

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

ESSAIS SUR LES FORAGES ARTÉSIENS JAILLISSANTS ET SUR LES SOURCES

par

J. FORKASIEWICZ, J. MARGAT et P. PEAUDECERF



**Département géologie de l'aménagement
Division hydrogéologie**

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.00.12

76 SGN 349 AME

Août 1976

RESUME

Ce rapport expose les principaux types d'essais à réaliser sur des forages jaillissants ainsi que les méthodes d'interprétation des données recueillies et le mode opératoire pour évaluer les paramètres hydrodynamiques des aquifères.

Une 2ème partie est plus particulièrement consacrée aux problèmes des essais sur des sources qui, dans certains cas, peuvent être assimilées aux puits artésiens (jaillissants) et par conséquent donner des informations sur les caractéristiques du réservoir aquifère dont elles sont issues, par une procédure d'essais similaire à celle appliquée aux forages jaillissants.

En annexe on trouvera les tableaux de valeurs des fonctions-solutions présentées dans le texte ainsi que des abaques donnant les courbes types de ces fonctions.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des études méthodologiques du Département géologie de l'aménagement (Hydrogéologie, service hydrodynamique).

SOMMAIRE

	<u>PAGES</u>
NOTATIONS EMPLOYEES	3
INTRODUCTION	4
1. RAPPEL THEORIQUE : LE THEOREME DE SUPERPOSITION	6
1.1. Bases théoriques	6
1.2. Application à la résolution de problèmes hydrogéologiques	8
1.2.1. Pompages d'essai dans les nappes en écoulement	8
1.2.2. Interprétation des pompages d'essai perturbés	9
1.2.3. Pompages à débits variables - remontées	9
1.2.4. Effets de limite	9
1.2.5. Interférences entre puits - Essais de groupes de puits	10
2. INTERPRETATION DES ESSAIS SUR FORAGES JAILLISSANTS	10
2.1. Calcul des paramètres par l'analyse de l'augmentation de pression après la fermeture d'un forage	10
2.2. Calcul des paramètres par l'analyse de la décroissance du débit après l'ouverture d'un forage	12
2.2.1. Forage jaillissant en nappe captive	13
2.2.2. Forage jaillissant en nappe semi-captive	16
2.3. Calcul des paramètres par l'analyse des données d'un pompage d'essai	21
3. PROBLEMES PARTICULIERS DES ESSAIS SUR DES SOURCES	22
3.1. Rappel de la définition hydrodynamique d'une source	22
3.2. Possibilités pratiques d'action sur des sources	24
3.3. Conditions de validité d'essais entrepris sur des sources	25
3.4. Types d'essai	27
3.4.1. Action directe sur le débit	27
3.4.2. Modification du niveau d'émergence	29
3.4.3. Cas particulier : mise en charge de la source	31
3.5. Méthodes d'interprétation	32
3.6. Identification de l'aquifère principal d'où une source est issue dans un système multicouche	34

	PAGES
3.7. Groupe de sources	35
3.8. Conclusion	36
3.9. Quelques références décrivant des essais pratiqués sur des sources	38

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

1. VALEURS DE LA FONCTION $G(\tau)$ POUR τ COMPRIS ENTRE 10^{-4} ET 10^{12}
2. COURBE TYPE DE LA FONCTION $G(\tau)$
3. VALEURS ET APPROXIMATIONS DE LA FONCTION $A(\tau, \rho)$
4. APPROXIMATIONS ET VALEURS DE LA FONCTION $G(\tau, \beta)$
5. COURBES TYPES DE LA FONCTION $G(\tau, \beta)$
6. METHODE D'UTILISATION D'UN FORAGE ARTESIEN JAILLISSANT EN TANT QUE "PIEZOMETRE".

NOTATIONS EMPLOYEES

Q = débit de pompage

q = débit de jaillissement

t = temps écoulé depuis le début d'un pompage

s_p = différence entre le niveau statique et le niveau d'écoulement libre d'un forage jaillissant

r_p = rayon du forage

r = distance du point considéré à l'axe du forage

K = coefficient de perméabilité horizontale de la couche aquifère

K' = coefficient de perméabilité verticale de la couche aquifère

b = épaisseur de la couche aquifère

b' = épaisseur de l'éponte semi-perméable

T = $K \cdot b$ = transmissivité de la couche aquifère

S = coefficient d'emmagasinement instantané de la couche aquifère

S' = coefficient d'emmagasinement de l'éponte semi-perméable

B = $\sqrt{\frac{Tb'}{K}}$ = facteur de drainance

$G(\tau)$ = fonction du débit d'un forage jaillissant pour systèmes étanches

$G(\tau/\delta_1, r_p/B) = G(\tau, B)$ = fonction du débit d'un forage jaillissant pour systèmes non étanches

$A(\tau, \rho)$ = fonction du rabattement d'un piézomètre pour système étanche

$\tau = \frac{Tt}{r_p^2 S}$ = argument des fonctions des forages jaillissants

$\rho = r/r_p$ = facteur entrant dans la fonction $A(\tau, \rho)$

$\delta_1 = 1 + \frac{S'}{3S}$ = facteur entrant dans la fonction $G(\tau/\delta_1, r_p/B)$

INTRODUCTION

Comme les essais sur les puits classiques, les essais sur les forages jaillissants, doivent provoquer dans l'aquifère une impulsion la plus simple possible.

L'interprétation de sa réponse en terme de niveau ou de débit permet d'évaluer les paramètres hydrodynamiques de la nappe, transmissivités et coefficients d'emmagasinement.

Les forages jaillissants débitant spontanément, il sera possible dans la plupart des cas d'éviter les pompages.

Les méthodes d'essai sont variées :

1. Fermeture de forages débitant librement depuis très longtemps c'est-à-dire ayant atteint un régime quasi permanent.
On relève et analyse l'augmentation des pressions ou niveaux aux forages et aux éventuels piézomètres.
2. Ouverture totale de forages inactifs depuis assez longtemps *
pour que la pression à la plaque de fermeture soit stabilisée. On interprète alors la décroissance du débit ou les rabattements s'il y a des piézomètres.
3. Ouverture partielle des forages initialement fermés de façon à maintenir par un réglage continu un débit constant. Cette méthode est rappelée ici pour mémoire car elle peut être totalement assimilée à un pompage d'essai classique. Elle demande de mesurer les pressions en amont du dispositif de vannage.
4. Pompage à débit constant. Lorsqu'un forage débite depuis très longtemps et que son débit naturel "q" est constant (régime permanent) on peut aussi effectuer un pompage à débit constant "Q" qui sera considéré comme un phénomène se superposant au régime antérieur permanent. L'interprétation d'un tel essai se fera en analysant la variation du niveau(ou de la pression) en fonction du temps de pompage et en considérant la différence entre les débits (Q-q).

* ou première mise en production d'un forage neuf.

L'interprétation de ces essais est rendue possible par l'application du théorème de superposition. Aussi consacrons-nous le premier chapitre au rappel de son principe.

Les méthodes d'interprétation de ces différents types d'essai, en vue d'évaluer les paramètres de l'aquifère exploité sont exposées en détail dans le deuxième chapitre du présent rapport.

D'autre part, certaines sources vauclusiennes ou artésiennes sont l'exutoire d'un conduit à l'axe sub-vertical et peuvent être assimilées à un "puits naturel" à pénétration plus ou moins partielle.

Si en plus elles sont issues d'un seul aquifère, des actions telles que pompage ou modification du niveau d'émergence, peuvent être envisagées pour contribuer à identifier les paramètres de l'aquifère, concurremment avec les méthodes d'identification plus classiques que sont les essais opérés dans les puits et les forages.

La troisième partie du rapport tente d'examiner brièvement dans quels cas et suivant quelles conditions de validité de tels essais pourraient être entrepris, quelles seraient les modalités de leur mise en oeuvre et par quelles méthodes leurs résultats pourraient être interprétés.

1. RAPPEL THEORIQUE : LE THEOREME DE "SUPERPOSITION"

La réaction d'un système aquifère soumis à des conditions variées et simultanées peut se réduire à un ensemble de réponses indépendantes et relatives à chacune des conditions élémentaires.

L'invocation du théorème de superposition - appelé souvent principe de superposition bien qu'il fasse l'objet de démonstration - est très courante en hydrogéologie.

Ce théorème permet de résoudre des problèmes aux conditions complexes en les réduisant à la juxtaposition de problèmes élémentaires aisément solubles.

Nous nous proposons de rappeler brièvement les fondements mathématiques du théorème ainsi que ses applications les plus courantes en hydrogéologie et notamment pour l'interprétation des essais sur forages jaillissants.

1.1. Bases théoriques

Dans les plus nombreux des cas, les équations de continuité qui régissent les écoulements dans les milieux poreux ainsi que les conditions aux limites, sont des équations aux dérivées partielles linéaires.

L'exception principale à cette condition de linéarité concerne les équations des écoulements avec surface libre. Nous devons éliminer des développements ci-après, tous les cas où la condition de surface libre constitue un facteur non négligeable.

Considérons le cas le plus courant d'une équation de continuité linéaire et homogène c'est-à-dire sans terme constant. Soit par exemple, le cas des écoulements transitoires dans un plan isotrope

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1)$$

où ϕ est le potentiel.

La condition à la limite sur la frontière du domaine considéré peut s'exprimer par une équation du type

$$a_0 \phi + a_1 \frac{\partial \phi}{\partial x} + a_2 \frac{\partial \phi}{\partial y} = f(x, y, t) \quad (2)$$

Par exemple, potentiel imposé : $a_0 \phi = f(x, y, t)$

ou débits imposés : $a_1 \frac{\partial \phi}{\partial x} + a_2 \frac{\partial \phi}{\partial y} = f(x, y, t)$

Si $\phi_1(x, y, t)$ et $\phi_2(x, y, t)$ sont deux solutions particulières de l'équation de continuité (équation (1) par exemple), toute combinaison linéaire de ϕ_1 et ϕ_2 , $\phi = C_1 \phi_1 + C_2 \phi_2$ est aussi solution de cette équation et les constantes C_1 et C_2 peuvent être ajustées pour que les conditions aux limites soient satisfaites :

Soit, par exemple,

$$a_0 \phi_1 + a_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial x} + a_2 \frac{\partial \phi_1}{\partial y} = f_1(x, y, t)$$

$$a_0 \phi_2 + a_1 \frac{\partial \phi_2}{\partial x} + a_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial y} = f_2(x, y, t)$$

et la solution ϕ vérifie la condition à la frontière du domaine :

$$a_0 \phi + a_1 \frac{\partial \phi}{\partial x} + a_2 \frac{\partial \phi}{\partial y} = C_1 f_1 + C_2 f_2$$

En pratique on suit plutôt la démarche inverse pour résoudre les problèmes concernant les systèmes soumis à des conditions variées et réduire le calcul à celui de problèmes simples, dont on n'aura plus qu'à sommer les résultats.

1.2. Application à la résolution de problèmes hydrogéologiques

L'utilisation du principe est constante en hydrogéologie, notamment pour des travaux aussi fréquents et fondamentaux que l'interprétation des données des pompages d'essai.

On peut rappeler entre autres :

1.2.1. Pompages d'essai dans les nappes en écoulement

La fonction de Theis et les équations d'écoulements autour des puits qui en sont déduites supposent des hypothèses simplificatrices. En particulier les conditions aux limites sont les suivantes :

- 1 - condition initiale : potentiel constant sur tout le domaine
- 2 - condition au puits ($r=r_p$) : débit constant pour $t > 0$

$$2\pi T \left(\frac{\partial h}{\partial r} \right)_{r_p} = Q_0$$

- 3 - condition à l'infini : $h = h_0$

Or les nappes sont naturellement en écoulement et les conditions 1 et 3 ci-dessus ne sont pas habituellement satisfaites. Par application du théorème de superposition, il est possible de considérer séparément, d'une part, les effets du pompage à débit constant qui sont matérialisés par des lois liant les rabattements au temps et à la distance et d'autre part, les phénomènes permanents ou transitoires liés à l'écoulement naturel de la nappe.

Dans le cas où cet écoulement est en régime pratiquement stabilisé, on sait que l'on peut procéder à l'interprétation d'un pompage d'essai en analysant les rabattements dus au pompage comme si la nappe était au repos c'est-à-dire en utilisant les bases théoriques évoquées ci-dessus.

1.2.2. Interprétation des pompages d'essai perturbés

On peut évoquer ici toutes les causes externes de modification des niveaux durant un pompage d'essai :

- ondes de marées à partir d'une côte marine ou d'un estuaire proche
- variations de niveau d'un cours d'eau
- pompages voisins
- etc....

Si l'on peut déterminer par un moyen approprié les effets de ces causes étrangères au pompage, on peut corriger les niveaux mesurés par simple soustraction de l'effet parasite.

1.2.3. Pompages à débits variables et remontées

De même si l'on suppose que le débit n'est pas constant c'est-à-dire que la condition 2 (§ 2.1.) n'est pas vérifiée, le théorème de superposition permet de considérer le pompage comme le résultat de plusieurs pompages au même point à des débits constants mais différents.

Ce raisonnement conduit à l'interprétation des pompages à débits variables ou d'une façon plus courante à celle des remontées : * On superpose alors les effets d'un pompage fictif dont le débit négatif est égal en valeur absolue à celui antérieurement prélevé.

Les interprétations des méthodes des puits jaillissants évoquées aux paragraphes 2.1. et 2.3. sont fondées sur une application similaire.

1.2.4. Effets de limite

Une des applications les plus classiques est celle permettant de représenter les limites latérales des nappes, (limites étanches ou limites à niveaux constants imposés), par l'introduction des effets de puits "images". *

* On pourra voir à ce sujet l'Aide Mémoire sur l'interprétation des données des pompages d'essai (72 SGN AME).

1.2.5. Interférences entre puits - Essais de groupes de puits

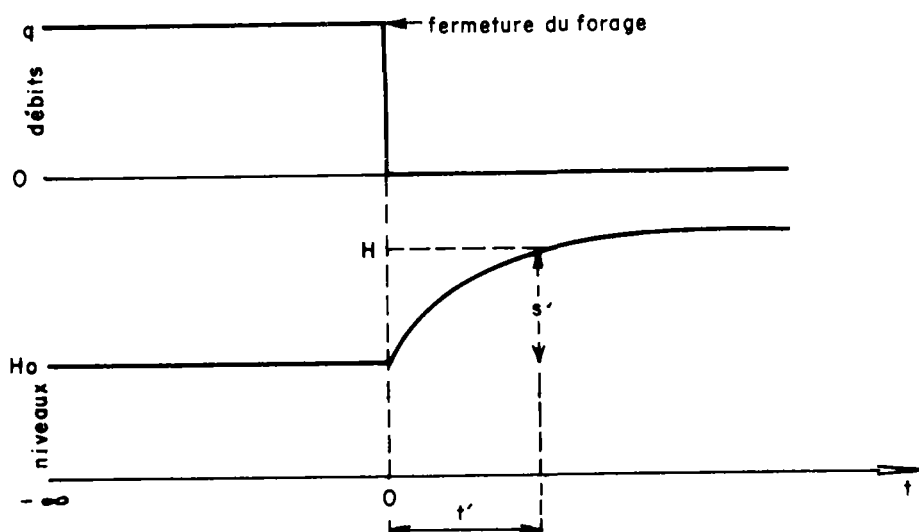
Enfin, nous citerons plus particulièrement ici, l'application aux effets mutuels entre puits. Le théorème de superposition permet d'étudier des essais à plusieurs puits en dissociant les effets de chacun d'eux en suivant le principe évoqué ci-dessus au § 1.2.2. Ces interprétations ne peuvent être que difficiles exigeant une démarche par approximations successives et pratiquement l'usage d'un ordinateur. D'autre part, le cas qui se pose plus précisément ici est l'utilisation des forages jaillissants comme piézomètres associés à un essai de puits. En effet ces forages "piézomètres" débitant naturellement, la dépression éventuelle dont ils subiront l'influence, aura comme effet immédiat de diminuer leur débit jaillissant propre. Aussi aux influences de l'essai projeté, se superposeront celles de cette variation de débit et l'on devra interpréter un essai complexe avec des puits multiples à débits variables.

L'annexe 6 propose des solutions pour ce problème. On doit conseiller lorsque cela est possible de supprimer tous les débits parasites qui risquent d'être modifiés par l'essai en demandant la fermeture de tous les forages voisins de façon à les transformer en véritables piézomètres.

2. INTERPRETATION DES ESSAIS SUR FORAGES JAILLISSANTS

2.1. Calcul des paramètres par l'analyse de l'augmentation de pression après la fermeture d'un forage

Lorsqu'un forage jaillissant débite librement depuis très longtemps, on peut considérer que le rayon d'action a eu le temps d'atteindre les limites d'alimentation du système et que le régime d'écoulement est permanent c'est-à-dire que son débit naturel q est constant depuis une longue période. Si on arrête brusquement le "pompage" en fermant le forage la déformation de la surface piézométrique sera identique à celle que produirait une injection d'eau dans le forage à débit constant $Q = q$.



L'interprétation de l'augmentation des charges consécutive à la fermeture du forage se traite comme une descente classique provoquée par un pompage, la différence de charge ($H - H_0$) tenant lieu de rabattement* pour le forage et les piézomètres si il y en a.

Le débit à considérer est le débit q .

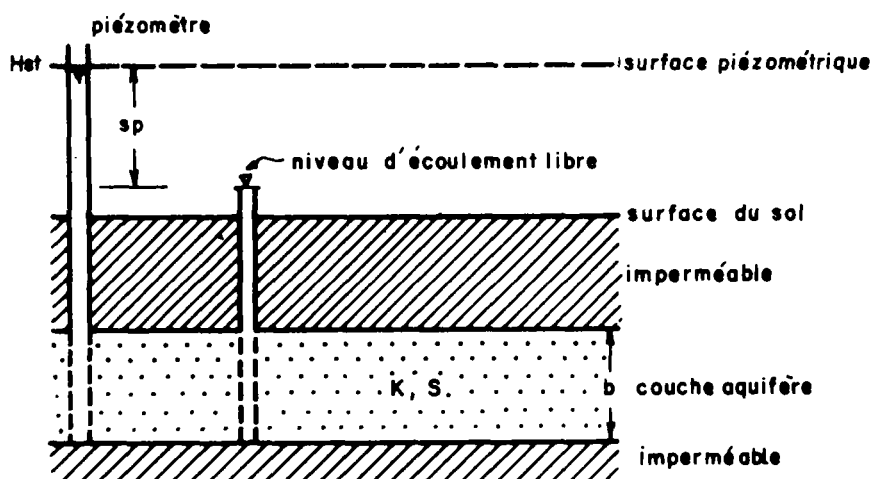
Ceci dit, il est évident que l'on peut employer dans ce cas toutes les méthodes semi-logarithmiques et bi-logarithmiques des pompages d'essai établies pour les nappes captives et semi-captives et calculer la transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement S (s'il y a des piézomètres) ainsi que d'autres paramètres tels que : paramètre de drainance K'/b' , coefficient d'emmagasinement de l'éponte semi-perméable S' , distance aux limites etc....

Les hypothèses et les conditions d'emploi des méthodes sont les mêmes que pour les pompages d'essai classiques. (cf. Aide-mémoire sur l'interprétation des données des pompages d'essai - Rapport 72 SGN 273 AME).

* On peut aussi porter directement les pressions "H" en fonction de $\log t$, pour toutes les méthodes semi-logarithmiques.

2.2. Calcul des paramètres par l'analyse de la décroissance du débit après l'ouverture d'un forage

Lorsqu'un forage est resté fermé depuis longtemps, ou n'a jamais débité (lère mise en production d'un forage neuf), la pression qui s'exerce sur son couvercle correspond à la charge statique H_{st} c'est-à-dire à la hauteur d'une colonne d'eau atteignant la surface piézométrique à l'emplacement du forage (cf. fig. ci-dessous).



À l'ouverture du forage (mise en production) la charge s abaisse instantanément et se stabilise à la valeur correspondant au niveau de sortie de l'eau du forage. La différence entre le niveau statique H_{st} et le niveau d'écoulement libre du forage est notée s_p . C'est une constante pour un forage jaillissant dont la connaissance est nécessaire pour toute interprétation de la variation du débit.

Aussi lorsque l'on veut analyser la courbe de décroissance du débit en fonction du temps et que le forage en question débite depuis un certain temps, il faut chaque fois commencer la procédure de l'essai par la fermeture du forage pendant une durée suffisante pour que la charge soit pratiquement stabilisée.

Les méthodes d'interprétation de cette décroissance du débit en fonction du temps, qui sont exposées dans les paragraphes qui suivent, sont analogues à celles d'un pompage d'essai à niveau - donc à rabattement - constant. Elles peuvent aussi être utilisées pour un pompage à débit critique (1).

2.2.1. Forage jaillissant en nappe captive

2.2.1.1. Méthode bi-logarithmique

Equation du débit :

Jacob et Lohman (4) ont démontré que le débit d'un forage jaillissant obéit à l'équation suivante :

$$\boxed{q = 2 \pi T s_p G(\tau)} \quad (1)$$

où $\tau = \frac{Tt}{r_p^2 s}$ et $G(\tau)$ appelée fonction du débit d'un forage

jaillissant en nappe captive est une fonction tabulée (annexe 1).

La courbe représentative de cette fonction est donnée en annexe 2.

Le calcul de T et S consiste à reporter le débit q observé en fonction du temps en coordonnées bi-logarithmiques et à superposer la courbe obtenue sur la courbe théorique en maintenant les axes des coordonnées parallèles. Une fois la coïncidence des deux graphiques obtenue, on choisit arbitrairement un point sur la partie commune aux deux graphiques dont les doubles coordonnées (q,t) et $(G(\tau),\tau)$ permettent de calculer T et S par les formules :

$$T = \frac{0,16 q}{s_p G(\tau)}$$

$$S \leq \frac{Tt}{r_p^2}$$

Cette solution graphique est comparable aux méthodes employées pour les pompages classiques.

Equation du rabattement dans un piézomètre à distance r :

D'après M.S. Hantush (3) l'équation du rabattement en régime transitoire à distance r de l'axe d'un forage jaillissant est la suivante :

$$s = s_p A(\tau, \rho)$$

$$\tau = \frac{Tt}{r_p^2 S}$$

$$\rho = r/r_p$$

et A (τ, ρ) fonction tabulée (voir annexe 3).

L'observation de la variation du rabattement dans un piézomètre permet d'évaluer le rapport T/S (diffusivité) puis d'en déduire éventuellement S ayant évalué T par l'analyse de $q = f(t)$ au forage.

On procède comme suit :

- 1° On trace sur un papier à coordonnées logarithmiques la courbe type (en s'aidant du tableau de l'annexe 3. On considère les valeurs de A (τ, ρ) en fonction de l'argument τ , correspondant au rapport $\rho = r/r_p$ qui nous intéresse).
- 2° On reporte les rabattements observés s en fonction du temps sur un papier de même module que celui utilisé pour la courbe type.
- 3° On superpose la courbe $s = f(t)$ sur la courbe suivant les règles habituelles et on relève les coordonnées t et τ .
- 4° On calcule T/S suivant l'expression :

$$\frac{T}{S} = \frac{\tau r_p^2}{t}$$

REMARQUE : Lorsque le piézomètre est un forage artésien jaillissant utilisé sans interruption, il faut tenter de convertir la variation de débit observée en variation de pression en se servant de la courbe caractéristique (débit/pression stabilisée) établie préalablement à l'essai. Les détails de la méthode sont expliqués en annexe 6.

2.2.1.2. Méthode semi-logarithmique

Jacob et Lohman (4) ont démontré que pour les valeurs élevées de t , on peut remplacer la fonction $G(\tau)$ par :

$$\frac{2}{2,30 \log \frac{2,25 T t}{r_p^2 S}}$$

En remplaçant $G(\tau)$ par cette expression, l'équation (1) devient :

$$q = \frac{4 \pi T s_p}{2,30 \log \frac{2,25 T t}{r_p^2 S}} \quad (2)$$

On peut écrire aussi :

$$\frac{s_p}{q} = \frac{2,30 \log \frac{2,25 T t}{r_p^2 S}}{4 \pi T} = \frac{0,183}{T} \log \frac{2,25 T t}{r_p^2 S}$$

Cette équation est analogue à celle de Jacob établie par les nappes captives en pompage.

Le calcul de T et de S consiste à reporter les valeurs de s_p/q ou de $1/q$ puisque s_p est une constante pour un forage jaillissant, en fonction du logarithme du temps.

On interprète ensuite comme pour la méthode classique de Jacob c'est-à-dire :

- 1° On trace la droite qui passe au mieux par les points reportés
- 2° On relève la pente "i" de cette droite qui numériquement est égale à $\frac{0,183}{T}$ si on porte s_p/q en fonction de $\log. t$ ou à $\frac{0,183}{T_s}$ si on porte l/q en fonction de $\log t$
- 3° On relève le temps " t_0 " correspondant à l'intersection de la droite avec l'axe des temps pour s_p/q ou $l/q = 0$.
- 4° On calcule T et S suivant les expressions :

$$T = \frac{0,183}{i} \quad \text{ou} \quad T = \frac{0,183 s_p}{i}$$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r_p^2}$$

REMARQUE : La précision de la valeur de S obtenue par ces méthodes est évidemment liée à la connaissance de r_p effectif qui n'est pas toujours égal au r_p nominal du forage.

2.2.2. Forage jaillissant en nappe semi-captive

2.2.2.1. Nappe semi-captive avec éponte semi-perméable dont l'emmagasinement S' n'est pas négligeable.

Seules sont disponibles les solutions pour des temps de pompage longs $\tau \geq 2b'S'/K'$

CAS 1

(cf. fig.1)

L'équation du débit au forage est d'après M.S. HANTUSH (3) :

$$q = 2 \pi T s_p G (\tau/\delta_1, r_p/B) \quad (3)$$

$$\text{où } \delta_1 = 1 + S'/3S \text{ et } B = \sqrt{\frac{Tb'}{K'}}$$

La fonction $G (\tau/\delta_1, r_p/B)$ est analogue à la fonction $G (\tau, \beta)$ appelée fonction du débit d'un puits jaillissant pour nappes semi-captives. Elle est tabulée en annexe 4.

La planche de l'annexe 5 donne les courbes-types de cette fonction.

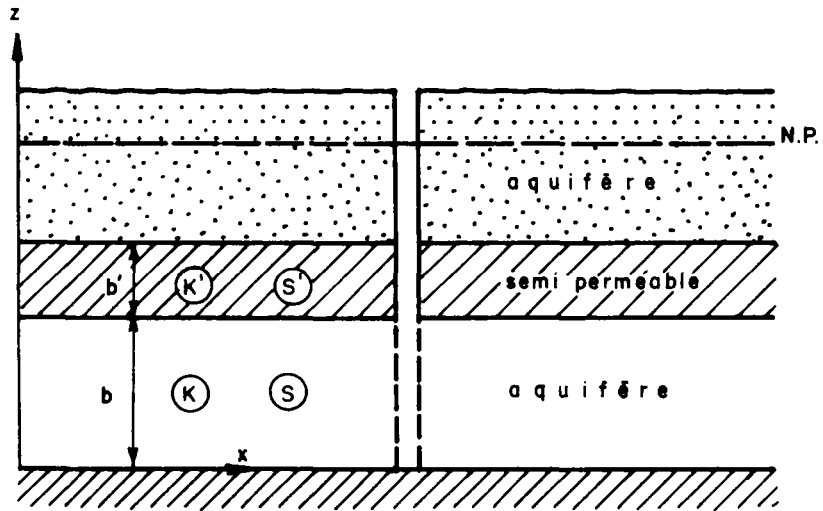
La méthode de superposition classique de la courbe observée $\log. q = f (\log. t)$ sur une des courbes-types fournit les valeurs de : $G (\tau/\delta_1, r_p/B)$, q , τ/δ_1 et t ainsi que la valeur de r_p/B qui a permis l'ajustement.

Cette méthode permet d'évaluer :

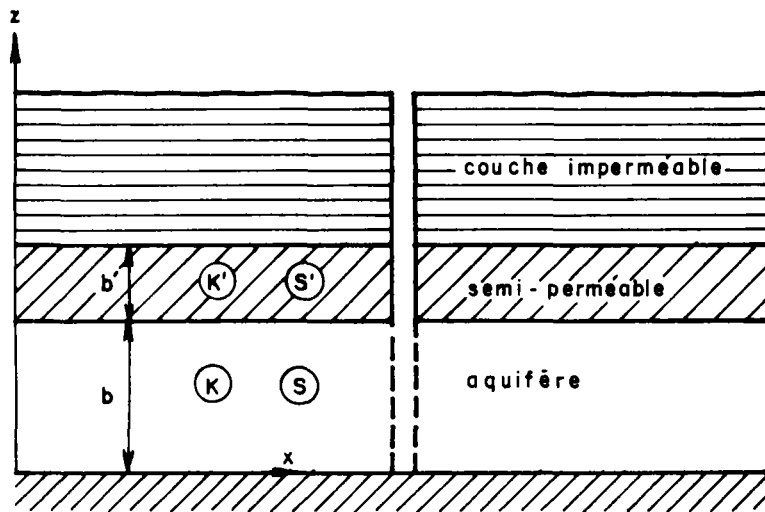
$$T = \frac{0,16 q}{s_p G (\tau/\delta_1, r_p/B)}$$

$$\text{et } K'/b' = \frac{T}{B^2}$$

mais ne permet pas d'évaluer S ni S' .



Cas 1



Cas 2

Représentation schématique des systèmes non étanches (nappe semi.captive)

CAS 2 (cf. figure page 18)

La solution pour le débit au forage est :

$$q = 2 \pi T s_p G(\tau/\delta_2) \quad (4)$$

$$\text{où } \delta_2 = 1 + \frac{S'}{S} \text{ et } \tau/\delta_2 = \frac{Tt}{r_p^2(S+S')}$$

et $G(\tau/\delta_2)$ fonction analogue à la fonction $G(\tau)$ tabulée et dont la courbe-type est représentée en annexe 2.

La méthode de superposition classique de la courbe observée $\log q = f(\log t)$ sur la courbe-type permet d'obtenir deux couples de valeurs : $q, G(\tau/\delta_2)$ et $t, \tau/\delta_2$ et d'évaluer T et $(S + S')$ suivant les expressions :

$$T = \frac{0,16}{s_p G(\tau/\delta_2)}$$

$$(S+S') = \frac{T}{r_p^2} \frac{t}{\tau/\delta_2}$$

La solution pour le rabattement à distance r est la suivante :

$$s = s_p A(\tau/\delta_2, \rho)$$

La fonction $A(\tau/\delta_2, \rho)$ est analogue à $A(\tau, \rho)$ qui est une fonction tabulée (annexe 3).

La méthode analogue à celle citée en § 2.2.1.1. permet d'évaluer le rapport $\frac{T}{(S+S')}$ en fonction des coordonnées t et τ/δ_2 et du rayon du forage r_p .

2.2.2.2. Nappe semi-captive avec éponte semi-perméable dont l'emma-
gasinement S' est négligeable.

CAS 1

La solution est une solution limite, lorsque $S' \rightarrow 0$ c'est-à-dire pour $\delta_1 = 1$, de l'équation 3 (§2.2.2.1.) valable sans restriction de temps :

$$q = 2 \pi s_p T G(\tau, r_p/B) \quad (5)$$

Les courbes-types de la fonction $G(\tau, r_p/B)$ sont représentées en annexe 5.

La méthode de superposition classique de la courbe observée $\log q = f(\log t)$ sur une des courbes-types fournit les valeurs de : q , $G(\tau, r_p/B)$, τ et t ainsi que la valeur de r_p/B qui a permis l'ajustement et permet d'évaluer T , S et K'/b' suivant les expressions :

$$T = \frac{0,16 q}{s_p G(\tau, r_p/B)}$$

$$S = \frac{T}{r_p^2} \frac{t}{\tau}$$

$$K'/b' = \frac{T}{B^2}$$

CAS 2

Si on rend $S' = 0$ et $\delta_2 = 1$ on retrouve la nappe captive dont les équations sont analogues à celles données en § 2.2.1.1. :

$$q = 2 \pi T s_p G(\tau)$$

et $s = s_p A(\tau, \rho)$

Elles sont valables pour toutes les valeurs du temps.

2.3. Calcul des paramètres par l'analyse des données d'un pompage d'essai

Lorsqu'un forage artésien débite depuis très longtemps et que son débit naturel "q" est constant (régime permanent) on peut effectuer un pompage à débit Q. Ce débit Q doit être à la fois constant et significativement supérieur à q. *

L'interprétation des données d'un tel pompage consiste à analyser l'évolution du niveau (ou du rabattement) en fonction du temps de pompage et en considérant le débit (Q-q) à l'aide des méthodes classiques d'interprétation des données de pompage d'essai établies pour les nappes captives et semi-captives (cf. Aide-mémoire 72 SGN 273 AME).

Les réactions observées sur des piézomètres sont interprétables de la même manière. Mais il arrive fréquemment que les forages voisins du puits d'essai utilisables pour observer les réactions dans l'aquifère à différentes distances, soient également jaillissants, ce qui empêche d'observer des variations de niveau.

Dans ce cas : - ou bien il est possible de fermer ces forages/et de les équiper de manomètres (assez longtemps avant l'essai pour que la pression y soit stabilisée) enregistrant une variation de pression convertible en variation de charge (rabattement) ;

- ou bien il n'est pas possible de les fermer, et l'influence déterminée par l'essai se traduit par une variation du débit de jaillissement, et c'est elle qu'il faut observer, pourvu qu'elle soit assez significative.

L'interprétation de cette variation de débit fait l'objet de l'annexe 6.

* afin que la différence Q-q soit évaluable avec une précision acceptable, compte tenu de l'approximation qui affecte les mesures de débit. En pratique, il faut que Q soit $\geq 1,5 q$, et de préférence supérieur à 2 q.

3. PROBLEMES PARTICULIERS DES ESSAIS SUR DES SOURCES

Des essais, surtout par pompage, ont été opérés sur des sources essentiellement dans le cadre de recherches hydrogéologiques en domaine karstique (thèses notamment).

Les quelques exemples décrits (cf. les références données in fine, qui sont toutes relatives à la France) montrent que des évaluations de paramètres ont été tentées dans la plupart des cas, mais que ces résultats pèchent plus par des défauts de méthode d'interprétation que par l'absence de conditions de validité. Aussi le rappel qui suit n'a-t-il pas paru superflu.

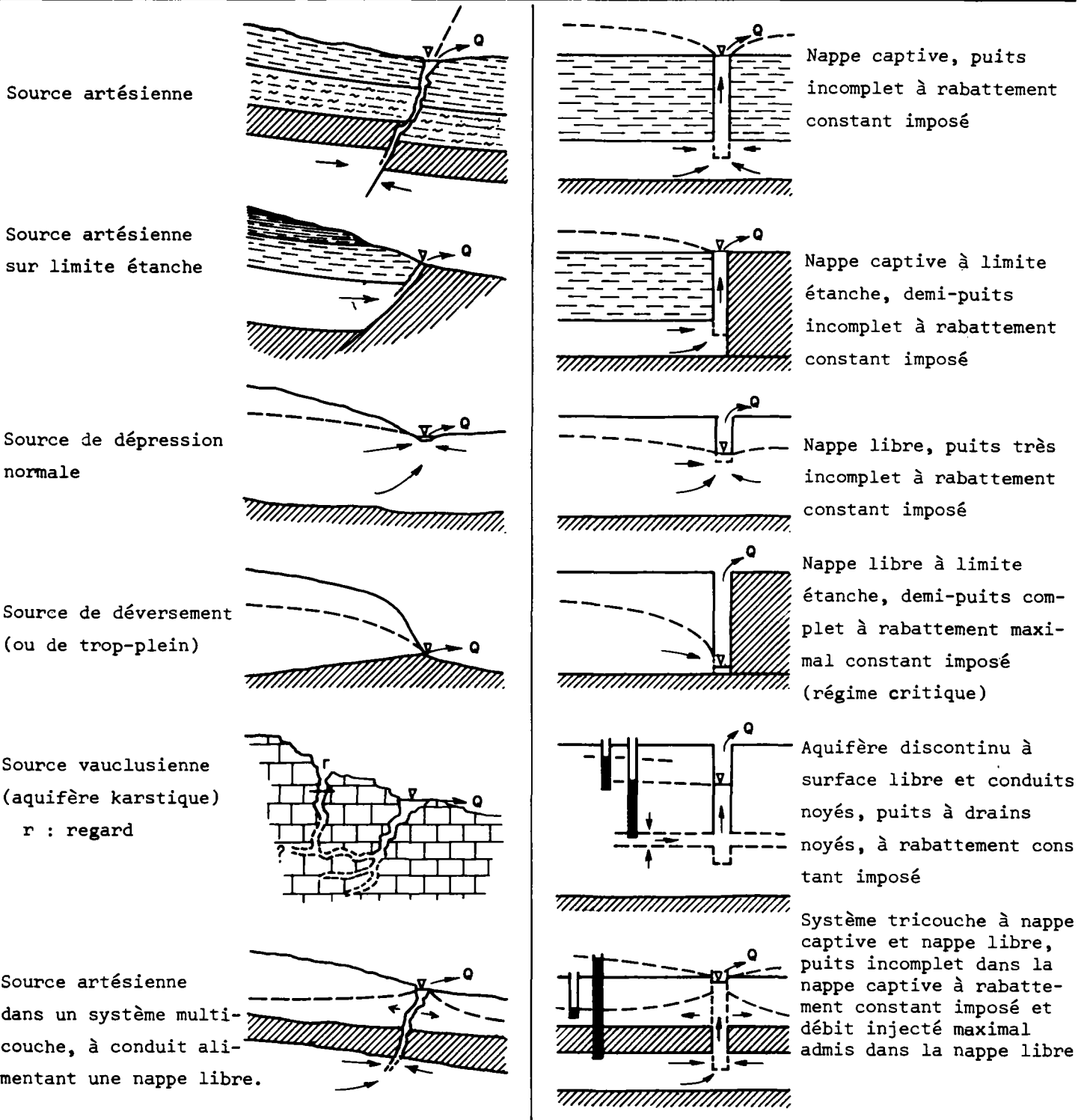
3.1. Rappel de la définition hydrodynamique d'une source

A l'échelle d'un aquifère, toute source est un point singulier à condition de potentiel, qui a la signification d'un niveau de débordement permanent ou temporaire, et à débit sortant variable. Le potentiel imposé peut être fixe ou plus ou moins fluctuant si la source est submergée sous un plan d'eau libre (cours d'eau, lac, mer) variable indépendamment ou non du débit sortant.

Théoriquement, une source peut en général être assimilée à un puits (incomplet) dans lequel un pompage à débit plus ou moins variable (décrit par l'hydrogramme naturel de la source) imposerait un rabattement Δh constant par rapport au niveau piézométrique qui correspondrait en ce point à un débit nul, toutes choses étant égales par ailleurs (cf. schémas ci-contre d'équivalence entre sources et puits).

N.B. : Beaucoup de sources se situent à proximité d'une limite étanche de l'aquifère, qui a précisément déterminé leur localisation. En ce cas, la source est assimilable à un "demi-puits" (puits coïncidant avec son image où un débit égal et de même signe est imposé, c'est-à-dire doublé). Toutefois, dans les conditions naturelles, ces sources "de contact" avec une limite étanche - soit des sources de déversement ou de trop-plein d'un aquifère libre, soit même des sources artésiennes issues d'un aquifère captif - sont rarement isolées et souvent font partie d'une ligne de source, assimilable alors à une tranchée drainante (complète) de longueur finie (ou plus exactement une "demi-tranchée"), plutôt qu'à un puits.

v niveau imposé
 Q débit variable



N.B. : Schémas bidimensionnels pouvant dans certains cas (sources de déversement ou de dépression) représenter des coupes transversales de drains ou tranchées drainantes, plutôt que des systèmes à écoulement radial.

Pendant une durée assez courte pour que la variation de débit naturel soit négligeable - notamment en période d'étiage -, on peut considérer que le régime de la source est permanent.

3.2. Possibilités pratiques d'action sur des sources

Une action sur une source n'est praticable que si l'une au moins des deux conditions suivantes est remplie :

3.2.1. La source est l'orifice d'un conduit à axe sub-vertical et assez large, sur une profondeur suffisante pour y installer une pompe et pour y déterminer un rabattement significatif et observable. La source est donc bien assimilable à un "puits naturel" (à pénétration plus ou moins partielle dans l'aquifère, donc incomplet).

3.2.2. La structure hydrogéologique et les conditions topographiques locales permettent de surélever significativement le niveau d'émergence, c'est-à-dire de "mettre la source en charge" (par un barrage ou une cheminée), sans provoquer d'émergence supplémentaire voisine.

N.B. : Seuls deux types de sources paraissent pouvoir remplir ces conditions. Elles ont pour caractère commun d'être l'exutoire d'un conduit (pénétrable ou non) dans lequel a lieu un écoulement ascendant, à composante principale verticale :

- les sources artésiennes, émergences d'aquifères captifs à potentiel supérieur à l'altitude du sol, dont la localisation est généralement conditionnée par des discontinuités dans la couverture semi-perméable. Mais ces sources ne sont pas toujours des exutoires de conduits pénétrables, et ne remplissent alors (éventuellement) que la condition 2.

- les sources vauclusiennes, émergences d'aquifères karstiques à surface libre et exutoires de conduit karstique noyé. Elles sont plus généralement pénétrables sur une profondeur suffisante, mais par contre leur conduit subvertical se raccorde souvent en profondeur à des conduits sub-horizontaux plus ou moins ramifiés assimilant l'ensemble à un puits à galeries (ou à drains rayonnants) plutôt qu'à un puits simple, ce qui empêcherait d'appliquer les méthodes d'interprétation des essais dans le puits. En outre, ces conduits peuvent comporter des siphons.

Les sources issues d'aquifères continus à nappe libre, soit des sources de déversement dont le potentiel imposé est très voisin de la cote du mur "imperméable" de l'aquifère, soit des sources de dépression déterminées surtout par les conditions topographiques et assimilables pour la plupart à des puits à pénétration quasi-nulle captant l'eau seulement par le fond, ne remplissant en général aucune des deux conditions et sont donc à exclure.

Toutefois, il est parfois possible d'élargir et / ou d'approfondir le conduit d'une source, ce qui rendrait un essai plus praticable.

En outre :

3.2.3. le niveau "dynamique" (rabattu ou relevé) de la source doit être rendu indépendant du niveau du cours d'eau collecteur.

Cela exclut les sources submergées et pourrait nécessiter, pour opérer un essai, de créer une discontinuité hydraulique entre la source et le cours d'eau émissaire.

Les seules conditions de "praticabilité" sont déjà, on le voit, très restrictives.

3.3. Conditions de validité d'essais entrepris sur des sources

Même si une action significative est réalisable en pratique sur une source, il faut encore que des conditions de validité soient remplies pour que les données tirées de l'essai soient interprétables :

3.3.1. L'aquifère dont la source est un exutoire (prouvé ou présumé) doit être assimilable à un monocouche. Tous les schémas usuels d'interprétation sont en effet basés sur l'hypothèse que le puits ou le forage (complet ou incomplet) ne capte que l'eau d'une seule couche aquifère, même dans un système multicouche où des piézomètres peuvent être placés dans différentes couches.

Le conduit d'une source équivalant à un puits non tubé, s'il traverse plusieurs couches aquifères non schématisables par un système monocouche, il est assimilable à un forage non tubé permettant des échanges entre couches aquifères, en fonction de leurs charges propres, même si un débit jaillissant subsiste (cf. infra 3.6).

En outre, la couche aquifère doit répondre aux différentes conditions simplificatrices admises par l'un ou l'autre des différents "modèles" utilisés pour l'interprétation des données des pompages d'essai.

3.3.2. La configuration de la source doit permettre de l'assimiler à un puits plus ou moins complet, mais de forme assez simple (cf. la remarque ci-dessus à propos des sources vauclusiennes).

En effet, un "effet de capacité" trop élevé rendrait l'essai ininterprétable dans les limites de durée réalistes. L'"effet de capacité" ne devrait donc pas être affecté d'une trop grande indétermination. Le conduit ayant la source pour exutoire équivaut à un puits de diamètre variable, de profondeur et de configuration - donc de volume - inconnus (il peut en outre comporter des galeries).

Il faudrait pouvoir estimer l'effet de capacité avec une marge de sécurité suffisante pour prévoir une durée d'essai rendant ses résultats interprétables.

3.3.3. Le régime naturel de la source aux conditions initiales et pendant la durée de l'essai doit être permanent.

3.3.4. La source doit être assez éloignée de sources voisines (issues du même aquifère) afin que l'influence de l'essai sur le débit de celles-ci n'intervienne pas trop rapidement pour permettre d'observer une évolution significative (cf. infra 3.7).

3.4. Types d'essai

Les sources qui présentent les conditions requises sont assimilables à des puits jaillissants naturels. Aussi les types d'action envisageables s'apparentent-ils aux essais praticables sur les puits ou forages artésiens (jaillissants).

Principe commun à tous les essais :

Créer une impulsion déterminant dans l'aquifère une réponse se superposant au régime permanent initial.

Cela conduira à exploiter exclusivement pour l'interprétation les différences de débit et de rabattement par rapport à l'état initial.

Trois types d'action sont possibles:

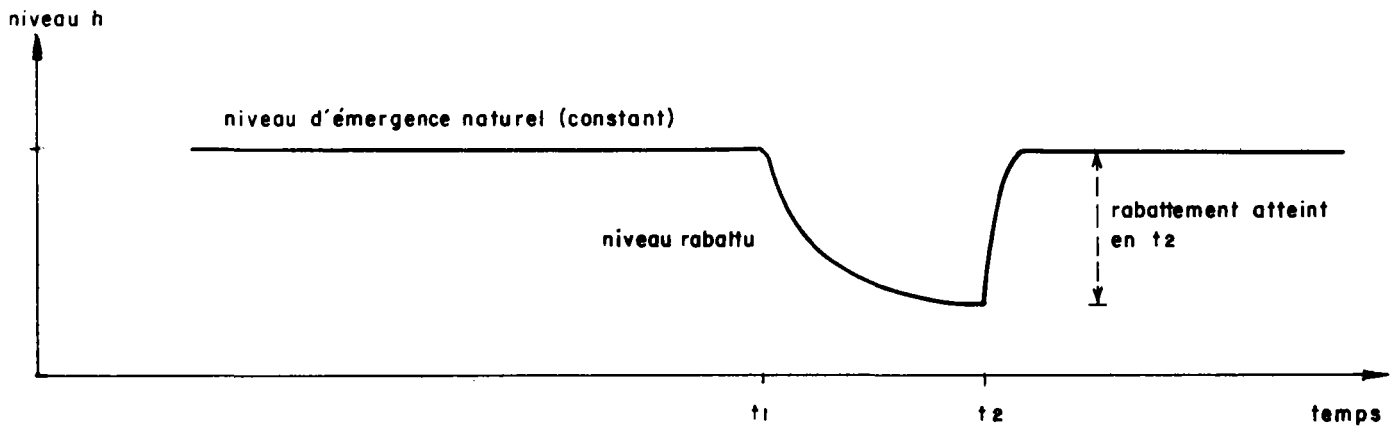
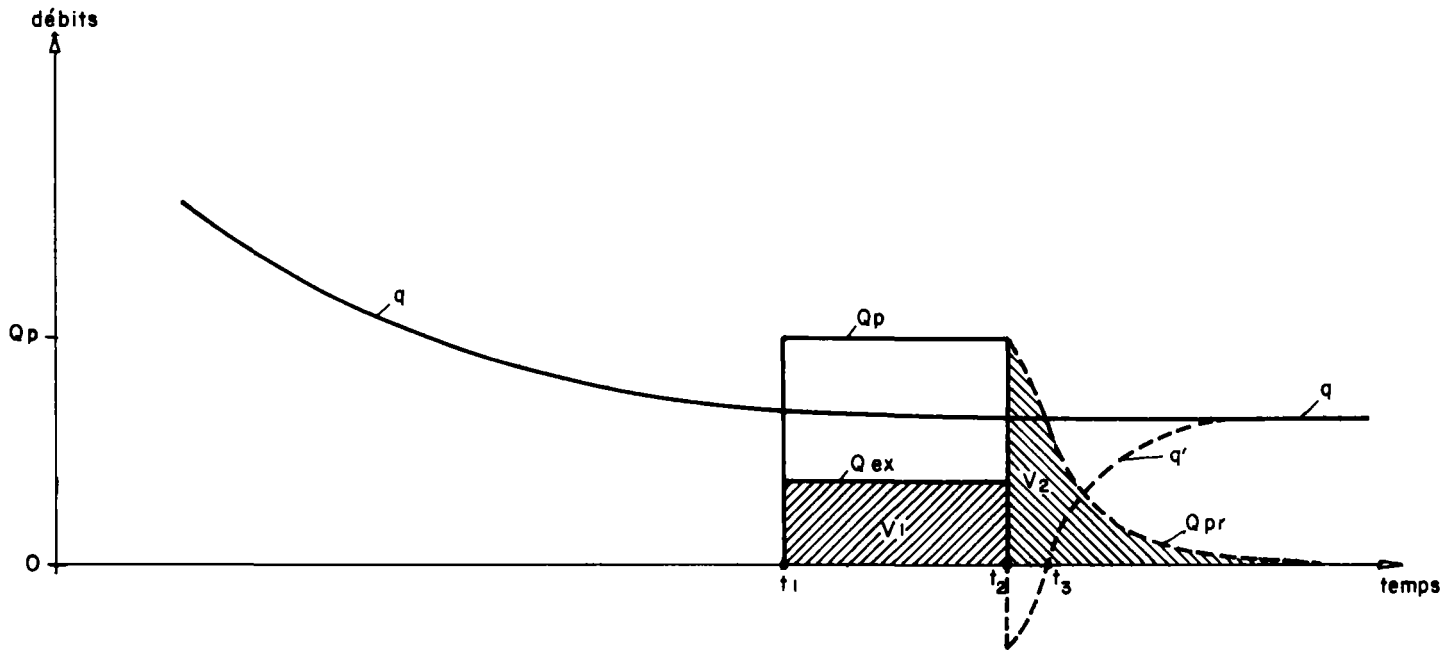
3.4.1. Action directe sur le débit (cf. schéma ci-contre) :

Pompage d'un débit Q constant significativement supérieur (1,5 à 2 fois au moins) au débit initial q_0 de la source, afin que la mesure de la différence de débit soit assez précise.

Observations à faire :

- contrôle du débit naturel de la source avant l'essai pendant une durée au moins égale à celle prévue pour le pompage (pour vérifier l'état quasi-permanent du régime), et après l'essai
- contrôle du débit pompé
- mesures de l'évolution du niveau dans le conduit, et éventuellement dans un ou plusieurs piézomètres, pendant le pompage et après l'arrêt du pompage.
- éventuellement, si, dans le voisinage, des puits jaillissants ou d'autres sources similaires, provenant bien sûr du même aquifère, peuvent être influencées par l'essai, contrôle des variations de débit en ces points.

N.B. : Plusieurs paliers de débit (de même durée) peuvent être réalisés si l'on cherche à évaluer un "débit spécifique" de la source. Ce "débit spécifique" est plus ou moins relatif selon que le rabattement supplémentaire Δh tend à se stabiliser ou non en fin de palier.



- q - débit naturel de la source (régime de tarissement)
- Q_p - débit pompé total, constant, entre t_1 et t_2
- ▨ Q_{ex} - débit pompé en excédent du débit naturel (= débit disponible si $Q_p - Q_{ex}$ doit être restitué pour conserver le débit naturel).
- ▨ Q_{pr} - préjudice différé affectant le débit naturel après arrêt de pompage en t_2 (entre t_2 et t_3 ce préjudice est plus grand que le débit naturel : $t_3 - t_2$ est le retard de reprise de l'écoulement de la source après arrêt du pompage qui correspond au temps de remontée du niveau rabattu jusqu'au niveau d'émergence $t_3 - t_2$ peut être très court ou d'un ordre égal ou supérieur à $t_2 - t_1$).
- - - q' - débit de la source influencé par l'effet différé du pompage après t_2
- ▨ V_1 - volume pompé en excédent (disponible)
- ▨ V_2 - (= V_1) volume du préjudice de l'écoulement après arrêt du pompage

La mise en place de piézomètres et l'exploitation de leurs réactions n'ont de sens que si l'on est sûr qu'ils sont bien ouverts dans l'aquifère dont la source est issue.

La nécessité de pomper un débit supérieur à celui de la source est naturellement la principale contrainte pratique, car elle peut réclamer des moyens de pompage très importants qui ne sont pas toujours économiquement acceptables. Le choix de la période d'étiage - imposé par ailleurs pour se trouver en régime quasi-permanent - permet, il est vrai, de minimiser le débit à pomper.

Données à exploiter :

- débit supplémentaire pompé $\Delta Q = Q - q_0$
- évolution du rabattement supplémentaire Δh , rapporté au niveau dynamique initial, en fonction du temps (dans la source et éventuellement dans des piézomètres)
- éventuellement, évolution décroissante des débits dans d'autres sources similaires ou dans des forages jaillissants exploitant l'aquifère, converties en variations du niveau en établissant une relation niveau (stabilisé)/débit en ces points par des essais ad hoc (paliers de niveau).

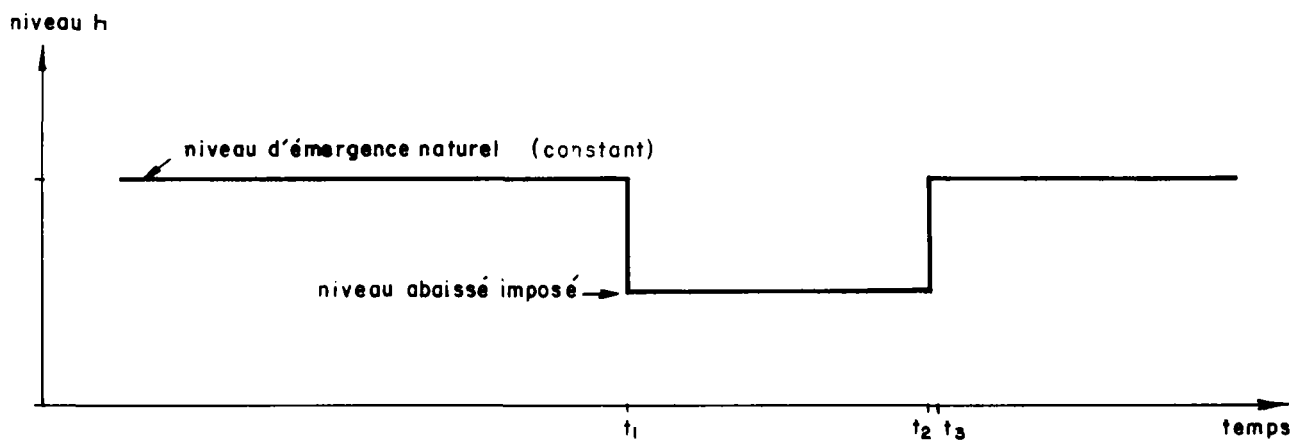
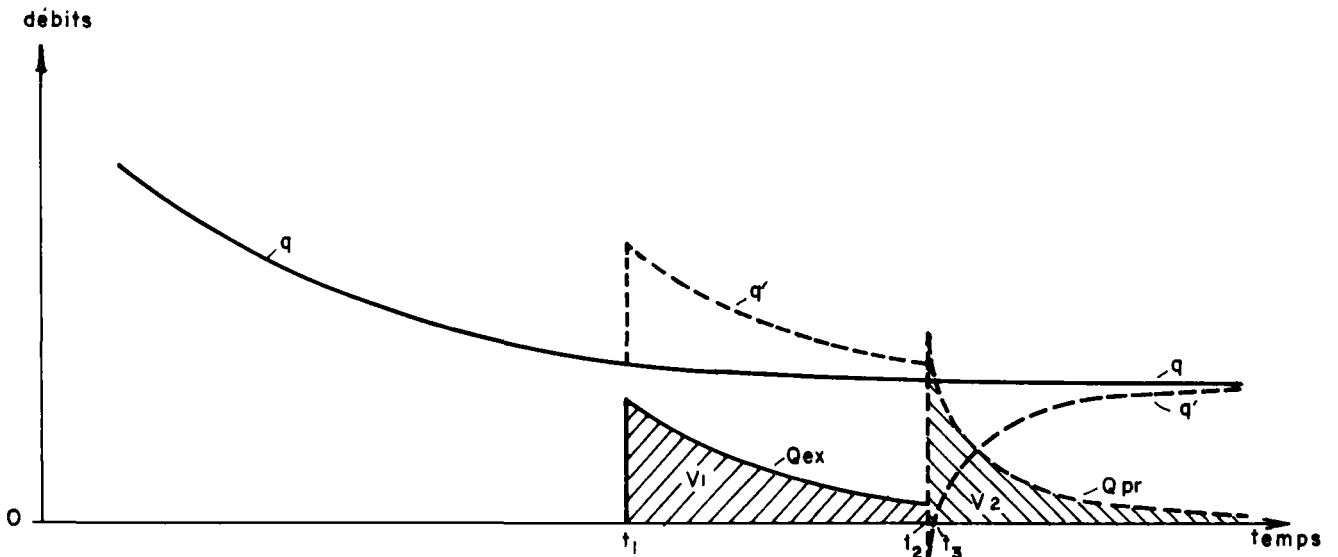
3.4.2. Modification du niveau d'émergence (cf. schéma ci-contre) :







Elle est rendue possible dans certains cas par l'aménagement d'un seuil comportant des vannes, mais la marge d'action sur le niveau est généralement limitée : de l'ordre d'un à quelques mètres.

Le changement de niveau doit être réalisé quasi-instantanément. Un abaissement ou un relèvement peuvent indifféremment être pratiqués (en fonction de l'état initial) et il peut être utile de pratiquer successivement les deux pour obtenir la plus forte amplitude possible d'impulsion.

Le changement de niveau se ramène à opérer un pompage (ou une injection) à débit variable et à rabattement (ou relèvement) constant. Le débit modifié ($>$ ou $<$ q_0) peut tendre plus ou moins rapidement vers une stabilisation.

Effet d'un abaissement temporaire constant du niveau d'émergence d'une source



-  q débit naturel de la source (régime de tarissement)
-  Q_{ex} débit supplémentaire fourni par un abaissement constant du niveau d'émergence entre t_1 et t_2 (N.B. ce débit est décroissant)
 Q_{ex} est le débit disponible s'il faut restituer $q' - Q_{ex}$ pour conserver le débit naturel
-  Q_{pr} préjudice différé affectant le débit naturel après le rétablissement du niveau initial en t_2 (N.B. pendant un temps très court, entre t_2 et t_3 , ce débit est supérieur au débit naturel, cela correspond à la durée de remontée du niveau, sans écoulement de la source)
-  q' débit de la source influencé, accru pendant l'abaissement du niveau (t_1 à t_2), puis diminué sous l'effet du préjudice différé
-  V_1 volume débité en excédent
-  V_2 (= V_1) volume du préjudice de l'écoulement après rétablissement du niveau

N.B. : Si le débit modifié tend assez rapidement vers un débit stabilisé $q_0 + ou - \Delta q$, plusieurs paliers de niveau peuvent être réalisés pour obtenir une relation $\Delta h/\Delta q$, c'est-à-dire l'équivalent d'une "caractéristique" de la source et estimer un débit spécifique si cette relation est linéaire.

Observations à faire :

- contrôle du débit (qui exige la plus grande précision possible)
- mesure de la différence de niveau d'émergence déterminée
- mesure éventuelle de l'évolution de niveau dans des piézomètres.

N.B. : La nécessité de déterminer une différence de débit significative et mesurable (donc $\geq 10\%$ du débit initial), pendant une durée assez longue, est la principale condition de validité d'un tel essai.

Données à exploiter :

- débit (positif ou négatif) ajouté au débit initial, variable
- rabattement ou relèvement constant à la source
- rabattements ou relèvements variables, rapportés au niveau initial dans des piézomètres (éventuels).

3.4.3. Cas particulier : mise en charge de la source

(action citée pour mémoire car elle est rarement praticable)

Evolution du niveau d'émergence jusqu'au point où son débit est nul (cette opération s'apparente à une action sur le débit, qu'il s'agit d'interrompre : elle équivaut à la fermeture d'un forage jaillissant).

L'arrêt de l'écoulement doit être obtenu assez rapidement pour permettre l'observation de la montée de niveau.

Données à exploiter :

- débit (constant) initial, q_0
- évolution du niveau en fonction du temps, assimilable à l'évolution d'un rabattement résiduel rapporté au niveau stabilisé final, interprétable comme l'évolution d'un rabattement déterminé par un pompage à débit constant
- éventuellement, évolution de niveau (montée) dans des piézomètres ou variation de débit (accroissement) soit dans d'autres sources similaires-bien reliées au même aquifère -, soit dans des forages jaillissants exploitant l'aquifère et assez rapprochés.

N.B. : Dans le cas où l'influence déterminée se traduit par un accroissement de débit, il faut, comme dans le cas précédent du pompage (4.1.), convertir la variation de débit observée en variation de niveau en établissant une relation niveau (stabilisé)/débit aux points d'observation - forage ou source - par des essais ad hoc (paliers de niveau).

3.5. Méthodes d'interprétation

Si les conditions de validité rappelées en 3.3. sont respectées, les effets observés dans l'aquifère d'une action sur une source bien liée à cet aquifère (et à l'exclusion d'autres) sont en principe interprétables par les mêmes méthodes que les essais opérés dans des puits ou des forages jaillissants, c'est-à-dire sur des aquifères à nappe captive, mais en ne prenant en compte que les différences de débit par rapport au débit initial, de même que les différences de niveau (différence de rabattement) par rapport au niveau naturel initial, qui est assimilable à un niveau dynamique stabilisé.

3.5.1. Dans le cas de pompage, on procédera comme pour un puits en nappe captive, en analysant les courbes de descente et de remontée dans le conduit de la source et/ou dans un piézomètre, en tenant compte si possible de l'effet de capacité et en sachant que la pénétration partielle du conduit dans l'aquifère peut aussi intervenir sans cependant pouvoir être prise en compte exactement, en raison de l'incertitude sur le diamètre du conduit.

La méthode dite de THEIS ou la méthode de JACOB sont en principe applicables ici.

(cf. "Aide-mémoire sur l'interprétation des données des pompages d'essai", rapport 72 SGN 273 AME).

3.5.2. Dans le cas de changement de niveau, on pourra utiliser pour l'analyse de la croissance du débit (ou de sa décroissance, en cas de relèvement) les méthodes exposées au § 2.2.1..

On peut considérer que le débit supplémentaire déterminé par l'abaissement de niveau (ou le débit négatif résultant d'un relèvement) est assimilable à celui d'un forage jaillissant nouvellement mis en production et superposé au régime permanent antérieur de la source. Ce débit Δq sera donc régi par l'équation :

$$\Delta q = 2 \pi T \Delta s_p G(\tau)$$

valable pour toutes les valeurs de temps t ou par l'équation :

$$\Delta q = \frac{4 \pi T \Delta s_p}{2,30 \log. \frac{2,25 T t}{r_p^2 S}}$$

valable pour les valeurs de temps t élevées.

Dans ces deux équations :

Δs_p = différence entre le niveau d'écoulement initial et le nouveau niveau d'écoulement

r_p = rayon moyen du conduit de la source.

Les mesures éventuelles de l'évolution de niveau dans des piézomètres peuvent être analysées par l'équation : (cf. § 2.2.1.1.) :

$$\Delta s = \Delta s_p A(\tau, \rho)$$

afin d'évaluer la diffusivité hydraulique (T/S).

3.5.3. Dans le cas d'interruption initiale du débit de la source avec mise en charge, la montée du niveau peut, comme la "remontée de pression" d'un forage artésien jaillissant après fermeture, être analysée en fonction du logarithme du temps, c'est-à-dire comme une courbe de descente classique.

(cf. "Aide-mémoire sur l'interprétation des données des pompages d'essai", cité plus haut).

3.6. Identification de l'aquifère principal d'où une source est issue dans un système multicouche

Dans le cas d'une source artésienne provenant d'un système multicouche (source liée à une faille dans un bassin sédimentaire par exemple), on peut limiter l'objectif d'un essai à la détermination de l'"origine de l'eau", c'est-à-dire à l'identification de l'aquifère dont la source est principalement issue, sans chercher à évaluer les caractéristiques de cet aquifère.

Cette question est en effet souvent posée lorsqu'on se préoccupe de prévoir si des exploitations projetées dans un aquifère profond (captif) risquent ou non d'influencer le régime d'une source, ou encore en vue de protéger une source contre des risques de pollution, quand on ne dispose que de présomptions sur son origine (basées en général sur des caractéristiques de l'eau - thermiques, chimiques, isotopiques - plus que sur le débit).

Un essai d'un des types définis ci-dessus, notamment un essai par pompage, peut contribuer à lever l'indétermination si on dispose au moins d'un groupe de piézomètres ouverts respectivement dans les différents aquifères qui sont présumés liés à la source.

Un deuxième groupe de piézomètres identiques, implanté à une distance de la source significativement différente (par exemple 10 fois plus) peut confirmer l'identification en séparant mieux l'influence propagée dans l'aquifère principal des effets transmis dans les couches sus - ou sous - jacentes à travers des couches semi-perméables.

Mais un tel essai n'est interprétable que si le débit de la source provient bien, pour l'essentiel, d'une seule couche (bien que le conduit, assimilable à un forage non tubé, puisse capter ou inversement débiter de l'eau dans des couches sus - jacentes).

3.7. Groupe de sources

Lorsqu'on se trouve en présence, non plus d'une source isolée, mais d'un groupe de sources rapprochées - et provenant bien du même aquifère - on est ramené au cas où l'on doit opérer des essais sur un groupe de puits ou forages jaillissants dont on ne peut interrompre durablement l'écoulement.

N.B. : Un groupe de sources peut être assimilé à un groupe de puits jaillissants inégalement incomplets et de caractéristiques différentes, imposant donc des pertes de charge parasites différentes. Les rabattements étant égaux au niveau du sol, les débits seraient donc différents.

Il faut alors distinguer deux cas :

1er cas : Les conduits des sources sont bien reliés au même aquifère, mais ne sont pas connectés entre eux.

Toute action entreprise sur une source, ou sur plusieurs simultanément, soit par pompage, soit par changement de niveau, aura d'abord un effet sur le débit des autres, qui constituent les "piézomètres" à observer, mais ces influences consistent en variations de débit. Il faut donc, pour que l'essai soit utile et interprétable, que ces variations de débit :

- soient significatives et mesurables,
- ne se stabilisent pas trop rapidement.

En effet, les autres sources constituent, vis-à-vis de la -ou des- source (s) où l'on pompe, des limites de "réalimentation" dont les réductions de débit vont compenser l'accroissement de débit provoqué par pompage, c'est-à-dire rétablir le régime permanent après une durée plus ou moins courte.

Si cette durée est trop brève, l'essai n'apporte aucune donnée interprétable et l'on est ramené au 2ème cas, c'est-à-dire qu'il faudrait pomper un débit supérieur au débit total du groupe de sources.

2ème cas : Les conduits des sources sont interconnectés.

Toute action sur une source aura un effet quasi-immédiat sur les autres, et ne donnera lieu à aucune influence sur l'aquifère.

Dans ce cas, il faut pouvoir pomper - dans une ou plusieurs sources - un débit significativement supérieur au débit total du groupe, c'est-à-dire tarir les autres sources. Ou, si l'on tente d'agir sur les niveaux d'émergence, il faut que le débit total influencé soit significativement supérieur au débit total initial - en cas d'abaissements - ou inférieur - en cas de relèvements -.

Enfin, dans ce cas, il faudrait disposer de piézomètres assez éloignés du groupe de sources (au moins 10 fois le rayon moyen de l'aire comportant les sources) pour que celui-ci soit assimilable à un forage unique fictif de grand diamètre.

3.8. Conclusion

C'est seulement dans des cas exceptionnels qu'il paraît à la fois matériellement possible et techniquement utile d'entreprendre des actions sur une source, aux fins d'en tirer des informations valables sur les caractéristiques du réservoir aquifère dont elle est issue, par une procédure d'essais similaire à celle appliquée aux puits artésiens (jaillissants).

Dans les rares cas où des essais seraient praticables et où ils pourraient être jugés instructifs, en l'absence de tout autre moyen d'investigation par exemple, leur interprétation nécessitera beaucoup plus d'hypothèses simplificatrices que n'en admet l'analyse des essais dans les puits (et qui ne sont déjà pas négligeables....) ; aussi les informations obtenues par ce moyen seront-elles frappées d'une très large marge d'incertitude.

Quelques exemples montrent que les conditions de validité d'un essai dans une source -c'est-à-dire que son assimilation à un puits dans un aquifère n'est pas inacceptable- peuvent se trouver réunies dans des cas particuliers.

Mais, d'une manière générale, les sources sont avant tout des points d'observation privilégiés d'un aquifère, et les données sur les variations naturelles de leur débit - surtout si on peut les relier aux données sur les variations de potentiel dans le système aquifère - sont certainement plus riches de signification que celles qui pourraient être tirées d'impulsions créés par des perturbations volontaires de leur régime d'écoulement (l'un n'empêchant d'ailleurs pas l'autre).

Il reste utile toutefois d'entreprendre, dans les sources que l'on envisagerait de transformer en "ouvrage d'exploitation" (par pompage ou manoeuvres faisant varier le niveau d'émergence), des essais à objectif se limitant à déterminer la "caractéristique" de la source, c'est-à-dire à établir une relation entre débit (quasi-constant) et niveau d'émergence imposé.

3.9. Quelques références décrivant des essais pratiqués sur des sources

MORIN M., CAZENOVE E. de (1958). Le captage de Salon de Provence. (Bouches-du-Rhône).

(Mém. A.I.H., T.II, réunion de Liège (1958/), Paris 1959).

cf. p.120-123 : Essai dans la source des Aubes.

Débit pompé moyen : 44 l/s (débit initial naturel : 20 l/s)

Durée : 47 jours - Rabattement final non stabilisé : 9m.

Rétablissement de l'écoulement de la source après une remontée de 15 à 25 jours (extrapolation).

T calculé (Theis) 1 à $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Porosité efficace calculée : $5,7 \cdot 10^{-2}$ (estimation du volume dénoyé).

PALOC H. (1961). Hydrogéologie de la région viganaise.

(thèse 3è cycle, Montpellier).

Essai à la source Verdier, captage d'Avèze (Hérault).

Débit pompé : 40 l/s (débit initial : 10 l/s).

Durée : 6 h 25' - Rabattement final stabilisé : 0,57 m.

T calculé (Jacob) : $0,26 \text{ m}^2/\text{s}$. S calculé : $3,8 \cdot 10^{-2}$.

Débit spécifique : 6 à $15 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

DROGUE C. (1967). Etude par essai de pompage d'un type particulier d'écoulement de source karstique.

(Ann. Spéléo. T.XXII, fasc. 2., pp.200-207).

Essai dans la Foux de Pompignan (Hérault) par le CERGA (1965).

Débit pompé total : 2,5 à 8 l/s. (débit initial 1 l/s).

Durée : 13 h. Descente linéaire, absence de réserve. Remontée en 68 h. Paramètres non évaluables.

JOSEPH C. (1967). Rapport sur les ressources en eau de la région de Grabels (Hérault).

(*doc. inéd. C.E.R.H., Montpellier*).

Essai dans la source de Fesses-Madame.

Durée très courte, (7h) ; débit pompé : 5,5 l/s. Paramètres non évaluables.

RICOLVI M. (1968). Contribution à l'étude hydrogéologique de la région d'Uzès (Gard).

(*Thèse 3^e cycle ; Montpellier 1968*).

cf. pp.43-45 : "Essai de pompage sur la source du Mas d'Agran".

Débits pompés: 4, 5,3 et 6,8 l/s (débit initial naturel : 3 l/s).
Durée très courte : 1 h 40'. T calculé = $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (descente),
 $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (remontée), valeurs surestimées.

ORGEVAL J.J. (1969). Inventaire des points d'eau du pourtour du Bois de de Paris. Etude d'une exsurgence karstique : Fontbonne.

(*D.E.A., Montpellier 1969*).

Débit pompé (juin 1969) : 40 l/s (débit initial naturel : 30 l/s)
Durée : 32 h, rabattement final non stabilisé : 0,29 m.
T calculé : $3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

CARRIE/B.L.G.H. (1971). Données de l'essai de pompage à la source de Fesses-Madame (Grabels, Hérault).

(*Rapport B.L.G.H., Montpellier*).

Débit pompé : 55 l/s (débit initial naturel : ? ou étiage moyen = 30 à 40 l/s). Durée 185 h. Rabattement final non stabilisé : 2,6m.
T calculé (Jacob) : $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. (surestimation)

STEMPEL Ch.von. (1972). Etude des ressources en eau de la région de Périgueux (Dordogne).

(Thèse 3è cycle Bordeaux 1972).

cf. pp.105-133. Essais sur les sources du Toulon ("Abime").

Débit pompé : 200 l/s (débit initial non indiqué : env. 130 l/s).

Durée très courte : 1 h 20'. Rabattement final 0,25 m.

T calculé (Theis) : 0,13 m²/s (descente), 0,125 m²/s (remontée).

Débit spécifique : 0,2 à 0,3 m²/s. S estimé (douteux) : 5.10⁻⁴.

DILUCA J. (1973). Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Montarnaud - Grabels-Les Matelles (S.E. du Causse de Viols-le-Fort et synclinal de St-Gély-du Fesc, Hérault).

(Thèse doc. spécialité, Montpellier, 1973).

Rappel des résultats de C. JOSEPH, C. DROGUE, et du B.L.G.H., sur les sources de Fesses-Madame et de Mas-de-Gentil.

Pompage sur la source de Mas-de-Gentil (inédit, B.L.G.H. 1972) :

débit pompé continu : 110 l/s (débit initial : ?...).Durée :36 jours.

Deux piézomètres observés.

T calculé : env. 1.10⁻¹ m²/s (surestimation).

BIBLIOGRAPHIE

BENCOMO C. (1967) .- "Essai de pompage à débit critique dans un puits" .-
Rapport B.R.G.M. DS 67 A 136.

BONNET M. (1969) .- "Manuel d'hydraulique des systèmes de captage et drainage"
. - *Rapport B.R.G.M. 69 SGL 225 HYD.*

HANTUSH M.S. (1967) .- "Hydraulique des puits". Traduc. B.R.G.M.
DS 67 A 119.

JACOB C.E. et LOHMAN S.W. (1952) .- "Nonsteady flow to a well of constant
drawdown in an extensive aquifer" .-
Trans. American Geophysical Union - Vol. 33 n° 4 - August 1952.

- VALEURS DE G (τ) EN FONCTION DES VALEURS DE τ COMPRISES ENTRE 10^{-4} ET 10^{12} (D'APRES JACOB et LOHMAN, 1952, p.561)

	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3
1.....	56.9	18.34	6.13	2.249	0.985	0.534	0.346	0.251
2.....	40.4	13.11	4.47	1.716	.803	.461	.311	.232
3.....	33.1	10.79	3.74	1.477	.719	.427	.294	.222
4.....	28.7	9.41	3.30	1.333	.667	.405	.283	.215
5.....	25.7	8.47	3.00	1.234	.630	.389	.274	.210
6.....	23.5	7.77	2.78	1.160	.602	.377	.268	.206
7.....	21.8	7.23	2.60	1.103	.580	.367	.263	.203
8.....	20.4	6.79	2.46	1.057	.562	.359	.258	.200
9.....	19.3	6.43	2.35	1.018	.547	.352	.254	.198
10.....	18.3	6.13	2.25	.985	.534	.346	.251	.196
	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}
1.....	0.1964	0.1608	0.1360	0.1177	0.1037	0.0927	0.0838	0.0764
2.....	.1841	.1524	.1299	.1131	.1002	.0899	.0814	.0744
3.....	.1777	.1479	.1266	.1106	.0982	.0883	.0801	.0733
4.....	.1733	.1449	.1244	.1089	.0968	.0872	.0792	.0726
5.....	.1701	.1426	.1227	.1076	.0958	.0864	.0785	.0720
6.....	.1675	.1408	.1213	.1066	.0950	.0857	.0779	.0716
7.....	.1654	.1393	.1202	.1057	.0943	.0851	.0774	.0712
8.....	.1636	.1380	.1192	.1049	.0937	.0846	.0770	.0709
9.....	.1621	.1369	.1184	.1043	.0932	.0842	.0767	.0706
10.....	.1608	.1360	.1177	.1037	.0927	.0838	.0764	.0704

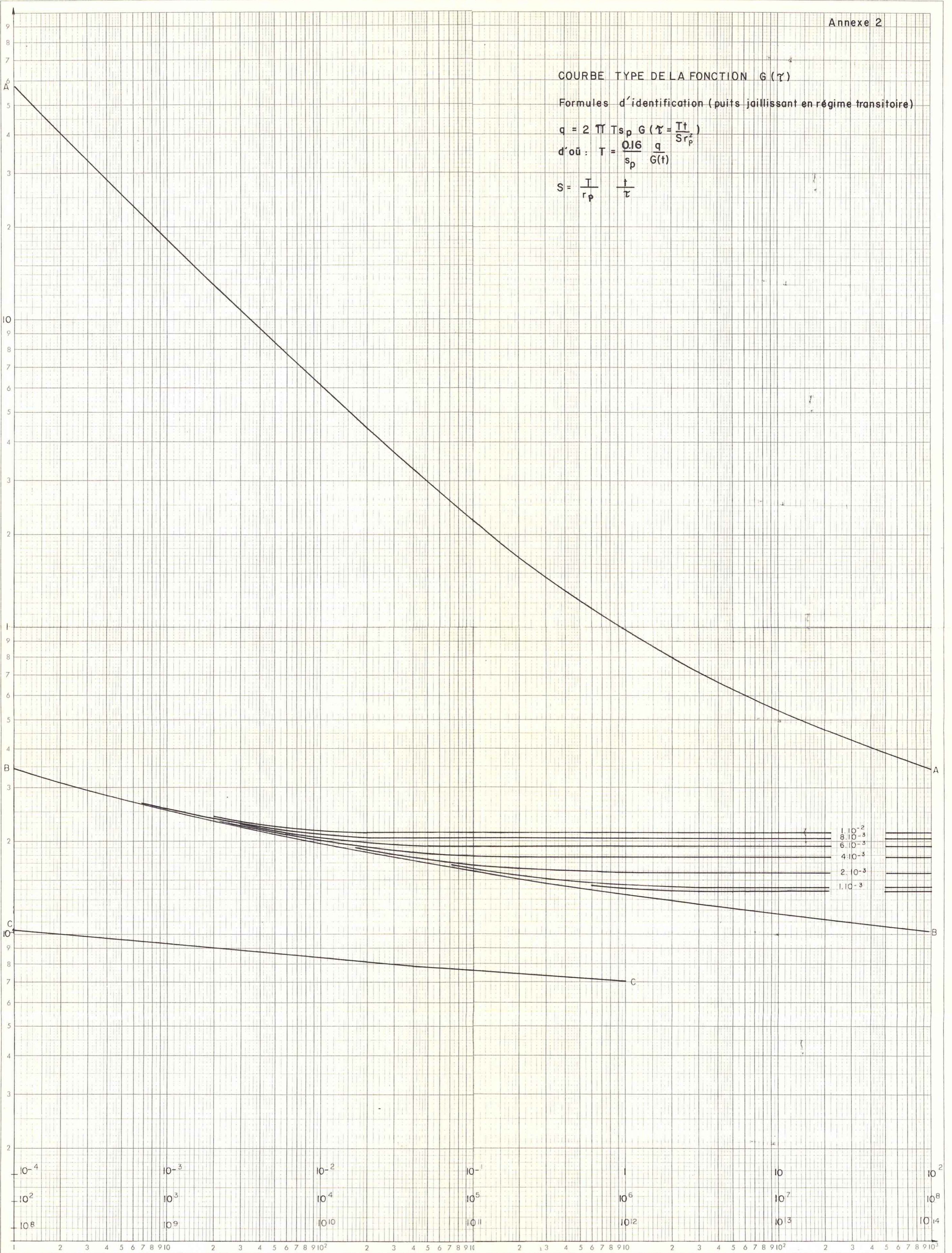
COURBE TYPE DE LA FONCTION $G(\tau)$

Formules d'identification (puits jaillissant en régime transitoire)

$$q = 2 \pi T s_p G\left(\tau = \frac{Tt}{Sr_p^2}\right)$$

$$\text{d'où : } T = \frac{0.16 q}{s_p G(t)}$$

$$S = \frac{T}{r_p} \frac{t}{\tau}$$



VALEURS ET APPROXIMATIONS DE LA FONCTION

$$A(\tau, \rho) = 1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{J_0(u) Y_0(\rho u) - Y_0(u) J_0(\rho u)}{J_0^2(u) + Y_0^2(u)} \exp(-\tau u^2) \frac{du}{u}$$

Pour $\tau < 0,05$

$$A(\tau, \rho) \approx \left[1/\sqrt{\rho} \right] \left\{ \operatorname{erfc} \left[(\rho - 1)/2\sqrt{\tau} \right] + \left[(\rho - 1)\sqrt{\tau} / 4\rho \right] \operatorname{ierfc} \left[(\rho - 1)/2\sqrt{\tau} \right] \right\}$$

Pour $\tau \geq 500$

$$A(\tau, \rho) \approx \left[W(\rho^2/4\tau) \right] / \operatorname{Log}(2,25\tau)$$

$\tau \backslash \rho$	ρ										ρ									
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10	
10^{-3}	1	1.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000							
	2	1.000	0.109	0.001																
	3	1.000	0.188	0.009	0.000															
	4	1.000	0.251	0.023	0.001															
	5	1.000	0.303	0.042	0.002															
10^{-2}	6	1.000	0.345	0.062	0.005	0.000														
	7	1.000	0.380	0.083	0.010	0.001														
	8	1.000	0.410	0.104	0.016	0.001														
	9	1.000	0.435	0.124	0.022	0.002														
	10	1.000	0.458	0.144	0.030	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000						
10^{-1}	1	1.000	0.458	0.144	0.030	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	2	1.000	0.589	0.290	0.117	0.039	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	3	1.000	0.652	0.379	0.194	0.087	0.034	0.011	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	4	1.000	0.691	0.439	0.254	0.133	0.063	0.027	0.010	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	5	1.000	0.718	0.483	0.302	0.175	0.093	0.046	0.021	0.009	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
1	6	1.000	0.739	0.517	0.341	0.211	0.122	0.066	0.033	0.016	0.007	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	7	1.000	0.754	0.544	0.373	0.242	0.149	0.087	0.047	0.024	0.012	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	8	1.000	0.767	0.566	0.400	0.270	0.174	0.106	0.062	0.034	0.018	0.009	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
	9	1.000	0.778	0.585	0.423	0.294	0.196	0.125	0.077	0.045	0.025	0.013	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
	10	1.000	0.787	0.601	0.443	0.316	0.217	0.143	0.091	0.055	0.032	0.018	0.009	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	1.000	0.837	0.691	0.562	0.450	0.355	0.275	0.209	0.156	0.114	0.082	0.061	0.046	0.034	0.025	0.018	0.013	0.009	
	2	1.000	0.860	0.753	0.620	0.519	0.430	0.352	0.286	0.229	0.181	0.142	0.106	0.078	0.058	0.043	0.032	0.023	0.017	
	3	1.000	0.873	0.788	0.655	0.562	0.479	0.405	0.339	0.282	0.233	0.191	0.155	0.125	0.095	0.072	0.054	0.040	0.030	
	4	1.000	0.883	0.776	0.680	0.592	0.514	0.443	0.380	0.323	0.274	0.230	0.202	0.175	0.145	0.115	0.085	0.065	0.050	
	5	1.000	0.890	0.789	0.698	0.615	0.540	0.472	0.411	0.356	0.307	0.263	0.240	0.213	0.183	0.153	0.123	0.093	0.073	
100	6	1.000	0.895	0.800	0.713	0.634	0.562	0.496	0.436	0.382	0.334	0.290	0.254	0.226	0.196	0.166	0.136	0.106	0.086	
	7	1.000	0.899	0.808	0.725	0.649	0.579	0.515	0.457	0.405	0.357	0.313	0.276	0.248	0.218	0.188	0.158	0.128	0.108	
	8	1.000	0.903	0.815	0.735	0.661	0.594	0.532	0.475	0.424	0.377	0.334	0.297	0.269	0.239	0.209	0.179	0.149	0.129	
	9	1.000	0.906	0.821	0.743	0.672	0.606	0.546	0.491	0.440	0.394	0.351	0.313	0.284	0.254	0.224	0.194	0.164	0.144	
	10	1.000	0.906	0.821	0.743	0.672	0.606	0.546	0.491	0.440	0.394	0.351	0.313	0.284	0.254	0.224	0.194	0.164	0.144	

$\tau \backslash \rho$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.057	0.001								
30	0.094	0.004								
40	0.123	0.009	0.000							
50	0.146	0.016	0.001							
60	0.167	0.023	0.002							
70	0.184	0.031	0.003							
80	0.198	0.038	0.005	0.000						
90	0.210	0.046	0.007	0.001						
100	0.222	0.053	0.010	0.001	0.000	0.000				
200	0.291	0.110	0.038	0.011	0.001	0.001	0.000			
300	0.328	0.146	0.064	0.026	0.009	0.003	0.001	0.000		
400	0.353	0.173	0.086	0.040	0.018	0.007	0.003	0.001	0.000	
500	0.372	0.194	0.104	0.054	0.026	0.012	0.005	0.002	0.001	0.000
600	0.385	0.210	0.119	0.066	0.035	0.018	0.008	0.004	0.002	0.001
700	0.397	0.223	0.132	0.077	0.044	0.024	0.012	0.006	0.003	0.001
800	0.407	0.235	0.143	0.087	0.052	0.030	0.016	0.009	0.004	0.002
900	0.415	0.245	0.153	0.096	0.059	0.035	0.020	0.011	0.006	0.003
1000	0.422	0.254	0.162	0.104	0.066	0.041	0.024	0.014	0.008	0.004

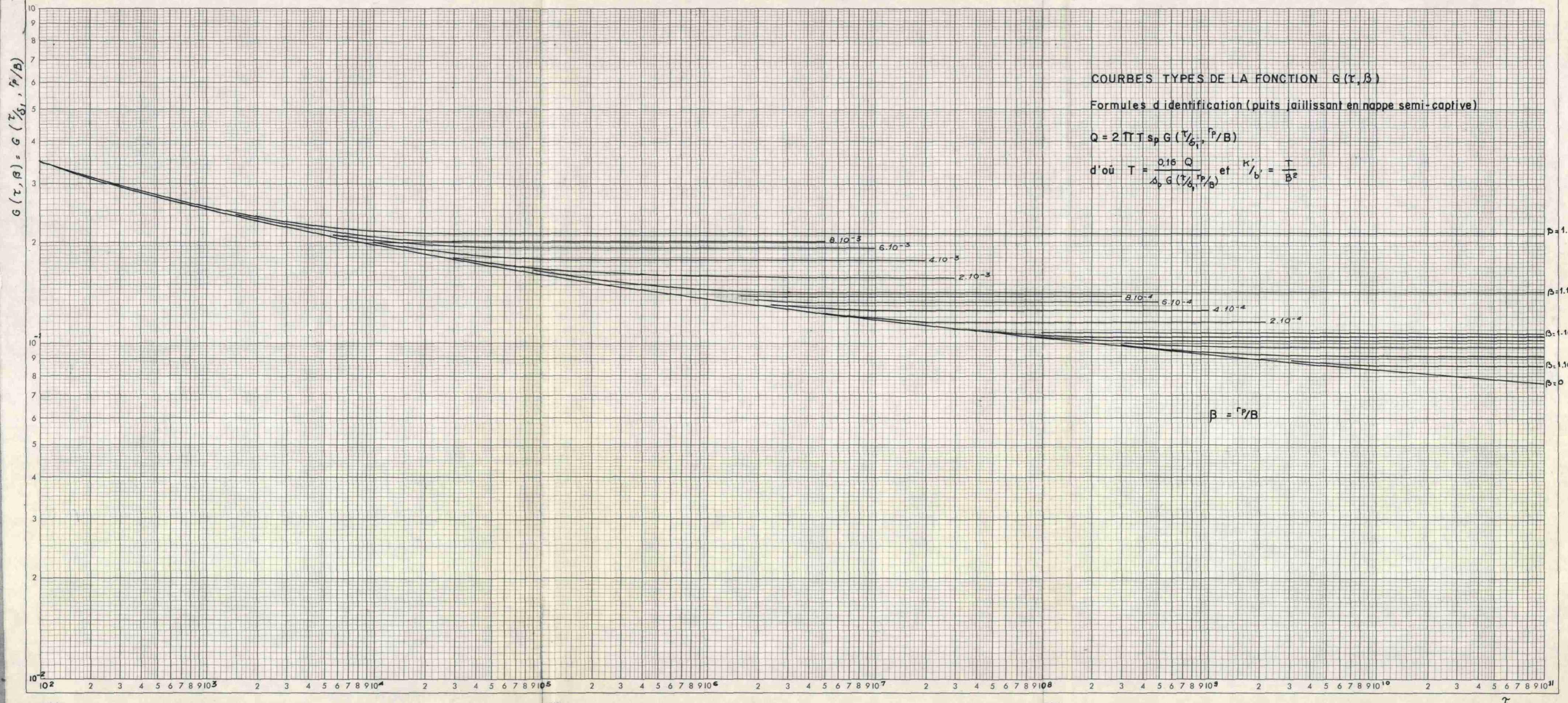
APPROXIMATIONS ET VALEURS DE LA FONCTION

$$G(\tau, \beta) = \beta K_1(\beta) / K_0(\beta) + 4/\pi^2 \exp(-\tau u^2) F du, \quad \left(F = u / [u^2 + \beta^2] \left[J_0^2(u) + Y_0^2(u) \right] \right)$$

Pour $\tau < 0,01$ $G(\tau, \beta) \approx G(\tau, 0) = G(\tau)$

Pour $\tau \beta^2 > 1$ $G(\tau, \beta) \approx 2/W(1/4\tau, \beta)$

$\tau \backslash \beta$	0	1×10^{-5}	2×10^{-5}	4×10^{-5}	6×10^{-5}	8×10^{-5}	10^{-4}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	6×10^{-4}	8×10^{-4}	10^{-3}	2×10^{-3}	4×10^{-3}	6×10^{-3}	8×10^{-3}	10^{-2}
1×10^2	0.346												0.311	0.311	0.311	0.312	0.346
2	0.311												0.294	0.294	0.294	0.295	0.312
3	0.294												0.283	0.283	0.283	0.284	0.295
4	0.283												0.274	0.274	0.275	0.275	0.285
5	0.274												0.268	0.268	0.268	0.269	0.276
6	0.268												0.263	0.263	0.263	0.264	0.271
7	0.263												0.258	0.258	0.259	0.260	0.266
8	0.258												0.254	0.255	0.256	0.257	0.261
9	0.254												0.250	0.250	0.250	0.250	0.258
1×10^3	0.251												0.251	0.252	0.252	0.254	0.255
2	0.232												0.232	0.233	0.234	0.236	0.239
3	0.222												0.222	0.223	0.225	0.227	0.231
4	0.215												0.215	0.216	0.219	0.222	0.226
5	0.210												0.210	0.212	0.215	0.218	0.222
6	0.204												0.204	0.208	0.211	0.215	0.220
7	0.203												0.203	0.205	0.209	0.213	0.219
8	0.201												0.201	0.203	0.207	0.212	0.218
9	0.198												0.198	0.201	0.205	0.210	0.217
1×10^4	0.196											0.196	0.197	0.200	0.204	0.209	0.216
2	0.185											0.185	0.185	0.190	0.197	0.205	0.213
3	0.178											0.178	0.179	0.186	0.194	0.203	0.212
4	0.173											0.173	0.176	0.183	0.193	0.202	0.211
5	0.170											0.170	0.173	0.181	0.192	0.201	0.210
6	0.164											0.164	0.168	0.171	0.180	0.192	0.201
7	0.164											0.164	0.167	0.170	0.179	0.191	0.200
8	0.164											0.164	0.165	0.169	0.179	0.191	0.200
9	0.163											0.163	0.164	0.168	0.179	0.191	0.200
1×10^5	0.161							0.161	0.162	0.162	0.162	0.162	0.167	0.178	0.178	0.178	0.178
2	0.152						0.152	0.153	0.153	0.154	0.155	0.155	0.163	0.177	0.177	0.177	0.177
3	0.148						0.148	0.148	0.149	0.150	0.152	0.152	0.162	0.177	0.177	0.177	0.177
4	0.145						0.145	0.145	0.146	0.147	0.150	0.150	0.162	0.177	0.177	0.177	0.177
5	0.143						0.143	0.143	0.144	0.145	0.148	0.148	0.161	0.177	0.177	0.177	0.177
6	0.141						0.141	0.142	0.143	0.144	0.147	0.147	0.160	0.177	0.177	0.177	0.177
7	0.140						0.140	0.140	0.141	0.143	0.146	0.146	0.160	0.177	0.177	0.177	0.177
8	0.138						0.138	0.139	0.141	0.143	0.145	0.145	0.160	0.177	0.177	0.177	0.177
9	0.137						0.137	0.138	0.140	0.142	0.144	0.144	0.160	0.177	0.177	0.177	0.177
1×10^6	0.136						0.136	0.137	0.138	0.139	0.141	0.144	0.159	0.177	0.177	0.177	0.177
2	0.130						0.130	0.131	0.133	0.135	0.139	0.143	0.159	0.177	0.177	0.177	0.177
3	0.127						0.127	0.127	0.130	0.134	0.138	0.142	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
4	0.124						0.124	0.125	0.129	0.134	0.138	0.142	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
5	0.123						0.123	0.124	0.128	0.133	0.137	0.141	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
6	0.121						0.121	0.123	0.128	0.132	0.136	0.140	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
7	0.120						0.120	0.122	0.127	0.131	0.135	0.139	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
8	0.119						0.119	0.121	0.126	0.130	0.134	0.138	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
9	0.118						0.118	0.121	0.127	0.131	0.135	0.139	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
1×10^7	0.118						0.118	0.120	0.127	0.131	0.135	0.139	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
2	0.114						0.114	0.116	0.124	0.128	0.132	0.136	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
3	0.111						0.111	0.112	0.120	0.124	0.128	0.132	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
4	0.109				0.109	0.111	0.110	0.111	0.119	0.123	0.127	0.131	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
5	0.108				0.108	0.109	0.110	0.110	0.118	0.122	0.126	0.130	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
6	0.107			0.107	0.108	0.109	0.110	0.110	0.118	0.122	0.126	0.130	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
7	0.106			0.106	0.107	0.108	0.109	0.109	0.117	0.121	0.125	0.129	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
8	0.105			0.105	0.106	0.107	0.108	0.109	0.116	0.120	0.124	0.128	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
9	0.104		0.104	0.105	0.106	0.107	0.108	0.108	0.115	0.119	0.123	0.127	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
1×10^8	0.104		0.104	0.104	0.105	0.106	0.108	0.108	0.115	0.119	0.123	0.127	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
2	0.100	0.100	0.101	0.102	0.103	0.105	0.107	0.107	0.114	0.118	0.122	0.126	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
3	0.0982	0.0982	0.0986	0.100	0.103	0.105	0.107	0.107	0.114	0.118	0.122	0.126	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
4	0.0968	0.0968	0.0974	0.0994	0.102	0.104	0.106	0.106	0.113	0.117	0.121	0.125	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
5	0.0958	0.0958	0.0966	0.0989	0.101	0.103	0.105	0.105	0.112	0.116	0.120	0.124	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
6	0.0950	0.0951	0.0959	0.0986	0.101	0.103	0.105	0.105	0.112	0.116	0.120	0.124	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
7	0.0943	0.0944	0.0954	0.0984	0.101	0.103	0.105	0.105	0.112	0.116	0.120	0.124	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
8	0.0937	0.0939	0.0949	0.0982	0.101	0.103	0.105	0.105	0.112	0.116	0.120	0.124	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
9	0.0932	0.0934	0.0946	0.0981	0.101	0.103	0.105	0.105	0.112	0.116	0.120	0.124	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
1×10^9	0.0927	0.0930	0.0943	0.0980	0.101	0.103	0.105	0.105	0.112	0.116	0.120	0.124	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
2	0.0899	0.0906	0.0927	0.0977	0.100	0.102	0.104	0.104	0.111	0.115	0.119	0.123	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
3	0.0883	0.0893	0.0920	0.0976	0.100	0.102	0.104	0.104	0.111	0.115	0.119	0.123	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
4	0.0872	0.0885	0.0917	0.0974	0.100	0.102	0.104	0.104	0.111	0.115	0.119	0.123	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
5	0.0864	0.0880	0.0916	0.0974	0.100	0.102	0.104	0.104	0.111	0.115	0.119	0.123	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
6	0.0857	0.0876	0.0915	0.0974	0.100	0.102	0.104	0.104	0.111	0.115	0.119	0.123	0.158	0.177	0.177	0.177	0.177
7	0.0851	0.0873	0.0915	0.0974	0.100	0.102	0.104										



COURBES TYPES DE LA FONCTION $G(\tau, \beta)$

Formules d'identification (puits jaillissant en nappe semi-captive)

$$Q = 2\pi T s_p G\left(\frac{r}{s}, \frac{r}{B}\right)$$

$$\text{d'où } T = \frac{0.16 Q}{\Delta_p G\left(\frac{r}{s}, \frac{r}{B}\right)} \text{ et } \frac{\kappa'}{b'} = \frac{T}{B^2}$$

$$\beta = \frac{r}{B}$$

UTILISATION D'UN FORAGE ARTESIEN JAILLISSANT
COMME PIEZOMETRE

par P. PEAUDECERF et M. VANDENBÉUSCH

-:--:--:--:--:--

OBJECTIF

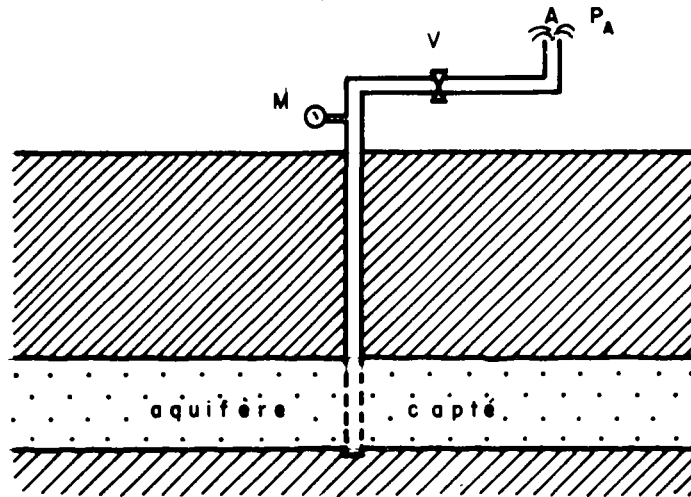
Lorsqu'il existe un forage artésien jaillissant au voisinage d'un puits sur lequel on doit effectuer un pompage d'essai, et captant la même nappe, l'idéal est de pouvoir maintenir ce forage fermé avant et pendant les essais afin qu'il puisse jouer son rôle de piézomètre : on relève alors les variations de pression en tête du forage.

Mais il peut arriver que l'eau jaillissant de ce même forage soit indispensable et que son débit ne doive pas être interrompu. L'influence du pompage d'essai tendra à diminuer le débit du forage "piézomètre", variations qui ne seront pas sans effets sur les réactions du système aquifère.

On peut proposer deux méthodes.

METHODE 1 : LE FORAGE-PIEZOMETRE EST MAINTENU A DEBIT CONSTANT

Supposons un régime initial stabilisé et considérons l'équipement figuré sur le schéma ci-dessous. S'il est possible de régler la vanne V pour que le débit jaillissant demeure constant quand les effets du puits voisin se feront sentir, ce forage n'apportera pas de perturbations parasites et les rabattements induits par le pompage d'essai seront directement mesurés au manomètre M. En fait, on compensera exactement par l'ouverture de la vanne la perte de charge croissante due à la baisse des niveaux de la nappe.



FORAGE PIEZOMETRE

M = manomètre ; V = organe de vannage ; P_A = pression atmosphérique

Le fonctionnement à débit constant a d'autre part l'avantage de maintenir inchangées les pertes de charge éventuelles dues à l'équipement du forage en amont du manomètre M, donc sans effet sur les rabattements mesurés.

Mais cette méthode, qui conduit à des interprétations simples, risque de poser des problèmes pratiques pour régler le débit à des valeurs approximativement constantes.

METHODE 2 : IL N'EST PAS POSSIBLE DE REGULER LE DEBIT DU FORAGE-PIEZOMETRE

On ne modifie pas le réglage du dispositif de vannage. Il est même préférable qu'il n'y en ait pas pour limiter les pertes de charge parasites. L'influence du puits d'essai sur les niveaux de la nappe provoquera sur le "piézomètre" des fluctuations de débit que l'on devra interpréter.

Mais à cet effet se surimposeront :

- . la remontée des niveaux due précisément à la diminution des débits propres du piézomètre,
- . éventuellement, les variations des pertes de charges dans les différentes parties de l'équipement : crépines, tubage, vannes et accessoires.

Tous ces phénomènes constituent la réaction du système "nappe-piézomètre" aux influences du puits d'essai. Dans les cas les plus favorables, ils seront étudiés globalement par des essais locaux qui conduiront à la détermination de fonctions théoriques ou empiriques liant les variations de niveaux et de débit.

En pratique, on pourra suivre le processus suivant :

1. - Essai sur le forage-piézomètre

Il s'agit de déterminer les relations liant débits et rabattements.

On peut conseiller d'effectuer un essai à débit constant ou, à défaut, la méthode de fermeture du forage débitant en régime quasi-stabilisé, comme il est indiqué au paragraphe 2.1. du rapport.

Ces deux types d'essai permettent d'exprimer sous forme théorique ou empirique le rabattement en fonction du temps pour un débit donné :

$$s = Q F(t) \text{ par exemple } F(t) = \frac{1}{4\pi T} W(u)$$

ou toute autre fonction de puits.

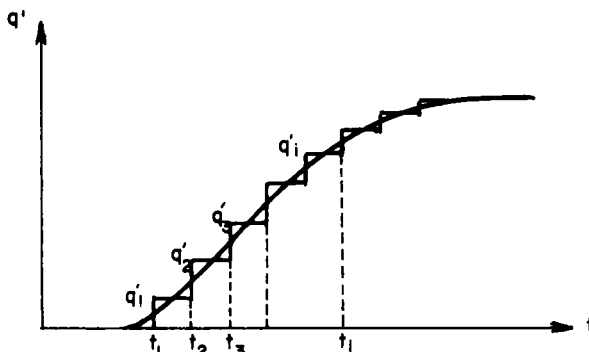
2. - Observations durant l'essai du puits voisin

On relèvera durant l'essai la variation du débit q au forage-piézomètre et soit q_0 son débit initial constant.

3. - Passage des écarts de débit aux rabattements

Il s'agit pour cela de procéder à la déconvolution de l'historique des débits par la fonction de puits précédemment déterminée.

Pour cela, on porte $q' = q_0 - q$ en fonction du temps. On discrétise cette courbe en une succession de paliers comme indiqué sur le schéma ci-dessous.



On procède alors au calcul des rabattements à chaque instant t :

$$s(t) = q'_1 F(t-t_1) + (q'_2 - q'_1) F(t-t_2) + \dots + (q'_i - q'_{i-1}) F(t-t_i) + \dots$$

pour tout $t_i \leq t$.

Ces rabattements constituent l'entrée du système considéré. Ce sont les rabattements provoqués par le puits d'essai. Ils pourront être interprétés suivant les méthodes classiques en hydrogéologie.

Remarques

- 1/ Si la fonction $s = QF(t)$ n'intègre pas les différentes pertes de charges singulières, il est permis de considérer la fonction ($F +$ pertes de charges), ces dernières étant évaluées indirectement par le calcul (tubage, par exemple), par des essais par paliers (crépines), ou l'étalonnage des vannes éventuelles.
- 2/ Nous n'avons pas envisagé d'influence des variations de débit du forage-piézomètre sur le puits d'essai lui-même. S'il s'agit d'un essai à débit constant, elles sont nulles. Si au contraire c'est un essai à niveau imposé (puits jaillissant), ces influences peuvent exister. Il faudra choisir les conditions expérimentales pour qu'elles soient faibles dans tous les cas.