Communication présentée au
Comité Technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 20 novembre 1964

THÉORIE DU PUIT Application à la méthode de Porchet

PAR
F. FERRARI *

* Ingénieur en chef du Génie rural.

Parmi les méthodes d'essai ponctuel des nappes aquifères, la méthode de Porchet [1], dite de la « courbe limnigraphique », mérite une place à part. Elle s'apparente à la méthode de non-équilibre puisqu'elle repose sur le relevé, lors d'un pompage à débit constant, de la courbe de descente dans le puits et de la courbe de remontée après arrêt du pompage, l'ensemble des deux branches constituant la courbe limnigraphique. Elle permettrait néanmoins, d'après son auteur, de déterminer, à partir de la courbe limnigraphique, le débit du puits correspondant à une dénivellation donnée dans le puits, c'est-à-dire d'établir une caractéristique rabattement-débit. N'exigeant qu'une courte durée de pompage, de mise en œuvre très commode, cette méthode pourrait ainsi avantageusement se substituer à la méthode d'équilibre.

Cependant, la pratique de la méthode montre que les débits auxquels conduit son application sont en général différents des débits réellement fournis d'une façon permanente aux niveaux considérés, c'est-à-dire de ceux mesurés par la méthode de stabilisation. Ces anomalies ont été signalées par divers auteurs. Il ne leur a pas échappé que l'explication devait en être recherchée dans la confusion implicitement faite par Porchet entre états transitoires et états permanents. Pour M. A. Vibert [2], la méthode étant par ailleurs correctement appliquée, les anomalies constatées trouveraient une explication suffisante dans le fait que, pour un même niveau dans le puits, la configuration de la nappe est considérée par Porchet comme identique à la descente et à la remontée, alors qu'en fait, s'agissant d'états transitoires, elle n'est pas nécessairement la même. La remarque est judicieuse. Cependant, il faut surtout bien voir que *le débit donné par la méthode de Porchet n'est pas le débit permanent, mais le débit d'alimentation de la nappe vers le puits à l'instant t auquel, lors du pompage au débit utilisé, est atteinte la dénivellation considérée.* Cet aspect nous paraît essentiel, au point de faire passer au second plan l'approximation de Porchet signalée par M. A. Vibert. Si bien qu'à notre sens la méthode de Porchet pourra être valablement appliquée en vue de déterminer le débit d'alimentation de la nappe à l'instant t du pompage, mais non pour obtenir le débit permanent correspondant à une dénivellation donnée.

Puisque la méthode fournit ainsi la valeur du débit d'alimentation de la nappe en régime transitoire, on est tenté d'essayer d'en déduire la valeur de ce débit en régime permanent, c'est-à-dire les éléments de la courbe d'exploitation rabattement-débit. Mais, résoudre un tel problème donnera également le moyen de déterminer les paramètres caractéristiques du gisement aquifère — transmissivité et porosité utile. Un seul essai de Porchet, exécuté dans des conditions particulièrement simples et commodes, permettrait alors à l'ingénieur de dégager l'ensemble des déterminations habituellement obtenues à partir de méthodes de mise en œuvre beaucoup plus longues et onéreuses.

I. — Hypothèse de l'alimentation proportionnelle au rabattement.

Le régime permanent, qui souvent apparaît au cours d'un pompage dans un puits après la phase transitoire initiale, implique l'alimentation de la nappe, le débit d'alimentation étant alors égal au débit de pompage. Le fait qu'à un débit de pompage donné corresponde dans le puits un niveau d'équilibre bien déterminé, laisse entendre que le débit d'alimentation est une fonction de la configuration de la nappe.

Théoriquement, on peut concevoir différents modèles rendant compte de cette alimentation. Ainsi Mme Kotchina-Poloubarinova [3] considère une nappe alimentée par le substratum non totalement étanche sur laquelle elle repose. La relation entre l'alimentation et la configuration de la nappe s'exprime alors par la proportionnalité entre le débit élémentaire de filtration verticale et le rabattement.

M. Brillant [4] a fait remarquer que l'hypothèse de l'alimentation proportionnelle au rabattement, posée par Mme Kotchina dans un cas particulier, pouvait être appliquée d'une manière beaucoup plus générale à l'ensemble des nappes de la nature. En l'absence ou dans l'ignorance d'alimentation localisée, l'hypothèse la plus simple, la plus valable d'ailleurs en moyenne, est en effet d'admettre que cette alimentation est uniformément répartie, commandée par le rabattement et, en première approximation, proportionnelle à celui-ci.

Physiquement le schéma classique de Dupuit — alimentation latérale par fossé circulaire à distance finie — paraît assez éloigné de cette hypothèse. Cependant, si on suppose les rabattements faibles, on peut montrer que dans un tel modèle, le débit permanent du puits est proportionnel au volume dénoyé, comme s'il résultait d'une alimentation proportionnelle au rabattement.

Cette remarque donne encore plus de poids à la généralisation de M. Brillant et avec lui nous admettons que, si une nappe est réalimentée, tout se passe, surtout si les rabattements sont faibles, comme si l'alimentation était uniformément répartie et proportionnelle au rabattement.

II. — Théorie du puits ponctuel en alimentation proportionnelle.

1. HYPOTHÈSE DE BASE. ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE DU MOUVEMENT DE LA SURFACE LIBRE D'UNE NAPPE A FILETS CONVERGENTS ALIMENTÉE UNIFORMÉMENT ET PROPORTIONNELLEMENT AU RABATTEMENT.

Nous admettrons que l'écoulement obéit à la loi de Darcy laquelle demeure valable à chaque instant. Nous supposerons le milieu homogène et isotrope.

Nous admettrons que la nappe, qui repose sur un fond horizontal, est de faible épaisseur comparativement à ses dimensions horizontales et que sa surface libre ne présente que de faibles pentes. Nous supposerons également que l'amplitude des mouvements de la surface libre est faible devant l'épaisseur de la nappe que l'on peut ainsi considérer comme constante et égale à sa valeur moyenne.

1/

L'hypothèse de l'alimentation uniformément répartie et proportionnelle au rabattement s'exprime ainsi : en un point de la surface de la nappe, de rabattement s , le débit d'alimentation dq à travers un élément de la surface de projection horizontale $d\sigma$ a pour valeur

$$dq = ms d\sigma$$

m étant une constante pour tous les points de la nappe, indépendante du temps, que nous appellerons « coefficient d'alimentation » ; de dimension T^{-1} , c'est encore la vitesse d'alimentation par unité de rabattement.

Soit alors une nappe d'épaisseur moyenne H au-dessus du fond horizontal, soumise à un écoulement à symétrie axiale engendré, par exemple, par un pompage dans un puits. Avec les hypothèses faites, on démontre, à partir du principe de continuité, que le rabattement s , à l'instant t , d'un point de la surface libre de la nappe situé à une distance r de l'axe du puits vers lequel s'opère l'écoulement est conditionné par l'équation générale [5] :

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{1}{KH} \left(\mu \frac{\partial s}{\partial t} + ms \right), \quad (1)$$

où K est le coefficient (ou vitesse) de filtration, μ la teneur du terrain en eau disponible ou porosité utile (différence entre la porosité et la rétention spécifique) et m le coefficient d'alimentation défini plus haut.

2. POMPAGE À DÉBIT CONSTANT DANS UN PUITS PONCTUEL. FORMULE GÉNÉRALE DE L'ÉCOULEMENT : APPLICATION DE LA TRANSFORMATION DE LAPLACE.

Avec les hypothèses précédentes, considérons une nappe d'extension latérale infinie dans toutes les directions, reposant sur un fond horizontal, initialement au repos puis soumise à un pompage à débit constant Q dans un puits ponctuel exploitant la nappe sur toute son épaisseur (fig. 1) :

Pour intégrer l'équation (1), compte tenu des conditions initiales et aux limites ainsi définies, nous ferons appel à la transformation de Laplace (*) :

Soit :

$$S(r, p) = \int_0^\infty e^{-pt} s(r, t) dt$$

(*) Signalons que la transformation de Laplace a été appliquée à l'étude de l'écoulement transitoire pur vers un puits (régime de Theis). c'est-à-dire dans le cas particulier où $m = 0$ dans l'équation (1), par M. Bourgoïn (Lyon), en 1959.

Porchet permet de connaître le débit d'alimentation $q(t)$ correspondant à un instant t du pompage :

$$q(t) = Q \frac{MP}{MN}$$

L'hypothèse de l'alimentation proportionnelle détermine la fonction $q(t)$. En effet la condition de débit — Cf. 2 b — peut s'écrire, en appelant v le volume du cône de dépression à l'instant t :

$$Q = \mu \frac{dv}{dt} + q(t)$$

soit, après intégration, compte tenu de ce que, par hypothèse,

$$q(t) = \int_0^\infty 2 \pi r m s dr = m v$$

et $v = 0$ pour $t = 0$

$$q(t) = Q (1 - e^{-(m/\mu)t}) \quad (7)$$

Pour aller plus loin, il faut faire appel à la loi du mouvement que traduit la formule (5), laquelle nous introduirons sous sa forme dérivée, afin d'aboutir à un résultat d'application commode :

$$\frac{\partial s(r, t)}{\partial t} = \frac{Q}{4 \pi \tau} \frac{e^{-(a^2 r^2 / 4 t)} e^{-(b^2 / a^2) t}}{t}$$

D'après (7), dans cette relation :

$$e^{-(b^2 / a^2) t} = \frac{Q - q(t)}{Q};$$

remarquant que

$$t \frac{\partial s(r, t)}{\partial t} = IH$$

sur la courbe de descente — dans le puits ou un piézomètre, — il vient ainsi, en posant $IH = z$:

$$\frac{z}{Q - q(t)} = \frac{1}{4 \pi \tau} e^{-(a^2 r^2 / 4 t)} \quad (8)$$

ou, sous forme logarithmique (log. décimaux) :

$$\log \frac{z}{Q - q(t)} = \log \frac{1}{4 \pi \tau} - 0,109 \frac{\mu r^2}{\tau} \frac{1}{t} \quad (8 \text{ bis})$$

L'application de ce résultat à la détermination des caractéristiques du gisement aquifère est immédiate :

Pour quelques points M_i de la branche de descente de la courbe limnigraphique dans le puits, on mènera à bien la construction de Porchet et on relèvera ainsi $t_i z_i$ et $q(t)_i$. L'ordonnée à l'origine et la pente de la droite d'ajustement des points d'abscisse $1/t_i$ et d'ordonnée

$$\log \frac{z_i}{Q - q(t)_i}$$

donneront respectivement τ et μ .

Si on dispose d'un piézomètre, les valeurs de Z , sur sa courbe de descente (*), correspondant aux mêmes valeurs t_i pour lesquelles sur la courbe limnigraphique du puits on a relevé $q(t)_i$, soit z'_i , permettront de tracer la droite

$$\left(\frac{1}{t_i}, \log \frac{z'_i}{Q - q(t)_i} \right)$$

afférente au piézomètre, d'où une nouvelle détermination de τ et μ .

Par ailleurs, mettant sous forme logarithmique la relation (7) — log. décimaux,

$$\log \frac{Q}{Q - q(t)} = 0,434 \frac{m}{\mu} t \quad (7 \text{ bis})$$

on voit que la pente de la droite d'ajustement des points d'abscisse t_i et d'ordonnée

$$\log \frac{Q}{Q - q(t)_i}$$

permettra d'obtenir m/μ , d'où m connaissant μ .

La courbe débit-rabattement dans le puits en régime permanent, $q = f(s_0)$ est alors bien déterminée; ce serait d'après (6 bis) la droite

$$q = 2 \pi \tau \frac{s_0}{K_0 [r_0 \sqrt{(m/\tau)}]} \quad (9)$$

En pratique, par analogie avec la formule de Dupuit, nous substituerons à (9) l'expression

$$q = 2 \pi \tau \frac{s_0 - (s_0^2 / 2 H)}{K_0 [r_0 \sqrt{(m/\tau)}]} \quad (10)$$

dès que $s_0^2 / 2 H$ n'est plus négligeable.

III. — Cas du puits non ponctuel.

Dans le cas réel du puits non ponctuel, la condition de débit s'écrit :

$$Q - \pi r_0^2 \frac{ds_0}{dt} = \mu \frac{dv}{dt} + q(t) \quad (11)$$

où $s_0(t)$ est le rabattement dans le puits de rayon r_0 au cours du pompage à débit constant Q et où :

$$v = \int_{r_0}^\infty 2 \pi r s dr$$

Dans la mesure où, dans l'expression de v , il est légitime de confondre :

$$\int_{r_0}^\infty \text{ avec } \int_0^\infty$$

on voit que, du point de vue analytique, on peut assimiler un puits non ponctuel soumis à un pom-

(*) Compte tenu de la durée limitée du pompage au cours d'un essai de Porchet, le piézomètre ne devra pas être trop éloigné du puits.

page de débit constant Q à un puits ponctuel soumis à un pompage de débit variable

$$Q - \pi r_0^2 \frac{ds_0}{dt}$$

La théorie développée au chapitre précédent est applicable en pratique seulement si le terme

$$\pi r_0^2 \frac{ds_0}{dt}$$

est négligeable par rapport à Q , c'est-à-dire si la réserve en eau du puits a une influence quasi nulle sur le phénomène de pompage — cas du forage de faible diamètre et de débit notable. S'il n'en est pas ainsi, un correctif doit y être apporté, que nous nous proposons de dégager à partir de l'assimilation faite entre puits non ponctuel soumis à un pompage de débit constant et puits ponctuel soumis à un pompage de débit variable.

Théoriquement le problème du puits ponctuel soumis à un pompage de débit

$$Q - \pi r_0^2 \frac{ds_0}{dt}$$

pourrait recevoir une solution rigoureuse, compte tenu de l'hypothèse de l'alimentation proportionnelle $q(t) = mv$, en introduisant cette nouvelle condition de débit dans l'application faite plus haut de la transformation de Laplace. En reprenant ainsi le calcul de B (voir chap. II, 2 b), on aboutit aisément à l'image $S(r, p)$ de $s(r, t)$:

$$S = \frac{Q}{p} \frac{K_0(r\sqrt{a^2p + b^2})}{2\pi\tau + \pi r_0^2 p K_0(r\sqrt{a^2p + b^2})}$$

On en tire immédiatement, pour t infini :

$$s(r, \infty) = \lim_{p \rightarrow 0} pS(r, p) = \frac{Q}{2\pi\tau} K_0(r/b) \quad (6)$$

c'est-à-dire la formule du régime permanent, identique, comme on pouvait s'y attendre, à celle (6) établie au chapitre précédent. Par contre, pour ce qui concerne la phase transitoire, outre que l'inversion de $S(r, p)$ n'est plus ici aisée, il ne semble pas qu'elle puisse conduire à une expression de $s(r, t)$ suffisamment simple pour être pratiquement utilisable.

C'est pourquoi nous aurons recours à une solution moins rigoureuse, mais qui a le mérite de mener à un résultat exploitable. Elle repose sur la constatation expérimentale faite par nous, en analysant les courbes limnigraphiques relatives à quelques cas concrets, que, pour un puits non ponctuel, les points d'abscisse t et d'ordonnée

$$\log \frac{Q}{Q - q(t)}$$

tirés de la branche de descente exploitée, s'alignaient avec une approximation satisfaisante suivant une droite, comme dans le cas théorique du puits ponctuel. On est donc fondé à écrire que, approximativement,

$$\frac{Q - q(t)}{Q} = e^{-\alpha t} \quad (12)$$

avec $\alpha = k(b^2/a^2)$, étant précisé que $k \neq 1$ pour le puits non ponctuel et $k = 1$ pour le puits ponctuel. Compte tenu de l'hypothèse $q(t) = mv$, il vient alors pour la condition de débit (11) :

$$Q - \pi r_0^2 \frac{ds_0}{dt} = Q [1 - (1 - k) e^{-\alpha t}]$$

Si bien qu'à la suite de l'assimilation faite en tête de ce chapitre, le problème du puits non ponctuel se ramène à celui du puits ponctuel soumis au débit transitoire

$$Q [1 - (1 - k) e^{-\alpha t}]$$

Naturellement cette approximation n'est en principe valable qu'à l'intérieur du domaine expérimental pris en compte pour la détermination de α .

La solution du problème ainsi définie est aisée; il suffit dans l'application de la transformation de Laplace faite au chapitre II, de remplacer Q/p , transformée de Q , par

$$Q \left[\frac{1}{p} - \frac{1 - k}{p + \alpha} \right]$$

transformée de

$$Q [1 - (1 - k) e^{-\alpha t}]$$

ce qui donne pour l'image $S(r, p)$:

$$S = \frac{Q}{2\pi\tau} \left(\frac{1}{p} - \frac{1 - k}{p + \alpha} \right) K_0 \left(ra \sqrt{p + \frac{b^2}{a^2}} \right)$$

L'inversion s'effectue à l'aide du théorème de Borel (ou du produit) :

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi\tau} \left[\int_0^t \frac{e^{-(a^2r^2/4t)} e^{-(b^2/a^2)t}}{t} dt - (1 - k) e^{-\alpha t} \right] \times \left[\int_0^t \frac{e^{-(a^2r^2/4t)} e^{-(b^2/a^2)t} e^{\alpha t}}{t} dt \right] \quad (13)$$

En dérivant, on a :

$$\frac{\partial s}{\partial t} = k \frac{Q}{4\pi\tau} \frac{e^{-(a^2r^2/4t)} e^{-(b^2/a^2)t}}{t} - \alpha \left[s(r, t) - \frac{Q}{4\pi\tau} \int_0^t \frac{e^{-(a^2r^2/4t)} e^{-(b^2/a^2)t}}{t} dt \right] \quad (14)$$

On remarque que

$$\frac{Q}{4\pi\tau} \int_0^t \frac{e^{-(a^2r^2/4t)} e^{-(b^2/a^2)t}}{t} dt$$

serait l'expression du rabattement si le puits soumis au pompage de débit Q pouvait être considéré comme ponctuel, ce qui permet d'écrire, en notant $\sigma(r, t)$ ce rabattement :

$$\frac{\partial s}{\partial t} = k \frac{Q}{4\pi\tau} \frac{e^{-(a^2r^2/4t)} e^{-(b^2/a^2)t}}{t} - \alpha [s(r, t) - \sigma(r, t)] \quad (15)$$

Les formules (13), (14) ou (15) ne sont guère facilement exploitables pour les applications pratiques. Mais il est possible de tirer de l'expression (15) un résultat pratiquement utilisable. A cet effet, nous écrirons la formule (15), pour la vitesse de rabattement dans le puits, sous la forme :

$$t \frac{ds_0}{dt} = k \frac{Q}{4\pi\tau} e^{-(a^2 r_0^2 / 4t)} e^{-(b^2 / a^2)t} + \Delta$$

avec

$$\Delta = \alpha t [\sigma_0(t) - s_0(t)]$$

où $s_0(t)$ est le rabattement dans le puits non ponctuel de rayon r_0 et σ_0 le rabattement dans le puits de même rayon considéré comme ponctuel; et nous chercherons à évaluer le terme correctif Δ à partir de la remarque qui suit :

Un calcul simple montre que, si pour la branche de descente considérée, on admet

$$\frac{Q - q(t)}{Q} = e^{-\alpha t}$$

la condition de débit (11), jointe à l'hypothèse $q = mv$, impose de ce fait

$$q(t) = \frac{\alpha \pi r_0^2}{1 - k} s_0(t)$$

soit, en posant

$$\frac{\alpha \pi r_0^2}{1 - k} = \beta,$$

$$q(t) = \beta s_0(t) \quad (16)$$

Les points $[s_0(t), q(t)]$ relevés à partir de la courbe limnigraphique doivent donc s'aligner suivant une droite; expérimentalement on constate qu'il en est ainsi avec une approximation suffisante. Notons, en outre, que de la définition de β on tire :

$$k = 1 - \frac{\alpha}{\beta} \pi r_0^2$$

relation qui permet de vérifier que $k < 1$ et de déterminer k si, expérimentalement, on connaît α et β .

Dans ces conditions, dans les limites correspondant sur la courbe limnigraphique à la détermination de α et β , on a approximativement, d'après les relations (12) et (16) :

$$s_0(t) = \frac{Q}{\beta} (1 - e^{-\alpha t})$$

De même, le puits ponctuel pouvant être considéré comme la limite, correspondant à $k = 1$, du puits non ponctuel, on aurait :

$$\sigma_0(t) = \frac{Q}{\beta_1} (1 - e^{-(b^2/a^2)t})$$

L'égalité de β et de β_1 n'est rigoureusement réalisée que pour t infini, c'est-à-dire en régime permanent. Pour l'évaluation de Δ , il paraît néanmoins possible de les confondre, ce qui permet d'écrire :

$$\Delta = \frac{\alpha}{\beta} Q e^{-\alpha t} [1 - e^{-(b^2/a^2)t - \alpha t}] t$$

ou encore :

$$\Delta = \frac{\alpha}{\beta} [Q - q(t)] [1 - e^{-(b^2/a^2)t - \alpha t}] t$$

En résumé, dans le cas du puits non ponctuel soumis à un pompage à débit constant, une solution approximative pour le régime transitoire dans le puits est entièrement déterminée, en vue notamment de l'application à la méthode de Porchet, par les relations suivantes, valables à la descente dans les limites correspondant sur la courbe limnigraphique à la détermination des coefficients expérimentaux α et β ; on posera, comme au chapitre II,

$$t \frac{ds_0}{dt} = IH = z_0$$

(voir fig. 2) :

$$\frac{Q - q(t)}{Q} = e^{-\alpha t} \quad q(t) = \beta s_0(t)$$

avec :

$$\alpha = k \frac{b^2}{a^2} \quad \beta = \frac{\alpha \pi r_0^2}{1 - k}$$

$$\frac{z_0 - \Delta}{Q} = \frac{k}{4\pi\tau} e^{-(a^2 r_0^2 / 4t)} e^{-(b^2 / a^2)t} \quad (17)$$

avec :

$$\Delta = \frac{\alpha}{\beta} [Q - q(t)] [1 - e^{-(b^2/a^2)t - \alpha t}] t$$

On vérifie que la solution englobe le cas du puits ponctuel : en faisant $k = 1$, on retrouve en effet les résultats établis au chapitre précédent; mais il convient alors de rendre nul r_0 dans la relation de définition de β , qui devient ainsi indéterminé.

Les modalités de l'application de ces résultats à un essai de Porchet sont voisines de celles exposées dans le cas du puits ponctuel :

Pour quelques points M_i de la branche de descente de la courbe limnigraphique du puits, on mènera à bien la construction de Porchet et on relèvera t_i , $s_0(t)_i$, z_{0i} et $q(t)_i$.

1° On tracera la droite d'ajustement des points :

$$\left[x = t_i \quad y = \log \frac{Q}{Q - q(t)_i} \right]$$

dont la pente permettra de déterminer α :

$$\log \frac{Q}{Q - q(t)} = 0,434 \alpha t$$

2° On tracera la droite d'ajustement des points

$$[x = s_0(t)_i, y = q(t)_i]$$

dont la pente donnera β :

$$q(t) = \beta s_0(t)$$

De la connaissance de α et β , on tirera k et $(b^2/a^2) = (m/\mu)$:

$$k = 1 - \frac{\alpha}{\beta} \pi r_0^2 \quad \frac{b^2}{a^2} = \frac{\alpha}{k}$$

3° On calculera, pour chaque valeur t_i , le terme correctif

$$\Delta_i = \frac{\alpha}{\beta} [Q - q(t)_i] [1 - e^{-(b^2/a^2) - \alpha t_i}] t_i$$

4° La relation (17) peut se mettre sous la forme logarithmique (logarithmes décimaux) :

$$\log \frac{z_0 - \Delta}{Q} + 0,434 \frac{b^2}{a^2} t = \log \frac{k}{4 \pi \tau} - 0,109 \alpha^2 r_0^2 \frac{1}{t}$$

On tracera ainsi la droite d'ajustement des points

$$\left[x = \frac{1}{t_i}, y = \log \frac{z_{0i} - \Delta_i}{Q} + 0,434 \frac{b^2}{a^2} t_i \right]$$

L'ordonnée à l'origine et la pente de cette droite permettront respectivement de déterminer τ et μ , d'où également m . Désignant par $\log d$ l'ordonnée à l'origine et par c la valeur absolue de la pente, on a en effet :

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau = \frac{k}{4 \pi d} \\ \mu = \frac{c \tau}{0,109 r_0^2} \\ m = \mu \frac{b^2}{a^2} \end{array} \right.$$

5° Le régime permanent est alors bien déterminé; la courbe débit-rabattement est encore définie par la relation (10).

IV. — Application à un cas concret.

Essai du puits Sainte-Marie-de-Gardel (Guadeloupe) :

Ce puits de grand diamètre (rayon moyen $r_0 = 1,93$ m) et de hauteur d'eau au repos $H = 6,85$ m sollicite une nappe aquifère circulant dans un calcaire corallien compact dont la masse

3/ Puits Sainte-Marie. Usine Gardel. Essai de débit 3-4 mars 1953. Pompage à débit constant $Q = 8,85$ l/s. Courbe limnigraphique.

Sainte-Marie well. Gardel plant. Flow test on 3rd to 4th March 1953 at constant pump discharge $Q = 8.85$ l/sec. Level curve.

est criblée de fissures et petites cavités anastomosées entre elles et gorgées d'argile de décalcification. L'essai dura au total 22 h 47 mn, dont 4 h 33 mn pour le pompage et 18 h 14 mn pour la remontée.

Les déterminations tirées de la courbe limnigraphique du puits (fig. 3) permettent d'établir les graphiques des figures 4, 5 et 6, d'où l'on tire :

$$k = 1 - \frac{\alpha}{\beta} \pi r_0^2 = 0,42 \quad \frac{b^2}{a^2} = \frac{\alpha}{k} = 88 \times 10^{-6}$$

$$\tau = \frac{k}{4\pi d} = 1,27 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu = \frac{c\tau}{0,109 r_0^2} = 0,17$$

$$m = \mu \frac{b^2}{a^2} = 1,53 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Régime permanent :

$$q = \frac{2\pi\tau}{K_0 [r_0\sqrt{(m/\tau)}]} \left(s_0 - \frac{s_0^2}{2H'} \right)$$

avec $H' = H + (r_0/2)$, le puits n'atteignant pas le fond imperméable, dont la position est par ailleurs inconnue (correction de Porchet).

D'où :

$$q = 8 \times 10^{-4} \left(s_0 - \frac{s_0^2}{15,63} \right)$$

Références.

- [1] M. PORCHET : « Essai sur une méthode de détermination du débit d'un puits » — *Annales du Ministère de l'Agriculture*, fascicule 56, — Eaux et Génie Rural — (1928).
- [2] A. VIBERT : « La méthode de Porchet pour la reconnaissance des nappes aquifères » — *Le Génie Civil*, 15 octobre 1946.
- [3] Mme KOTCHINA-POLOUBARINOVA : « Sur les rayons d'action des puits », communication aux VI^{es} Journées de l'Hydraulique organisées à Nancy en 1960 par la Société Hydrotechnique de France.
- [4] M. BRILLANT : Intervention aux VI^{es} Journées de l'Hydraulique à propos de la communication de Mme Kotchina et « Rabattements de nappe, théorie linéaire et application aux essais » — *La Houille Blanche* n° 3, mai-juin 1961.
- [5] Voir référence [4].

Discussion

Président : M. CHAPOUTHIER

M. le Président remercie M. FERRARI.

M. l'Ingénieur Général KOCH reconnaît l'intérêt que présente la ligne d'Ariane, dégagée par M. FERRARI, laquelle recoupe le formules de Theiss, de Porchet, en étendant leur portée. Mais il met en garde contre les conséquences abusives que certains utilisateurs risqueraient d'en tirer. Quelle que soit la méthode suivie, il est dans la nature des choses que l'expérience du rabattement sur un puits donne limitativement des renseignements sur la capacité de réalimentation de la nappe dans le voisinage du puits en cause et à l'époque du rabattement. Outre les hypothèses admises pour l'établissement d'une formule donnée, restent en cause l'hétérogénéité et l'anisotropie du milieu autour du champ captant. D'une manière très générale, la nappe, à la suite de pompages poursuivis pendant de longues périodes, se modifie par rapport à l'état dont elle témoignait avant captage ou au début de celui-ci. Tout compte fait, M. KOCH ne pense pas que l'on puisse éviter les méthodes de recherches multipliées et prolongées, ni même une certaine extrapolation dont le bien-fondé n'apparaîtra qu'après coup.

Sous cette réserve essentielle, les suggestions de M. FERRARI doivent permettre d'obtenir des précisions sur le coefficient de transmissivité, la perméabilité moyenne dans la zone de recherche, dont l'enseignement ne saurait être sous-estimé.

M. le Président remercie beaucoup M. KOCH et, vu l'heure, s'excuse de restreindre la durée de la discussion.

Abstract

Well theory and its application to Porchet's method

by F. Ferrari *

Porchet's well test method cannot be used to determine the steady flow from a well for a given amount of drawdown as he expected, but gives instead the rate of flow $q(t)$ supplied by the water table to the well at time t , at which the considered level difference $q(t) = Q \times (MP/MN)$ is attained, Q being the discharge pumped from the well (cf. Fig. 2).

One can attempt to deduce from the transient water table supply discharge thus obtained 1) the value of this discharge under steady conditions—i.e. elements of the drawdown vs. discharge curve—and 2) characteristic coefficients for the aquifer concerned.

I. — For this, the first requirement is to assume relationship between supply discharge and water table configuration: it is considered that, providing the water table is recharged, and especially if the amount of drawdown is small, conditions are as for an evenly distributed flow supplied at a rate proportional to the amount of drawdown.

II — With the above assumption and the usual approximations required to linearise the problem, the motion of the free-surface of a water table featuring converging stream lines and resting on a horizontal bottom satisfies the general equation (1), which in the case of a *point* well subjected to pumping at constant discharge, is integrated with the aid of the Laplace transformation.

The formula for transient conditions (5 or 5'bis') and the one for steady conditions (6 or 6'bis') are thus obtained, and this solution in turn yields the formula (8 or 8'bis') whereby the transmissivity and effective porosity of the medium can be determined very simply from Porchet's construction (Fig. 2) by a graphical method.

III. — The point well is, however, only a reliable theoretical model where the effect of the water stored in the well can be neglected. Where this is not so, the general case of the *non-punctual* well applies, which differs from the point well case by its discharge conditions (11), whereby a non-punctual well from which a constant discharge is being pumped can be considered as a point well from which a variable discharge is being pumped. With this assumption, an approximate solution can be found for the problem, which is based on the experimental observation expressed by relation (12). The results are listed in the table associated with formula (17). Practical application of this is similar to that for the point well; here again, the aquifer characteristics are found by a simple graphical method, and the drawdown vs. discharge curve is given by the same relationship (10).

IV. — The theoretical results are applied to the concrete case of a large-diameter well.

The final conclusion is that a single Porchet test carried out under particularly simple convenient conditions could supply all the information usually obtained by much lengthier and less straightforward methods.

* Ingénieur en Chef du Génie Rural