

VALIDITE ET LIMITES D'APPLICATION DE LA LOI DE DARCY

1- Conditions de validité de la loi de Darcy :

La loi de Darcy est la base de l'hydrodynamique souterraine. Elle est applicable sur le terrain, dans des conditions bien définies :

- ***Substratum imperméable horizontal.**
- ***Ecoulement en régime laminaire.**
- ***Milieu homogène et isotrope.**

1-Ecoulement en régime laminaire :

Lorsque les filets liquides sont continus, les vitesses sont constantes et inférieures à la vitesse critique, déterminée par le nombre de Reynolds : $Re = \mathbf{V} \cdot \mathbf{d} / \nu_{cin}$

- Le coefficient de viscosité cinématique diminue, lorsque la température s'élève.
- Le diamètre des grains est en relation avec la porosité efficace (m_{eff}).
- La vitesse d'écoulement est régie, dans les milieux perméables, par le coefficient de perméabilité et le gradient hydraulique : $\mathbf{V} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{i}$

Les limites d'application de la loi de Darcy sont déterminées par deux groupes de facteurs, qui s'influencent réciproquement :

- Les uns sont relatifs à l'écoulement : vitesses, gradient hydraulique, et nombre de Reynolds
- Les autres concernant les caractéristiques des terrains aquifères : (complexe solide-eau), température, porosité efficace, et perméabilité.

2-Milieu homogène et isotrope :

Le matériau aquifère doit être isotrope et homogène. Ces conditions sont rarement réalisées dans les milieux naturels, où les terrains sont anisotropes et hétérogènes.

2-1 Anisotropie des terrains perméables :

Les milieux aquifères présentent des variations de perméabilité par rapport au sens de l'écoulement des eaux souterraines. Il y a variation de faciès latérale et verticale. De même, l'orientation des fissures est très diverses.

Supposons que les composantes de la vitesse « V » sont V_x, V_y, V_z

$$\mathbf{V} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{i} \quad \mathbf{i} = dh/L$$

$$V_x = K_x \cdot dh/dx$$

$$V_y = K_y \cdot dh/dy$$

$$V_z = K_z \cdot dh/dz$$

K_x, K_y, K_z étant les coefficients de perméabilité dans les trois directions de l'espace.

La loi de Darcy suppose que : $K_x = K_y = K_z \quad \leftrightarrow \text{Isotropie}$

2-2 Perméabilité des terrains anisotropes homogènes :

Dans un aquifère anisotrope et homogène, la perméabilité est caractérisée par deux composantes : K horizontale (K_h) et K verticale (K_v).

Il est possible de transformer un milieu anisotrope et homogène, en un milieu isotrope *fictif*, en utilisant le *degré d'anisotropie*, caractérisé par le rapport $\sqrt{K_h/K_v}$ (K_h est plus grande que K_v).

$$K_{\text{moy}} = \sqrt{K_h/K_v}$$

2-3 Perméabilité des terrains stratifiés :

En générale, les milieux aquifères sont stratifiés, ils présentent une K_h et une K_v différentes et sont anisotropes. Supposons que chaque assise est homogène :

1^{er} cas : Filets liquides perpendiculaires à la stratification :

Supposons une succession d'assises aquifères perméables, numérotées de 1 à n , de haut en bas, traversées par un courant liquide, à axe d'écoulement vertical. Soit $K_1, K_2 \dots K_n$ les coefficients de K , et $h_1, h_2 \dots h_n$ les puissances de chaque couche. Dans ce cas, seulement la perméabilité verticale est prise en considération et nous pouvons calculer le coefficient de perméabilité verticale moyen K_v moy :

$$K_v \text{ moy} = \frac{H}{h_1/K_1 + h_2/K_2 + \dots + h_n/K_n}$$

Cas de deux couches :

$$K_v \text{ moy} = \frac{h_1 + h_2}{h_1/K_1 + h_2/K_2}$$

Si H est la puissance totale de l'aquifère, q est le débit unitaire: $q = K_v \text{ moy} \cdot i \cdot H$

2^{ème} cas : Filets liquides parallèles aux couches :

Lorsque les filets liquides sont parallèles à la stratification, le débit unitaire total est obtenu dans une couche aquifère de K_h moy (Perméabilité horizontale moyenne).

Couche1 : $q_1 = K_1 h_1 i$

Couche2: $q_2 = K_2 h_2 i$

Couche3: $q_n = K_n h_n i$

Donc, le débit unitaire total q dans tout le complexe aquifère :

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

$$q = K_1 h_1 i + K_2 h_2 i + \dots + K_n h_n i$$

$$q = i(K_1 h_1 + K_2 h_2 + \dots + K_n h_n) \quad (1)$$

$$q = K_h \text{ moy} \cdot H \cdot i \quad (2)$$

$$(1) = (2) \leftrightarrow K_h \text{ moy} \cdot H \cdot i = i(K_1 h_1 + K_2 h_2 + \dots + K_n h_n)$$

$$K_h \text{ moy} = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2 + \dots + K_n h_n}{H}$$

H

Cas de deux couches:

$$K_h \text{ moy} = \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{h_1 + h_2}$$

3^{ème} cas : Filets liquides obliques aux couches :

Supposons deux couches superposées, à coefficient de perméabilité K_1 et K_2 différents. Par la propagation des rayons lumineux dans les milieux d'indices de réfraction différents, nous pouvons écrire, pour un filet liquide : $K_1 i_1 \cos \beta = K_2 i_2 \cos \alpha$

Conclusion :

La loi de Darcy est vérifiée dans les conditions normales d'écoulement des eaux souterraines. Elle n'est plus valable pour des vitesses trop élevées au voisinage des ouvrages de captage et dans la circulation libre des eaux, en milieu karstique.

Définitions :

***Transmissivité :** C'est la productivité d'un captage dans un aquifère, elle est fonction de sa perméabilité K et de son épaisseur « e » : $T = K \cdot e$ (m²/s)

$$Q = Ksi = K (e \cdot L) \cdot i = T \cdot L \cdot i \quad (L: \text{Largeur de la nappe}).$$

Exp: Des essais de débit ont permis de déterminer les résultats suivants :

$$T = 2 \text{ m}^2/\text{s}, \quad i = 0.0038, \quad L = 11700 \text{ m}, \quad \text{calculez le débit ?}$$

$$Q = TLi = 2 \times 11700 \times 0.0038 = 88.92 \text{ m}^3/\text{s}$$

***Diffusivité :** La diffusivité, notée aussi T/S , régit la propagation d'influences dans l'aquifère.

$$D = T/S \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

T : Transmissivité.

S : Coefficient d'emménagement.