

[Choisir la date]

## Chapitre II : Circulation verticale des eaux souterraines : Infiltration – Ascension capillaire

Introduction : L'eau dans un volume de sol, est soumise à des forces contradictoires qui la mettent en mouvement :

- infiltration qui peut être verticale ou latérale, mais qui suit toujours un mouvement descendant.
- remontée capillaire et absorption racinaire, si tant est que racines il y ait.

Cela aboutit à identifier deux zones :

- la zone " non saturée ", où seule une partie des espaces lacunaires est remplie d'eau, le reste étant occupé par l'air du sol (système à 3 phases : liquide, solide, gazeuse)
- la zone " saturée " où tous les pores sont remplis d'eau (système à 2 phases : liquide, solide).

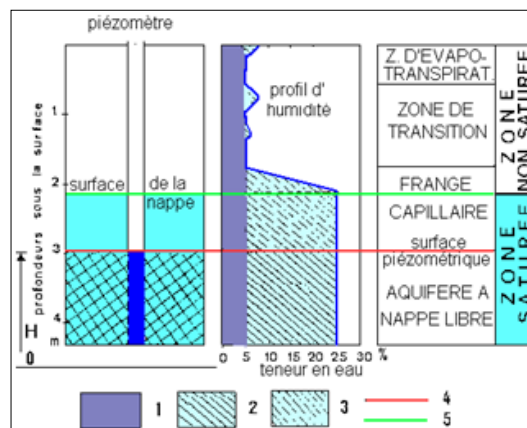


Fig. II.1. Cheminement de l'eau dans un BV

### II.1. Infiltration.

#### II.1.1. Définition

Partie de l'eau de précipitations qui est absorbée par le sol et dirigée vers les couches inférieures. L'estimation de l'importance du processus d'infiltration permet de déterminer la fraction de la pluie ruisselée et, la fraction qui va participer à la recharge des nappes souterraines.

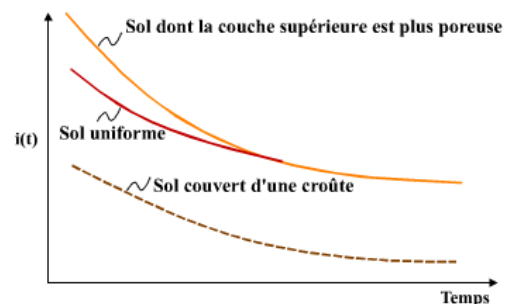
#### II.1.2. Processus en jeu :

- Dans la zone saturée l'eau est soumise essentiellement à la gravité
- Dans la zone non saturée à la gravité et aux forces de capillarité.

#### II.1.3. Facteurs mis en jeu

L'infiltration est conditionnée par :

- Le type de sol structure, texture, porosité ;
- La compaction de la surface du sol (croûte) ;
- La couverture du sol ;
- La topographie et la morphologie ;
- Le débit d'alimentation et ;
- La teneur en eau initiale du sol.



### II.1.4. Variation du taux d'infiltration au cours d'une averse : Profil hydrique

La variabilité spatiale et temporelle de la teneur en eau dans le sol est décrite par des profils d'infiltration, ou plus généralement profils hydriques (Fig. II.2), successifs, représentant la distribution verticale des teneurs en eau dans le sol, à différents instants donnés.

Dans un sol homogène et lorsque la surface du sol est submergée, le profil hydrique du sol présente :

- une **zone de saturation** : située immédiatement sous la surface du sol ;
- une **zone de transmission** : zone proche de la saturation, qui présente une teneur en eau proche de la saturation et en apparence uniforme et;
- une **zone d'humidification** : qui se caractérise par une teneur en eau fortement décroissante avec la profondeur selon un fort gradient d'humidité appelé **front d'humidification** qui délimite le sol humide du sol sec sous-jacent, (Fig. II.3).

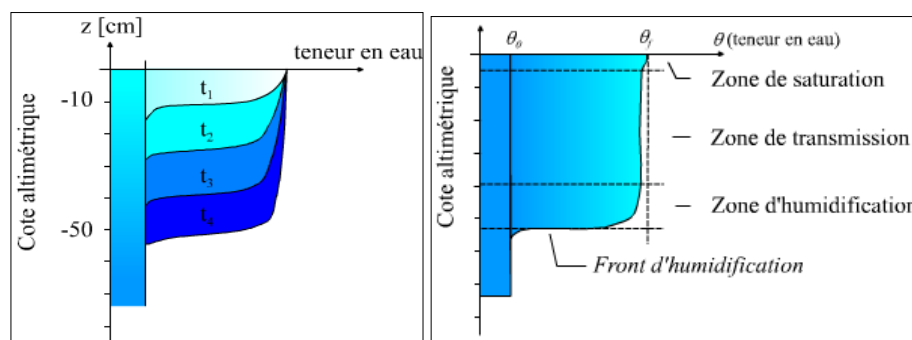
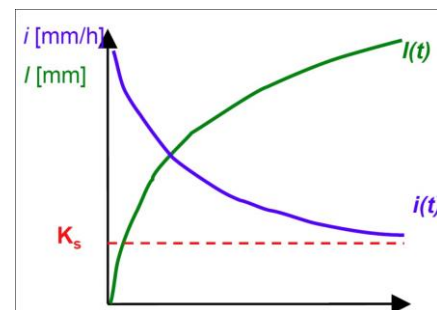


Fig. II.2 : Profils hydriques

Fig. II.3 : Evolution temporelle des profils hydriques

### II.1.5. Variables et paramètres descriptifs :

- Taux d'infiltration  $i(t)$  [mm/h] ;
- Infiltration cumulée  $I$  [mm] ;
- Conductivité hydraulique  $K_s$  ;
- Capacité d'infiltration du sol et ;
- La pluie nette.



#### II.1.5.1. Capacité d'infiltration d'un sol

Flux d'eau maximal que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou s'il est recouvert d'eau. Au cours d'une averse, la **capacité d'infiltration du sol (infiltrabilité)** décroît d'une valeur initiale jusqu'à une valeur limite qui exprime le potentiel d'infiltration à saturation. Si l'on compare l'intensité de la pluie et la capacité d'infiltration d'un sol, il existe deux possibilités :

- Tant que l'intensité de la pluie est inférieure à la capacité d'infiltration, l'eau s'infiltré aussi vite qu'elle est fournie.
- Lorsque l'intensité des précipitations est supérieure à la capacité d'infiltration du sol, l'excédent d'eau s'accumule en surface ou dans les dépressions formant des flaques, ou bien encore s'écoule en suivant les dénivelées topographiques. Dans ce cas, on a atteint le **temps de submersion** et l'on parle d'infiltration à capacité (le régime d'infiltration est limité par la capacité d'infiltration du sol). Comme la détermination du seuil de submersion définit le début de l'écoulement superficiel (principe de

[Choisir la date]

Horton), on peut alors déduire la lame ruisselée provoquée par une averse (volume du ruissellement divisé par la surface du bassin versant). Celle-ci correspond à la **pluie nette**.

### II.1.5.2. Taux d'infiltration (régime d'infiltration)

Flux d'eau pénétrant effectivement dans le sol en surface (mm/h).

- Il s'agit d'un taux => d'une vitesse,
- Il dépend, comme la capacité d'infiltration, des propriétés du sol, de la teneur en eau du sol, mais aussi de l'alimentation effective en eau du sol (irrigation, pluie).

Capacité d'infiltration  $\geq$  Taux d'infiltration réel

### II.1.6. Mesure de l'infiltration

L'infiltration peut être estimée par diverses méthodes parmi lesquelles on cite :

- l'étude du bilan hydrologique en utilisant les simulateurs de pluie au laboratoire ou sur terrains expérimentaux,
- l'étude du bilan hydrologique à l'échelle de l'averse,
- l'utilisation d'infiltromètres.

#### II.1.6.1. Infiltromètre

Cette méthode consiste à bien enfoncer, à l'aide d'une masse, deux tubes cylindriques, plus ou moins normalisés selon les spécifications données sur la figure II.4, dans le sol jusqu'à une profondeur suffisante.

Si le sol est perturbé on le dame avec une masse. Une fois les tubes en place, on trace un repère à l'intérieur du tube interne à l'aide d'un marqueur indélébile; cette marque correspond au niveau initial  $H_0$  de l'eau versée dans ce tube au début de l'expérience (à l'instant  $t = 0$ ).

Après un temps  $t$ , de préférence assez court au début de la mesure, plus ou moins régulier, verser attentivement de l'eau dans le tube à l'aide d'un cylindre gradué jusqu'au niveau du repère.

Le volume d'eau versé correspondra au volume infiltré pendant l'intervalle de temps indiqué. On répète enfin cette dernière étape jusqu'à ce que le volume d'eau ajouté devient plus ou moins constant (le plus souvent après 4 à 6 heures, selon le type de sol).

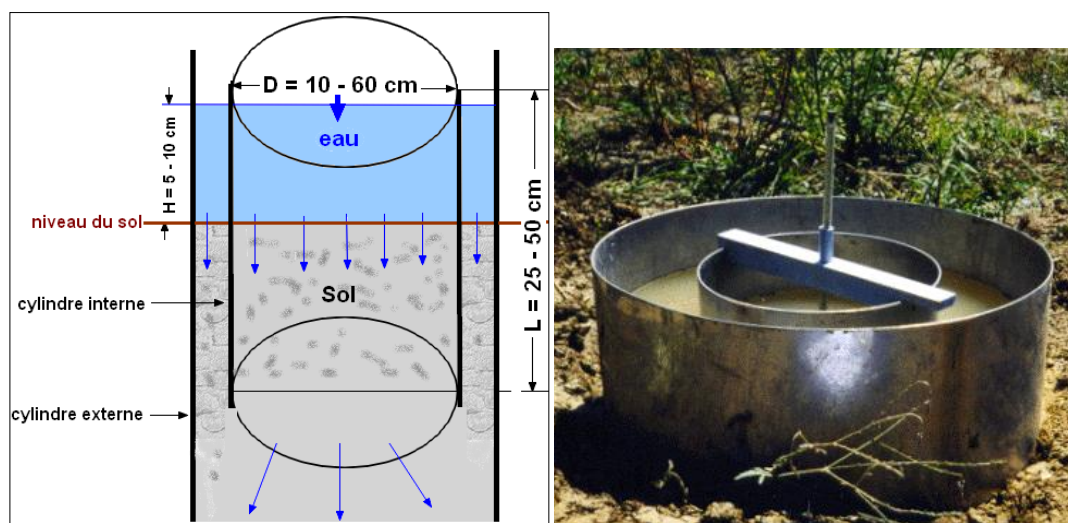


Fig. II.4 : Infiltromètre de Muntz

[Choisir la date]

### II.1.6.2. Caser lysimétriques :

Une case lysimétrique, (fig. II.5), est un bac exposé en plein air qui contient un sol couvert d'un certain type de végétation, ou laissé à nu dont on évalue la quantité d'eau infiltrée et drainée par rapport à celle apportée par les précipitations.

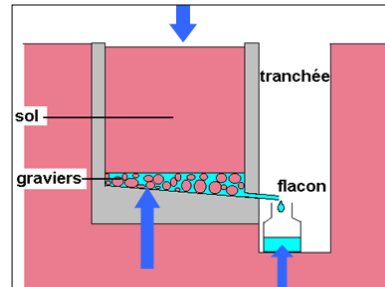


Fig. II.5. : Lysimètre

### II.1.6.3. Relations empiriques

#### II.1.6.3.1. Loi de Horton, (1930)

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

avec :

$f(t)$ : capacité d'infiltration au temps  $t$  [mm/h],

$f_0$ : capacité d'infiltration respectivement initiale dépendant surtout du type de sol [mm/h],

$f_c$ : capacité d'infiltration finale [mm/h],

$t$ : temps écoulé depuis le début de l'averse [h],

$k$ : constante empirique, fonction de la nature du sol [ $\text{min}^{-1}$ ],  $k = (f_0 - f_c)/F_c$

**$F_c$** : Infiltration cumulée (mm).

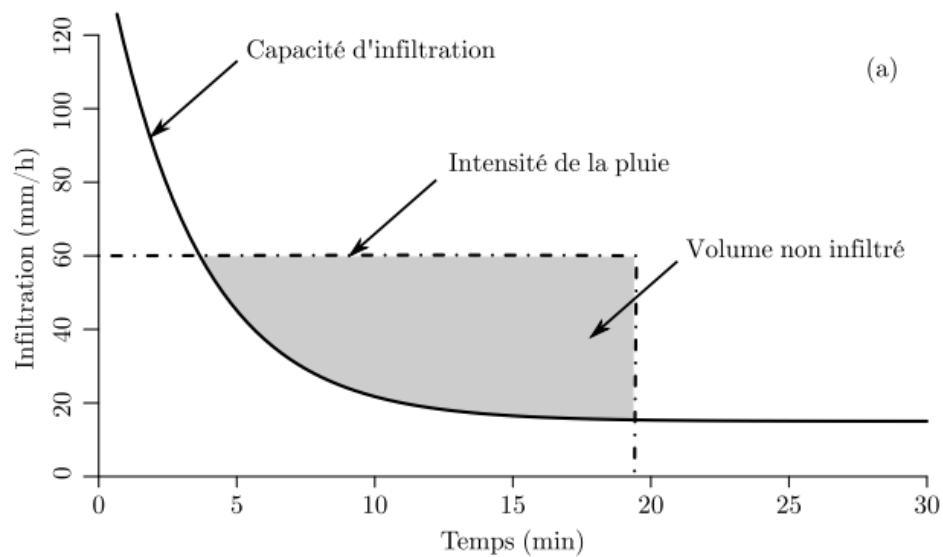


Figure II.6 : Capacité d'infiltration d'un sol selon le modèle d'Horton

#### II.1.6.3.2. Le modèle de Philip

[Choisir la date]

Philip a proposé une méthode de résolution de l'équation de l'infiltration verticale pour certaines conditions initiales et limites. Ce modèle introduit la notion de sorptivité qui représente la capacité d'un sol à absorber l'eau lorsque l'écoulement se produit uniquement sous l'action du gradient de pression. La sorptivité est définie par la lame infiltrée  $I$  en écoulement horizontal. Elle dépend des conditions initiales et des conditions aux limites du système. Elle est fonction des teneurs en eau initiale du sol et imposée en surface.

$$i(t) = \frac{1}{2} S t^{-1/2} + A$$

$S$ : sorptivité (cm/s<sup>0.5</sup>)  
 $A$ : composante gravitaire fonction de la conductivité hydraulique à saturation (cm/s)

### II.1.6.3.3. Le modèle de Green et Ampt

Il est basé sur la loi de Darcy et inclut les paramètres hydrodynamiques du sol tels que les charges hydrauliques totales, au niveau du front d'humidification ( $H_f$  est la somme de la hauteur d'eau infiltrée depuis le début de l'alimentation -  $Z_f$  - et de la charge de pression au front d'humidification -  $h_f$ ) et en surface ( $H_0 = h_0 =$  charge de pression en surface). Une des hypothèses du modèle de Green et Ampt stipule que la teneur en eau de la zone de transmission est uniforme. L'infiltration cumulative  $I(t)$  résulte alors du produit de la variation de teneur en eau et de la profondeur du front d'humidification. Ce modèle s'avère satisfaisant dans le cas de son application à un sol dont la texture est grossière.

➤ Green & Ampt

$$i(t) = K_s \left( 1 + \frac{h_0 - h_f}{z_f(t)} \right)$$

$K_s$ : conductivité hydraulique à saturation (mm/h)  
 $h_0$ : charge de pression en surface (mm)  
 $h_f$ : charge de pression au front d'humectation (mm)  
 $z_f$ : profondeur atteinte par le front d'humectation

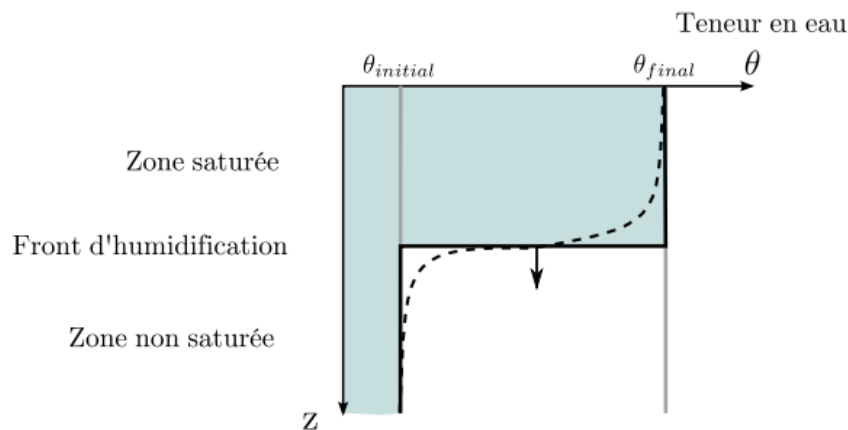


Figure II.7 : Schématisation du modèle de Green et Ampt, avec le front réel entrainé pointillé et le front de type piston entrainé plein.