



Université de Jijel, Département de Génie civil et hydraulique

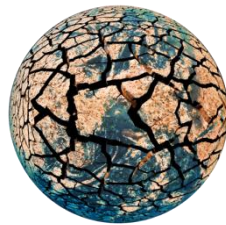
Module : Barrages en terre

Cours magistral destiné aux MII-Géotechnique

Etude des infiltrations dans le mur et sa fondation

Par : Dr. Ishak Abdi

Maître de Conférences B



Introduction

Après l'étude de dimensionnement qui permet de définir le profil général du barrage, on procède à l'étude des infiltrations dans le massif et sa fondation. Ces infiltrations dues à la charge hydraulique créée par le réservoir, ont une influence primordiale sur la stabilité de l'ouvrage. Un pourcentage élevé des accidents recensés des barrages en remblai est relié au phénomène de l'érosion interne suite aux infiltrations.

Introduction

L'étude d'infiltration permet de déterminer les éléments suivants:

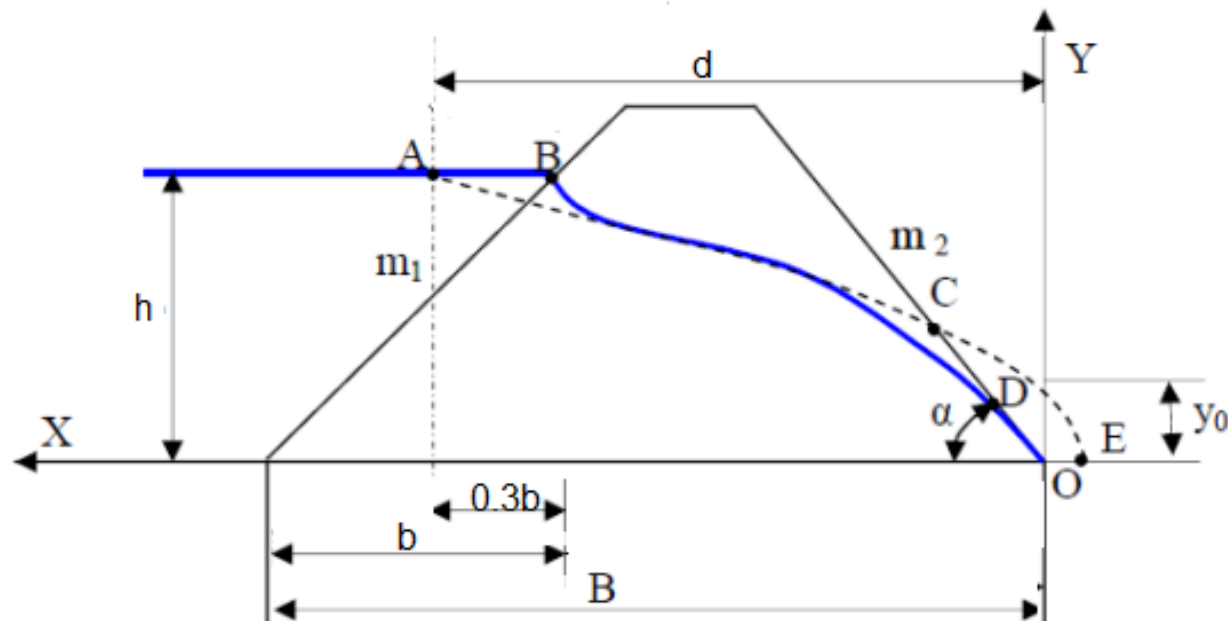
- La Ligne de saturation
- Les pressions interstitielles
- – Débit de fuite

Ligne de saturation

La ligne de saturation est une ligne suivant laquelle la pression à l'intérieur du massif est égale à la pression atmosphérique, elle sépare la zone saturée de la zone sèche/humide. Il est possible de la déterminer par l'utilisation de méthodes simplifiées telle que la méthode de Kozeny qui utilise des approximations et des propriétés graphiques du réseau d'écoulement.

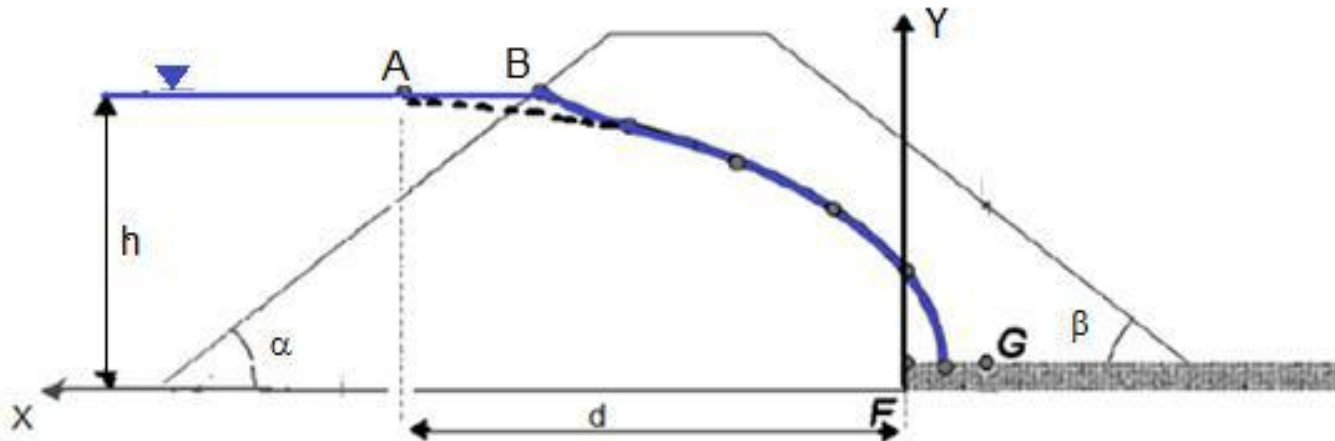
Ligne de saturation pour barrage homogène sans drain sur sol imperméable

Dans un barrage en terre homogène non drainé, la ligne de saturation peut être assimilée dans sa partie médiane à une parabole d'axe horizontal dont le foyer O est situé au pied du parement aval du barrage



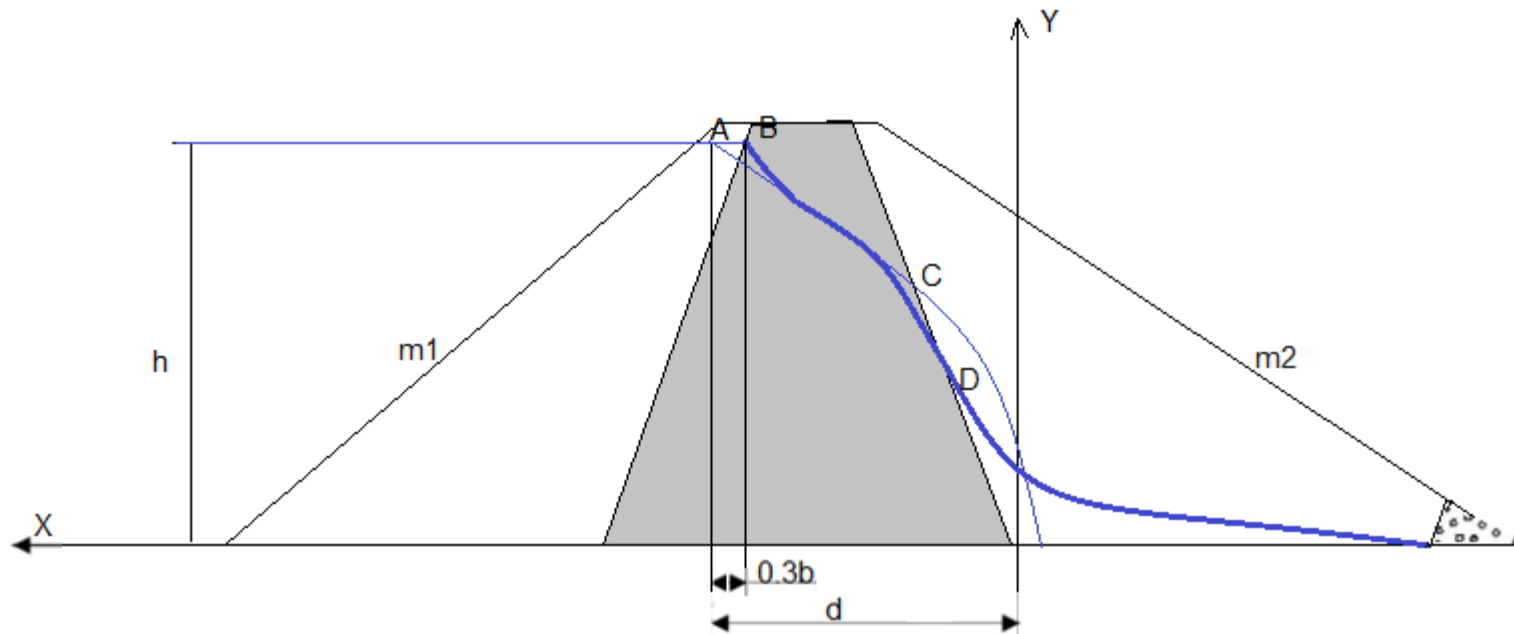
Ligne de saturation pour un barrage homogène avec drain

En général, les barrages en terre sont munis de drain pour rabattre la ligne de saturation à l'intérieur du barrage. Dans ce cas, la ligne de saturation est déterminée de la manière suivante :



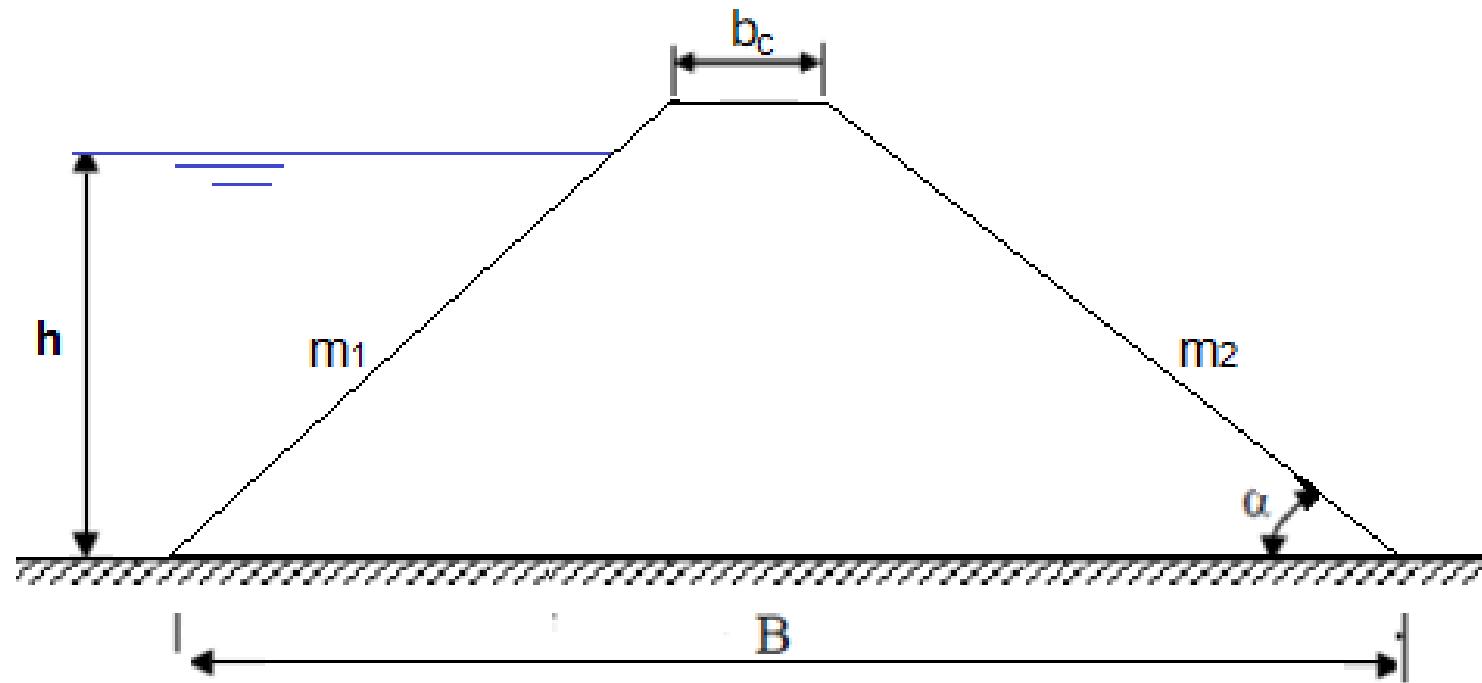
Ligne de saturation pour un barrage à noyau sur fondation imperméable

Dans le cas d'une digue à noyau imperméable épaulée par des zones de recharges perméables, on construit la ligne de saturation comme dans le cas de barrage homogène en ne considérant que le noyau imperméable



Application

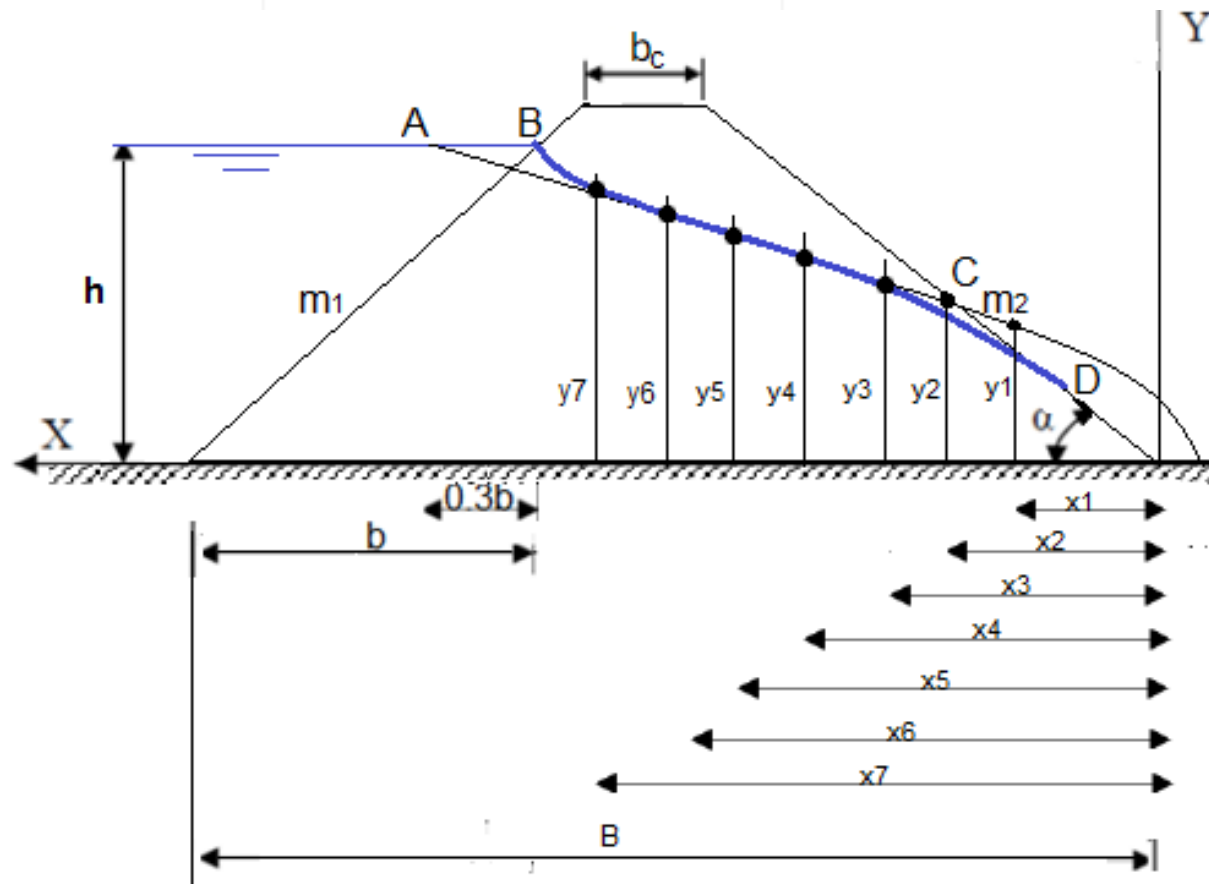
Soit un barrage en terre constitué d'un massif homogène de perméabilité isotrope k reposant sur un substratum horizontal imperméable. On notera h le niveau d'eau dans la retenue, H la hauteur du barrage, bc la largeur du barrage en crête, m_1 la pente du talus amont et m_2 la pente du le talus aval. Pour $h = 17\text{m}$, $H = 20\text{m}$, $bc = 7.5\text{m}$ et $m_1 = m_2 = 2.5$, déterminer le point de résurgence de la nappe phréatique à l'aval et tracer la ligne de saturation.



Pour $h = 17\text{m}$, $H = 20\text{m}$, $b_c = 7.5\text{m}$ et $m_1 = m_2 = 1/2.5$,
déterminer le point de résurgence de la nappe
phréatique à l'aval et tracer la ligne de saturation.

Dans la partie médiane les coordonnées de la ligne de saturation sont :

x	25	30	35	40	45	50	55
y	9,74	10,64	11,47	12,24	12,96	13,65	14,31



Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

- a. Charge hydraulique.

Soit un point situé dans un massif saturé siège d'un écoulement permanent, u la pression de l'eau en ce point et z sa cote par rapport à un repère quelconque. La charge hydraulique h en ce point, exprimée en mètre (m), représente l'énergie d'une particule d'eau de masse unitaire

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + z + \frac{v^2}{2g}$$

$$h \approx \frac{u}{\gamma_w} + z$$

Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

- b. Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique, i , est la perte de charge hydraulique par unité de longueur. Dans un écoulement quelconque, il est défini par :

$$\vec{i} = -\overrightarrow{\text{grad}} h = \begin{cases} -\frac{\delta h}{\delta x} \\ -\frac{\delta h}{\delta y} \\ -\frac{\delta h}{\delta z} \end{cases}$$

Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

- b. Gradient hydraulique :

Dans un écoulement uniforme et unidirectionnel, il exprime la différence de charge hydraulique entre deux points d'un sol par unité de distance. Soit deux points **A** et **B** espacés d'une distance **l**, **h_A** et **h_B** leurs charges hydrauliques respectives, le gradient hydraulique entre ces deux points est :

$$i = \frac{h_A - h_B}{l}$$

Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

- c. Loi de Darcy:

Cette relation fondamentale : $v=K I$

v : vitesse d'écoulement en m/s et K : coefficient de perméabilité en m/s, Le tableau suivant donne un ordre de grandeur de ce paramètre.

Type de sol	Perméabilité	Ordre de grandeur (m/s)
Argile compacte	Imperméable	10^{-9} à 10^{-12}
limon	Très faible	10^{-7} à 10^{-9}
Sables très fin	Faible	10^{-5} à 10^{-7}
Petits graviers, sables	Assez élevée	10^{-3} à 10^{-5}
Gravier moyens à gros	Très élevée	10^{-1} à 10^{-2}

Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

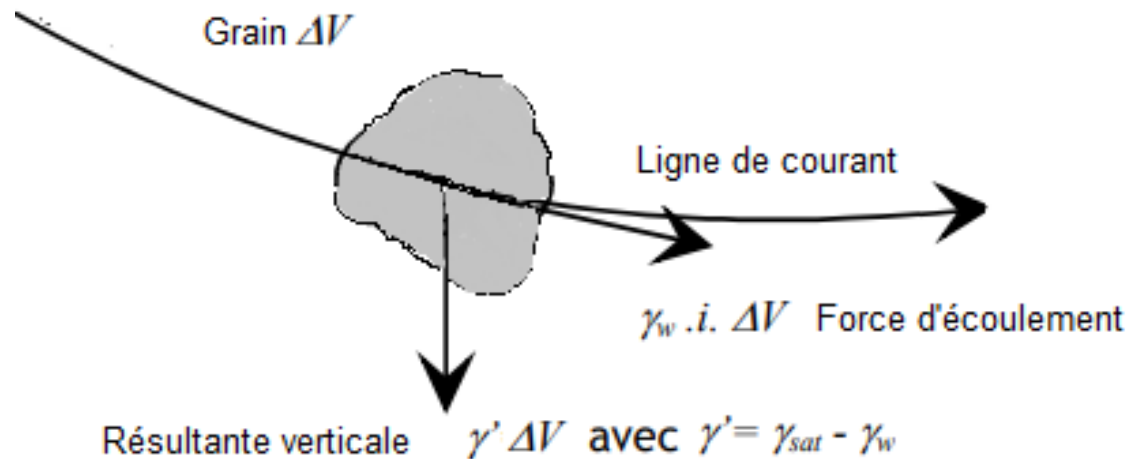
- d. Forces d'écoulement:

Lorsqu'il y a un écoulement, il y a une perte de charge par dissipation d'énergie par frottements eau/grains du sol. En plus de la poussée d'Archimède, des forces dirigées dans le sens de l'écoulement apparaissent sur les grains du sol.

Pressions interstitielles

le bilan des forces s'exerçant sur un volume élémentaire du sol, il correspond à trois forces :

- Le poids : la force verticale descendante $P = \gamma_{sat} \Delta V$ avec γ_{sat} le poids volumique du sol saturé,
- La poussée d'Archimède : la force verticale ascendante égale à $\gamma_w \Delta V$,
- La force d'écoulement : Dirigée dans le sens de l'écoulement, elle est égale à $i \gamma_w \Delta V$



Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

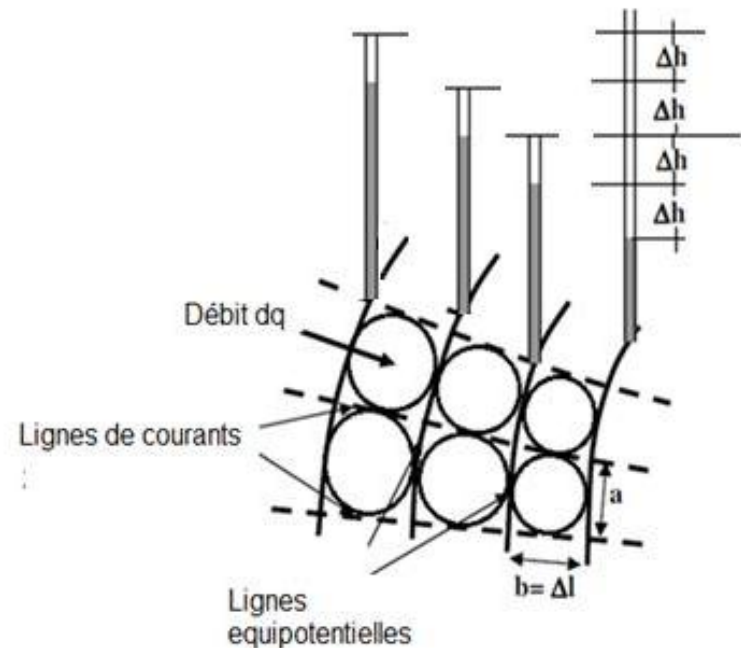
- e. Lignes d'équipotentielles et lignes de courant :

Un réseau d'écoulement est une représentation graphique d'un champ d'écoulement (Solution de l'équation de Laplace). Sa construction a pour but de connaître en tout point du massif, la charge hydraulique, la vitesse et de déterminer les valeurs des forces d'écoulement ou des débits percolant dans une section donnée.

Pressions interstitielles

Notion d'hydraulique du sol:

Il existe plusieurs méthodes pour construire ce réseau, la méthode graphique est une solution approchée mais suffisante dans le cas pédagogique qui est le notre. Ce réseau comprend une famille de lignes d'écoulement et d'équipotentielles:

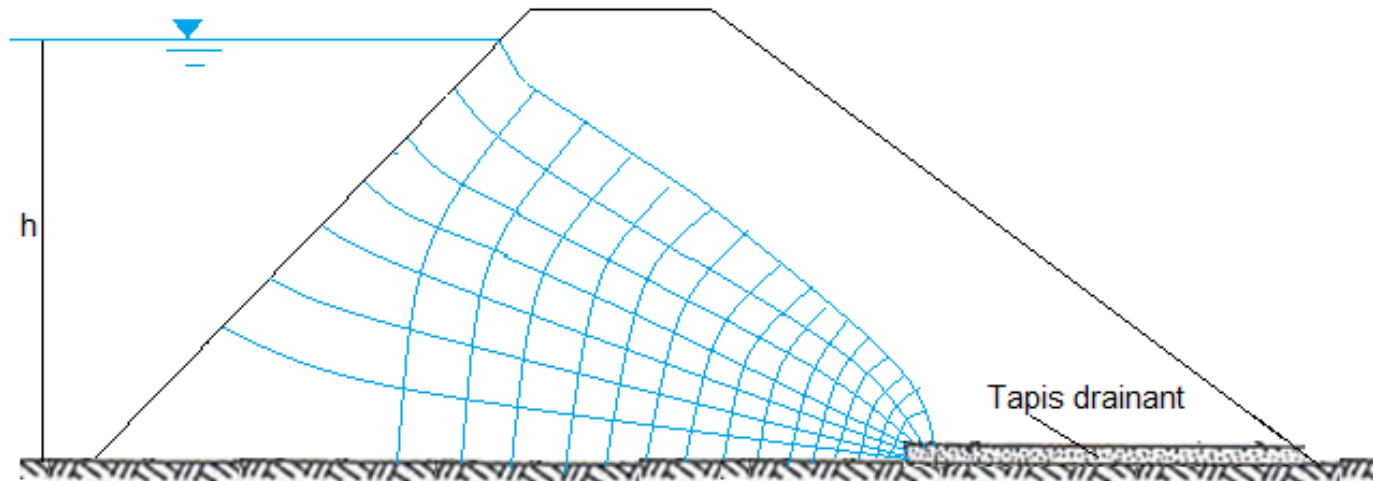
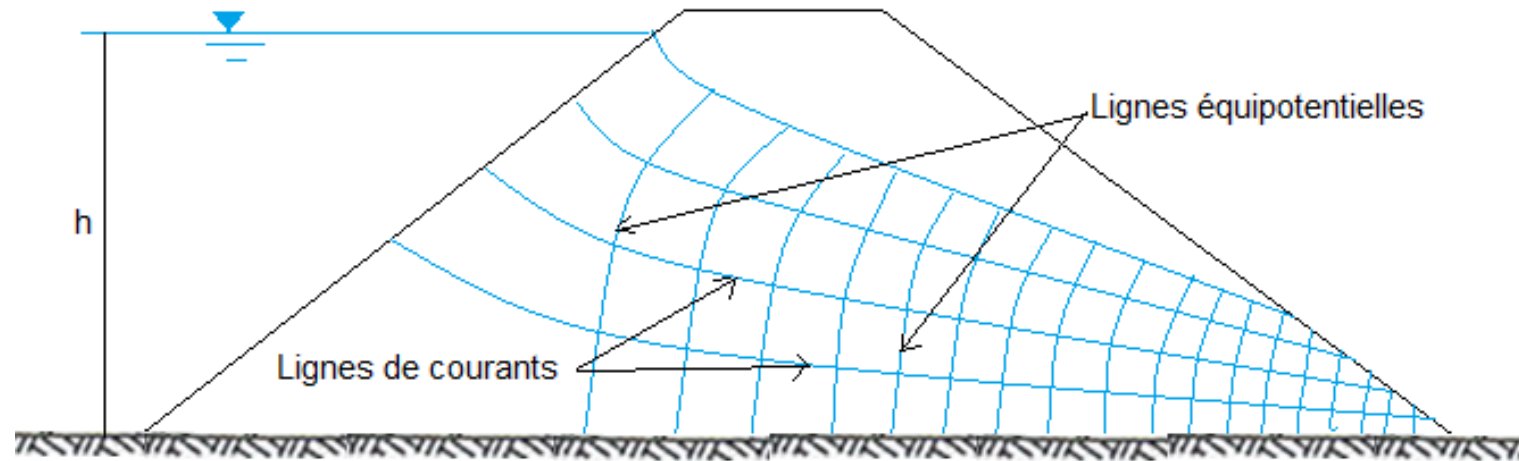


- Les lignes d'écoulement représentent les voies d'écoulement des particules d'eau ;
- Les lignes d'écoulement et lignes équipotentiels sont orthogonales les unes par rapport aux autres ;
- Le débit entre deux lignes d'écoulement adjacentes est constant (dq)
- L'écoulement ne peut pas se produire à travers les lignes d'écoulement ;
- Une ligne équipotentielle est une ligne reliant des points ayant la même charge hydraulique;
- La vitesse d'écoulement est normale aux lignes équipotentiels ;
- La différence de hauteur manométrique entre deux lignes équipotentiels est la perte de charge (dh) ;
- Une ligne d'écoulement ne peut pas croiser une autre ligne d'écoulement ;
- Une ligne équipotentielle ne peut pas croiser une autre ligne équipotentielle.

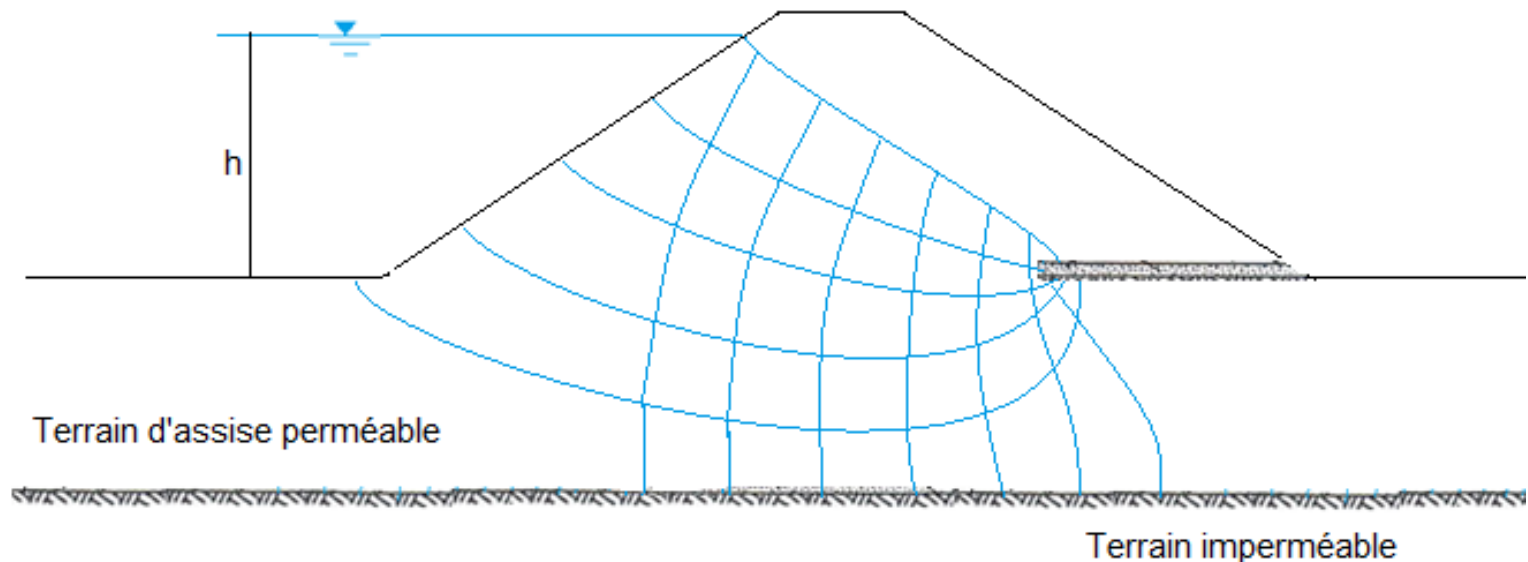
Tracé du réseau d'écoulement dans le cas des barrages en remblai par la méthode graphique

La solution graphique du problème d'infiltration des barrages en remblai se ramène donc à tracer un réseau de lignes orthogonales, les conditions aux limites étant connues. Dans le cas d'un massif homogène reposant sur une assise imperméable, la ligne de saturation et la ligne au contact massif- assise sont deux lignes de courant. Le parement amont est une équipotentielle

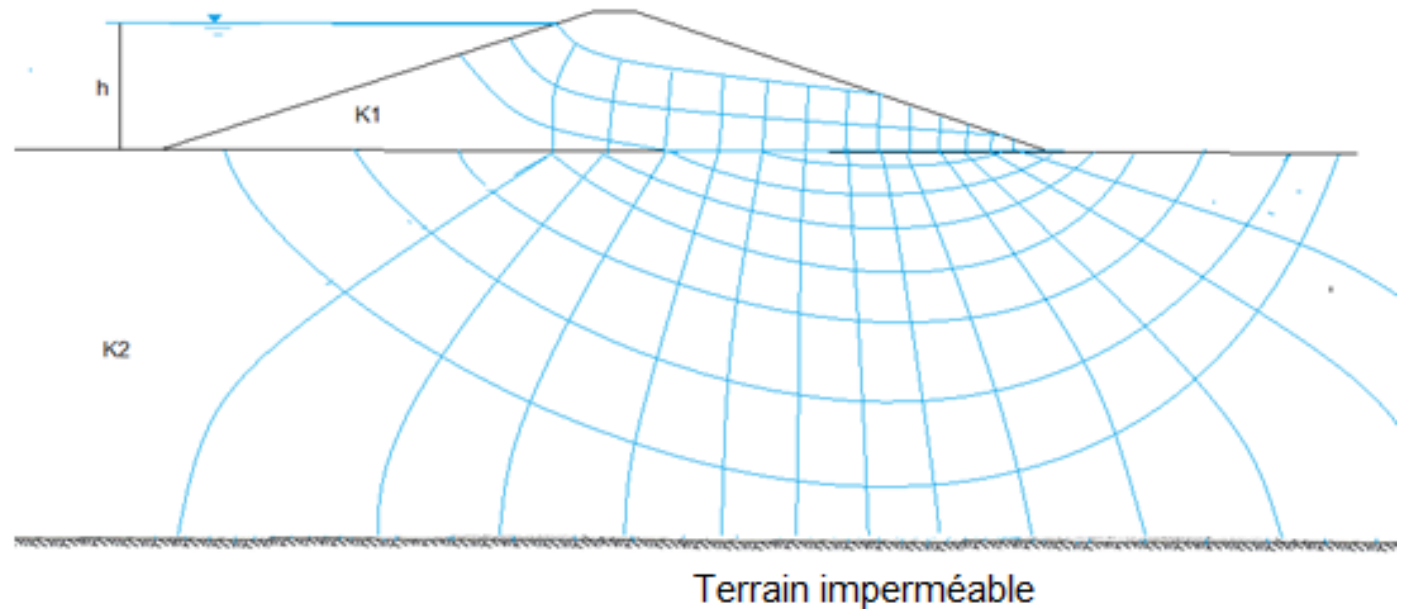
Tracé du réseau d'écoulement dans le cas des barrages en remblai par la méthode graphique



Si les terrains d'assise sont perméables sur une hauteur finie avec une perméabilité semblable à celle du massif du barrage, la ligne de saturation et la ligne limitant la partie inférieure de la couche perméable sont des lignes de courants limites constituant les frontières du système considéré.



Si l'écoulement se fait à travers des couches de différentes perméabilités, les lignes de courant se réfractent au contact de la surface de séparation des deux couches. Elles se resserrent lorsqu'elles entrent dans un matériau plus perméable ou s'écartent dans un matériau moins perméable



Dans le cas de vidange rapide les lignes se repartissent différemment puisque le parement amont n'est plus une ligne équipotentielle et son potentiel varie en fonction du point considéré

