## III.2. Essai de longue durée

Introduction

L'essai de nappe (*aquifer test*, connu aussi sous le nom d'e*ssai à débit constant* ou d'*essai longue durée*).

- Objectifs

→ L'essai de nappe consiste en un pompage de longue durée (durée minimale de 72 heures). Les contrôles comprennent le suivi des débits exhaurés et ceux du niveau de la nappe dans l'ouvrage et dans les piézomètres. On observe également la remontée des niveaux dans l'ouvrage et dans les piézomètres dès l'arrêt du pompage.

1. Mesure sur le terrain des paramètres hydrodynamiques : transmissivité T et coefficient d'emmagasinement S.
2. Etude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère : conditions aux limites, structure.
3. Observation directe, en « vraie grandeur », de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère. Prévision de l'évolution du rabattement en fonction des débits pompés. Évaluation de la ressource en eau souterraine exploitable.

III.2.1. Hypothèses de l'interprétation des essais de nappe :

- Milieu infini, homogène et isotrope ;
- Transmissivité constante (cas des nappes captives ou nappes libres peu rabattues) ;
- Problème plan, c'est-à-dire avec une charge constante sur une verticale (cas des nappes captives) ;
- Forage captant la nappe sur toute son épaisseur, pompant à débit constant, et rayon du puits négligeable et ;
- Nappe initialement immobile.

### III.2.2. Métrologie

Il y a deux sortes de mesures à prendre durant un pompage d'essai :

- Les mesures de niveau d'eau
- Les mesures de débit.

III.2.2.1. Mesure des niveaux d'eau

Les niveaux piézométriques doivent être mesurés périodiquement avant, pendant et après l'essai de pompage, afin d'évaluer correctement les rabattements.

* Mesures pendant l'essai

Ces mesures doivent être effectuées à maintes reprises, et de façon aussi parfaite que possible. Comme les niveaux d'eau s'abaissent rapidement durant les premières heures de pompage, les lectures doivent être faites à brefs intervalles, puis de plus en plus espacées au fur et à mesure que le temps passe (tab. I.1).

Tableau III.1 : Intervalles de temps entre deux mesures de niveau d'eau dans le puits d'essai.

| *Temps depuis le début du pompage* | *Intervalle de temps* |
|---|---|
| *O - 5 minutes* | *1/2 minute* |
| *5 - 60 minutes* | *5 minutes* |
| *60 - 120 minutes* | *20 minutes* |
| *120 minutes arrêt de pompage* | *60 minutes* |

De même, pour les piézomètres, on commence à prendre des mesures rapprochées, puis de plus en plus espacées dans le temps.

Tableau III.2 : Intervalles de temps entre deux mesures de niveau d'eau dans les piézomètres.

| ***Temps depuis le début du pompage*** | ***Intervalle de temps*** |
|---|---|
| *0 - 2 minutes* | *environ I0 secondes* |
| *2 - 5 minutes* | *30 secondes* |
| *5 - 15 minutes* | *1 minute* |
| *15 - 50 minutes* | *5 minutes* |
| *50 - 100 minutes* | *10 minutes* |
| *100 mn -5 heures* | *30 minutes* |
| *5 h - 48 heures* | *60 minutes* |
| *40 h - 6 jours* | *3 fois par jour* |
| *6 jours - arrêt du pompage* | *1 fois par jour* |

Il est toujours intéressant de disposer de nombreux piézomètres, et un nombre minimal de trois est à conseiller.

- Dans les nappes captives on peut alors mesurer les effets du pompage jusqu'à de grandes distances (centaines de mètres du puits d'essai).

- Par contre, dans les nappes libres, la baisse du niveau piézométrique n'est mesurable que sur une distance assez courte, n'excédant généralement pas la centaine de mètres.

- Les nappes semi-captives ont un comportement intermédiaire.

* Mesures après l'essai

Après l'arrêt du pompage, les niveaux d'eau commencent à remonter dans le puits d'essai et dans les piézomètres. Cette remontée est rapide durant les premières heures, puis de plus en plus lente.

Dans le cas où le débit de pompage n'était pas parfaitement constant, les mesures prises à la remontée sont plus dignes de confiance que celles à la descente du niveau piézométrique. La remontée est donc un contrôle de la descente, et les modalités des mesures sont les mêmes que pour la descente.

- Mesure du débit de pompage :

Le débit pompé peut être mesuré par diverses méthodes (Driscoll, 1986) :

- débimètre ou compteur d'eau,
- tube de Pitot,
- déversoir triangulaire ou rectangulaire,
- mesures géométriques du jet sortant d'un tuyau

### III.2.3. Interprétation des données

On doit alors passer à l'analyse des résultats. Cette analyse comprend :

- la mise en graphique des données
- la correction des rabattements dans le cas des mouvements régionaux de la nappe qui ne sont pas dùs au pompage.
- la détermination de la catégorie de l'aquifère.

*** Mise en forme des données**

- 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 dans chaque piézomètre durant le pompage sont alors reportés en fonction du temps correspondant sur un papier semi-logarithmique ou, le cas échéant, sur un papier bi-logarithmique. Puis, on trace la courbe de descente, qui est la courbe qui s'ajuste le mieux à l'ensemble des points.

- Une fois toutes les corrections sont effectuées, on trace une nouvelle série de courbes de descente. Puis, on détermine la catégorie de l'aquifère, on compare les courbes de descente de chaque piézomètre avec les courbes de référence de la figure III.7, ci-dessous.

- Enfin, on porte son attention sur les conditions d'écoulement de la fin du pompage, pour choisir la méthode correcte d'interprétation. En effet, comme les calculs se font soit en régime permanent, soit en régime transitoire, il est important de savoir dans quel état on était à la fin du pompage.

- On utilise pour cela les courbes de descente qui, pour les raisons expliquées ci-dessus, varient de plus en plus faiblement au fur et à mesure que le temps passe. Si le pompage a duré un temps suffisamment long, il arrive souvent que les courbes de rabattement en fonction du temps deviennent des lignes droites parallèles. Cela signifie que le gradient hydraulique est devenu constant, ou en d'autres termes que l'on a atteint le régime permanent.

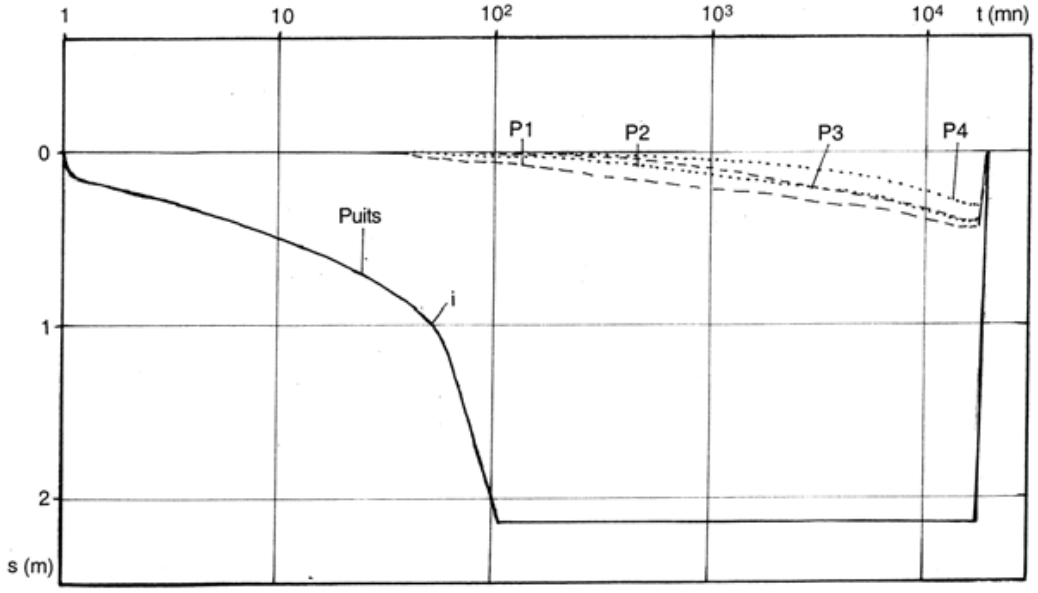


Fig. III.7 : Courbes de descente-temps ( puits et piézomètres)

### III.2.3. Déroulement de l'essai à débit constant

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

1. Choisissez un point de référence,

2**.** Ouvrez la vanne au réglage approprié et enclenchez simultanément la pompe et le chronomètre,

3. 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. Consignez tous les relevés sur un formulaire standard.

4. Mesurez le débit de pompage juste après le début de l'essai, puis à intervalles réguliers (toutes les 15 minutes paraît raisonnable pendant les premières heures, puis fixez une fréquence adéquate pour le reste de l'essai).

5. 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, [GENETIER, 1992, 1997].

### III.2.4. Analyse et interprétation

L'interprétation des données (descente et remontée) reposent sur l'emploi des expressions hydrodynamiques en régime transitoire établies par C.V. THEIS (1935) et ses successeurs (L.K.Wenzel, 1942 et C.E. Jacob, 1950). La formule de THEIS se présente sous deux formes : soit formule exponentielle intégrale, soit approximation logarithmique de celle-ci. C'est cette dernière, d'un maniement plus aisé, qui est la plus souvent utilisée, (Kruseman, 1993, Kruseman et al., 1974**).**

#### III.2.4.1. Interprétation des pompages d'essai en nappe captive

III.2.4.1.1. Méthode bi-logarithmique de Theis (méthode de la courbe universelle)

La solution analytique donnant le rabattement de la surface d'une nappe captive lors d'un pompage à débit constant en régime transitoire a été développée par Theis (1935) par analogie avec les problèmes de conduction de la chaleur. Lors d'un essai de pompage dans un puits de diamètre infinitésimal pénétrant totalement un aquifère poreux à nappe captive, homogène, isotrope, d'épaisseur constante et d'extension infinie, le rabattement s (m) est donné par la formule, (III.4).

L'équation du régime transitoire, ou de THEIS, peut s'écrire par la formule **[**Forkasiewicz**,**1972, De Marsily, 1981**] :**

$$s(u) = \frac{Q}{4\pi T}\underbrace{\int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}du}_{W(u)} \qquad \text{(III.4)}$$

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

Et ;
(III.5)

Avec :
**s** : le rabattement, mesuré dans un piézomètre situé à une distance r, en m, du puits de pompage,
Q : débit constant de pompage, en $m^3/s$, S : le coefficient d'emmagasinement, sans dimension
T : la transmissivité de l'aquifère en $m^2/s$, t : le temps depuis le début du pompage.

Le symbole W(u), qui est une façon abrégée d'écrire la fonction exponentielle intégrale, est généralement appelé "fonction de puits de THEIS.

Grâce à l'équation (III.4) et (III.5), on peut voir que si **(s)** est mesuré pour une ou plusieurs valeurs de **(r)** et pour différentes valeurs du temps **(t)** et si le débit **Q** est connu, on peut calculer ***S*** et **T.**

La présence de deux inconnues et la nature même de la fonction exponentielle intégrale rendent impossible toute solution explicite. Cependant, i1 existe plusieurs méthodes graphiques d'approximation, **[**Forkasiewicz**,** 1972, Marsily, 1981**].**

**a) Condition d'application de la méthode de THEIS**

- La nappe est captive ;
- L'écoulement vers le puits est en régime transitoire ;
- L'eau provenant de l'emmagasinement est libérée instantanément avec la baisse de la charge hydraulique ;
- Le diamètre du puits de pompage est très faible, c'est à dire que l'on peut négliger l'emmagasinement dans le volume du puits ;
- Aquifère horizontal est homogène, isotrope, infini et de même épaisseur influencé par le pompage ;
- Puits de pompage est parfait, donc écoulement bidimensionnel ;
- Débit pompé est constant et ;
- Nappe initialement en repos.

**b) Mode opératoire**

- Construire une "courbe type" de la fonction de puits de Theis sur une feuille bi-logarithmique en portant les valeurs de W(u) en fonction de u. Cependant, i1 est souvent plus pratique d'utiliser la courbe "renversée", obtenue en portant les valeurs de W(u) en fonction de l/u,
- Porter de la même façon sur une autre feuille bi-logarithmique de même module les valeurs de s en fonction de $t/r^2$,
- 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 (Fig. III.8). [Detay, 1993],
- Choisir un point de référence arbitraire (A), que l'on appellera point pivot, dans la zone de chevauchement des deux feuilles et chercher pour ce point les coordonnées W(u), 1/u, s et $t/r^2$,

En fait, les calculs seront plus commodes si l'on choisit ce point de façon que W(u) = 1 et 1/u = 10.

- Porter les valeurs de W(u), **s** et Q dans l'équation III.4 et résoudre par rapport à T.

A la superposition, un point $M_0$ aura dans les deux systèmes d'axes, des coordonnées ;

$A_0$ ($t_0$ ; $s_0$) et $A_0$ ($1/u_0$ ; $W_0$) telles que :

$$s_0 = \frac{Q}{4\pi T} w_0 \qquad \frac{1}{u_0} = \frac{4T}{Sr^2} t_0 \rightarrow \boxed{T = \frac{Qw_0}{4\pi s_0}} \qquad \boxed{S = \frac{4Tt_0}{r^2(1/u_0)}}$$

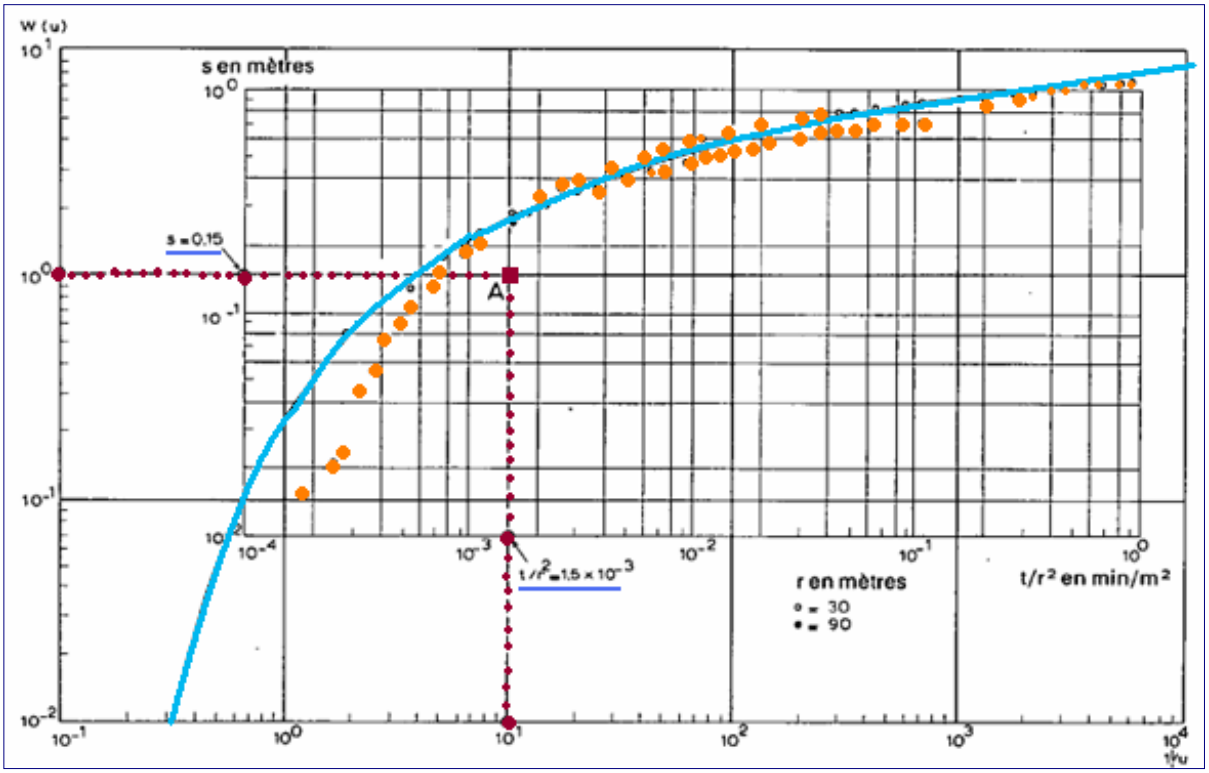


Fig. III.8 : Interprétation d'un essai de pompage par la méthode de THEIS.