ECOULEMENT DES EAUX VERS LES OUVRAGES DE CAPTAGE
« REGIME DE NON EQUILIBRE»

Les ouvrages de captage peuvent être divisés en deux grandes catégories :

*Les tranchées, fossés et galeries.
*Les puits et les forages.

L'ouvrage est dit parfait ou complet, lorsqu'il atteint le substratum imperméable et capte la nappe sur toute sa hauteur. Si son fond est situé plus haut, il sera dit imparfait ou incomplet.

A) Etablissement des formules et graphiques du régime de non équilibre :

Les méthodes d'interprétation des formules de non équilibre sont très variées. La résolution mathématique de ces formules conduit à des calculs longs et compliqués et leur expression n'est pas directement représentative, donc on a intérêt à faire des solutions graphiques. Ces solutions ou 'essais de puits' seront exécutées avec un certain débit «Q» et des rabattements croissants «Δ».Deux méthodes sont utilisées, selon le but de l'essai :

1- ***Essai de puits, par palier de débit de courtes durées, avec mesure du niveau d'eau dans le puits.***

2- ***Essai de puits, à un seul palier de débit de longue durée, avec mesure de niveau d'eau dans le puits et dans les pièzomètres.***

Les conditions de base pour l'application de ces représentations sont :

*L'aquifère a une extension latérale illimitée.
*L'aquifère est homogène ,isotrope et d'épaisseur uniforme dans la zone étudiée.
*Avant le pompage, la surface pièzométrique est presque sub- horizontale.
*Le puits est complet.

I - Essai de puits, par palier de débit de courtes durées :

Ces essais se font dans le but d'évaluer les caractéristiques de l'aquifère, par rapport au puits, afin de déterminer le débit critique, le débit spécifique, les pertes de charge et le débit maximal d'exploitation.

Ces essais permettent aussi d'établir le programme d'équipement technique du puits : tubage, crépines, massif filtrant, puissance de la pompe….etc.

1- Graphe Débit/Temps de pompage :

Représenté sur un papier graphique, à coordonnées linéaires.

2-Courbe caractéristique (courbe Q/Δ) :

Représentée sur un papier graphique, en abscisses :les débits Q et en ordonnées, les Δ.
La forme de la courbe nous donne des informations sur le comportement hydrodynamique de l'aquifère, vis-à-vis du puits :

- **Droite :** perte de charge quadratique nulle ou négligeable.
- **Convexe :** perte de charge quadratique importante.
- **Concave :** essai de puits non valable (mesures incorrectes).

NB : Le Δ est donné par la formule de Jacob : $\Delta = CQ + BQ^2$

CQ :perte de charge linéaire (provoquée par un écoulement linéaire)
BQ² :perte de charge quadratique (provoquée par un écoulement turbulent)

A partir de la courbe caractéristique, on peut déterminer :

***Le débit critique :** C'est le point de fluctuation de la courbe.

***Le débit d'exploitation :** C'est tout débit inférieur au débit critique et jugé être régulièrement exploitable « Q_e ».Ce débit correspond à un rabattement maximal Δ_{max}

***La droite débit spécifique/rabattement q_Δ/Δ :**

$$q_\Delta = Q/\Delta$$

Nous reportons sur un graphique, en abscisses **q_Δ** et en ordonnées, les **Δ.** On aura une droite inclinée. A partir de ce graphe, on peut calculer le débit spécifique relatif pour un rabattement d'un mètre (1m).

***Droite Q/ Δ spécifique :**

$$\Delta \text{ spécifique} = \Delta/Q \ (m/m^3h) \leftrightarrow \frac{CQ+BQ^2}{Q} = C+BQ$$

Le rabattement spécifique est la hauteur du rabattement mesuré dans le puits, rapporté au débit de pompage.

La relation :Q, Δ spécifique est représentée par un graphe de 4 cas :

1- **Droite passant par l'origine :** (1)

Déterminant un régime turbulent dans le puits **($\Delta=BQ^2$)**

2- **Droite ne passant pas par l'origine :** (2)

($\Delta=CQ+BQ^2$)

3- Droite à pente nulle, verticale et parallèle à l'axe des ordonnées :(3)

Traduisant un écoulement laminaire, avec pertes de charge quadratiques nulles ou négligeables. **($\Delta=CQ$).**

4- **Courbe concave vers le haut :(4)**

($\Delta=CQ+ BQ^n$) Avec :n=2,3,4….

-Calcul de pertes de charge, de l'expression de Jacob :

La droite rabattement spécifique/Q permet de déterminer les coefficients B et C de l'équation:

$$\Delta/Q = C+BQ$$

*Le coefficient 'C' est obtenu par l'intersection de la droite représentative, avec l'axe des rabattements spécifiques.Dans l'exemple,C=0,01

*Le coefficient 'B'est la pente de la droite représentative :

$$B= tg\alpha=a/b= \frac{0{,}04 - 0{,}01}{200}$$

B= 0,00015.

L'équation de la droite sera :

$\Delta=CQ+BQ^2 \leftrightarrow \Delta= 0{,}01+0{,}00015Q^2$; Cette droite est de type (2).

NB :

*Pour une nappe libre ou captive, on applique la même résolution, sauf pour les nappes captives, si nous avons des **sondages profonds**, on utilise aussi l'expression de **Gausselin**.*

-Expression de Gausselin :

Appliquée aux sondages profonds, dans les nappes captives :

$$Q= C\Delta^{\alpha}$$

α: Coefficient compris entre 0,5 et 1.

Cette expression est résolue graphiquement, en portant les Q et les Δ qui leurs correspondent, sur un papier bilogarithmique. La droite représentative a pour équation :

$$\text{Log } Q= \alpha \text{ Log } \Delta+\text{Log } C$$

-D'après le graphe : pour Δ=1m, on obtient la constante C.

-Déduire les pertes de charge :

Si seules les pertes de charge linéaires interviennent, la pente de la droite représentative est égale à tg 45°=1

L'équation de Gausselin sera :**$Q=C\Delta^{\alpha} \leftrightarrow Q=C\Delta$ avec :$0,5<\alpha<1$**

Si : $\alpha \neq 45° \rightarrow Q=C\Delta^{\alpha}$ (Pertes de charge quadratiques).

II - Essai de puits de longues durées :

Ces essais sont exécutés par un seul palier de débit constant, durant au moins 48h.

1- Méthode de Theîs (1935) : Descente

En plus des conditions d'application, citées auparavant, on doit aussi satisfaire aux conditions suivantes :
-Nappe captive
-Régime transitoire
-L'eau provenant de l'emmagasinement est libérée instantanément, avec la baisse de la charge hydraulique
-Le diamètre du puits est très faible.

A) Méthodes graphiques, par approximation logarithmique :

La formule d'approximation logarithmique de Theis est :

$$\Delta= \frac{0,183Q}{T} \text{ Log } \frac{2,25Tt}{x^2.S}$$

T : Transmissivité (m²/s)
t :Temps écoulé depuis le début du pompage (s)
x : Distance du pièzomètre, à l'axe du puits (m).

Cette formule est représentée par plusieurs graphiques :

1- Droite rabattement-Log du temps :

Les données du pompage sont reportées sur un papier semi-logarithmique. En abscisses :Log du temps de pompage et en ordonnées :les rabattements, en mètres.

-La courbe observée au début du pompage traduit l'effet de capacité de l'ouvrage.
-Le point d'intersection avec l'axe des abscisses mesure le temps fictif, à l'origine t_0.

***Calcul des paramètres hydrodynamiques :**

$T = \frac{0,183Q}{C}$ (Transmissivité).

$S = \frac{2,25Tt_0}{x^2}$ (Coefficient d'emmagasinement).

2- Droite rabattement spécifique/Log temps :

$$\frac{\Delta}{Q} = \frac{0,183}{T} \left(\text{Log} \frac{2,25T}{x^2.S} + \text{Log } t\right)$$

$$T = \frac{0,183}{C}$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{x^2}$$

3- Droite Δ/Log $\frac{t}{x^2}$

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \text{ Log} \frac{2,25Tt}{x^2.S}$$

$$T = \frac{0,183Q}{C}$$

$$S = 2,25Tt_0$$

4- Droite Δ spécifique /Log $\frac{t}{x^2}$:

$$\frac{\Delta}{Q} = \frac{0,183}{T} \left(\text{Log} \frac{2,25Tt}{x^2.S}\right)$$

$$T = \frac{0,183}{C}$$

$$S = 2,25Tt_0$$

-Toutes ces droites (méthodes graphiques) par approximation logarithmique permettent de calculer rapidement T et S.
-Il y a une autre méthode, dite de ***la courbe de la fonction caractéristique***.

Courbe de la fonction caractéristique :

On porte sur un papier transparent, bi logarithmique, en abscisses $\frac{x^2}{t}$ ou $\frac{t}{x^2}$ et en ordonnées (Δ).La courbe expérimentale obtenue sur calque est un segment de la courbe standard.

$\Delta = \frac{Q\ w(u)}{4\ \pi\ T}$ Avec : $u = \frac{x^2\ S}{4Tt}$

Pour calculer T et S ,on doit superposer la courbe expérimentale sur la courbe standard et par tâtonnement, on fait coïncider les deux portions de courbes. Les axes seront parallèles et un point arbitraire sera choisi avec ses cordonnées. On aura :

$\Delta = \frac{Q\ w(u)}{4\ \pi\ T}$

$T= \frac{Q\ w(u)}{4\pi\Delta}$

$S= \frac{4Ttu}{x^2}$

A partir de la superposition des deux courbes, on détermine les coordonnées du point arbitraire :

$u = ?$

$w\ (u) = ?$

$\Delta= ?$

$\frac{x^2}{t} = ?$

2- Méthode de Jacob : Descente

Elle s'appuie sur la formule de Theis, mais les conditions de son application sont plus restrictives : En plus des conditions de la méthode de Theis, les valeurs de « u » sont faibles ($u < 0,01$).

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

$\Delta = \frac{2,30\ Q}{4\pi\ T}\ \mathrm{Log}\ \frac{2,25Tt}{x^2.S} \leftrightarrow \Delta = \frac{\mathbf{0,183}\ Q}{T}\ \mathrm{Log}\ \frac{2,25Tt}{x^2S}$

$T= \frac{0,183\ Q}{\Delta_\Delta}$

$S= \frac{2,25Tt_0}{x^2}$

$\Delta_\Delta=\frac{0,183Q}{T}$ C'est la pente de la ligne droite déterminée sur le graphe et on remplace.

3- Méthode de la remontée de Theis :

Une fois le pompage terminé, le niveau d'eau cesse de descendre pour remonter vers sa position d'origine. On mesure cette remontée par le *rabattement résiduel* **Δ'** c'est-à-dire la différence entre le niveau original de l'eau, avant le pompage et le niveau mesuré à un instant « t' » de la remontée (t' représente le temps écoulé, depuis l'arrêt du pompage). Les résultats de la remontée permettent de calculer la transmissivité. Ils sont donc un moyen de contrôle des résultats de l'interprétation de l'essai de pompage, durant toute sa période.
La méthode de remontée de Theis peut s'utiliser pour mesurer les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère, lorsque les conditions de la méthode de Jacob sont satisfaites.

Si : $u = \frac{x^2 S'}{4Tt'}$ est suffisament petit, le rabattement résiduel Δ' selon Theis sera :

$$\Delta' = \frac{Q}{4\pi T}\left(\ln \frac{4Tt}{x^2 S} - \ln \frac{4Tt'}{x^2 S'}\right)$$

Δ':Rabattement résiduel (m)
x: Distance entre le pièzomètre et l'axe du puits de pompage (m)
S':Coefficient d'emmagasinement de la remontée
S : Coefficient d'emmagasinement durant le pompage
t :Temps, depuis le début du pompage (jours)
t' :Temps, depuis l'arrêt du pompage (jours)
Q :Débit de la remontée ≃ débit de pompage de la descente.

On porte Δ'en fonction de $\frac{t}{t'}$ sur un papier semi-logarithmique ($\frac{t}{t'}$ en échelle logarithmique).
On trace la ligne droite, passant par l'ensemble des points. La pente est $\Delta_{\Delta'}$

$$\Delta_{\Delta'} = \frac{2,30Q}{4\Pi t}$$

On calcul la valeur de $\Delta_{\Delta'}$ et on remplace : $T = \frac{2,30Q}{4\pi\Delta_{\Delta'}} \leftrightarrow T = \frac{0,183Q}{\Delta_{\Delta'}}$

Valeur de Δ_{Δ}' : déduite du graphe.