

# IV - L'eau et le sol

*Cours Physique du Sol - 2007*

# IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

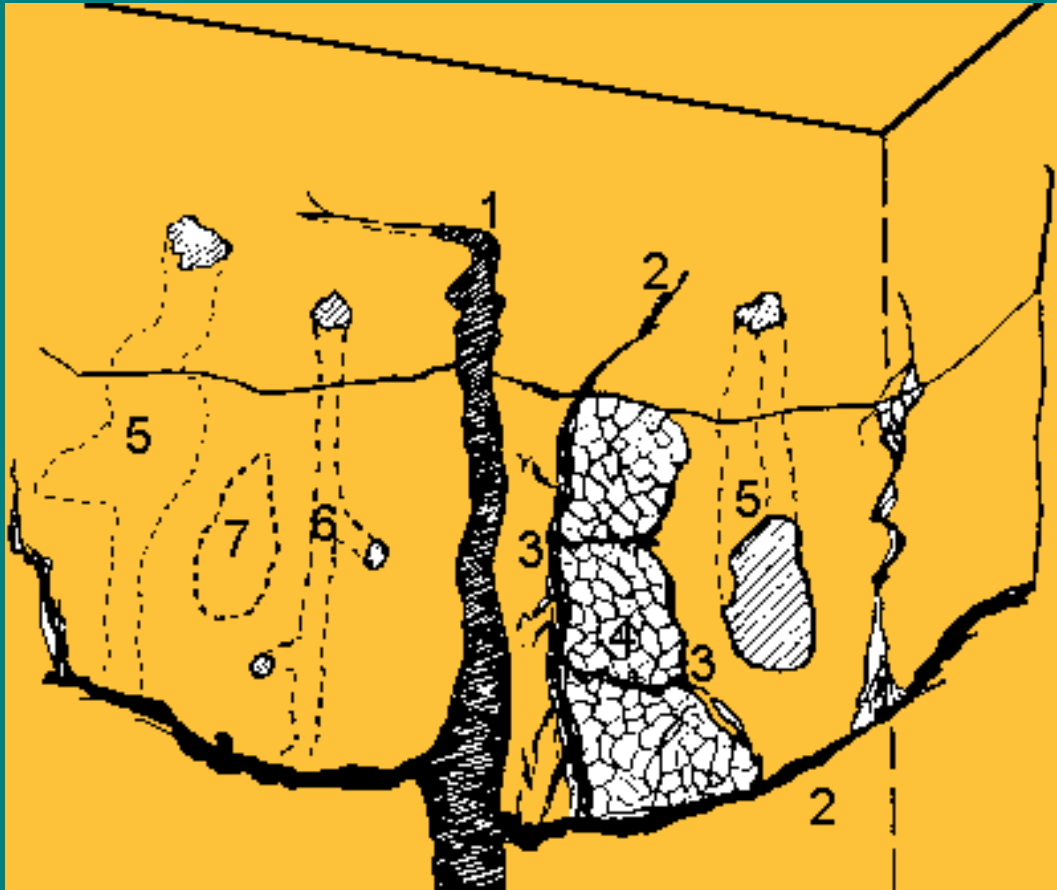
# A - Définition de l'humidité du sol

- Massique :
  - $H_m (\omega) = (\text{masse eau} / \text{masse sol sec}) \times 100$
- Volumique :
  - $H_v (\theta) = (\text{volume d'eau} / \text{volume sol sec}) \times 100$

$$H_v = V_e/V_s = (M_e/\rho_e) \times (\rho_a/M_s) = M_e/M_s \times \rho_a/\rho_e = H_m \times \rho_a/\rho_e$$

- Teneur en eau :
  - $\Theta = \text{masse eau} / \text{masse sol sec}$

# Porosité du sol



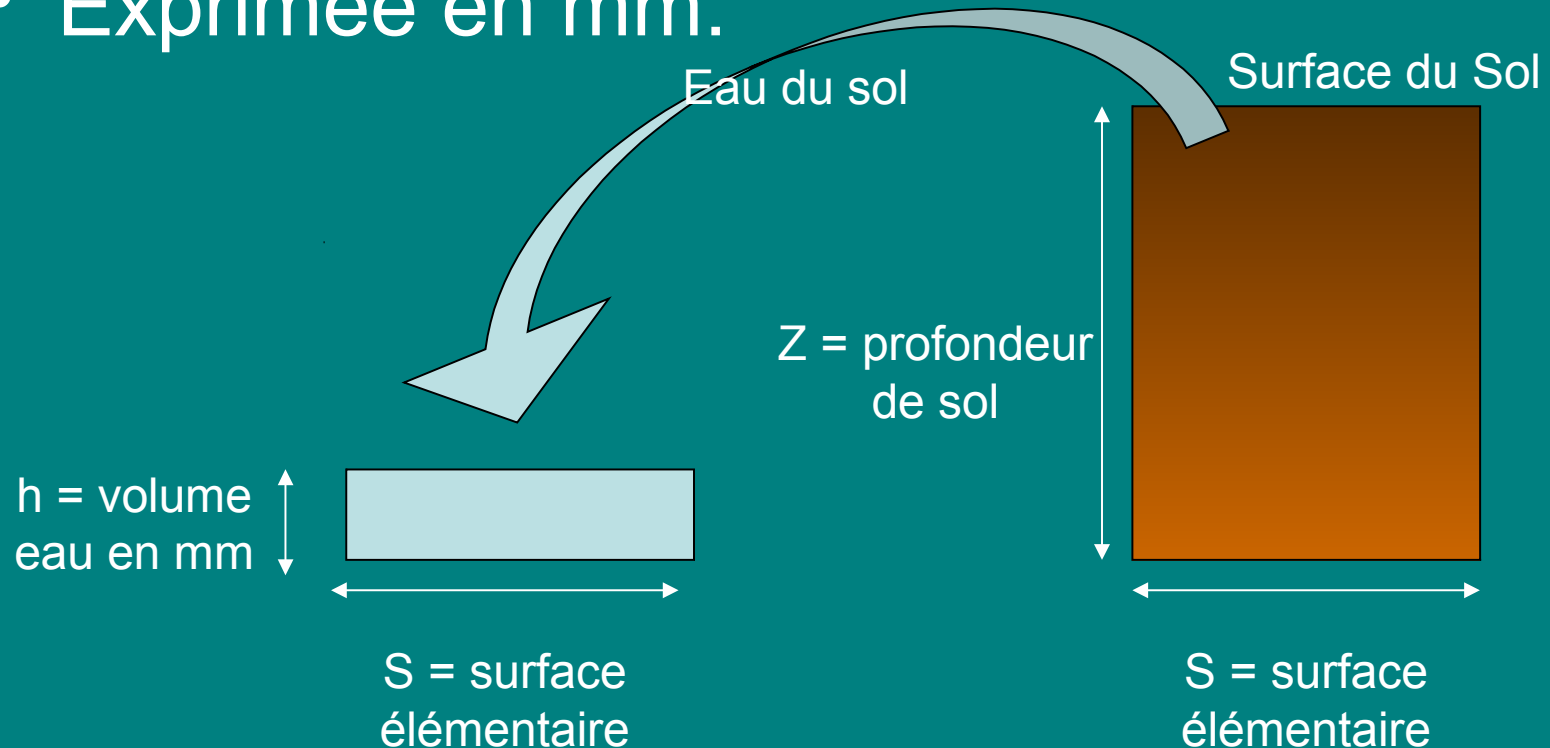
*Légende:*

- (1) grosse crevasse déterminant la sur-structure.*
- (2) crevasse de 2ème ordre délimitant les agrégats*
- (3) fissures fines déterminant la sous-structure*
- (4) canalicules de faible diamètre*
- (5) grosse lacune traversant les agrégats*
- (6) lacune tubulaire creusée par un lombric*
- (7) lacune aveugle.*

*(d'après GAUCHER).*

# A - Définition de l'humidité du sol

- Exprimée en mm:



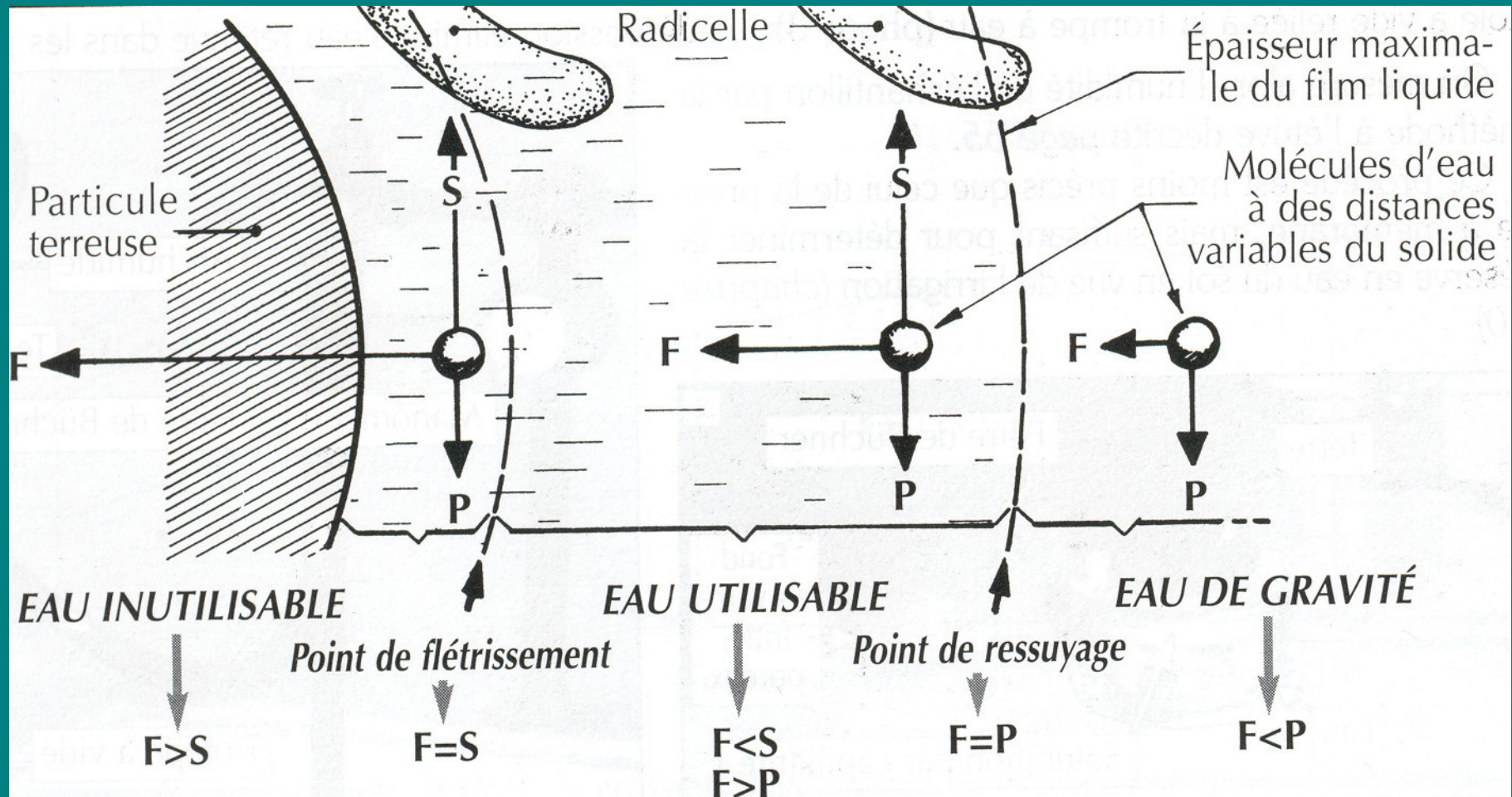
$$H_m = 100 \text{ Me} / M_s = 100 (V_e \cdot \rho_e) / (V_s \cdot \rho_a) = 100 (h \cdot S \cdot \rho_e) / (z \cdot S \cdot \rho_a) = 100 (h / z) \cdot (\rho_e / \rho_a) = 100 (h / z) \cdot (1/\text{da}) \text{ d'où :}$$

$$h \text{ mm} = H_m\% \cdot z_{\text{mm}} \cdot \text{da} \cdot 10^{-2} = H_m\% \cdot z_{\text{dm}} \cdot \text{da}$$

# IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# B - Les forces s'exerçant sur l'eau du sol



Source : Soltner (2003)

# IV - Eau et Sol

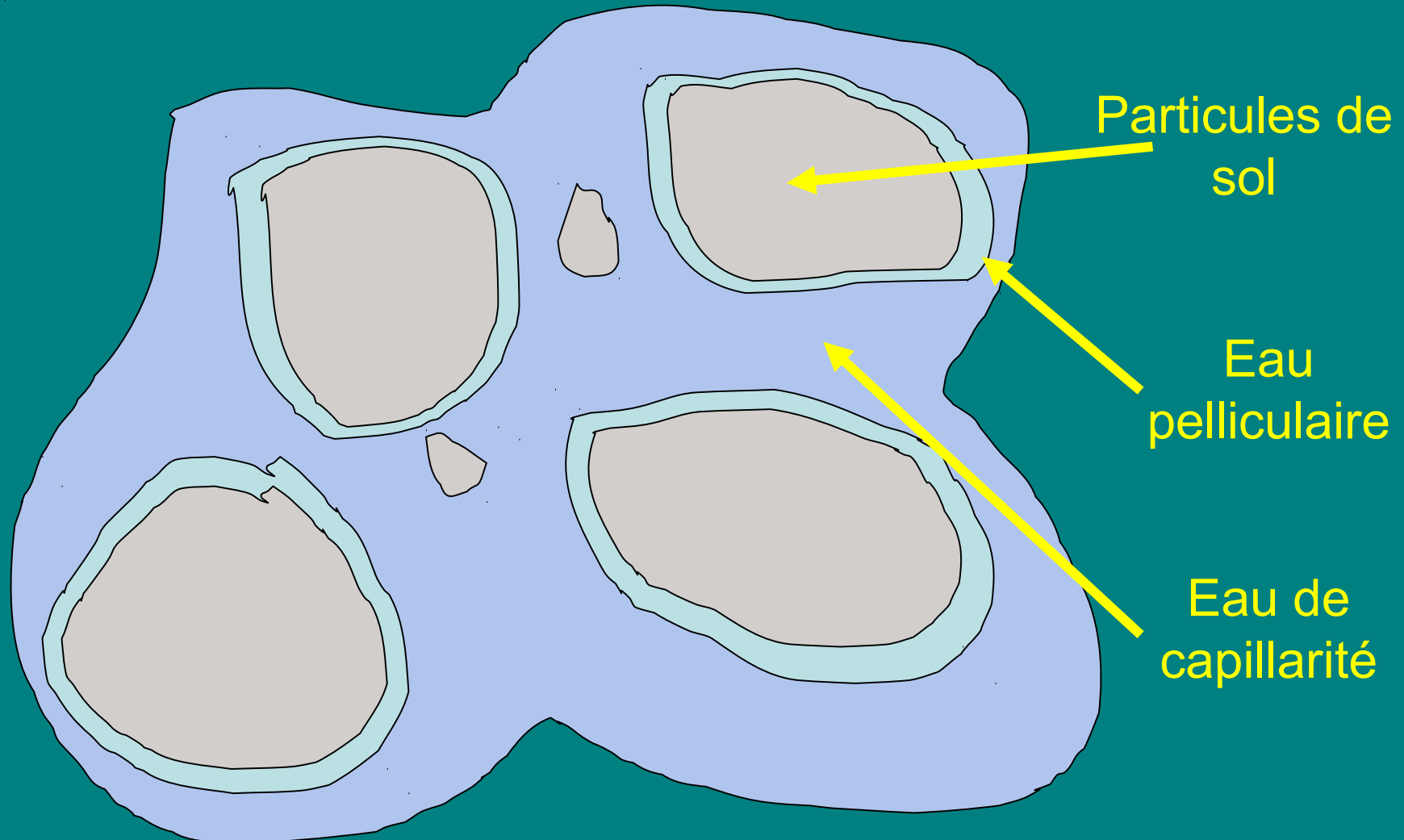
- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - **Le potentiel de l'eau**
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.



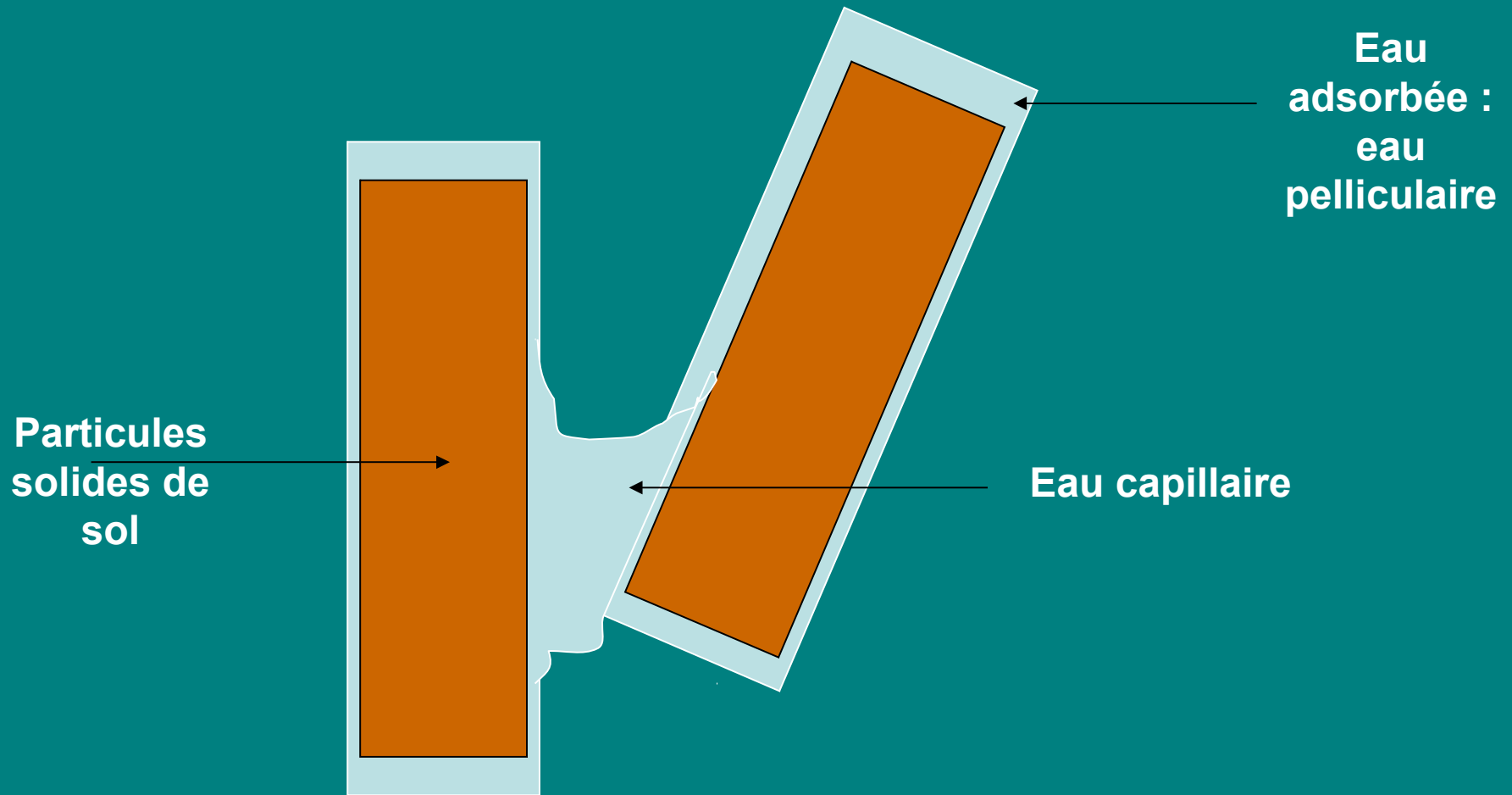
# Potentiel total de l'eau : $\Phi$

- Formule :  $\Phi = \Phi_g + \Phi_p$  (simplifiée)
  - $p \equiv$  potentiel de pression *ou*  $H_p$  *ou*  $\Psi$   
Tient compte adsorption, pression capillaire
  - $g = g_z \equiv$  potentiel gravitaire *ou*  $P_g$   
*ou*  $H_g$

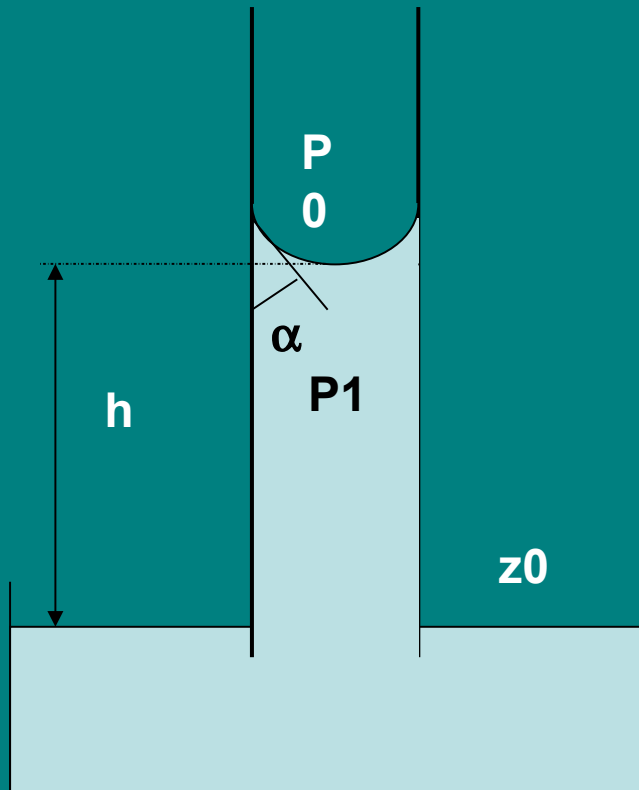
# Potentiel de pression: Eau pelliculaire et capillaire



# Eau pelliculaire et capillaire



# Mesure de la Capillarité : Loi de JURIN



$P_1$  (pression interne) <  $P_0$  (pression atm.)

$$h \text{ en cm} = \Delta P / (\rho_e \cdot g)$$

Avec  $\Delta P = P_0 - P_1 = (2\gamma) \cos \alpha / r$

$\gamma$  tension superficielle de l'eau  
(72,8 dynes/cm)

$r$  rayon du tube capillaire en cm

# Etat de l'eau

- Si le sol est saturé d'eau
  - $\Phi_p$  ou  $H_p$  est  $>0$
  - $\Phi_g$  ou  $H_g \gg \Phi_p$  ou  $H_p \square$  eau gravitaire
- Si le sol n'est pas saturé d'eau
  - $\Phi_p$  ou  $H_p$  ou  $\Psi < 0 \square$  le potentiel de pression abaisse le potentiel de l'eau

## Expression du potentiel de pression en zone non saturée

- $\Psi$  = POTENTIEL MATRICIEL
- Valeur absolue = succion de l'eau par le sol

# IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- D. **Notion de potentiel capillaire ou matriciel**
  - **Définition**
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# Définition du potentiel matriciel

- Le potentiel matriciel :

‘est égal à la quantité d’énergie qu’il faut fournir à 1 cm<sup>3</sup> de volume élémentaire d’eau du sol, pour le faire passer à l’état ‘libre’. On l’appelle aussi Succion de l’eau par le sol.’

# Expression du potentiel matriciel

En Pa, bars, **cm** : 1 à 106 kPa

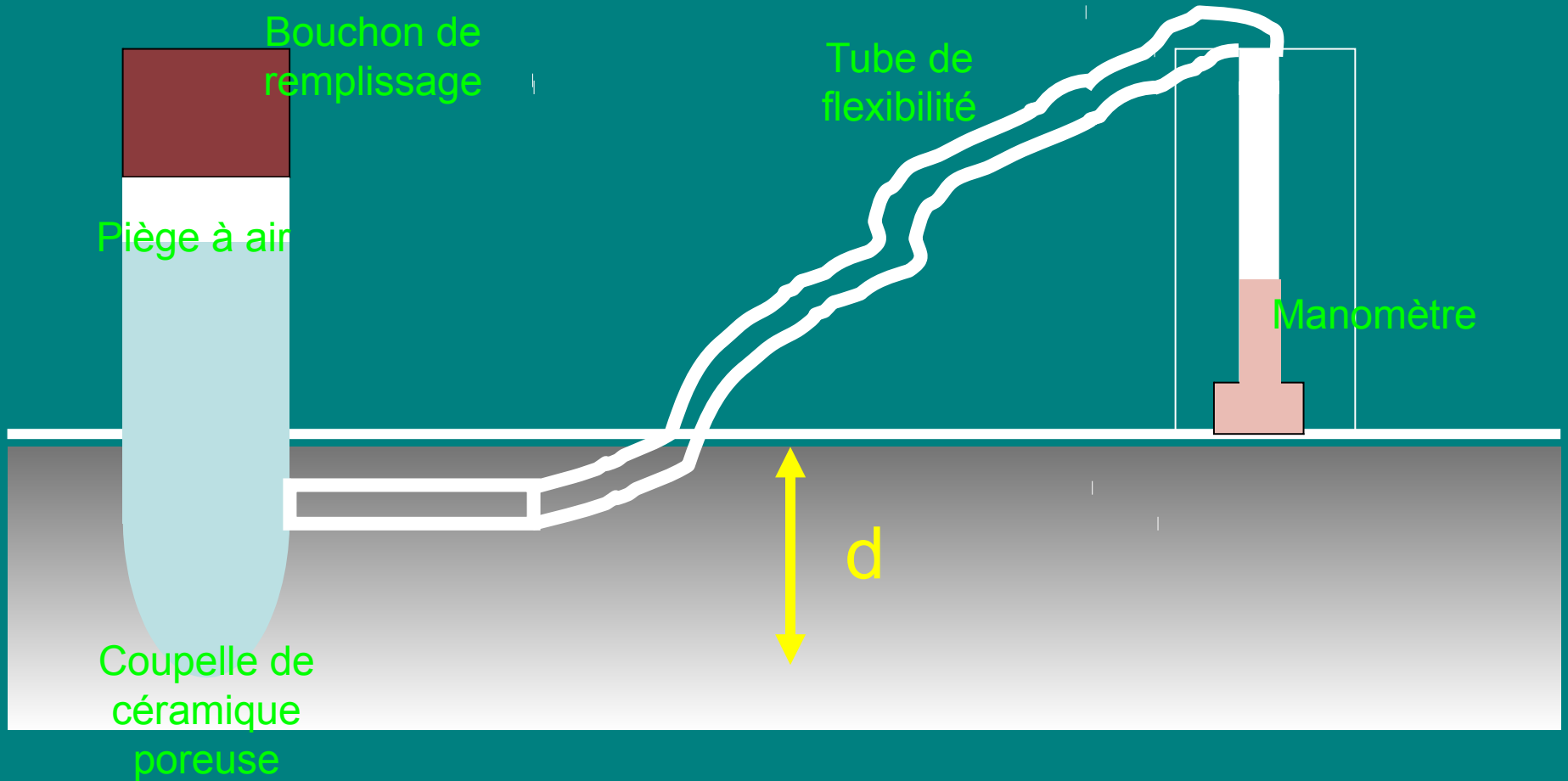
Transformé en **pF** =  $\log (-H_p)$  : 1 à 7

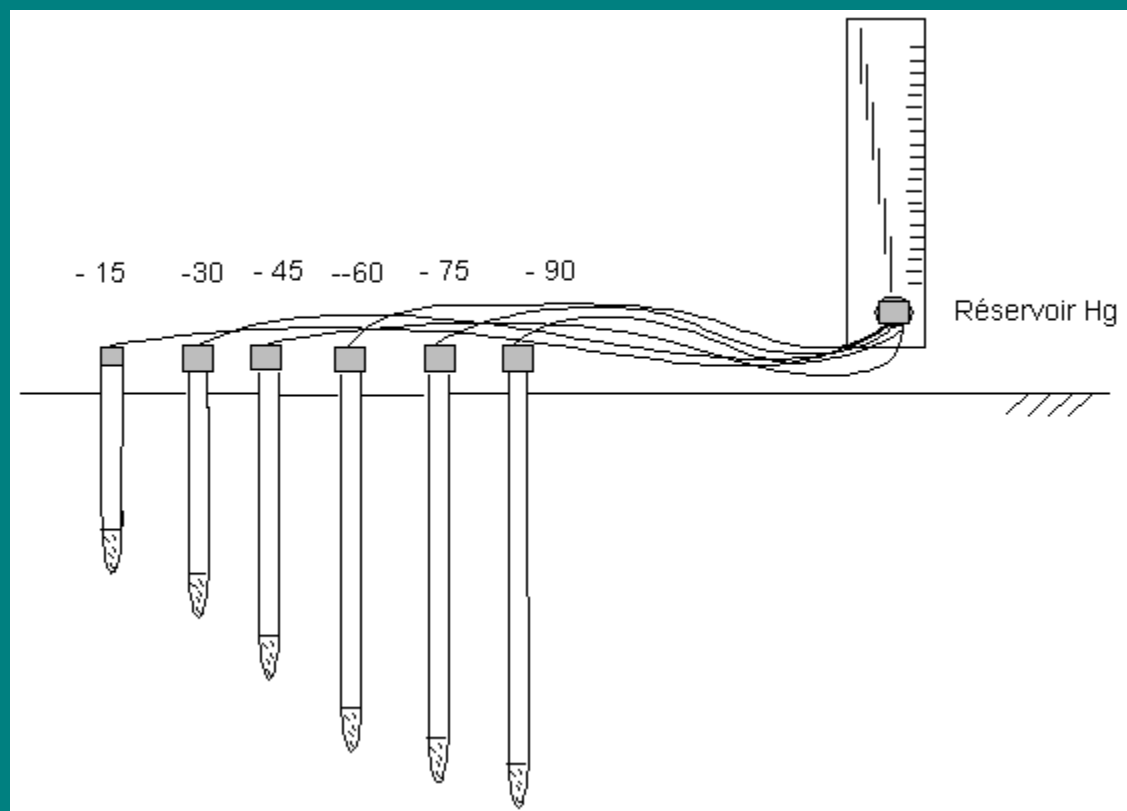


# IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - **Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre**
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# Mesure du pF : Le tensiomètre

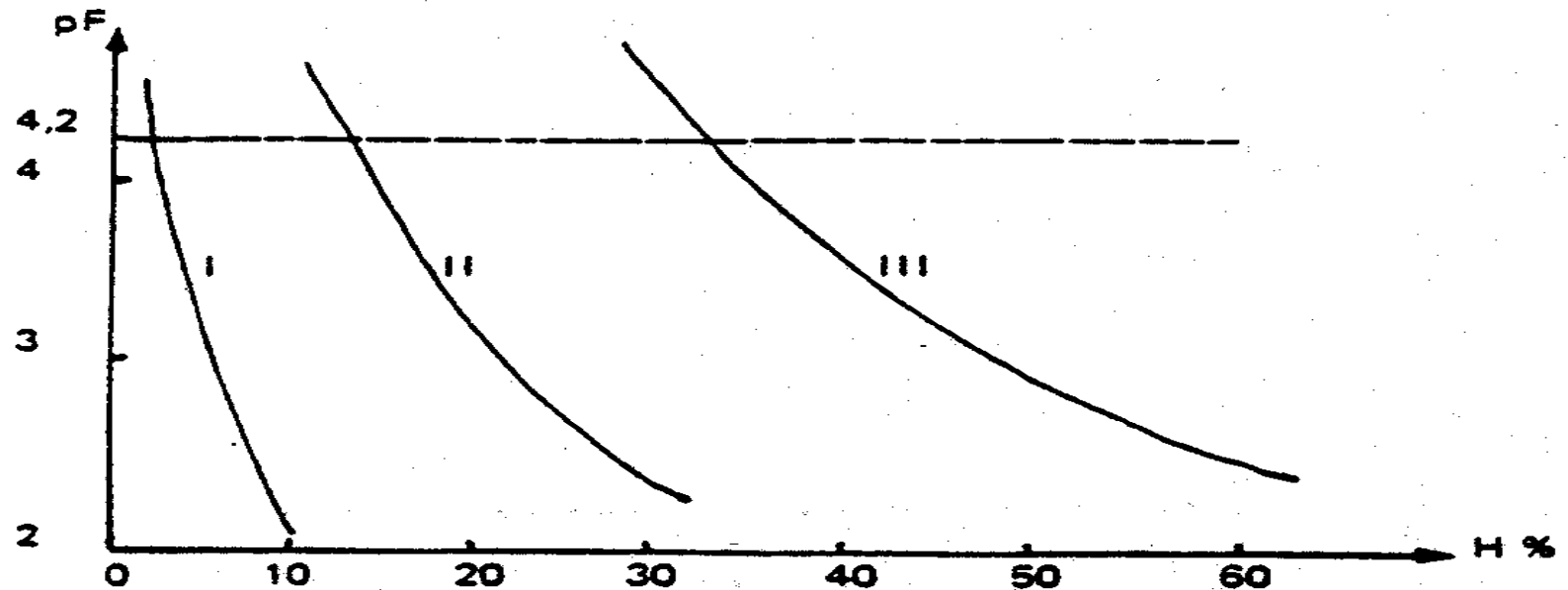




# IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- D. **Notion de potentiel capillaire ou matriciel**
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - **Relations Humidités et pF**
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# Relation Humidité x pF

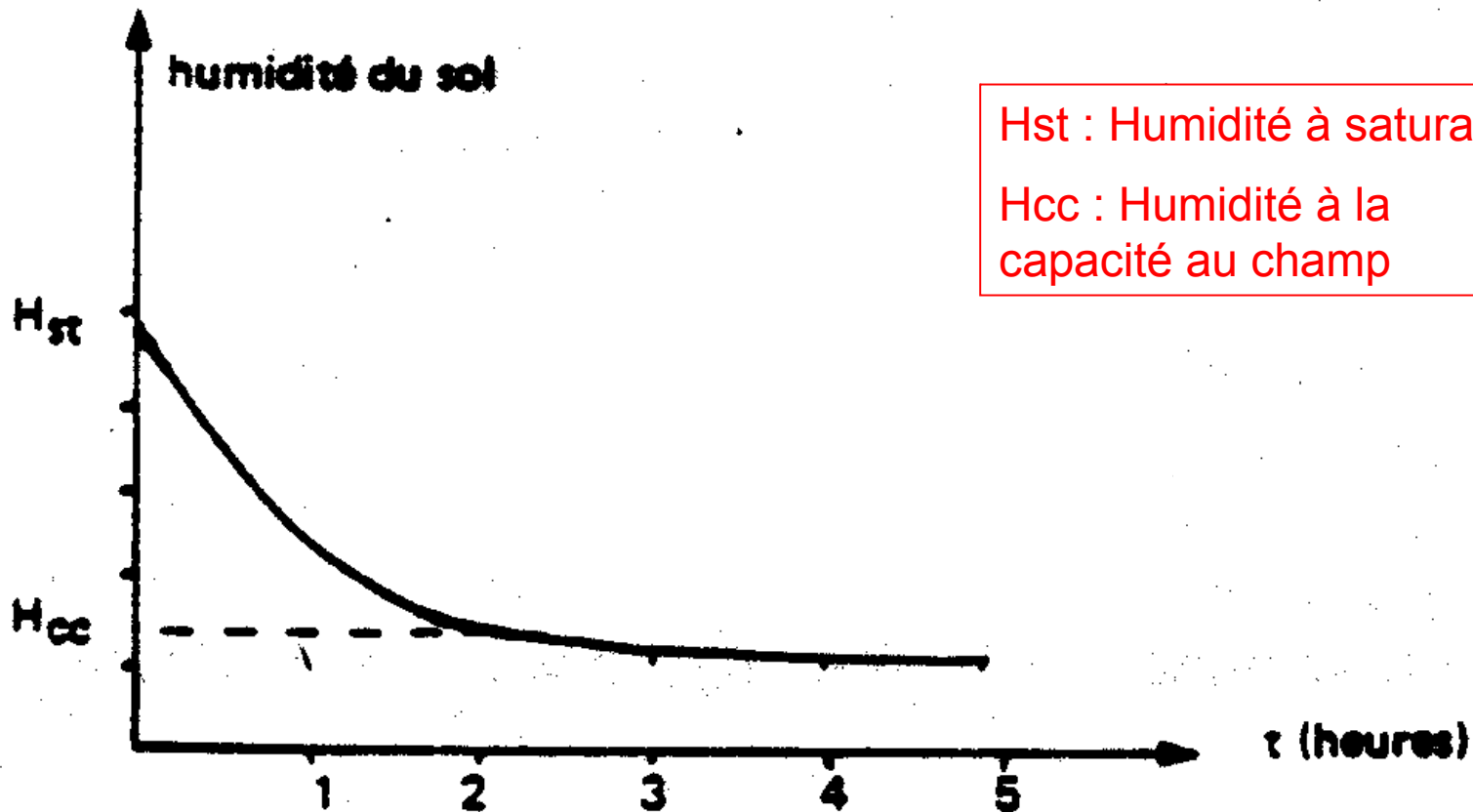


**Exemples de courbe pF – Humidité**  
I : sable (région parisienne),  
II : limon (Montpellier), III : argile (Antilles)  
D'après HALLAIRE - 1970.

# II - Eau et Sol

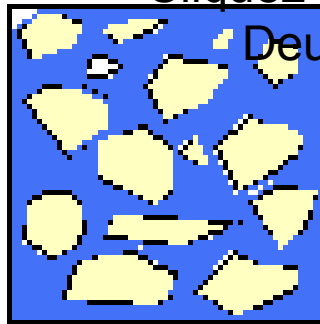
- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# C - Humidités caractéristiques du sol



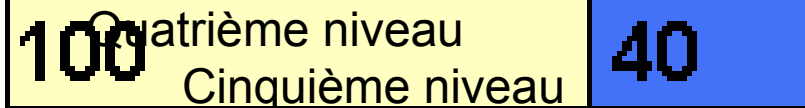
Resuyage d'une colonne de terre tamisée à 2 mm,  
portée à saturation d'eau (FEODOROFF - 1962).

Cliquez pour modifier les styles du texte du masque



Deuxième niveau

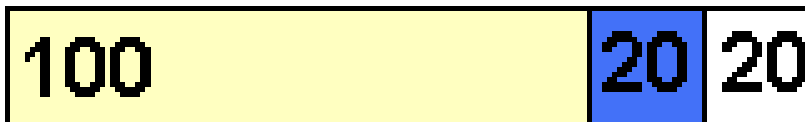
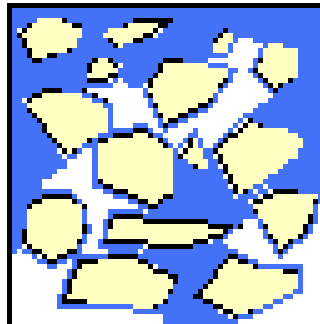
Troisième niveau



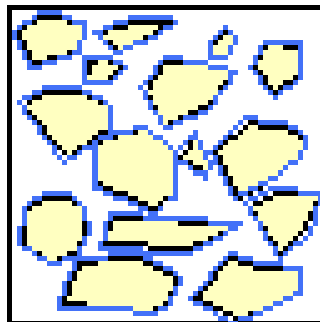
grains

eau

**SATURATION**



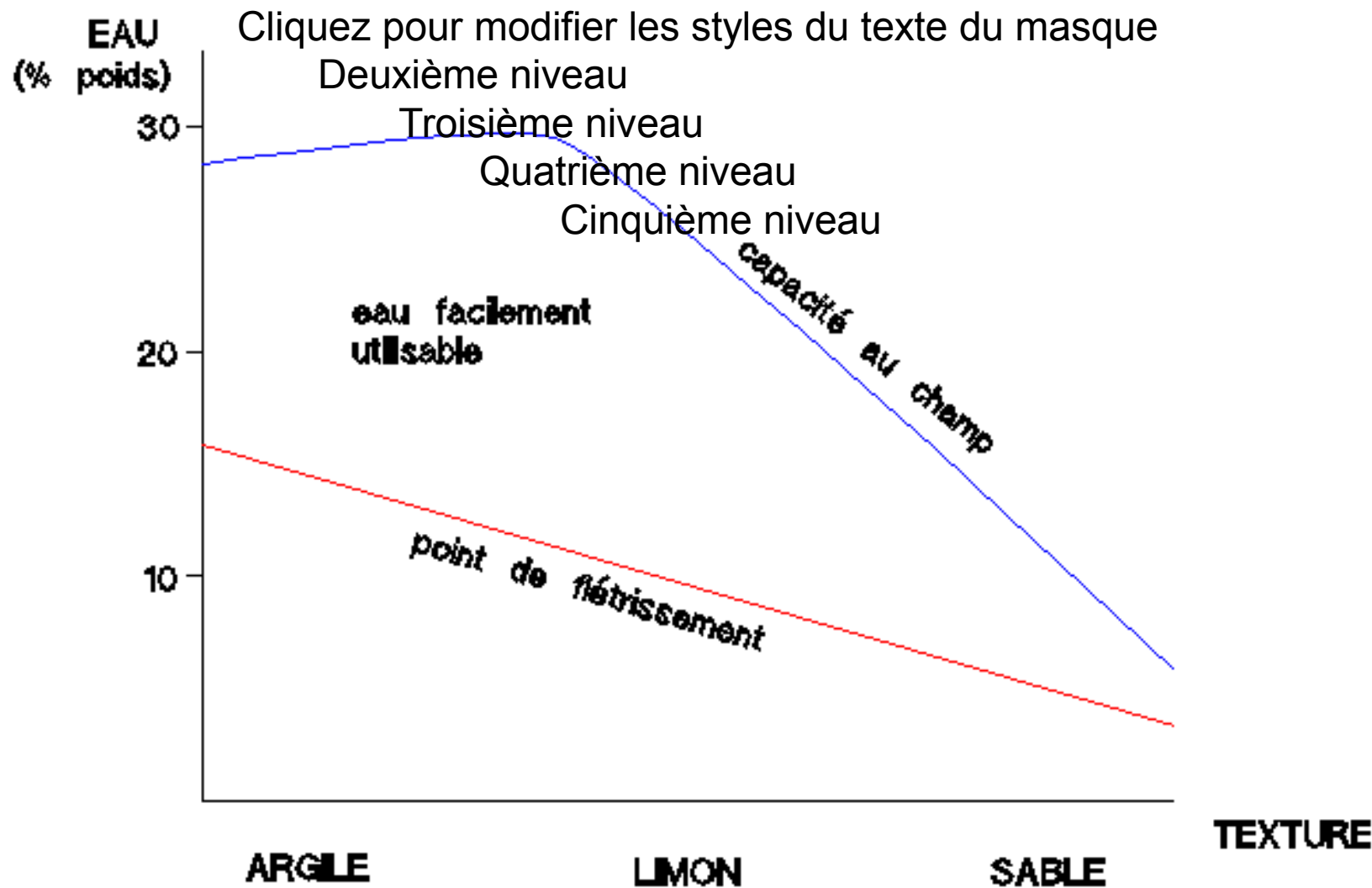
**CAPACITE AU  
CHAMP**



air

**P. FLETRISSEMENT**





# Humidités à pF4,2 (Point de flétrissement) pour différents sols

Texture	Humidité à pF4,2
Sableux	2,5 %
Sablo-argileux (11% A)	4 %
Sablo limono argileux	6 %
Limono-argileux (13% A)	13 %
Argilo - sableux	13 %
Argilo - limoneux	20,5 %

Source : Schofield et Bothelo Da Costa (1935) ; Perigaud (1963) in Henin, 1977)

# Estimations de Hcc, HpF4,2 et He

(2/2)

- Pour une large gamme de terres :

He :  $0,59 A + 0,16 L + 5,47$  si He > 20 %

He :  $0,51 A + 0,14 L + 7,35$  si He < 20 %

formule de GRAS-BETREMIEUX (1957 – 1963)

Correctif si MO > 1% alors on ajoute :

$0,75 * MO + 0,93$  à la formule

Avec A : % argile, L : % de limons fins et MO : % de matière organique

# Liaisons entre différentes humidités caractéristiques

Type de sol	
Sables fins purs ou argileux (10% A)	$H_{pF4,2} = H_{cc} / (5,5 \text{ à } 6)$
Sables limoneux avec 10-25% A	$H_{pF4,2} = H_{cc} / (3 \text{ à } 4)$
Sables 'moyens' avec 20-25 % A	$H_{pF4,2} = H_{cc} / 2$
Argiles sableuses (40-80% A)	$H_{pF4,2} = H_{cc} / (1,5 \text{ à } 1,7)$

Source : Perigaud (1963)

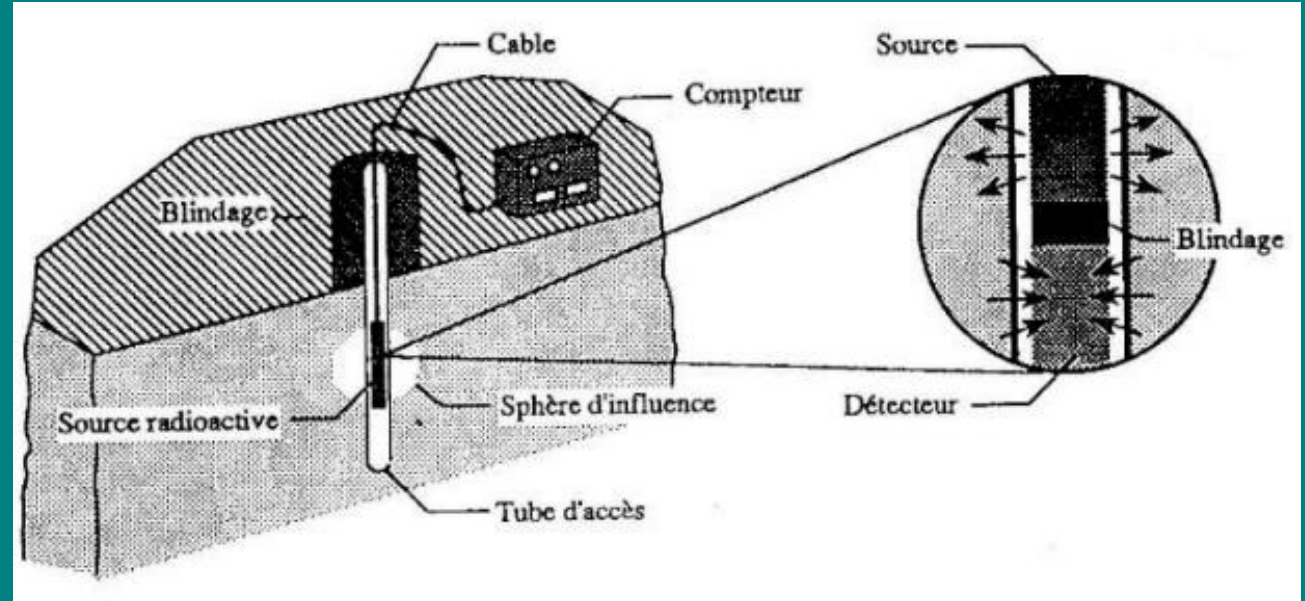
# II - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. **Humidités caractéristiques du sol**
  - Définitions
  - **Mesures des humidités**
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# Méthodes mesures Humidités

- Hm : boîtes à humidité + étuve
- Hv :
  - cylindre + étuve
  - Sonde à neutron
  - TDR (Time Domain Reflectometry)

# Sonde à neutrons



# TDR





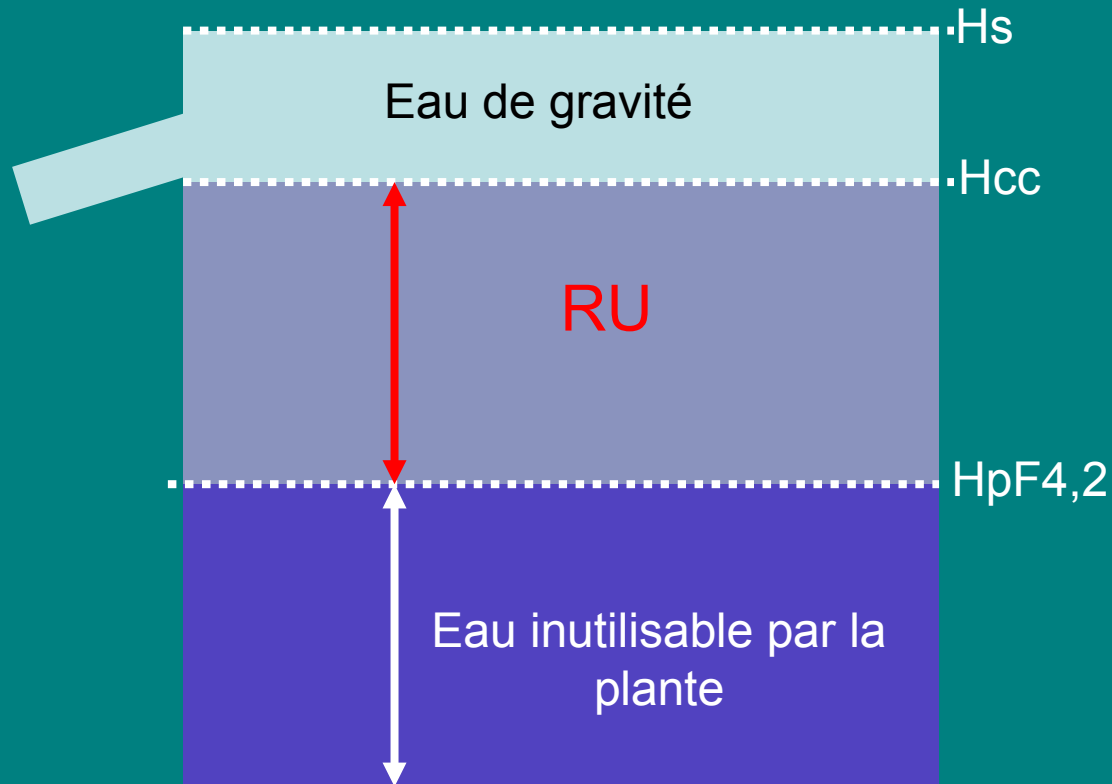
# II - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
  - Les forces qui agissent sur l'eau
  - Le potentiel de l'eau
- C. Les différents types de sol
- D. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
  - Définition
  - Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
  - Relations Humidités et pF
- E. Les différents types de sol
- F. Humidités caractéristiques du sol
  - Définitions
  - Mesures des humidités
- G. Les différents types de sol
- H. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

# D - Réserve Utile : R. U.

Le sol : un réservoir d'eau pour les plantes

---



# Calcul de la R.U.

$$\text{RU en mm} = (\text{Hcc} - \text{HpF4,2}) \text{ das} * z * (1-x) * (1-y)$$

- Avec :

- Hcc : formule de GRAS en %
- HpF4,2 = à peu près  $\frac{1}{2}$  HCC ou valeurs particulières
- da : densité apparente ou formule de KELI (1984) :

$$\text{da} = 1,60 - 0,0153 A$$

- z : profondeur de sol considéré en dm.
- Si cailloux non poreux  $\square$  % de terre fine =  $(1-x)$  avec x % de cailloux sous forme décimale
- y renvoi au motte  $\Delta$  (attention voir cours d'Yvan Gautronneau) sous forme décimale

# Texture et volume d'eau utilisable

Texture	da	Hcc-HpF4,2	da (Hcc-HpF4,2)
Sable grossier	1,55	5 – 7	8 – 11 mm/dm
Sable fin humifère	1,35	11 – 12	15 – 16 mm/dm
Sable fin peu humifère	1,6	9 – 10	15 – 16 mm/dm
Sable argileux	1,5	11 – 12	16 – 19 mm/dm
Sable limono-argileux	1,6	13 – 20	20 – 32 mm/dm
Argile sableuse	1,48	9 - 12	13 – 18 mm/dm

*Source : Perigaud (1963) in Henin, 1977)*

# Exercice : calcul de la RU

- Profondeur max: 1 m – profondeur utile : 90 cm
- Argile : 14,9 %
- Limons grossiers : 10,5 %
- Limons fins : 12,7 %
- Sables fins : 26,7 %
- Sables grossiers : 33,3 %
- Calcaire : 186 g/kg
- Matière organique : 1,8 %
- HpF4,2 : 8 %
- Densité apparente : 1,4
- Cailloux : 0
- Mottes compactes ( $\Delta$ ) : 20 % soit 0,2