

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

*Cours d'Hydraulique souterraine*

*(Troisième partie)*

*7U 822 & 7O 822*

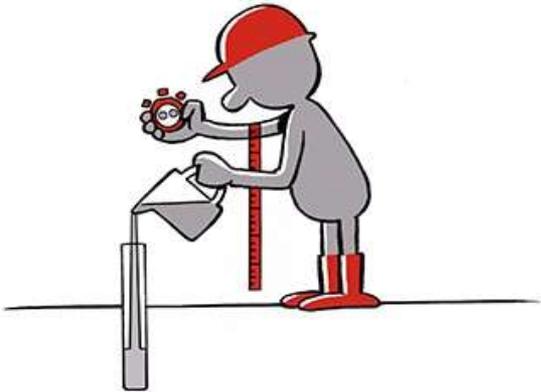
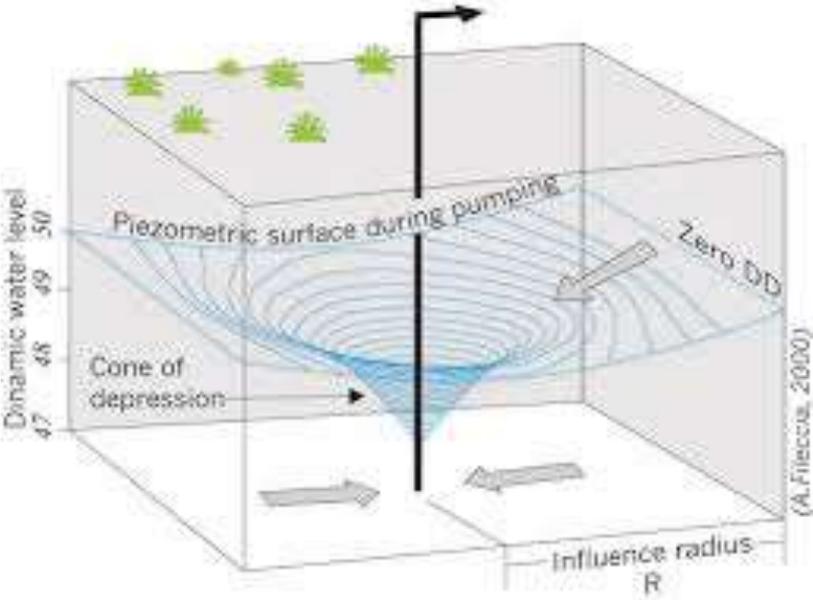
*Pr K. BABA-HAMED*



**EAUX  
SOUTERRAINES**

# Cours d'Hydraulique souterraine M1 HU & M1 OH

## Cours sur les Essais de pompage (Suite)



## Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

Un essai de pompage longue durée consiste à pomper de l'eau à débit constant et à examiner l'influence du pompage sur les niveaux d'eau de l'aquifère .

La réaction de la nappe à un **pompage** va se traduire par des **rabattements** au sein de l'aquifère et en particulier dans le forage.

Le **rabatement** sera **maximal au point de prélèvement**, puis se propagera dans l'espace à partir de ce point. L'importance de la **baisse des niveaux** est liée aux **caractéristiques hydrodynamiques de la nappe** (à qualité d'ouvrage et débit de pompage identiques).



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe

Ces caractéristiques hydrodynamiques se résument essentiellement à deux paramètres :

□ le 1<sup>er</sup> caractérise l'aptitude de l'aquifère à se laisser traverser par l'eau, en lien avec la connexion des vides entre eux. Ce paramètre est appelé **transmissivité (T)** qui est égal à la perméabilité multipliée par l'épaisseur saturée de l'aquifère.

$$T = K \times e$$

(m<sup>2</sup> /s)    (m/S)    (m)

□ le 2<sup>e</sup> caractérise la capacité de stockage : c'est le **coefficient d'emmagasinement (S)**, équivalent à une porosité (cas d'une nappe libre: plus les vides dans le terrain sont importants, plus l'eau pourra être emmagasinée dans l'aquifère).

□ **NB : ne pas confondre l'emmagasinement « S » avec le rabattement de la nappe « s »**



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

Il permet de mesurer les caractéristiques de l'aquifère et de tester le comportement de la nappe (rayon d'influence du pompage).

La durée de l'essai est un compromis entre le coût de l'opération et le besoin de vérifier qu'il n'existe pas « d'effet limite ».

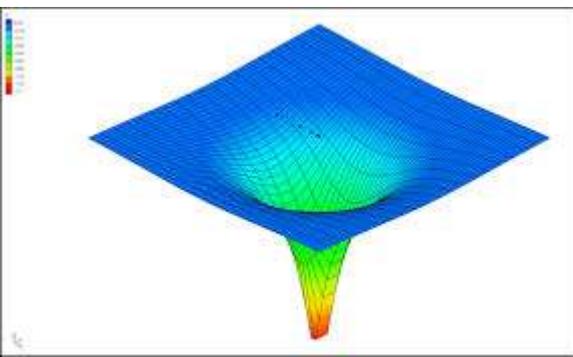
Un test de 2 h ou de 4 h ne permet pas de juger le comportement de la nappe et apprécier l'impact du prélèvement dans l'environnement immédiat du forage.

Un test de 24 h est un strict minimum, la durée la plus communément admise est de 72 heures.



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

- ❖ Pendant les essais en nappe libre, toutes les précautions doivent être prises pour prévenir toute infiltration des eaux pompées à proximité du forage.
- ❖ Les mesures de niveau doivent être poursuivies après l'arrêt du pompage. Elles peuvent être interprétées et confirmer l'interprétation des mesures relevées en cours de pompage.



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Déroulement de l'essai

Une fois que l'équipement est prêt et que les différentes tâches ont été attribuées, l'essai se déroule de la façon suivante :

➤ Choisissez un point de référence (par ex. le bord supérieur du tubage) à partir duquel tous les relevés du niveau d'eau seront effectués, et mesurez le niveau d'eau résiduel. Le niveau doit être stable avant le début de l'essai, donc celui-ci ne doit pas être réalisé lorsqu'un essai par paliers est effectué.

➤ Ouvrez la vanne au réglage approprié et enclenchez simultanément la pompe et le chronomètre. Ne modifiez pas constamment le réglage de la vanne pour obtenir un débit particulier.



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Déroulement de l'essai (suite)

➤ Mesurez le niveau d'eau dans le forage toutes les 30 secondes pendant les 10 premières minutes, puis toutes les minutes pendant 30 minutes, et enfin toutes les 5 minutes pendant 2 heures.

Après 2 heures, observez la vitesse à laquelle le niveau d'eau baisse encore, et définissez une fréquence appropriée pour les relevés de niveau d'eau jusqu'à la fin de l'essai.

Si le niveau d'eau baisse très lentement, un relevé toutes les 30 minutes ou même toutes les heures peut suffire. Si l'essai dure plusieurs jours, revoyez la fréquence des relevés en fonction du comportement du niveau d'eau. Si vous oubliez de mesurer le niveau d'eau au moment prévu, notez l'heure précise à laquelle le relevé est effectué. Consignez tous les relevés sur un tableau .



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Déroulement de l'essai (suite)

### Exemple de programme

Temps écoulé depuis le début du pompage (t)	Fréquences des mesures
De 0 min à 15 min	1 min
De 15 min à 30 min	5 min
De 30 min à 60min	10 min
De 1h à 2 h	15 min
De 2h à 4h	30 min
De 4h à 8h	1 h
> 8h	2 h



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Déroulement de l'essai (suite)

- À la fin de l'essai, débranchez la pompe, notez l'heure (ou redémarrez le chronomètre) et mesurez la remontée du niveau d'eau aux mêmes intervalles que ceux auxquels vous avez mesuré le rabattement. Continuez jusqu'à ce que l'eau soit remontée au niveau d'avant l'essai, ou en soit proche.



**ATTENTION**

## Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

- ❑ Si vous rencontrez un problème au cours de l'essai, par ex. une interruption de l'alimentation en énergie ou une panne de la pompe, utilisez votre bon sens : tout dépend du moment où le problème surgit et de sa durée probable.
  - si l'incident survient pendant les **premières minutes**, attendez que le niveau d'eau remonte et **recommencez**.
  - Si la panne se produit **bien plus tard** et peut être réglée rapidement, **relancez la pompe et continuez**.
  - S'il faut **beaucoup de temps pour résoudre le problème**, il est peut-être préférable d'attendre la remontée complète du niveau d'eau avant de **recommencer**.
  
- ❑ Si des essais à débit constant de longue durée sont prévus, il est très important de s'assurer que la réserve de carburant est suffisante pour la durée totale de l'essai.

# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Condition d'application des méthodes d'interprétation

- ❖ Aquifère isotrope, homogène et d'épaisseur constante dans la zone influencée par le pompage,
- ❖ Écoulement vers le puits est en régime transitoire,
- ❖ Puits complet: l'ouvrage pénètre entièrement l'aquifère et l'eau arrive en écoulement horizontal sur toute l'épaisseur de la nappe,
- ❖ Surface piézométrique horizontale avant le pompage,
- ❖ Pompage à débit constant,
- ❖ L'eau emmagasinée est libérée au même instant que la baisse de la charge hydraulique,
- ❖ Diamètre de l'ouvrage de captage étroit.

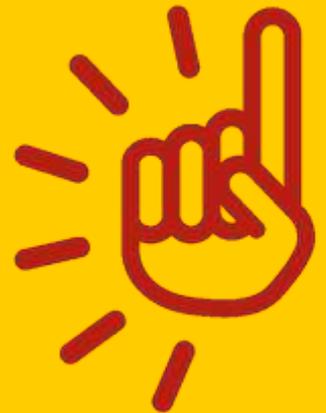


# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

Les méthodes d'interprétation disponibles font appel:

- ✓ À une superposition d'abaque (méthode de Theis),
- ✓ Au tracé d'une droite (méthode de Cooper- Jacob).



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

### Méthode de Theis

En pratique le calcul de  $T$  et  $S$  consiste à reporter  $s$  (rabattement) en fonction de  $t$  (temps de pompage) en coordonnées bilogarithmiques et à superposer la courbe expérimentale obtenue sur la courbe théorique de Theis (en maintenant les axes de coordonnées parallèles).

La coïncidence des deux graphiques permet de faire correspondre à un point quelconque d'un graphique un point de l'autre et l'identification des coordonnées de ce couple de point  $(s, t)$  et  $(W(u), 1/u)$  permet de calculer  $T$  et  $S$ .



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

### Méthode de Theis

L'interprétation graphique du pompage consiste à ajuster la courbe expérimentale à la courbe théorique. En effet :

$$s = Q W(u) / 4 \pi T \quad (\text{eq. 1})$$

$$u = r^2 S / 4 T t \quad (\text{eq. 2})$$

Après la superposition des courbes, on choisit donc un point pivot (A) pour lequel on note: les coordonnées  $W(u)$ ,  $u$  de la courbe théorique et les coordonnées  $s$ ,  $t$  de la courbe expérimentale; l'introduction de ces valeurs dans (eq.1) et (eq.2) permet d'obtenir la valeur de la transmissivité ( $T$ ) et du coefficient d'emmagasinement ( $S$ )

NB:

# Unsteady radial flow in a confined aquifer

- By assuming that the well is replaced by mathematical sink of constant strength and imposing the boundary conditions  $h=h_0$  for  $t=0$ , and  $h \rightarrow h_0$   $r \rightarrow \infty$  for  $t \geq 0$ , the solution

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u} du}{u} = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$= \frac{Q}{4\pi T} \left[ -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2} + \frac{u^2}{3.3} - \frac{u^2}{4.4} + \dots \right]$$

- is obtained, where  $s$  is drawdown,  $Q$  is the constant well discharge, and

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

# Unsteady radial flow in a confined aquifer

- The equation below came to be known as the **non-equilibrium** or **Theis equation**.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[ -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2} + \frac{u^2}{3.3} - \frac{u^2}{4.4} + \dots \right]$$

- The integral is a function of the lower limit  $u$  and is known as the exponential integral.
- It can be shown as a convergent series as shown in the equation above and is termed as the well function  $W(u)$ .



# Theis Method of solution

- The equation

$$= \frac{Q}{4\pi T} \left[ -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2} + \frac{u^2}{3.3} - \frac{u^2}{4.4} + \dots \right]$$

can be reduced to

$$s = \left( \frac{Q}{4\pi T} \right) W(u) \quad (\text{eq. 1})$$

Where  $W(u)$  is the well function.

- The equation

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{eq. 2})$$

can be rearranged as

$$\frac{r^2}{t} = \left( \frac{4T}{S} \right) u \quad \begin{aligned} S &= 4 T t u / r^2 \\ t/r^2 &= S / 4 T u \end{aligned} \quad (\text{eq. 3})$$

- The relation between  $W(u)$  and  $u$  is similar to that between  $s$  and  $r^2/t$  because the terms inside the parentheses in the two equations are constants.
- Given this similarity Theis suggested an approximate solution of  $S$  and  $T$  based on the graphic method of superposition.

# Theis Method of solution

$$\checkmark s = Q W(u) / 4 \pi T \quad (\text{eq. 1}) ,$$

$$\checkmark u = r^2 S / 4 T t \quad (\text{eq. 2})$$

$$\checkmark S = 4 T t u / r^2 \quad (\text{eq. 3})$$

$$\checkmark t / r^2 = S / 4 T u \quad (\text{eq. 4})$$

avec:

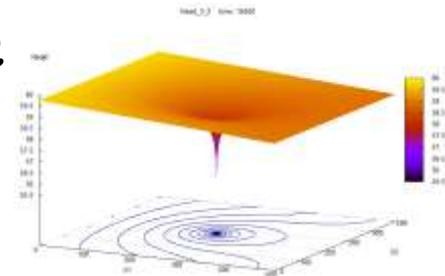
s: Rabattement mesuré dans un piézomètre situé à une distance  $r$  du puits de pompage (m),

Q: Débit de pompage constant ( $\text{m}^3 / \text{j}$ ),

S: Coefficient d'emmagasinement (sans unité),

T: Transmissivité de l'aquifère ( $\text{m}^2 / \text{j}$ ),

t: Temps en jours depuis le début de pompage



# Theis Method of solution

## Mode opératoire

- Se procurer la courbe type de Theis,
- Porter de la même façon sur une autre feuille bilog de même module les valeurs de  $(s)$  en fonction de  $t / r^2$  et construire la courbe d'essai qui sera semblable à la courbe type,
- Superposer la courbe d'essai à la courbe type en maintenant les axes de coordonnées respectivement parallèles entre eux et chercher la meilleure coïncidence possible entre les deux courbes,
- Choisir un point de référence arbitraire (A) que l'on appelle point PIVOT dans la zone de chevauchement des deux feuilles et chercher pour ce point les coordonnées :  $W(u)$ ,  $1/u$ ,  $s$  et  $t / r^2$ ,

NB: Il n'est pas nécessaire que le point pivot soit situé sur la courbe type. En fait, les calculs seront plus faciles si l'on choisit ce point de façon que  $W(u) = 1$  et  $1/u = 10$ .

# Theis Method of solution

## Mode opératoire (suite)

- Porter les valeurs de  $W(u)$ ,  $s$  et  $Q$  dans (eq.1), donc:

$$T = Q W(u) / 4 \pi s$$

- Calculer  $S$  en remplaçant  $T$ ,  $t/r^2$ , et  $u$  par leurs valeurs dans (eq.3).

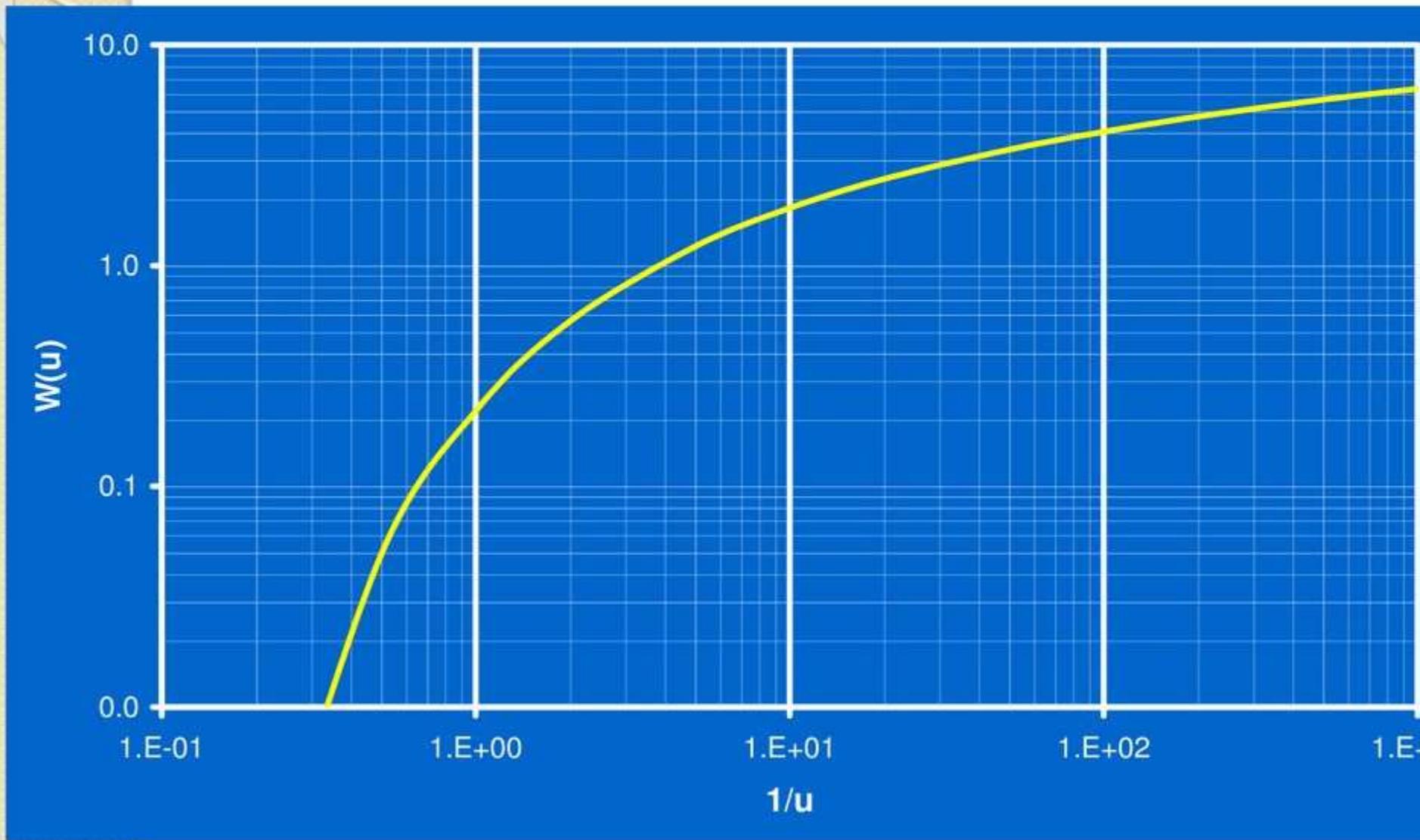
$$S = 4 T t u / r^2$$

avec:

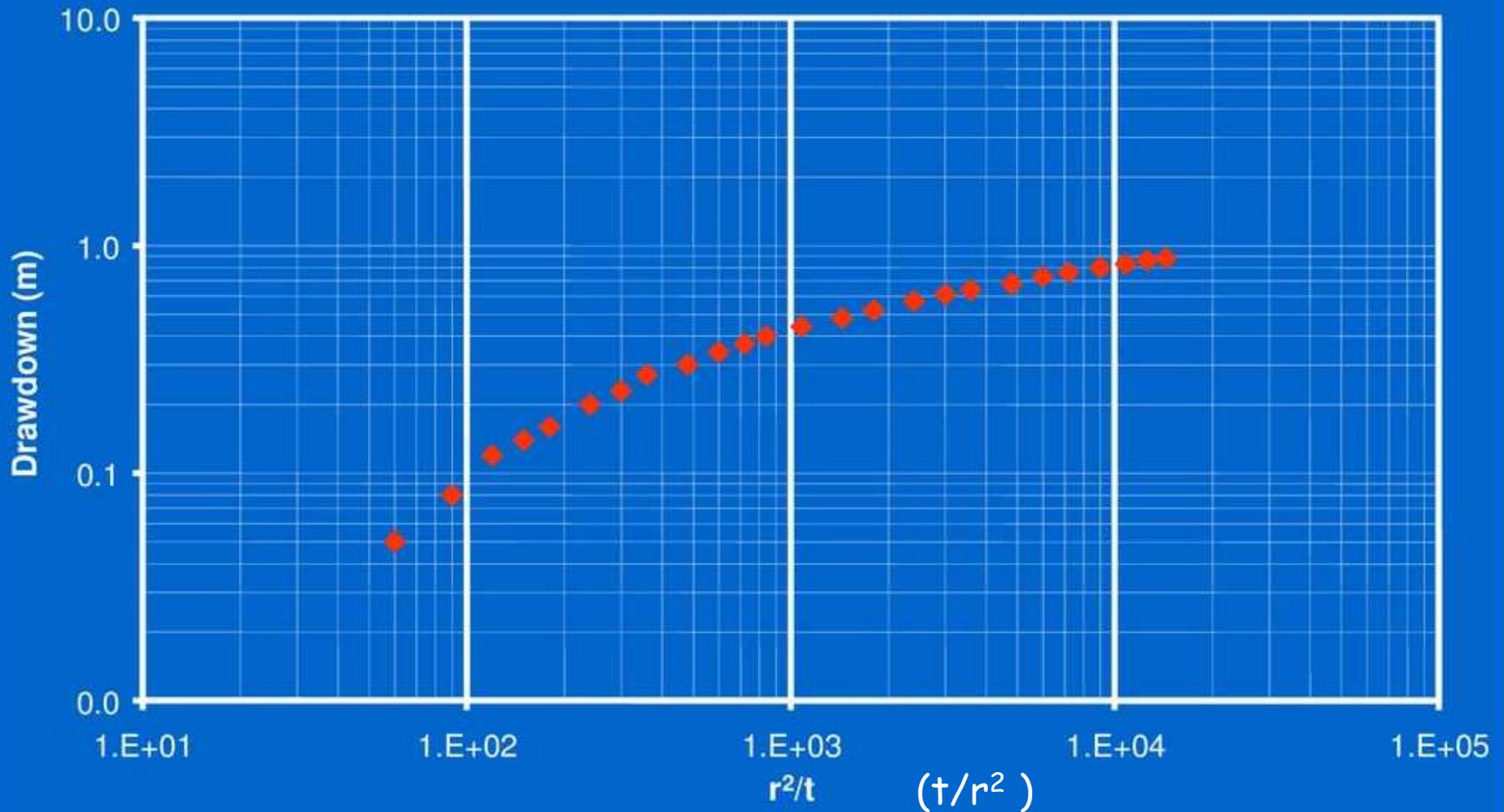
$T$ : Transmissivité,

$S$ : Coefficient d'emmagasinement.

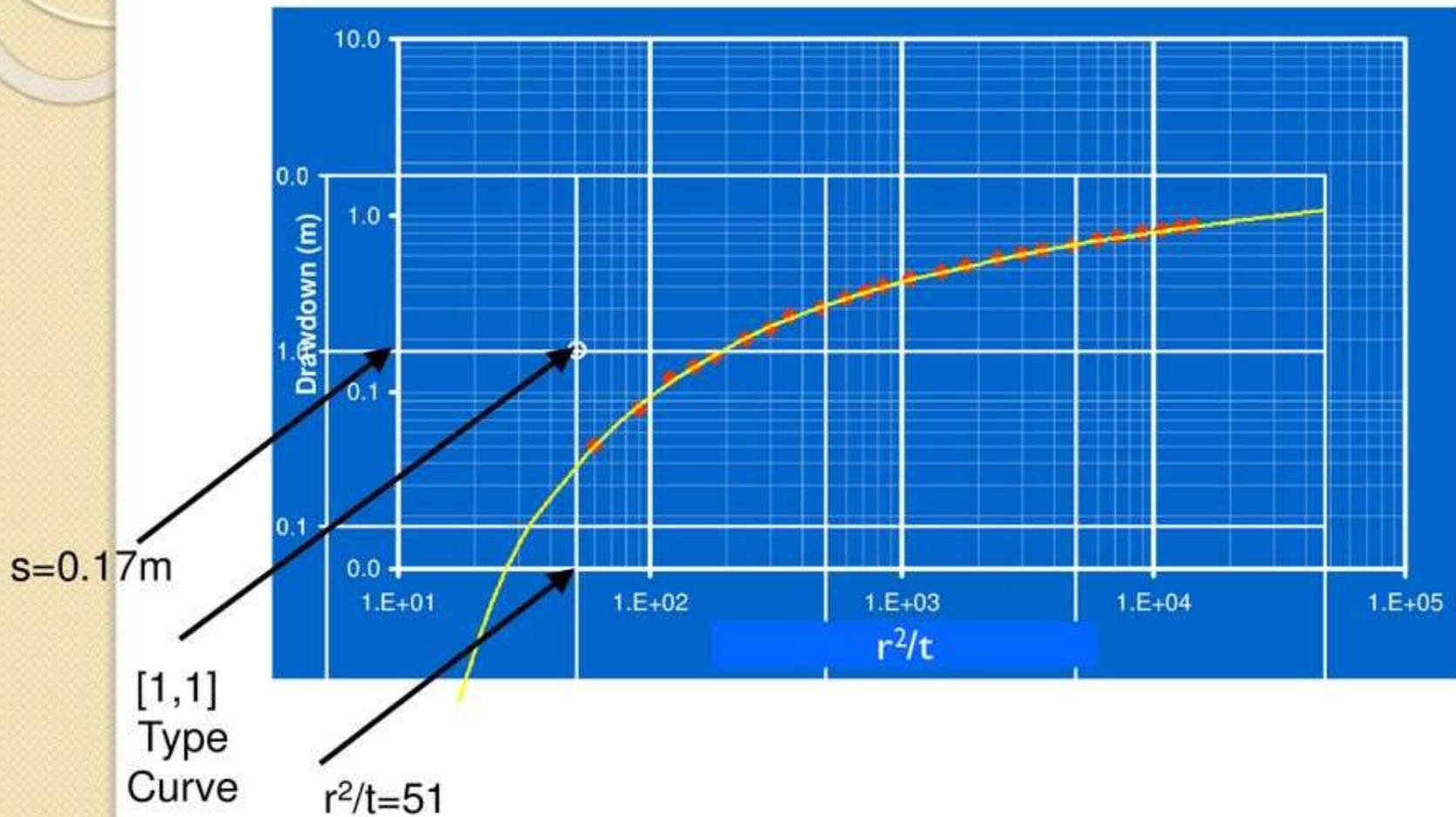
# Theis Plot : $1/u$ vs $W(u)$



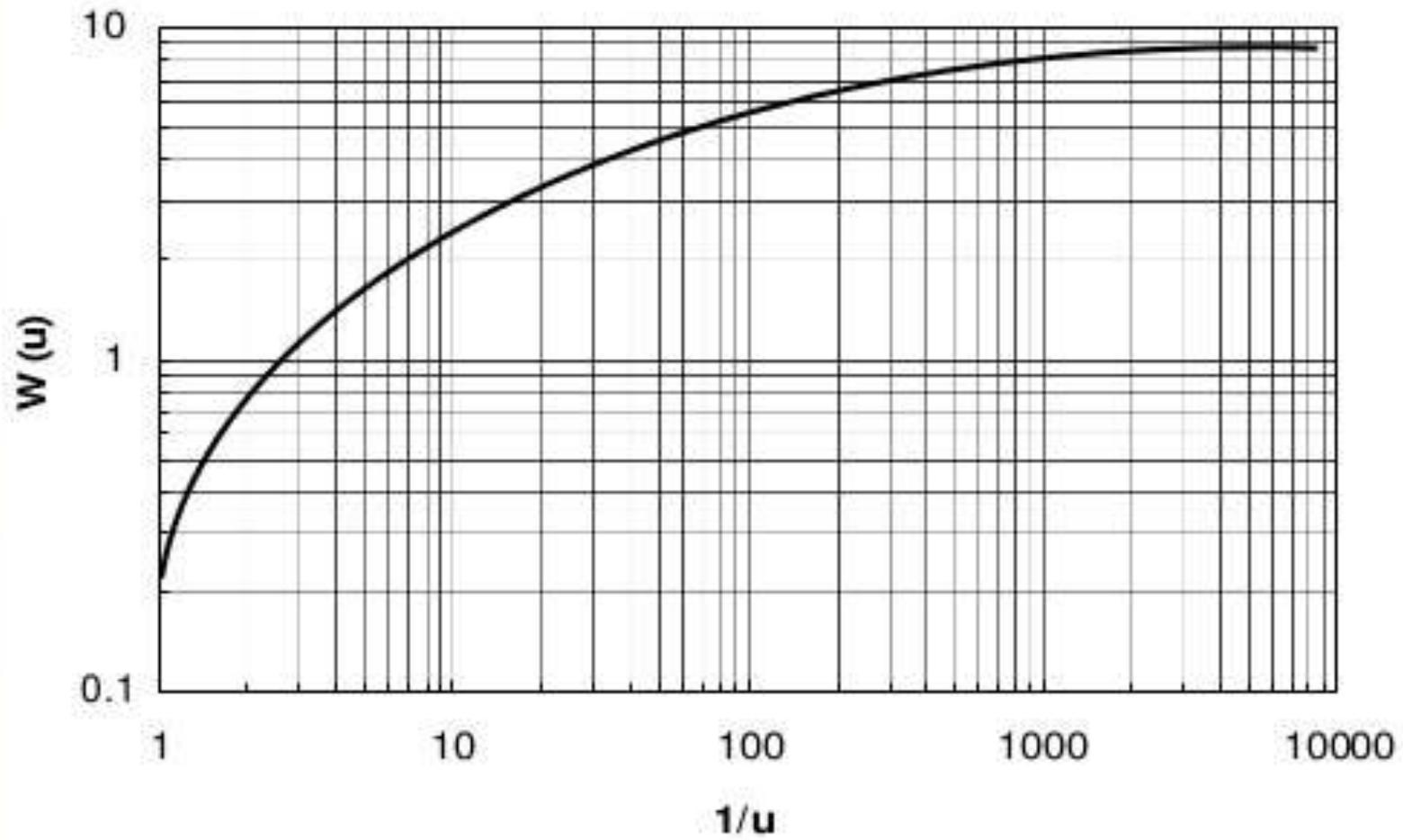
# Theis Plot : $s$ vs $r^2/t$

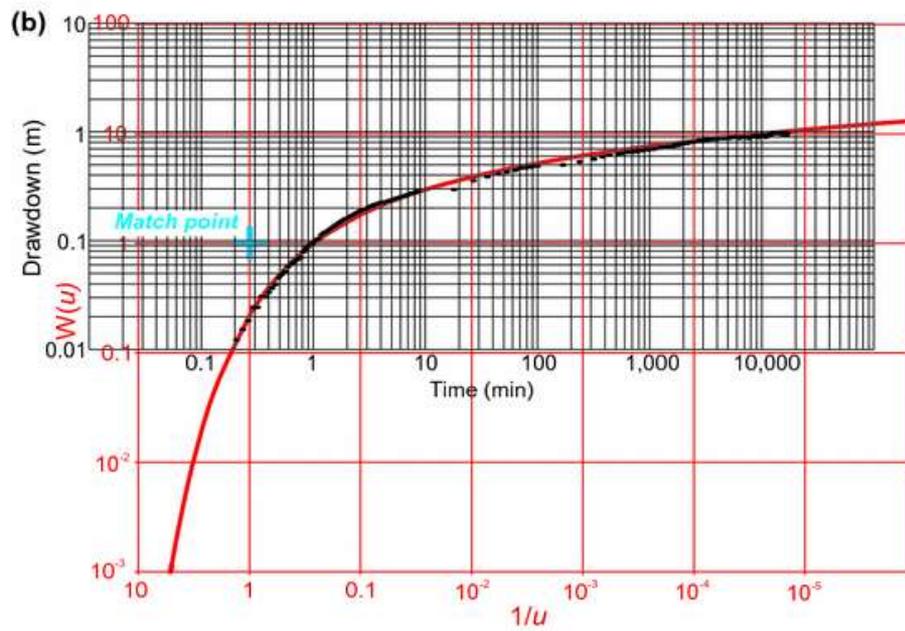
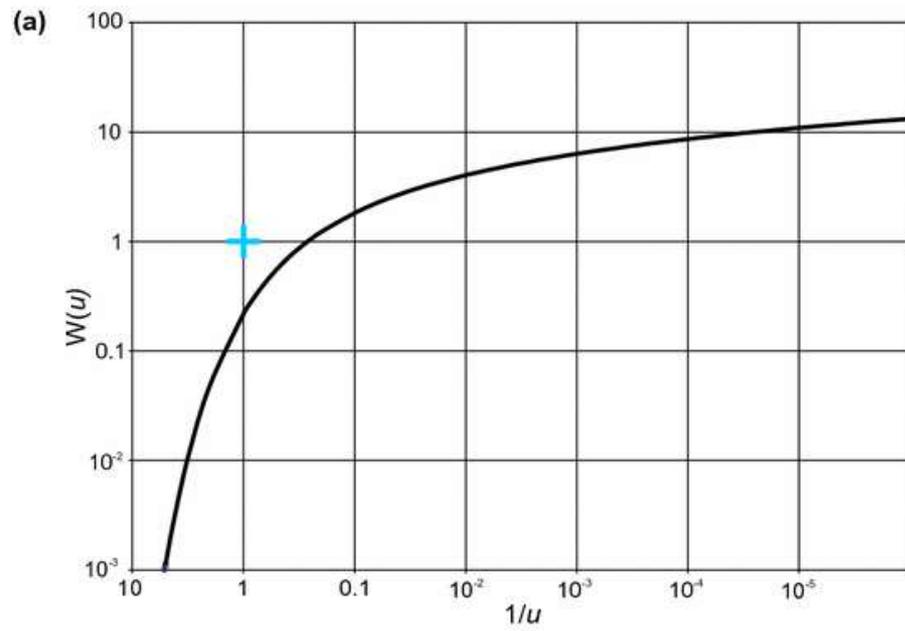


# Theis Plot: Matching

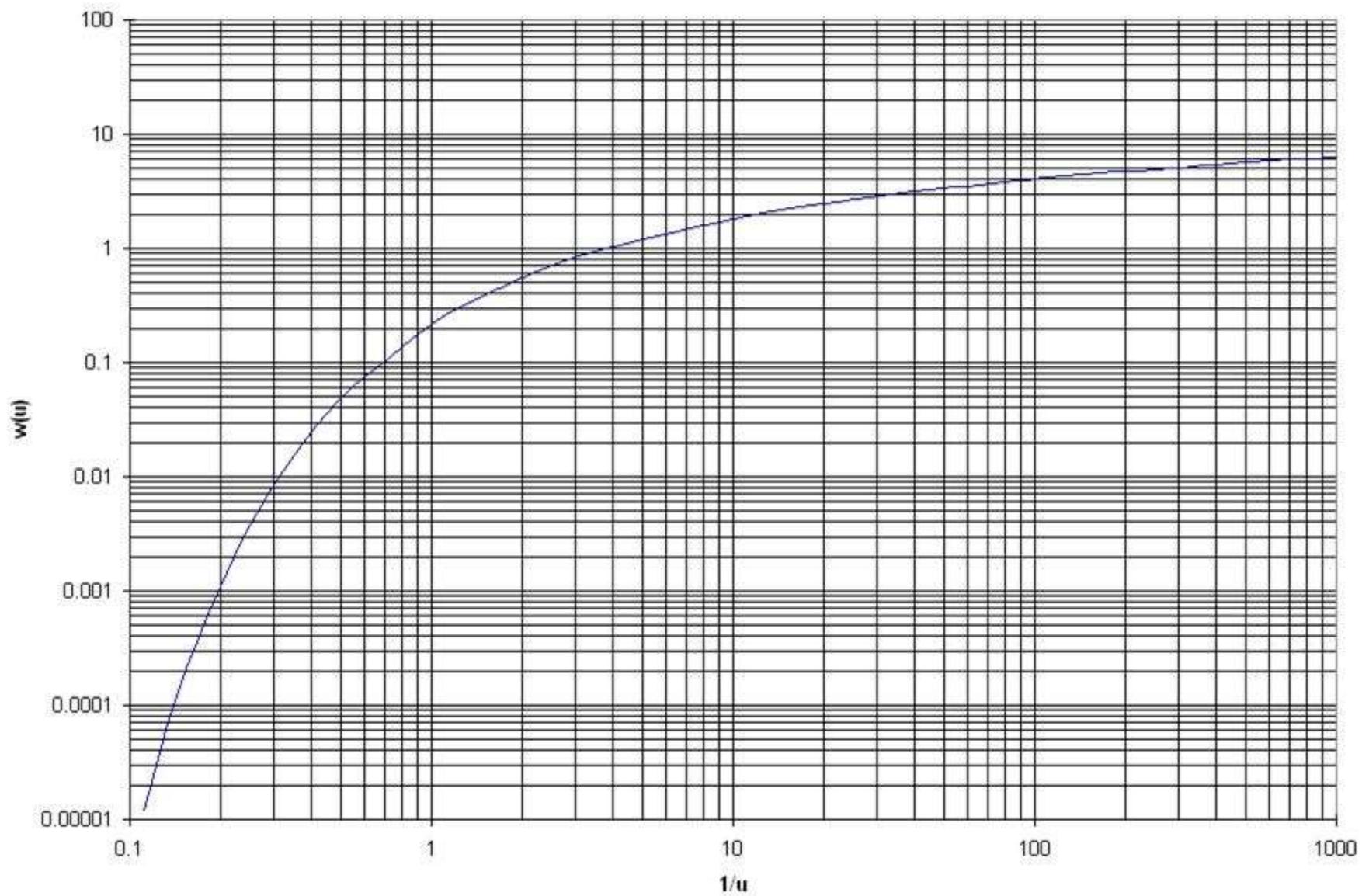


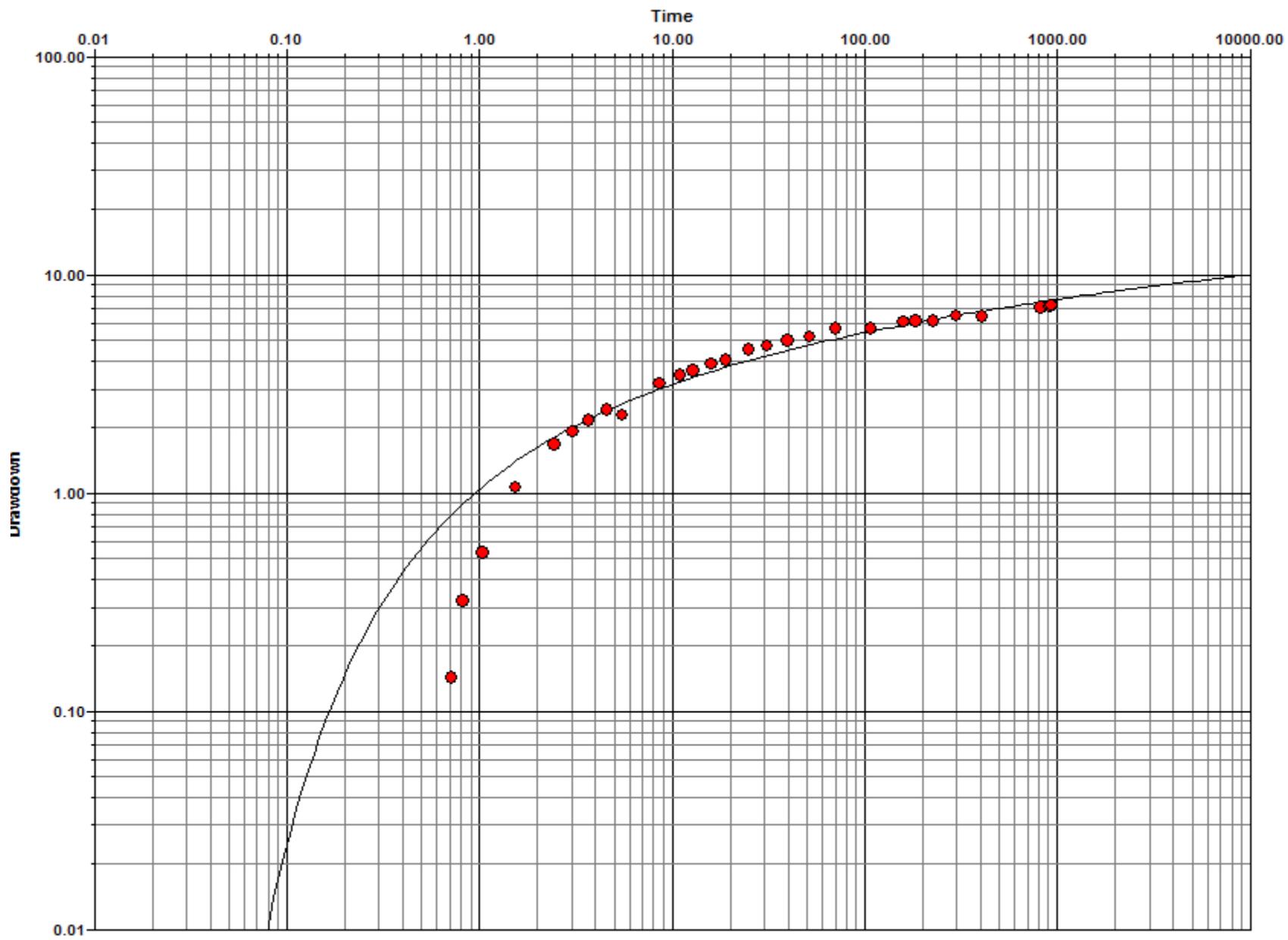
# Type Curve (used for Curve Matching Method, the Theis Method)

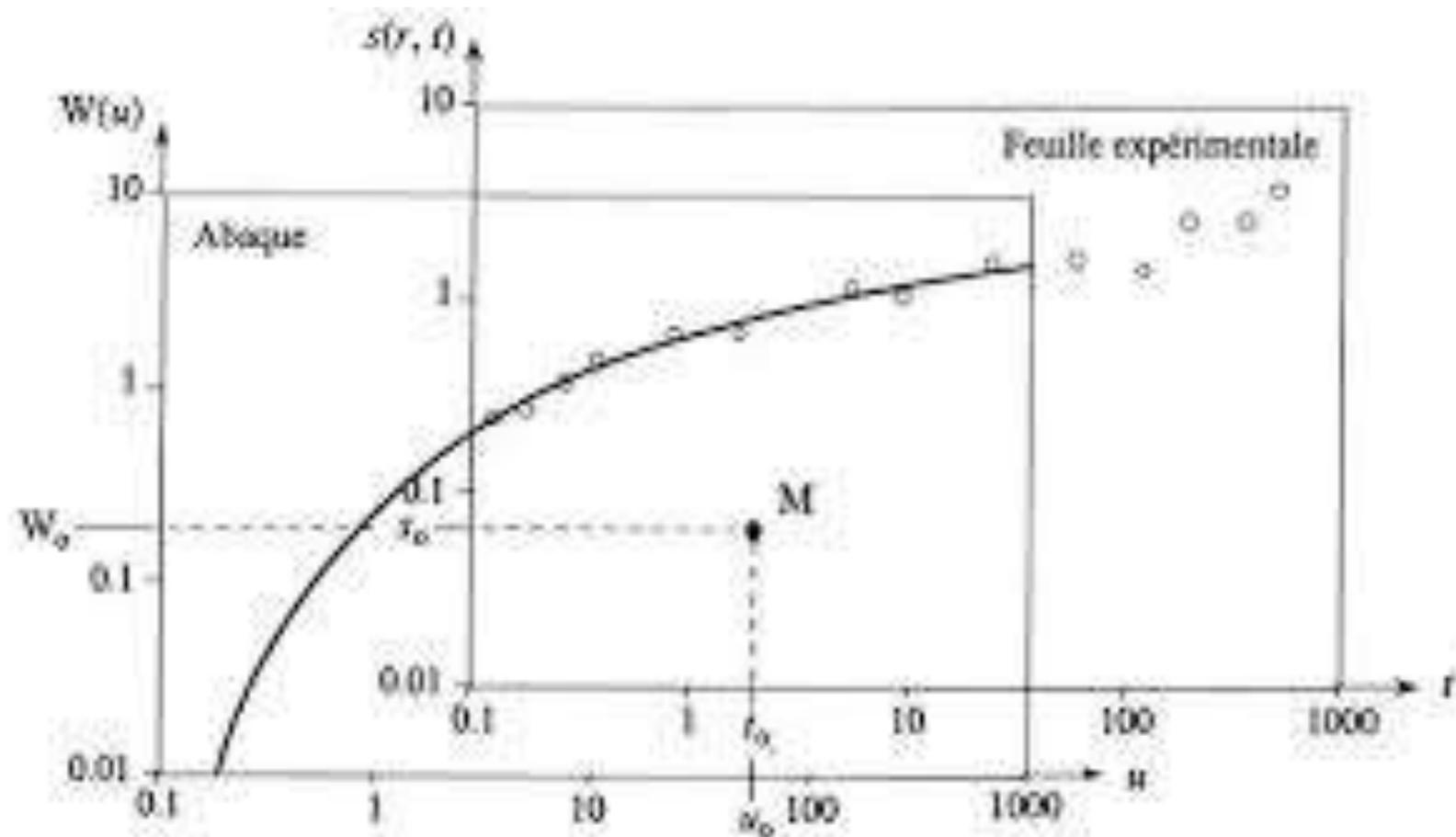




# THEIS CURVE







# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

### Méthode de Cooper-Jacob

#### Courbe de descente

Cette méthode se base sur une simplification de la méthode de Theis.

- On doit d'abord convertir les temps en une seule unité, par exemple en minutes. De même, les niveaux doivent être convertis en rabattements exprimés dans une seule unité, par exemple les mètres.
- Les rabattements observés au niveau d'un piézomètre durant le pompage sont alors reportés en fonction du temps correspondant sur un papier semi-logarithmique.
- Puis, on trace la courbe de descente, qui est la courbe qui s'ajuste le mieux à l'ensemble des points.



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

### Méthode de Cooper-Jacob

- Prolonger la droite jusqu'à l'axe des temps où  $s = 0$ , et lire la valeur de  $t_0$ .
- Calculer la pente de la droite, c'est-à-dire la différence de rabattement  $\Delta s$  par cycle logarithmique de temps.
- Porter les valeurs de  $Q$  et de  $\Delta s$  dans l'équation:

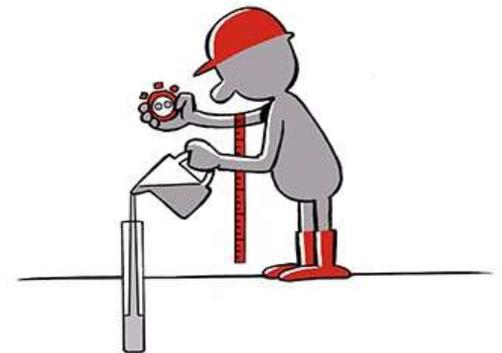
$$T = 2.30 Q / 4\pi \Delta s \quad (1)$$

- Connaissant  $T$  et  $t_0$ , calculer  $S$  à partir de l'équation:

$$S = 2,25 T t_0 / r^2 \quad (2)$$

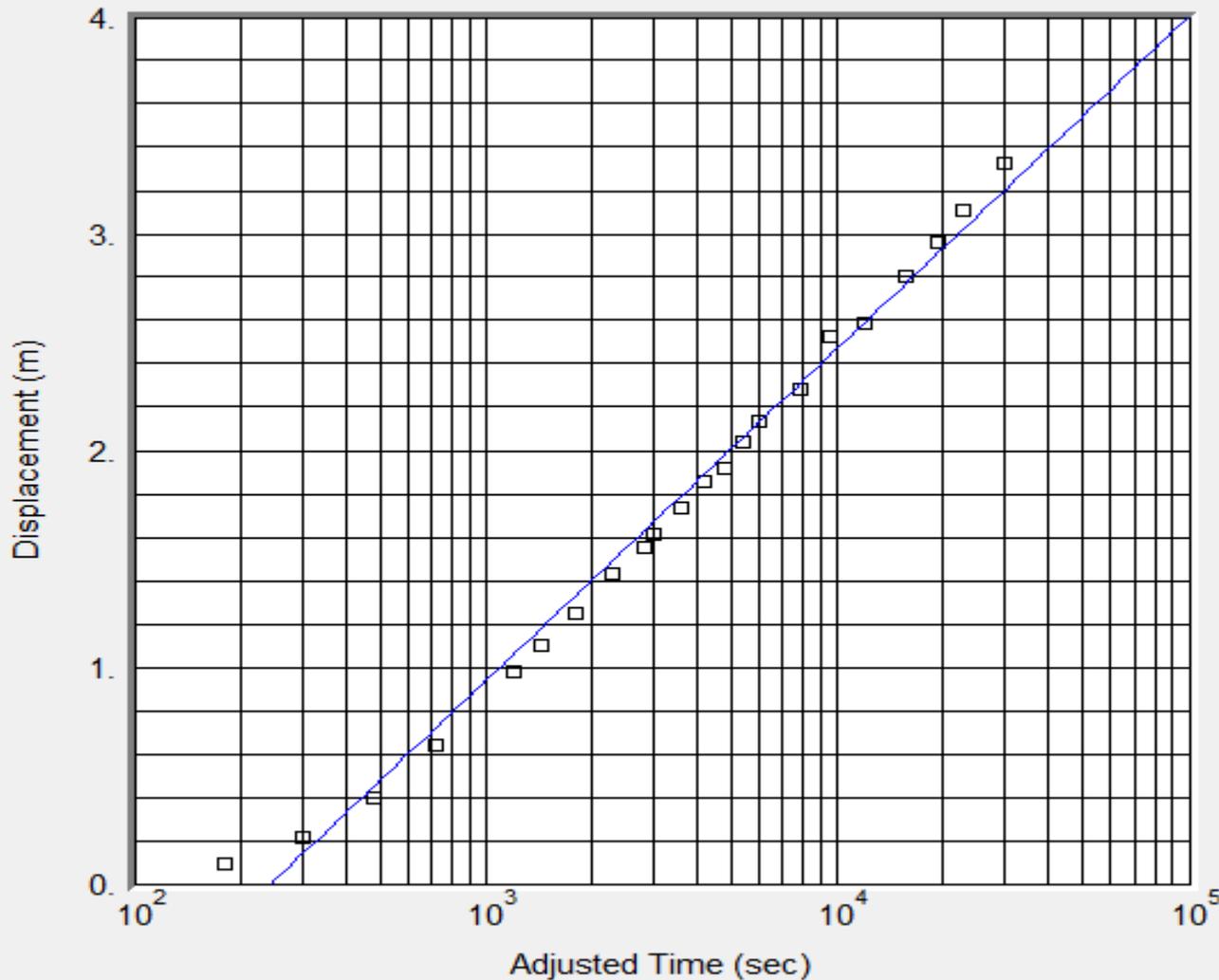
le rayon d'action  $R$  peut être calculé par:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation



### Obs. Wells

□ Obs Well

### Aquifer Model

Confined

### Solution

Cooper-Jacob

### Parameters

$T = 0.001659 \text{ m}^2/\text{sec}$

$S = 1.461\text{E-}5$

$$Q = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$r = 250\text{m}$$



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

### Méthode de Cooper-Jacob

### Courbe de remontée

Une fois le pompage achevé, le niveau d'eau cesse de descendre pour remonter vers sa position d'origine.

- On mesure la remontée par le rabattement résiduel ( $s_r$ ), c'est-à-dire la différence entre le niveau original de l'eau avant le pompage et le niveau mesuré à un certain moment ( $t_r$ ) de la remontée. ( $t_r$  : représente le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage).
- Les résultats de la remontée permettent eux aussi le calcul de la transmissivité et sont donc un moyen de contrôle des résultats de l'interprétation de l'essai durant la période de pompage.
- Porter ( $s_r$ ) en fonction de  $t/t_r$  sur un papier semi logarithmique ( $(t/t_r)$  en échelle logarithmique) et l'on trace la ligne droite par l'ensemble des points.



# Essai de pompage Longue durée (Essai de nappe)

## Analyse et interprétation

Méthode de Cooper-Jacob

Courbe de remontée

Nous pourrions calculer  $T$  selon l'équation:

$$T = 2.30 Q / 4\pi \Delta s_r$$

$T$ : Transmissivité ( $m^2/s$ ),

$\Delta s_r$ : Différence de rabattement par cycle log de  $(t/t_r)$

$Q$ : Débit de pompage ( $m^3/s$ ),

$t$ : Temps en minute depuis le temps de pompage,

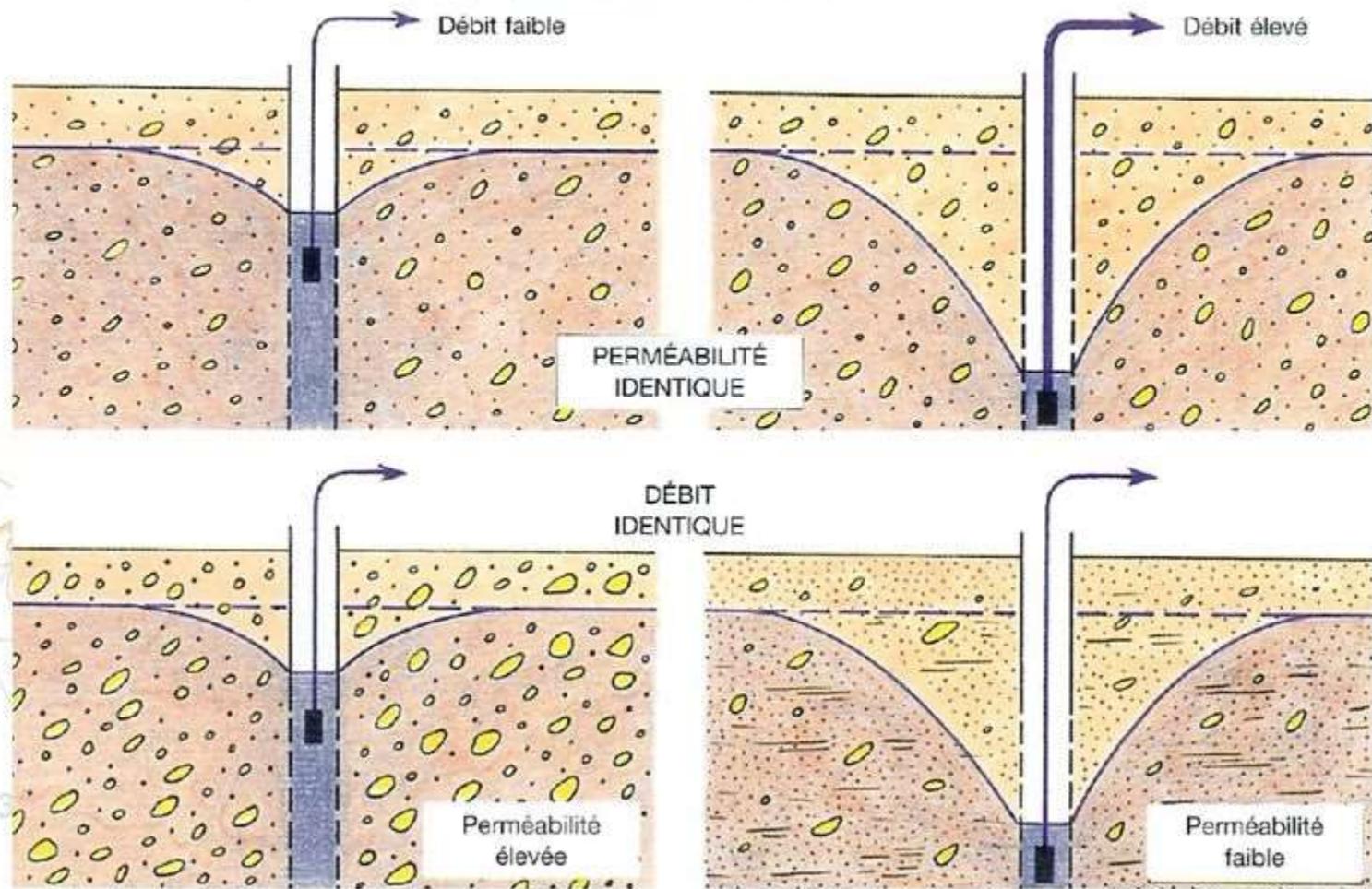
$(t/t_r)$ : Temps en minute depuis l'arrêt de pompage,

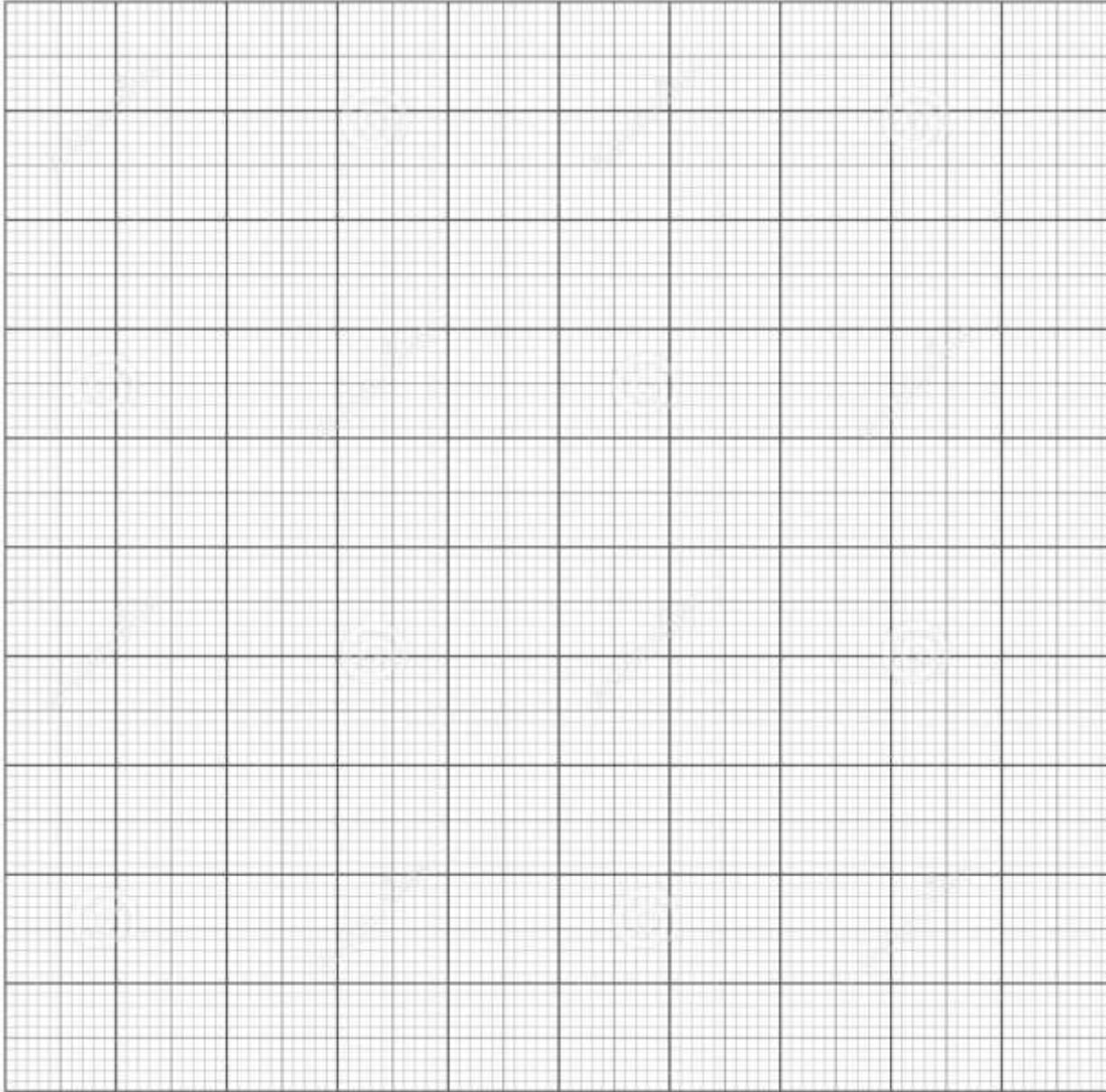
$s_r$ : Rabattement résiduel (m).

**NB: On ne peut pas obtenir le coefficient d'emmagasinement ( $S$ ) par cette méthode.**



# Test de pompage et productivité





# Papier millimétré



Download from  
**Dreamstime.com**

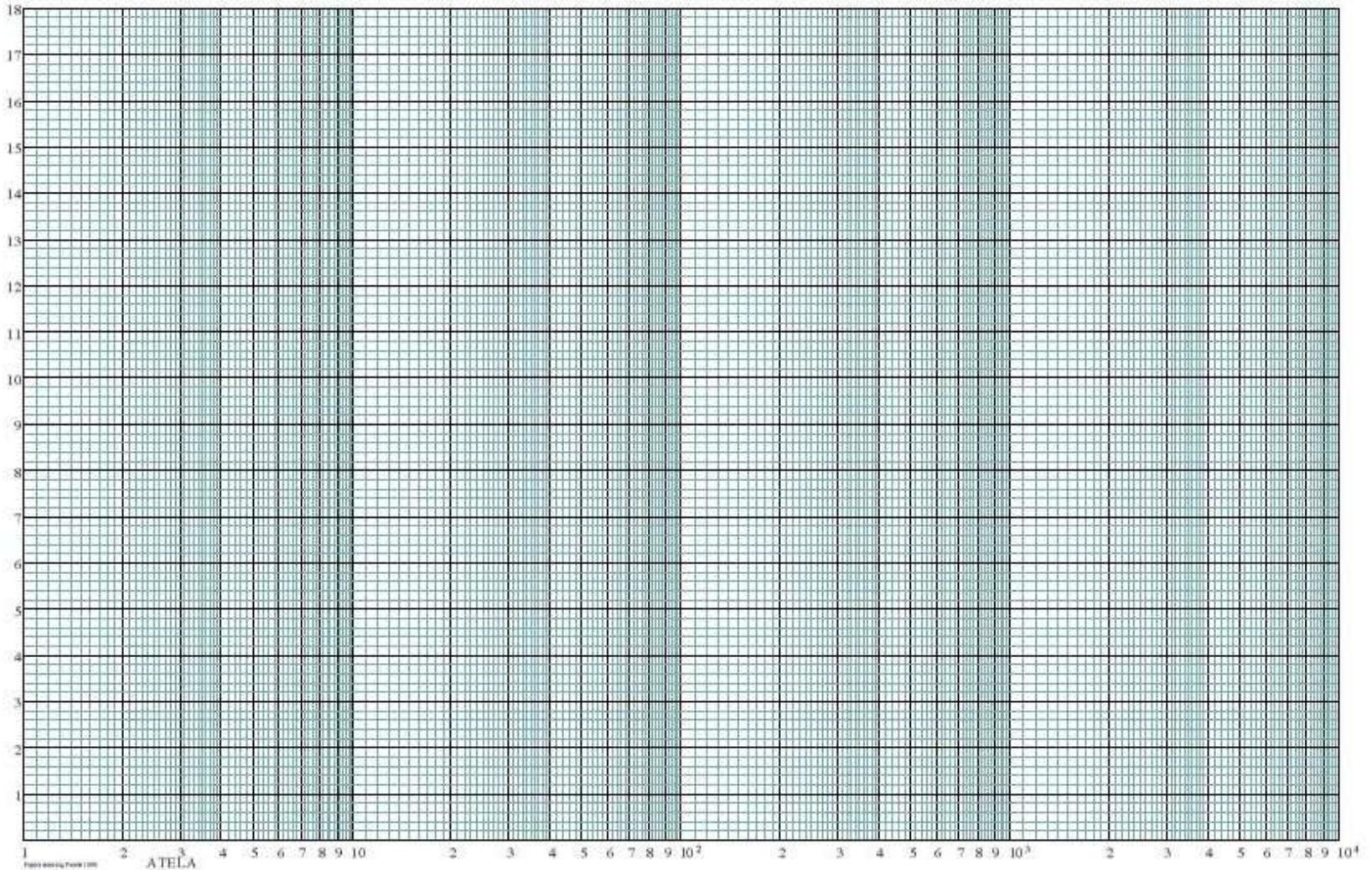
This watermarked comp image is for previewing purposes only.



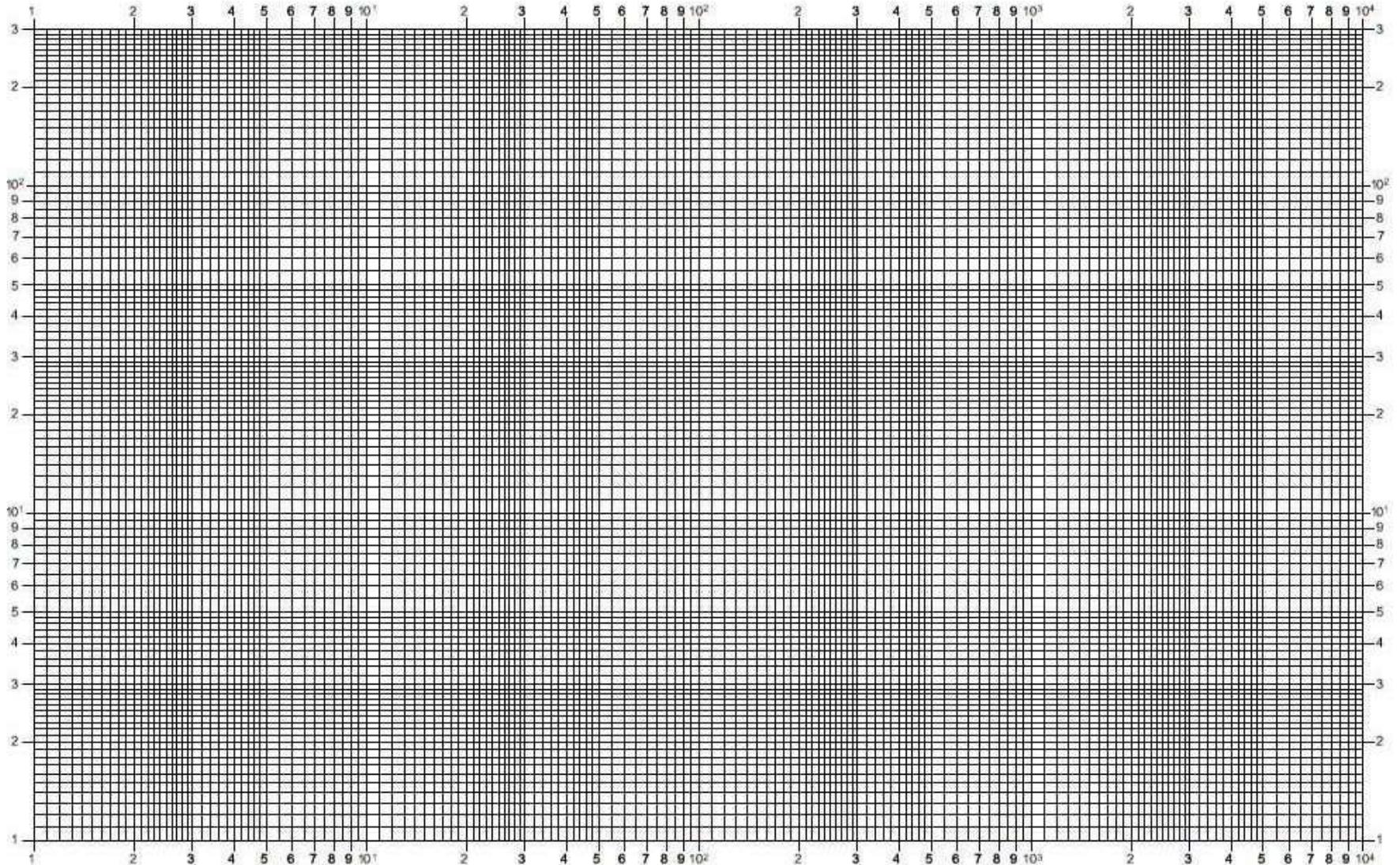
38202981

Aleksandr Akleshkin | Dreamstime.com

# Papier semi logarithmique

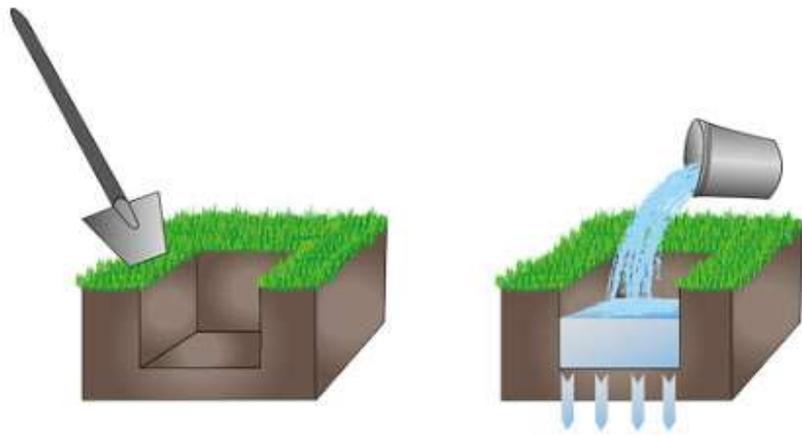


# Papier bi-logarithmique





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





*Merci  
Pour Votre  
Attention*

*Dr. K. BABA-HAMED*