

Université Abou Bekr BELKAID
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique
Options:
Hydraulique urbaine & Ouvrages hydrauliques

*Cours d'Hydraulique souterraine
(Quatrième partie)*

FU 822 & FO 822 & RH 822

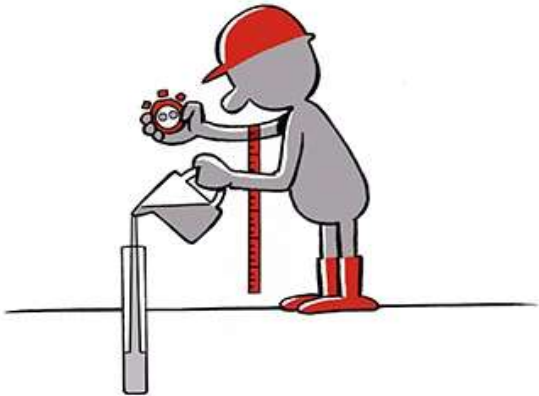
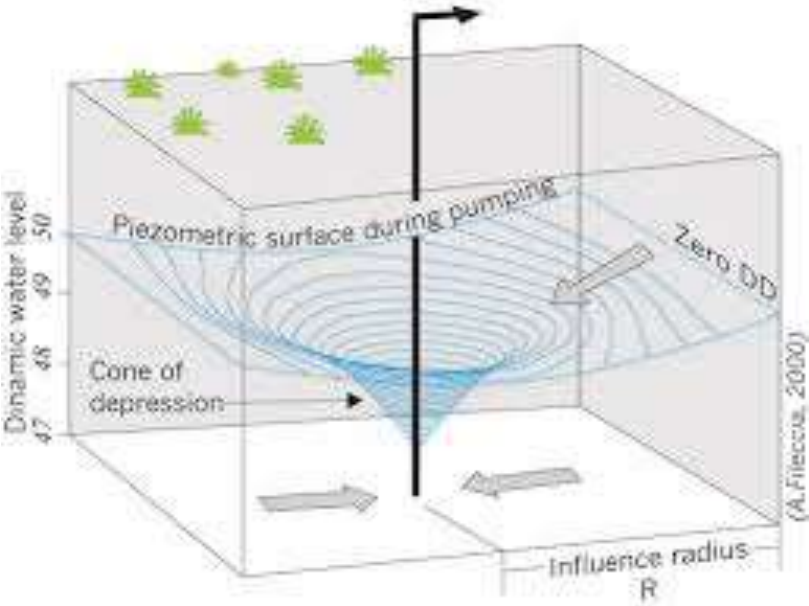
Pr K. BABA-HAMED



**EAUX
SOUTERRAINES**

Cours d'Hydraulique souterraine M1 HU & M1 OH

Cours sur les Essais de pompage (Suite)



Pr K.BABA HAMED
2021 - 2022



Essai de pompage en écoulement permanent

L'écoulement **permanent** est un régime d'**équilibre** obtenu après une longue période de pompage lorsque la **réalimentation de 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 demandent une **longue période de pompage** souvent incompatible avec les exigences économiques (fonctionnement et immobilisation du chantier). De plus, pour permettre une interprétation correcte, il faut un **rabattement significatif** avec un **débit continu acceptable** ce que ne permet pas tous les aquifères.

Essai de pompage en écoulement permanent

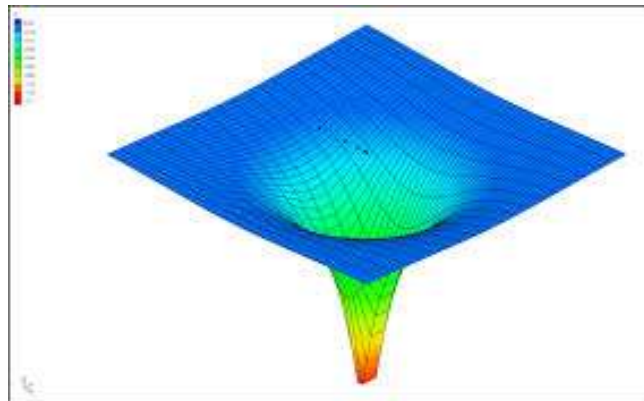


Méthode de Thiem

I- Régime permanent en nappe captive

On doit satisfaire aux hypothèses et aux conditions suivantes:

- La nappe est captive.
- L'écoulement vers le puits est en régime permanent.

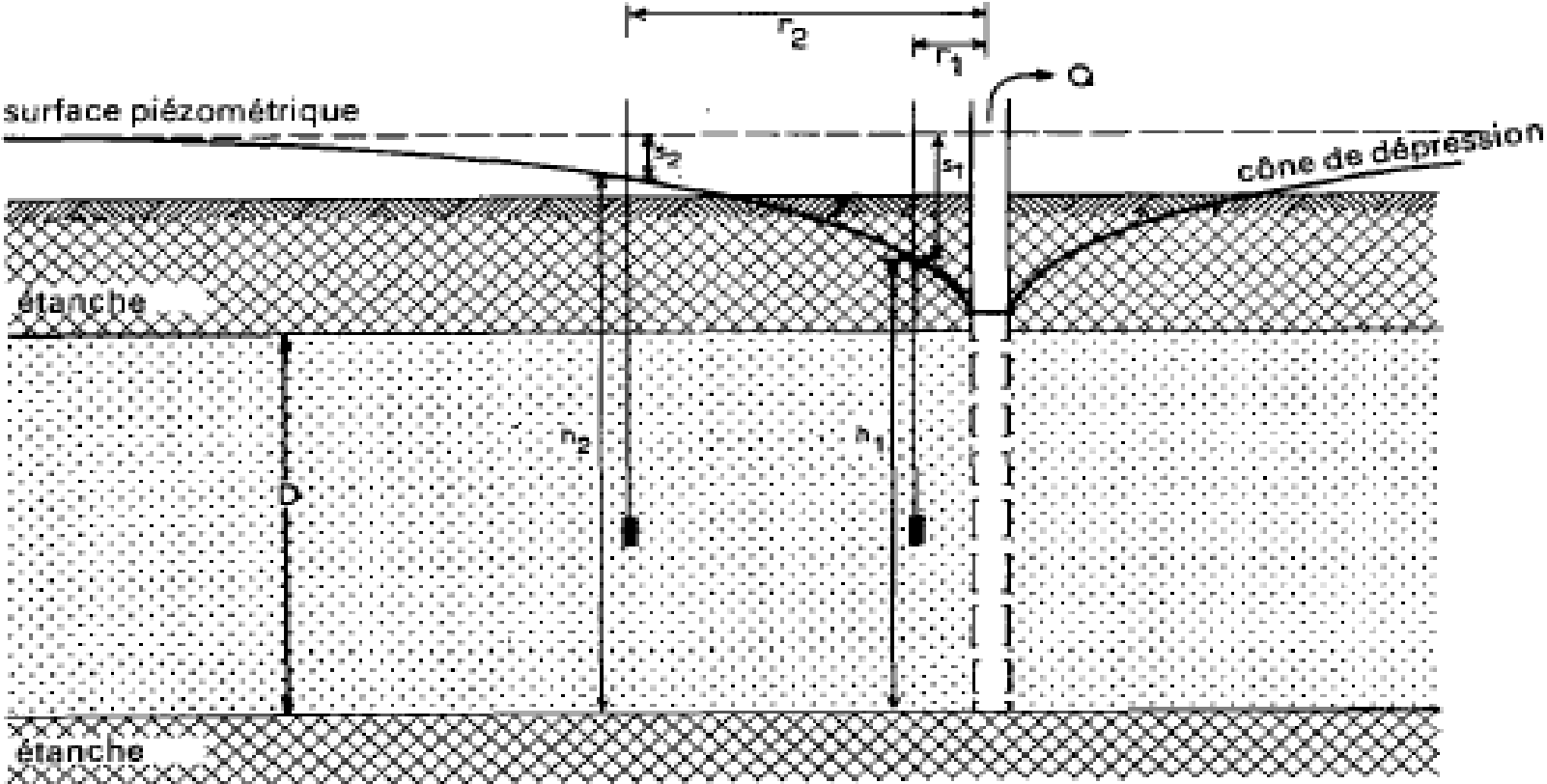


Cône de dépression



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem





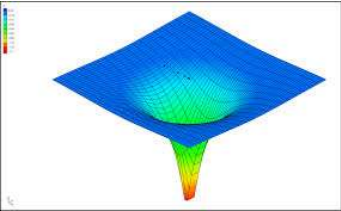
Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem

THIEM (1906) fut un des premiers à utiliser plusieurs piézomètres pour mesurer le coefficient de perméabilité d'un aquifère. Il démontra que, dans un aquifère satisfaisant aux conditions précédentes, le débit du puits peut s'exprimer par la formule:

$$Q = \frac{2\pi T (h_2 - h_1)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

Equation de Thiem = Equation d'équilibre



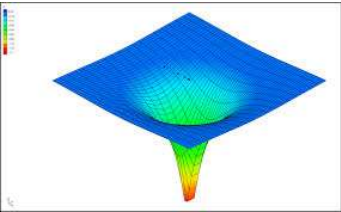


Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem

$$Q = \frac{2\pi T (h_2 - h_1)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

- Q : Débit de pompage (m³/jour),
- T: Transmissivité de l'aquifère (m²/jour),
- h₁ et h₂: Hauteurs respectives de l'eau dans les piézomètres (m),
- r₁ et r₂: Distances entre le puits d'essai et les piézomètres (m).





Essai de pompage en écoulement permanent

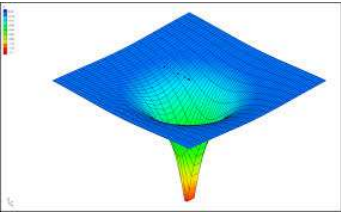
Méthode de Thiem

$$Q = \frac{2\pi T (h_2 - h_1)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \quad \text{Eq. 1}$$

Dans la pratique l'équation devient:

$$Q = \frac{2\pi T (s_1 - s_2)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \quad \text{Eq. 2}$$

s_1 et s_2 sont les rabattements stabilisés dans chaque piézomètre





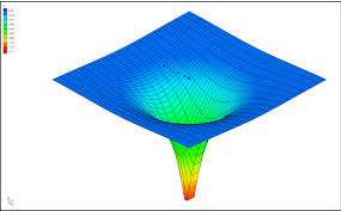
Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem

Dans le cas où l'on ne dispose que d'un seul piézomètre situé à la distance r_1 du puits, on a:

$$Q = \frac{2\pi T (s_p - s_1)}{\ln \left(\frac{r_1}{r_p} \right)} \quad \text{Eq. 3}$$

s_p est le rabattement stabilisé dans le puits d'essai dont le rayon vaut r_p .





Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (mode opératoire)

- Porter sur une feuille de papier semi-logarithmique les rabattements observés dans chaque piézomètre en fonction du temps correspondant: les rabattements sont portés sur l'échelle verticale linéaire et le temps sur l'échelle horizontale logarithmique.
- Construire la courbe de descente pour chaque piézomètre, qui est la courbe qui s'ajuste le mieux à l'ensemble des points.

Remarque: Pour des temps suffisamment importants, les courbes des différents piézomètres sont parallèles, et gardent ainsi entre elles une distance constante. Cela signifie que le gradient hydraulique est constant et que l'écoulement de la nappe *est en régime permanent*.



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (mode opératoire)

- Remplacer s dans l'équation (2) par les valeurs numériques du rabattement du régime permanent pour deux piézomètres, ainsi que les valeurs correspondantes de r et la valeur connue de Q . On peut alors résoudre l'équation par rapport à T .
- Recommencer cette opération pour tous les couples possibles de piézomètres.

Théoriquement, les résultats doivent être en bon accord entre eux. Cependant, dans la pratique, les calculs donnent des valeurs plus ou moins égales de T , dont la moyenne donne le résultat final.



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (exemple)

Nous avons reporté dans le tableau suivant, les rabattements obtenus après environ 14 heures de pompage au débit constant $Q = 788 \text{ m}^3/\text{jour}$.

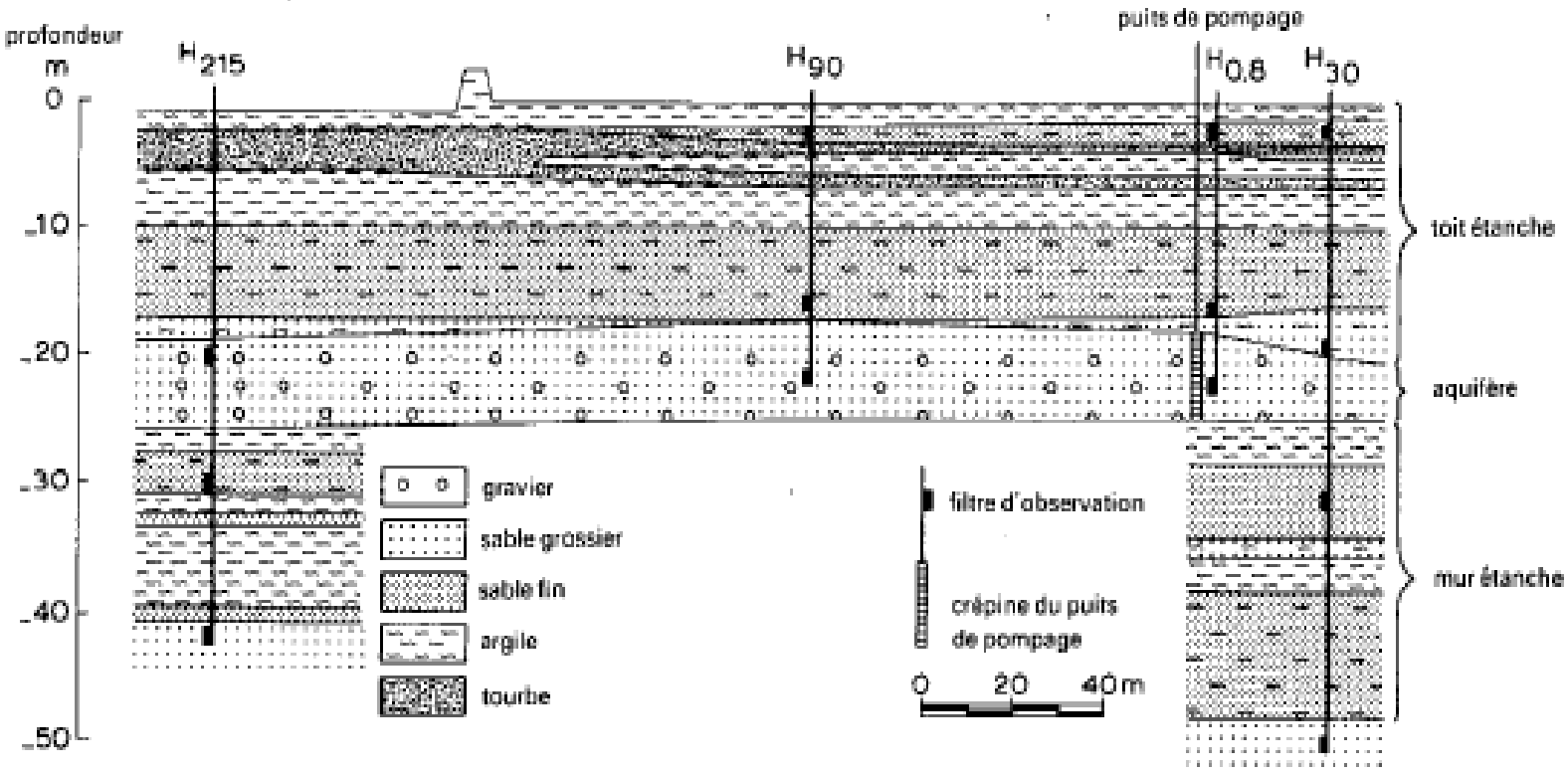
Rabattements dans les piézomètres situés entre 20 et 24 m de profondeur après 830 minutes de pompage.

Piézomètre	H0.8	H30	H90	H215
Rabattement (m)	2.236	1.088	0.716	0.250



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (exemple)





Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (exemple)

On porte dans l'équation (2) les valeurs numériques du rabattement maximal mesuré dans les piézomètres à 30 et 90 m,

$$T = \frac{Q}{2\pi (s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Avec:

$r_1 = 30\text{m}$, $s_1 = 1.088\text{m}$.

$r_2 = 90\text{m}$, $s_2 = 0.716\text{m}$.

$Q = 788 \text{ m}^3/\text{jour}$.

$$T = \frac{788}{2.3, 14 (1.088 - 0.716)} \ln \frac{90}{30}$$



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (exemple)

La même opération peut être appliquée à d'autres couples de piézomètres. Les résultats sont donnés dans le Tableau qui suit.

R1 (m)	R2 (m)	S1 (m)	S2 (m)	T (m ² /j)
30	90	1.088	0.716	370
0.8	30	2.236	1.088	396
0.8	90	2.236	0.716	390
30	215	1.088	0.250	295
90	215	0.716	0.250	234
0.8	215	2.236	0.250	353
			Moyenne	340



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiem (exemple)

- Porter sur un papier semi-logarithmique les rabattements maximaux du régime permanent s de chaque piézomètre en fonction de leur distance r au puits de pompage,
- Tracer la droite qui s'ajuste le mieux à l'ensemble des points, on l'appelle **droite rabattement-distance**.
- Mesurer la pente Δs -m de cette droite, c'est-à-dire La différence de rabattement maximal correspondant à un cycle log de r , soit $r_2/r_1 = 10$ ou $\log r_2/r_1 = 1$. L'équation (2) se réduit alors à:

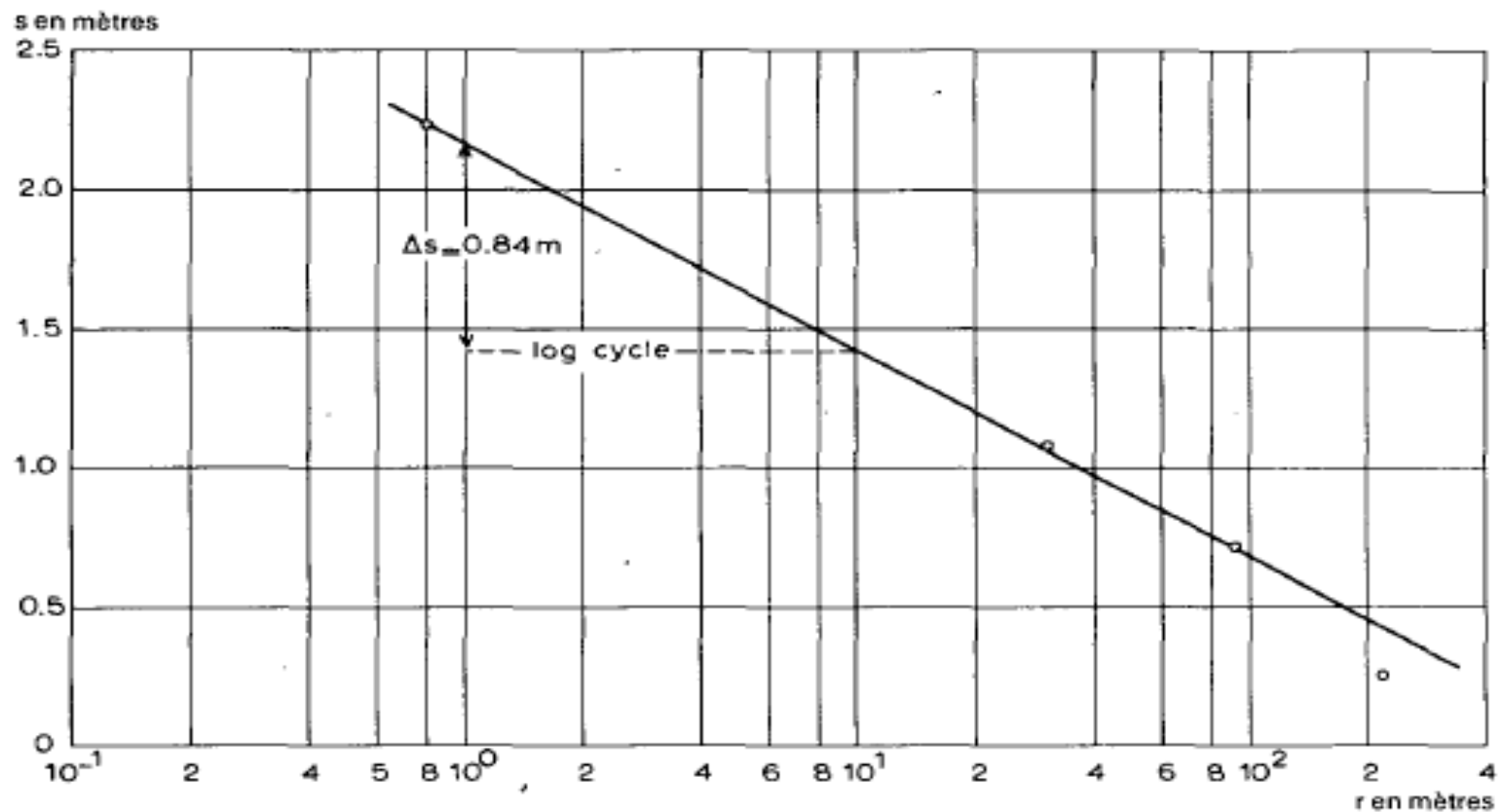
$$Q = \frac{2\pi T \Delta s}{2.30} \quad \text{Eq. 4}$$

- Reporter les valeurs numériques de Q et de Δs dans l'équation (4) et résoudre par rapport à T .



Essai de pompage en écoulement permanent

Méthode de Thiém (exemple)





Essai de pompage en écoulement permanent

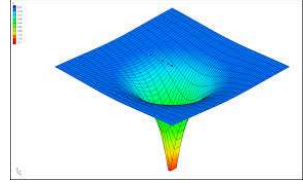
Méthode de Thiem (exemple)

$$T = \frac{2,30 \cdot Q}{2,3,14 \cdot 0,84}$$

$$T = \frac{2,30 \cdot 788}{2,3,14 (0,84)} = 343 \text{m}^2/\text{J}$$

Remarque: Ce résultat est en très bon accord avec la moyenne obtenue par la première méthode de calcul de Thiem.

Essai de pompage en écoulement permanent



Méthode de Thiem-Dupuit

II- Régime permanent en nappe libre

on peut exprimer le débit d'un puits dans une telle nappe libre par l'équation de Dupuit:

$$Q = \frac{k \cdot \pi \cdot (h_2^2 - h_1^2)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

Eq. 1

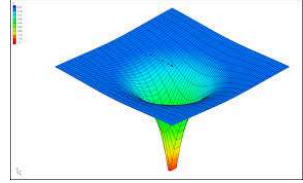
Q : Débit de pompage (m³/jour),

k: Perméabilité du terrain (m/jour),

h1 et h2: Hauteurs respectives de l'eau dans les piézomètres (m),

r1 et r2: Distances entre le puits d'essai et les piézomètres (m).

Essai de pompage en écoulement permanent



Méthode de Thiem-Dupuit

II- Régime permanent en nappe libre

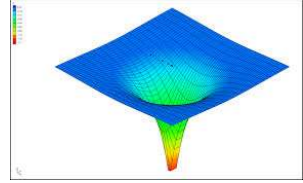
Dans la pratique l'équation devient:

$$Q = \frac{k \cdot \pi \cdot (s_2^2 - s_1^2)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

Eq. 2

s_1 et s_2 sont les rabattements stabilisés dans chaque piézomètre

Essai de pompage en écoulement permanent



Méthode de Thiem-Dupuit

II- Régime permanent en nappe libre

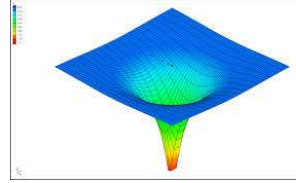
Dans le cas où l'on ne dispose que d'un seul piézomètre situé à la distance r_1 du puits, on a:

$$Q = \frac{k \cdot \pi \cdot (s_1^2 - s_p^2)}{\ln \left(\frac{r_1}{r_p} \right)}$$

Eq. 3

s_p est le rabattement stabilisé dans le puits d'essai dont le rayon vaut r_p .

Essai de pompage en écoulement permanent



Méthode de Thiem-Dupuit

II- Régime permanent en nappe libre

A- Détermination de la perméabilité avec un piézomètre

$$k = Q \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_p}\right)}{\pi \cdot (s_1^2 - s_p^2)}$$

Eq. 4

B- Détermination de la perméabilité avec deux piézomètres

$$k = Q \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi \cdot (s_2^2 - s_1^2)}$$

Eq. 5



Correctement effectué, le pompage d'essai est alors riche d'informations sur l'aquifère !





*Merci
Pour Votre
Attention*

Dr. K. BABA-HAMED