

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

*Richard*

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

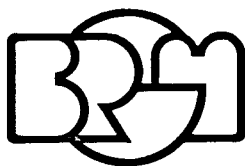
B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

# ESSAIS DE Puits PAR PALIERS DE DÉBIT

## ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES

par

J. FORKASIEWICZ



Département hydrogéologie

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

78 SGN 040 HYD

Septembre 1978

## R E S U M E

---

L'analyse et l'interprétation des données de pompages par paliers appelés souvent "essais de puits" tiennent une place importante dans l'élaboration d'un projet d'exploitation d'un ouvrage de captage existant.

Elle doit mener à la détermination d'une relation débits/rabattements de l'ouvrage, permettant d'évaluer pour un débit donné les pertes de charge dues à l'ouvrage de captage et leur importance par rapport à celles dues à la formation aquifère ainsi qu'à la prévision soit des débits en fonction des rabattements supposés soit des rabattements en fonction des débits demandés. Etant bien entendu que lorsque le régime permanent n'est pas réalisé en fin de chaque palier de débit la prévision ne peut être dissociée d'un pompage de longue durée.

Les principales équations du rabattement au puits ainsi que les méthodes d'analyse et d'interprétation des données de pompages par paliers sont rappelés dans ce rapport et des exemples pratiques illustrent l'application de ces méthodes.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des études méthodologiques du département Hydrogéologie.

# S O M M A I R E

---

	Pages
RESUME	
INTRODUCTION	1
RAPPEL DES DEFINITIONS RELATIVES AU PUIITS EN POMPAGE	2
1. RAPPEL DES EQUATIONS THEORIQUES DU RABATTEMENT AU PUIITS ET LEUR DOMAINE DE VALIDITE	3
1.1. Equation de Jacob	3
1.1.1. Détermination graphique des coefficients B et C	4
1.2. Equation de Rorabaugh	5
1.2.1. Méthode des courbes types de Sheahan	7
1.3. Signification des coefficients B et C et notion d'efficacité du puits	10
1.4. Equation de Gosselin	12
2. NOTIONS DU DEBIT CRITIQUE ET DU DEBIT MAXIMAL D'EXPLOITATION	14
3. REALISATION ET INTERPRETATION DES POMPAGES PAR PALIERS	15
3.1. Réalisation	15
3.2. Interprétation	18
3.2.1. Exemples d'application	22
4. CONCLUSIONS	27
BIBLIOGRAPHIE	31

## INTRODUCTION

Un des problèmes pratiques de captage d'eau souterraine qui se pose le plus souvent à l'hydrogéologue est celui d'évaluer le débit d'exploitation maximal ou optimal d'un puits ou forage existant. La réponse à ce problème ne peut être faite sans avoir acquis les données sur :

- 1) la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques de la formation aquifère.
- 2) l'existence et l'importance des pertes de charges dues à l'ouvrage de captage.

Les pompages de longue durée ou "essais de nappe" permettent d'acquérir les données du premier type et les pompages par paliers de débit ou "essais de puits" celles relatives aux deuxième.

Le présent rapport passe en revue les principales équations du rabattement au puits et les méthodes d'interprétation des données des pompages par paliers qui en découlent.

## RAPPEL DES DEFINITIONS RELATIVES AU PUIITS EN POMPAGE

Les définitions rappelées ci-dessous sont celles du Dictionnaire français d'hydrogéologie par G. Castany et J. Margat.

- 1 - Palier de débit : Pompage à débit constant dans un puits, pendant une durée définie, pratiqué en particulier pour obtenir un *rabattement* stabilisé ou pour observer un *rabattement* au bout d'un temps donné, servant à déterminer une relation débit/*rabattement*.
- 2 - Vitesse critique : Valeur de vitesse réelle de l'eau en mouvement dans un milieu perméable au-dessus de laquelle les pertes de charge sont proportionnelles à une puissance  $n$  de la vitesse ( $n$  étant une constante liée aux caractéristiques du terrain). Cette vitesse est le seuil séparant le régime d'*écoulement laminaire* (à perte de charge proportionnelle à la vitesse) du régime d'*écoulement turbulent*.
- 3 - Débit critique (d'un puits ou forage) : Débit maximal pouvant affluer d'un *aquifère* à un *puits de pompage* en écoulement laminaire, c'est-à-dire sans dépassement de la *vitesse critique*. En pratique, c'est le débit pompé au-delà duquel les pertes de charge ne croissent plus en fonction linéaire du débit.
- 4 - Rabattement spécifique : Hauteur du *rabattement* dans un puits rapportée au débit pompé, dans des conditions définies ( $s/Q$ ).
- 5 - Courbe débits/rabattements : Représentation graphique de la relation entre les débits pompés et les *rabattements* obtenus dans un puits, définis soit en régime permanent (*paliers de niveau* stabilisé) soit au bout de durées de pompage égales choisies conventionnellement.
- 6 - Productivité d'un puits : Débit (potentiel) maximal qui peut être pompé dans un puits, après effacement de l'*effet de capacité*, dans des conditions définies et en régime d'exploitation normal, en fonction seulement de contraintes physiques (caractéristiques locales de l'*aquifère* et du puits).
- 7 - Efficacité d'un puits : Rapport entre la *productivité* d'un puits réel, plus ou moins *imparfait*, et la *productivité* d'un *puits parfait* (n'imposant aucune perte de charge parasite), placé dans les mêmes conditions.  
En pratique c'est, pour un débit de pompage donné, le rapport entre le *débit spécifique* observé au bout d'une durée conventionnelle (par exemple 24 h) et le *débit spécifique* calculé pour la même durée d'après les paramètres hydrodynamiques de l'*aquifère* et un modèle d'écoulement autour du puits supposé *parfait* (Bonnet).
- 8 - Puits parfait : Puits, forage dans lequel l'apport d'eau, en cours de pompage - ou l'absorption d'eau, en cas d'injection - s'effectuerait sans aucune *perte de charge due au puits*.

# 1. RAPPEL DES EQUATIONS THEORIQUES DU RABATTEMENT AU PUICTS ET LEUR DOMAINE DE VALIDITE

## 1.1. Equation de Jacob (1946)

D'après Jacob le rabattement  $s_p$  observé à un instant  $t$  donné dans un puits de pompage (nappe captive ou libre) à condition que  $s_p \leq 0,1 H_0$  où  $H_0 =$  hauteur initiale noyée) est la somme de deux composantes, dont l'une est linéaire et l'autre quadratique par rapport au débit :

$$s_p = BQ + CQ^2 \quad (1)$$

$s_p$  = rabattement total observé au puits

$BQ$  = perte de charge linéaire due à l'écoulement laminaire ; elle comprend : la perte de charge dans le milieu aquifère " $\Delta H_{aq}$ ", qui si le régime n'est pas permanent évolue (croît) en fonction du temps de pompage, la perte de charge due au remaniement " $\Delta H_r$ " autour de la crépine qui peut être positive (amélioration de la circulation) ou négative (colmatage) et éventuellement la perte de charge due à la pénétration partielle " $\Delta H_{pp}$ " si l'ouvrage n'est pas complet.  $\Delta H = \rho \cdot l \cdot (v^2 / 2g)$

Donc  $BQ$  peut être la somme de trois composantes linéaires :

$$BQ = \Delta H_{aq} + \Delta H_r + \Delta H_{pp}$$

dont la 1ère évolue en fonction du temps de pompage si le régime n'est pas permanent et les deux autres sont constantes.

$CQ^2$  = perte de charge quadratique due à l'écoulement turbulent dans les crépines et le tubage.

Quel que soit le régime de pompage cette composante n'est fonction que du débit donc constante pour un débit donné.

Cette interprétation implique le régime laminaire (faible vitesse, nombre de Reynolds  $Re < 2$  à  $10$ ) donc la validité de la loi de Darcy dans le milieu poreux et suppose des pertes de charge quadratiques dans le tubage et la crépine ( $Re_{tu} > 2000$ ).

Pour de faibles débits, donc de faibles vitesses ( $Re < 2000$ ), les pertes de charge dans le tubage et la crépine sont ou linéaires ou négligeables et l'équation 1 se réduit à :

$$s_p = BQ \quad (1a)$$

Il peut arriver aussi que la vitesse de circulation de l'eau dans le milieu aquifère soit supérieure à la vitesse critique ( $Re_{aq} > 200$ ). Dans ce cas, l'équation 1 peut se réduire à :

$$s_p = CQ^2 \quad (1b)$$

Le terme  $CQ^2$ , dans ce cas, comprend aussi bien la perte de charge due à l'aquifère qui n'est plus linéaire que les pertes de charge dans la crépine et le tubage.

### 1.1.1. Détermination graphique des coefficients B et C

L'équation 1 peut s'écrire sous la forme :

$$s_p/Q = B + CQ$$

qui est une équation du 1er degré et le report de  $s_p/Q$  en fonction de  $Q$ , à un instant t identique pour chacun des débits, se représente sous forme d'une droite. Le coefficient B est donné par l'intersection de la droite avec l'axe de  $s_p/Q$  et le coefficient C est la pente de la droite (voir fig. 1).

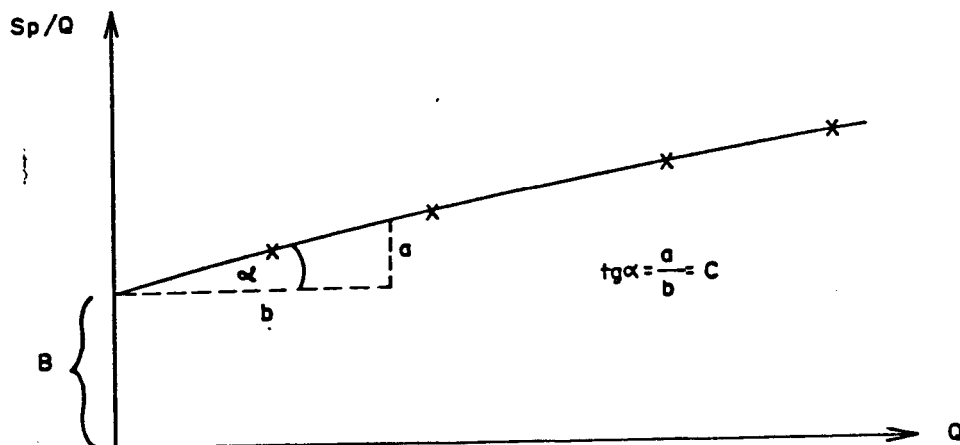


Fig.1

Représentation graphique de l'équation  $s_p/Q = B + CQ$

Pour que les coefficients B et C soient représentatifs du forage les conditions suivantes sont nécessaires :

1. Le forage doit être correctement développé avant l'essai par paliers
2. Le nombre n des paliers de débit doit être au moins égal à 3 :  $n \geq 3$

3. La relation débit/rabattement doit être correctement échantillonnée dans la plage de faibles débits (cette condition ne peut être respectée que lorsque l'on peut effectuer un nombre de paliers supérieur à 3).
4. Le débit maximal de pompage  $Q_{\max}$  doit être supérieur au débit critique  $Q_c$ . En effet si le débit maximal est trop faible le terme  $CQ^2$  peut être du même ordre de grandeur que les erreurs des mesures et nous conduire à conclure que l'équation du rabattement est :  $s_p = BQ$  alors qu'en réalité elle est :  $s_p = BQ + CQ^2$

L'erreur relative sur  $s/Q$  diminue souvent au fur et à mesure de l'augmentation du débit. Les faibles débits ont un poids dominant dans l'estimation de  $B$ . Un soin particulier doit donc être apporté à la mesure des valeurs  $s$  et  $Q$  lorsque le débit tend vers zéro. Les types 1a et 1b des droites de l'équation 1 (fig. 2) ne sont souvent qu'une équation du type 1 mal évaluée.

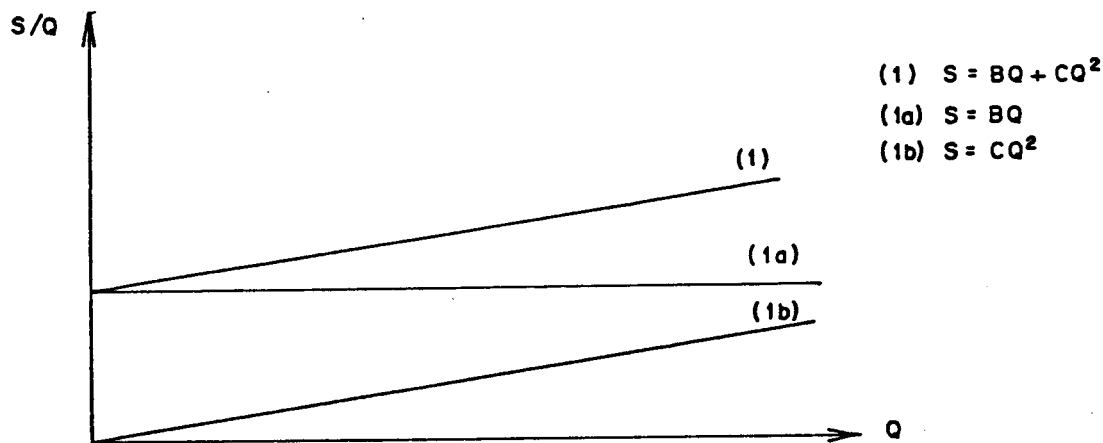


Fig. 2

### 1.2. Equation de Rorabaugh (1953)

Rorabaugh (9) a trouvé que dans de nombreux cas la valeur de l'exposant affectant le débit dans l'équation de Jacob était supérieure à 2 et préfère l'expression :

$$s_p = BQ + CQ^P \quad (2)$$

Cette équation peut s'écrire :

$$s_p/Q = B + CQ^{P-1}$$

ou encore :

$$s_p/Q - B = CQ^{P-1}$$

La méthode de résolution de l'équation (2) proposée par Rorabaugh est la suivante : on reporte  $(s_p/Q - B)$  en fonction de  $Q$  en coordonnées bi-logarithmiques :



Pour cela il faut supposer une valeur de  $B$  qui est une inconnue. La valeur correcte de  $B$ , trouvée par approximations successives, doit permettre d'obtenir une droite. La pente de la droite ainsi obtenue est égale à  $(p-1)$  et la valeur de  $(s/Q-B)$  pour  $Q = 1$  est égale à  $C$ .

En reportant  $(s_p/Q - B)$  en fonction de  $Q$  on suppose en première approximation  $B = 0$ . Si les données de pompage sont correctes (c'est-à-dire si elles sont représentatives du régime laminaire et du régime turbulent) on obtient une courbe concave (voir fig. 3).

Ensuite on attribue à  $B$  des valeurs positives de plus en plus grandes. Les valeurs de  $B$  trop fortes donnent des courbes convexes.

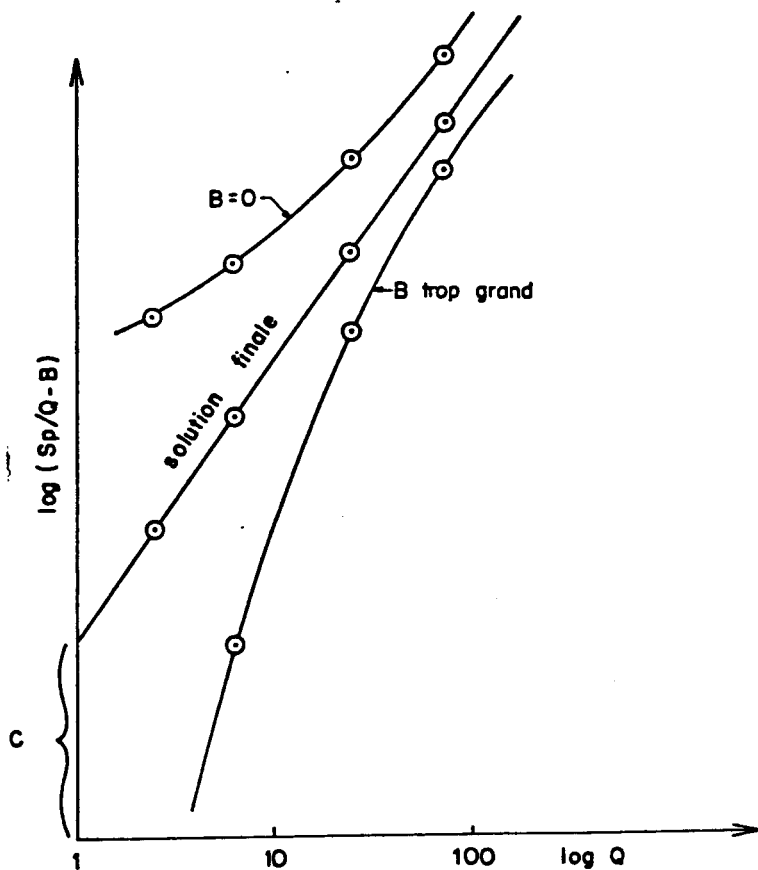


Fig. 3

### 1.2.1. Méthode des courbes types de Sheahan (1971)

Sheahan (10) présente un abaque (cf. pl. 1) comportant une série de courbes types issues de l'équation de Rorabaugh :

$$s_p = BQ + CQ^p$$

Cet abaque permet l'identification simple et rapide des coefficients B, C ainsi que de l'exposant p. Sheahan part de l'équation suivante :

$$s_p = B_t Q + C'Q + CQ^p \quad (3)$$

ou

$B_t$  = coefficient des pertes de charge dues à l'aquifère

$B_t Q$  = perte de charge de l'aquifère qui est fonction du temps de pompage

$C'$  = coeffic. des pertes de charge laminaires dues au puits pouvant résulter du colmatage des crépines, de la pénétration partielle du puits, de la position des crépines dans l'aquifère etc ...

$C'Q$  = pertes de charge laminaires dues au puits ;

$C$  = coeffic. des pertes de charge dues à l'écoulement turbulent à travers les crépines et dans le tubage

$CQ^p$  = pertes de charge turbulentes dues au puits

Le coefficient  $C'$  ne peut être déterminé directement par des pompages par paliers ; dans un premier temps  $C'$  est égal à zéro. L'équation (3) se réduit ainsi à :

$$s_p = B_t Q_n + CQ_n^p \quad (4)$$

qui est identique à celle de Rorabaugh.  $Q_n$  est le débit de pompage pendant le n<sup>ième</sup> palier.

Sheahan a procédé au calcul des courbes type en posant :

$$B_t = 1$$

$$C = 1$$

$$p > 1$$

et  $Q_i^{p-1} = 100$  où  $Q_i$  est la valeur initiale de  $Q_n$ . L'équation (4) est ensuite utilisée pour calculer les différentes valeurs de  $s_p/Q_n$  pour différentes valeurs de  $p > 1$  et  $Q_n < Q_i$ .

Les valeurs de  $s_p/Q_n$  sont ensuite reportées en fonction de  $Q_n$  en coordonnées bi-logarithmiques pour chaque valeur de p.

Sheahan a calculé les courbes types pour les valeurs de  $Q_n$  comprises entre 0,1 et 50 et les valeurs de  $p$  comprises entre 1,7 et 4.

L'examen de l'équation (4) montre que pour une valeur de  $Q_n$  telle que  $Q_n = Q_x$  :

$$s_p/Q_x = B_t + CQ_x^{p-1} = 2 B_t \quad (5)$$

$$B_t = CQ_x^{p-1} = \left[ s_p/Q_x \right] / 2 \quad (6)$$

et

$$C = B_t/Q_x^{p-1} = \left[ s_p/Q_x \right] / 2Q_x^{p-1} \quad (7)$$

Puisque les courbes types ont été construites avec une valeur supposée de  $B_t = 1$ , l'équation (6) donne  $s_p/Q_x = 2$ . La planche 1 montre les courbes types et "INDEX LINE" (LIGNE DE REPERE) correspondant à la valeur  $s_p/Q_n = 2$

Toutes les courbes se terminent vers le bas au point égal à  $1,1 B_t$  pour chaque courbe. La zone située entre l'ordonnée 1 et  $1,1 B_t$  représente la gamme des débits pour lesquels l'efficacité du puits (voir § 1.3) est supérieure à 90 % (supposant  $C' = 0$ ). La LIGNE DE REPERE représente la valeur de  $Q_n = Q_x$  pour laquelle  $B_t = CQ_n^{p-1}$ , qui correspond à l'efficacité de 50 % (toujours en supposant  $C' = 0$ ). Lorsque  $Q_n$  décroît la valeur de  $s_p/Q_n$  approche  $B_t$  et dans la zone de  $s_p/Q_n < 1,1 B_t$  les courbes, pour toutes les valeurs de  $p$ , suivent pratiquement l'équation :

$$s_p/Q_n = B_t$$

Lorsque  $Q_n$  croît, les courbes de l'abaque approchent une droite dont l'équation est :

$$s_p/Q_n = CQ_n^{p-1}$$

#### Utilisation de l'abaque

Les valeurs de  $s/Q$  fournies par le pompage d'essai par paliers sont reportées en fonction de  $Q$  en coordonnées bi-logarithmique sur papier calque de même module que celui de l'abaque.

La méthode classique de superposition de la courbe obtenue sur une des courbes types (en veillant à ce que les axes des deux graphiques soient parallèles) permet l'identification de  $p$  dont la valeur est fournie par la courbe type choisie.

Ensuite au point d'intersection de la courbe type choisie avec la LIGNE DE REPERE (INDEX LINE) on lit les valeurs de  $s/Q_x$  et  $Q_x$  sur le graphique comportant la courbe fournie par les données des pompages.

On calcule  $B_t$  et  $C$  en se servant des expressions suivantes :

$$B_t = \left[ s_p/Q_x \right] / 2$$

$$C = B_t/Q_x^{p-1}$$

La valeur de  $B_t$  peut aussi être lue directement sur le graphique de valeurs expérimentales : c'est l'ordonnée  $s_p/Q_n$  qui correspond à l'axe de l'abaque d'ordonnée 1 (cf. planche 1).

### Détermination du coefficient C'

La valeur du coefficient  $B_t$  ainsi calculée ne concerne pas nécessairement les pertes de charge de la formation aquifère seule mais toutes les pertes de charge laminaires qui peuvent être présentes.

Lorsque le puits est incomplet, la pénétration partielle peut être la principale cause de l'existence des pertes de charge laminaires dues au puits, auquel cas la valeur de  $C'$  peut être approchée par le calcul de la perte de charge théorique due à la pénétration partielle (cf. référence (5)).

Par ailleurs, si les paramètres de la formation aquifère : la transmissivité  $T$  et le coefficient d'emmagasinement  $S$  ainsi que le rayon du puits  $r_p$  sont connus la valeur de  $B_t$  peut être calculée suivant l'expression de Jacob :

$$B_t = \frac{0,183}{T} \log \frac{2,25 T t}{r_p^2 S}$$

lorsque le régime est transitoire, ou suivant l'expression :

$$B_t = \frac{0,366}{T} \log \frac{R}{r_p} \quad \text{où } R = \text{rayon d'action}$$

lorsque le régime est permanent.

La différence entre la valeur de  $B_t$  obtenue par la méthode des courbes types et la valeur calculée suivant une des expressions ci-dessus fournie la valeur de  $C'$ .

### Discussion de la méthode et conclusions

Lorsque les données des pompages fournissent une courbe située en dessous de la "LIGNE DE REPERE", la valeur de  $B_t$  peut être déterminée avec une bonne approximation, mais les valeurs de  $P$  et  $C$  sont moins certaines.

Inversement, lorsque la courbe fournie par les pompages se situe au-dessus de la "LIGNE DE REPERE", la valeur de  $P$  est bien définie mais l'estimation des valeurs de  $B_t$  et  $C$  est sujette à une erreur qui va en augmentant.

Il en résulte que pour avoir une bonne identification de la courbe type donc une bonne estimation de :  $B_t$ ,  $C$  et  $P$  les données des pompages par paliers doi-

vent être telles que le report de  $s/Q$  en fonction de  $Q$  couvre la plus grande portion de la courbe type applicable.

*EN PRATIQUE : 5 paliers de durée égale avec observation de remontée pour un temps  $t$  égal au temps de pompage*

En somme le choix des débits est un facteur important qui conditionne l'interprétation des données de ces pompages. Sheahan constate que pour déterminer le choix entre les courbes types indicées  $P = 4,0$  et  $P = 3,6$  le rapport du débit maximal au débit minimal doit être égal ou supérieur à 2, mais il doit être supérieur à 10 pour faire la distinction entre les courbes indicées  $P = 1,7$  et  $P = 1,8$ .

Aussi une analyse rapide des données avant l'arrêt définitif du pompage est souhaitable car elle permet d'apprécier rapidement le choix des débits et d'ajouter si nécessaire un ou deux paliers pour que le report de  $s/Q$  en fonction de  $Q$  définisse sans ambiguïté une courbe type. Il arrive aussi que cette analyse met en évidence une poursuite de développement du forage. Dans ce cas une décision de poursuivre le développement et de refaire ensuite les pompages par paliers peut être prise sans laisser s'écouler des délais toujours coûteux.

En conclusion on peut dire que :

- 1) La méthode des courbes-types de Sheahan est une méthode simple et rapide d'analyse sur le terrain des données des pompages d'essai de puits.
- 2) Les données obtenues doivent couvrir une gamme suffisante des débits pour définir une valeur unique de  $P$
- 3) Ces débits doivent être tels que le report, bi-logarithmique de  $s/Q$  en fonction de  $Q$  couvre la plus grande portion de la courbe type applicable.
- 4) Pour définir la courbe type, un minimum de 3 paliers est nécessaire, un nombre plus élevé étant préférable.

### 1.3. Signification des coefficients B et C et notion d'efficacité du puits

On a vu que le coefficient  $B$  dépend à la fois des caractéristiques de l'aquifère et des conditions d'exécution du forage telles que degré de pénétration dans la couche captée, remaniement autour de la crépine, colmatage.

Aussi toute valeur de  $T$  déduite de la valeur de  $B$  (on pose souvent  $T = \frac{1}{B}$ ) doit être considérée avec la plus grande prudence.

En effet ce calcul n'est valable que dans certaines conditions, rarement réalisées, et qui sont les suivantes :

- puits parfait, c'est-à-dire complet (captant au moins 75 % de la hauteur totale de l'aquifère) et sans aucune perte de charge positive ou négative due au remaniement autour de la crépine.
- régime permanent établi en fin des paliers.

Dans ce cas, par identification avec la formule de Dupuit on a :

$$B = \frac{Lg \frac{R}{r_p}}{2\pi T}$$

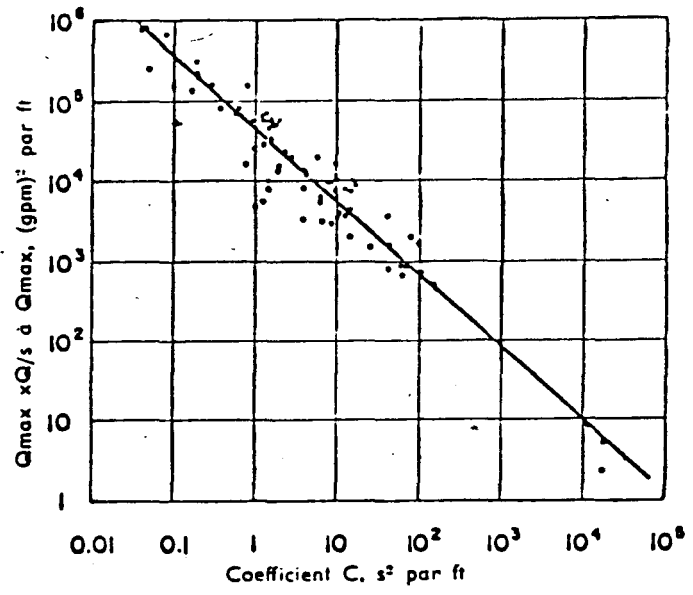
et en prenant, comme on l'admet classiquement :

$$Lg \frac{R}{r_p} \approx 2\pi \quad (R \approx 1000 r_p)$$

$$B \approx \frac{1}{T} \quad \text{et} \quad T \approx \frac{1}{B}$$

En ce qui concerne le coefficient C, il caractérise sans doute les pertes de charge dues au régime turbulent, mais est également influencé par le débit capté et donc la "qualité" (transmissivité) de l'aquifère.

Cette corrélation entre C et la productivité de l'aquifère a été vérifiée expérimentalement par Mogg (8) (voir fig. 4 dessous).



Corrélation entre le coefficient C et le produit du plus fort débit de pompage, Q<sub>max</sub>, par Q/s (pour ce débit), d'après 76 pompages par palier (Mogg).

Aussi il déconseille l'utilisation des valeurs de C comme des indices de l'efficacité ou des conditions du puits comme le faisaient pendant longtemps les américains utilisant la classification de Walton (1962) :

C < 5	sec <sup>2</sup> /pieds <sup>5</sup>	puits bien dimensionné et développé
5 < C < 10	sec <sup>2</sup> /pieds <sup>5</sup>	puits légèrement détérioré ou colmaté
10 < C < 40	sec <sup>2</sup> /pieds <sup>5</sup>	puits fortement détérioré ou colmaté
C > 40	sec <sup>2</sup> /pieds <sup>5</sup>	puits irrécupérable

De même que la notion de l'efficacité d'un puits déterminée ainsi :

$$E = BQ/s$$

(Rorabaugh, 1953)  
 car le puits peut être sérieusement colmaté et en outre avoir un faible terme Q<sup>2</sup> ou CQ<sup>n</sup> par rapport à BQ. Ce cas conduit à calculer une forte mais fausse efficacité. Aussi un puits colmaté mais pompant dans les conditions d'écoulement laminaire pendant tous les paliers conduit à calculer une valeur de B plus forte qu'elle n'est en réalité et par conséquent à une forte mais incorrecte efficacité.

En définitive, il semble que la meilleure définition quantitative pra-

tique que l'on puisse donner de cette notion est la suivante :

"L'efficacité d'un puits pour un débit de pompage donné est le rapport entre le débit spécifique observé au bout d'un certain temps  $t$  fixé par convention - disons par exemple 24 h - et le débit spécifique calculé pour le même temps et le même débit en se donnant les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et le modèle d'écoulement autour du puits supposé parfait" (Bonnet /2/).

On voit que la connaissance de ce paramètre ne saurait être accessible par la seule pratique des essais de puits.

Pour évaluer l'importance des pertes de charge quadratiques par rapport aux pertes de charge linéaire Mogg (1969) propose d'utiliser comme *index* la variation de débit spécifique au cours de l'essai entre le premier et le dernier palier, soit :

$$J = \frac{\Delta (Q/s)}{Q/s \text{ moyen}}$$

Si ce terme est inférieur à 10 %, on peut admettre que les effets de la turbulence sont relativement négligeables. S'il est supérieur à 10 % cela prouve que certains équipements du puits sont mal dimensionnés et qu'il s'y manifeste des pertes de charge par turbulence anormalement élevées ou encore, quoique plus rarement, qu'il s'est produit des tassements dans la couche.

#### 1.4. Equation de Gosselin

M. Gosselin étudiant les débits des forages profonds artésiens a établi la relation expérimentale suivante (/11/) :

$$Q = C s^\alpha$$

où  $s$  = rabattement,  $\alpha$  = coefficient dont la valeur est comprise entre 0,5 et 1 et  $C$  = constante.

En posant :  $\frac{1}{C} = A$  et  $\frac{1}{\alpha} = \beta$  la relation ci-dessus peut s'écrire :

$$s = A^\beta Q^\beta \quad \text{où} \quad 1 < \beta < 2$$

Elle est donc de la même forme que celle de Rorabaugh réduite à son 2ème terme :  $s = CQ^P$ . La relation de Gosselin n'est qu'approchée, et d'autant plus valable que les pertes de charge linéaires, dues à l'écoulement dans l'aquifère, sont négligeables vis-à-vis de celles dues à l'ouvrage de captage.

Elle peut être résolue graphiquement en portant  $Q$  en fonction de  $s$  sur un diagramme bi-logarithmique. La droite représentative a pour équation :

$$\log Q = \alpha \log s + \log C$$

son coefficient angulaire donne la valeur de  $\alpha$  :

$$\text{tgy} = \alpha$$

et la valeur de  $Q$  correspondant au rabattement  $s = 1$  ( $\log 1 = 0$ ) est égale à  $C$  (voir fig.5)

Si la loi de Darcy est respectée (seules les pertes de charge linéaires dues à l'écoulement laminaire interviennent) la pente de la droite représentative est égale à 1 ( $\gamma = 45^\circ$  si les modules des deux échelles logarithmiques sont égaux) et l'équation exprimant le débit du forage en fonction du rabattement est réduite à :

$$Q = C_s$$

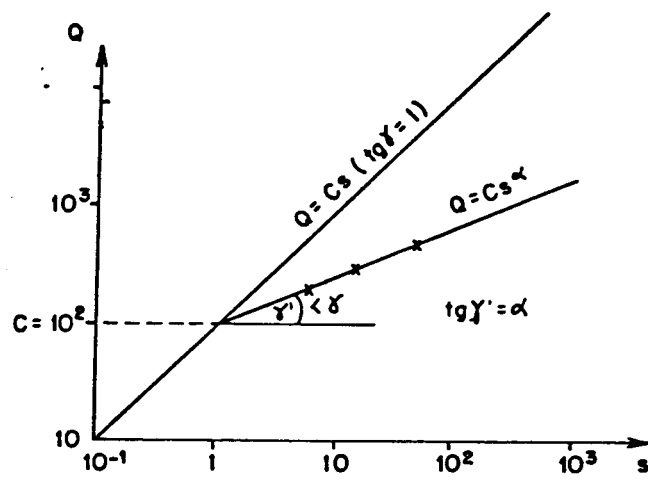


Fig. 5



## 2. NOTIONS DU DEBIT CRITIQUE ET DU DEBIT MAXIMAL D'EXPLOITATION

La notion de *débit critique* est liée à la vitesse critique qui est une vitesse au delà de laquelle l'écoulement devient turbulent. *Le débit critique est donc le débit maximal pouvant affluer d'un aquifère à un puits de pompage en écoulement laminaire, c'est-à-dire sans dépassement de la vitesse critique.*

L'équation du rabattement au puits pompant en régime laminaire (en dessous du débit critique) est du type :

$$s = BQ$$

ce qui correspond au 1er terme de l'équation de Rorabaugh et Jacob et suppose l'absence des pertes de charge dues à la turbulence.

### Détermination du débit critique

A notre connaissance, deux méthodes sont actuellement utilisées par les hydrogéologues. La première, de beaucoup la plus répandue, consiste à construire la courbe  $s = f(Q)$  en coordonnées cartésiennes.

La valeur du débit critique est donnée par l'abscisse du point où la courbe mesurée s'écarte d'une éventuelle première partie rectiligne.

La deuxième méthode est moins utilisée : la courbe  $s = f(Q)$  est portée sur un diagramme bi-logarithmique ; les éventuels changements de régime se traduisent alors par des cassures entre des portions pratiquement rectilignes, la première des cassures caractérisant le débit critique.

Cette deuxième méthode inspire les observations suivantes :

- 1) Elle exige un nombre de points important : 6 au minimum si l'on veut prouver l'existence de deux droites au moins. La précision de la méthode classique dépend aussi, mais dans une moindre mesure, du nombre de paliers.
- 2) Une courbe rectiligne en coordonnées bi-logarithmiques est le plus souvent interprétée comme relative au domaine des écoulements laminaires.  $Q_c$  n'étant pas encore atteint alors qu'il peut s'agir déjà de la partie quadratique caractéristique des écoulements turbulents, le débit  $Q_c$  trop faible n'apparaissant pas. Cette erreur ne pourra pas être faite en coordonnées cartésiennes.
- 3) La détermination du débit critique par l'intersection de deux droites est apparemment plus précise. Mais cette précision est illusoire car la méthode n'a pas de fondement théorique rigoureux. En effet, une première partie linéaire de la courbe caractéristique peut être définie par la fonction entre le rabattement et le débit  $Q$  :  $s = a_1 Q$  (1)

Si l'on considère l'apparition d'un régime turbulent au débit  $Q_c$ , pour  $Q \geq Q_c$

$$s = a_2 Q^2 + b_2 \quad (2)$$

En règle générale,  $b_2$  ne sera pas nul, et la courbe représentative de  $\log s$  en fonction de  $\log Q$  ne sera pas une droite en toute rigueur.

Ces remarques peuvent être illustrées par l'exemple suivant :

Considérons une partie linéaire de la forme  $s_m = 0,1 \cdot Q_{m^3/h}$  ; puis à  $Q_c = 50 \text{ m}^3/\text{h}$  apparition de la forme quadratique (2) :

$$s_2 = 0,001 \cdot Q^2 + 2,5 \text{ (mêmes ordonnées et même tangente à } Q = 50)$$

Soit le tableau de valeurs qui auraient pu être issues des mesures :

$Q_{m^3/h}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$s_m$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,1	7,4	8,9	10,6	12,5

et les graphiques de la fig. 6 et 7.

On peut vérifier sur le graphique de la fig. 7 que la deuxième méthode évoquée conduit plutôt à déterminer  $Q_c = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ , alors qu'arbitrairement on a introduit  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ .

La notion du *débit maximal d'exploitation* est beaucoup plus complexe. Elle est liée à celle du *rabattement maximal admissible* \* qui doit être défini en fonction des possibilités du système aquifère et des caractéristiques propres de l'ouvrage.

*Le débit maximal d'exploitation peut donc être défini comme le débit maximal pouvant être obtenu pendant une durée définie, d'un ouvrage de pompage, sans que le rabattement induit par ce pompage dépasse le rabattement maximal admissible.*

Le débit maximal d'exploitation peut être souvent supérieur au débit critique, car dans de nombreux cas on peut admettre l'existence des pertes de charge introduites par l'écoulement turbulent à condition qu'elles ne soient pas trop importantes par rapport à celles de l'aquifère.

Il y a aussi des cas, où il est pratiquement impossible de se limiter au domaine d'écoulement laminaire pour exploiter un forage (on observe de nombreuses courbes  $s = f(Q)$  sans partie linéaire).

### 3. REALISATION ET INTERPRETATION DES POMPAGES PAR PALIERS

#### 3.1. Réalisation

La qualité des renseignements que peut fournir un essai par paliers dépend de la qualité des données, donc de la précision des mesures des débits et des niveaux ainsi que du programme d'essai adopté.

Actuellement le programme d'essai le plus justifié sur le plan théorique tout en restant réalisable sur le plan économique, est le suivant (2) :

---

\* La détermination des rabattements maximaux admissibles, donc des débits maximaux fait l'objet d'un rapport méthodologique en cours de rédaction au département HYD par B. GENETIER.

10 20 30 40 50 60 70 80 90

Q  
16

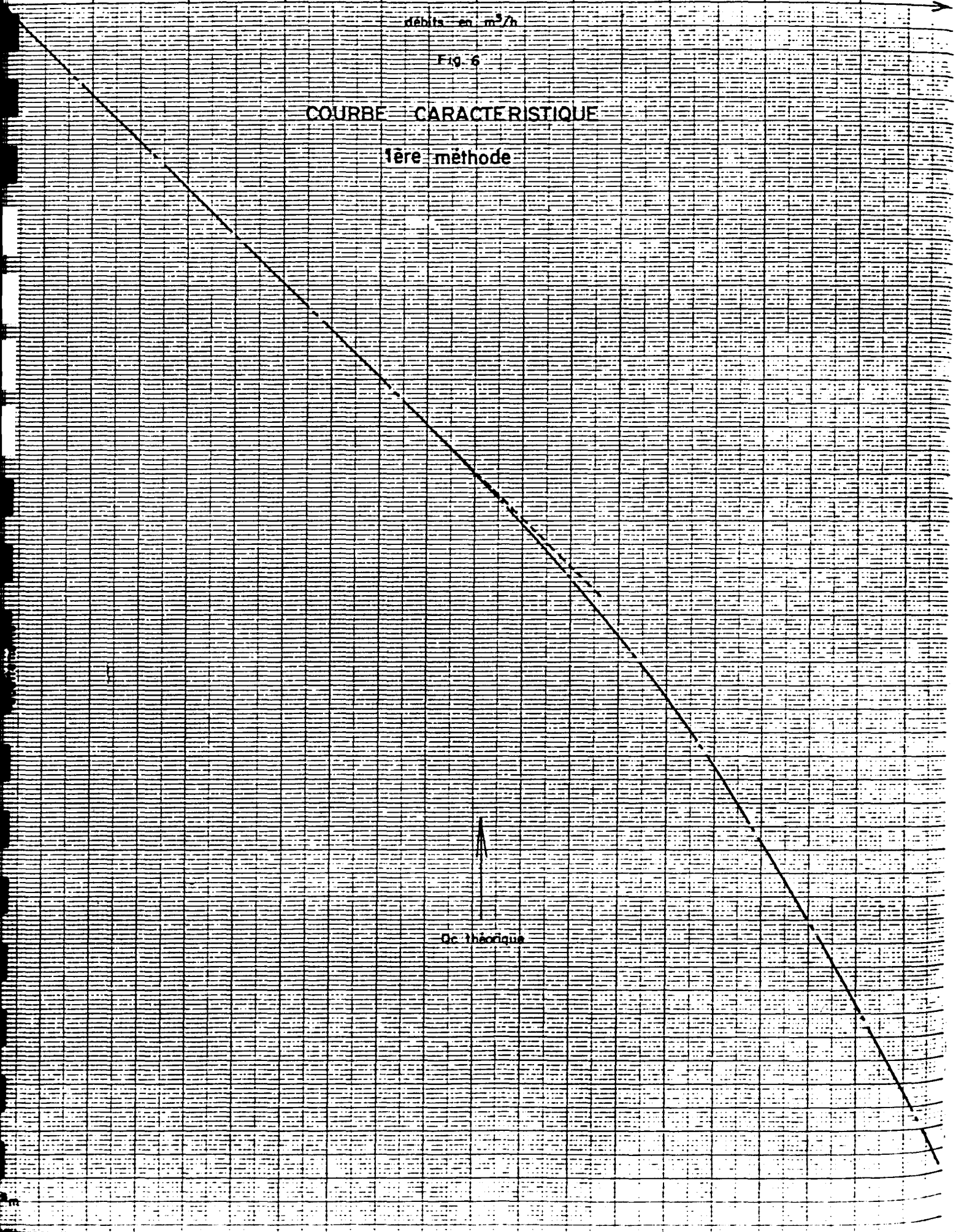
débits en m<sup>3</sup>/h

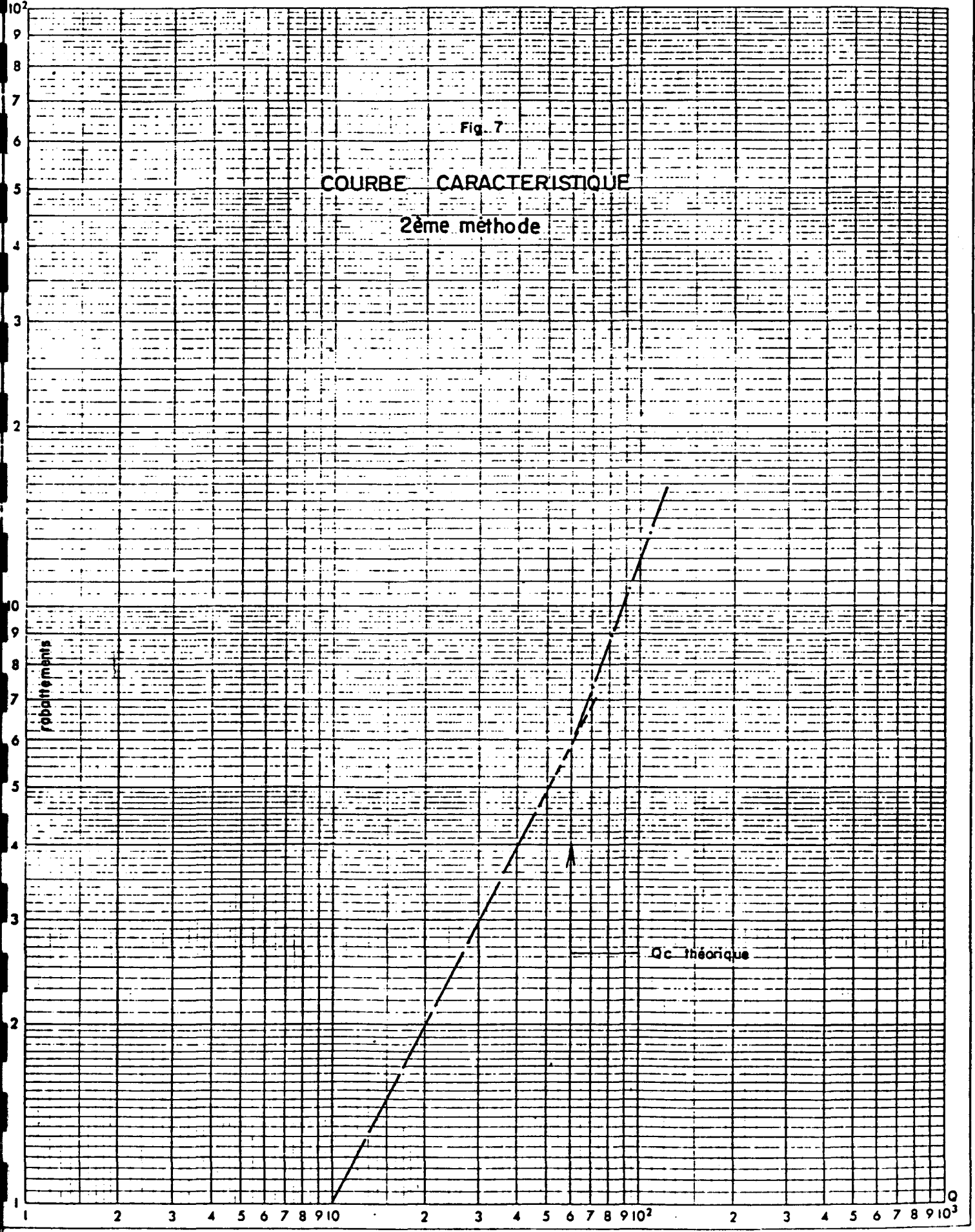
Fig. 6

# COURBE CARACTERISTIQUE

1ère méthode

Dc théorique





Soit  $Q_{max}$  le débit maximal pompable (d'après les résultats des pompages de développements) :

- 1er palier : pompage du débit  $Q_{max}/n$  pendant le temps  $t_1$ . Remontée jusqu'à trouver à très peu près le niveau statique ; en règle générale un temps  $t_1 =$  temps de pompage doit suffire ;
- 2è palier : pompage au débit  $2 Q_{max}/n$  pendant le temps  $t_1$ . Remontée jusqu'à retrouver à très peu près le niveau statique : en règle générale un temps  $t_1 =$  temps de pompage doit suffire ;
- et ainsi de suite jusqu'au  $n^e$  palier : pompage au débit  $Q_{max}$ .

En procédant ainsi, on enregistre en fin de paliers des couples  $(s, Q)$  parfaitement comparables et on élimine toute influence du temps dans la relation entre ces paramètres.

Ce qui n'est pas le cas pour les valeurs enregistrées par la procédure des paliers enchainés qu'il vaut mieux éviter systématiquement.

Nombre de paliers n

Les analyses décrites dans les chapitres précédents sont basées surtout sur la relation  $s/Q = f(Q)$ . La fiabilité de cette relation dépend du nombre des points représentatifs donc du nombre des paliers. Généralement  $3 \leq n \leq 5$ .

Durée des paliers  $t_p$

Il ne faut pas chercher à obtenir rigoureusement un débit bien défini, en général, les mécaniciens de chantier connaissent à peu près la position de réglage de la vanne pour obtenir un débit déterminé, aussi un réglage et un seul sera éventuellement exécuté pendant les cinq premières minutes, dans ces conditions une durée minimale de 30 minutes paraît nécessaire pour obtenir des données stables en fin de chaque palier. Si l'aquifère testé est de faible transmissivité ou le puits de grand diamètre, l'effet de capacité peut être important et il vaut mieux choisir une durée suffisamment longue pour qu'il soit négligeable (cf. tableau ci-après), généralement :  $1h < t_p < 2 h$ .

3.2. Interprétation

Le but de l'interprétation des données des pompages par paliers est la détermination de la relation expérimentale liant rabattement et débit afin de la comparer aux relations décrites aux § 1.

Pour parvenir à ce résultat on utilisera les méthodes graphiques qui consistent à tracer un certain nombre des courbes :

- courbe rabattements/débits,  $s = f(Q)$ , en coordonnées arithmétiques et/ou en coordonnées bi-logarithmiques
- courbe rabattements spécifiques/débits ;  $s/Q = f(Q)$ , en coordonnées arithmétiques et/ou en coordonnées bi-logarithmiques.

Courbe rabattements/débits ou courbe caractéristique

C'est la représentation graphique de la relation entre les débits pompés et les rabattements mesurés dans un puits, soit en régime permanent (paliers de rabattement stabilisés) - on l'appelle alors courbe caractéristique - soit au bout des durées de pompage égales choisies conventionnellement lorsque le régime est transitoire. Cette dernière méthode est meilleure, la définition d'un rabattement stabilisé étant difficile.

Durée de pompage  $t_c$  à partir de laquelle l'influence  
de l'effet de capacité du puits est négligeable \*

Couche aquifère de transmissivité	Rayon usuel de		
	piézomètres	forages	puits traditionnels
	$r_p = 0,05 \text{ m}$	$r_p = 0,20 \text{ m}$	$r_p = 1,0 \text{ m}$
très faible $T = 0,1 \text{ m}^2/\text{h} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	0 h 38 mn	10 h	250 h
faible $T = 1 \text{ m}^2/\text{h} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	4 mn	1 h	25 h
moyenne $T = 10 \text{ m}^2/\text{h} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	23 sec	6 mn	2 h 30 mn
forte $T = 100 \text{ m}^2/\text{h} = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$		36 sec	15 mn
très forte $T = 1000 \text{ m}^2/\text{h} = 2,8 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$			1 mn 30 sec

\* Rapport DS 66 A 128 "Effet de capacité des puits sur la dépression du niveau piézométrique"  
par E. BERKALOFF

La forme même de la courbe permet d'apprécier rapidement le régime d'écoulement et l'importance des pertes de charge dues au puits.

20

Si la relation  $s = f(Q)$  est linéaire (courbe 1 de la fig. 8 ci-dessous) : l'écoulement dans l'aquifère ainsi que dans l'ouvrage et son voisinage immédiat est laminaire et les pertes de charge dues à l'écoulement turbulent sont nulles ou négligeables. L'équation de rabattement au puits est :

$$s = BQ$$

Si la relation est non linéaire et donne une courbe convexe (courbe 2 de la fig. 8) : les pertes de charge dues à l'écoulement turbulent ne sont pas négligeables. Pour trouver alors l'expression mathématique du rabattement au puits on essaiera d'identifier la relation observée débits/rabattelements soit à l'équation de Jacob :  $s = BQ + CQ^2$  par l'analyse de la relation  $s/Q = f(Q)$  en coordonnées arithmétiques, soit à l'équation de Rorabaugh  $s = BQ + CQ^P$  par l'analyse de  $s/Q = f(Q)$  en coordonnées bi-logarithmiques (méthode des courbes types de Sheahan), soit encore, dans le cas des forages très profonds à l'expression de Gosselin  $Q = Cs^\alpha$  en analysant la relation  $s = f(Q)$  en coordonnées bi-logarithmiques.

Si la relation est non linéaire, mais les points s'alignent suivant une courbe concave (courbe 3 de la fig. 8) : l'essai est à recommencer entièrement, car ou bien les mesures ont été mal prises ou bien un développement (amélioration de la circulation dans le voisinage immédiat de l'ouvrage ; décolmatage p. ex.) s'est produit au cours de pompage.

La *courbe caractéristique* est une donnée fondamentale pour la prévision des débits ainsi que pour le contrôle de l'évolution des performances du puits dans le temps.

*Définie pour un état donné du puits par exemple état neuf, elle constitue sa "fiche d'identité" qui par comparaison avec des courbes établies pour un état différent : après un développement par l'acidification ou après un certain temps d'exploitation du puits permet de constater une amélioration ou une détérioration du puits (voir fig. 9).*

Elle permet de fixer un débit maximal d'exploitation en fonction d'un rabattement maximal admissible.

Enfin elle peut mettre en évidence le dénoyage de la zone productive de la formation aquifère (p. ex. le dénoyage de la zone fissurée dans les roches carbonatées). Dans ce cas, la pente de la courbe s'aggrave à partir d'un rabattement (donc d'une profondeur) donné d'autant plus brutalement que la zone dénoyée était productive.

#### Courbe rabattement spécifique/débit

Le report du rabattement spécifique  $s/Q$  en fonction du débit  $Q$  en coordonnées arithmétiques permet de mettre en évidence certaines formulations simples de la relation : rabattement/débit.

- si les points expérimentaux s'alignent suivant une droite passant par l'origine, (voir fig. 2 § 1.1.) la relation rabattement/débit est de la forme :  $s = CQ^2$  ce qui signifie que l'écoulement en régime turbulent est fortement prédominant non seulement dans le puits mais dans l'aquifère lui-même.

- si les points expérimentaux s'alignent suivant une droite ne passant pas par l'origine, (1 de la fig. 2) la relation rabattement (débit) est de la forme :

$$s = BQ + CQ^2$$

et dénote que la perte de charge totale observée dans le puits est la somme

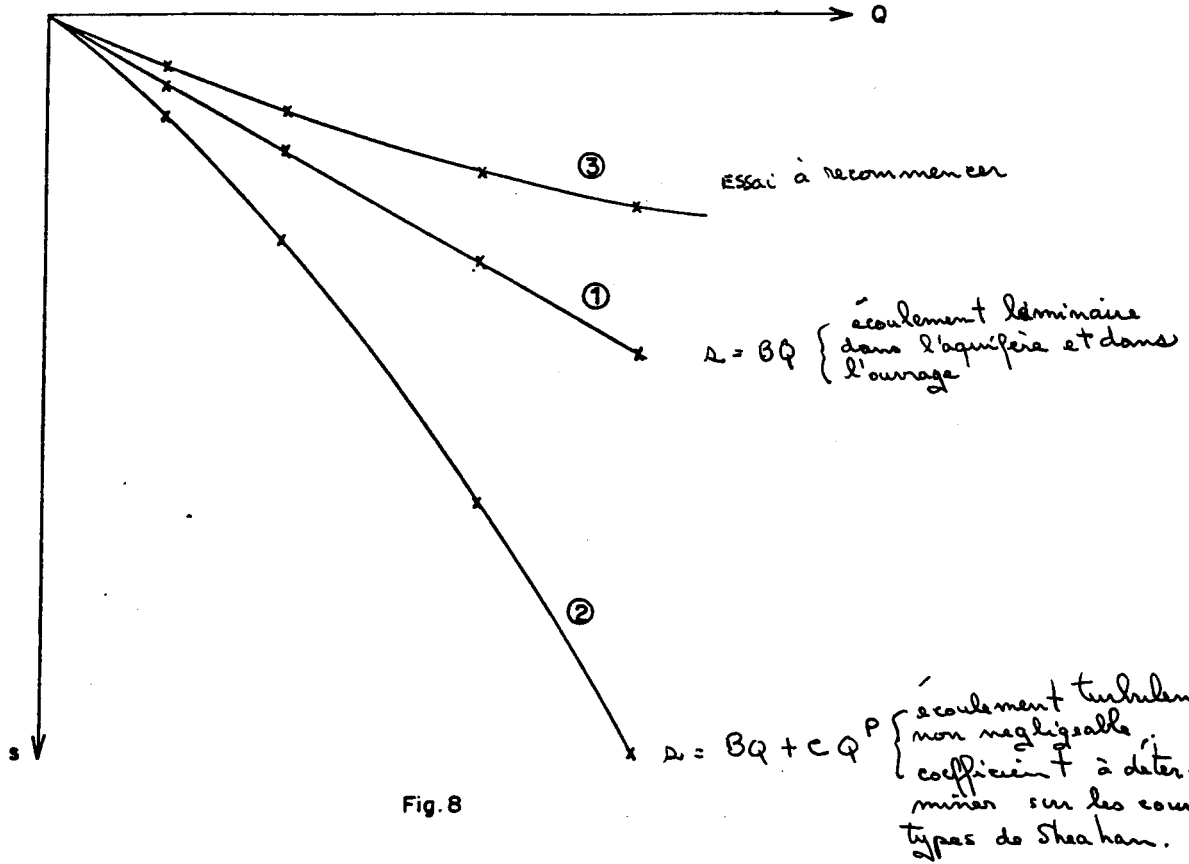
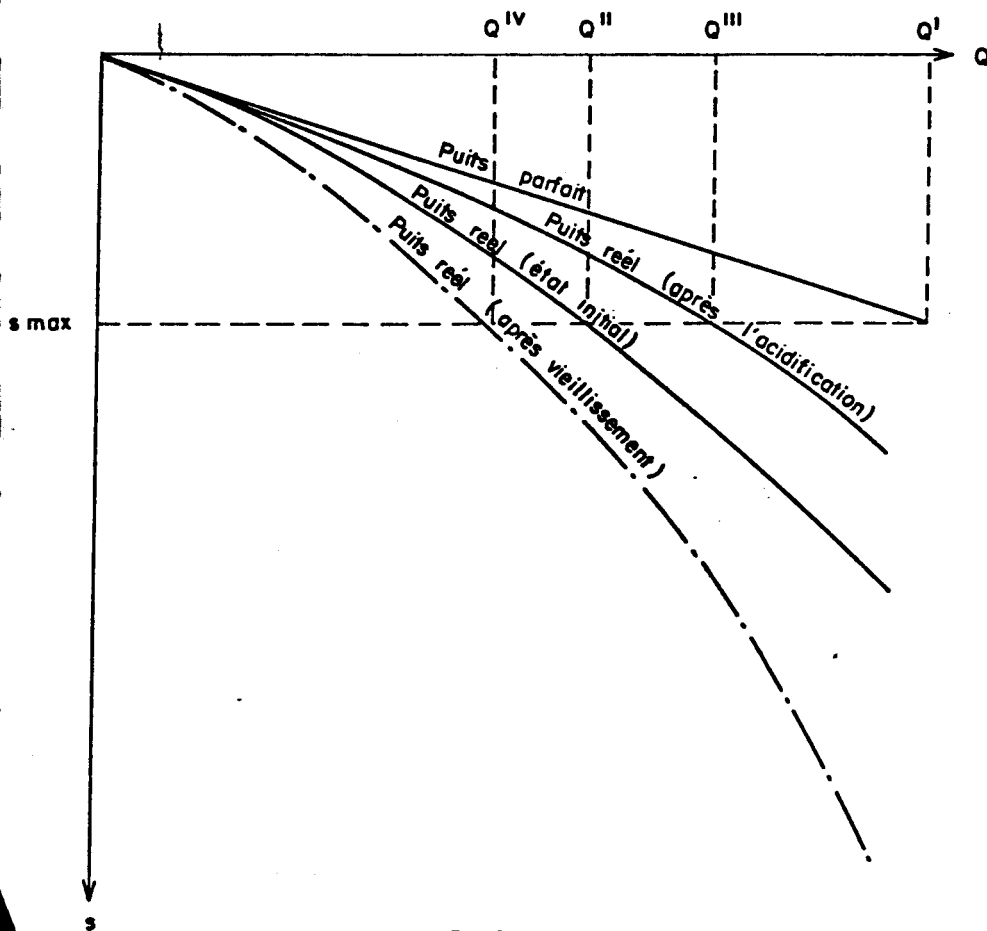


Fig. 8



Si la contrainte limitant le débit est un rabattement  $s_{max}$  admissible :

- $Q^I$  = débit maximal si le puits est parfait
- $Q^{II}$  = débit maximal du puits avant l'acidification
- $Q^{III}$  = débit maximal après l'acidification
- $Q^{IV}$  = débit maximal après mi-temps d'exploitation et de vieillissement du puits

Fig. 9



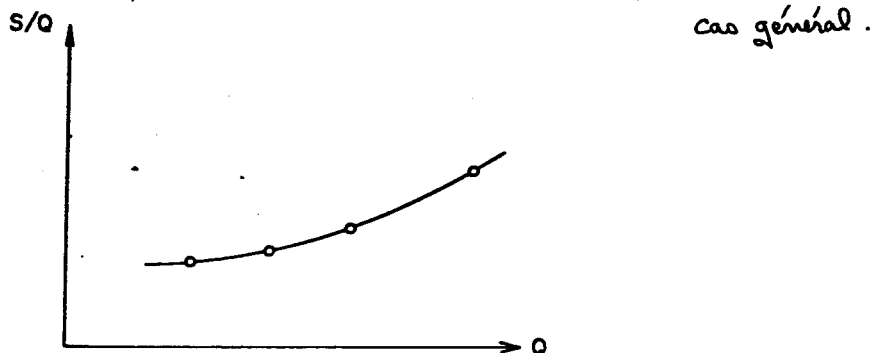
de la perte de charge linéaire due à l'écoulement laminaire et de la perte de charge quadratique due à l'écoulement turbulent.

- si les points expérimentaux s'alignent suivant une droite de pente zéro (voir 1a de la fig. 2), la relation rabattement/débit est de la forme :

$$s = BQ$$

ce qui signifie que pour la gamme des débits testés l'écoulement est laminaire (pertes de charge dans le tubage et la crépine linéaires ou négligeables)

- si les points se distribuent suivant une courbe concave vers le haut, la relation rabattement/débit peut être de la forme :  $s = BQ + CQ^P$  avec  $P > 2$ .



Le report bi-logarithmique des rabattements spécifiques observés en fonction des débits devrait permettre par l'emploi de la méthode de Sheahan de déterminer la valeur de  $P$  ainsi que de  $B$  et de  $C$ .

Enfin une augmentation de pente peut signifier le dénoyage d'une zone productive.

#### Courbe débits/rabattements en coordonnées logarithmiques

Cette représentation graphique des données sera faite lorsque les deux représentations précédentes évoquées en § 3.2. n'ont pas permis d'identifier la relation du type  $s = BQ + CQ^P$

- si les points représentatifs s'alignent suivant une droite de pente :  $0,5 < \alpha < 1$  ou :  $1 < \beta < 2$  dans le cas où on porte  $\log s = f(\log Q)$  la relation observée s'identifie à celle de Gosselin :

$$Q = Cs^\alpha \quad \text{ou} \quad s = A^\beta Q^\beta = C'Q^\beta$$

ce qui signifie que le régime d'écoulement dans l'aquifère même est du type mixte et/ou les pertes de charge dues à l'écoulement turbulent dans les puits importants.

Cette représentation est aussi utilisée pour déterminer le débit critique de l'ouvrage (cf. § 2).

#### 3.2.1. Exemples d'application

Exemple de relation :  $s = BQ + CQ^2$

Données :

Le forage capte la nappe de la craie du Turonien moyen, sous les limons.

L'essai de puits a consisté en un pompage à 4 débits croissants maintenus pendant 1h30 chacun avec arrêts intermédiaires d'égale durée.

Les données de ce pompage figurent dans le tableau ci-après :

n° de palier	Q m3/h	s non stabilisé en m	s/Q m/m3/h
1	42	0,81	0,0156
2	87	2,01	0,0231
3	132	3,53	0,0268
4	178	6,47	0,0364

## Interprétation :

- Le report des rabattements  $s$  en fonction des débits  $Q$  en coordonnées arithmétiques (voir courbe pleine de fig. 10a) donne une courbe convexe ce qui signifie que les pertes de charge dues à l'écoulement turbulent ne sont pas négligeables.
- Le report des rabattements spécifiques  $s/Q$  en fonction des débits  $Q$  donne une relation linéaire (fig. 10 b) ce qui signifie que la relation débit/rabattement observée dans le puits peut être approchée par l'équation du type :  $s = BQ + CQ^2$
- Dans le cas présent le coefficient  $B = 1.10^{-2}$  et le coefficient  $C = 1,4. 10^{-4}$ . L'équation du rabattement au puits pour un temps de pompage égal à 1 h 30 est donc la suivante :

$$s_p = 1.10^{-2}Q + 1,4.10^{-4}Q^2$$

- Les rabattements calculés en fonction des débits par cette équation se superposent parfaitement sur la courbe  $s = f(Q)$  observée (voir fig. 10a).
- La différence entre la courbe  $s = f(Q)$  observée dont l'équation est  $s = 1.10^{-2}Q + 1,4.10^{-4}Q^2$  et la droite  $s = BQ = 1.10^{-2}Q$  reportée sur la fig. 10a donne pour chaque débit la valeur de la perte de charge quadratique.

Exemple de relation :  $s = BQ + CQ^P$  avec  $P > 2$

## Données :

Le forage capte la nappe de la craie, captive sous une couche des limons, de la vallée de l'Aronde (Oise).

L'essai de puits a consisté en un pompage à 5 débits croissants maintenus chacun pendant 1 heure, avec arrêts intermédiaires d'égale durée.

Les données de cet essai figurent dans le tableau ci-après, p. 23.

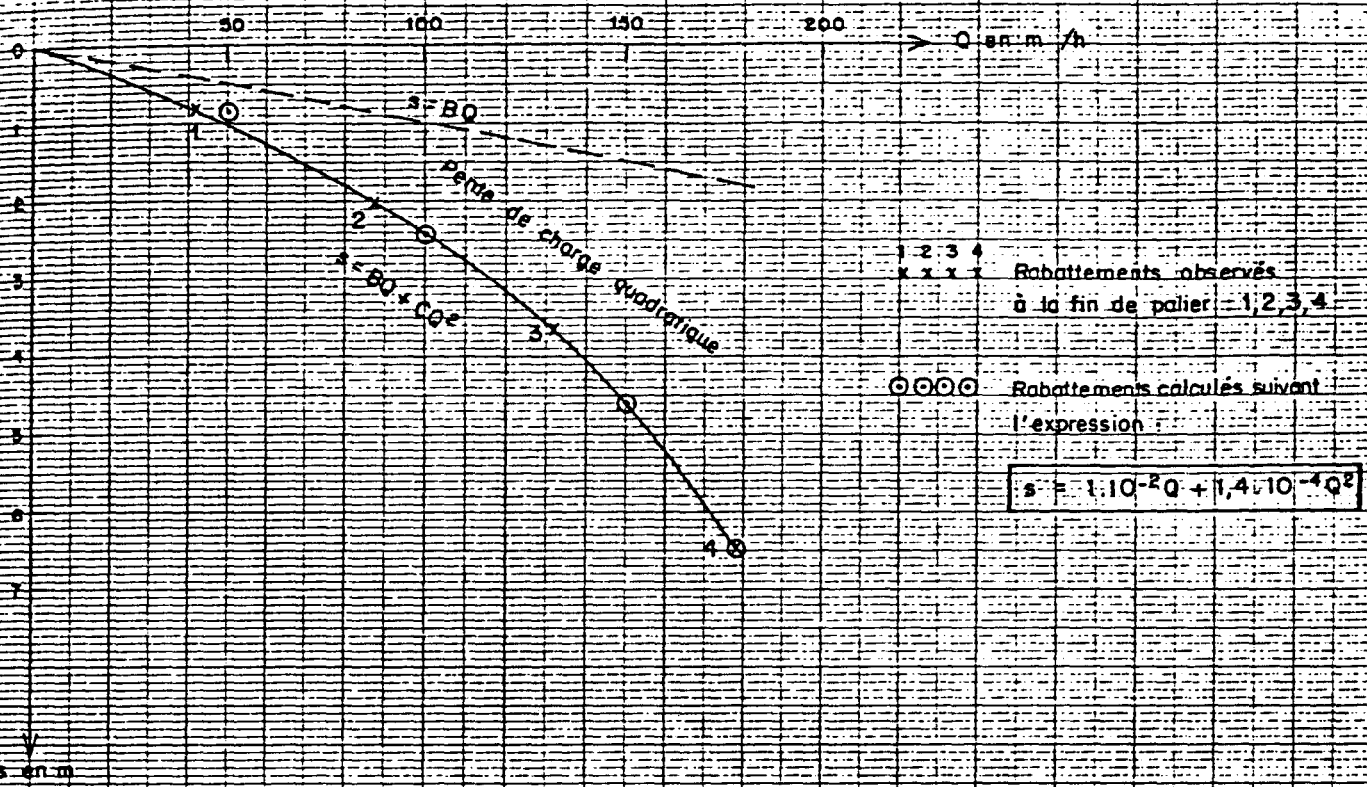


Fig. 10a

RELATION  $s=f(Q)$

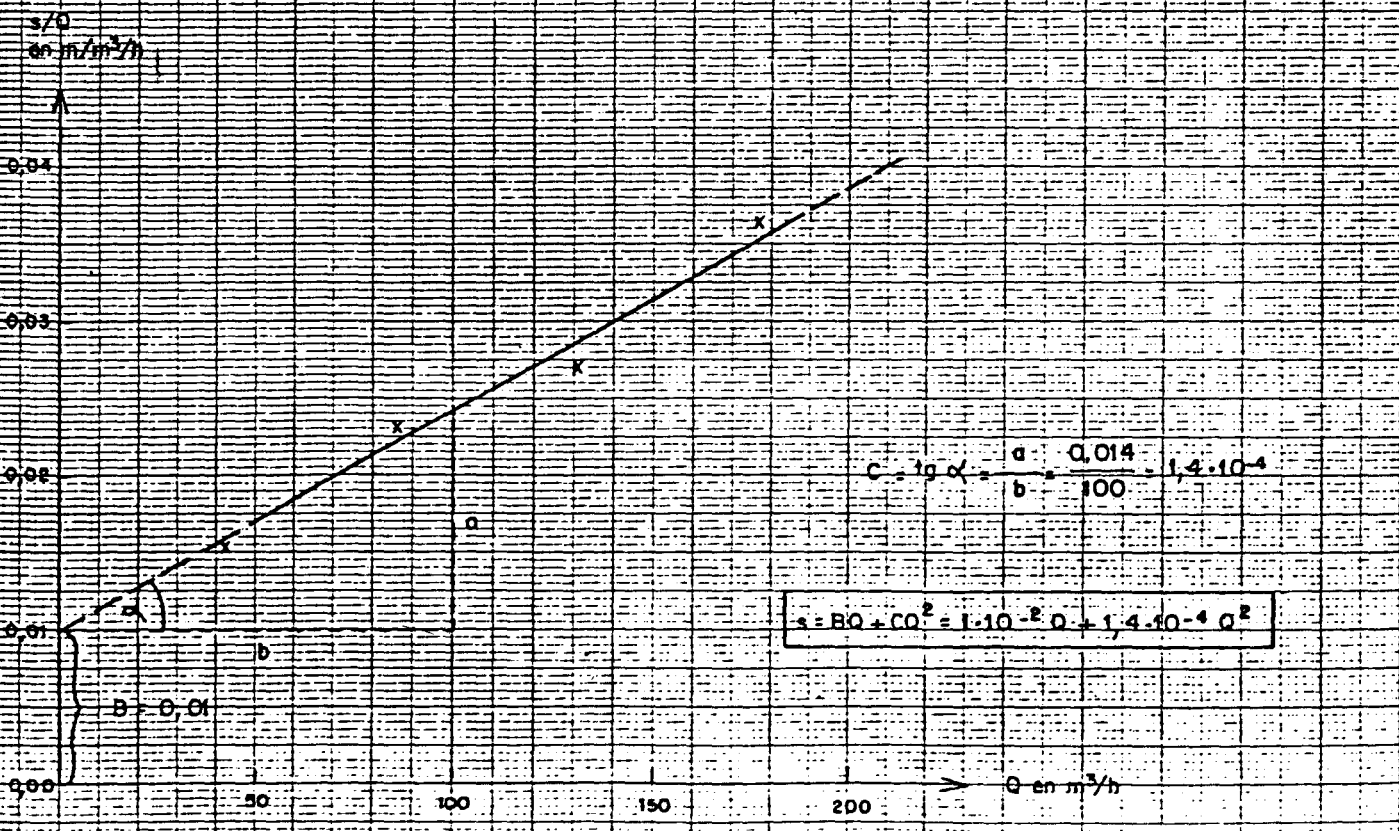


Fig. 10b

RELATION  $s/Q=f(Q)$

n° de palier	Q (m <sup>3</sup> /h)	s non stabilisé (m)	s/Q (m/m <sup>3</sup> /h)
1	87	0,63	0,0072
2	168	1,66	0,0092
3	240	2,98	0,0124
4	300	4,62	0,0154
5	328	5,64	0,0172

Interprétation :

- La relation  $s = f(Q)$  (voir fig. 11a) donne une courbe convexe signifiant l'existence des pertes de charge dues au régime turbulent.
- La relation  $s/Q = f(Q)$  (voir fig. 11b) n'est pas linéaire. Les points ne s'alignent pas sur une droite mais sur une courbe concave ce qui pourrait signifier que la valeur de l'exposant du 2ème terme de l'équation générale de rabattement au puits  $s = BQ + CQ^P$  est supérieure à 2.
- On reportera donc les valeurs de  $s/Q$  en fonction de  $Q$  en coordonnées bi-logarithmique (voir fig. 12) afin d'appliquer la méthode des courbes types de Sheahan exposée au § 1.2.1.
- La superposition de la relation  $\log s/Q = f(\log Q)$  reportée sur papier calque sur l'abaque de Sheahan conduit à adopter, la courbe type indiquée  $P = 2,6$ . Une fois la superposition trouvée l'intersection de la courbe observée avec la LIGNE DE REPERE fournit une valeur de rabattement spécifique  $s/Q_x = 0,012\text{m/m}^3/\text{h}$  et une valeur de débit :  $Q_x = 230\text{ m}^3/\text{h}$ .

On calcule ensuite :  $B = \frac{s/Q_x}{2} = 0,006$

$$C = \frac{B}{Q_x^{(p-1)}} = 1,02 \cdot 10^{-6}$$

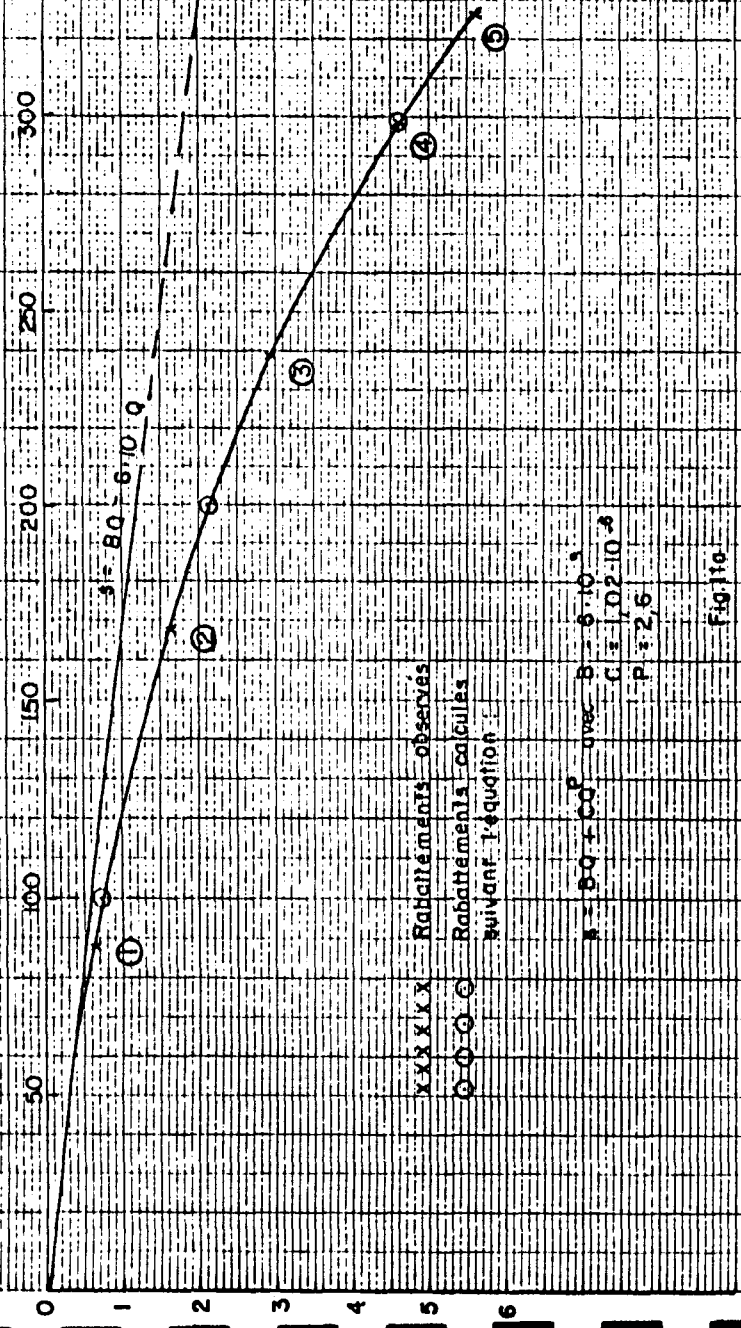
- L'équation de rabattement au puits serait donc de la forme :

$$s = BQ + CQ^P \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} P &= 2,6 \\ B &= 6 \cdot 10^{-3} \\ C &= 1,02 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

- Les rabattements théoriques calculés suivant cette équation pour quelques débits : 100, 200, 300 et 350 m<sup>3</sup>/h (voir tableau ci-après) se retrouvent parfaitement sur la relation :  $s = f(Q)$  observée (cf. fig. 11a).

26

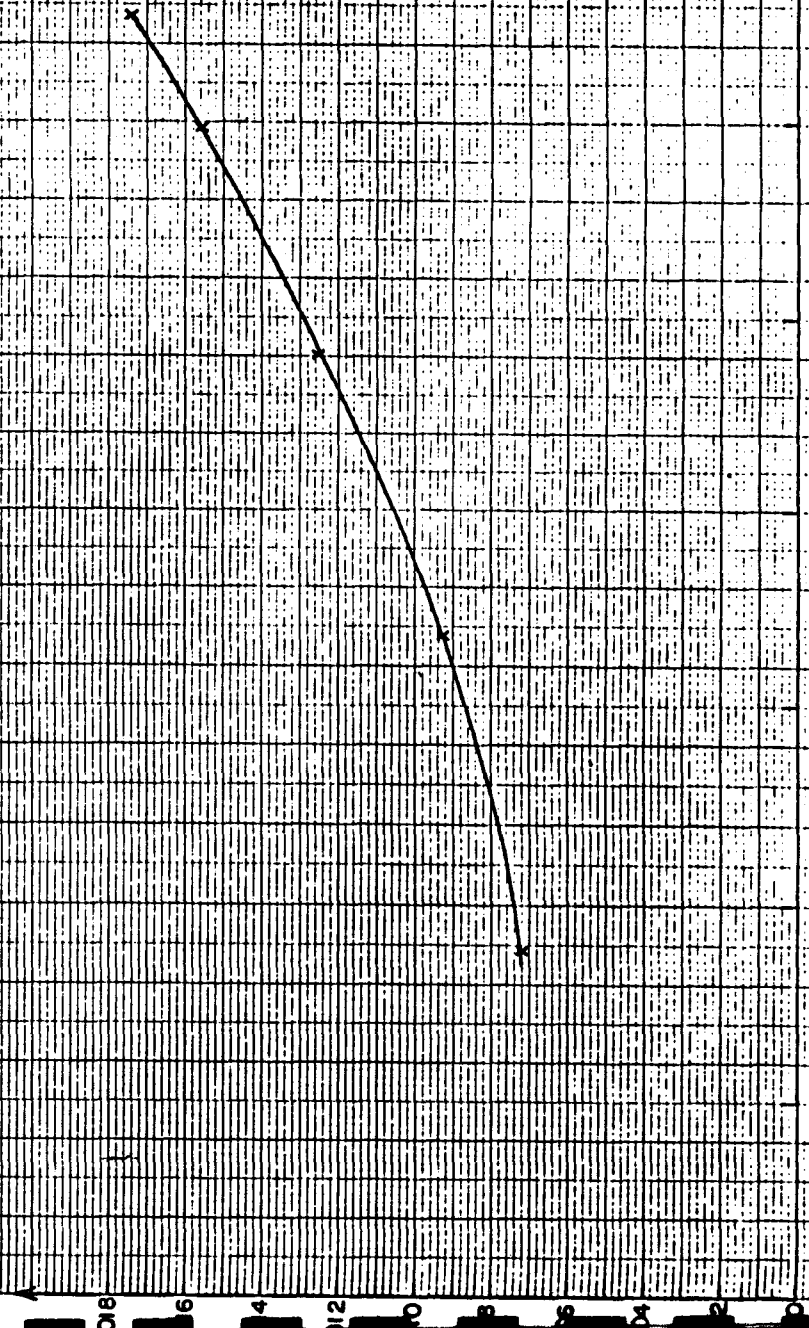
Q m<sup>3</sup>/h



RELATION  $s=f(Q)$

Fig. 11a

Q m<sup>3</sup>/h



RELATION  $s/Q=f(Q)$

Fig. 11b

Q m<sup>3</sup>/h

Q m <sup>3</sup> /h	BQ = 6.10 <sup>-3</sup> Q ①	Q <sup>2,6</sup> ②	CQ <sup>2,6</sup> = 1,02.10 <sup>-6</sup> .Q <sup>2,6</sup> ③	s = ① + ③ en m
100	0,6	1,58.10 <sup>5</sup>	0,16	0,76
200	1,2	9,61.10 <sup>5</sup>	0,98	2,18
300	1,8	2,76.10 <sup>6</sup>	2,81	4,61
350	2,1	4,12.10 <sup>6</sup>	4,20	6,30

- La différence entre la droite  $s = BQ = 6.10^{-3}Q$  et la courbe observée dont l'équation est :  $s = 6.10^{-3}Q + 1,02.10^{-6} Q^{2,6}$  donne pour chaque débit la valeur du second terme de l'équation donc la valeur des pertes de charge dues au régime turbulent.

#### 4. CONCLUSIONS

1. Le pompage par paliers de débit permet de déterminer la relation expérimentale liant les débits aux rabattements et dans la majorité des cas de l'identifier à l'une des équations rappelées au § 1.

2. L'expression de rabattement dans le puits la plus utilisée :

$$s = BQ + CQ^2 \quad (\text{Jacob})$$

car l'identification des coefficients B et C est facile, ne convient pas toujours à la relation  $s = f(Q)$  observée.

3. La méthode des courbes-types de Sheahan permet l'identification des coefficients B et C ainsi que de la valeur de l'exposant P de l'expression plus générale :

$$s = BQ + CQ^P \quad (\text{Rorabaugh})$$

et doit être employée lorsque la relation  $s = f(Q)$  expérimentale ne s'identifie pas à celle de Jacob.

4. Dans tous les cas les conditions d'identification des coefficients B et C ainsi que de l'exposant du second terme sont les suivantes :

- un échantillonnage suffisant de la relation débit/rabattement : nombre de paliers  $n \geq 3$

et  $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \geq 3$

- une bonne précision dans les mesures, en particulier pour les faibles débits (important pour évaluer B)

- le débit maximal doit être supérieur au débit critique :

$$Q_{\max} > Q_c$$

5. Il semble, pour toutes sortes de raisons basées tant sur l'analyse théorique que sur des faits expérimentaux, qu'il ne faut pas accorder une signification trop précise aux paramètres d'ajustement B et C de la relation débit/rabattement déduite d'un essai par palier.

En particulier un essai par palier ne permet pas de définir l'efficacité permettant des comparaisons objectives entre ouvrages.

6. La relation  $s = f(Q)$  identifiée par les pompages par paliers en régime permanent ou pour une durée de temps choisie conventionnellement est une donnée fondamentale pour les prévisions des débits \* ainsi que pour le contrôle de l'évolution des performances du puits dans le temps.

200

---

\* Lorsque le régime permanent n'a pas été établi en fin de chaque palier toute prévision soit des débits en fonction des rabattements imposés soit des rabattements en fonction des débits demandés doit tenir compte de l'évolution de rabattement dans le temps donc ne peut être dissociée d'un pompage à débit constant de longue durée.

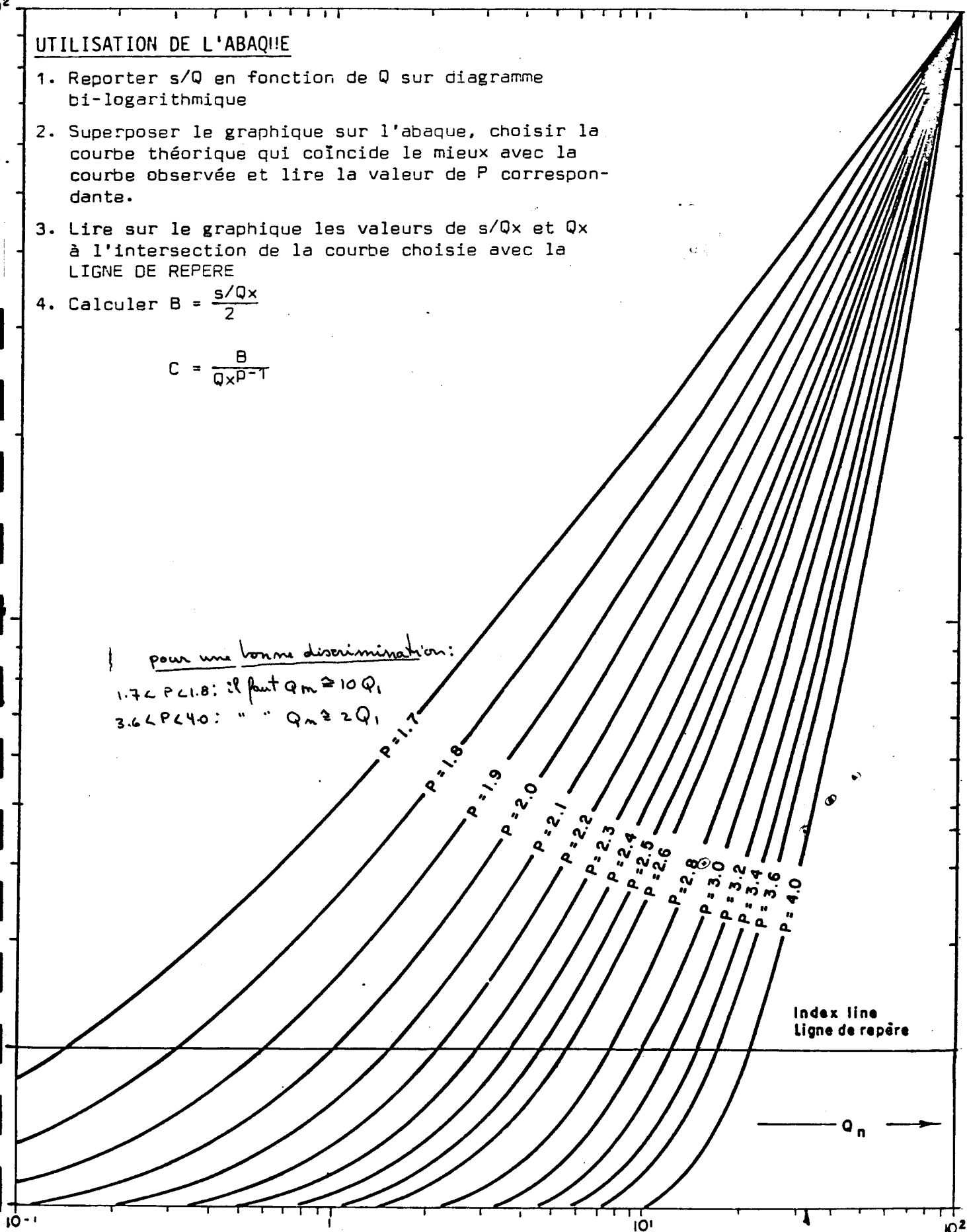
Pour résoudre l'équation :  $s_p = P Q_n + C Q_n^D$

UTILISATION DE L'ABAQUE

1. Reporter  $s/Q$  en fonction de  $Q$  sur diagramme bi-logarithmique
2. Superposer le graphique sur l'abaque, choisir la courbe théorique qui coïncide le mieux avec la courbe observée et lire la valeur de  $P$  correspondante.
3. Lire sur le graphique les valeurs de  $s/Qx$  et  $Qx$  à l'intersection de la courbe choisie avec la LIGNE DE REPÈRE
4. Calculer  $B = \frac{s/Qx}{2}$

$$C = \frac{B}{Qx^{P-1}}$$

*pour une bonne discrimination:*  
 $1.7 < P < 1.8$ : il faut  $Q_m \approx 10 Q_1$   
 $3.6 < P < 4.0$ : " "  $Q_m \approx 2 Q_1$





## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 
- 1 BIRSCHENK (W.H.) 1964 .- "Determining well efficiency by multiple step-drawdown tests " .- *International Assn. of scientific Hydrology, Public. 64.*
  - 2 BONNET (M.) 1970 .- Critique de la notion d'essai de puits" .- *Bull. du B.R.G.M. 2ème série sect. III, n° 1, 1970.*
  - 3 CLARK (L.) 1977 .- "The analysis and planning of step drawdown tests" .- *Q. Jl. Engng. Geol. 1977, vol. 10, n°2.*
  - 4 EAGON (H.B.), DAVID (E.) 1972 .- "Practical solutions for pumping test in carbonate-rock aquifers" .- *Ground water, vol. 10, n° 4, 1972.*
  - 5 FORKASIEWICZ (J.) 1976 .- "Calcul des ouvrages de captage. Rapport n° 1. Calcul des pertes de charge dans les puits ou forages .- *76 SGN 380 AME.*
  - 6 KARANJAC JASMINKO (1972) .- "Well losses due to reduced formation permeability" .- *Ground water, vol. 10, n° 4, 1972.*
  - 7 LENNOX DONNARD (H.) 1966 .- "Analysis and application of step-drawdown test" .- *Journ. of the Hydraulic. Division. Proc. of the A.S.C.E. V. 92 n° HY6 Paper n° 4967. Nov. 1966.*
  - 8 MOGG Joe (L.) 1969 .- "Step-drawdown test needs critical review" .- *Ground water, vol. 7, n° 1, 1969.*
  - 9 RORABAUGH (M.J.) 1953 .- "Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well" .- *Proceedings separate, n° 362 ASCE, vol. 79.*
  - 10 SHEAHAN (N.T.) 1971 .- "Type-curve solution of step-drawdown test" .- *Ground water, vol. 9, n° 1, janv.-fév. 1971.*
  - 11 CASTANY (G.) 1963 .- *Traité pratique des eaux souterraines Dunod ; Paris 1963.*
-