permettent à l'hydrogéologue de mieux saisir la complexité des problèmes posés à l'ingénieur sur le terrain comparés au problème simplifié d'un écoulement ou d'un puits situé dans un milieu supposé homogène, isotrope, etc.