

# Pieux - Tassement

**EPFL**



- 
1. Description des fondations profondes
    - Types, mise en oeuvre, differences
  2. Capacité portante d'un pieu isolé
    - Formules issues de l'analyse limite (DTU, L&H)
    - A partir d'essai geotechniques in-situ
      - Pressiometre,
      - (CPT, SPT)
    - Essai de chargement statique
    - Formules de battages (pieu battus)
  3. Groupe de pieux
    - Effet de groupe – rupture en bloc ou isolé
  4. Frottement négatif
  5. Charge inclinées
  6. Tassement des pieux

# Vérifications de la sécurité structurale (ELU) et de l'aptitude au service (ELS) d'un pieu isolé

## • **Type 2 externe**

Capacité portante du sol

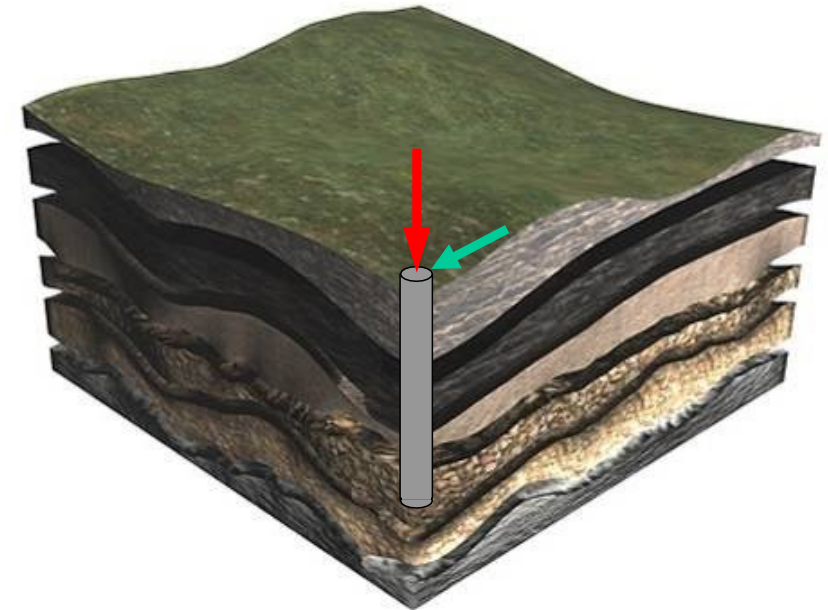
## • **Type 2 interne**

Résistance du matériau constitutif  
(sollicitations axiale et/ou latérale)

Stabilité au flambement

## • **Type 3**

Glissement généralisé



## • **Externe**

Tassements instantanés et différés, totaux et différentiels  
(sollicitation latérale)

## • **Interne**

Durabilité du matériau constitutif du pieu

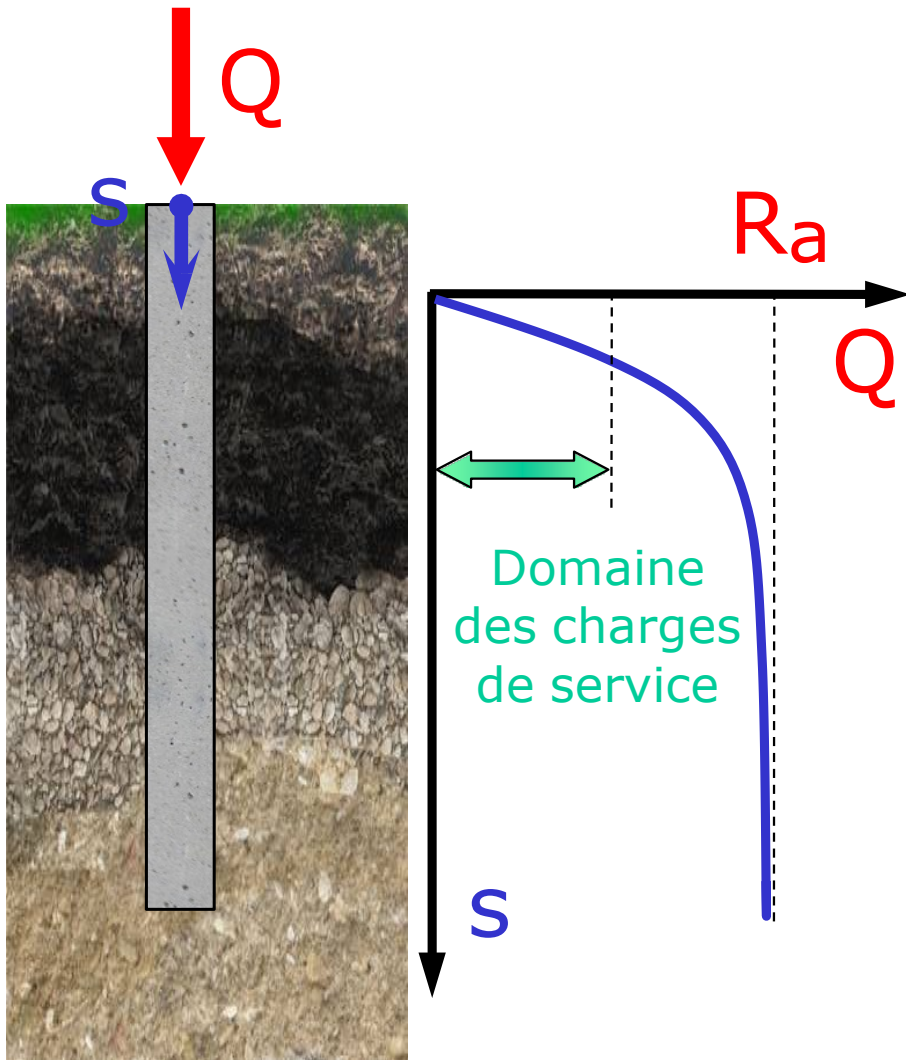
- Pourriture des pieux en bois
- Corrosion des pieux en acier
- Attaque du béton dans des milieux agressifs (sulfates)



ELU

ELS

# Sollicitation axiale d'un pieu



## ELU type 2 externe

Résistance ultime axiale externe :

$$R_a \equiv Q_l \equiv Q_u$$

- L'enfoncement ne se stabilise plus sous la charge et la vitesse d'enfoncement est relativement grande
- $R_a \equiv Q$  telle que  $s = D/10$
- $R_a \equiv Q$  telle que  $k = k_{crit} = 2 \text{ mm}$

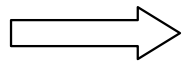
## ELS externe (mobilisation du sol)

Aptitude au service si  $s \leq s_{adm}$

# Tassement des pieux

---

- Méthodes semi-empiriques  
*fondées sur l'observation de pieux au cours d'essais de charge*



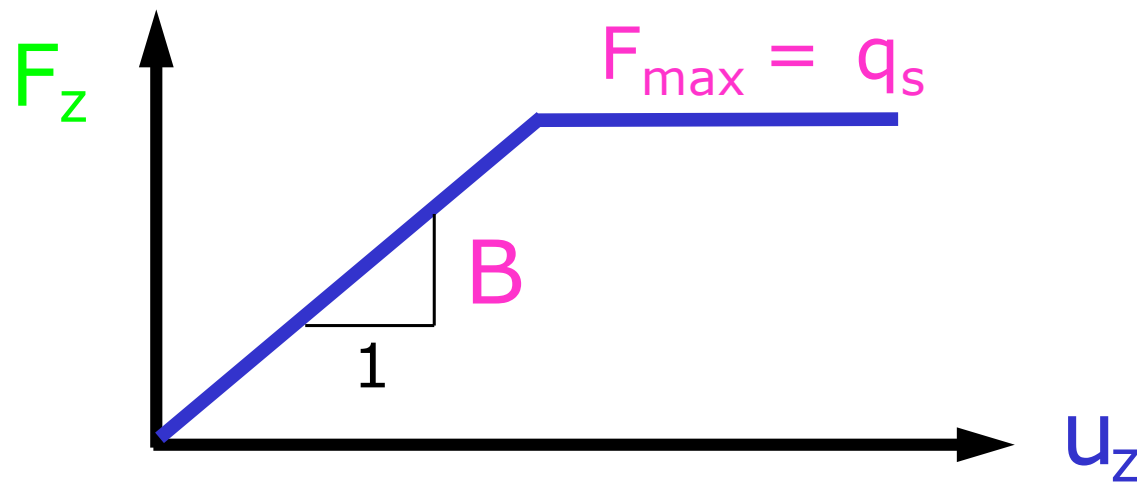
- méthode de Cambefort - Cassan

- Méthodes analytiques  
*basées sur la théorie de l'élasticité et les formules de Mindlin*

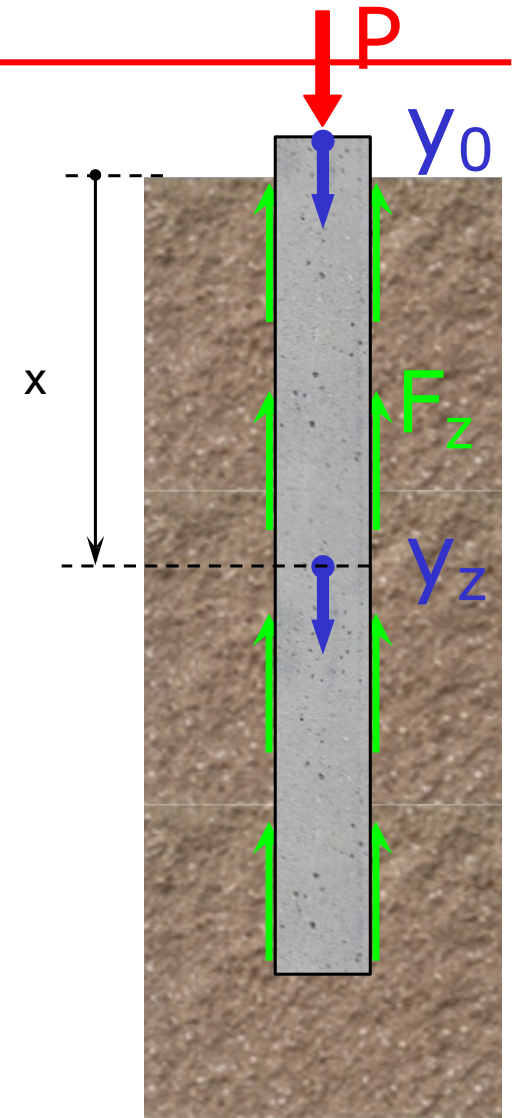
- méthode de Poulos

# Observations de Cambefort

## Frottement latéral $F_z$

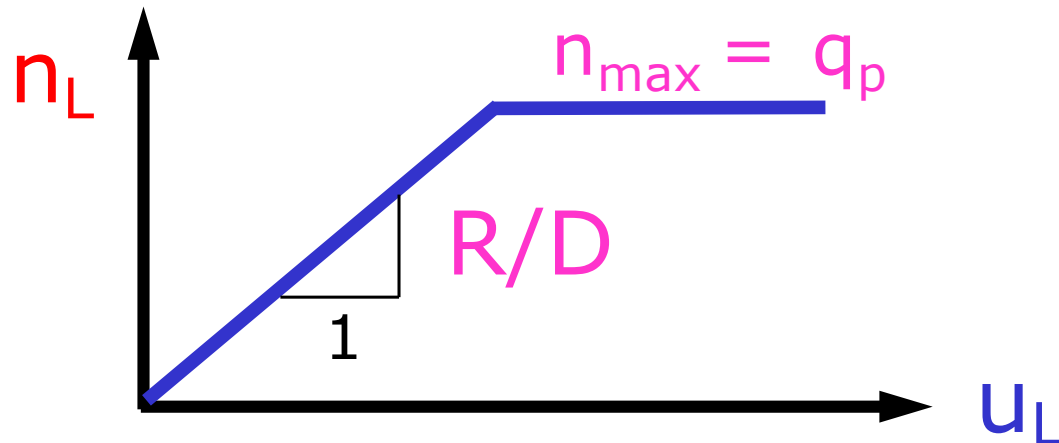


- **proportionnel à l'enfoncement  $u_z$**   
*pas* de déplacement relatif sol - pieu
- **constant**  
 $F_{\max} = q_s \equiv$  résistance au frottement latéral  
*avec* déplacement relatif sol - pieu

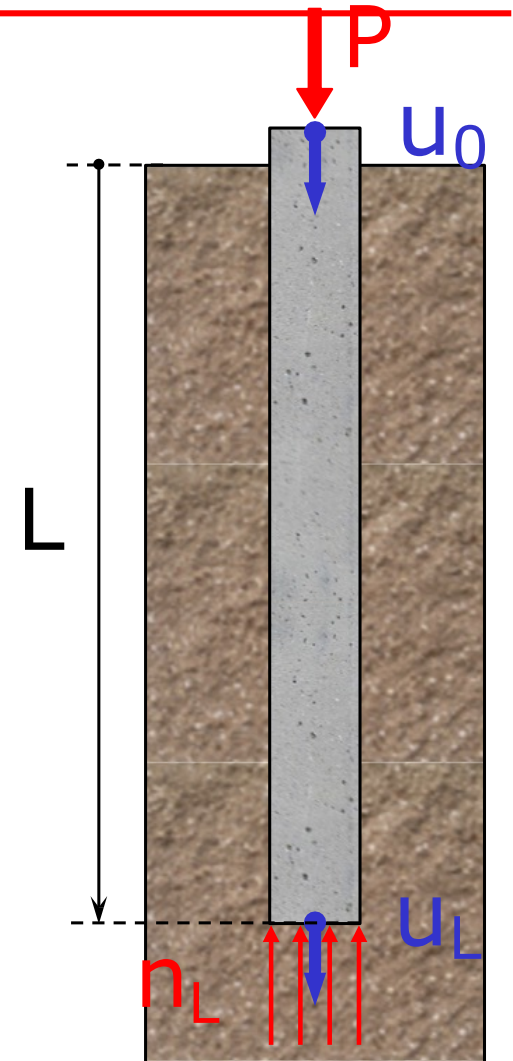


# Observations de Cambefort

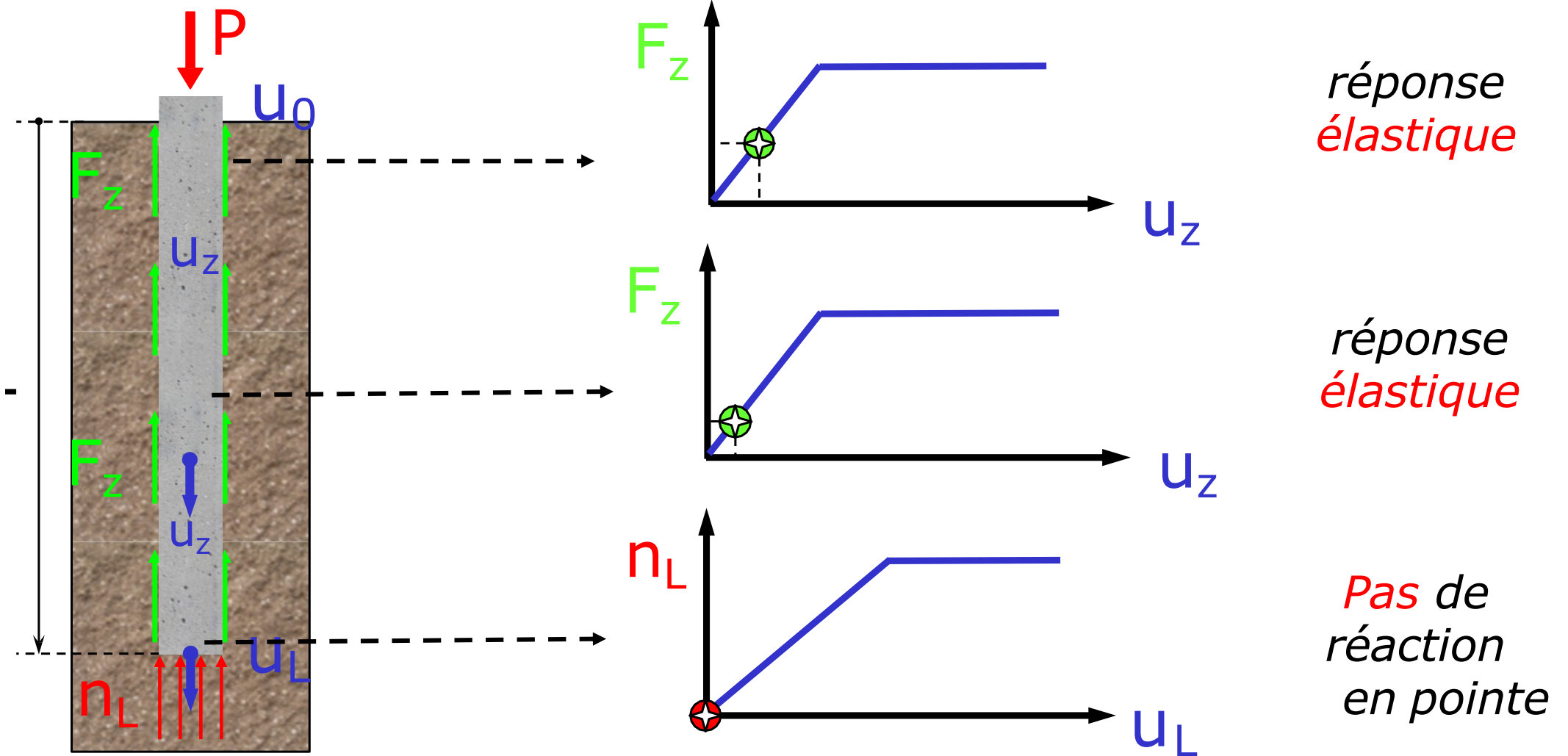
## Réaction en pointe $n_L$



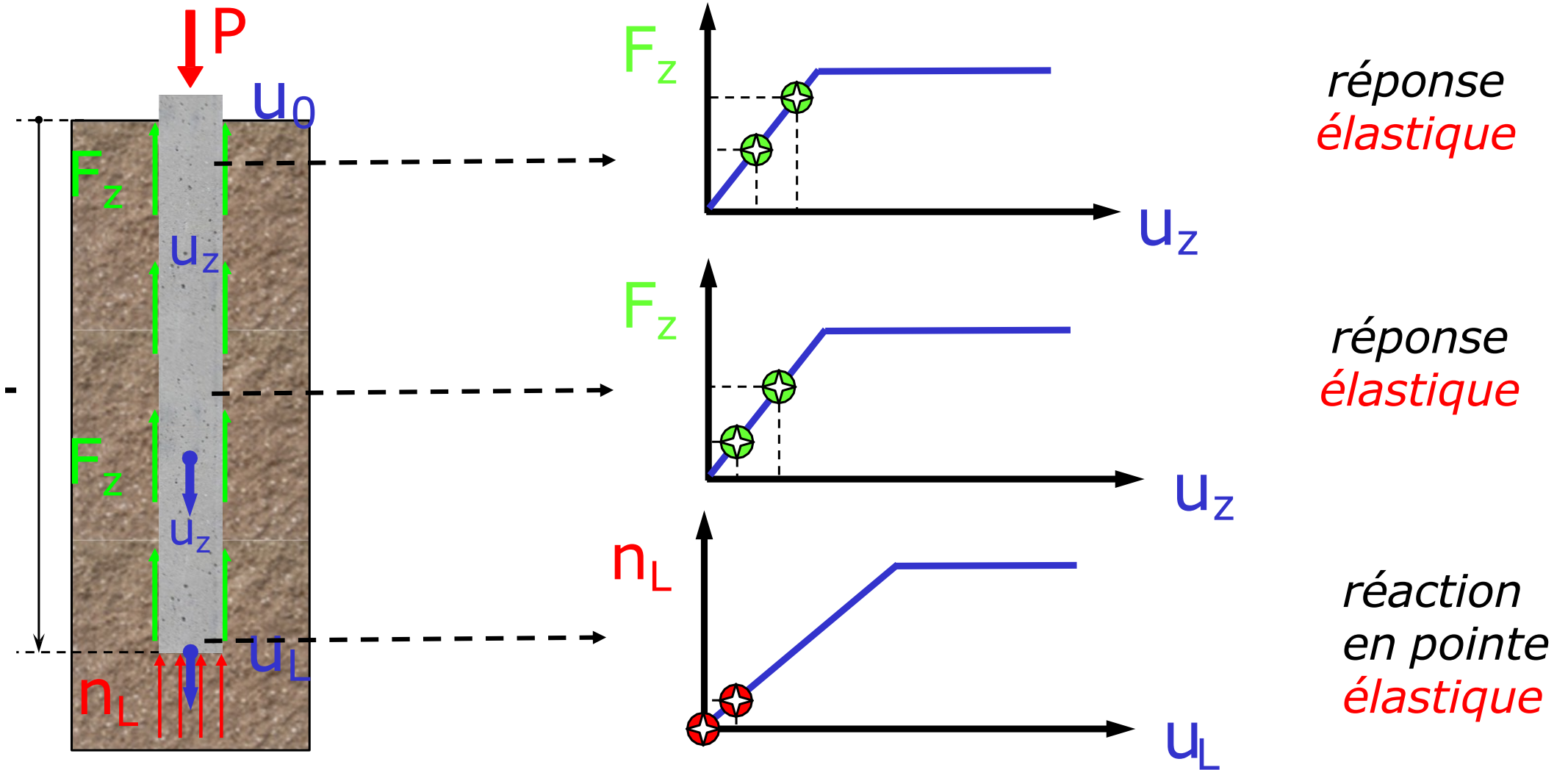
- **proportionnel à l'enfoncement  $u_L$**   
*réponse élastique*
- **constant**  
 $n_{\max} = q_p \equiv$  résistance de pointe  
*enfoncement plastique*



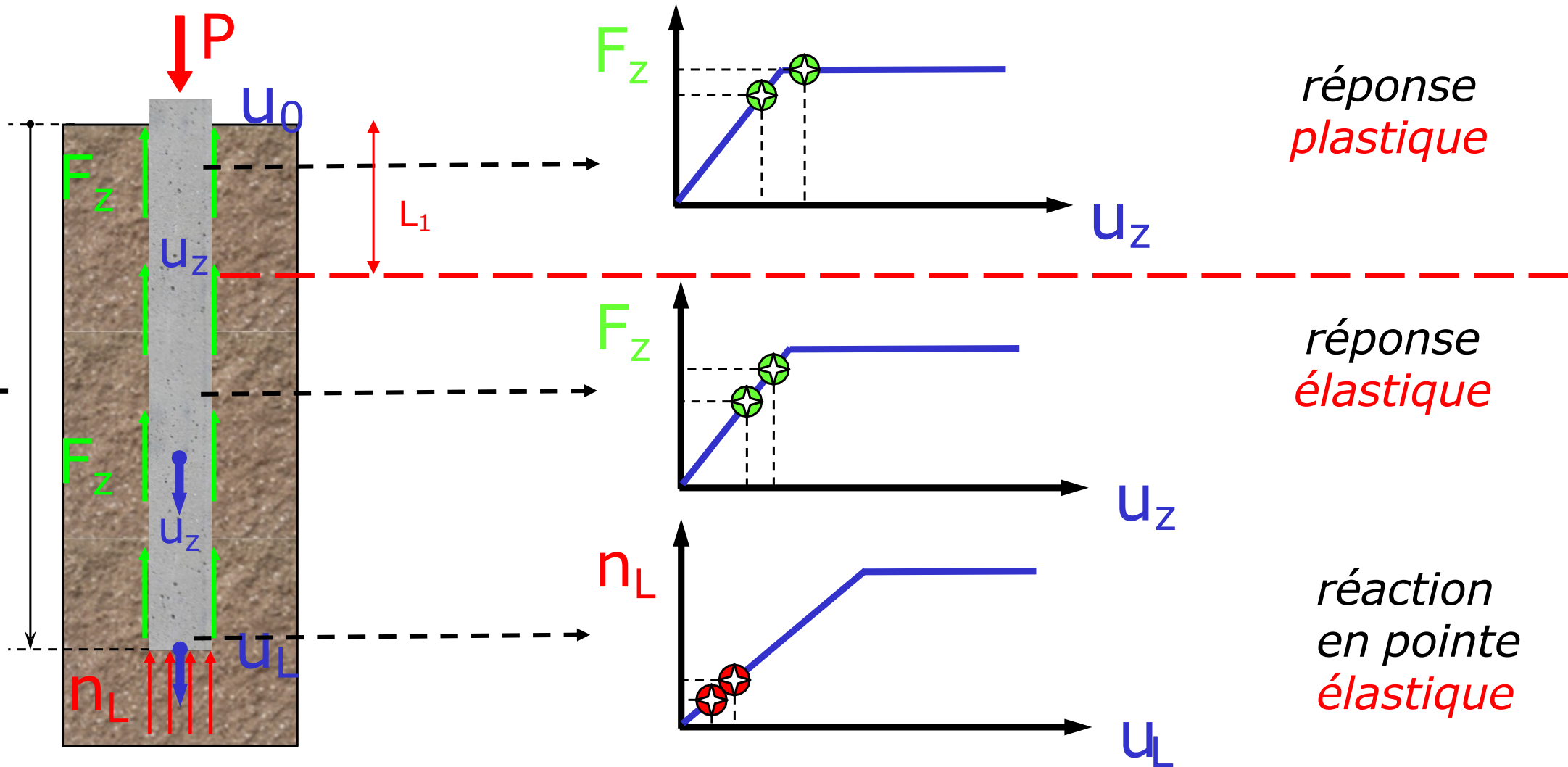
# Mode de travail d'un pieu : Phase 0-0'



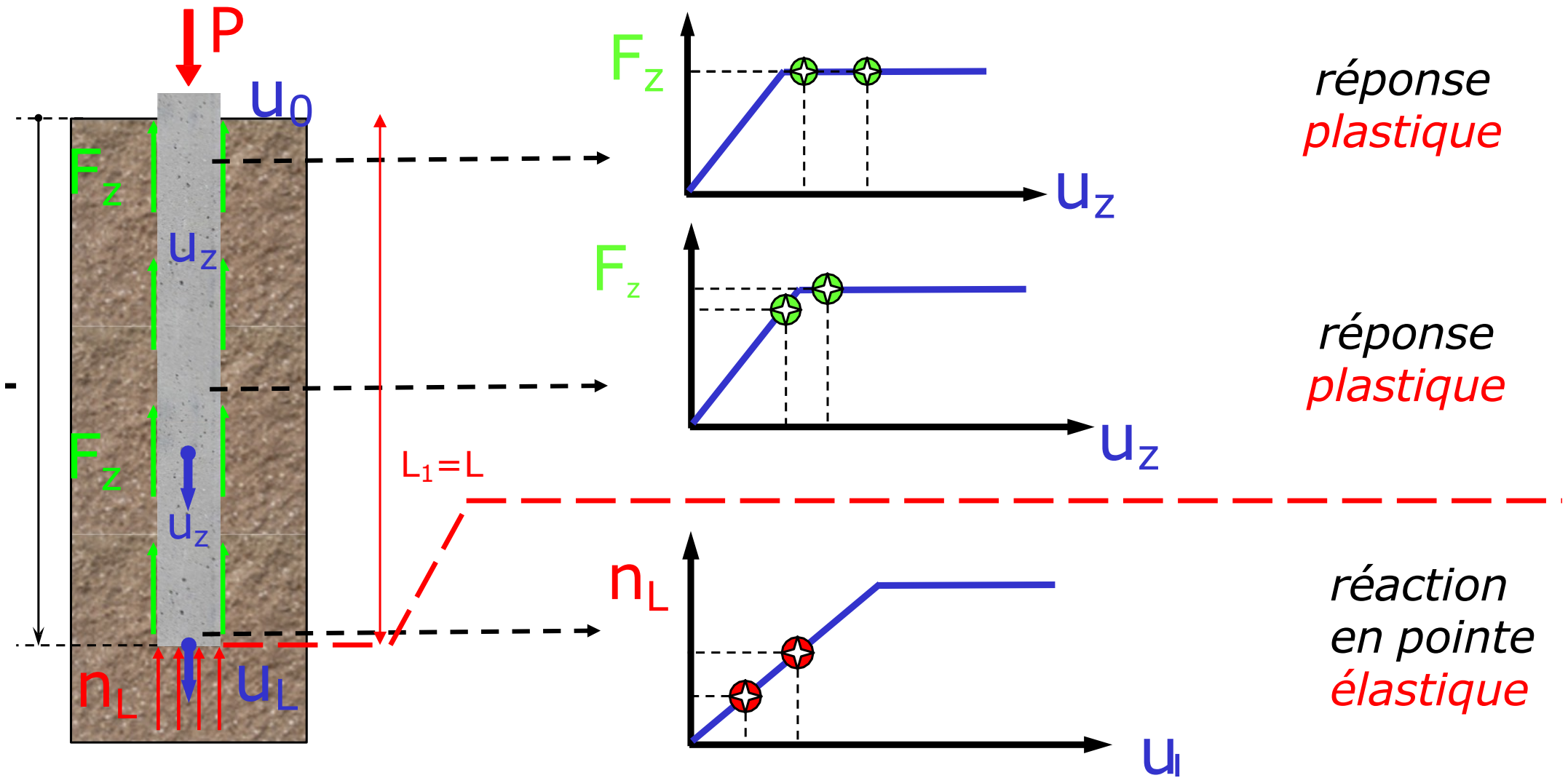
# Mode de travail d'un pieu : Phase 0'-1



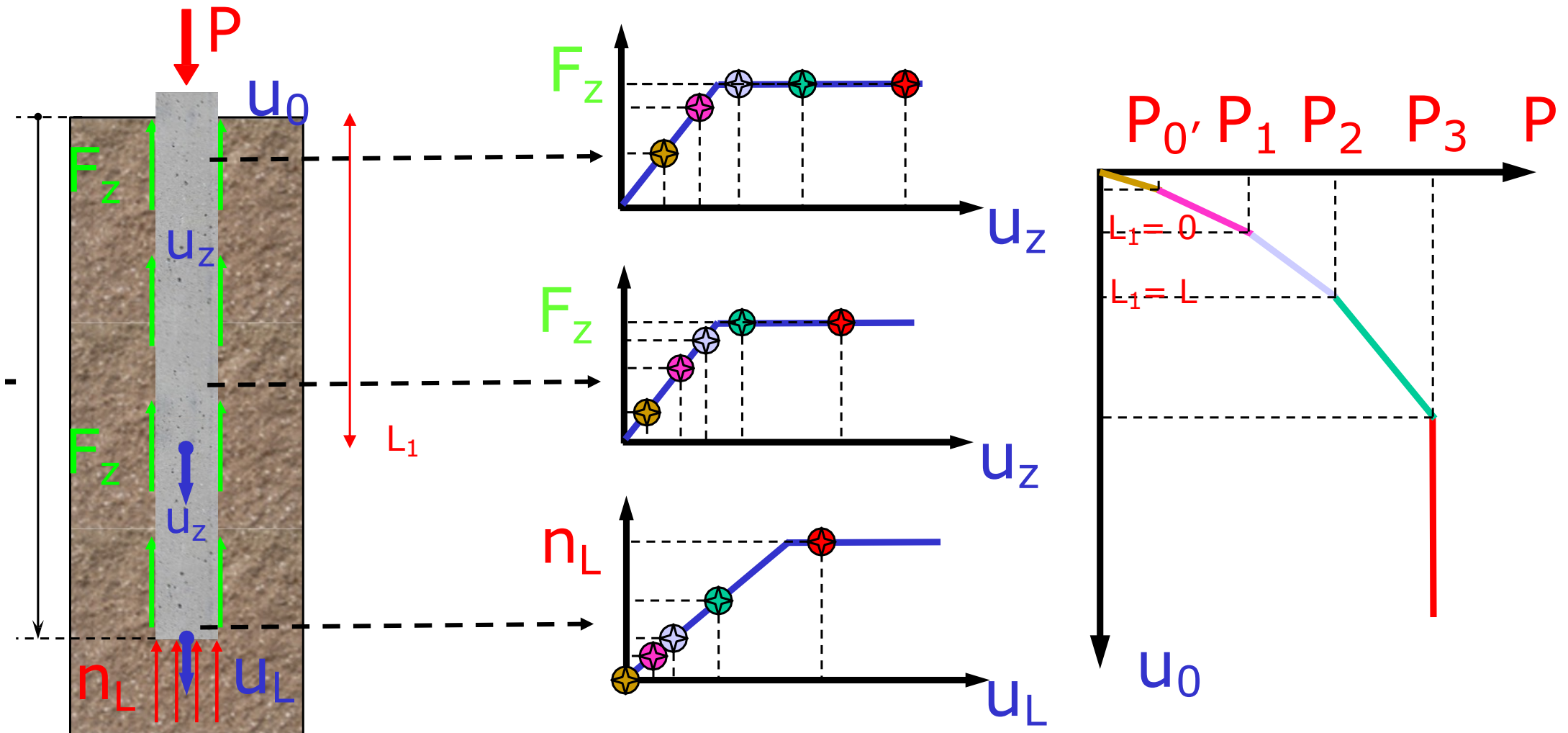
# Mode de travail d'un pieu : Phase 1-2



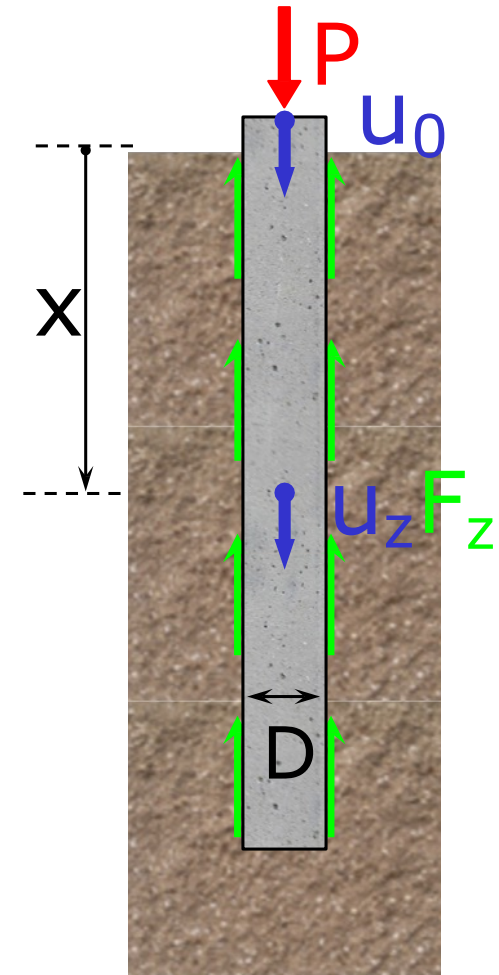
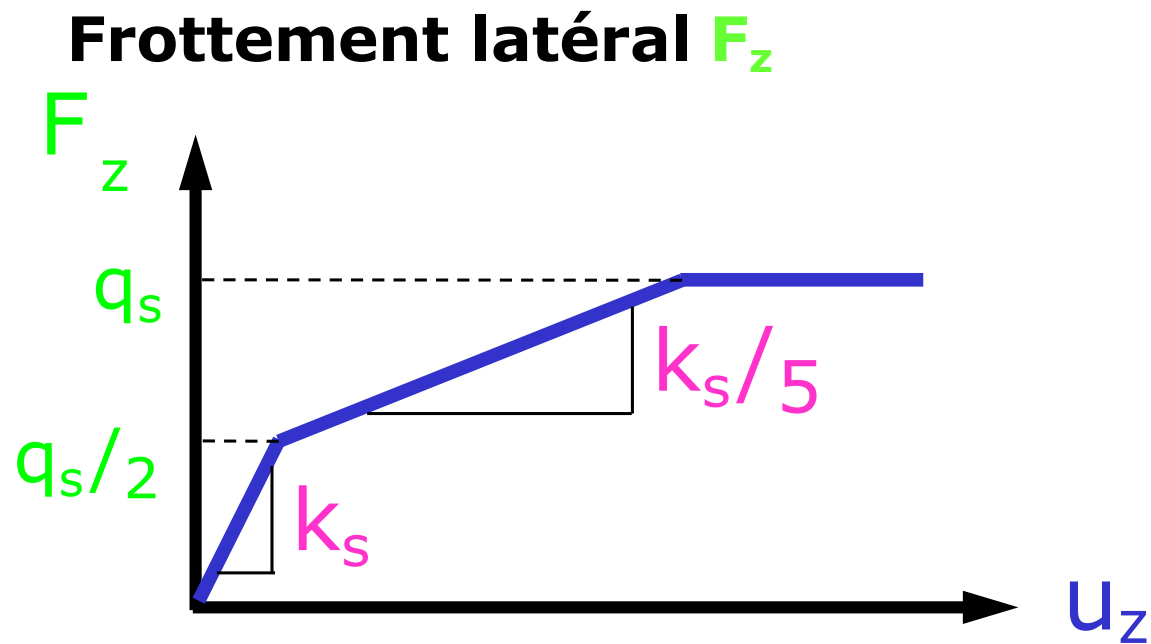
# Mode de travail d'un pieu : Phase 2-3



# Mode de travail d'un pieu



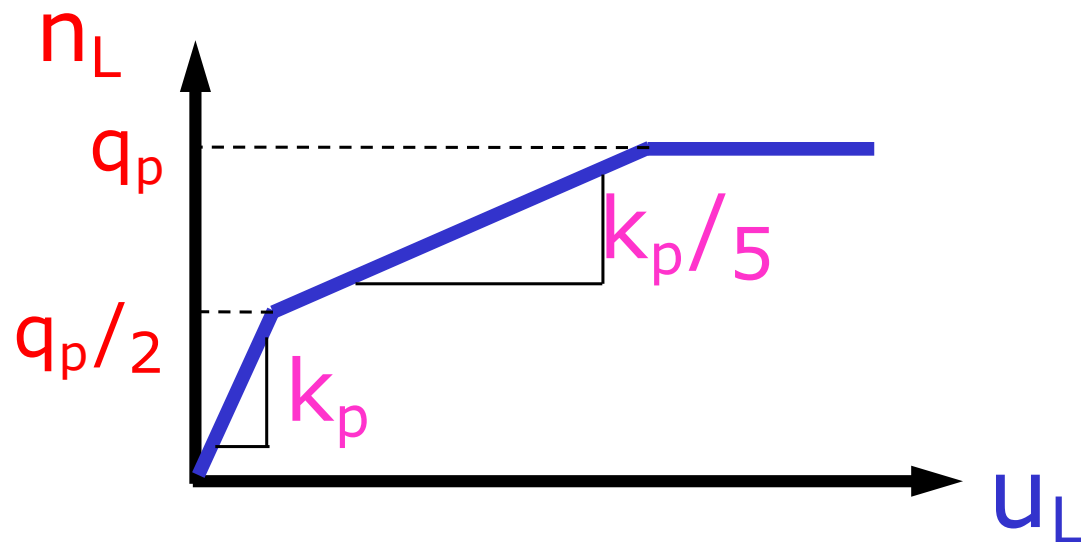
## Loi de mobilisation du frottement latéral selon Frank & Zhao



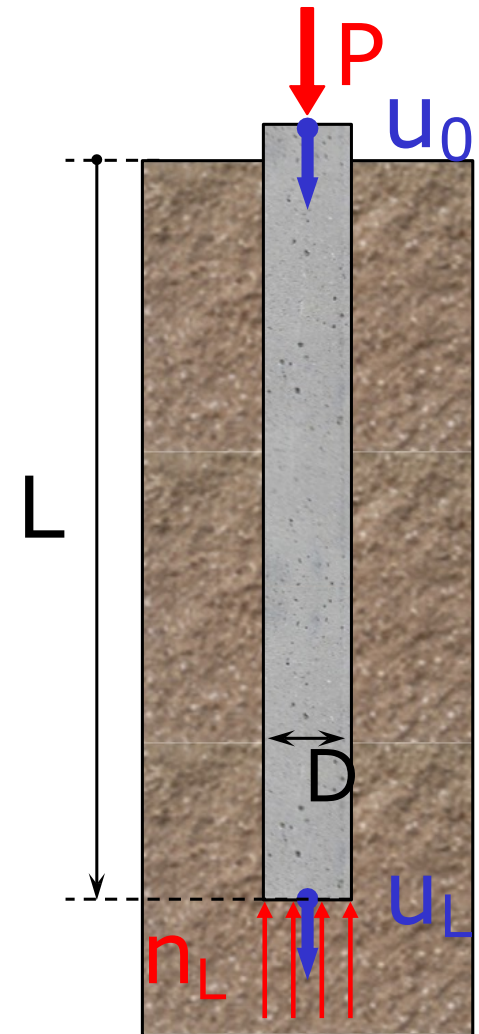
Type de sol	Granulaire	Fin
$k_s$	$k_s = 0.8 E_m / D$	$k_s = 2 E_m / D$

# Loi de mobilisation de la réaction en pointe selon Frank & Zhao

## Réaction en pointe $n_L$



Type de sol	Granulaire	Fin
$k_p$	$k_p = \frac{4.8 E_M}{D}$	$k = \frac{11 E_M}{D}$



# Méthode de Cassan

---

C.F derivation au tableau !

Pieu foré

$$R \approx 4.5E_m \qquad B \approx 0.42E_m$$

Pieu battu

$$R \approx 13.5E_m \qquad B \approx 1.25E_m$$

# Méthode de Cassan

---

$$s = \frac{4}{\pi} \frac{P}{D} \times \frac{1 + \frac{R}{aDE_p} \tanh(aL)}{R + aDE_p \tanh(aL)} \quad a^2 = \frac{4B}{DE_p}$$

Pieu foré

$$R \approx 4.5E_m \quad B \approx 0.42E_m$$

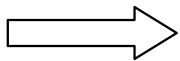
Pieu battu

$$R \approx 13.5E_m \quad B \approx 1.25E_m$$

# Tassement des pieux

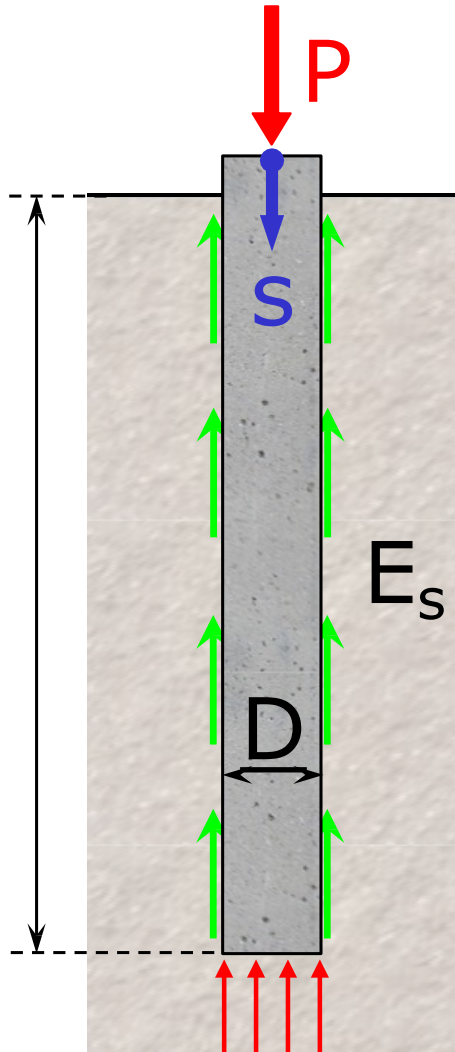
---

- Méthodes semi-empiriques  
*fondées sur l'observation de pieux au cours d'essais de charge*
  - méthode de Cambefort - Cassan
- Méthodes analytiques  
*basées sur la théorie de l'élasticité et les formules de Mindlin*
  - méthode de Poulos



C.F derivation au tableau !

# Méthode de Poulos



- Intégration des formules de Mindlin (théorie de l'élasticité)
- Expression initialement valable pour un pieu incompressible dans un milieu homogène infini :

$$s = \frac{P}{E_s D} I \quad I : \text{coefficient d'influence}$$

$E_s = E_M / \alpha$  avec  $\alpha$  un coefficient rhéologique

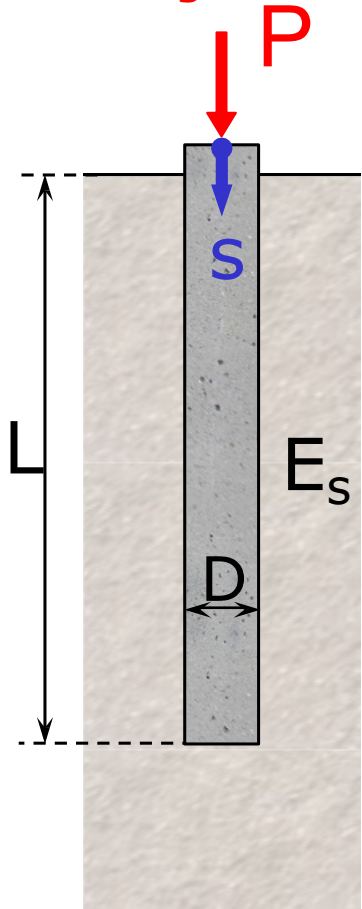
$\alpha$	Argile	Limon	Sable	Gravier
Surconsolidé ou très serré	1	2/3	1/2	1/3
Normalement consolidé ou serré	2/3	1/2	1/3	1/4
Sous-consolidé altéré, remanié ou lâche	1/2	1/2	1/3	-

- Extension de la méthode à des pieux compressibles fondés dans des couches d'épaisseur finie.

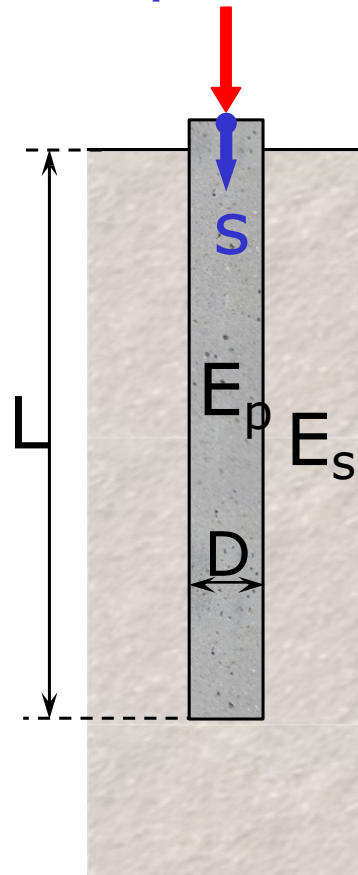
$$I = I_1 \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_b$$

## Corrections

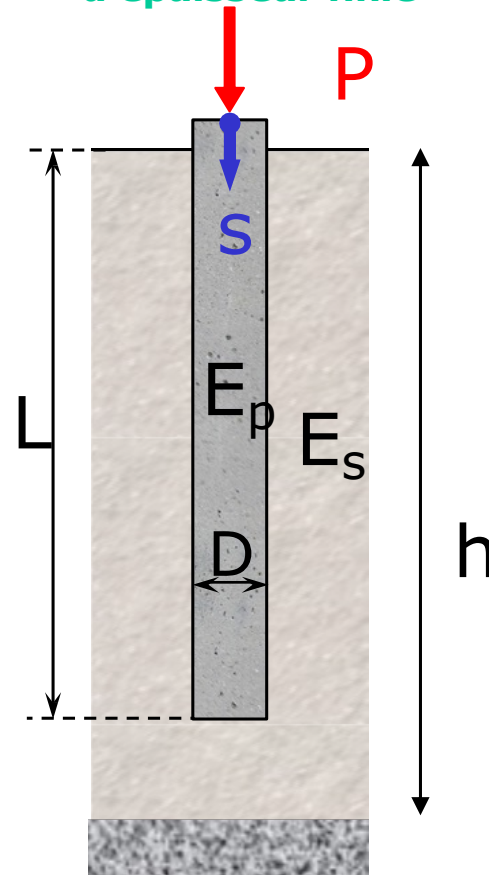
Pieu incompressible  
dans un milieu  
homogène infini



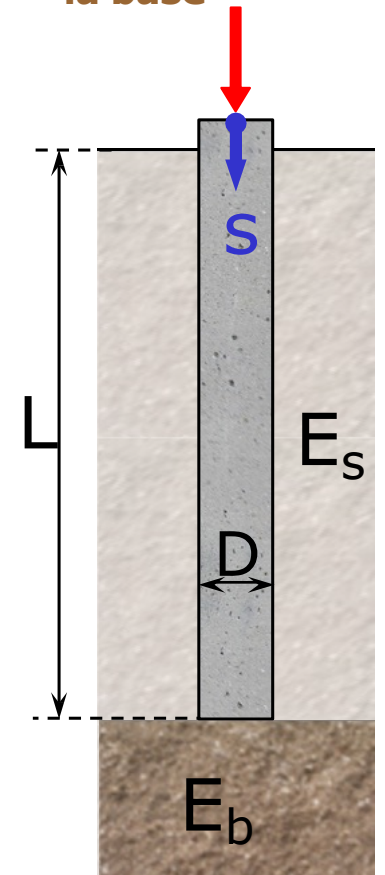
Compressibilité du  
pieu



Couche compressible  
d'épaisseur finie

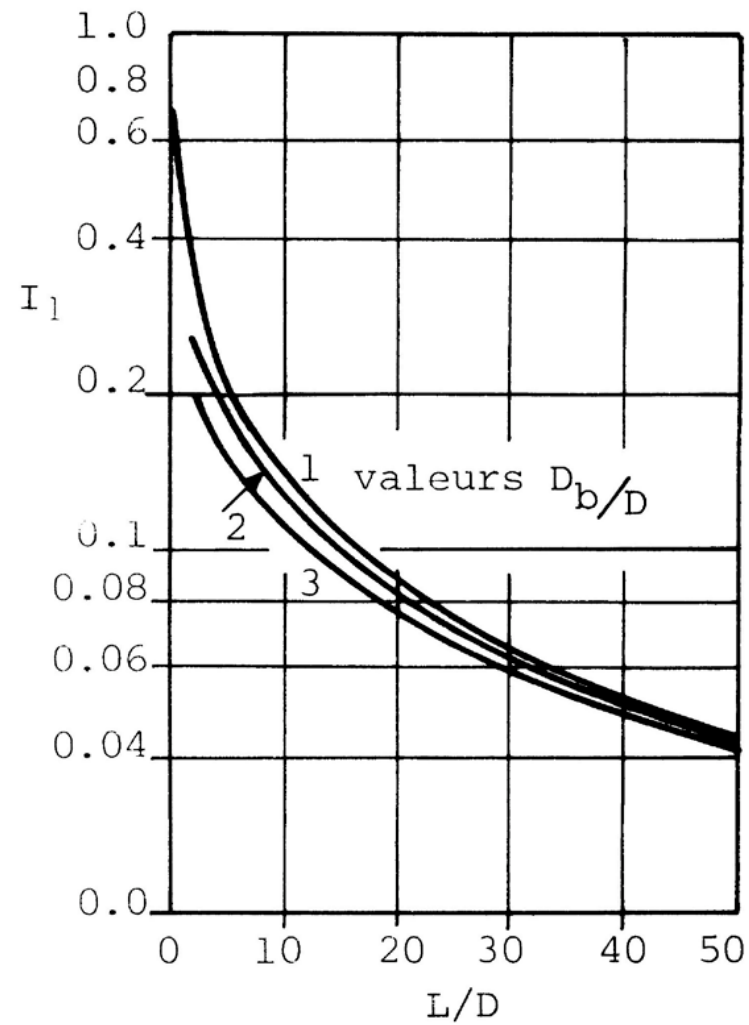
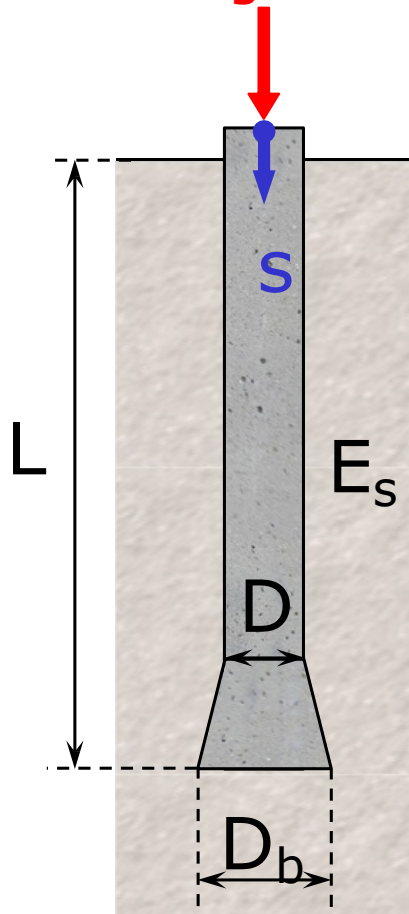


Couche différente sous  
la base



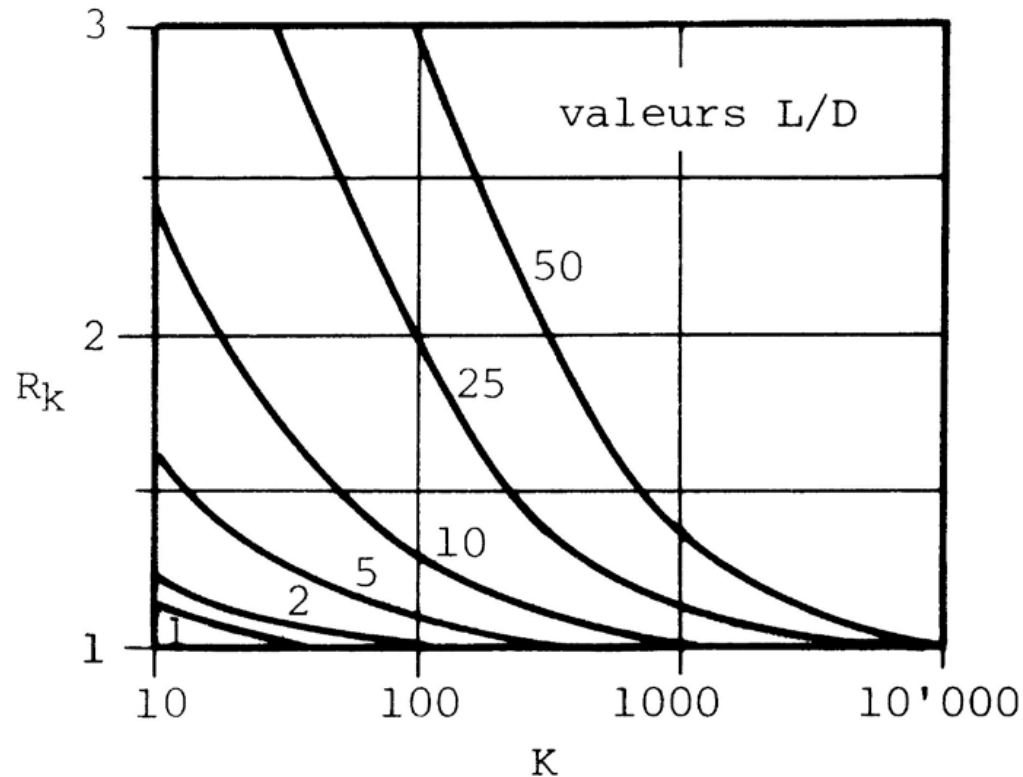
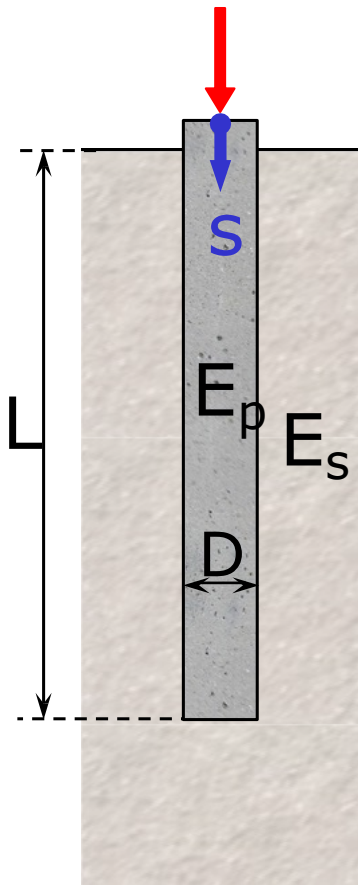
$$I_1 = f(L/D, D_b/D) < 1$$

**Pieu incompressible  
dans un milieu  
homogène infini**



$$R_k = f(L/D, K) > 1$$

## Compressibilité du pieu



$K$  facteur de rigidité relative entre le pieu et le sol :

$$K = \frac{E_p}{E_s} R_A$$

$E_p$  module d'élasticité du pieu

$E_s$  module d'élasticité du sol,

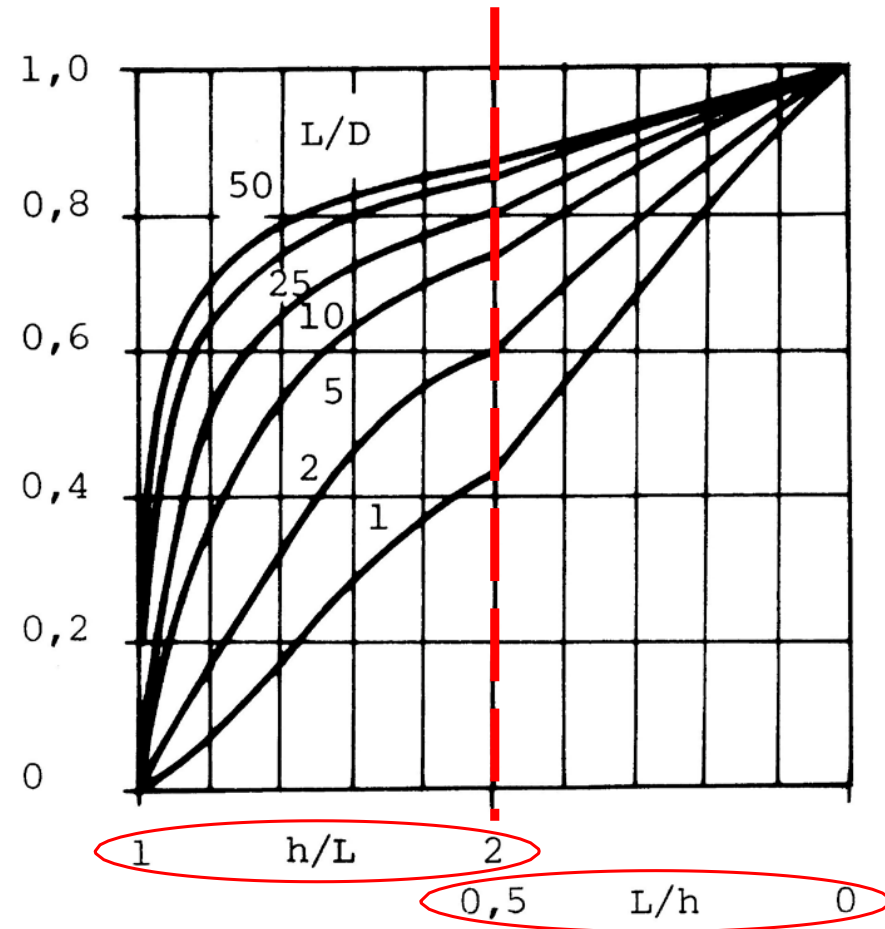
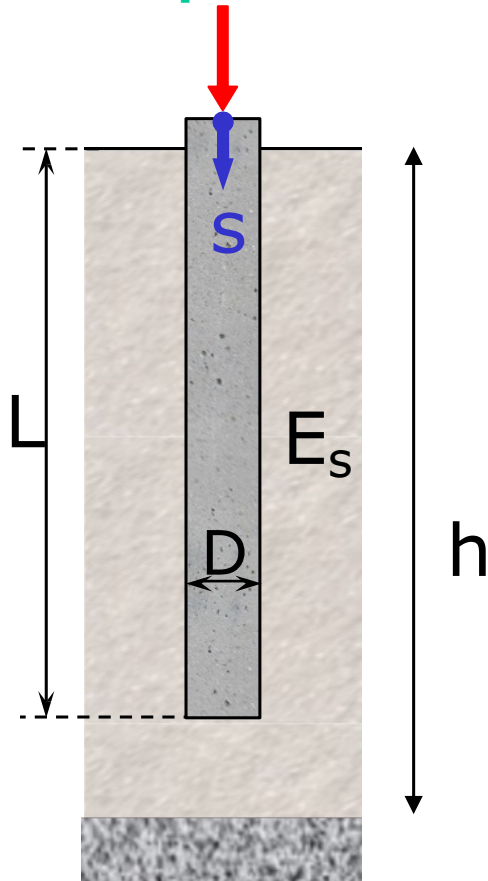
$R_A$  rapport entre la section effective du pieu et sa section totale.

$R_A = 1$  pour les pieux à section pleine.

$R_A < 1$  pour les pieux à section creuse (tubulaire) ou ouverte (profilés métalliques).

$$R_h = f(L/D, L/h) < 1$$

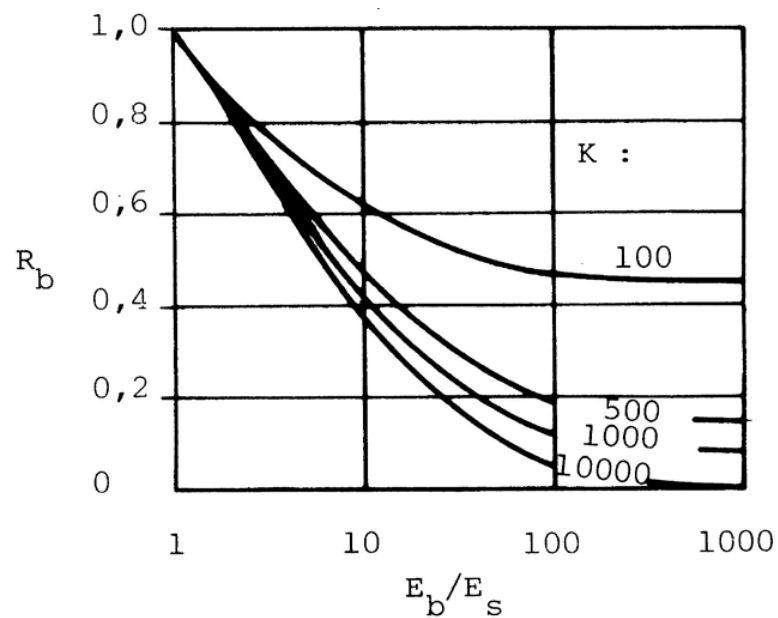
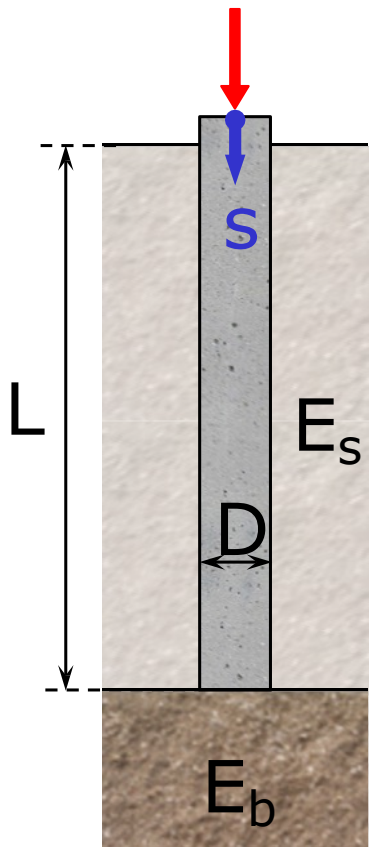
Couche compressible  
d'épaisseur finie



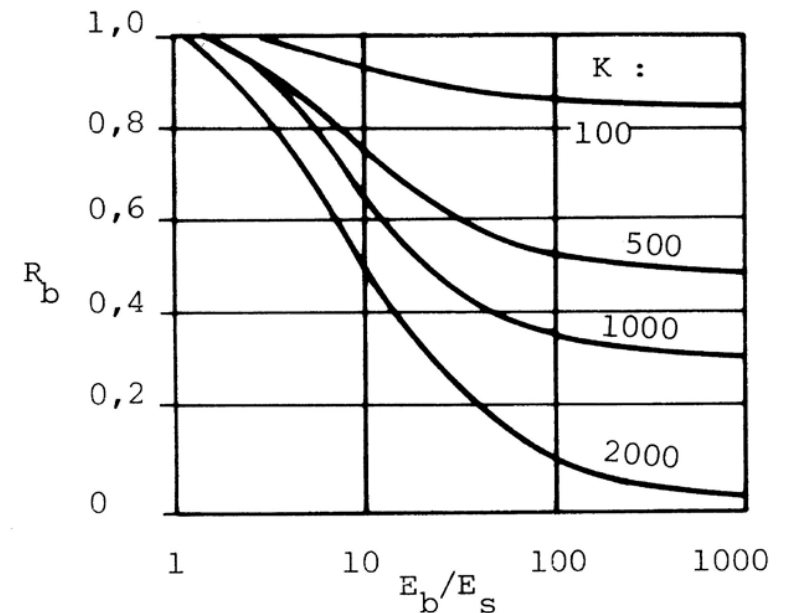
$$R_b = f(L/D, E_b/E_s, K) < 1$$

Couche différente sous  
la base

K facteur de rigidité relative entre le pieu et le sol :  $K = \frac{E_p}{E_s} R_A$



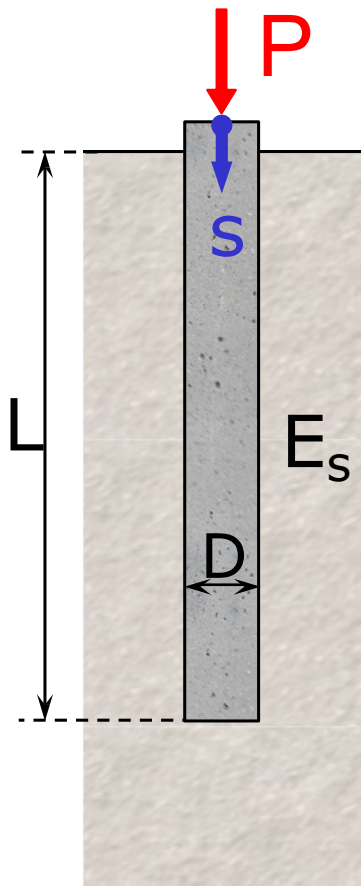
$L/D = 10$



$L/D = 25$

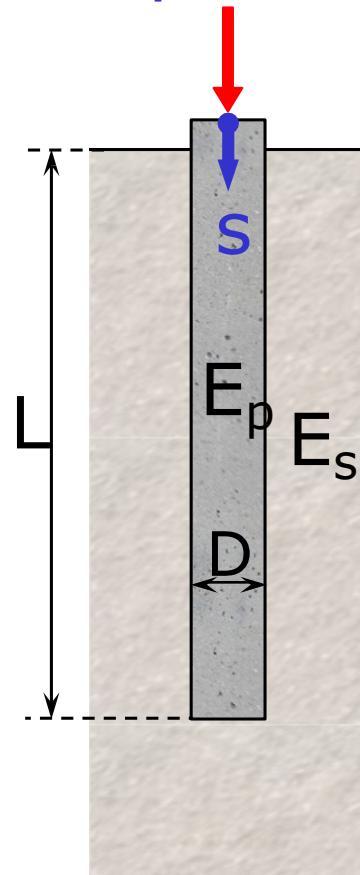
Part d'effort reprise en pointe selon Poulos  $\beta = \beta_1 \cdot C_k \cdot C_h \cdot C_b$

Pieu incompressible  
dans un milieu  
homogène infini

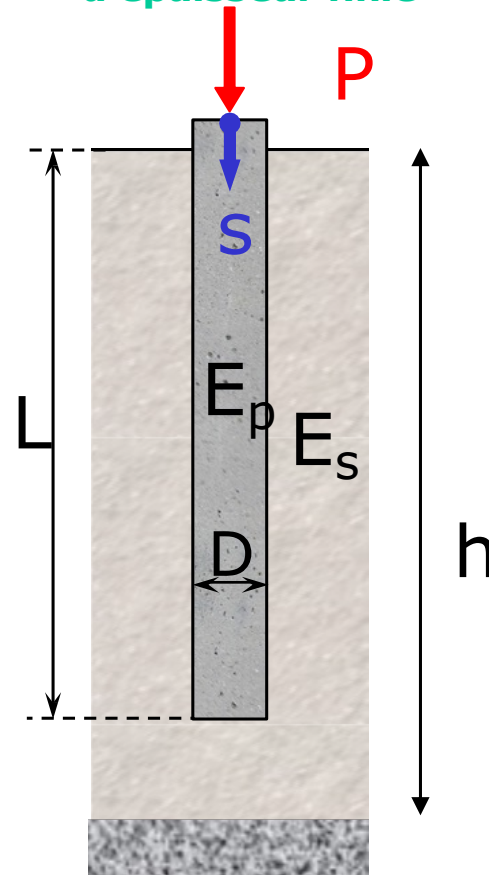


Corrections

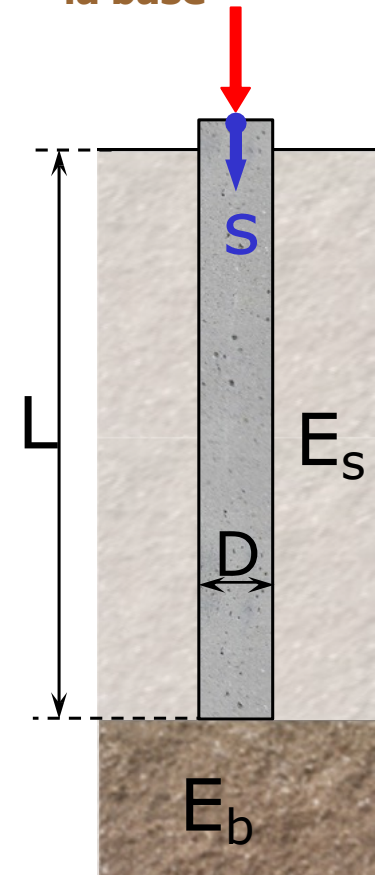
Compressibilité du  
pieu



Couche compressible  
d'épaisseur finie

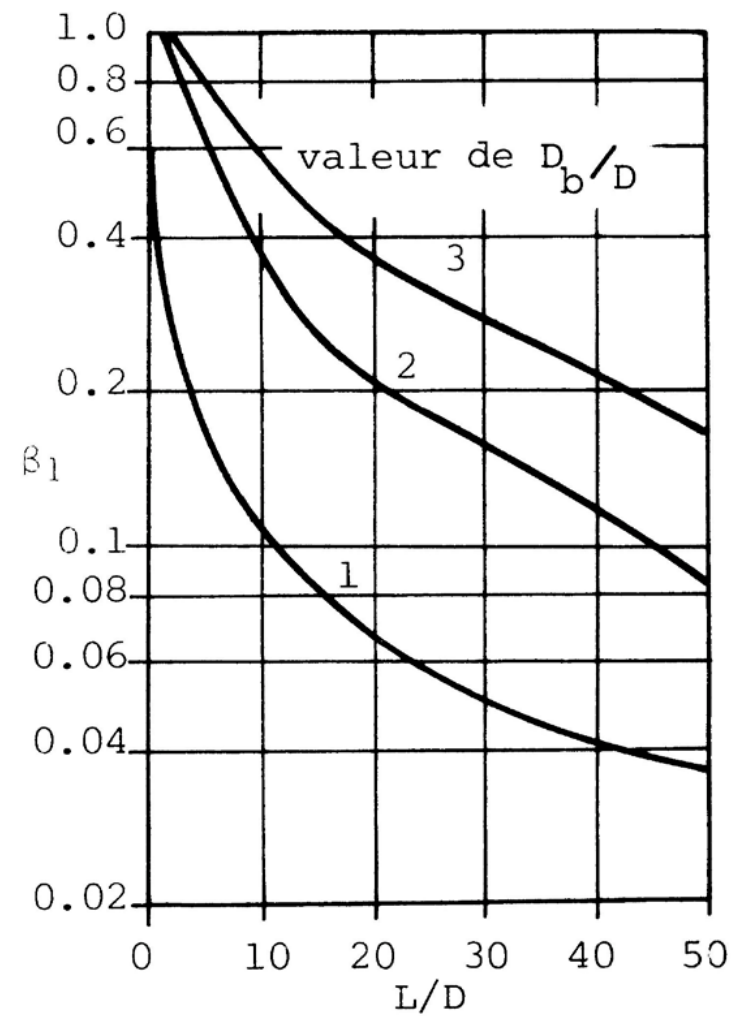
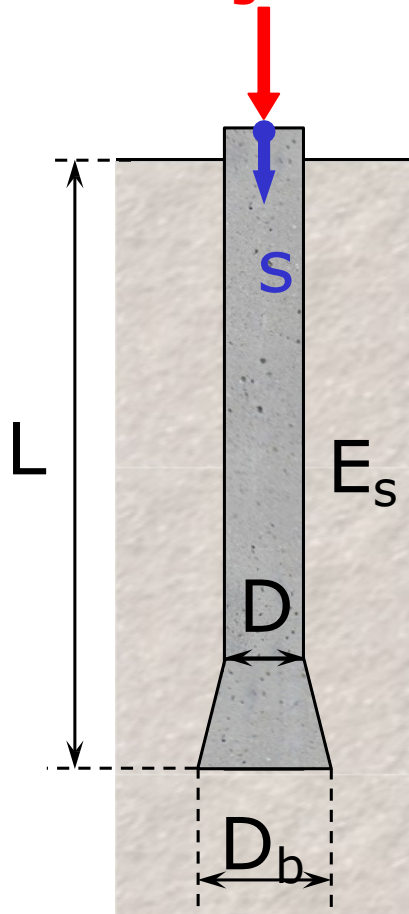


Couche différente sous  
la base



$$\beta_1 = f(L/D, D_b/D) < 1$$

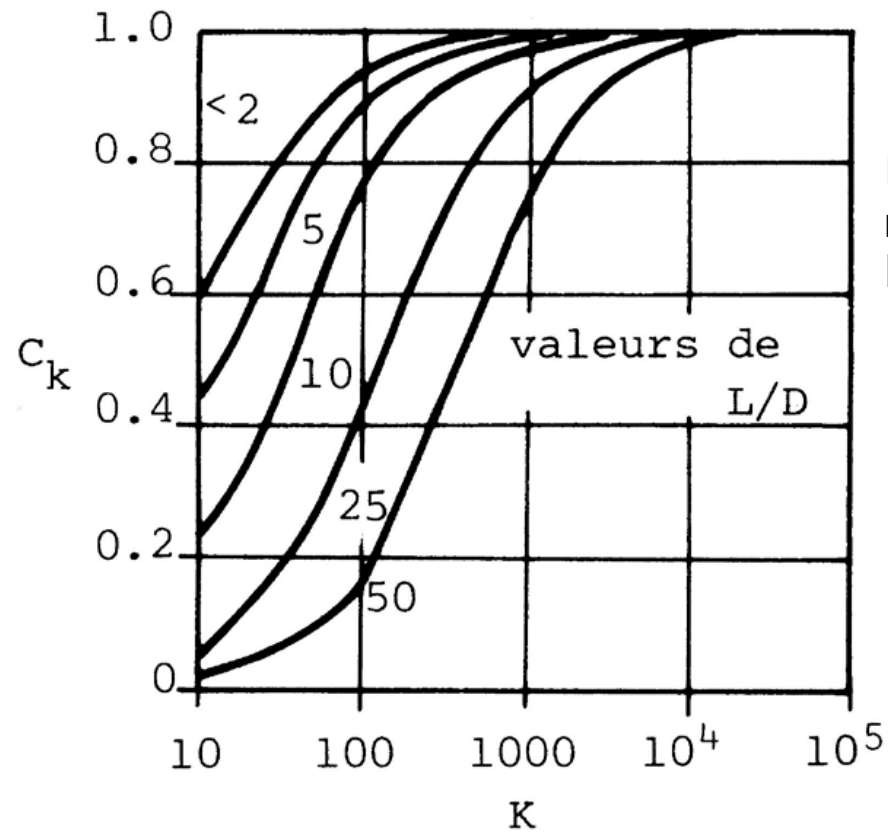
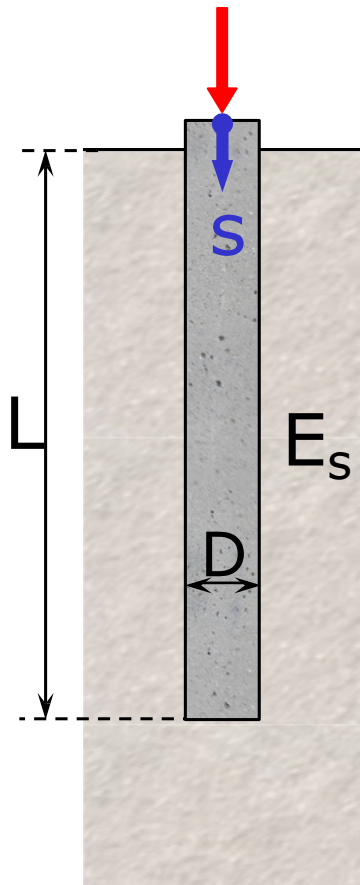
**Pieu incompressible  
dans un milieu  
homogène infini**



$$C_k = f(L/D, K) < 1$$


---

Compressibilité du  
pieu

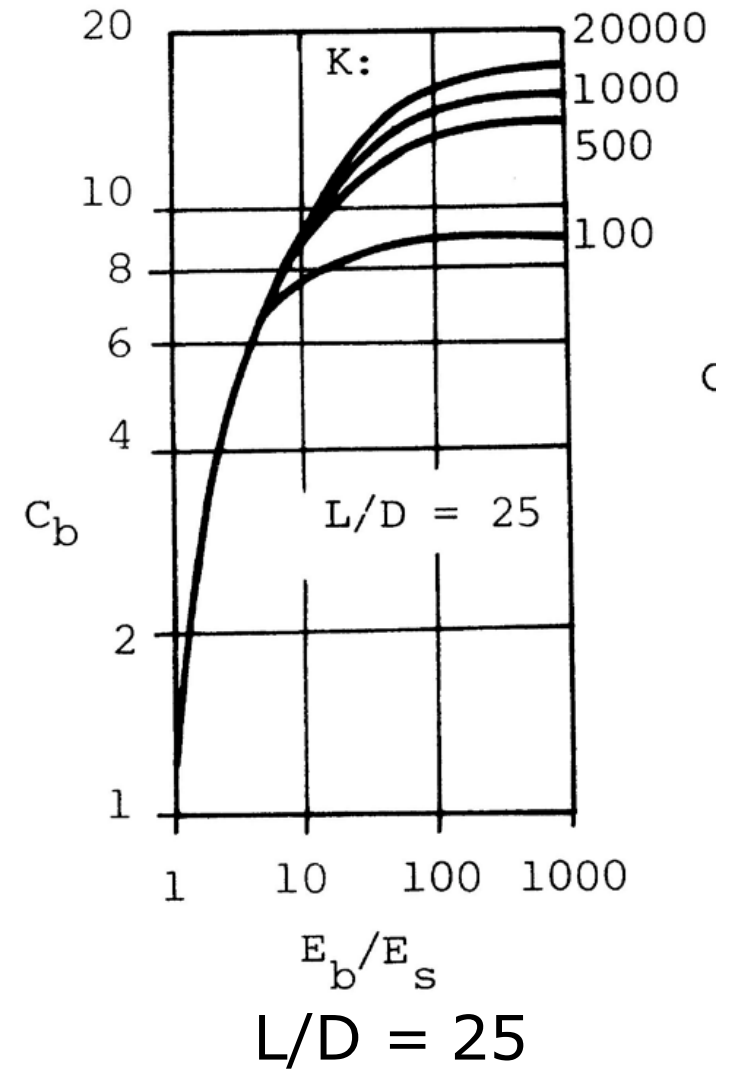
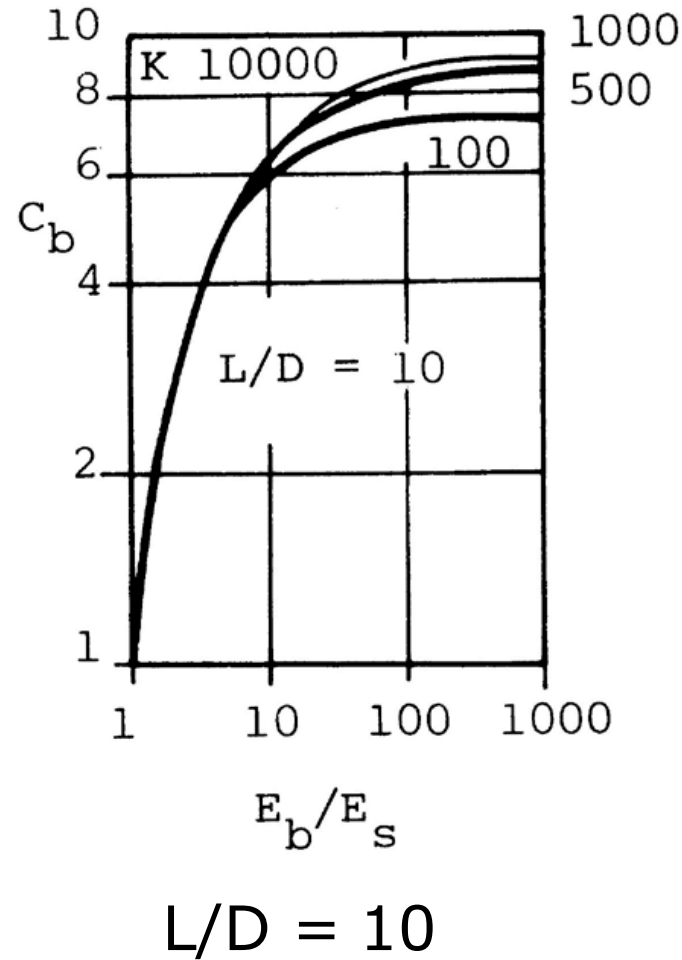
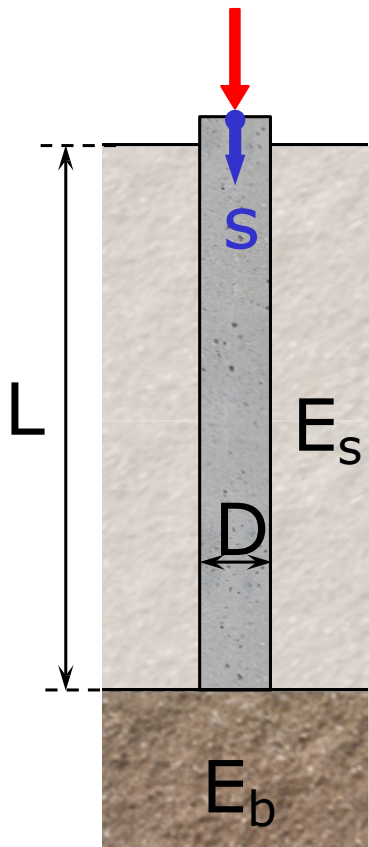


$K$  facteur de rigidité  
relative entre  
le pieu et le sol :

$$K = \frac{E_p}{E_s} R_A$$

$$C_b = f(L/D, E_b/E_s, K) > 1$$

Couche différente sous la base



# Tassement d'un groupe de pieux (*prudence!*)

## Formules empiriques (selon Skempton)

Pieux forés:  $\frac{s_g}{s_i} = \frac{(4B + 2.75)^2}{(B + 3.65)^2}$       Pieux battus:  $\frac{s_g}{s_i} = \frac{(2B)^2}{(B + 0.3)^2}$       B: largeur du groupe [m]

## Méthode de la consolidation unidimensionnelle

Groupe de pieux assimilé à une fondation monolithique équivalente

→ Estimation du tassement selon les méthodes pour les fondations superficielles  
profondeur fictive à laquelle agit la charge :

- $x = 0$  si  $\lambda = 1$  (tout en pointe)
- $x = L/2$  si  $\lambda = 0$  (frottement latéral seul)
- $x = L/3$  si  $\lambda = 0.2 \div 0.3$  (normal)

avec  $\lambda$  estimé p.ex. par Cassan :

Pieux forés:  $\lambda = \frac{1}{1 + 0.5 \cdot L/D}$       Pieux battus:  $\lambda = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot L/D}$

## Méthodes élastiques (selon Poulos)

