

# **Fouilles profondes en terrain meuble**

**EPFL**

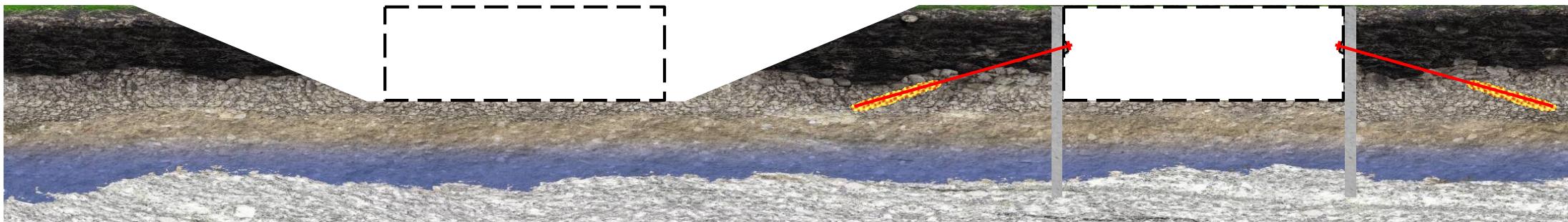
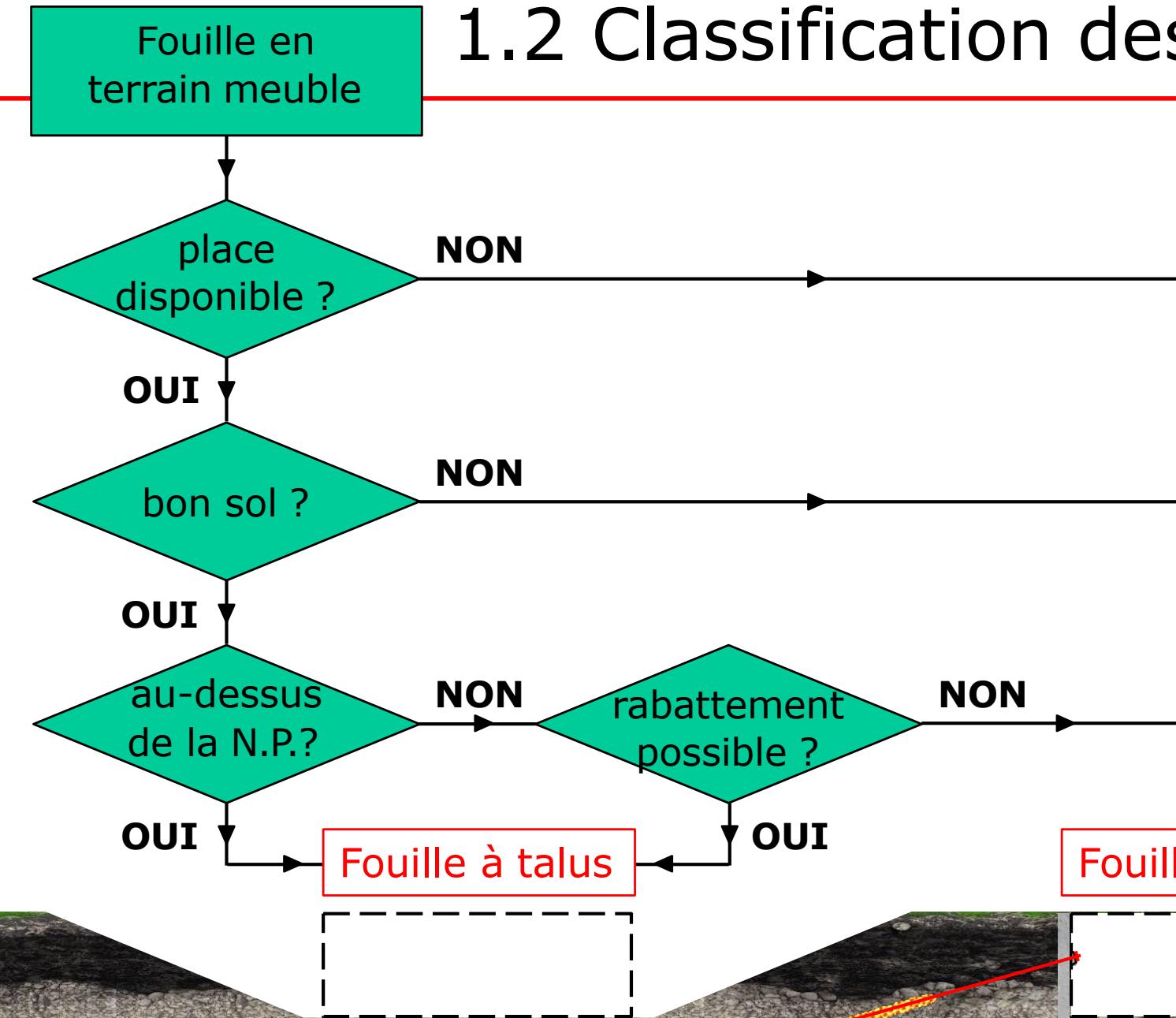


# Fouilles profondes en terrain meuble

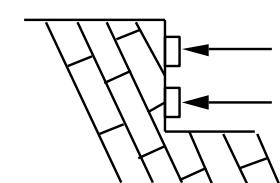
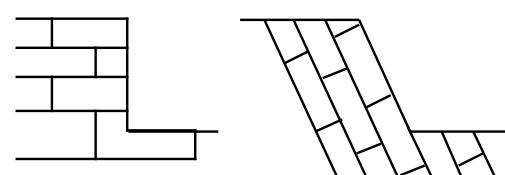
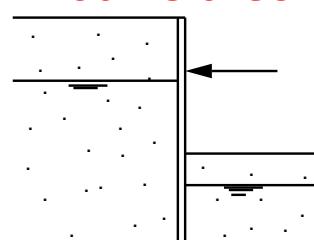
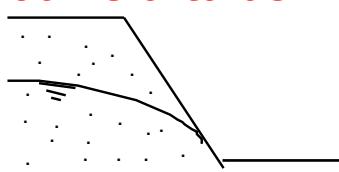
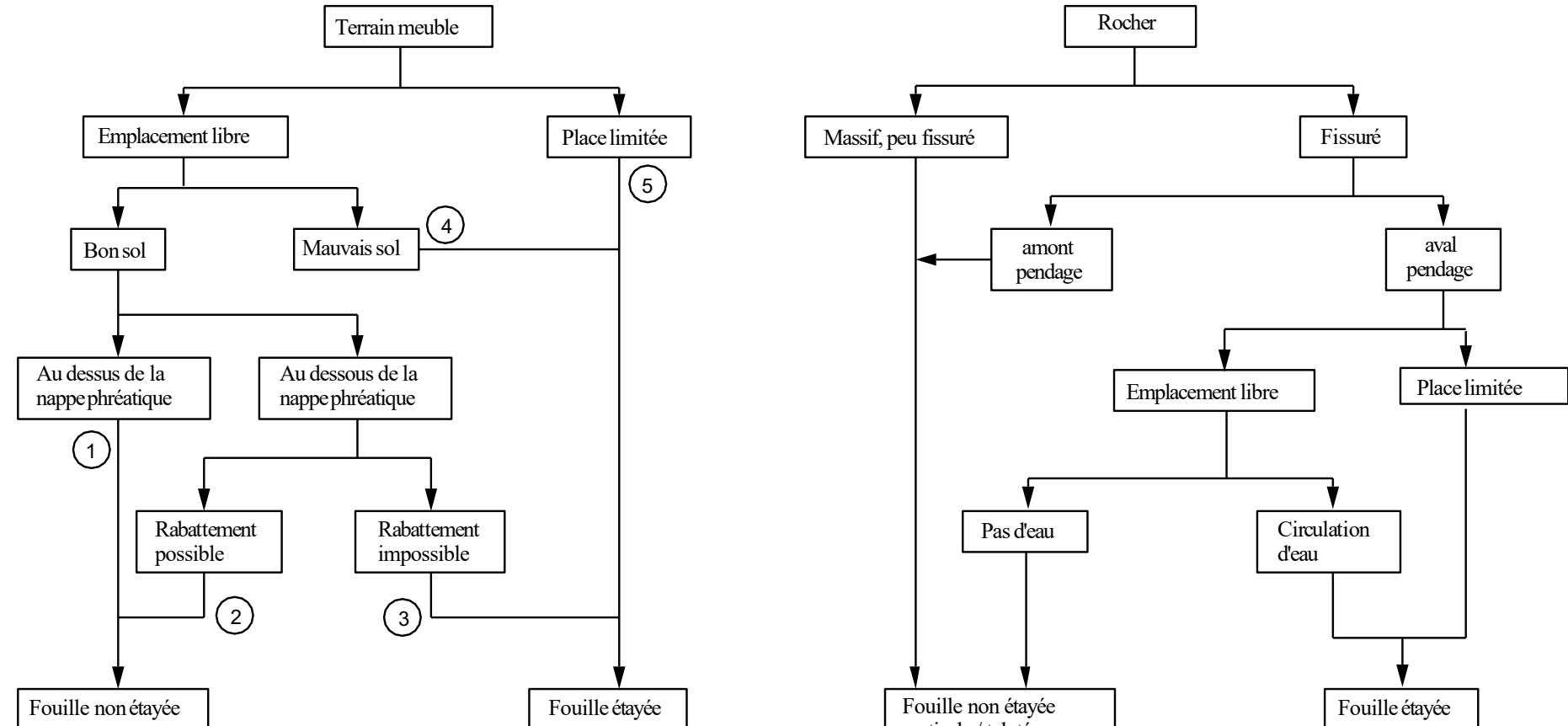
---

1. Généralités
  1. Critères de choix des procédés
  2. Classification
2. Fouilles à talus
  1. Contrôle de la nappe phréatique (cf semaine 9)
  2. Stabilité
    1. Talus
    2. Fond de fouille (cf semaine 9)

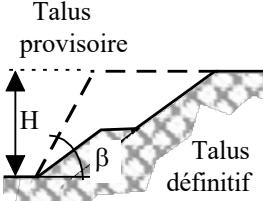
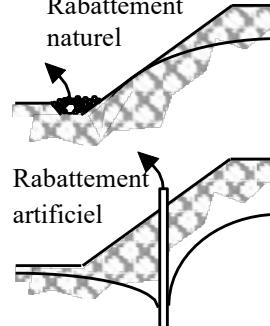
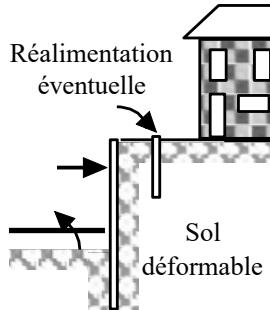
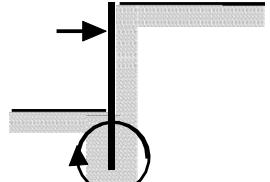
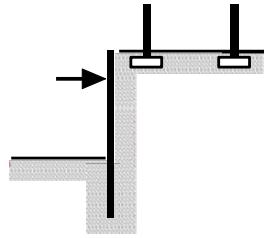
## 1.2 Classification des fouilles



# 1.2 Classification des fouilles



# Classification des fouilles

Cas No	1	2	3	4	5
Type de fouille	<b>à talus</b>		<b>à paroi / écran</b>		
Place disponible	suffisante	suffisante	suffisante	suffisante	insuffisante
Qualité du sol	bonne	bonne	bonne	mauvaise	bonne / mauvais
Présence de la nappe	non	oui	oui	oui / non	oui / non
Rabattement possible	--	oui	non	oui / non	oui / non
Schéma					
Problèmes à résoudre	Pente du talus b fonction de H et de la résistance du sol  Soulèvement du fond de fouille si nappe artésienne	Même problème + influence de l'écoulement  rabattement par puits ou wellpoints	Stabilité de l'écran  Tassemements si rabattement de la nappe	Stabilité de l'écran  Soulèvement du fond de fouille	Stabilité de l'écran  Soulèvement du fond de fouille  Tassemements au voisinage de la fouille  Reprise en sous-œuvre

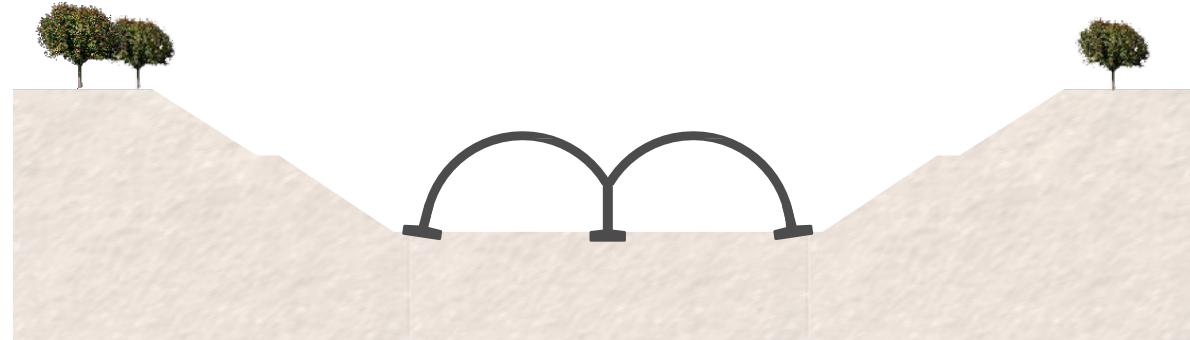
# Fouille à talus

---



# Fouille à talus pour tranchée couverte (Westside)

---



# Fouille à talus (CCR - EPFL)

---



# Fouille à paroi (Hôtel Alpha-Palmier, Lausanne)

---



*Photos Bureau Alberti*

Divers types de parois:  
- moulée  
- (micro)-berlinoise  
- clouée  
- de pieux



# Fouilles à paroi

---



# Fouilles profondes en terrain meuble

---

## 1. Généralités

1. Critères de choix des procédés
2. Classification

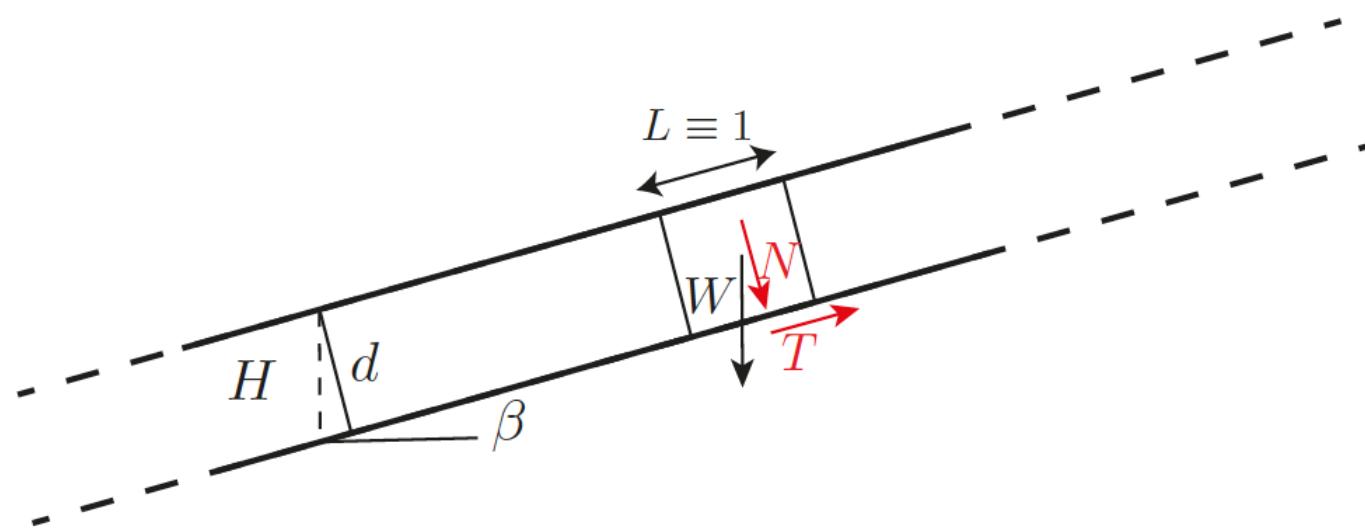
## 2. Fouilles à talus

1. Stabilité
  1. Talus
  2. Fond de fouille
2. Contrôle de la nappe phréatique

# Stabilité - Pente infinie inclinée

---

- Sans eau ...



# Pente infinie inclinée

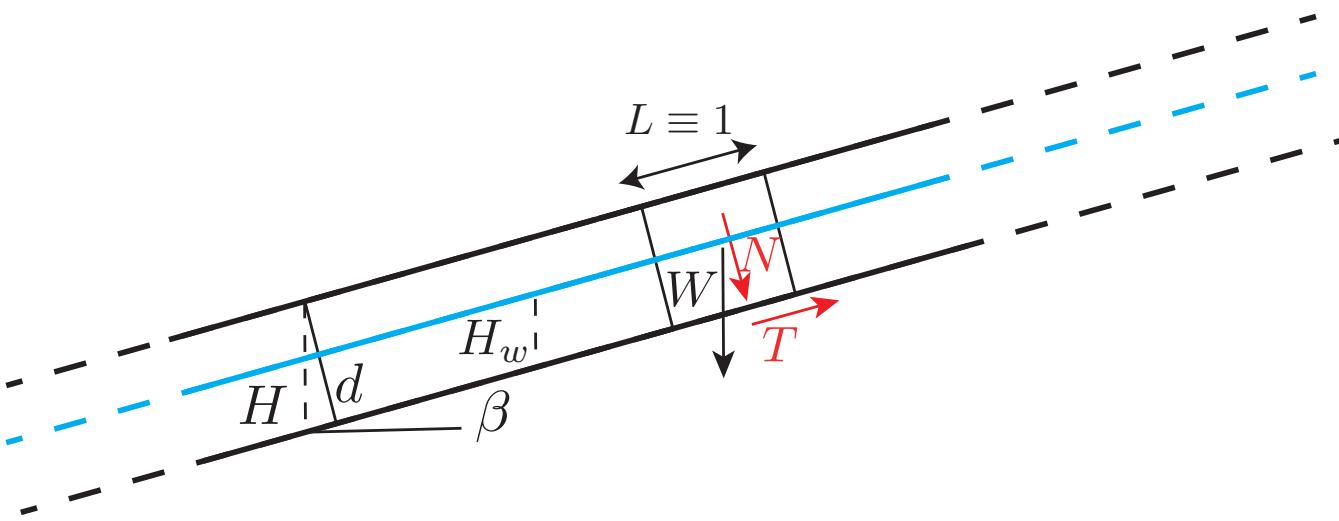
---

- Comparaison avec l'analyse limite – importance du cas non-associé
- Notion d'état critique (critical state flow)

# Pente infinie inclinée – présence d'eau

---

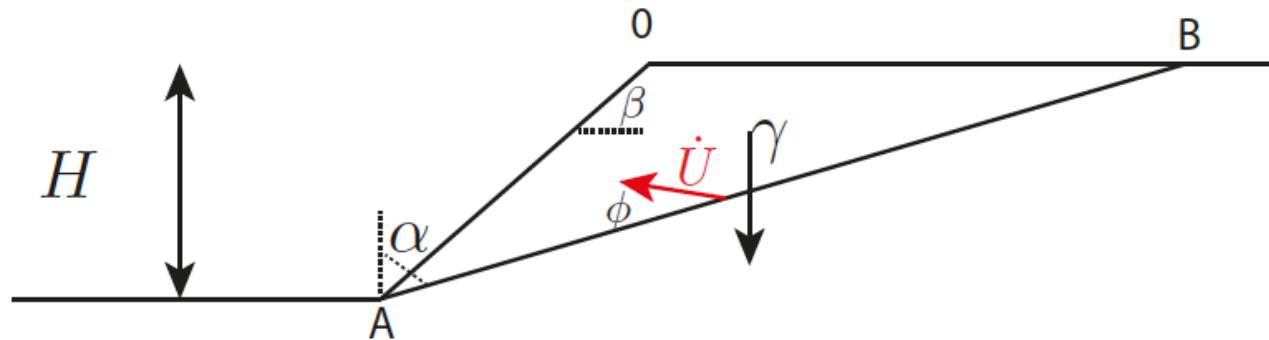
■



# Talus fini – glissement plan / sans eau

---

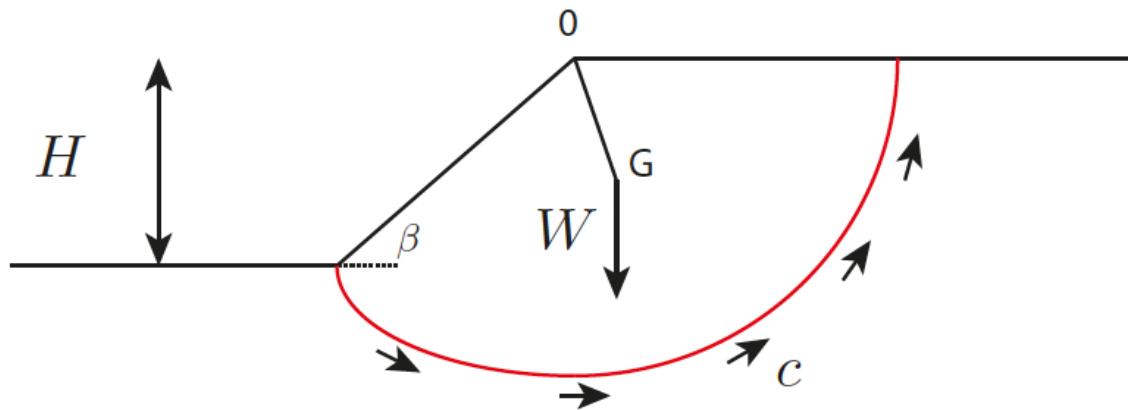
- Approche par l'extérieur – généralisation du cas vertical (vu en semaine 3)



# Talus fini – glissement circulaire sol purement cohérent (cas $\phi=0$ )

---

- Par une approche d'équilibre limite

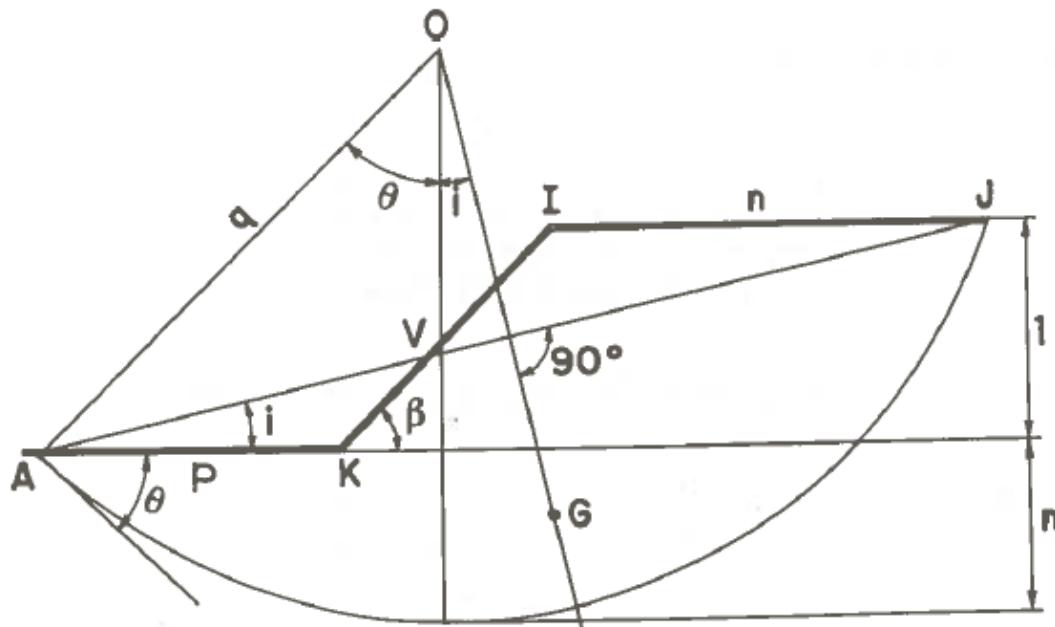


# Talus fini – glissement circulaire général

---

- Pour des sols frottants, les surfaces de ruptures tendent vers des spirales logarithmiques – néanmoins on peut généraliser l'approche d'équilibre limite avec un glissement circulaire en relaxant la connaissance du rayon et centre du cercle de rupture – i.e. on recherche le cercle avec  $F_s$  le plus petit

# Talus fini - glissement circulaire général - sans eau



Résultats sous  
forme d'abaques

Abaques de  
Kerisel (Taylor)

$$F = q \frac{\left\{ q^2 \left[ (i + \theta) - \frac{1}{2} \sin 2(i + \theta) \right] + \frac{n-p}{2} \right\} \cos i \operatorname{tg} \varphi' \left[ 0,4 + 0,6 \frac{i + \theta}{\sin(i + \theta)} \right] + 2Xq(i + \theta)}{\frac{2}{3}q^3 \sin^3(i + \theta) \sin i + \frac{n^2}{6} + \frac{np}{3} - \frac{p^2}{3} + \frac{1}{3}(n - \frac{p}{2}) \cotg \beta - \frac{1}{2}(n - p)q \sin \theta}$$

avec :  $\varphi'$ ,  $X = C'/\gamma_h H$ ,  $\beta$  données mécaniques et géométriques sans dimension,

$n, p, q$ ,

variables indépendantes,

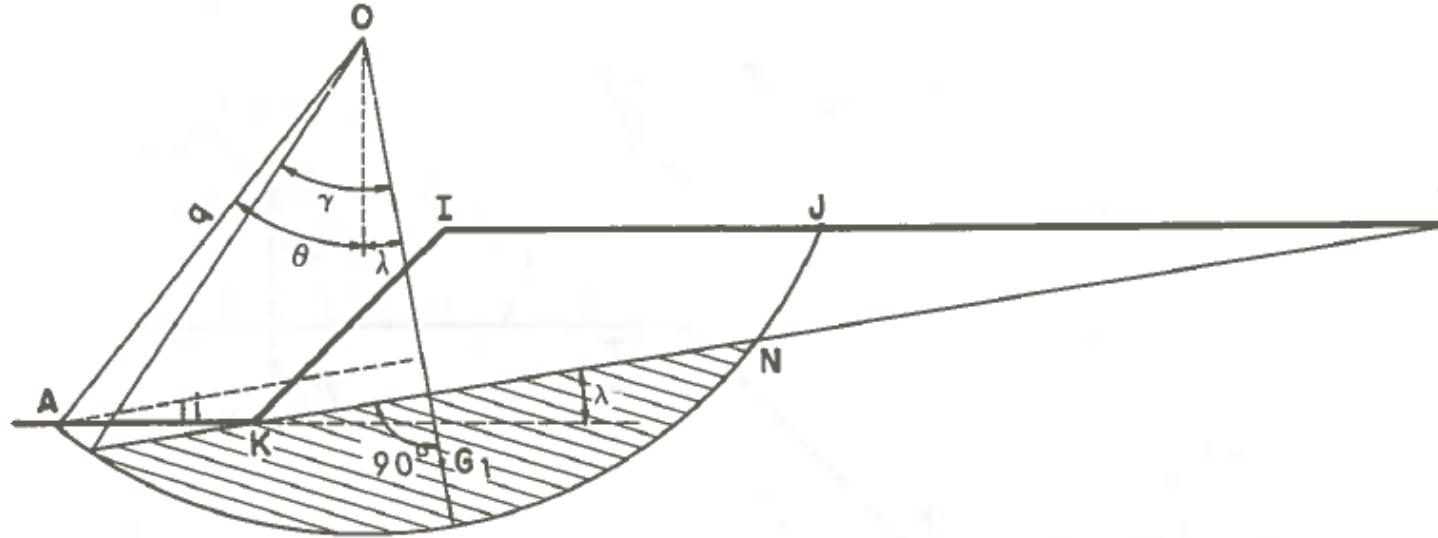
$i$  et  $\theta$ ,

variables liées aux précédentes par :

$$\cotg i = n + p + \cotg \beta$$

$$\text{et } 2q \sin i \sin(i + \theta) = 1.$$

# Talus fini – glissement circulaire général – avec écoulement



Résultats sous  
forme d'abaques

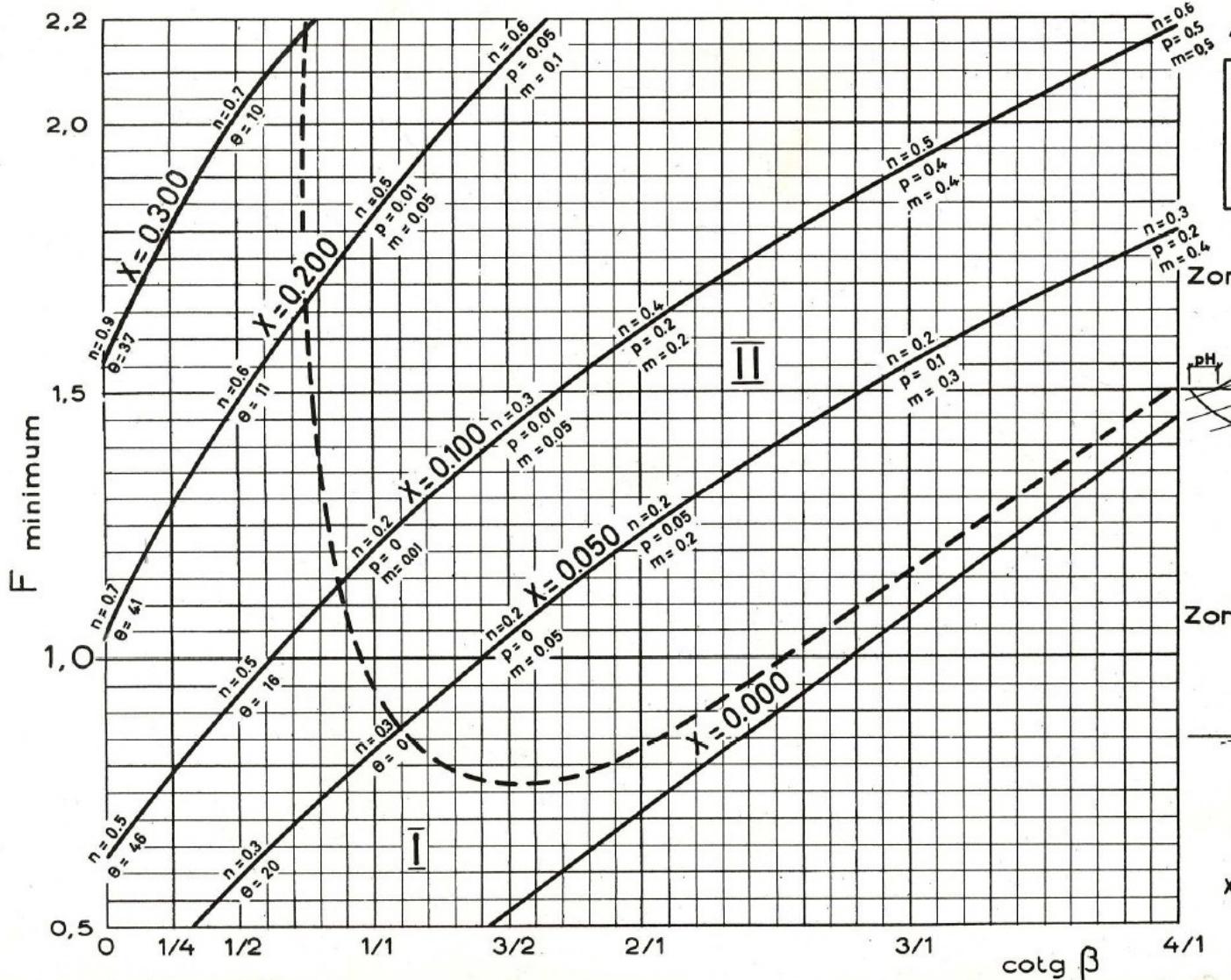
Abaques de  
Kerisel

Il convient de prendre en compte la contrainte effective  
lors du calcul du moment résistant ! (qui diminue)

On notera que le moment moteur ne change pas car la  
contribution du moment due à la poussée archimédienne  
est annulé exactement par le moment de la force de  
percolation.

# Abaques de J. Kérisel – SIMECSOL

Glissement de Terrain. Ed. Dunod, Paris  
(1967)



ABAQUE 10

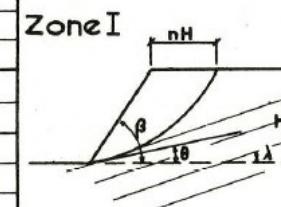
$$\frac{\lambda}{\beta} = \frac{2}{5}$$

$$\varphi' = 20^\circ$$

$\lambda$  : angle de la nappe

$\beta$  : angle du talus  
→  $\cot \beta$

$\gamma = 2.13 \text{ t/m}^3$   
poids volumique du sol



$$X = c' / \gamma H$$

$F$  : facteur de sécurité

$$X = \frac{C'}{2.13 H}$$

# Méthodes des tranches – rappel

---

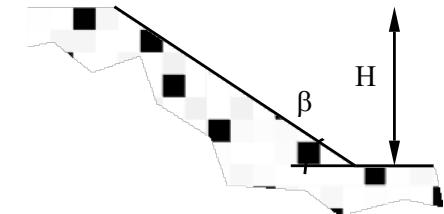
- C.f. cours de BA-4 Mécanique des sols et écoulement souterrains

# Recapitulation – en absence d'eau / contraintes totales

- **Sol Granulaire ( $c=0$ )**

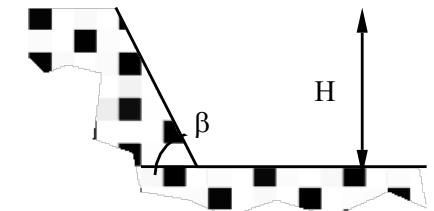
*Équilibre naturel indépendant de  $H$*

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$



- **A court terme / sol purement cohérent ( $\phi_u=0$ )**

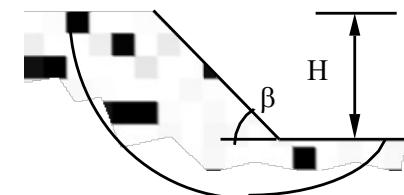
$$F_s = \frac{c_u}{\gamma H} \frac{4}{\tan \beta/2}$$



- **Cas général ( $c, \phi$ )**

- $\beta$  selon calcul de stabilité :

- abaques de Kérisel-Simecsol, de Taylor, ...
    - méthodes des tranches (Bishop, Janbu, Krey, etc.)



# Recapitulation – en présence d'eau

---

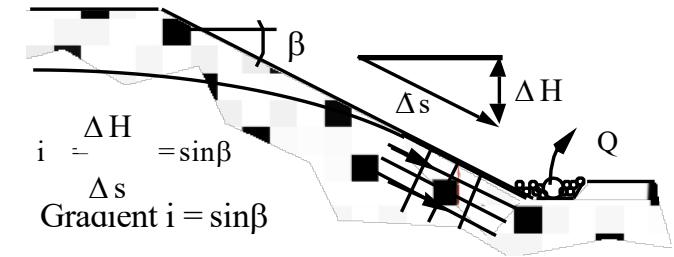
## ■ Sol Granulaire ( $c=0$ )

*Ecoulement parallèle au talus*

$$F_s = \frac{(\gamma H - \gamma_w H_w)}{\gamma H} \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \approx \frac{1}{2} \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

avec  $H=H_w$   $\gamma' \approx 10 \text{ kN/m}^3$  et  $\gamma_{sat} \approx 20 \text{ kN/m}^3$

Facteur de sécurité divisé par 2 par rapport au cas en absence d'eau



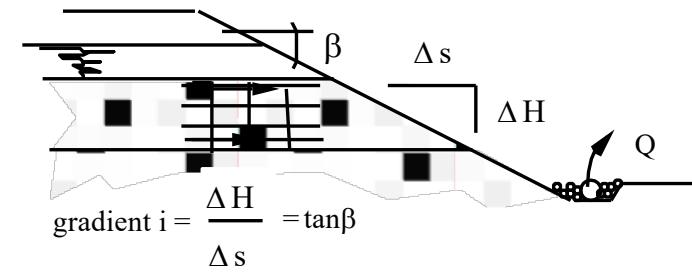
Epuisement de l'eau en fond de fouille, procédé limité : entraînement de fines, instabilité du fond de fouille, ...

## ■ Sol Granulaire stratifié ( $c=0$ )

*Ecoulement horizontal ( $k_h \gg k_v$ )*

$$F_s = \frac{(\gamma' - \gamma_w \tan^2 \beta)}{\gamma_{sat}} \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \approx \frac{1 - \tan^2 \beta}{2} \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$

avec  $\gamma' \approx 10 \text{ kN/m}^3$  et  $\gamma_{sat} \approx 20 \text{ kN/m}^3$



## ■ Cas général ( $c, \phi$ )

–  $\beta$  selon calcul de stabilité :

- abaques de Kérisel-Simecsol ...
- méthodes des tranches (Bishop, Janbu, Krey, etc. )

# Stabilité précaire des talus dans des sols varvés

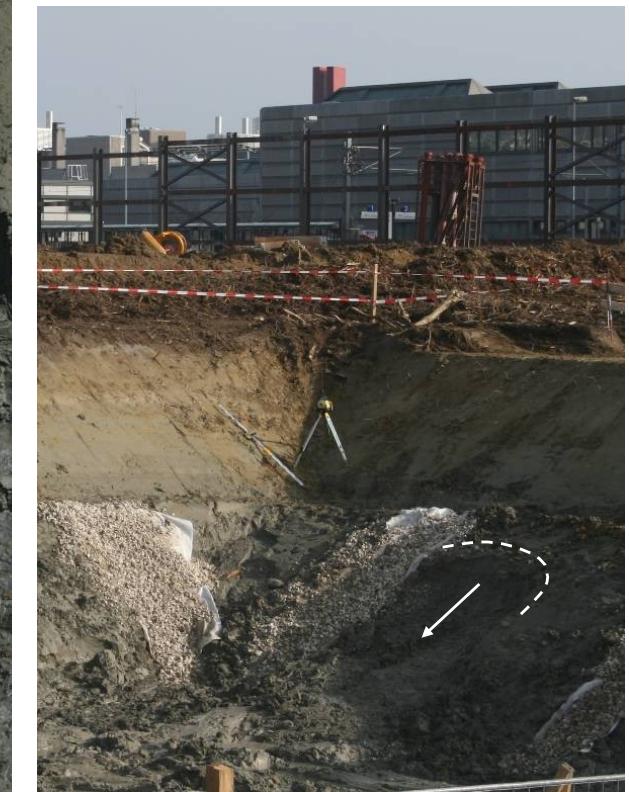
---



*CCR - EPFL*

# Stabilité précaire des talus dans des sols varvés

---



# Stabilité précaire des talus dans des sols varvés

---



CCR - EPFL

# Stabilité assurée par éperons drainants (CCR - EPFL)



CCR - EPFL



→ évite la surface de suitement en rabattant la nappe localement

# De l'importance de la cohésion capillaire...

---

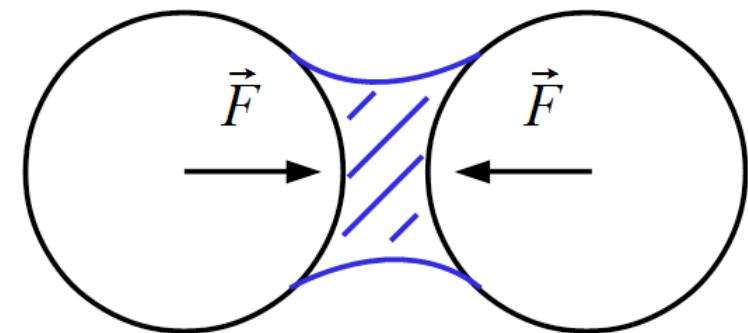
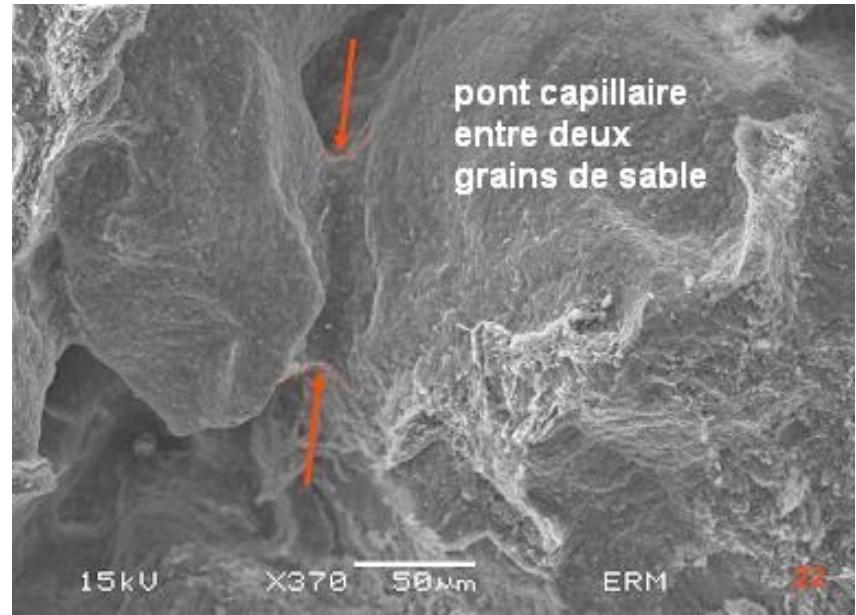


Châteaux de sable sur la plage de Copacabana (Rio de Janeiro)



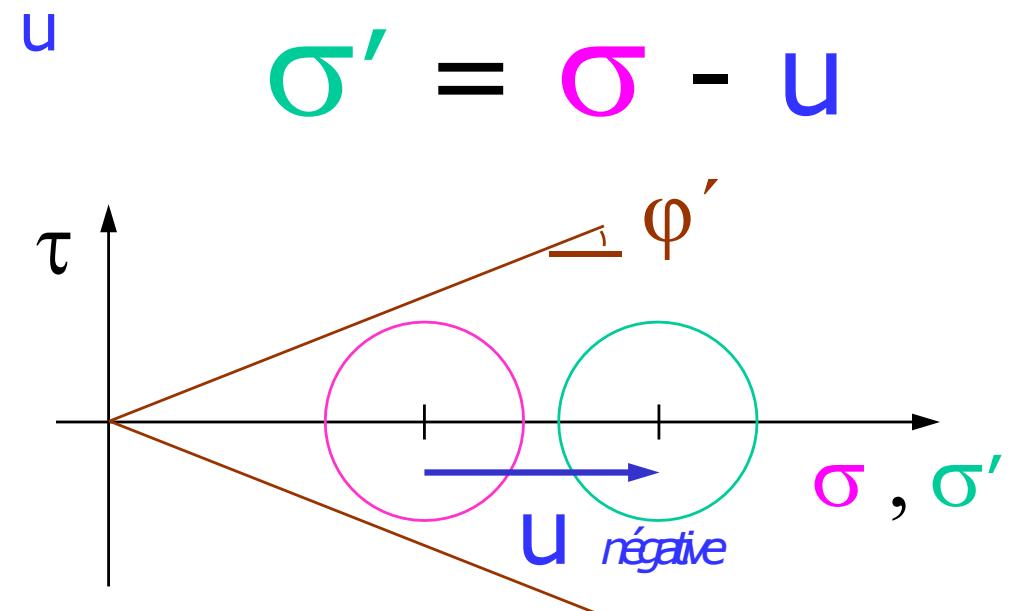
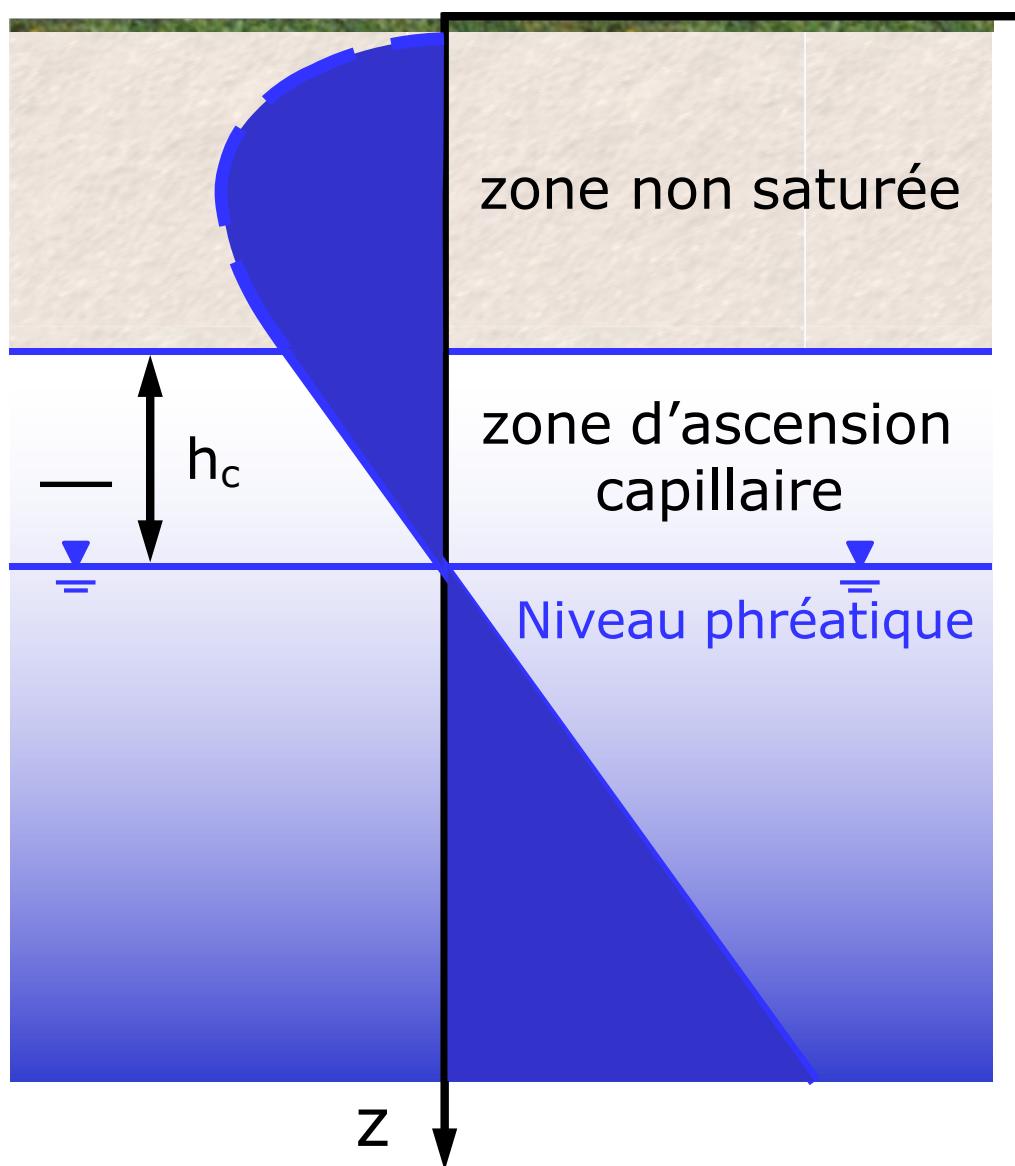
# Cohésion capillaire

---



$$p_c = p_g - p_w = \frac{\gamma}{r} \mathcal{F}(S_w)$$

# De l'importance de la cohésion capillaire...



Hauteur de la frange capillaire  $h_c$  inversement proportionnelle au diamètre des grains:

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| - graviers propres | 0              |
| - sables grossiers | $\approx$ cm   |
| - sables fins      | $\approx$ dm   |
| - limons           | $\approx$ m    |
| - argiles          | $\approx$ 10 m |

# ... d'où l'intérêt de réduire les échanges hydriques

---



Bâches permettant de conserver l'humidité du sol, mais aussi d'éviter un entraînement de particules de sol dû au ruissellement de l'eau de pluie

# Fouille à talus lors de la réalisation d'une tranchée couverte sur l'autoroute de contournement de Berne

---



# Fouille à talus lors de la réalisation d'une tranchée couverte sur l'autoroute de contournement de Berne

---



Terrains trop grossiers pour pouvoir compter sur une cohésion capillaire

