

I. Écoulement latéral – Écoulement laminaire.

Introduction

- Écoulement laminaire : Définition

Un écoulement laminaire ou régime laminaire (d'un fluide) est un écoulement dont la vitesse est constante en chaque point au cours du temps. C'est un écoulement dont les différentes couches glissent les unes sur les autres sans se mélanger (les filets fluides restent parallèles). Il est respecté lorsque le nombre de Reynolds est inférieur à 2000, (Castany, 1982).

Il en résulte que pour l'eau, l'écoulement reste laminaire tant que la vitesse n'excède pas $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/sec (0,17 mm/sec), soit la grande majorité des aquifères à l'exception des cônes de rabattement.

I.1. Généralités sur l'écoulement des liquides.

La dynamique de l'eau résulte de l'action de différents champs de forces auxquelles elle est soumise (de Marsily, 1994) :

- force de gravité, de capillarité, d'adsorption, etc..., (fig. I.1).

On parle d'**eau gravitaire** lorsque l'effet de la gravité est prépondérant, d'**eau capillaire** lorsque l'effet des forces de capillarité prédomine, ou encore d'**eau hygroscopique** pour signaler la supériorité des forces d'adsorption.

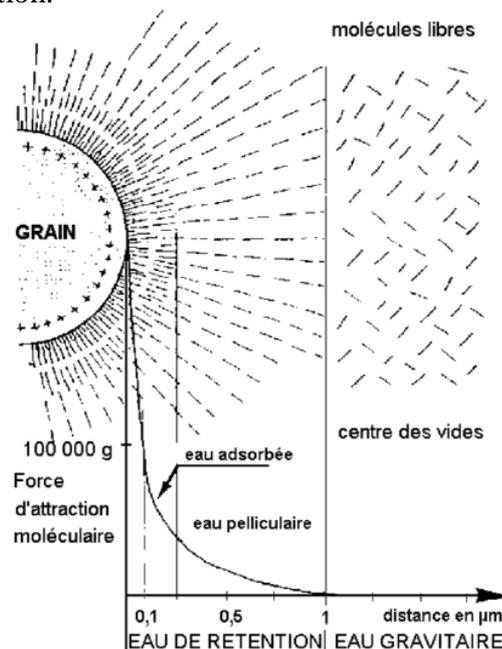


Fig. I.1 : Différents types d'eau à la surface d'une particule d'argile (Castany, 1982)

Le concept de potentiel total de la phase liquide permet de quantifier l'état énergétique de l'eau du sol et de décrire son comportement au sein du système sol-plante-atmosphère.

Il s'exprime de façon courante par la notion de la charge hydraulique totale h , (Bremond R., 1965), définie comme la somme des énergies potentielles de pression et de gravité, rapportée à l'unité de poids de liquide (fig. I.2) :

$$h = H_i + Z_i \quad (I.1)$$

Avec :

h: charge hydraulique [m], c'est-à-dire la pression exprimée en hauteur d'eau équivalente, soit la pression exercée par une colonne d'eau verticale de même hauteur ;

H_i : charge de pression [m], c'est-à-dire la pression effective de l'eau du sol, en hauteur d'eau, par rapport à la pression atmosphérique ;

Z_i: charge de gravité [m], c'est-à-dire la hauteur de l'eau au-dessus du plan de référence.

La distribution des potentiels de pression, de gravité et du potentiel total dans le sol le long d'une verticale est représentée graphiquement par des **profils de charge** de pression, de gravité et de charge totale.

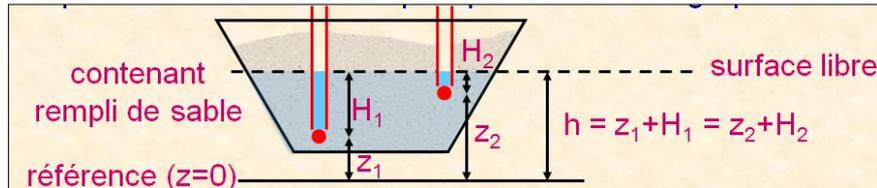


Fig. I.2 : Charge hydraulique

1.2. Milieu, eau et modes d'écoulement.

Introduction

Tous les terrains contiennent un certain pourcentage des vides. L'eau issue de la pluie ou des circulations superficielles, peut pénétrer dans ces vides, y circuler sous l'effet de la gravité, et dans certaines conditions, s'y accumuler.

Les paramètres qui conditionnent les écoulements dans les sols saturés sont la gravité et les forces de frottement au niveau des grains. Ces paramètres sont dus essentiellement à la viscosité, tandis que les écoulements dans les sols non saturés mettent en jeu les interactions entre les trois phases : solide, liquide et gazeuse.

I.2.1. Généralités sur les milieux poreux

I.2.1.1. Définition du milieu poreux

On appelle milieu poreux un corps comportant un squelette solide englobant des cavités appelées pores, en général interconnectées, susceptibles de contenir une ou plusieurs phases fluides. Un sol est formé essentiellement de trois types de roches (Castany, 1982, Detay, 1993):

a) Roches grenues meubles

Les vides sont constitués uniquement par des pores qui caractérisent un milieu continu. Pour ces roches, on parle de porosité d'interstice.

Par exemple, les sables et les grès ont une porosité totale qui peut aller jusqu'à 30 % et même les roches que l'on suppose généralement compactes, ont une certaine porosité : calcaires, dolomies, ainsi que les roches cristallines et métamorphiques (1 à 5 %).

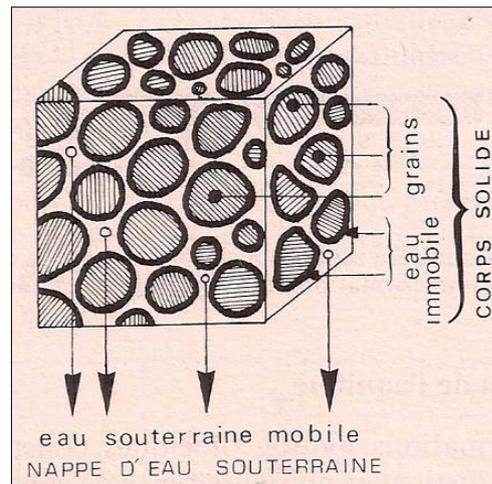


Fig. I.3 : Milieu poreux, (Castany, 1982)

Les **argiles** constituent une catégorie à part, leur pourcentage des vides peut être très élevé, jusqu'à 90 %.

b) Roches compactes fissurées

Un cas particulier de vide dans les roches compactes est la fissuration, qui caractérise le milieu discontinu. Par le jeu de la tectonique, la quasi totalité des roches de l'écorce terrestre est fracturée (failles, fissures, diaclases). Ces fissures s'organisent généralement en au moins deux directions principales de fissuration qui découpent la roche en blocs. Si les fissures ne sont pas colmatées (argile, calcite, quartz...), des vides sont créés et on parle alors de porosité de fissure.

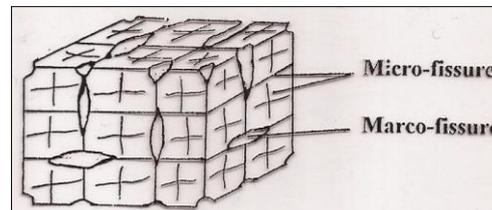


Fig. I.4 : Porosité de fissure

Les fissures sont des fentes de forme allongée, à ouverture plus ou moins large. Elles sont classées en deux types suivant leur dimension : les micro-fissures dont le rôle hydrodynamique est comparable à celui des pores, et les macro-fissures représentées par les failles, les décrochements et les chenaux karstiques.

c) Roches mixtes

Ce sont les roches dont les vides sont constitués à la fois par des pores et par des fissures. Les deux types de porosité (d'interstice et de fissure) coexistent (exemple : grès, craie, calcaires)

I.2.1.2. Porosité, (Portet F., 2003)

La capacité de récupérer l'eau dans une roche meuble ou fissurée, est liée à l'importance de ses vides. On distingue :

a)- Porosité totale

$$n = \frac{\text{Volume}_{\text{vides}}}{\text{Volume}_{\text{total}}} \times 100 \text{ (en \%)} \quad (\text{I.2})$$

b)- Porosité efficace

$$n_e = \frac{\text{Volume}_{\text{eau gravitaire}}}{\text{Volume}_{\text{total}}} \times 100 \text{ (en \%)} \quad (\text{I.3})$$

I.2.2. L'eau dans les milieux poreux

Le milieu poreux est identifié par ses caractéristiques et la genèse de ses vides et pores. Les deux principaux paramètres caractérisant un milieu poreux sont : la perméabilité et la porosité. La granulométrie ; technique de l'étude des roches, accède à la morphologie des vides par deux paramètres des grains ; le diamètre efficace (d_{10}) et le coefficient d'uniformité (U), (fig. I.5) dont la connaissance est nécessaire pour l'étude des écoulements traversant un milieu poreux.

L'écoulement de l'eau à travers un milieu poreux est déterminé par trois groupes de paramètres hydrodynamiques à savoir : coefficient de perméabilité, gradient hydraulique, débit et vitesse d'écoulement.

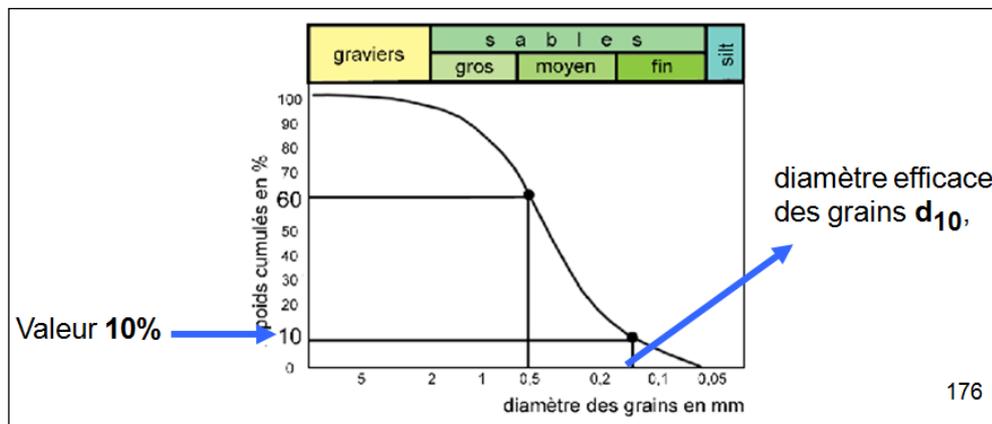


Fig. I.5 : Courbe granulométrique, (François R. 2014).

Terzaghi (professeur irakien naturalisé américain) a proposé une relation entre la perméabilité et le d_{10} :

$$K \text{ (cm/s)} = d_{10} \text{ (cm)} \times 100 \quad (\text{I.4})$$

Le coefficient d'uniformité, U (sans dimension), attribue une valeur numérique à la pente de la courbe. Il est calculé par le rapport suivant :

$$U = d_{60}/d_{10} \quad (\text{I.5})$$

Par convention, si U est compris entre 1 et 2, la granulométrie est dite uniforme. S'il est supérieur à 2, elle est variée.

1.3. Régime d'écoulement - Expérience de O. Reynolds (1883), (Djaafar M.,)

Soit un courant d'eau qui circule dans une conduite à section circulaire, dans laquelle on introduit un filet de colorant. Suivant la vitesse de l'eau, on observe les phénomènes suivants (fig. I.6) :

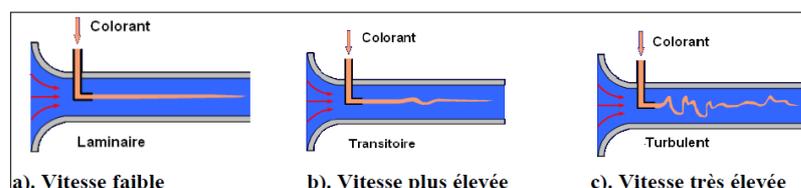


Fig. I.6 : Régimes d'écoulement ; Expérience de O. Reynolds (1883)

On peut classer les régimes d'écoulement dans le milieu poreux selon le nombre de Reynolds (Re), en trois régimes principaux,

$$Re = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu} = \frac{Du}{\nu} \quad (I.6)$$

D : diamètre de la conduite (m), u : vitesse moyenne d'écoulement (m/s), ρ : masse volumique du fluide (kg/m^3), μ : viscosité dynamique (kg/m.s ou Pa.s), ν : viscosité cinématique (m^2/s).

Si $Re < 2000$, le régime est laminaire

Si $Re > 3000$, le régime est turbulent

Si $2000 < Re < 3000$, le régime est transitoire

1.4. Ecoulement en régime laminaire.

La gravité est la force externe principale qui contrôle l'écoulement de l'eau souterraine dans les interstices des roches; l'écoulement peut être laminaire ou turbulent. La distinction se fait donc à l'aide du nombre de Reynolds $Re < 2000$, (chap. I.3).

L'écoulement laminaire se caractérise par des lignes de courant individualisées, avec en tout point une direction d'écoulement constante dans le temps. Il en résulte que pour l'eau, l'écoulement reste laminaire tant que la vitesse n'excède pas $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/sec (0,17 mm/sec), soit la grande majorité des aquifères à l'exception des cônes de rabattement.