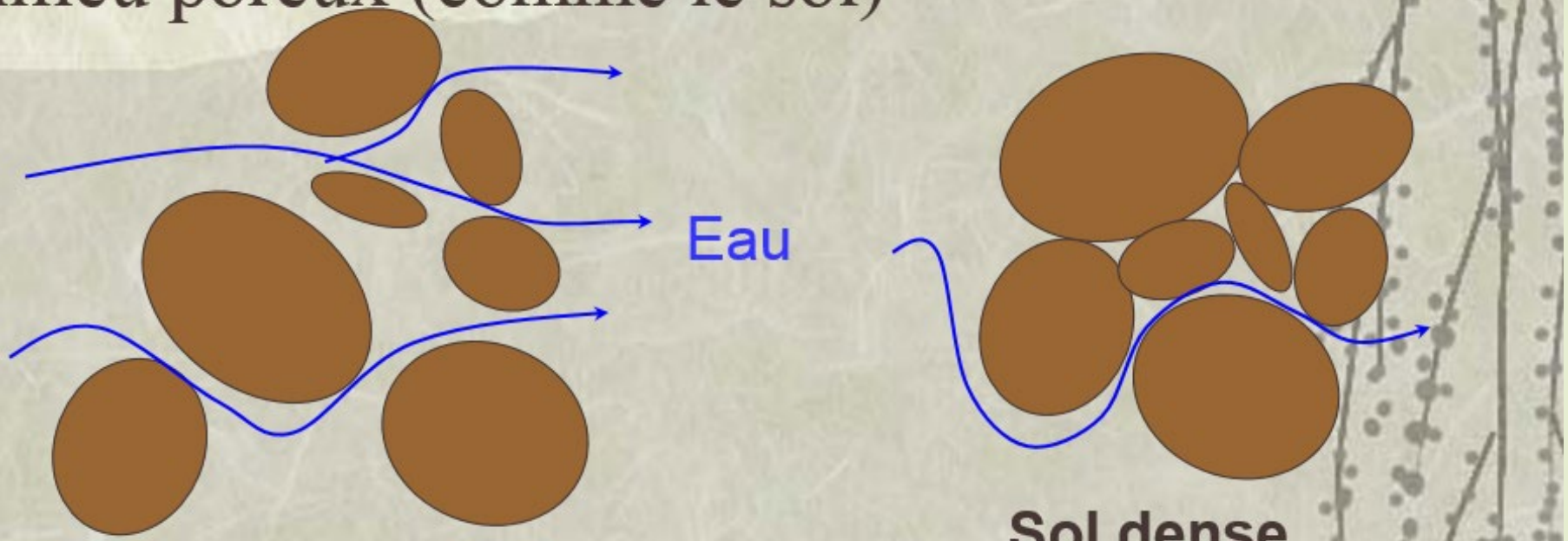
# Chapitre 4

## L'eau dans le sol

# *Qu'est ce que la perméabilité?*

Il s'agit d'une mesure de la facilité avec laquelle un liquide (comme l'eau) peut s'écouler à travers un milieu poreux (comme le sol)




**Sol lâche**

- Facilité d'écoulement
- Haute perméabilité

**Sol dense**

- Ecoulement difficile
- Faible permeabilité

Activer Windows
Accédez aux paramètres pour activer Windows.

# *Equation de Bernoulli*

L'énergie d'une particule fluide est composée de :

1. Energie cinétique

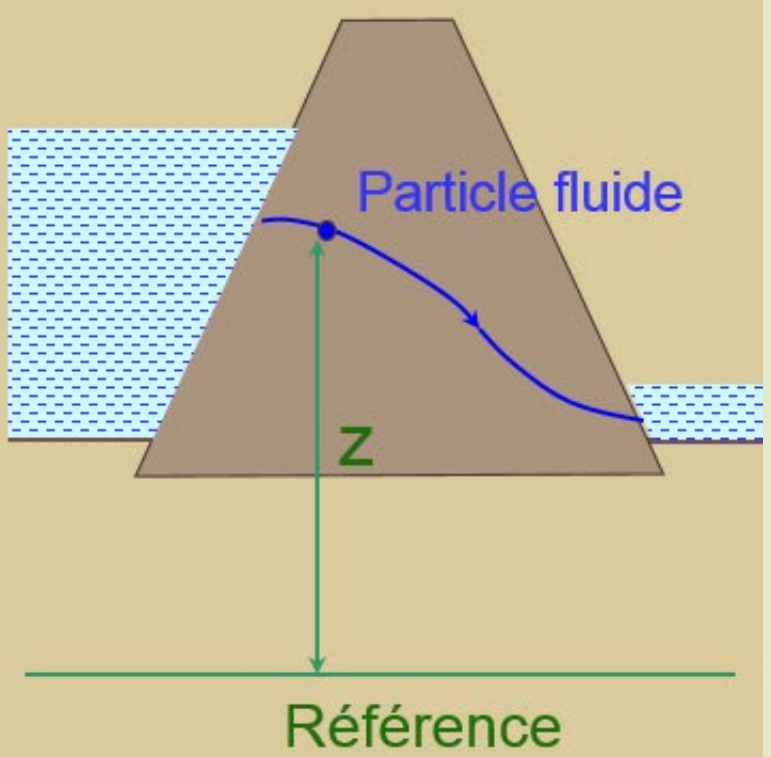
   - due à la vitesse d'écoulement

2. Energie de déformation

   - due à la pression d'écoulement

3. Energie potentielle

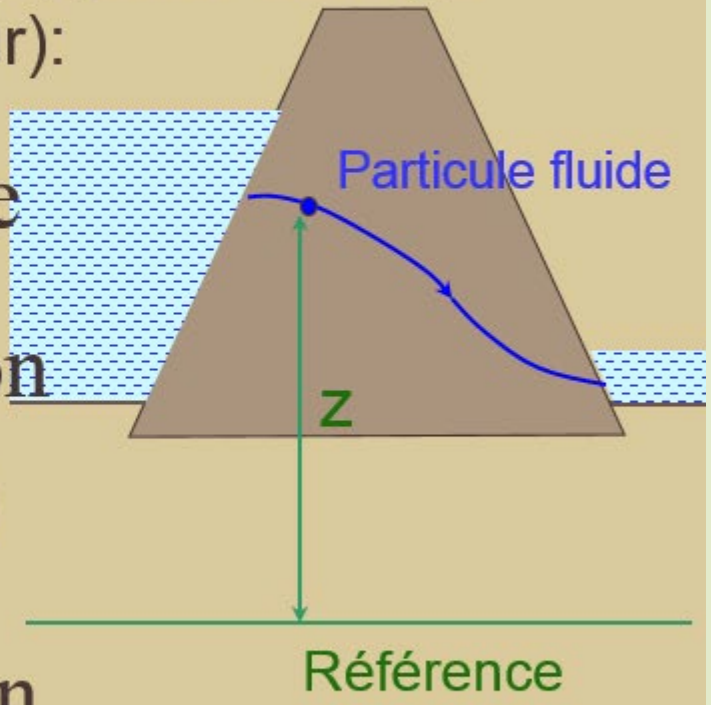
   - due à l'altitude (z) par rapport à une référence



# *Equation de Bernoulli*

Exprimons l'énergie par unité de poids (appelée ***charge hydraulique*** avec pour unité la longueur):

Charge totale= { Hauteur de vitesse + Hauteur de pression (ou piézométrique) + Hauteur de position



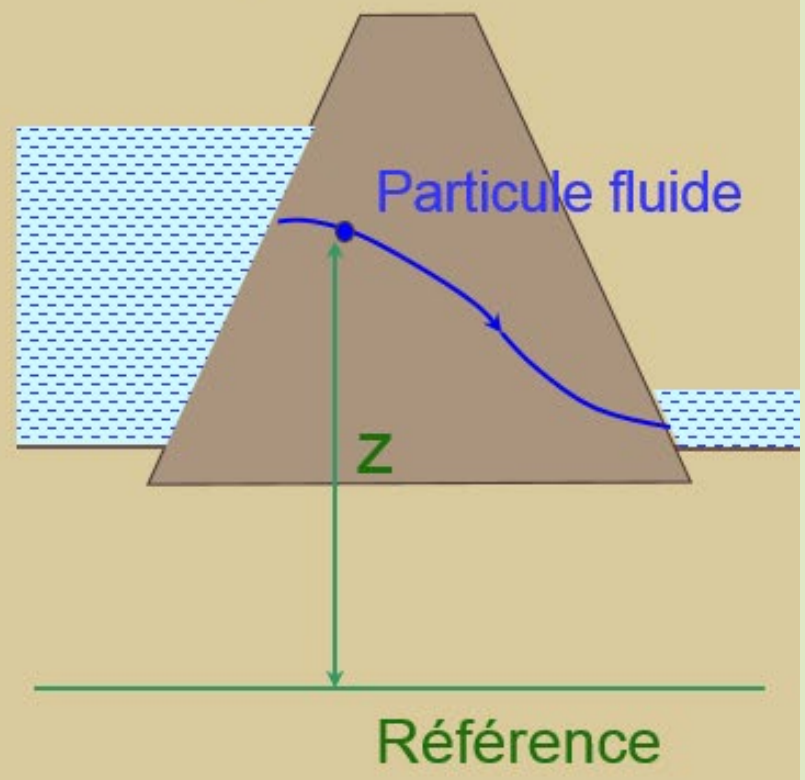
# *Equation de Bernoulli*

Lors d'un écoulement dans le sol, la hauteur de vitesse est très petite devant les autres hauteurs.Par conséquent :

**Charge totale ≈**

**Hauteur Piézométrique +**

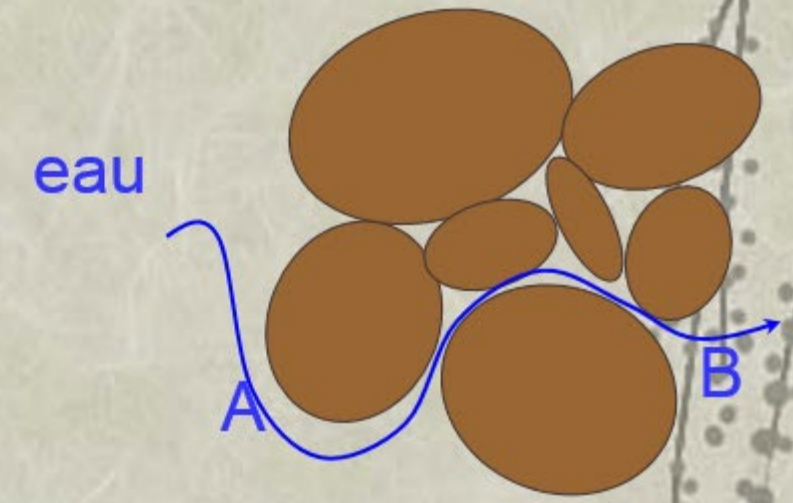
**Hauteur de position**



# *Quelques remarques*

Si l'écoulement se fait de A vers B, **La charge totale** en A est plus grande qu'en B.

L'énergie d'écoulement est dissipée pour vaincre la résistance du sol à l'écoulement, ce qui se traduit par une perte de charge hydraulique.



# *Quelques remarques*

A n'importe quel point dans le régime d'écoulement:

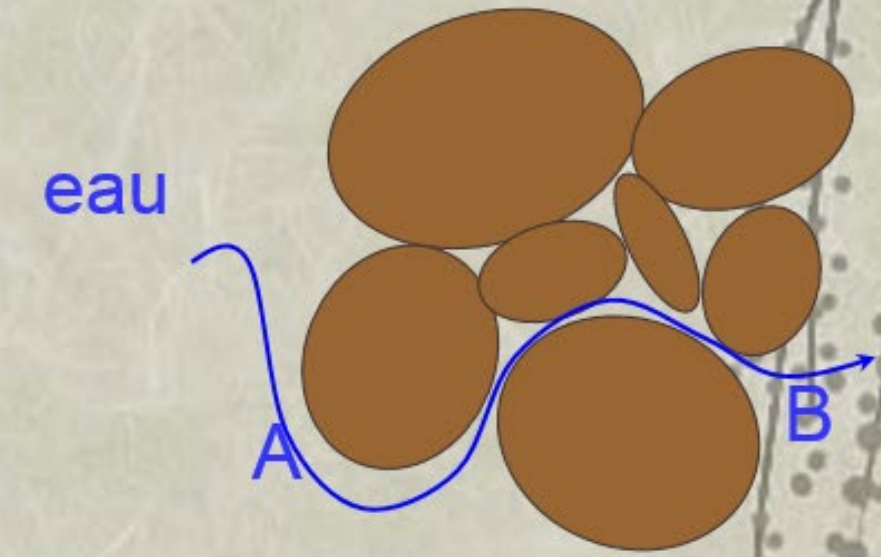
Hauteur piézométrique = pression interstitielle/$\gamma_w$

Hauteur de position = Hauteur **au dessus** de la Référence sélectionnée.

# *Quelques remarques*

**<u>Gradient Hydraulique (i)</u>** entre A et B est la perte de charge totale par unité de longueur.

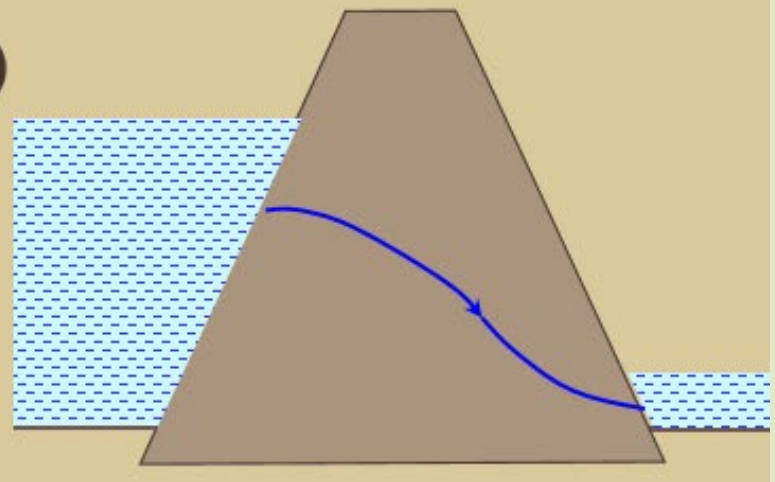
$$i = \frac{H_A - H_B}{l_{AB}}$$




Longueur AB le long de la ligne de courant

# *Loi de Darcy*

La vitesse d'écoulement (**v**) de l'écoulement est proportionelle au gradient hydraulique (**i**) – Darcy (1856)

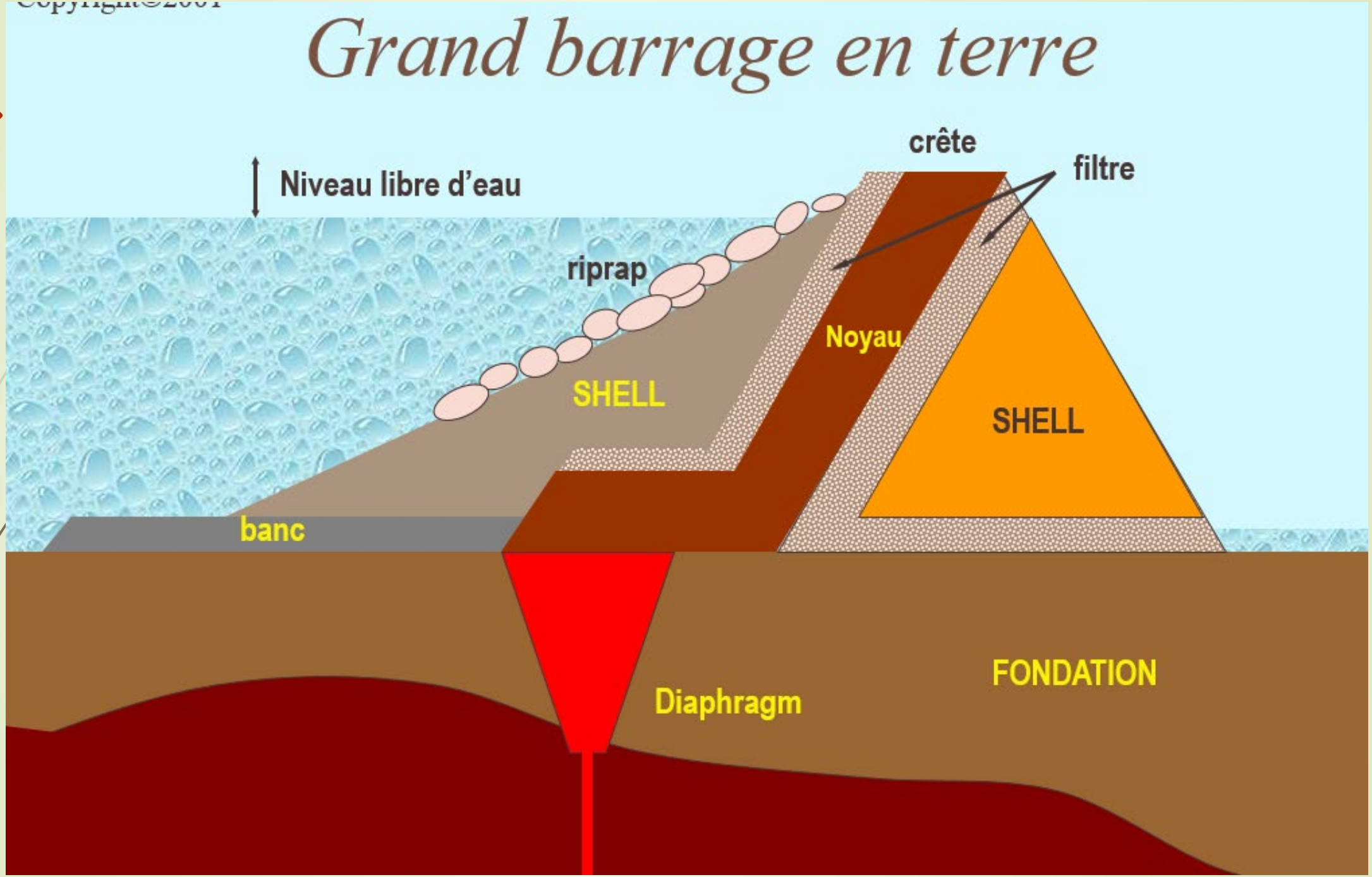


$$v = k\,i$$

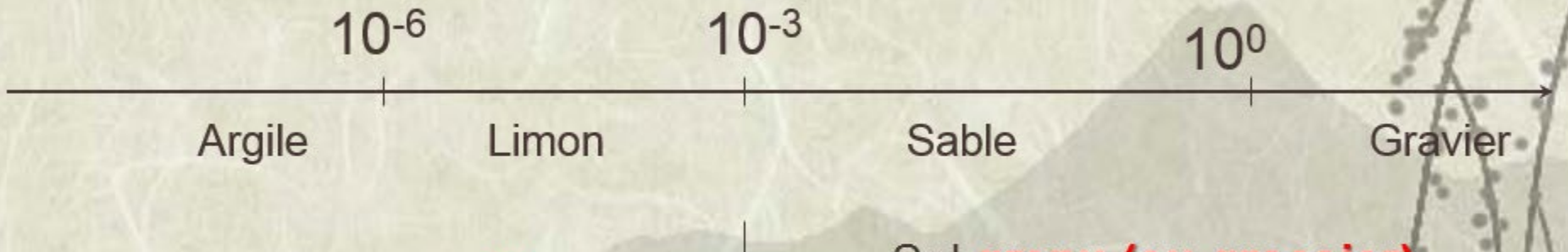
**Perméabilité**

- appelée aussi **conductivité hydraulique**
- unité d'of vitesse (cm/s)

# Grand barrage en terre



# Valeurs courantes de la perméabilité (cm/s)

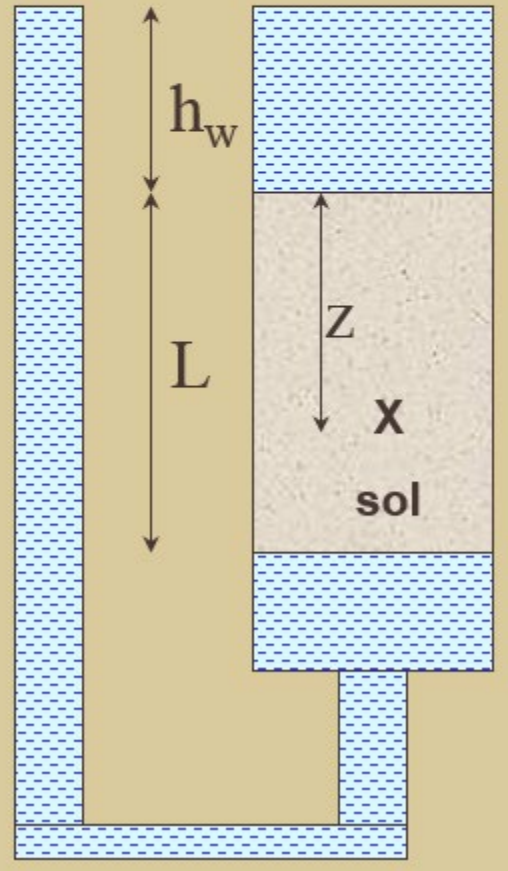



Sol **fin** ⟷ Sol **grenu (ou grossier)**

Dans les sols grenus, $k = f(e \text{ ou } D_{10})$

# Contraintes dues à l'écoulement

## Condition statique (absence d'écoulement)




Au point X,

$$\sigma_v = \gamma_w h_w + \gamma_{sat} z$$

$$u = \gamma_w (h_w + z)$$

$$\sigma_v' = \gamma' z$$

Activer Windo
Accédez aux param

# Contraintes dues à l'écoulement

## Ecoulement descendant

Au point X,

$$\sigma_v = \gamma_w h_w + \gamma_{sat} z$$

… comme en condition statique

$$u = \gamma_w h_w + \gamma_w (L - h_L)(z/L)$$

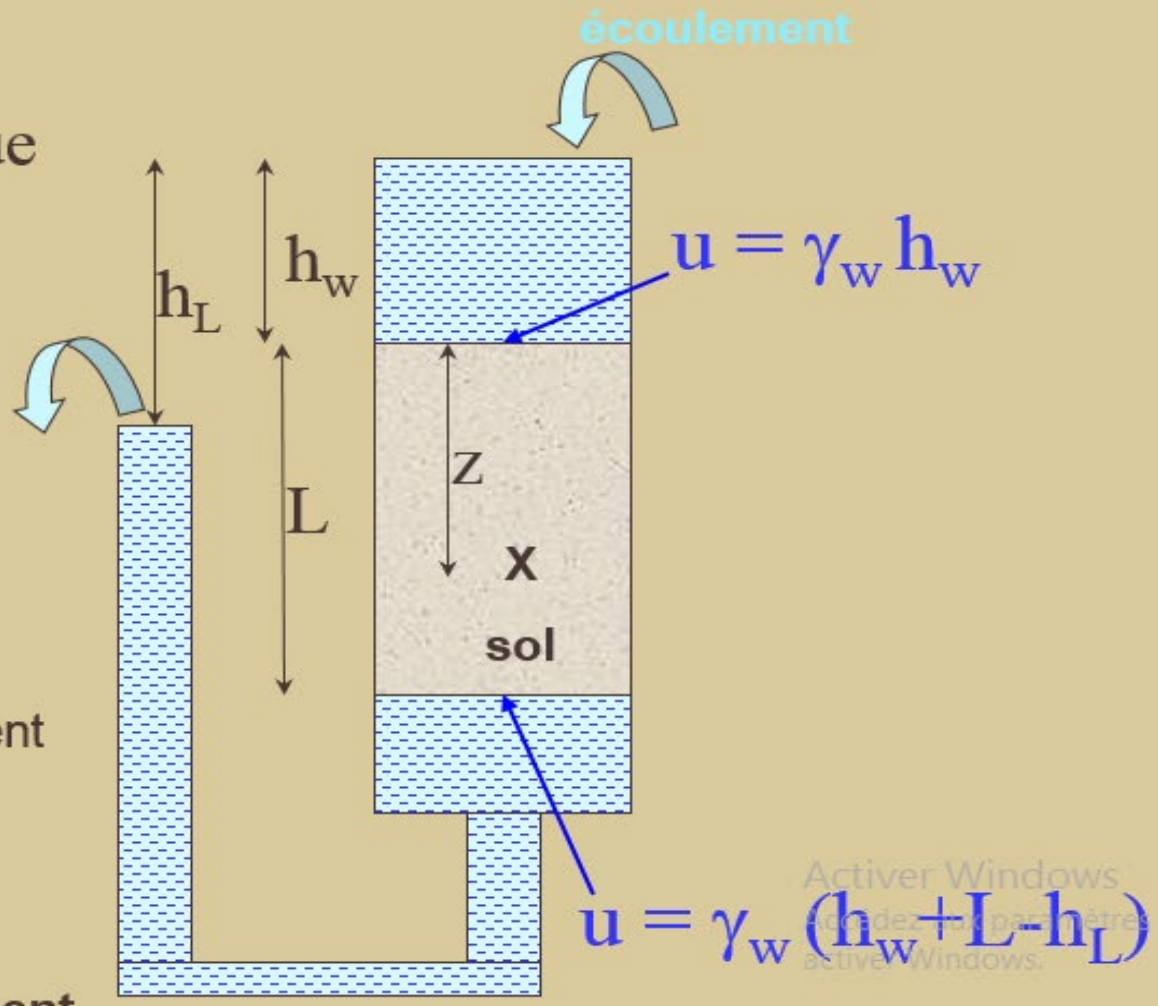
$$= \gamma_w h_w + \gamma_w (z - iz)$$

$$= \gamma_w (h_w + z) - \gamma_w iz$$

**Diminution** due à l'écoulement

$$\sigma_v' = \gamma' z + \gamma_w iz$$

**Augmentation** due à l'écoulement




SIVA

Activer Windows
Accédez aux paramètres pour activer Windows.

# Contraintes dues à l'écoulement

## Ecoulement ascendant

Au point X,

$$\sigma_v = \gamma_w h_w + \gamma_{sat} z$$

…comme en condition statique

$$u = \gamma_w h_w + \gamma_w (L + h_L)(z/L)$$

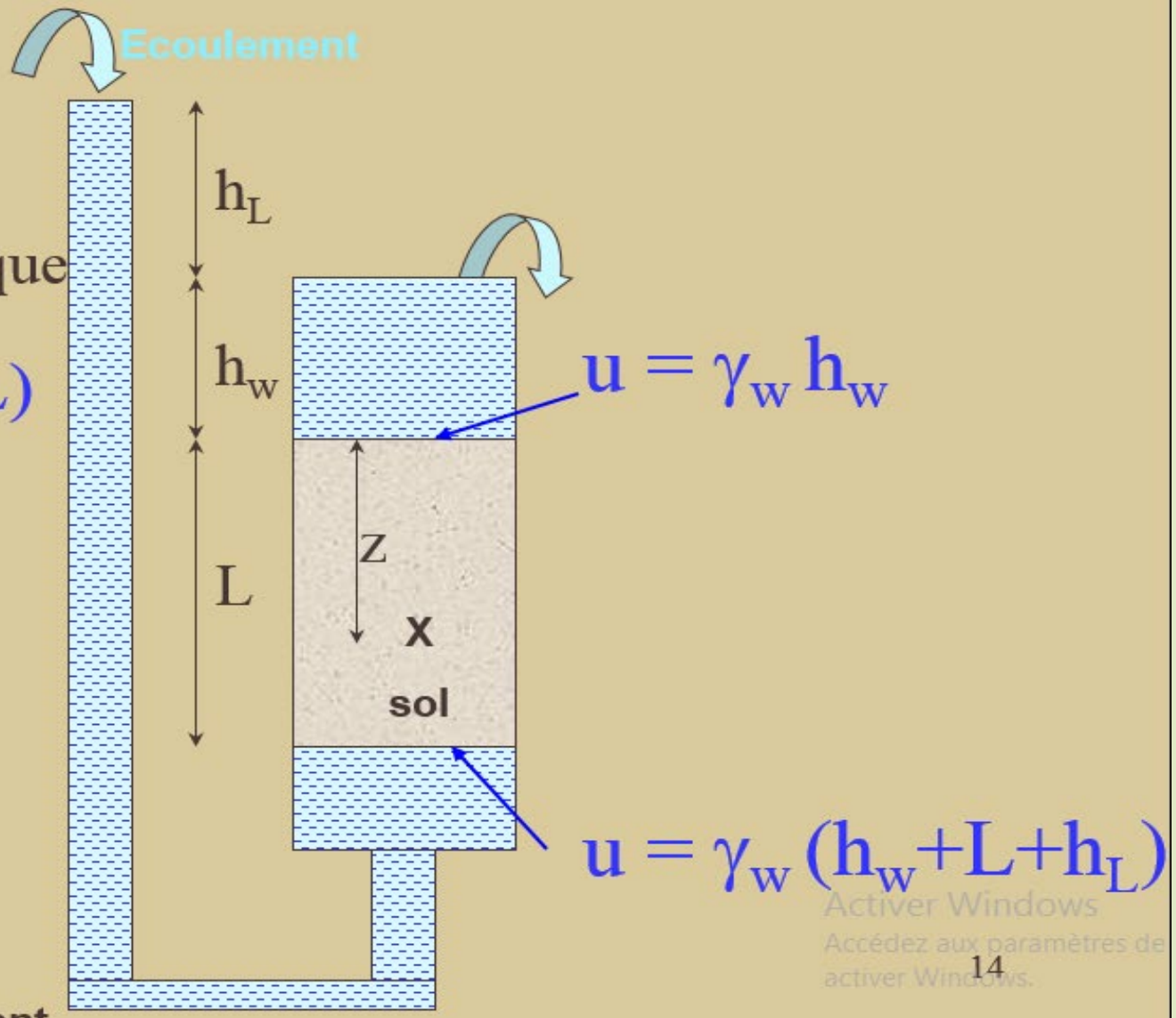
$$= \gamma_w h_w + \gamma_w (z + iz)$$

$$= \gamma_w (h_w + z) + \gamma_w iz$$

Augmentation due à l'écoulement

$$\sigma_v' = \gamma' z - \gamma_w iz$$

Diminution due à l'écoulement




SIVA

Activer Windows
Accédez aux paramètres de activer Windows.

# Condition de boulance dans les **sols granulaires**

Au cours d'un écoulement ascendant, au point X:

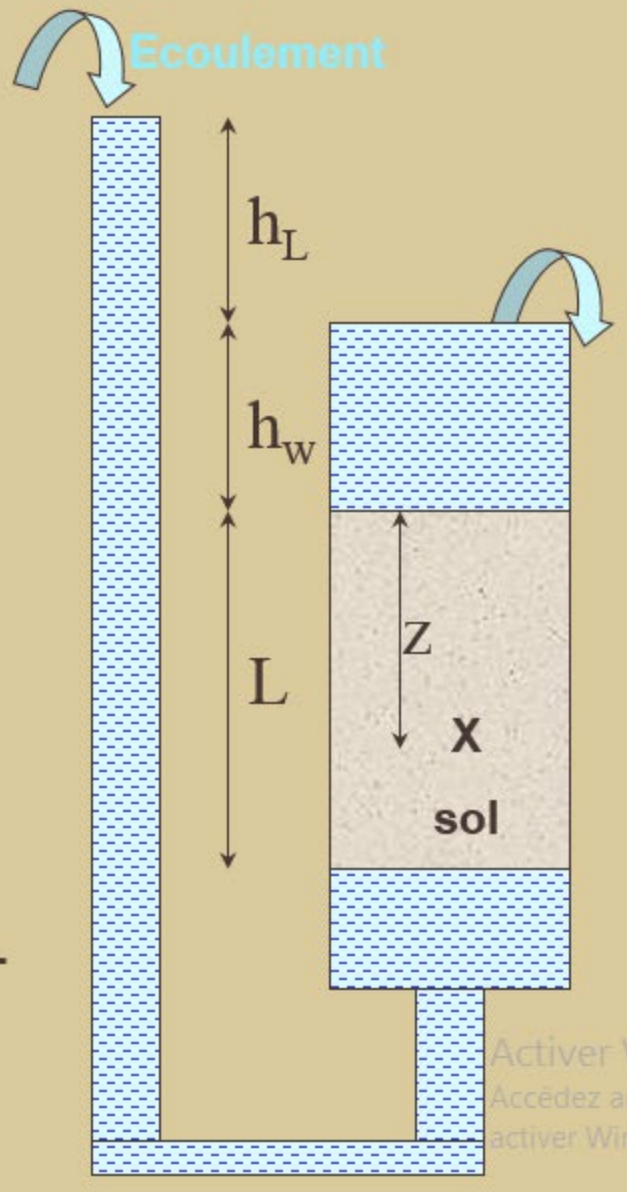
$$\sigma_v' = \gamma' z - \gamma_w i z$$

$$\sigma_v' = \gamma_w z \left\{ \frac{\gamma'}{\gamma_w} - i \right\}$$

Gradient hydraulique critique ($i_c$)

Si $i > i_c$, Les contraintes effectives sont négatives.

C'est à dire qu'il n'y a pas de contact inter-granular, donc la rupture parviendra.



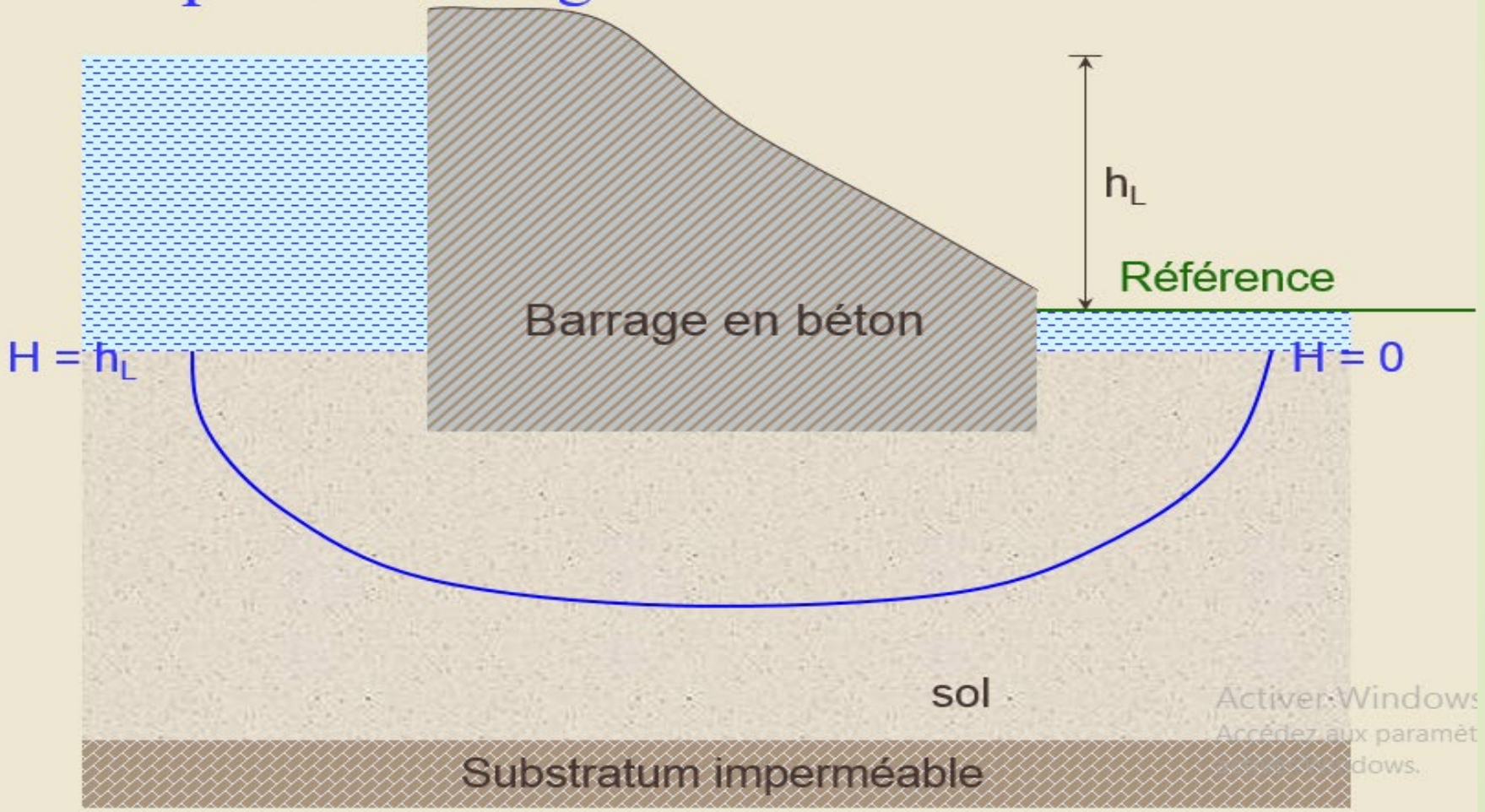

Activer Windows
Accédez aux paramètres de
activer Windows.



SIVA

# *Terminologie de l'écoulement*

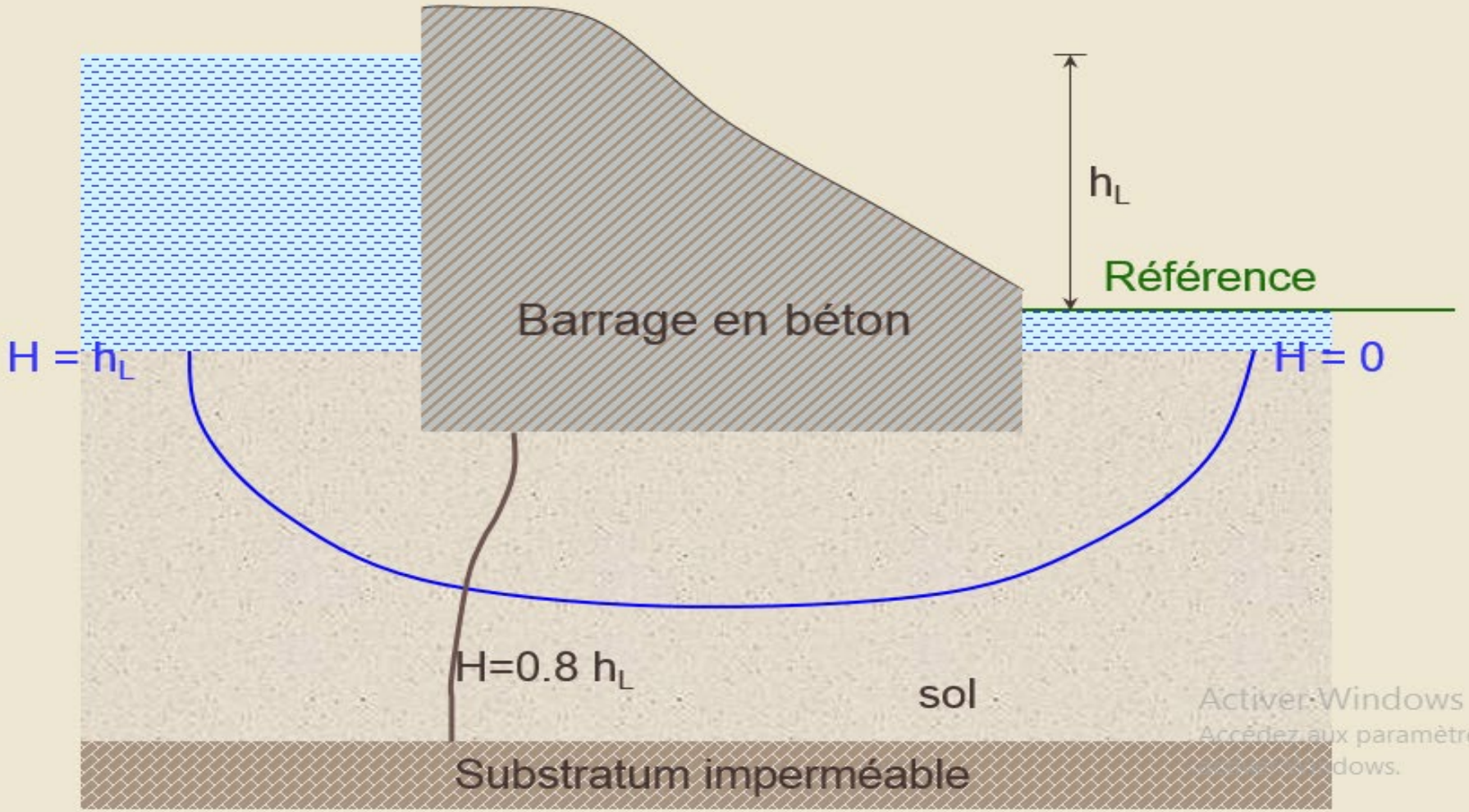
**Stream line** (ou **ligne de courant**) est simplement le chemin parcouru par les molécules d'eau, ce qui se traduit par une perte de charge totale.




Activer Windows
Accédez aux paramèt
dows.

# *Terminologie d'écoulement*

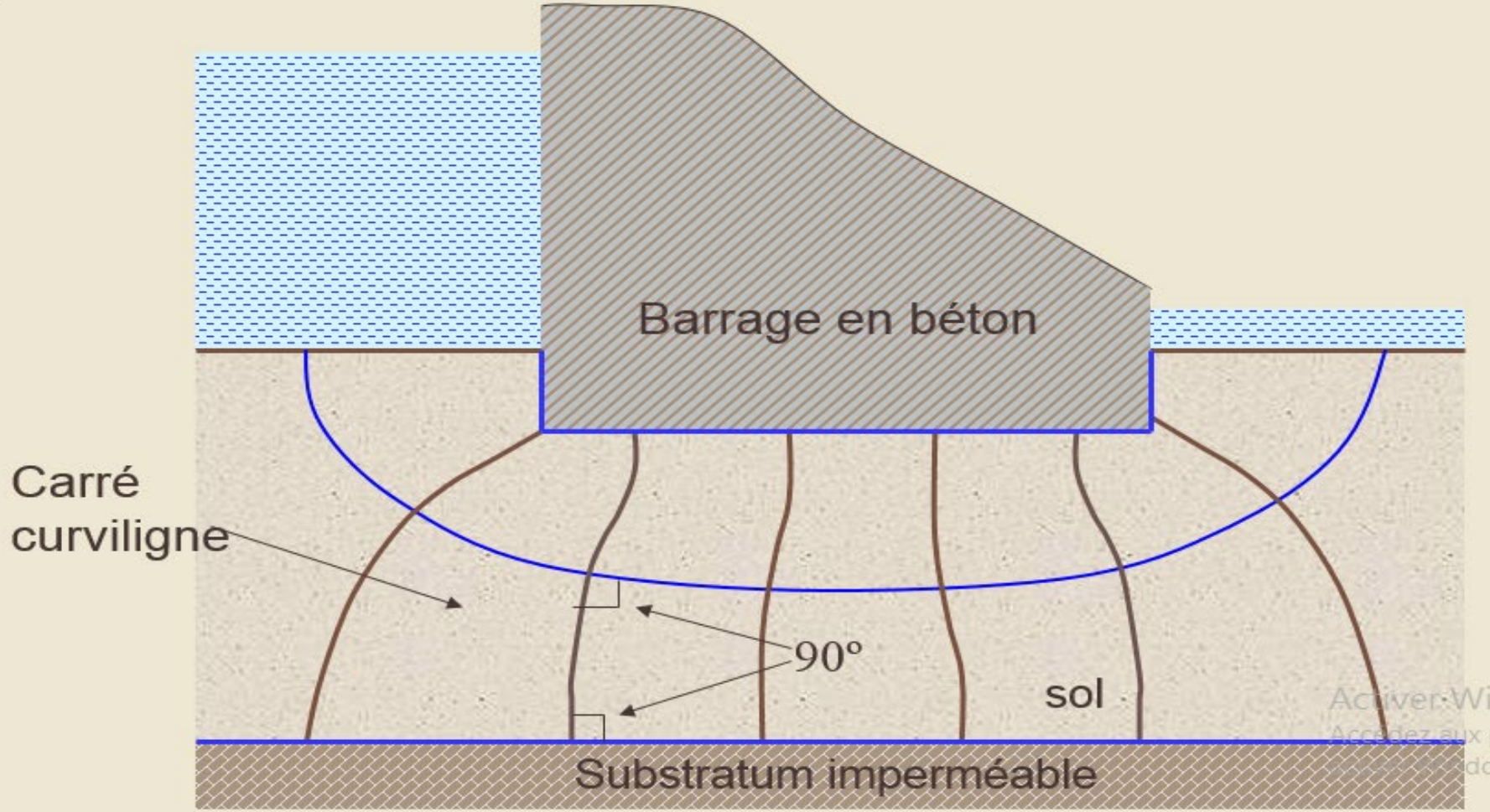
**Ligne équipotentielle** est simplement le contour des points ayant la même charge hydraulique totale.




Activer Windows
Accédez aux paramètre
dows.

# *Terminologie de l'écoulement*

**<u>Réseau d'écoulement</u>**. Il s'agit du regroupement de l'ensemble des lignes de courant et de lignes équipotentielles.




Activer Windows
Accédez aux paramètre
dows.

# Terminologie de l'écoulement

**Débit Q.** Par définition, c'est la grandeur donnée par:

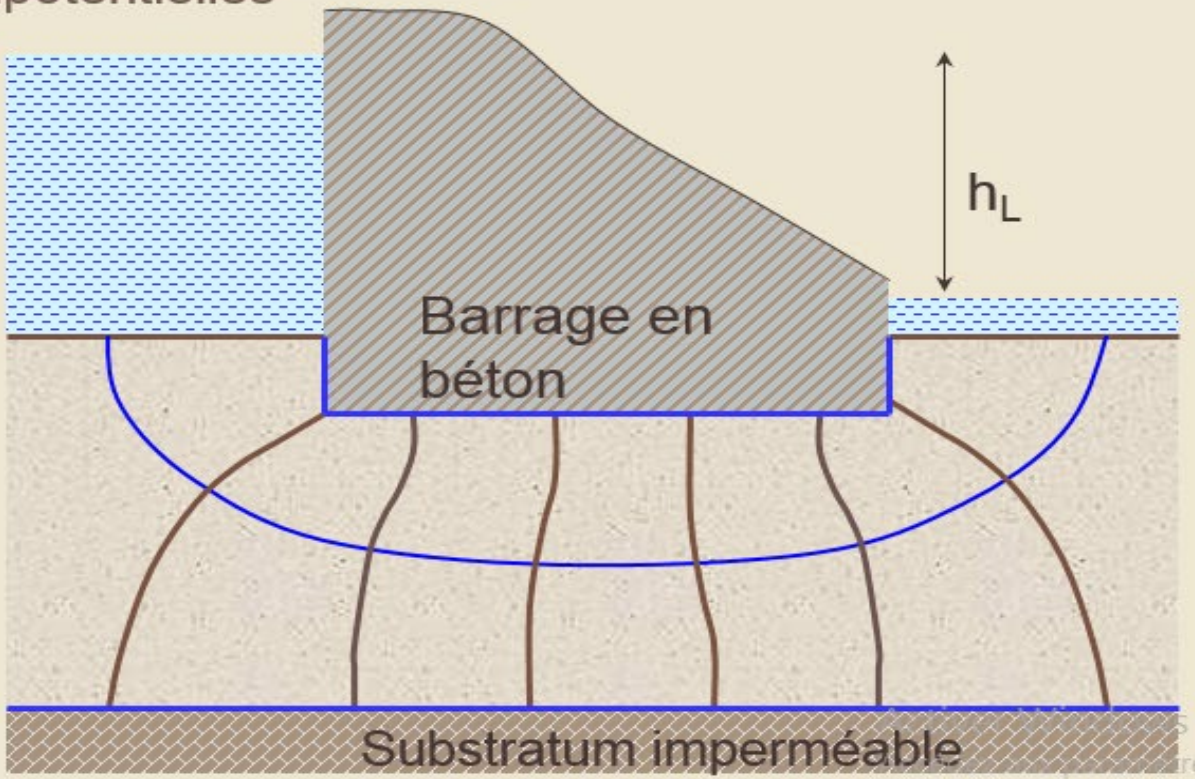
$$Q = kh_L \frac{N_c}{N_H}$$

Nombre des tubes de courant

Nombre d'intervalles équipotentielles

Perte de charge

Q est calculée par longueur unitaire normale au plan.




activer Windows.

# *Charge hydraulique en un point X*

Charge totale = $h_L$ - nombre d'intervalles équipotentielles depuis le niveau max de la retenue (upstream) x $\Delta h$

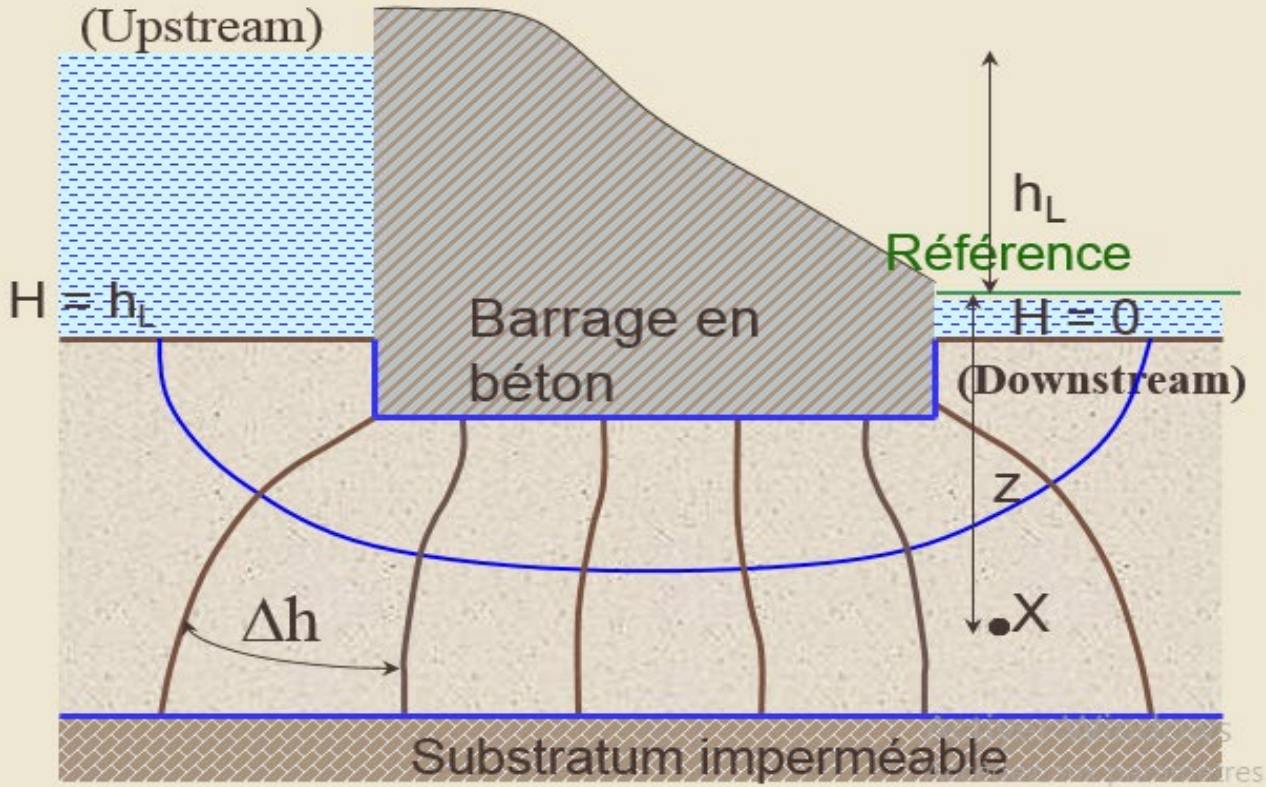
$$= \frac{h_L}{N_d}$$

Hauteur de position = -z

Hauteur piézométrique =

Charge totale –

Hauteur de position

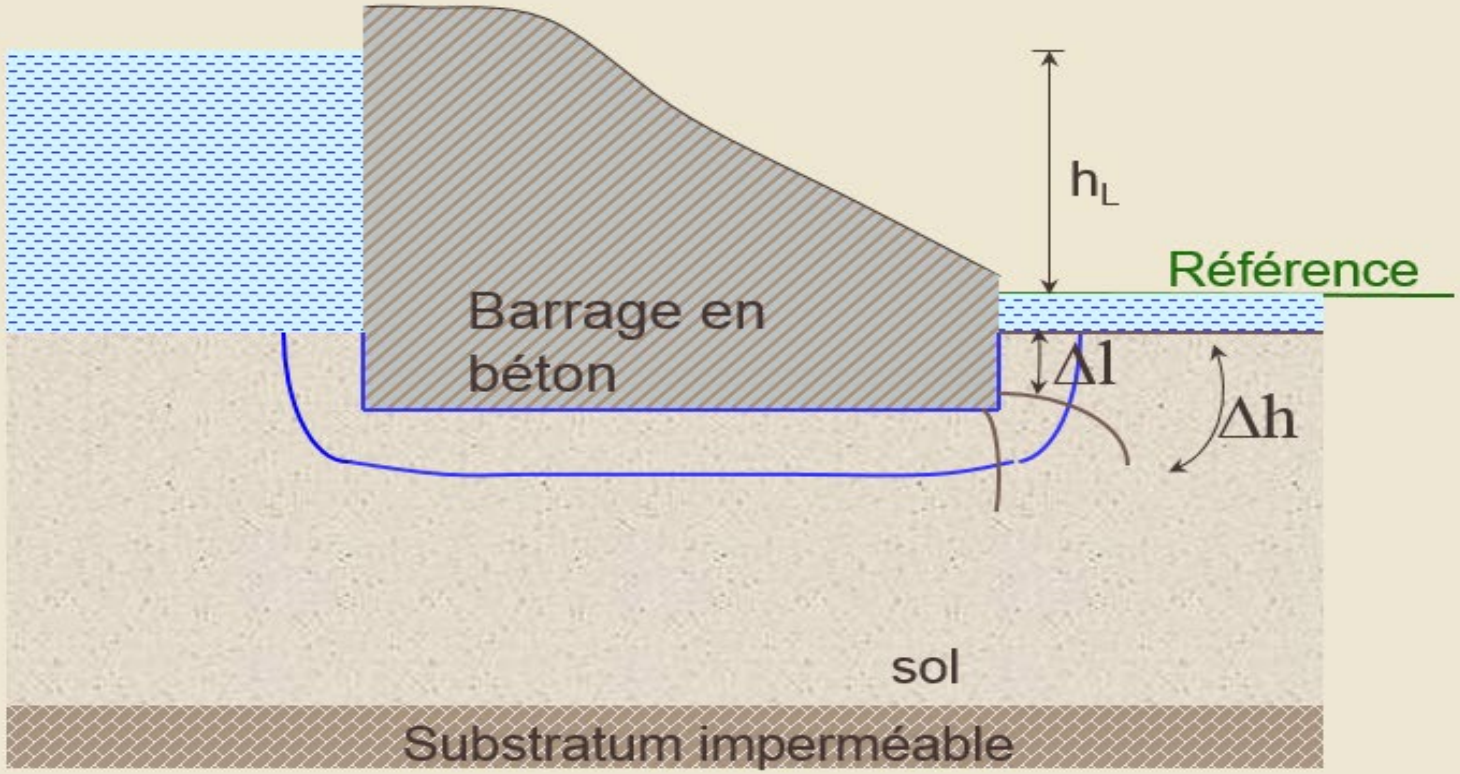



activer Windows.

# *Canalisation dans les sols **granulaires***

Au niveau le plus bas (downstream), à proximité du barrage,

le gradient hydraulique de sortie est : $$i_{exit} = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

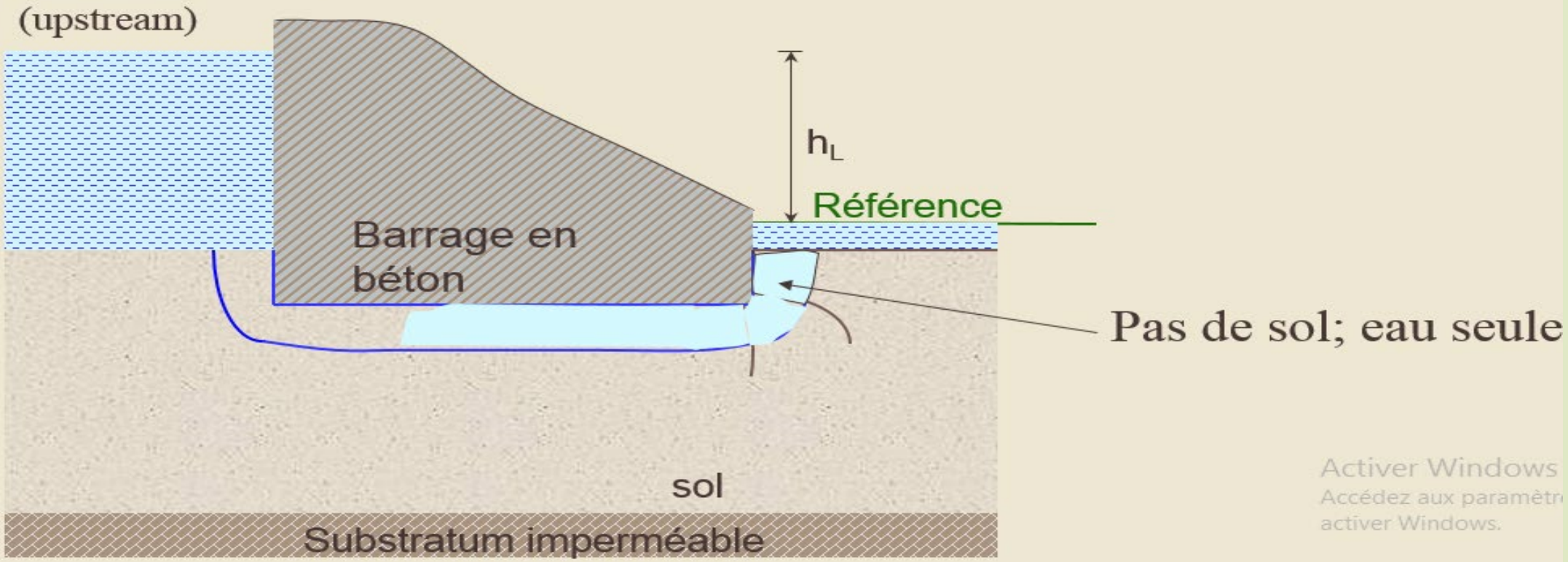



Activer Windows
Accédez aux paramètre
activer Windows.

# *Canalisation dans les sols* ***Granulaires***

Si $i_{exit}$ excède le gradient hydraulique critique ($i_c$), premièrement les grains du sol à la sortie sont "emportés".

Ce phénomène évolue vers le upstream formant ainsi un passage libre pour l'eau (formation d'une "canalisation").




Activer Windows
Accédez aux paramètr
activer Windows.

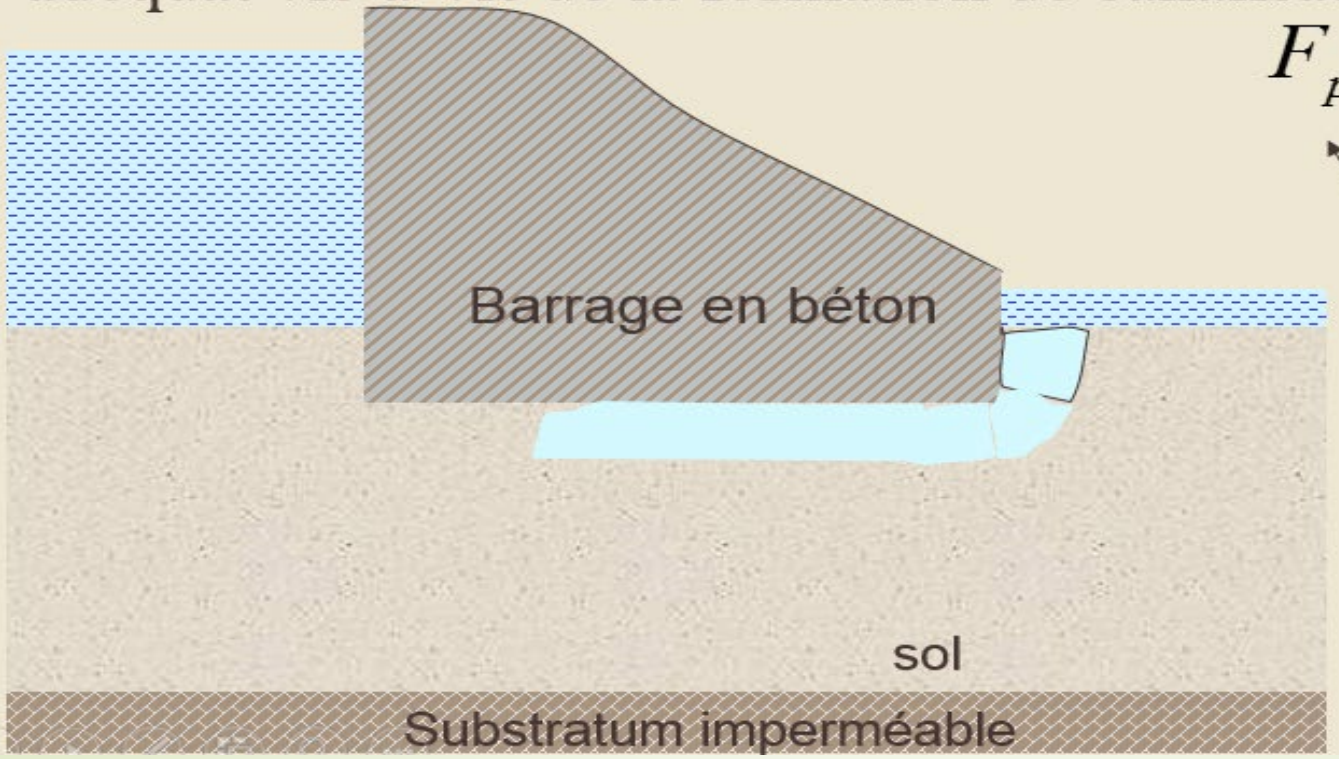
# *Canalisation dans les sols* ***granulaires***

La formation de canalisation est un problème hydraulique sérieux, conduisant à une inondation en downstream pouvant causer des désordres et des pertes en vies humaines.

On recommande de maintenir un coefficient de sécurité adéquat vis-à-vis de la formation de canalisation.

$$F_{piping} = \frac{i_c}{i_{exit}}$$

Typiquement 5-6




Activer Window
Accédez aux paramè
activer Windows.

# *Filtres*

**Utilisés pour :**

- faciliter le drainage,
- prévenir que les particules fines soient emportées

**Utilisés dans :**

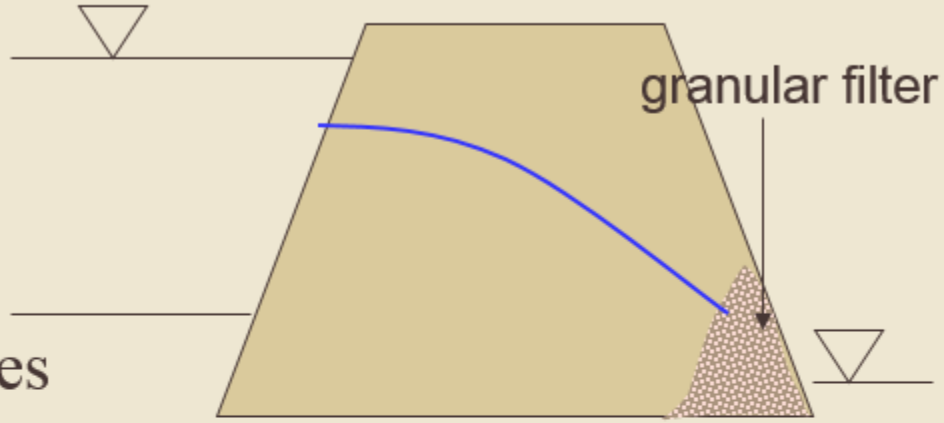
- Les barrages en terre
- Les murs de soutènement

**Filter Materials:**

- Sols granulaires
- Geotextiless

# *Conception des filtres granulaires*

**Deux critères principaux:**




(a) Critère de **rétention:**

- Prévenir que les particules fines soient emportées.

**Les filtres granulaires ne doivent pas être très grossiers**

(b) Critère de **perméabilité:**

- Faciliter le drainage et éviter ainsi la génération des pressions interstitielles.

**Les filtres granulaires ne doivent pas être très fins**

Activer Windows
Accédez aux paramètres de

# *Conception des filtres granulaires*

## Critère de rétention:

$$D_{15,\ filtre} < 5\ D_{85,\ sol}$$

Taille moyenne de l'ouverture du filtre

## Permeability criteria:

$$D_{15,\ filtre} > 4\ D_{15,\ sol}$$

- D'après Terzaghi & Peck (1967)

$$D_{15,\ filtre} < 20\ D_{15,\ sol}$$

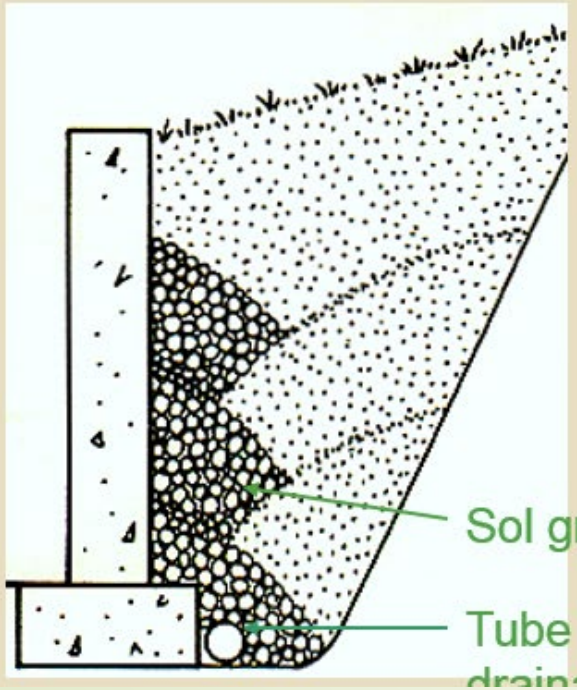
$$D_{50,\ filtre} < 25\ D_{50,\ sol}$$

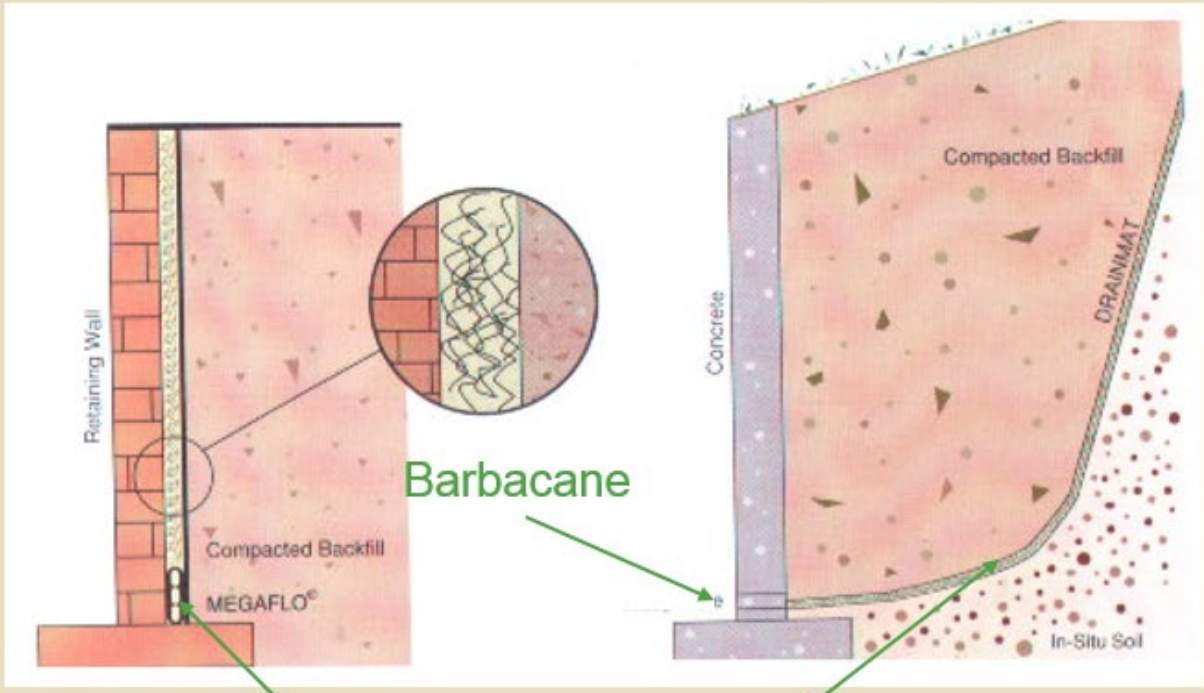
- D'après US Navy (1971)

Les courbes d'analyse granulmétriques du sol et du filtre doivent être parallèles.

Activer Win
Accédez aux pa
activer Windo

# *Provisions du drainage en murs de soutènement*




Activer Windows
Accédez aux paramètres d
activer Windows.