

[Choisir la date]

II.2. Ascension capillaire (du latin capillus : cheveu)

Définition : Dans les sols non saturés, l'eau s'accroche entre les grains, particulièrement dans les zones voisines des points de contact, par suite des phénomènes de capillarité.

II.2.1. Notion de capillarité

Lors de l'immersion d'un tube de verre capillaire dans un liquide mouillant (de l'eau par exemple), on observe une ascension du liquide par rapport au niveau de la surface libre du récipient. Le ménisque concave fait un angle avec la paroi du tube.

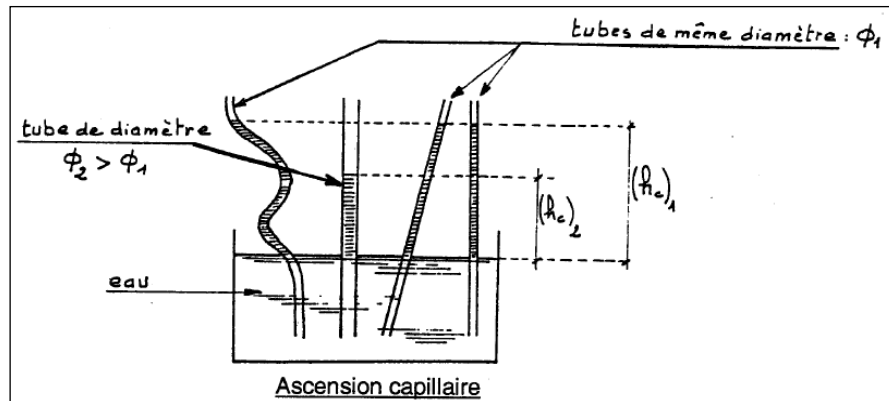


Figure II.8 : Schéma illustrant l'ascension capillaire

II.2.2. Ascension capillaire dans les sols

Les sols sont des milieux à porosité communicante. A la base d'une zone non-saturée, on distingue deux zones :

- * zone inférieure saturée en eau capillaire, sauf quelques gros pores, surtout vers le haut (hs): zone de saturation capillaire.
- * zone supérieure où seuls les pores fins contiennent de l'eau capillaire : soit la zone de l'eau capillaire discontinue (ha).

Au-dessus d'une nappe, on observe un phénomène particulier: selon que la nappe est alimentée directement par la zone non saturée ou indirectement par des apports latéraux, la frange capillaire sera plus ou moins épaisse. On peut schématiser l'évolution du stock d'eau soumis à des variations saisonnières dans la zone non saturée de la manière suivante :

- En période de forte infiltration le sol est presque saturé;
- En période de forte évaporation le sol n'est pas totalement desséché grâce à l'ascension capillaire qui compense, à un certain stade, le déficit d'humidité.

[Choisir la date]

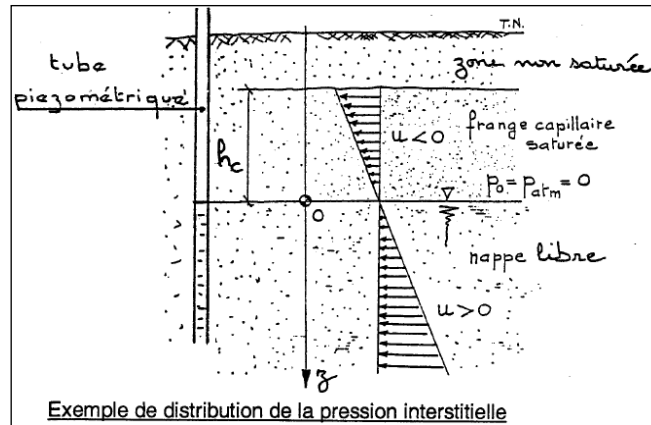


Fig. II.9: Schéma de la zone

II.2.3. Mesure de la pression capillaire (in-situ)

La mesure de la pression capillaire se pratique au moyen d'un tensiomètre dont le principe est schématisé en figure II.10.

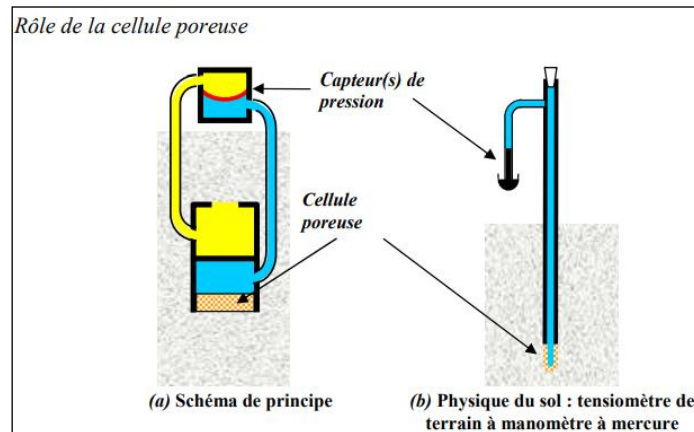


Fig. II.10 : Tensiomètre

A l'échelle du pore, les interstices entre les grains forment de très petits canaux, de formes et de dimensions variables, en liaison avec l'atmosphère, dans lesquels les phénomènes de capillarité vont apparaître. Le phénomène sera plus marqué dans les sols fins que dans les sols grenus du fait que les capillaires ont un diamètre plus petit.

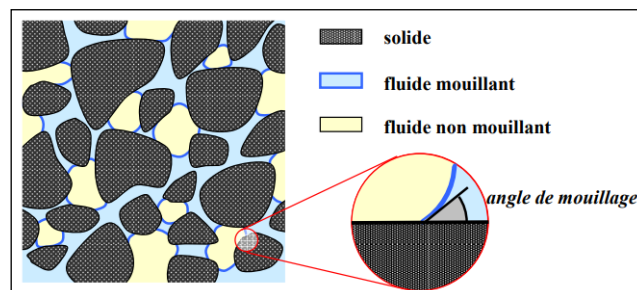


Fig. II.11 : Capillarité à l'échelle du pore

Il faut savoir qu'entre chaque molécule, il y a des forces électriques qui interagissent pour permettre la cohésion d'un liquide. Au sein du liquide, les forces s'équilibrent mais ce n'est pas le cas au voisinage de la surface.

[Choisir la date]

En effet, l'addition de toutes ces forces maintenant le liquide donne une seule force perpendiculaire à la surface se dirigeant vers l'intérieur du liquide. C'est cette force perpendiculaire qui va empêcher les molécules de la surface de passer dans l'air, ainsi la cohésion du liquide est maintenue.

Cette force perpendiculaire est une force de tension qui va réduire le volume du liquide à sa surface. La surface du liquide est un peu comme une membrane tendue enveloppant le liquide. La tension superficielle est proportionnelle à la force de cohésion entre les molécules.

L'eau capillaire est représentée schématiquement dans un pore de forme cylindrique dont les parois sont recouvertes par un film d'adsorption. La loi de Laplace permet de relier la géométrie de ce pore à la pression capillaire s'exerçant sur la phase liquide et à la tension superficielle du liquide qui expriment les forces de cohésion.

-- Loi de Laplace --

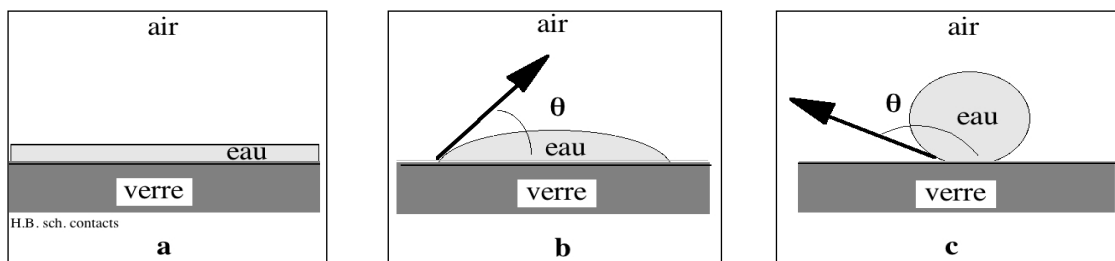
A la traversée de la surface de séparation de deux fluides, la pression subit un accroissement, de la face convexe vers la face concave, égal à la tension superficielle de l'interface multipliée par la courbure moyenne :

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

II.2.4. LOI DE JURIN

La loi de Jurin prédit la hauteur h d'un liquide dans un capillaire en fonction de la tension superficielle du liquide et des caractéristiques géométriques du tube.

- Phénomène de mouillabilité : La mouillabilité est la tendance d'un fluide à être attiré vers une surface, préférentiellement à un autre fluide. On la définit par l'angle de contact qui se mesure expérimentalement.



Lorsque les dimensions d'un récipient ou la taille des alvéoles d'un matériau poreux sont de petites dimensions, des forces capillaires dues à la tension superficielle peuvent devenir du même ordre de grandeur que le poids. Si le liquide mouille partiellement le solide en contact avec lui, il peut s'élever (ou s'abaisser) en altitude, les forces capillaires devenant supérieures au poids.

[Choisir la date]

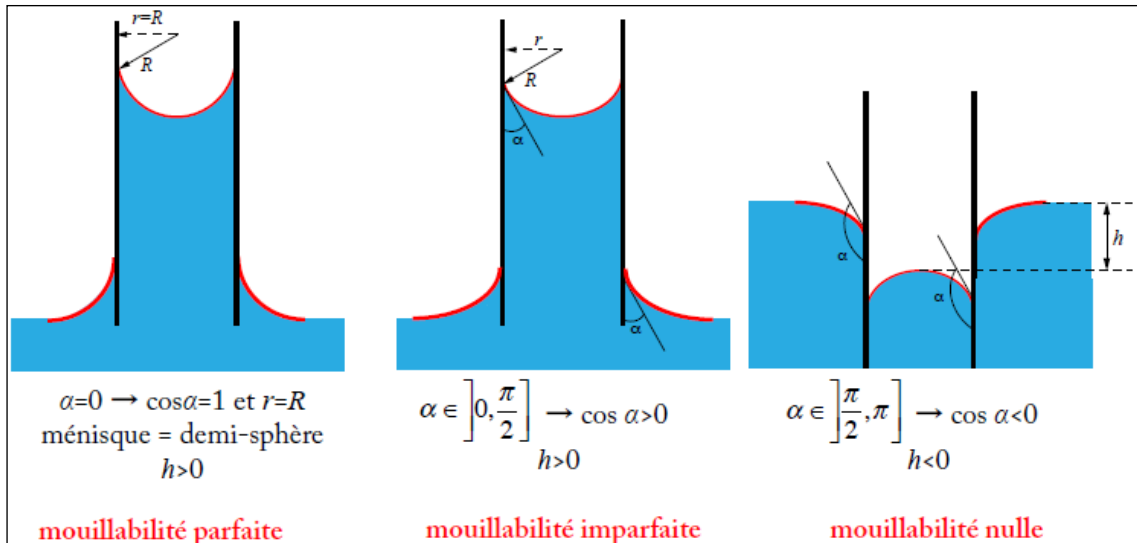


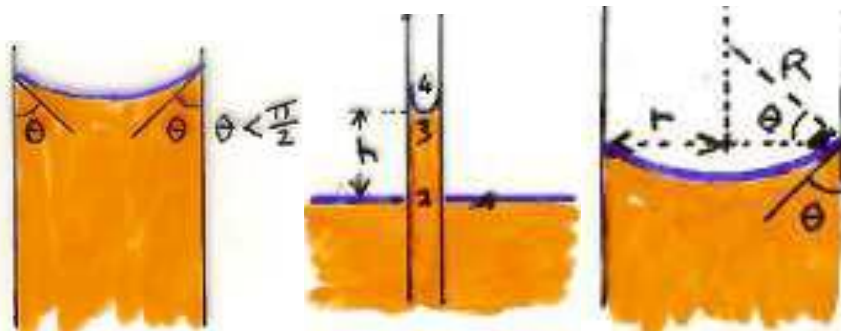
Fig. II.12 : Mouillabilité et angle de contact.

II.2.4.1. Liquide mouillant : Capillarité (liquide mouillant - liquide non mouillant)

- θ : angle de raccordement de la surface de séparation entre le liquide et l'air tube capillaire (diamètre < 2 à 3 mm).

- **l'eau monte** : Elle escalade la paroi, car les forces d'attraction entre les molécules de verre et d'eau sont plus fortes que les forces qui opèrent entre les molécules d'eau entre elles. La surface de l'eau est attirée vers le haut et plus aux abords du tube.

- **Ménisque concave** :



$r = R \cdot \cos \theta$,
 $P_1 = P_2 = P_4 = P_{atm}$,

$P_4 - P_3 = \frac{2\gamma}{R}$ (Laplace), $P_2 - P_3 = \rho \cdot g \cdot h$ (RFH),

$$\rho \cdot g \cdot h = \frac{2\gamma}{R} = \frac{2\gamma}{\frac{r}{\cos \theta}}$$

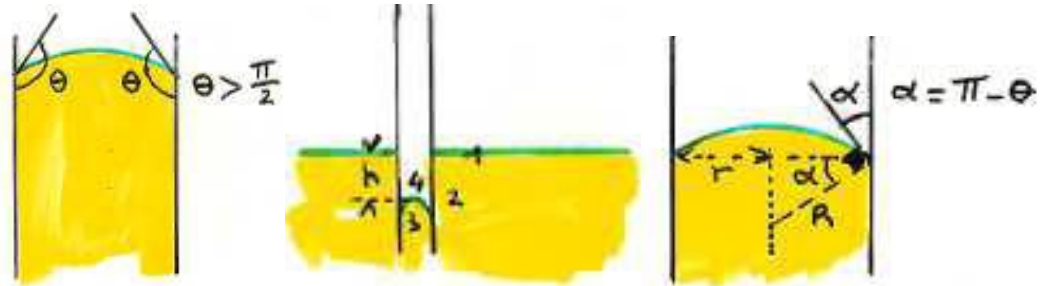
II.2.4.2. Liquide non mouillant

[Choisir la date]

- θ : angle de raccordement de la surface de séparation entre le liquide et l'air tube capillaire (diamètre < 2 à 3 mm).

- **Le mercure descend** : Les forces d'attraction entre les molécules de verre et les atomes de mercure sont plus faibles que celles qui opèrent entre les atomes de mercure entre eux.

- **Ménisque convexe** :



$$r = R \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = -\cos \theta$$

$$P_1 = P_4 = P_{\text{atm}}$$

$$\rho \cdot g \cdot h = \frac{2\gamma}{R} = \frac{2\gamma}{\frac{r}{\cos \alpha}}$$

$$\boxed{P_3 - P_4 = \frac{2\gamma}{R}} \text{ (Laplace), } (P_2 = P_3), \quad \boxed{P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot h} \text{ (RFH),}$$

loi de Jurin

$$h = \frac{2\gamma \cdot |\cos \theta|}{r \cdot \rho \cdot g}$$

$\cos \theta > 0$; $h > 0$ $h < 0$; $\cos \theta < 0$
 tube propre et eau pure
 $\theta \approx 0$; $\cos \theta \approx 1$

h : hauteur du liquide au dessus du niveau de la mer en m

γ : tension superficielle du liquide en $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$, $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$

θ : angle de contact entre le liquide et la paroi du tube en $^\circ$ (angle de raccordement)

r : rayon du tube en mm

ρ : masse volumique du liquide en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

g : accélération de la pesanteur, constante d'environ $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ($9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Conclusion

Les circulations verticales de l'eau dans le sol peuvent s'effectuer depuis la surface par infiltration en fonction de ses conditions initiales ou par ascension dans les interstices, du bas vers le haut à partir de la surface du plan d'eau de la zone saturée.