ANNEXE n° 1

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.

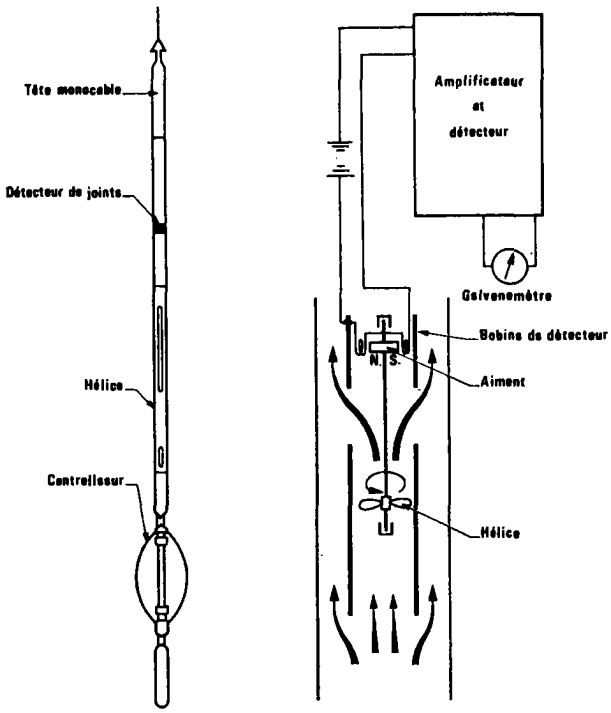

Fig. 1. — Débitmètre continu Schlumberger.

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 décroit 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.

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.

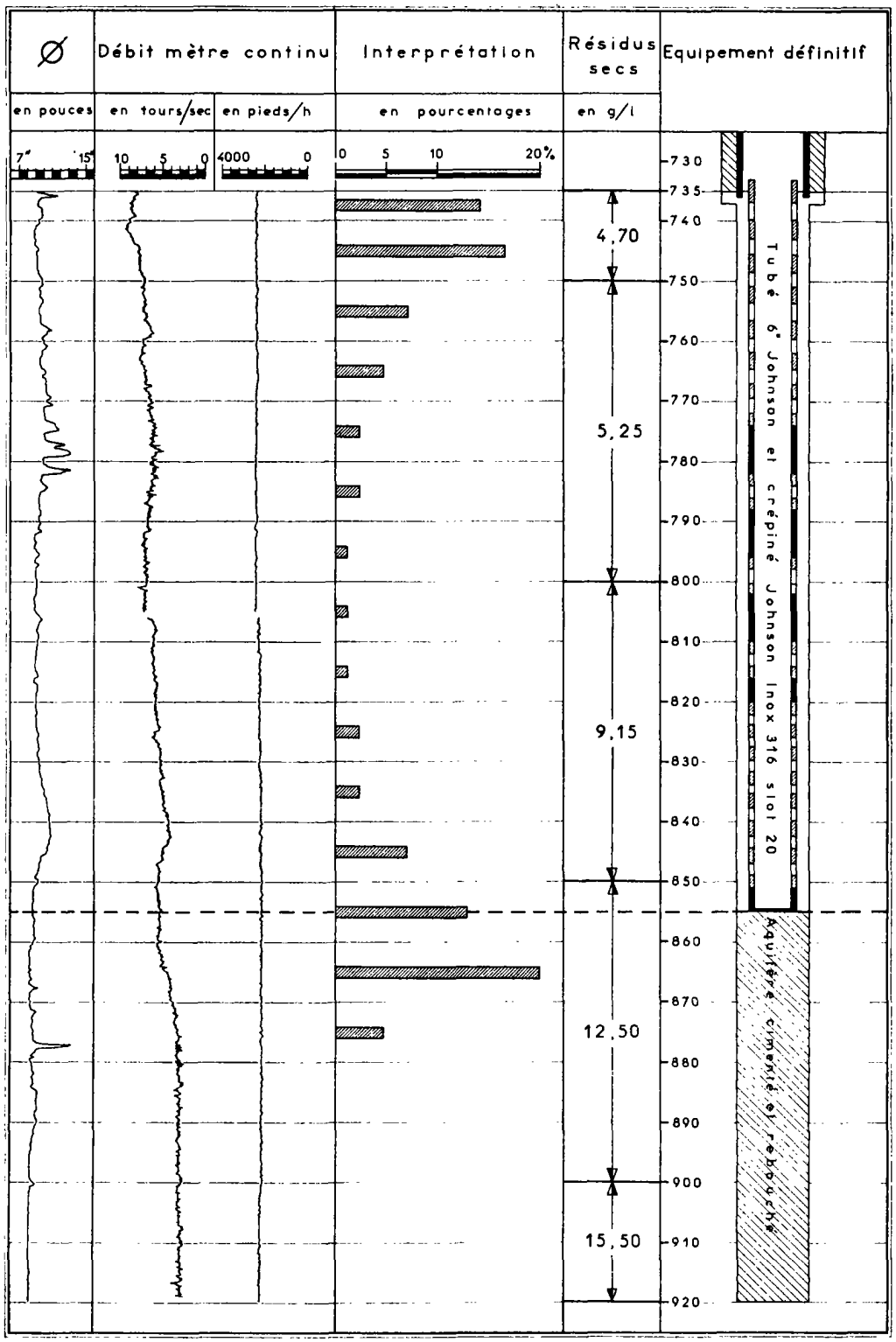

Fig. 2. — Enregistrements, interprétation et application des diagraphies du forage de Nancy-Thermal n° 3.

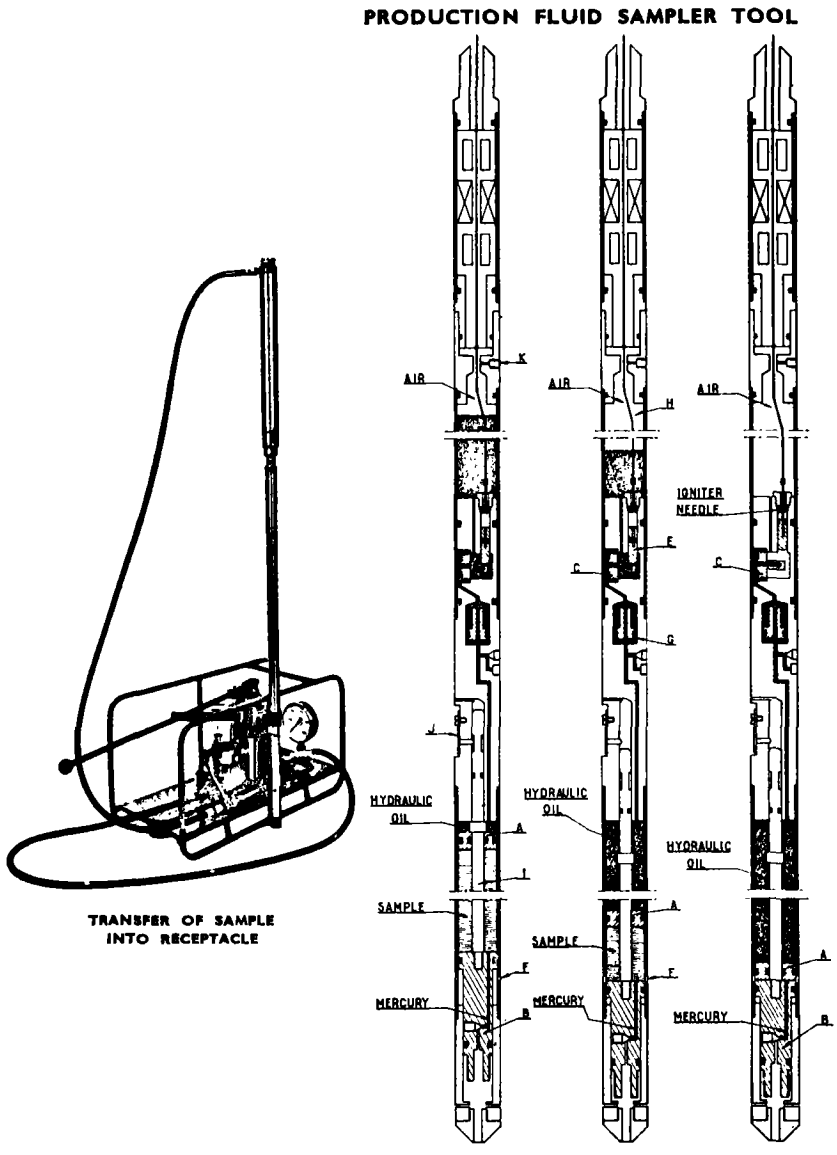

Fig. 3. — Echantillonneur de fluides Schlumberger.

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 produite 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.

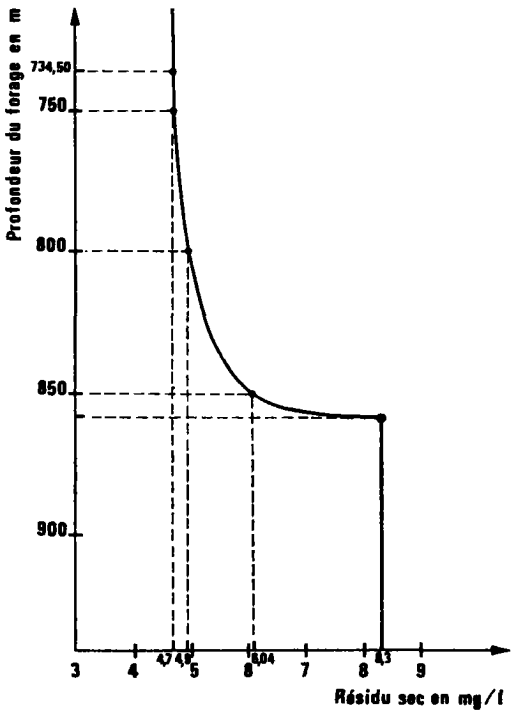

Fig. 4. — Minéralisation de l'eau en fonction de la profondeur du forage.

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 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.