Chapitre II

Essai de pompage en régime permanent

Chapitre II

II. Essai de pompage en écoulement permanent

L'écoulement permanent est un régime d'équilibre obtenu après une longue période de pompage lorsq ue la réalimentationde la nappe équivaut au débit d'extraction de l'eau. A un débit de pompage constant correspond une stabilisation du rabattement et du cône de dépression.

Les pompages en écoulement permanent sont les plus simples à interpréter, offrent des résultats précis mais demandeune longue période de pompage souvent incompatible avec les exigences économiques (fonctionnement et immobilisationdu chantier). De plus, pour permettre une interprétation correcte, il faut un rabattement significatif avec un débit continuacceptable ce que ne permet pas tous les aquifères.

II.1. Méthode de DUPUIT (1863)

II.3.1.1.Formule de DUPUIT

DUPUIT est le premier hydraulicien (1863) à avoir exprimé une formule liant le débit de pompage avec le rayon d'action en fonction de la perméabilité pour les problèmes de puits On note, dans sa représentation Figure 12, que DUPUIT fait passer la surface du cône de rabattement par FK alors qu'en vérité on constate qu'elle passe par FEK. Il existe une zone EK, dite zone de résurgence, par laquelle ilarrive une partie plus ou moins grande du débit. Cette zone de turbulence au passage de la crépine est l'effet de puits

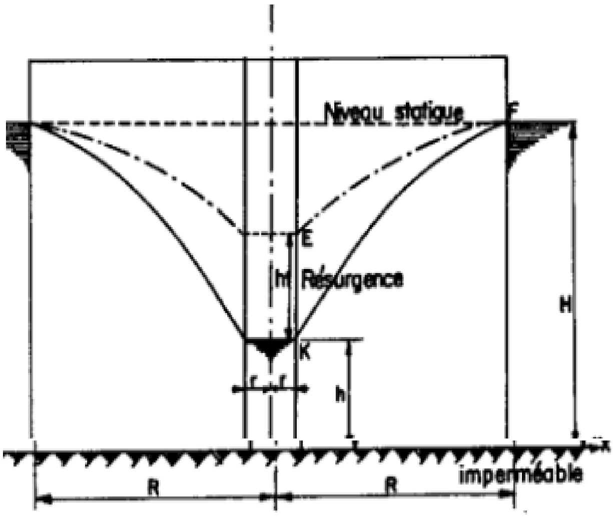


Figure 12 : Cône de dépression dû à un pompage.

Formules de DUPUIT :

Débit traversant une surface équipotentielle de rayon r :

$$Q = 2\pi r h k i$$

Avec : $i = \frac{dh}{dr}$

Equation de continuité en cordonnée polaire :

$$\Delta h = \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r} = 0$$

Nappe libre :

$$Q = 2\,\pi\, r\, k\, h\, \frac{dh}{dr}$$

Par intégration entre r_p et R_a (h_p et H_O)

$$\boxed{Q = \frac{\pi k\left(H_O^2 - h_p^2\right)}{\ln\left(\frac{R_a}{r_p}\right)}}$$

Nappe captive ou artésienne (ep = e) :

$$Q = 2\,\pi\, r\, k\, e\, \frac{dh}{dr}$$

Par intégration entre r_p et R_a (h_p et H_O):

$$\boxed{Q = \frac{2\pi k e\left(H_O - h_p\right)}{\ln\left(\frac{R_a}{r_p}\right)}}$$

Avec :

- ❖ Q ; débit de pompage ;
- ❖ k : perméabilité du terrain ;
- ❖ HO : épaisseur de la partie saturée ;
- ❖ hP :hauteur d’eau dans le puits pendant le pompage ;
- ❖ r_P : rayon du puits ;
- ❖ Ra : rayon d’action (ou d’influence du cône de dépression) ;
- ❖ e : épaisseur de la couche aquifère.

Ces formules supposent un aquifère idéalement simple avec des conditions de pompage idéales et parfaitement stabilisées (cône de dépression, débit).

Néanmoins, pour les forages d’eau, les résultats obtenus sont parfaitement fiables et exploitables.

II.3.1.2.Détermination de la perméabilité avec l'essai DUPUIT

II.3.1.2.1.Principe

L'essai consiste à pomper à régime constant dans un puits jusqu'à l'établissement d'un état d'équilibre avec une stabilisation des niveaux dans les piézomètres.

Nappe libre : $k = Q \dfrac{\ln\left(\dfrac{R_a}{r_p}\right)}{\pi\left(H_O^2 - h_p^2\right)}$ Nappe captive : $k = Q \dfrac{\ln\left(\dfrac{R_a}{r_p}\right)}{2\pi e\left(H_O - h_p\right)}$

La formule de DUPUIT tient compte du rayon d’action Ra du puits, paramètre difficile à apprécier in-situ. Pours’affranchir de toutes approximations hasardeuses sur Ra et les pertes de charges à proximité immédiate du forage, onutilise deux ou plusieurs piézomètres de contrôle (On pompe à régime constant Q dans le forage jusqu'à atteindre le régime permanent.
On mesure les hauteurs d’eau dans les deux piézomètres h’ et h’’Figure) à une distance du puits r (r’ et r’’ pour 2 piézo) et on applique la formule de DUPUIT.

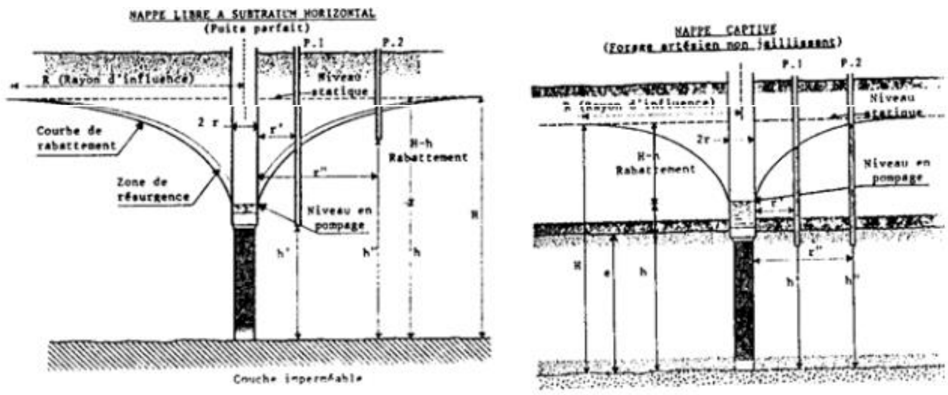
II.3.1.2.2.Interprétation

Avec 2 piézomètres :

On pompe à régime constant Q dans le forage jusqu'à atteindre le régime permanent. On mesure les ha uteurs d’eau dans les deux piézomètres h’ et h’’ (Figure 13)

Figure 13

Détermination de la perméabilité avec la méthode de Dupuit en utilisant deux piézomètres de contrôle.

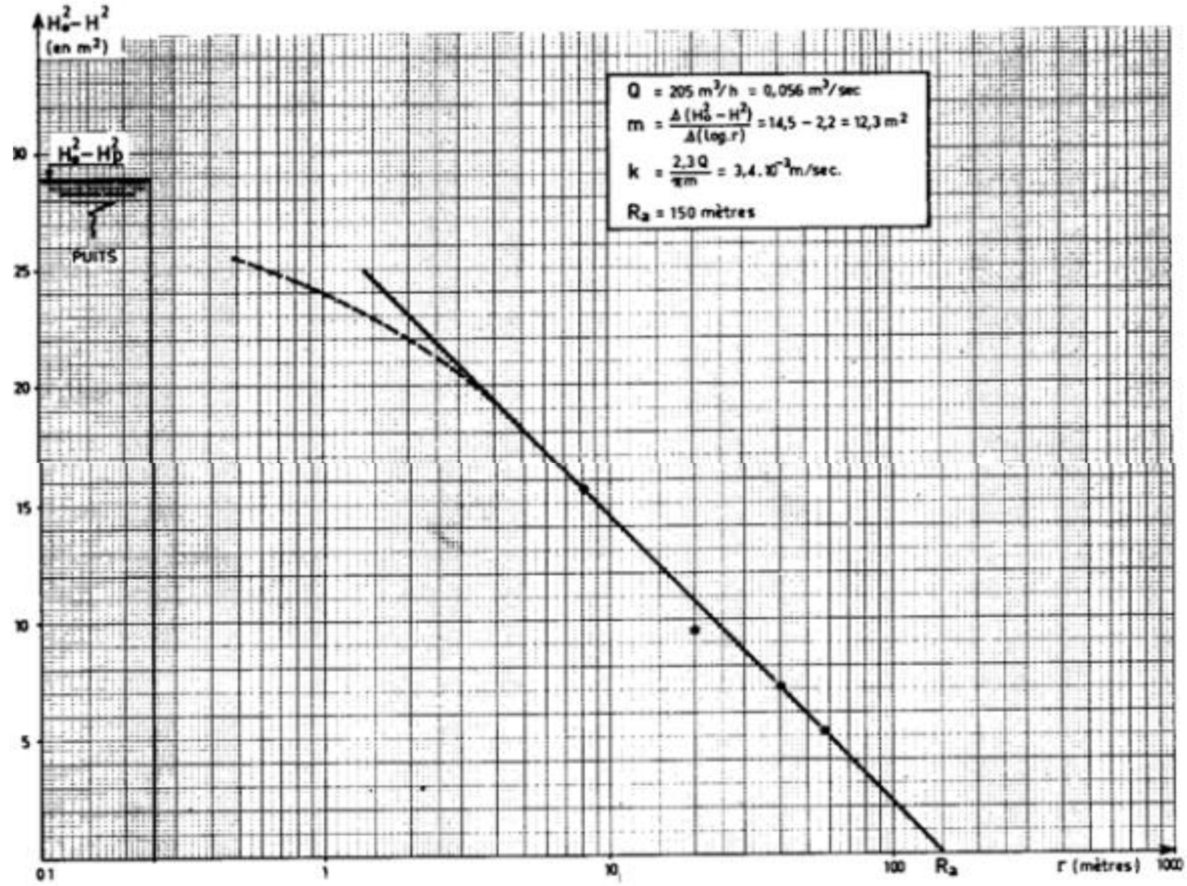


Nappe libre : $k = Q \dfrac{\ln\left(\dfrac{r''}{r'}\right)}{\pi\left(h''^2 - h'^2\right)}$ Nappe captive ou artésienne : $k = Q \dfrac{\ln\left(\dfrac{r''}{r'}\right)}{2\pi e\left(h'' - h'\right)}$

-

Avec plusieurs piézomètres en nappe libre (Figure 14):

Figure 14 :Exemple essai Dupuit - Interprétation d'un essai de pompage en régime permanent dans une nappe libre.



$$\boxed{H_o^2 - h^2(r) = \frac{2{,}3\,Q}{\pi\,k}\log R_a - \frac{2{,}3\,Q}{\pi\,k}\log r}$$

Si r désigne la distance d'un piézomètre à l'axe du puits et h sa hauteur d'eau, en portant sur un graphique semi-logarithmique les relevés des différentes valeurs de (H^2O -h^2) et log r (Figure 14), on doit obtenir une droite.

L'intersection de cette droite avec l'axe des abscisses donne le rayon d'action Ra et la pente =

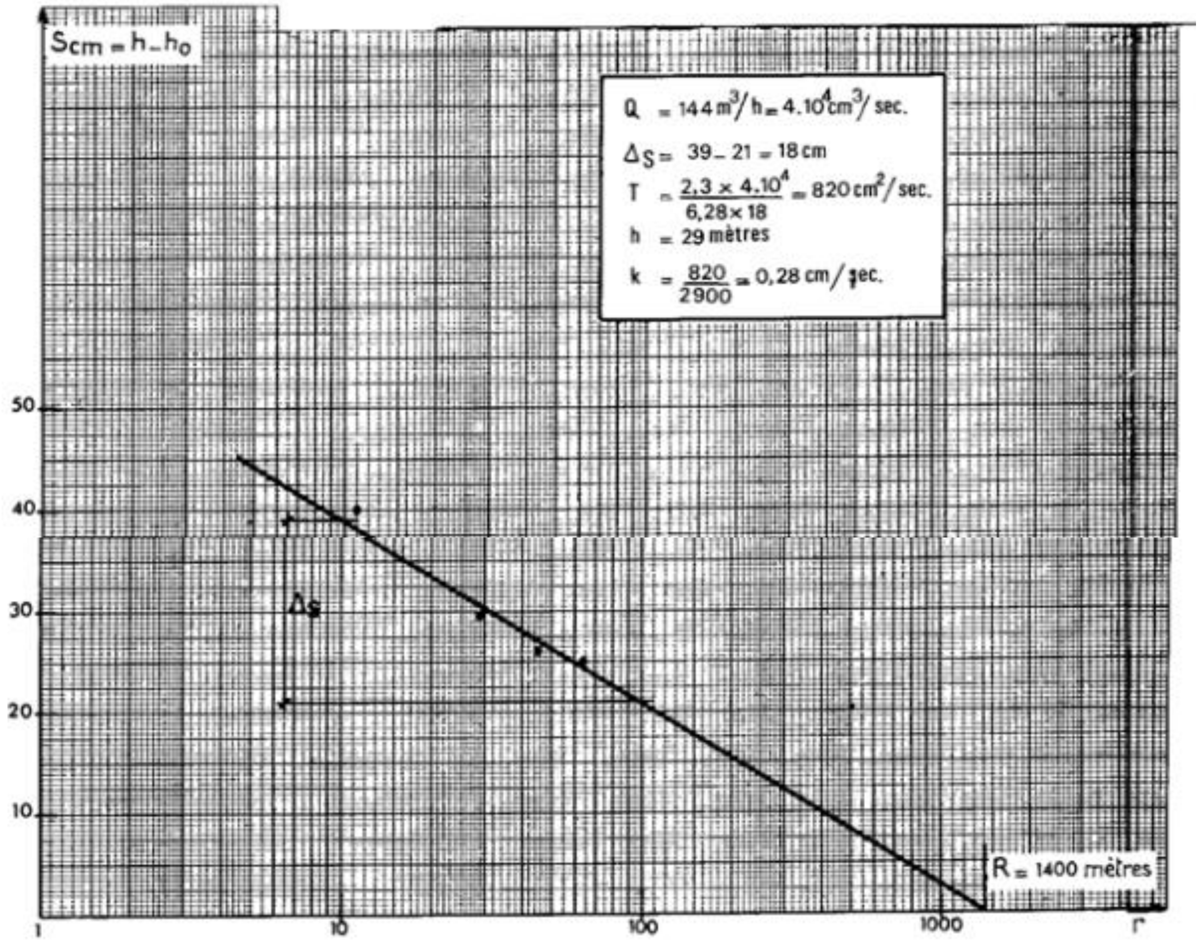
$$\frac{\Delta(H_o^2 - h^2)}{\Delta\, Log\, r} = \frac{2{,}3\,Q}{\pi\,k}$$

permet de calculer k :

$$\boxed{k = \frac{2{,}3\,Q}{\pi} \cdot \frac{\Delta\, Log\, r}{\Delta(H_o^2 - h^2)} = \frac{2{,}3\,Q}{\pi} \cdot pente}$$

Avec plusieurs piézomètres en nappe captive (Figure 15) :

Figure 15 :Exemple essai Dupuit - Interprétation d'un essai de pompage en régime permanent dans une nappe libre.



$$H_O - h(r) = \frac{2{,}3\,Q}{\pi\,k}\log R_a - \frac{2{,}3\,Q}{\pi\,k}\log r$$

Si r désigne la distance d'un piézomètre à l'axe du puits et h sa hauteur d'eau, en portant sur un graphique semi-logarithmique les relevés des différentes valeurs de (HO - h) et log r (Figure 15), on doit obtenir une droite. L'intersection de cette droite avec l'axe des abscisses donne le rayon d'action Ra et la pente =

$$\frac{\Delta(H_O - h)}{\Delta\ Log\, r} = \frac{2{,}3\,Q}{\pi\,k}$$

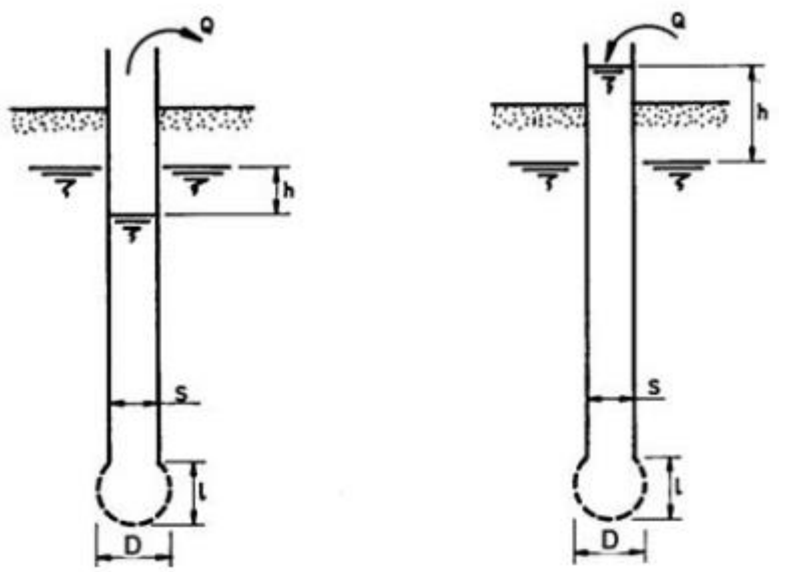
permet de calculer k :

$$\boxed{k = \frac{2{,}3\,Q}{\pi}\cdot\frac{\Delta\ Log\, r}{\Delta(H_O - h)} = \frac{2{,}3\,Q}{\pi}.pente}$$

II.3.2. Essai Lefranc (fortes perméabilités, $k>10^{-4}$ m/s, gravier)

II.3.2.1.Principe

Figure 16 : Essais Lefranc à charge constante par extraction ou injection d'eau.



L'essai Lefranc mesure la perméabilité d'un terrain alluvionnaire pourvu d'une nappe (saturée) au travers d'un forage d'essai. On obtient par cette méthode uniquement les coefficients de perméabilité ponctuels soit au voisinage immédiat de la cavité du forage.

La poche d'essai est réalisée depuis un forage tubé. Elle peut être constituée par :

- ❖ le fond du forage (ou disque plat) ;
- ❖ une poche sphérique après remontée du tubage et remplissage de gravier très perméable ; une poche cylindrique de grande longueur (par rapport au diamètre) après remonté du tubage et remplissage de gravier très perméable ou encore par la mise en place d'un tube crépiné.

L'essai sera conduit en stabilisé (par extraction ou injection d'eau), c'est-à-dire que l'on maintiendra un niveau constant h dans le forage par ajout ou extraction d'eau à débit constant Q (Figure 16).

La perméabilité s'exprime par

$$\boxed{k = \frac{Q}{m.D.h}}$$ en m/s.

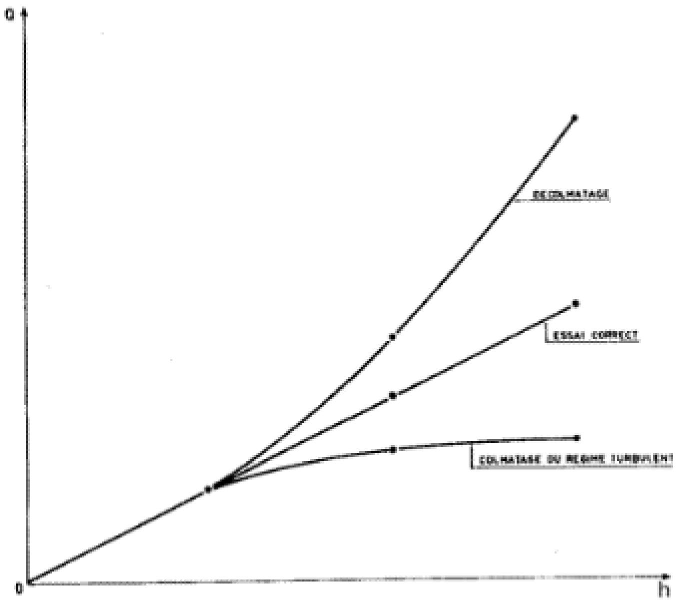
- ❖ Q : débit constant de pompage ou d'injection ;
- ❖ D : diamètre du forage (cavité)
- ❖ m : coefficient de forme ou de poche de la cavité (Tableau 3) ;
- ❖ h : charge hydraulique stabilisée

II.3.2.2.Interprétation de l'essai LEFRANC

Dans la pratique, il faut réaliser plusieurs paliers de pompage (ou d'injection) afin de pouvoir tracer la courbe des débits en fonction du rabattement : Q = f(h), comme en Figure 17, qui en régime laminaire doit être une droite. C'est d'ailleurs là un moyen de vérifier la qualité de l'essai.

Figure 17

Différents types d'évolution du débit avec la charge.



On se trouve en présence d'un certain nombre de points dont on tracera la droite de régression. La pente de cette droite

$$\frac{\Delta Q}{\Delta h} = k\ m\ D$$

permet le calcule du coefficient de perméabilité :

$$\boxed{k = \frac{1}{mD} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta h}}$$

Il arrive parfois, surtout lorsqu'on opère avec des cavités de faible hauteur, que se produise des remont és de sable dans le forage. Dans ce cas, le coefficient de perméabilité réel peut atteindre et dépasser 10 fois le coefficient apparent.

II.3.2.3.Coefficients de forme

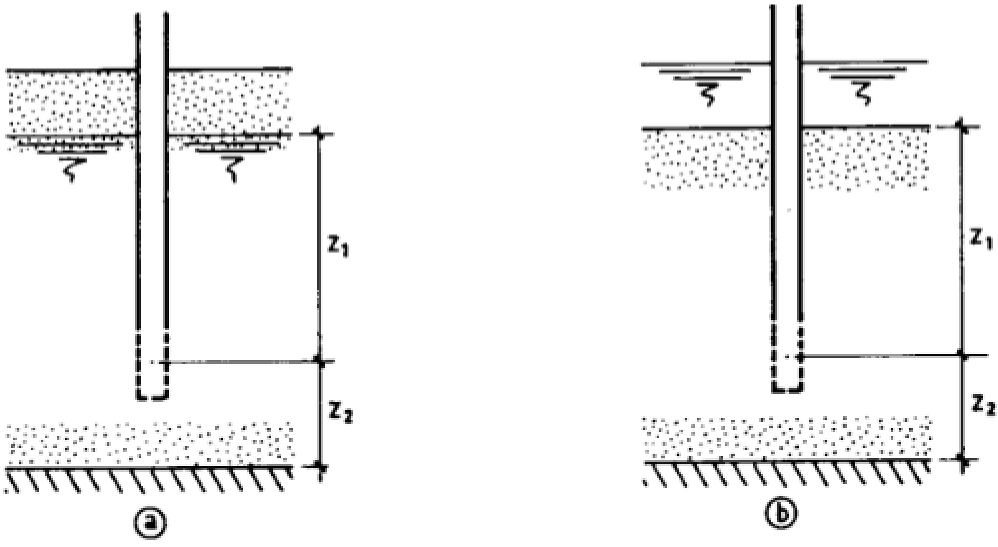
Dans un milieu homogène indéfini (limite de l'aquifère éloignée de la crépine), les coefficients de forme à prendre en compte, soit mO, sont donnés par le Tableau 3.

Tableau 3 :Valeurs de coefficients de poche en milieu homogène indéfini : formules de Brillant
mO : coefficient de poche

$p = \dfrac{l}{D}$	mO : coefficient de poche
> 10	$\dfrac{2.\pi.p}{\ln(2.p)}$
$1{,}2 \le p \le 10$	$\dfrac{2.\pi.p}{\ln\left(p+\sqrt{p^2+1}\right)}$
$0{,}7 \le p < 1{,}2$	$2.\pi\sqrt{p+0{,}25}$
$0{,}3 \le p < 0{,}7$	$\pi\sqrt{p+0{,}5}$
$0 \le p < 0{,}3$	$\dfrac{\pi\sqrt{1-4.p^2}}{2.Arc\tan\left(-2.p+\sqrt{4.p^2+1}\right)}$
0	2

Mais lorsque la cavité se trouve à proximité de l'une des limites de la nappe (surface libre, substratum étanche, horizon de perméabilité différent) il faut opérer certaines corrections sur le coefficient de forme. On utilise un coefficient de forme corrigé m fonction de mO et des distances de la cavité par rapport aux limites de l'aquifère. Voici quelques exemples pour les configurations les plus courantes :

Figure 18 : Essai Lefranc dans un aquifère dont les limites (haute et basses) sont à des distances finies



Chapitre III :

Essais de pompage en Régime transitoire

Tant que le débit de réalimentation n'est pas égal au débit d'exhaure, il n'y aura pas de stabilisation. Dans ce cas, l'on se trouvera en régime transitoire. Les pompages d'essai en régime transitoire (*Figure 20*) permettent de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, transmissivité, coefficient d'emmagasinement et son débit d'exploitation optimal. On les préfère aux essais stabilisés pour les sols non saturés ou pour leurs délais d'exécution moindres.

L'interprétation des essais en régime transitoire se fait par intégration du volume d'eau traversant une surface donnée en fonction du temps (essais Lefranc transitoire ou Lugeon) ou sur l'analyse des données de rabattement des piézomètres (descente et remontée) au moyen d'expressions hydrodynamiques établies par C.V. THEIS (1935) et ses successeurs dont C.E. JACOB (1950)

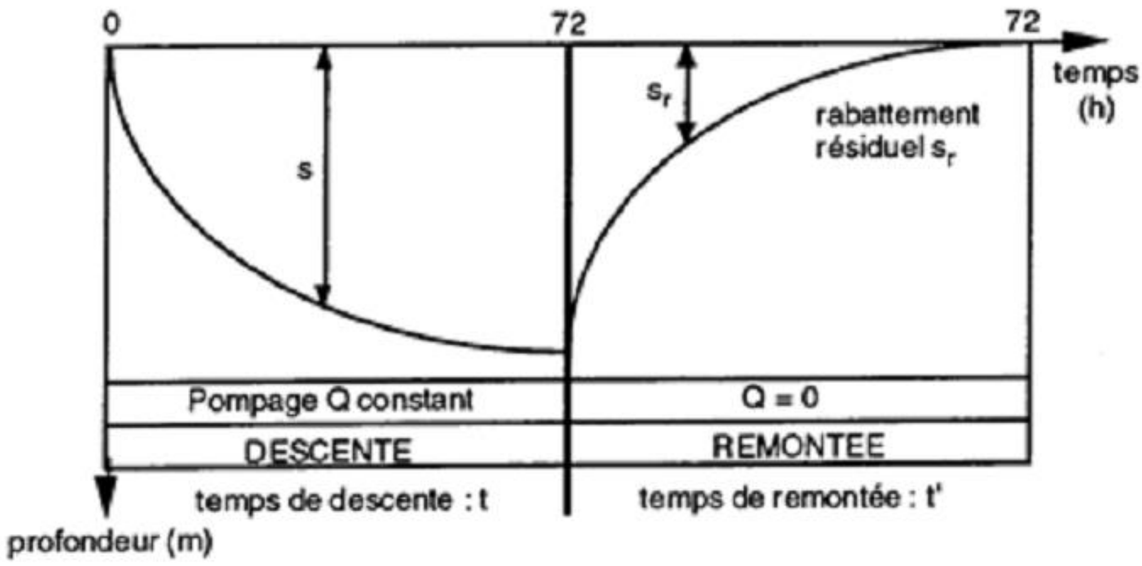


Figure : Exécution d'un pompage d'essai :courbe rabattement/temps.

II.1. Variantes de l'essai Lefranc sous charge variable

On peut rattacher à l'essai Lefranc des essais sous charge variable que l'on réalise dans des terrain à faible perméabilité lorsque le débit injecté devient trop petit ou lorsque le pompage conduit à une épuisement instantané.

II.1.1.Essai d'absorption (perméabilités, k<10-4 m/s, sol traité alluvionslimons -argiles-sables)

Procédure identique à l’essai Lefranc à charge constante (*Figure 21*) sauf qu’ici, la faible perméabilité du terrain ne permet pas d’obtenir une situation d’équilibre entre débit et niveau d’eau. On remplit ou on vide le forage et l’on mesure en fonction du temps, la variation de la hauteur d’eau qui tend à retrouver sa position d’équilibre.

La poche d’essai est caractérisée de la même manière que pour l’essai Lefranc à charge constante.

L’essai sera conduit en variable, c’est-à-dire que pour une injection d’eau on mesurera la descente en fonction du temps (pour une extraction d’eau, on mesurera la remonté en fonction du temps).

Pendant le temps dt, le niveau s'abaisse de dh :

Le débit qui pénètre dans le sol est :

$$Q = -S\frac{dh}{dt}$$

D'après Lefranc :

$$\boxed{Q = -S\frac{dh}{dt} = k.m.D.h}$$

Cette équation permet l'évaluation du coefficient de perméabilité :

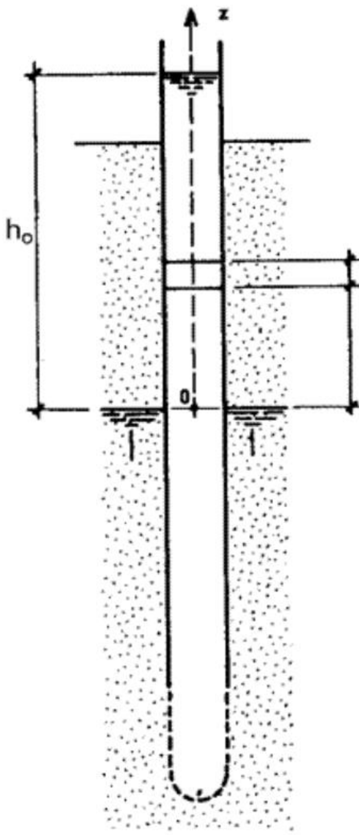
soit numériquement en utilisant directement les mesures ; soit analytiquement par intégration.

Ä **Méthode numérique :**

L'ensemble des mesures permet de tracer point par point la courbe h(t). Entre deux mesures consécutives (i ; i+1), on calcule les deux quantités suivantes :

$$h_j = \frac{h_{i+1} - h_i}{2} \quad \text{et} \quad \left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)_j = \frac{h_{i+1} - h_i}{t_{i+1} - t_i}$$

On porte ensuite sur un graphique $\left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)_j$ *en fonction de* $(h_j - h_0)$.



Si on se trouve effectivement en régime laminaire et si l'essai a été correctement réalisé, on doit obtenir des points à peu près alignés d'après l'équation précédente de Lefranc.

On détermine alors la droite de régression dont la pente $\frac{\Delta\left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)}{\Delta(h-h_o)}$ permet d'évaluer immédiatement le coefficient de perméabilité : $\boxed{k = \frac{S}{mD} \cdot \frac{\Delta\left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)}{\Delta(h-h_o)}}$

- ✓ D : diamètre du forage (cavité);
- ✓ S : section du tubage ;
- ✓ m : coefficient de forme ;
- ✓ h : charge finale ;
- ✓ h_o : charge initiale ;
- ✓ t : temps.

La perméabilité s'exprime par $\boxed{k = -\frac{2{,}3\, S.\log\left[{h}/{h_o}\right]}{mD.t}}$

- ✓ D : diamètre du forage (cavité);
- ✓ S : section du tubage ;
- ✓ m : coefficient de forme ;
- ✓ h : charge finale ;
- ✓ h_o : charge initiale ;
- ✓ t : temps.

Dans la pratique, il faut réaliser plusieurs mesures au court du temps afin de pouvoir tracer sur un diagramme semi-logarithmique la courbe des temps en fonction du logarithme de h/h_O : t = f[log (h/h_O)], qui est une droite de pente $-\frac{2{,}3\,S.}{m.D.k}$ permettant le calcul de k : $\boxed{k = -\frac{2{,}3\,S}{mD} \cdot \frac{\Delta[\log({h}/{h_o})]}{\Delta t}}$

II.4.1.2.Autres variantes

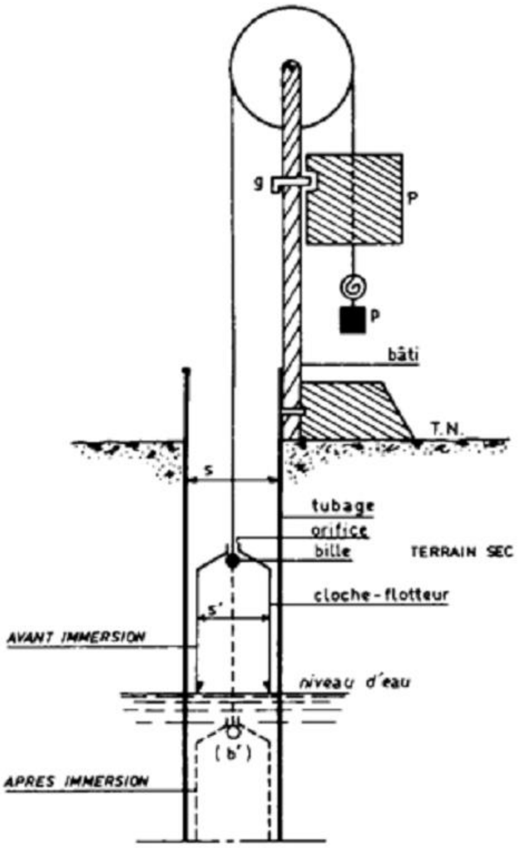
On peut également citer d'autres variantes de l'essai Lefranc:

- ✎ la mesure de la remontée après pompage en utilisant les mêmes formules que l'essai d'absorption ;
- ✎ la mesure à l'appareil Brillant (J. Brillant) pour la remontée (*Figure 22*).

✎ **Méthode analytique :**

L'intégration de l'équation entre 0 et t (entre h_O et h) donne : $t = -\frac{2{,}3\,S.}{m.D.k}\log\left[{h}/{h_o}\right]$

Appareil Brillant



II.4.4. Equation de THEIS pour nappe captive

Le professeur Américain C.V. THEIS (U.S. Geological Survey) a développé en 1935 l'équation différentielle du régime variable en fonction des conditions aux limites des **nappes infinies captives non réalimentées et d'épaisseur constante** (*Figure*).

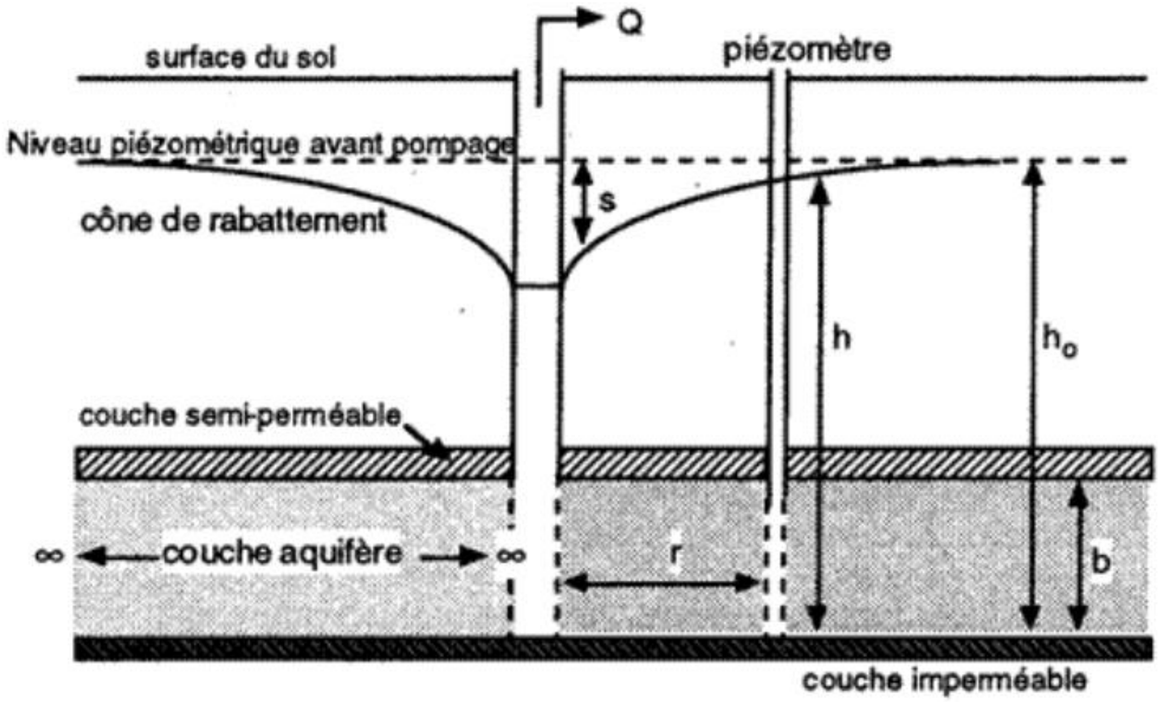


Figure : Puits parfait en nappe captive. Pour les nappes libres, la méthode de THEIS n'est applicable que sous réserve de nouvelles hypothèses simplificatrices que nous verrons plus loin.

Formule de THEIS :

$$s = \frac{Q}{4\pi T}.\int_u^\infty \frac{e^{-v}.dv}{v}$$

ou plus simplement

$$\boxed{s = \frac{1}{4\pi}.\frac{Q}{T}.W(u)}$$

avec $W(u) = .\int_u^\infty \frac{e^{-v}.dv}{v}$ **fonction de puits connue fonction de** $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

- ✓ s : rabattement dans le piézomètre en m ;
- ✓ Q : débit de pompage du puits en m³/s ;
- ✓ T : transmissivité en m²/s ;
- ✓ S : coefficient d'emmagasinement ;
- ✓ t : temps en s ;
- ✓ W(u) : peut-être calculé à partir d'une table des fonctions exponentielles intégrales (*Tableau 4*).

Valeurs de W(u) pour les valeurs de u (d'après WENZL, 1942).

u	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x 1	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.000038	0.00
x 10^{-1}	1.82	1.22	0.91	0.7	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
x 10^{-2}	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.3	2.15	2.03	1.92
x 10^{-3}	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
x 10^{-4}	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
x 10^{-5}	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
x 10^{-6}	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
x 10^{-7}	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
x 10^{-8}	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.9	15.76	15.65
x 10^{-9}	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.2	18.07	17.95
x 10^{-10}	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.5	20.37	20.25
x 10^{-11}	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
x 10^{-12}	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
x 10^{-13}	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
x 10^{-14}	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
x 10^{-15}	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

Un autre Américain JACOB (Université d'Utah) a explicité la fonction de puits en 1950 pour u suffisamment petit (u<0,01)

Formule de JACOB : $\boxed{s = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2{,}25\, T t}{r^2 S}\right)}$

La **formule de THEIS** et sa dérivée simplifiée, **celle de JACOB**, permettent de déterminer rapidement la transmissivité et le débit sans que le niveau de la nappe soit stabilisé comme en régime permanent.

Ces formules expriment le rabattement s d'une nappe à une distance r du puits de pompage avec un débit Q constant au bout d'un temps de pompage t.

Pour les essais, on réalise un piézomètre d'observation à proximité du puits afin d'obtenir les données nécessaires au calcul de la transmissivité, du coefficient d'emmagasinement et de la capacité spécifique.

Dans la pratique, on utilisera la formule simplifiée de JACOB pour des durées de pompage suffisamment longues (1/u>100 soit $t > \frac{100.S.r^2}{4.T}$) et pour des piézomètres situés à proximité du puits (distance maximale de l'ordre de 50m). Le temps de pompage doit être d'au moins 42 heures et la distance du puits au piézomètres inférieure à 50m.

L'approximation par rapport à la formule complète de Theis sera ainsi de :

- 0,25%près dès que 1/u > 100 ;
- 2% près dès que 1/u > 20 ;
- 5% près dès que 1/u > 10 ;
- 10% près dès que 1/u > 6,7.

Le Professeur Jacob estime que cette formule peut être adoptée pour 1/u>100 mais si une approximation à 5% est suffisante on pourra l'utiliser dès que 1/u>10 . soit $t > \frac{10.S.r^2}{4.T}$

Lorsque la durée de pompage est trop courte ou que la distance du puits au piézomètre est relativement grande, il n'est pas possible d'utiliser la formule simplifier de Jacob : on doit alors utiliser la formule complète de Theis.

Pour l'aquifère de notre exemple (caractéristiques estimées k ≈ 10^{-3}-10^{-4} m/s ; S ≈ 0,1-1%.et épaisseur de l'aquifère 5-8m) $\frac{100.S.r^2}{4.T}$ Max ≈ 40 heures pour un piézomètre d'observation à 8 mètres. Avec un pompage de l'ordre d'une ou deux heures il faudra donc utiliser la formule complète de Theis.

II.4.5. Utilisation de la formule de THEIS et de sa courbe universelle pour les nappes captives

Méthode toujours applicable à condition que 1/u dépasse 0,05.

L'aquifère doit répondre aux mêmes conditions que pour les essais stabilisés (perméabilités uniformes, épaisseur constante, formation infiniment étendue, pénétration totale du puits de pompage dans l'aquifère, ...).

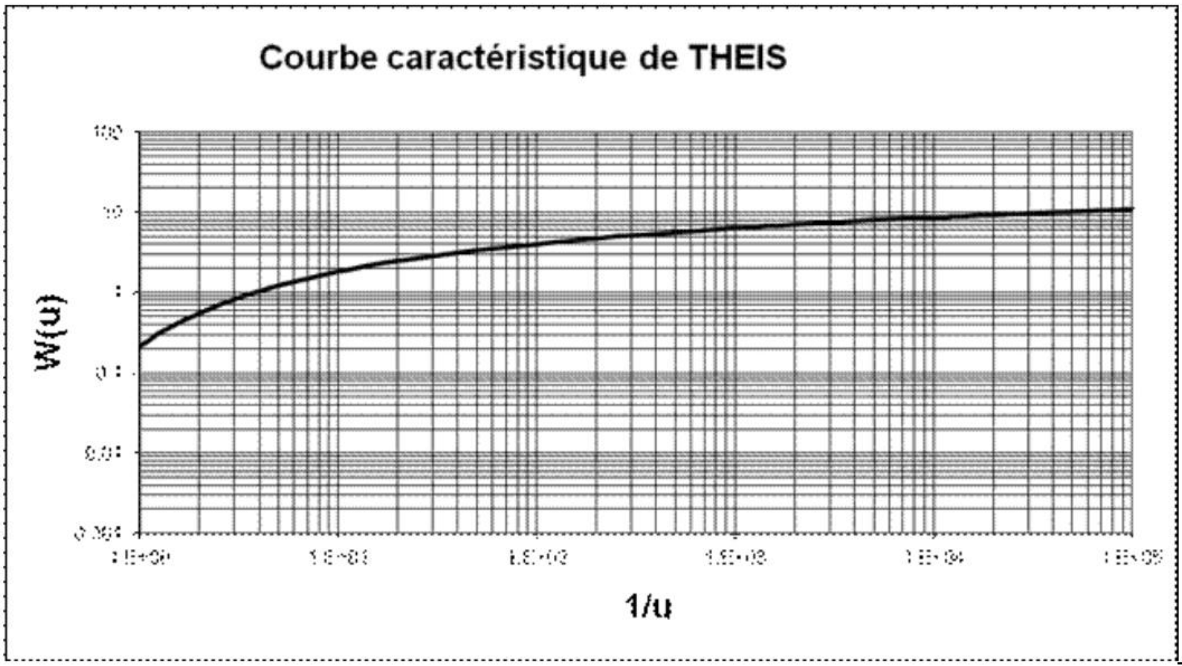
Formule de THEIS : $\boxed{s = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{Q}{T} \cdot W(u)}$ **et** $\boxed{u = \frac{r^2 S}{4Tt}}$

- ✓ r : distance du piézomètre de contrôle avec le puits de pompage ;
- ✓ T : transmissivité en m²/s ;
- ✓ t : temps depuis le début du pompage.

Le calcul de la transmissivité T et du coefficient d'emmagasinement S se fait avec la formule de THEIS en utilisant sa courbe universelle.

Tracer sur une échelle bilogarithmique W(u) en fonction de 1/u (*Figure 26* : Courbe universelle de THEIS) ;

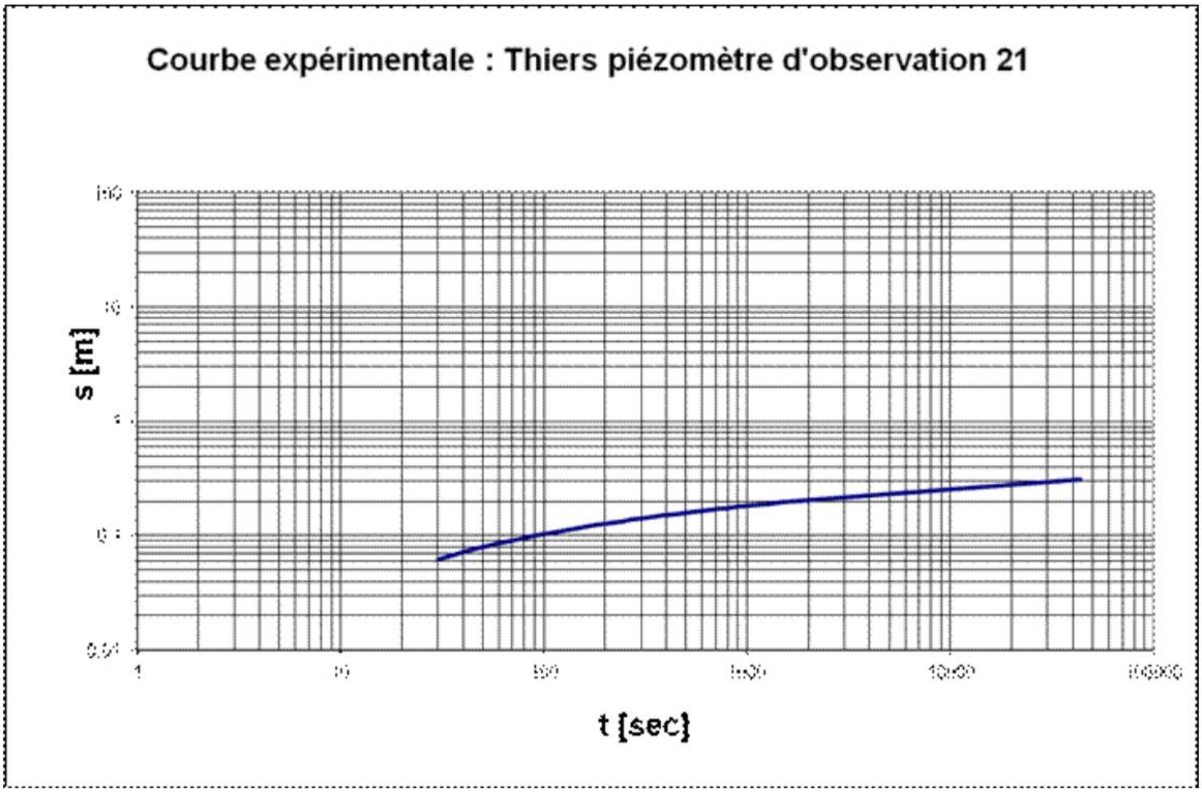
Courbe caractéristique de Theis.



Tracer sur une échelle bilogarithmique s en fonction de t (*Figure* : courbe expérimentale).

Figure

Courbe expérimentale : piézomètre 21 dans une nappe alluviale.

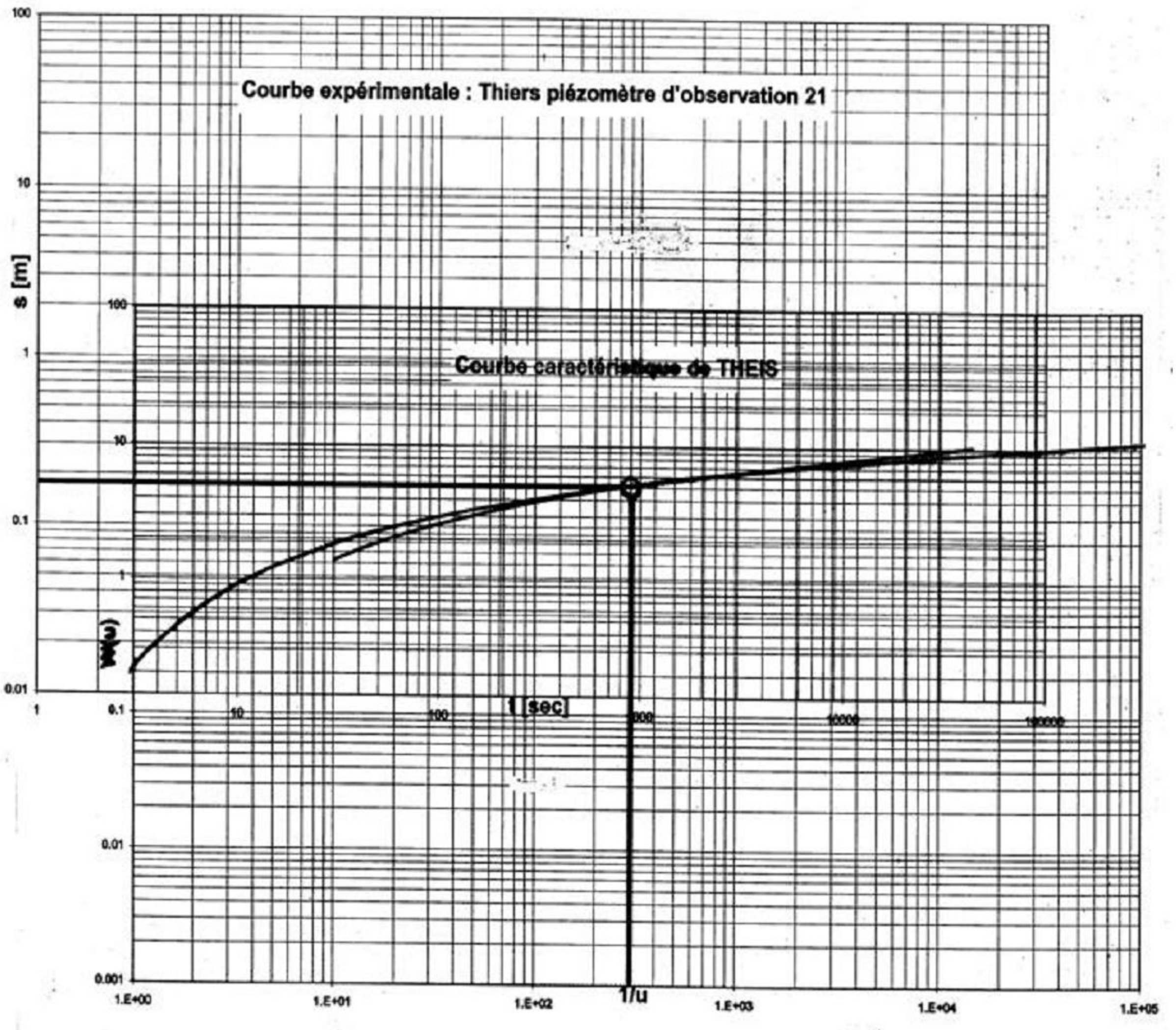


Si le terrain aquifère suit la loi de THEIS, les points obtenus doivent se placer sur une courbe identique à la courbe universelle mais avec une origine différente.

En superposant les deux graphiques (*Figure*), en gardant les axes parallèles pour faire coïncider les courbes le plus justement possible, on choisit un point P commun et on lit ses coordonnées dans les deux graphiques.

Figure

Méthode de Theis : superposition des courbes caractéristique de Theis et courbe expérimentale.



Connaissant Q et r, on en déduit T : $\boxed{T = \frac{Q}{4.\pi} . \frac{W(u)}{s}}$ et S : $\boxed{S = \frac{4.u.T.t}{r^2}}$

-

<u>Exemple avec l'aquifère de notre exemple semi captif:</u>

Pompage dans le piézomètre Pz18 à 5 m³/h = $1,4.10^{-3}$ m³/s ;

Observation dans le piézomètre de contrôle Pz21 distant de 6,45m ;

W(u) = 5 , 1/u=300

s = 0,2m , t = 900s

Donc T = $2,8.10^{-3}$ m²/s et S = 0,08%

II.4.6. Utilisation de la formule de JACOB pour les nappes captives

JACOB ne peut être utilisé que pour les durées de pompage longues (1/u>100 soit $t > \frac{100.S.r^2}{4.\pi.T}$).avec des piézomètres de contrôles proches du puits de pompage. Il s'agit en fait d'une simplification de la formule de THEIS.

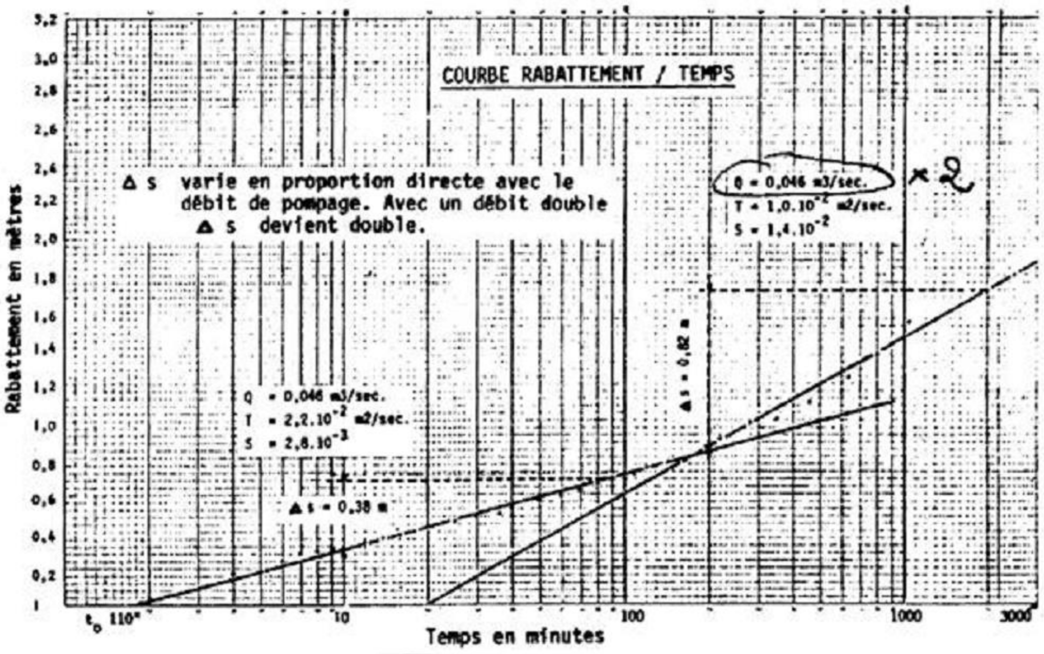
Formule de JACOB : $\boxed{s = \frac{2,3}{4\pi}.\frac{Q}{T}.\log\left(\frac{2,25.T.t}{r^2.S}\right) = \frac{2,3}{4.\pi}.\frac{Q}{T}.\log t + \frac{2,3}{4.\pi}.\log\left(\frac{2,25.T}{r^2.S}\right)}$

- ✓ r : distance du piézomètre de contrôle avec le puits de pompage ,
- ✓ T : transmissivité en m²/s ;
- ✓ t : temps depuis le début du pompage ;
- ✓ S : coefficient d'emmagasinement.

L'utilisation de cette méthode peut se faire avec plusieurs régimes de débits successifs. On obtient des résultats 5,5% d'erreur pour 1/u>10 et inférieur à 0,3% pour 1/u>100

Le calcul se fait sur un graphique semi-logarithmique. On trace la courbe expérimentale de l'essai avec t (log abscisse et s en ordonnée (*Figure 29*). Normalement, tous les points ont tendance à s'aligner sur une droite.

Figure 29 Méthode de Jacob pour une nappe captive.



Pente droite = $\frac{ds}{d\log t} = \Delta s = \frac{2,3}{4.\pi}.\frac{Q}{T}$ avec Δs pente soit le rabattement correspondant à 1 cycle logarithmique

D'où $\boxed{T = \frac{2,3}{4.\pi}.\frac{Q}{\Delta s}}$

En prolongeant la droite jusqu'à ce qu'elle coupe la l'axe de rabattement nul, on détermine l'abscisse t_o

à t_o $s = o = \frac{1}{4\pi}.\frac{Q}{T}\ln\left(\frac{2{,}25.T.t_0}{r^2.S}\right)$ donc $\frac{2{,}25.T.t_0}{r^2.S} = 1$

D'où : $\boxed{\boldsymbol{S = \frac{2{,}25\,T\,t_0}{r^2}}}$

II.4.7. Remontée de la nappe avec la méthode de JACOB

Applicable à l'étude de la remontée d'une nappe immédiatement après l'arrêt d'un pompage de courte durée (nappe non stabilisée).

Permet le calcul de T par interprétation de l'équation de THEIS-JACOB avec les données suivantes :

- ✓ **t_a : temps écoulé depuis l'origine du pompage jusqu'à son arrêt ;**
- ✓ **t' : le temps compté après cet arrêt ;**
- ✓ **s : la continuation de l'enregistrement du rabattement dans le piézomètre de contrôle ;**
- ✓ **Q : valeur de débit du pompage ayant crée le rabattement initial.**

Le raisonnement mathématique pour déterminer les effets de l'arrêt du pompage est basé sur le principe de superposition : on combine une « poursuite fictive » du pompage au débit initial Q avec une «injection fictive » d'eau au même débit soit un pompage au débit -Q. Le rabattement se mesure dans le piézomètre d'observation.

JACOB devient : $s = \frac{2{,}3}{4\pi}.\frac{Q}{T}.\log\left(\frac{2{,}25.T.(t_a+t')}{r^2.S}\right) - \frac{2{,}3}{4.\pi}.\frac{Q}{T}.\log\left(\frac{2{,}25.T.t'}{r^2.S}\right)$

D'où $\boxed{\boldsymbol{s = \frac{2{,}3}{4\pi}.\frac{Q}{T}.\log\left(\frac{t_a+t'}{t'}\right)}}$

Le calcul se fait, comme précédemment, sur un graphique semi-logarithmique. On trace la courbe expérimentale de l'essai avec cette fois $\frac{t_a+t'}{t'}$ (en fait $\log\left(\frac{t_a+t'}{t'}\right)$) en abscisse et s en ordonnée. Normalement, tous les points ont tendance à s'aligner sur une droite.

Pente droite = $\frac{ds}{d\log\left(\frac{t_a+t'}{t'}\right)} = \Delta s = \frac{2{,}3}{4.\pi}.\frac{Q}{T}$ avec Δs pente soit le rabattement correspondant à 1 cycle logarithmique

D'où $\boxed{T = \frac{2{,}3}{4.\pi}.\frac{Q}{\Delta s}}$