

Parois Clouées

Ouvrages géotechniques

EPFL



GeoEnergyLab

PAROIS CLOUÉES

(OU ÉPINGLÉES)

Méthode d'exécution

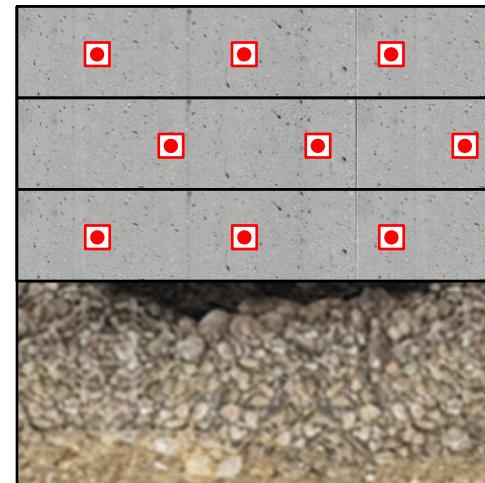
Exécution de la paroi en même temps que l'excavation de la fouille

1. Terrassement
2. Exécution du parement

3. Epingleage du sol



Vue de profil



Vue de face

2 types de renforcement

- **Clous passifs**

- scellement sur toute la longueur du clou
- pas de précontrainte

- **Ancrages actifs**

- bulbe de scellement à l'extrémité de l'ancrage
- avec précontrainte

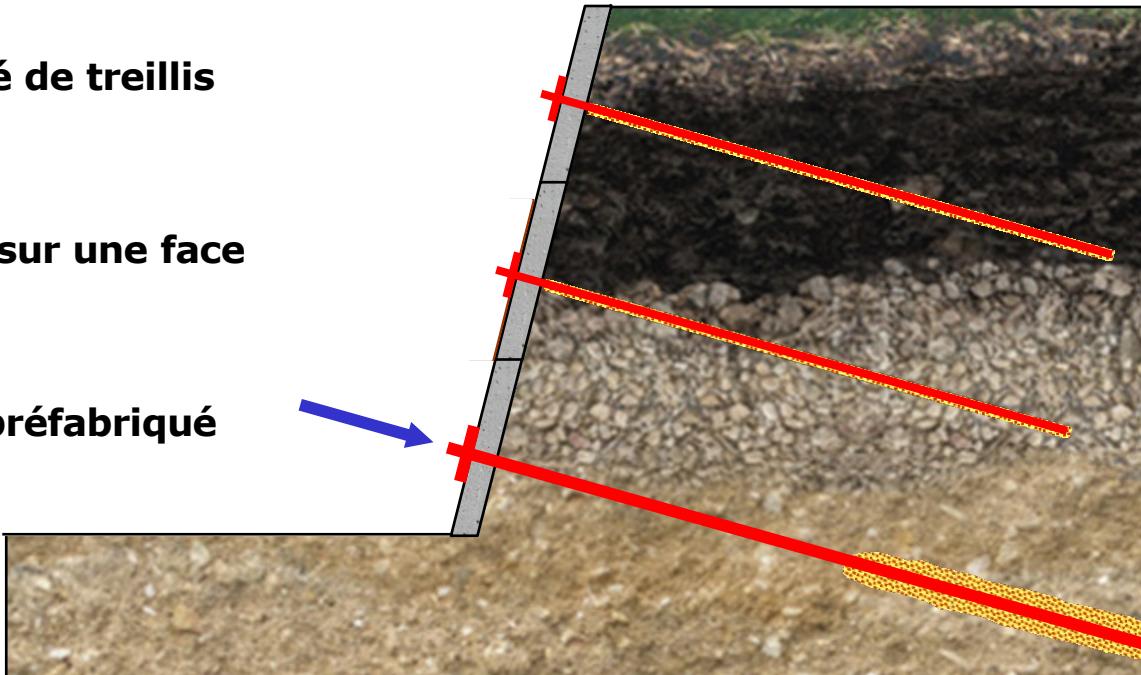


Matériau du parement

Béton projeté armé de treillis

Béton armé coffré sur une face

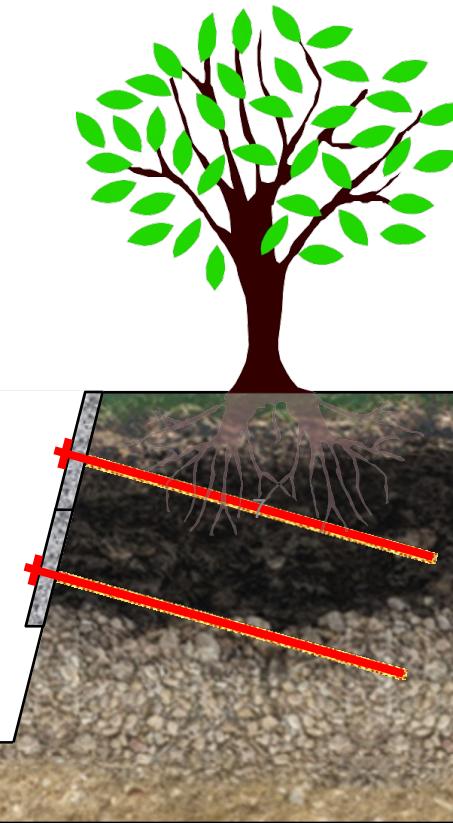
Plaques en béton préfabriqué



Paroi clouée - Terrassement



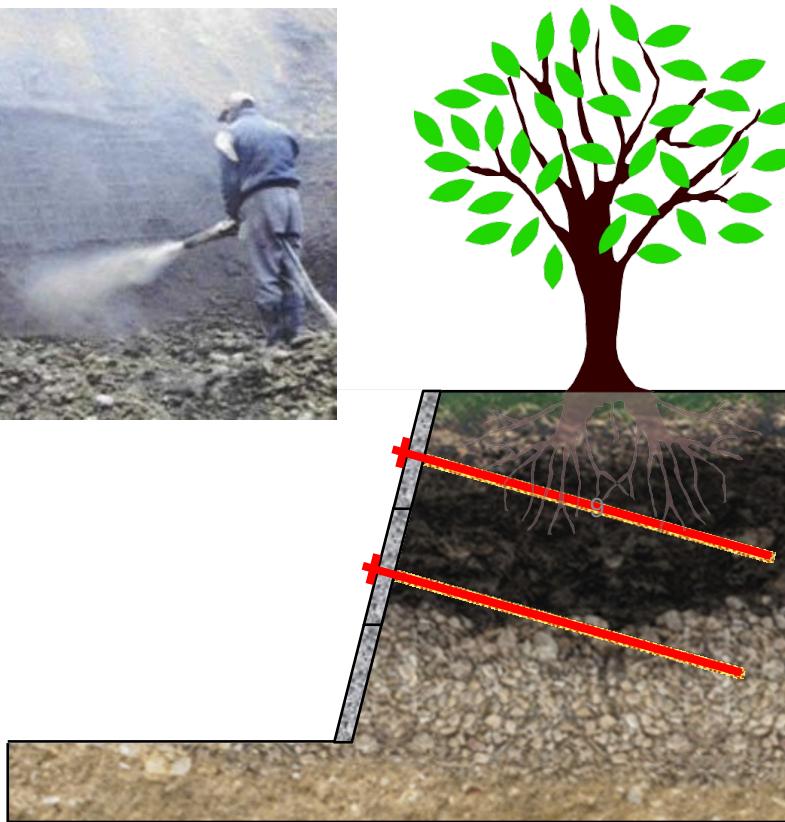
Paroi clouée - Terrassement



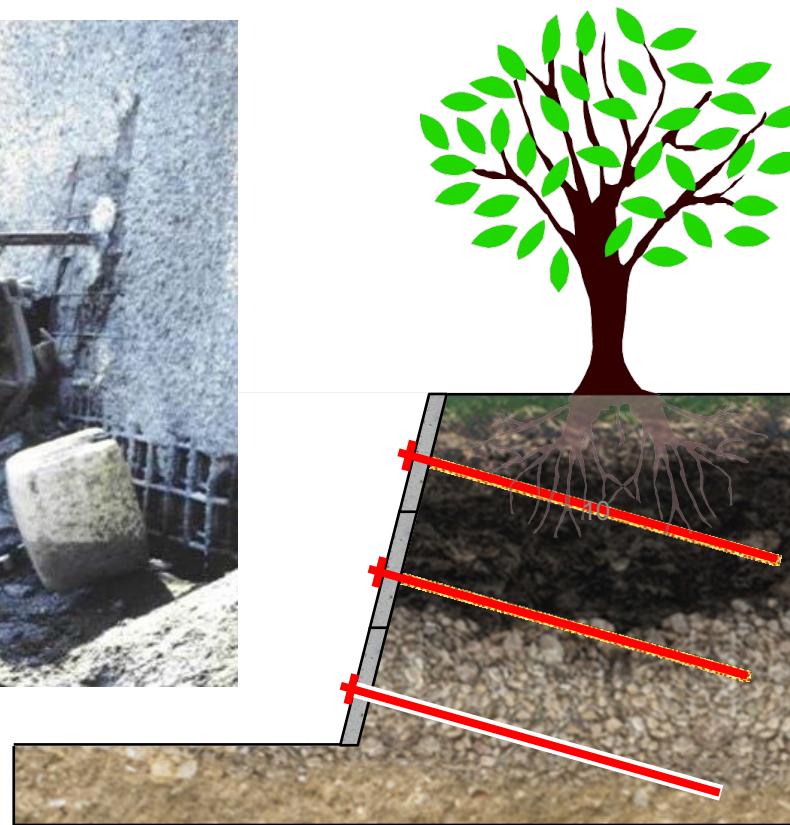
Paroi clouée - Ferraillage



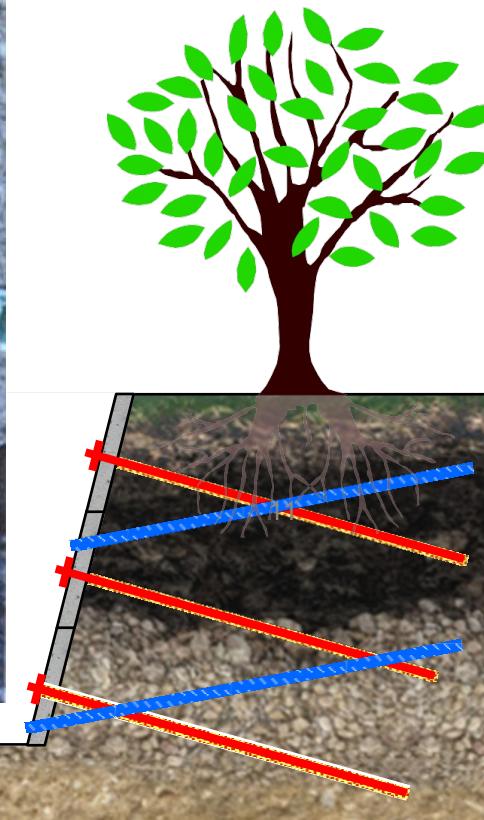
Paroi clouée - Béton projeté



Paroi clouée - Mise en place des clous



Paroi clouée - Scellement des clous - mise en place des drains



Paroi clouée

Clous passifs (Métro M2, CHUV)



Paroi clouée

Ancrages actifs (Métro M2, Flon)



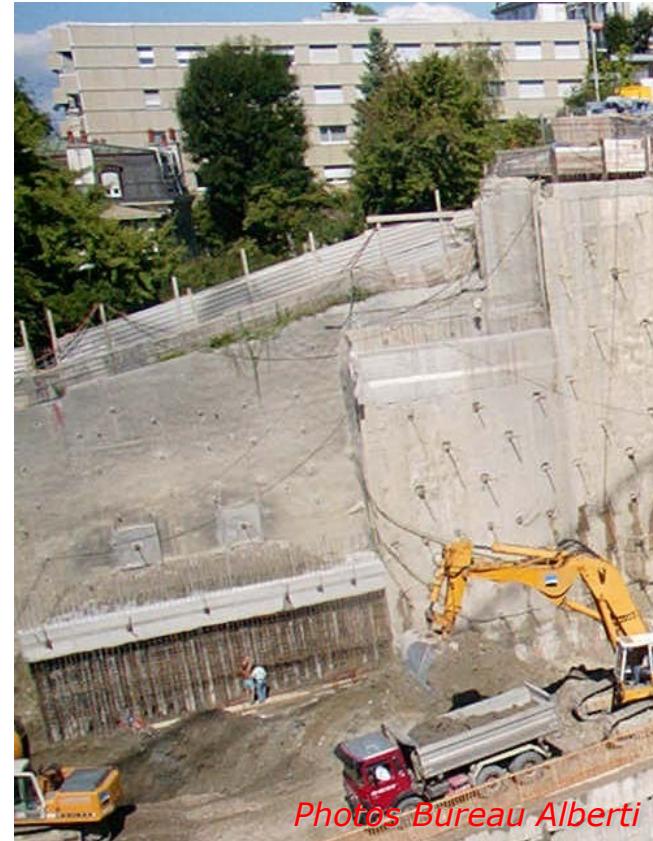
Paroi clouée

Fouille pour culée de pont
Viaduc de Chaluet (Transjurane)



Paroi clouée

Clous passifs et ancrages actifs (Hôtel alpha)



Photos Bureau Alberti

Paroi clouée avec plaques en béton préfabriqué



Instabilités lors du terrassement

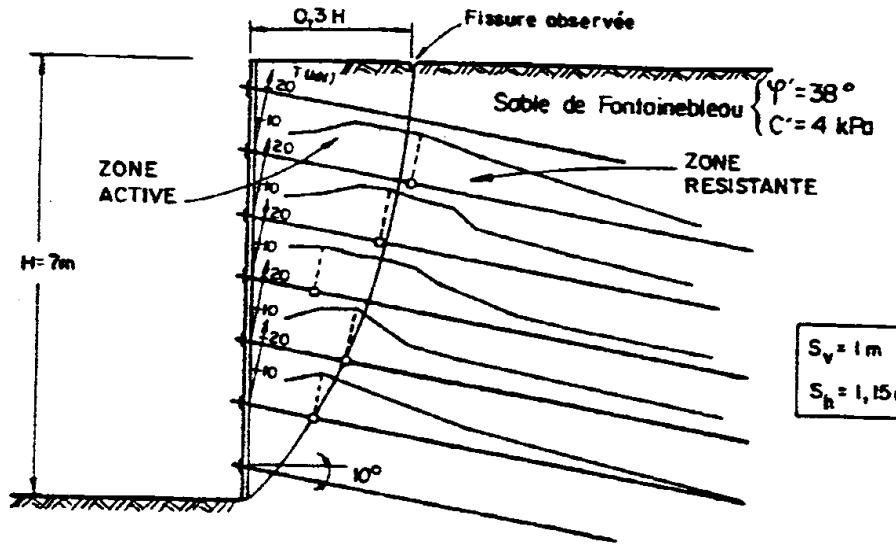
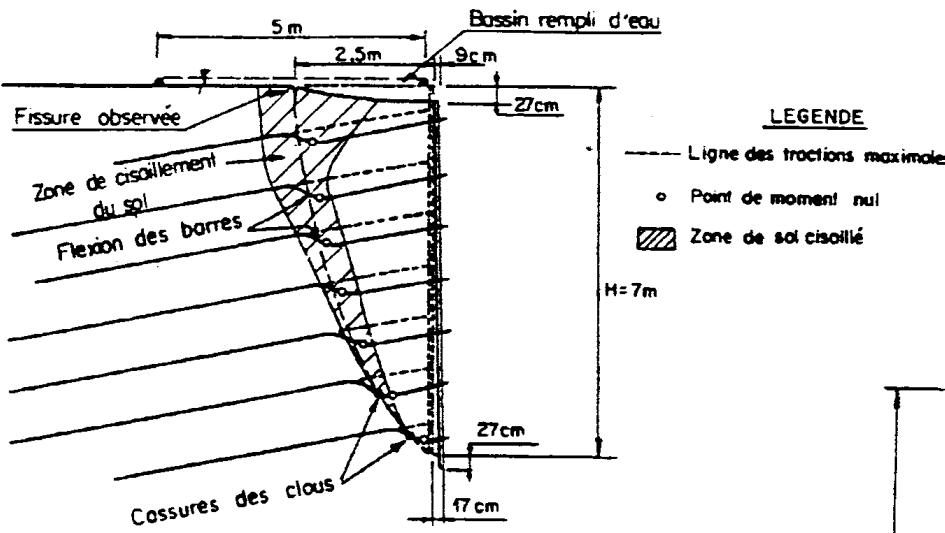


Terrassement par plots alternés



TYPES DE RUPTURE DES PAROIS CLOUÉES

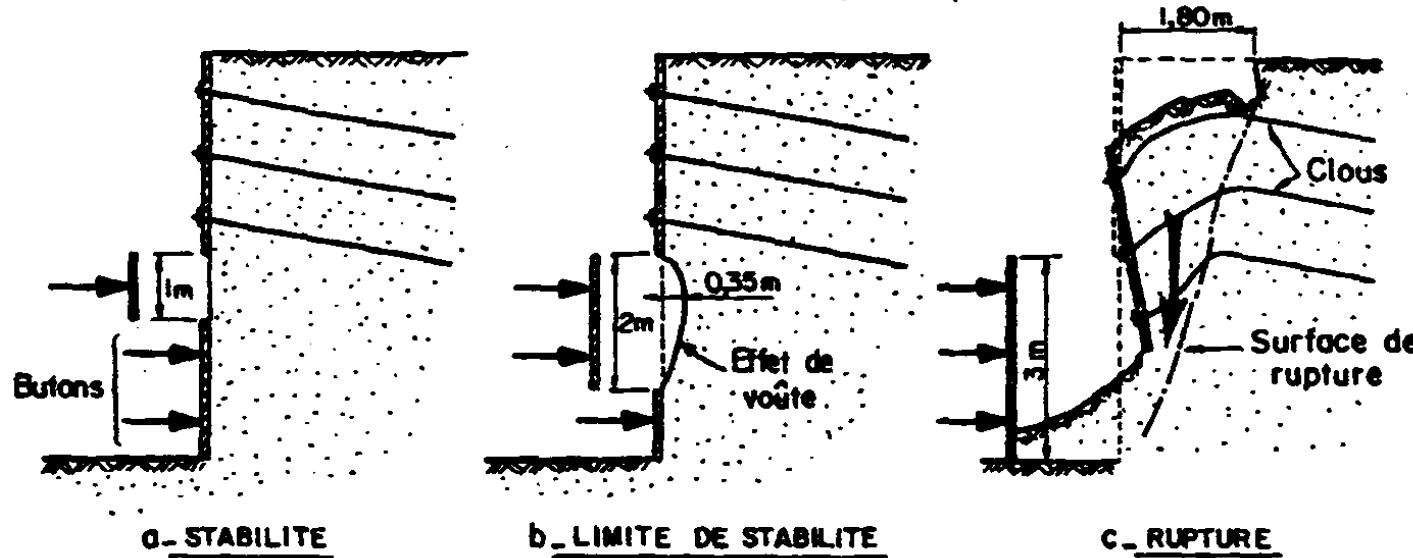
Première Expérimentation CLOUTERRE



- Clous sollicités en traction en service (et à la rupture)
- Clous sollicités en flexion et cisaillement lors de la rupture

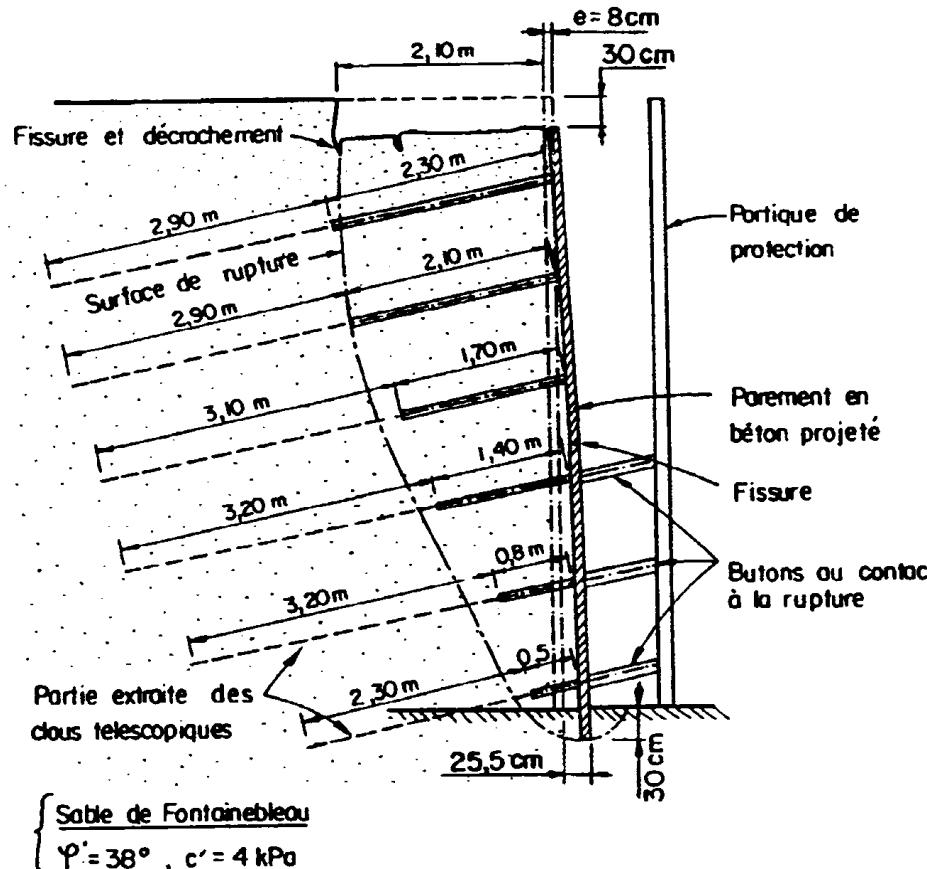
Deuxième Expérimentation CLOUTERRE

Sable de Fontainebleau ($\varphi = 38^\circ$, $c = 4 \text{ kPa}$)



- Instabilité locale lors du terrassement (effet de voûte insuffisant)
- Rupture assez brutale avec écoulement du sol derrière la paroi

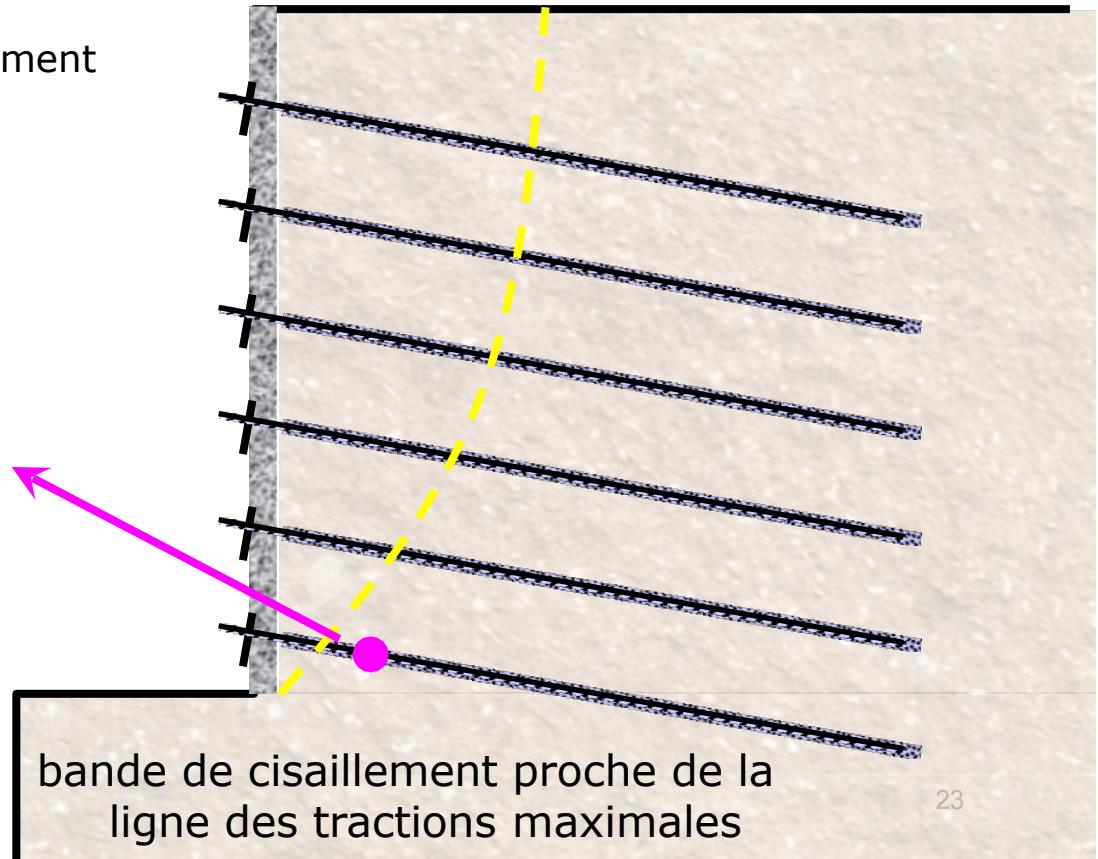
Troisième Expérimentation CLOUTERRE



- Descellement des clous dans la zone résistante
- Rupture par défaut d'adhérence

Rupture par cassure des clous

- Au voisinage de la rupture, développement d'une bande de cisaillement
- Armatures sollicitées en
 - Flexion
 - Cisaillement
 - Traction
- **Risque de cassure des clous**
- Si clous flexibles
 - Surface de rupture nette
 - Rupture brutale !!!
- Si clous rigides
 - Surface de rupture diffuse
 - Rupture plus progressive

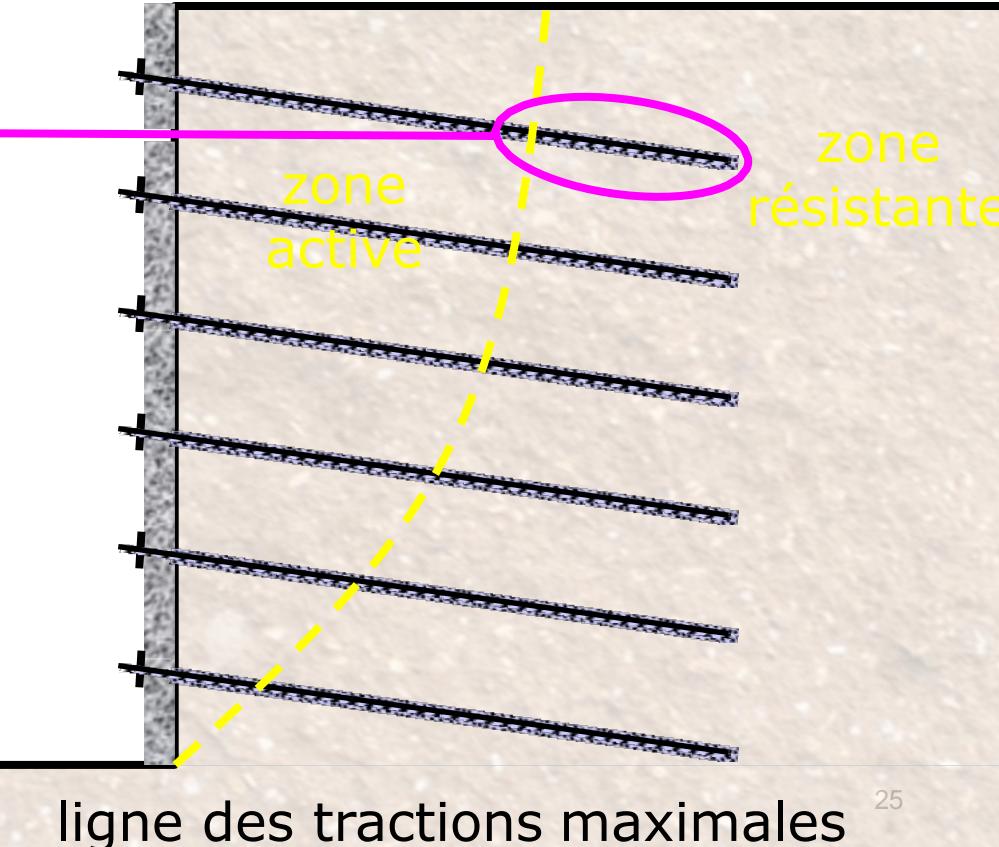
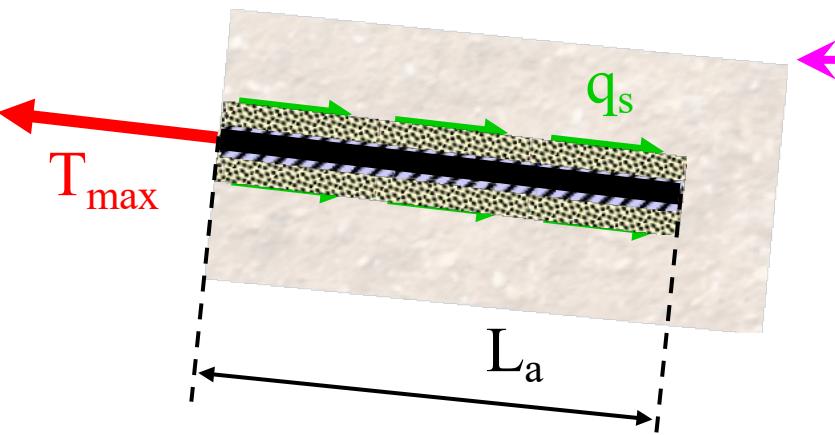


Rupture par cassure des clous

- Causes possibles
 - Sous-dimensionnement des sections d'armatures
 - Corrosion des armatures métalliques des clous
 - Chargement en tête, si le mur n'a pas été dimensionné pour y résister
 - Saturation du mur sous l'effet d'infiltration d'eau (pluies ou dégel)
 - Provoqué par le gel dans les sols gélifs (limons). Surtension des clous observée au voisinage du parement suite à la formation d'un front de gel sur des murs en montagne.

Rupture par défaut d'adhérence

- Longueur d'ancrage insuffisante dans la zone résistante pour équilibrer la traction maximale



- Arrachement des clous du sol si :

$$T_{max} > \pi D L_a q_s$$

- Causes

- Saturation ou augmentation de la teneur en eau dans les sols fins
- Longueur des clous insuffisante suite à une mauvaise évaluation de q_s

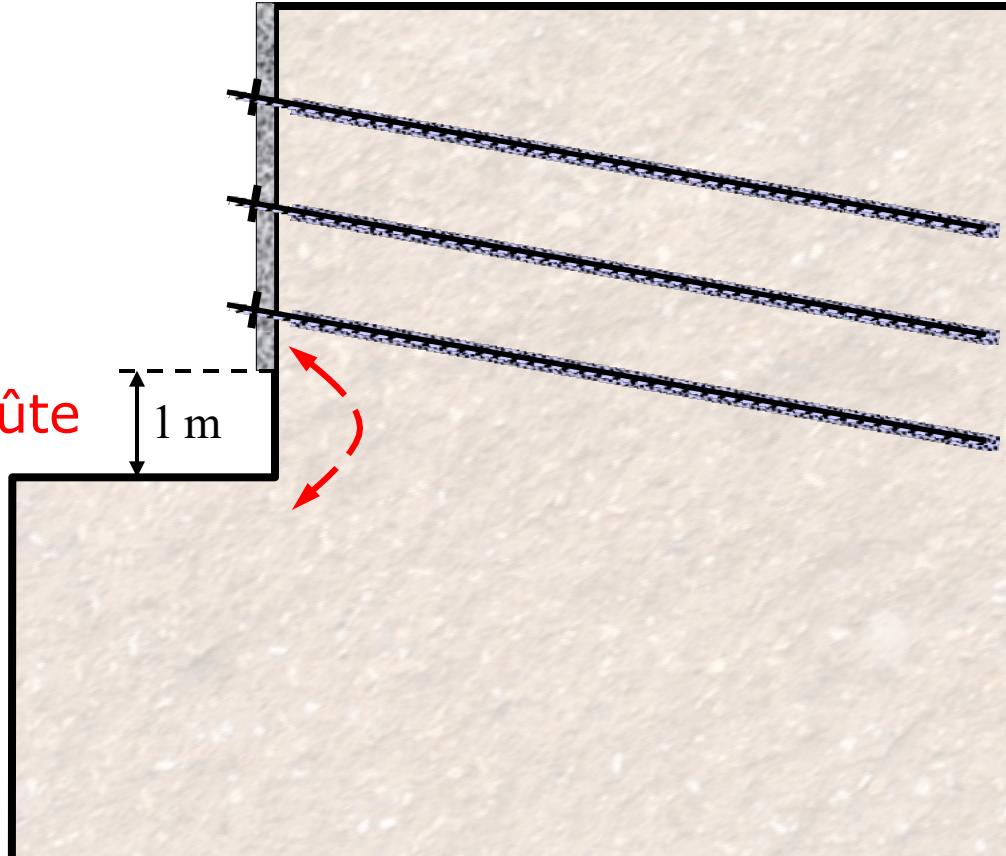
Rupture durant les phases d'excavation

par trop grande hauteur d'excavation continue

- Instabilité locale lors du terrassement beaucoup plus fréquente que les ruptures précédentes

Effet de voûte

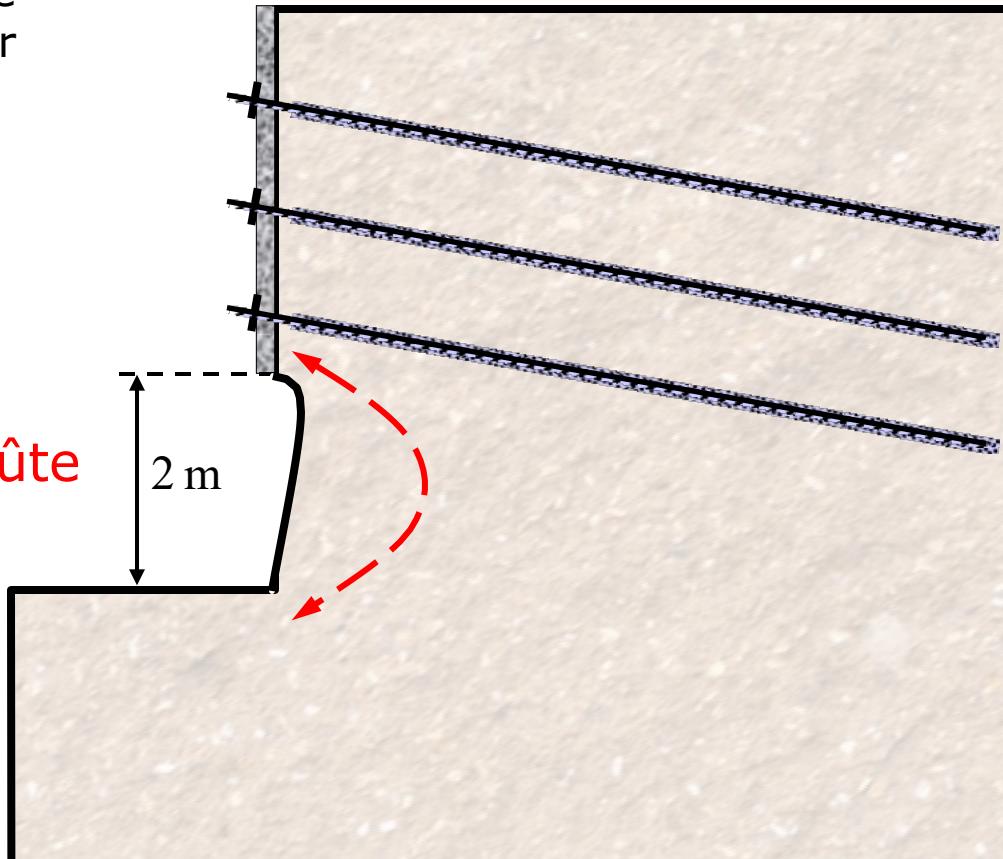
- Stabilité assurée par effet de voûte. Appuis sur les clous supérieurs et au niveau de la base de l'excavation



Rupture durant les phases d'excavation

par trop grande hauteur d'excavation continue

- Il existe une hauteur critique de terrassement à ne pas dépasser faute de quoi l'effet de voûte est détruit



- La hauteur critique est fonction de la nature du sol (en général max. 2 m). Seule l'expérience permet de la déterminer.

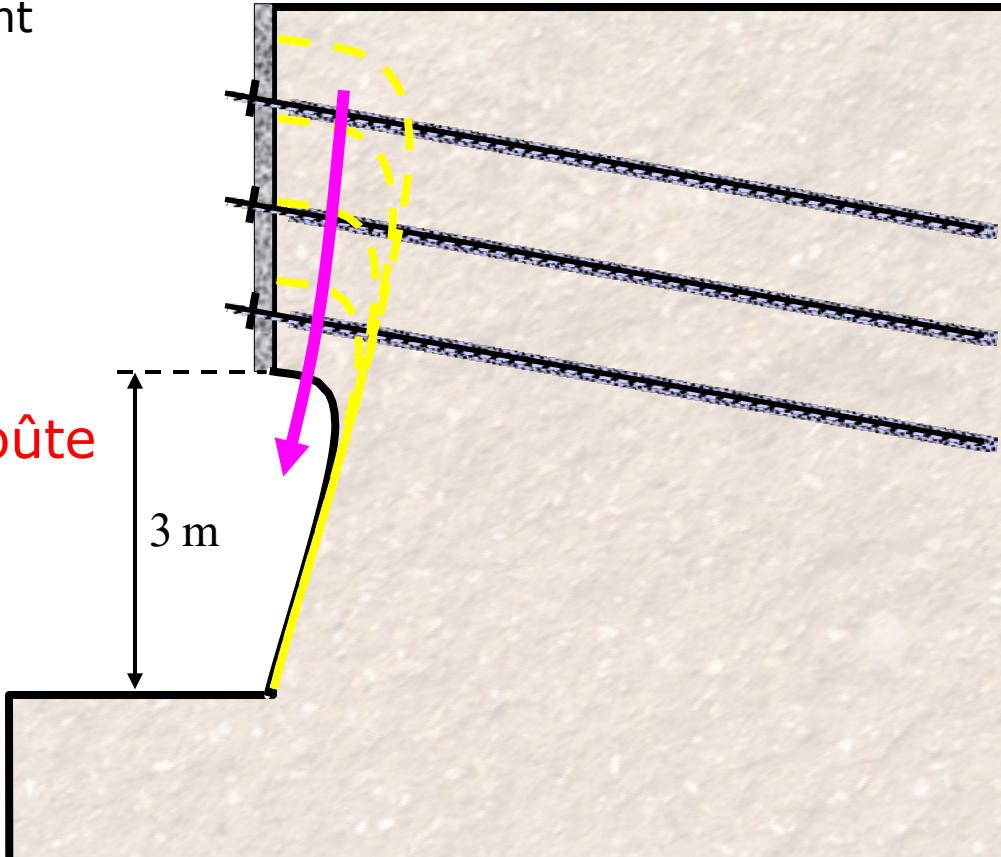
Rupture durant les phases d'excavation

par trop grande hauteur d'excavation continue

- Rupture assez brutale par instabilité locale, se propageant jusqu'au haut du mur par écoulement du sol derrière la paroi.

Effet de voûte
détruit

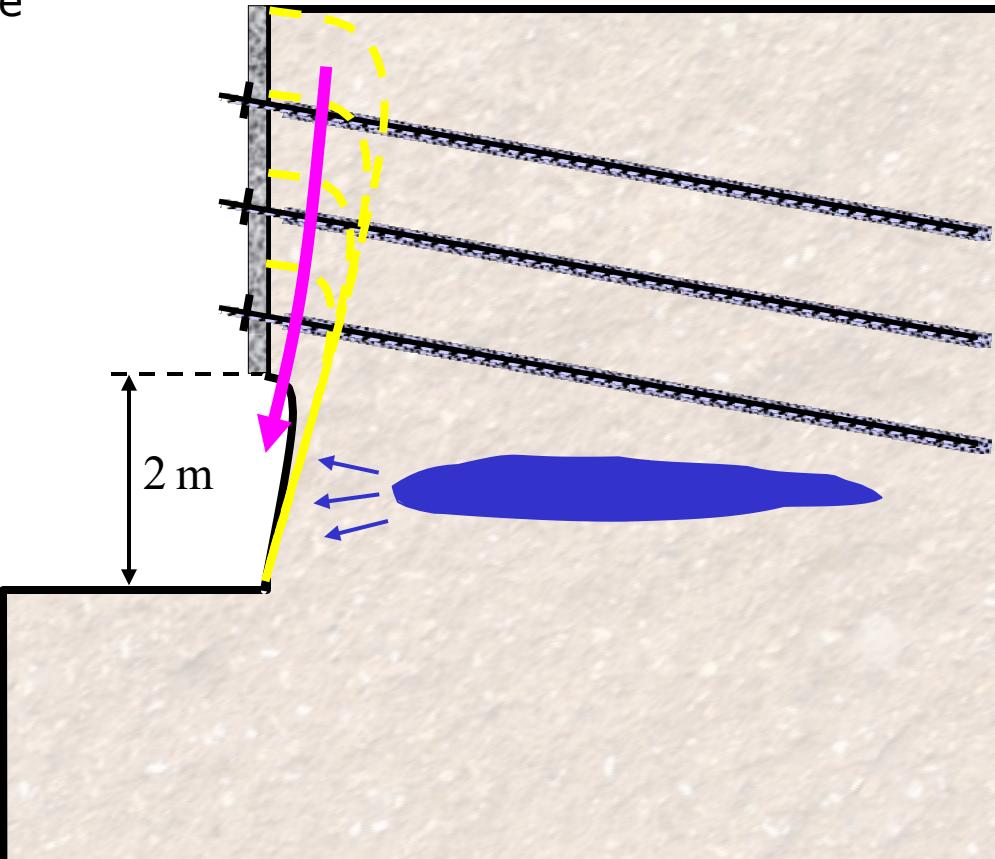
- Les clous peuvent résister à ce type de rupture s'ils sont souples, mais le parement descend, ce qui nécessite de le reprendre.



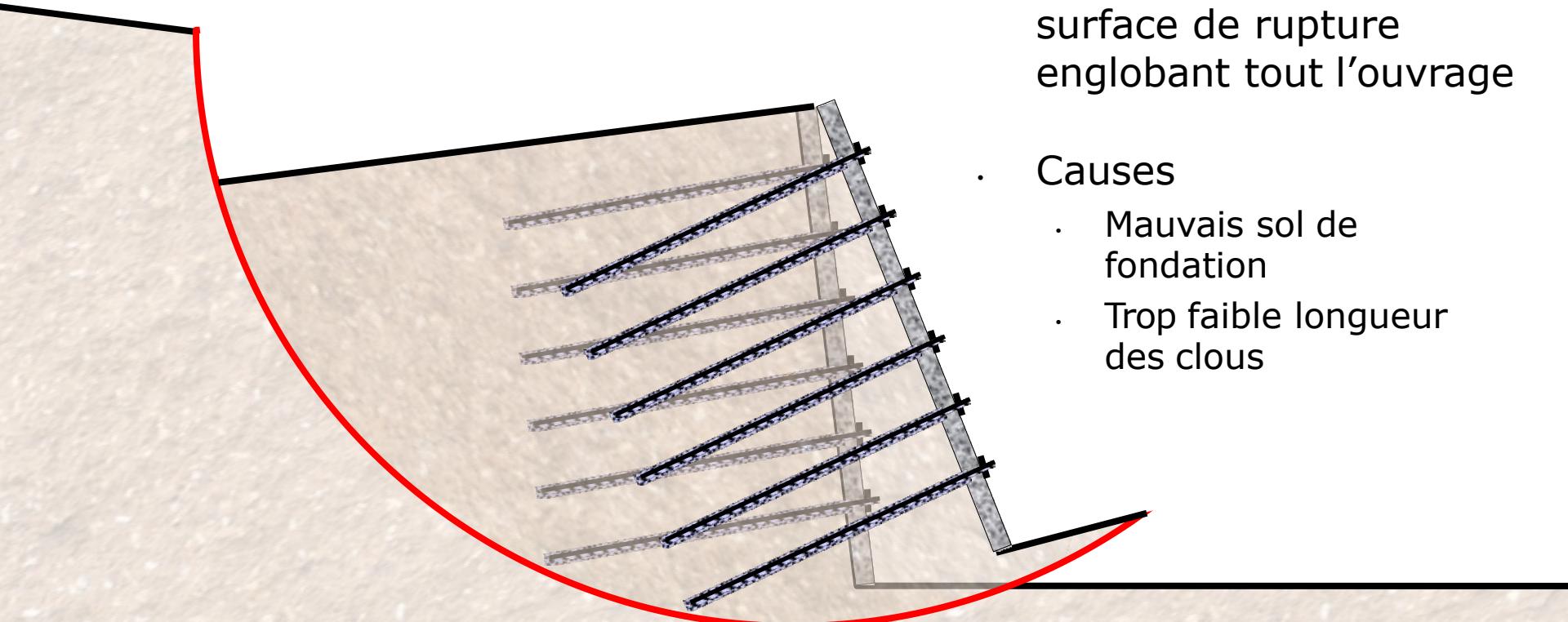
Rupture durant les phases d'excavation

par débourrage

- Type de rupture analogue au précédent pour la forme: rupture rapide et régressive avec écoulement du sol derrière la paroi
- Cause: existence d'une **poche d'eau** dans un sol hétérogène
(et/ou manque de drainage)
- Les pressions interstitielles et les forces d'écoulement déstabilisent le sol dans la zone terrassée.

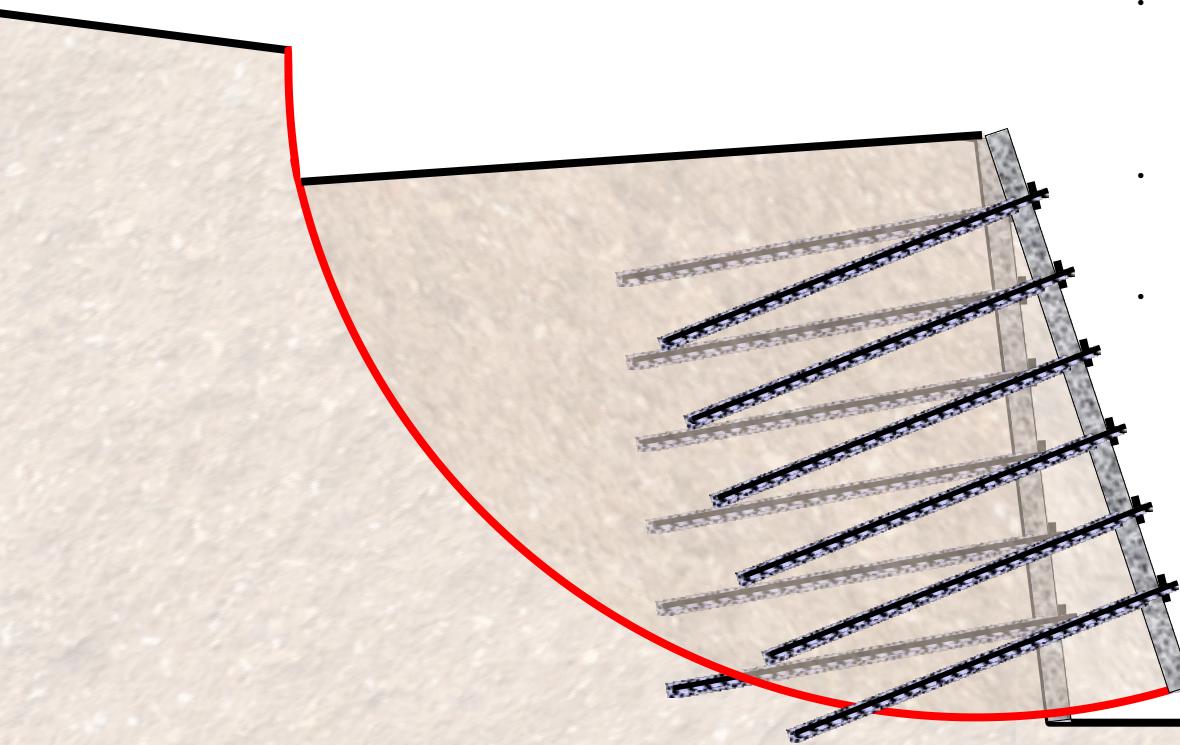


Rupture externe



- Glissement le long d'une surface de rupture englobant tout l'ouvrage
- Causes
 - Mauvais sol de fondation
 - Trop faible longueur des clous

Rupture mixte



- Surface de glissement passant à l'intérieur et à l'extérieur de l'ouvrage
- Combinaison d'instabilités interne et externe
- Causes
 - Trop faible longueur des clous
 - Associée à un défaut de résistance des clous ou du frottement sol - clou

Etats de services

- Déplacements fortement lié au phasage des la construction

	Sols semi-rocheux	Sables	Argiles
$\delta_v \approx \delta_h$	$H / 1'000$	$2H / 1'000$	$4H / 1'000$
κ	0,8	1,25	1,5

où κ permet de déterminer la longueur λ sur laquelle les déformations s'amortissent :

$$\lambda = H (1 - \tan \eta) \kappa \quad (\eta: \text{fruit du parement})$$

- $\delta_o \sim 4H/10'000 - 5H/10'000$
variant inversement à L/H

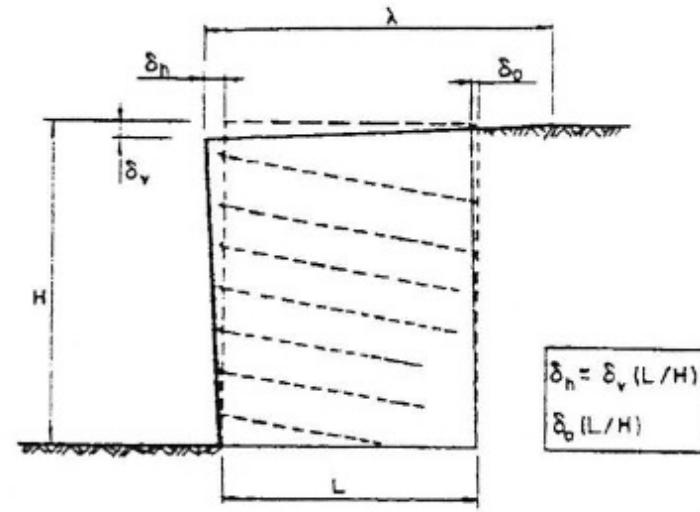
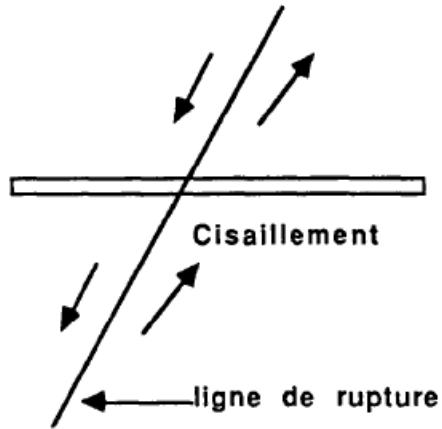
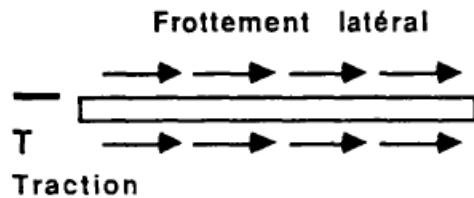


Fig. 12 : Déformation schématique d'un mur en sol cloué [Clouterre, 1991]

MÉTHODES DE CALCUL DES PAROIS CLOUÉES

Interactions sol-clou



Frottement latéral

- Dépend de
 - Etat de surface du clou
 - Contrainte moyenne dans le sol au niveau du clou
 - Granularité du sol
 - Densité
 - Nature du scellement
- Importance de la dilatance “empêchée” (interactions entre clous)

Augmentation de la contrainte normale due à la dilatance empêchée autour d'une inclusion en traction [Plumelle, 1984]

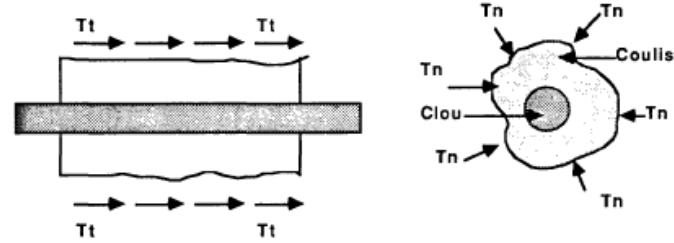
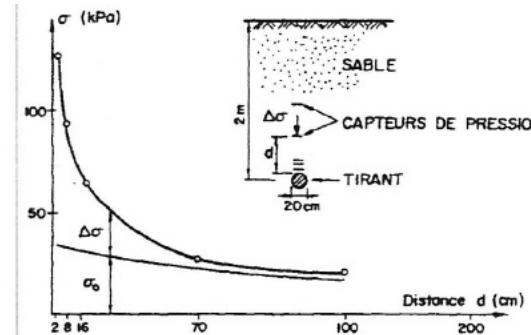


Figure 15 : L'effort normal T_n qui s'applique sur le coulis lorsque le clou est soumis à une traction, est différent de γz (contrainte initiale).

.. Donc au final q_s obtenu par expériences...
correlations avec des mesures in-situ
(pressiomètre...)

Flexion/Cisaillement

Le renforcement

- Modifie le champ de déformation du sol proche des inclusions
- Perturbe le déplacement du sol dans la direction des inclusions
- L'effet dépend de l'angle entre la surface de rupture et la direction du renforcement (un maximum existe)

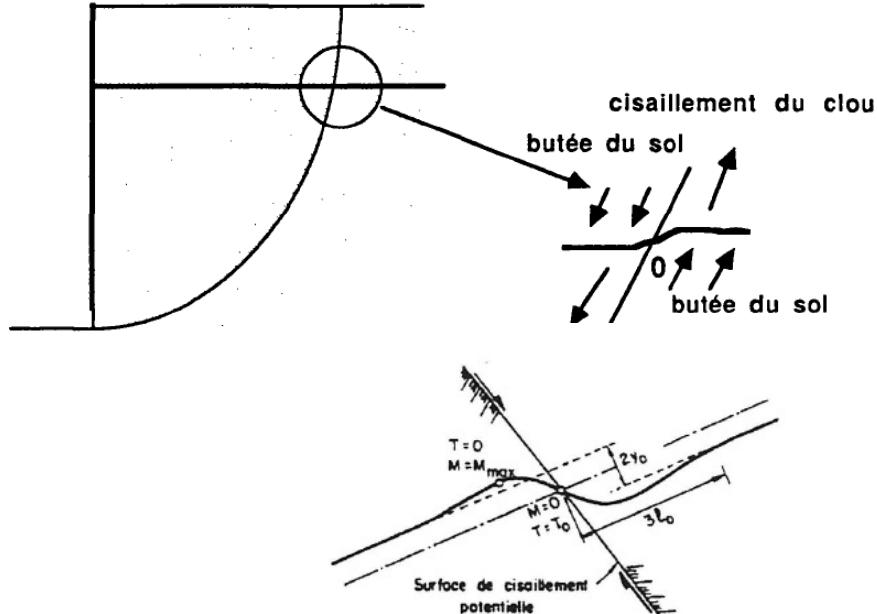
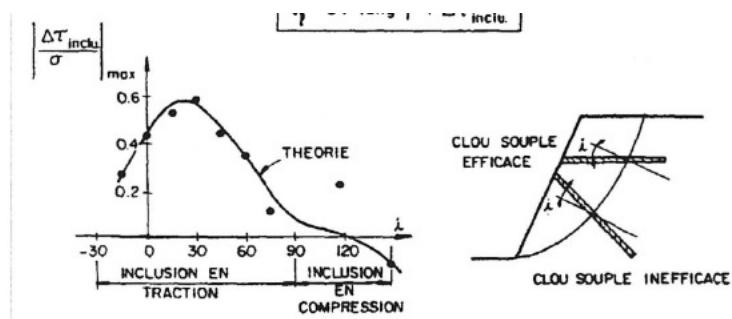
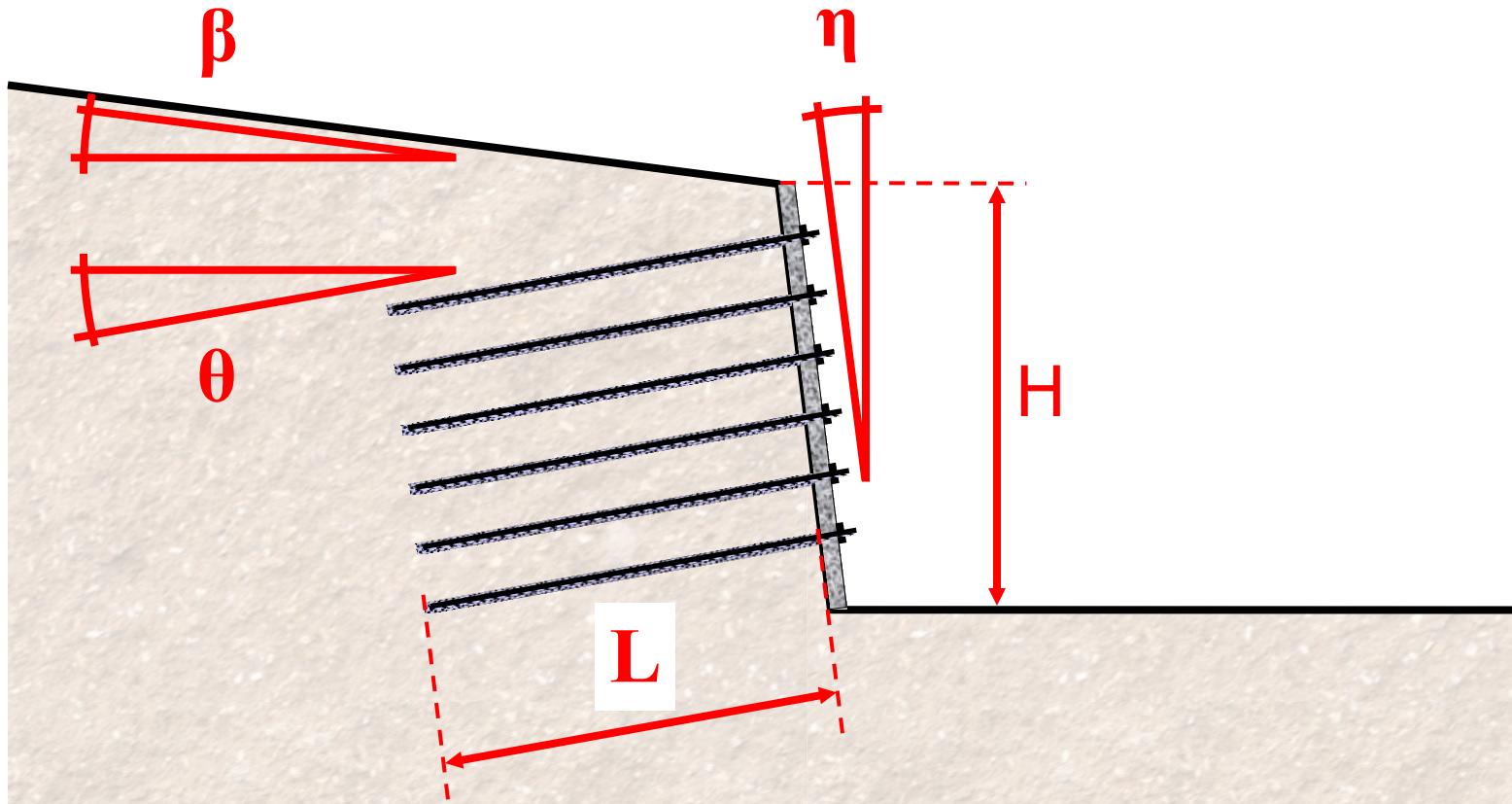


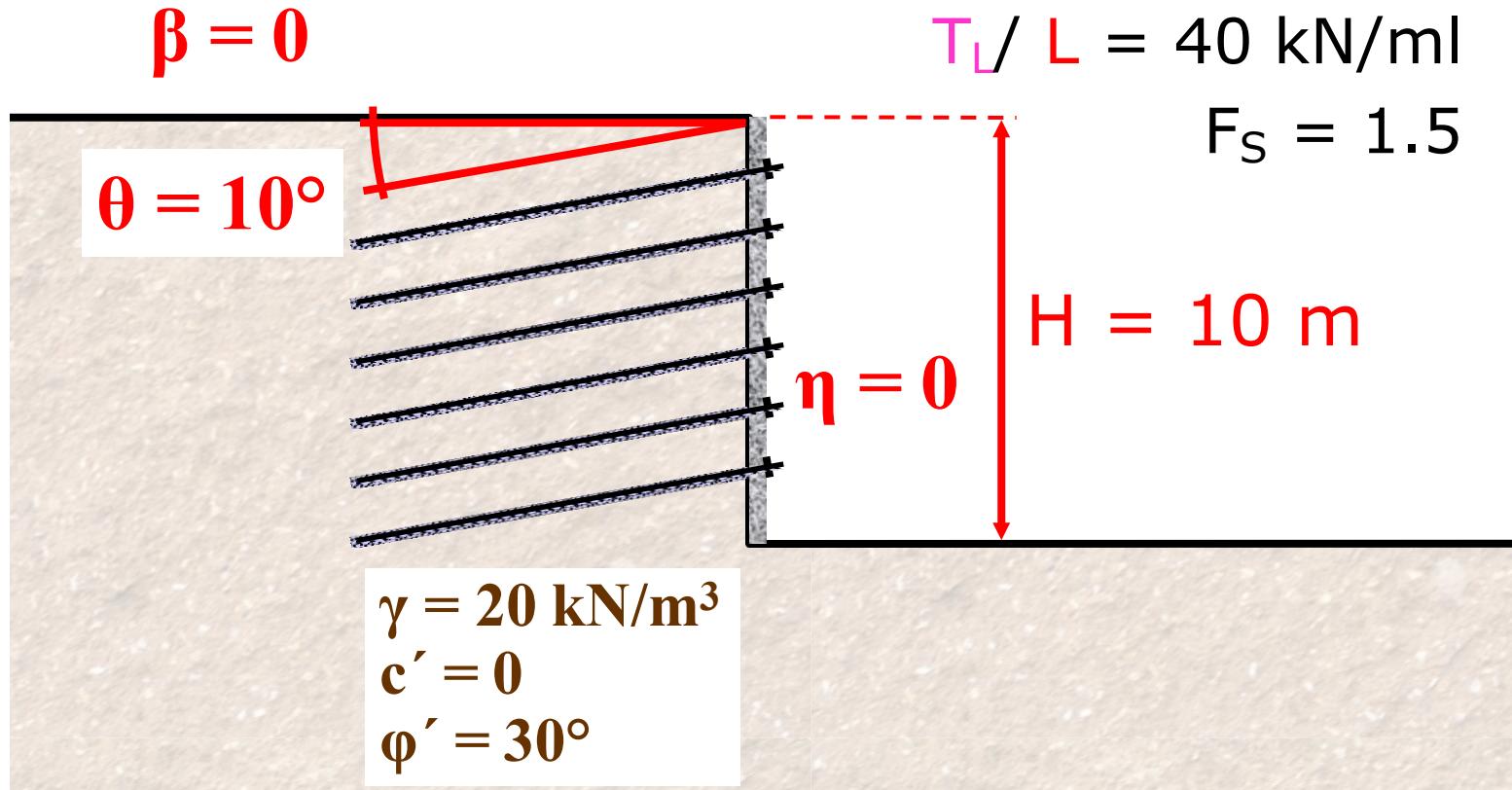
Fig. 6b : Clous sollicités à la flexion et au cisaillement – Analogie avec un pieu sollicité horizontalement en tête [Schlosser, 1982]

Prédimensionnement **(avant projet & études de variantes)**

Paramètres géométriques



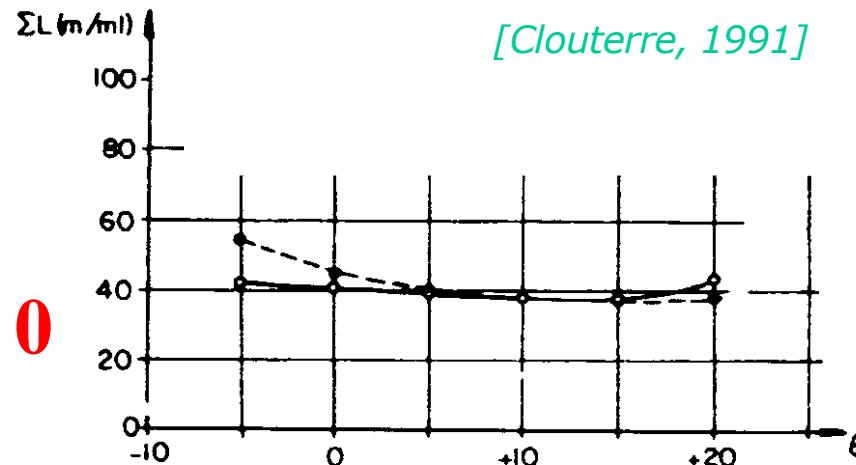
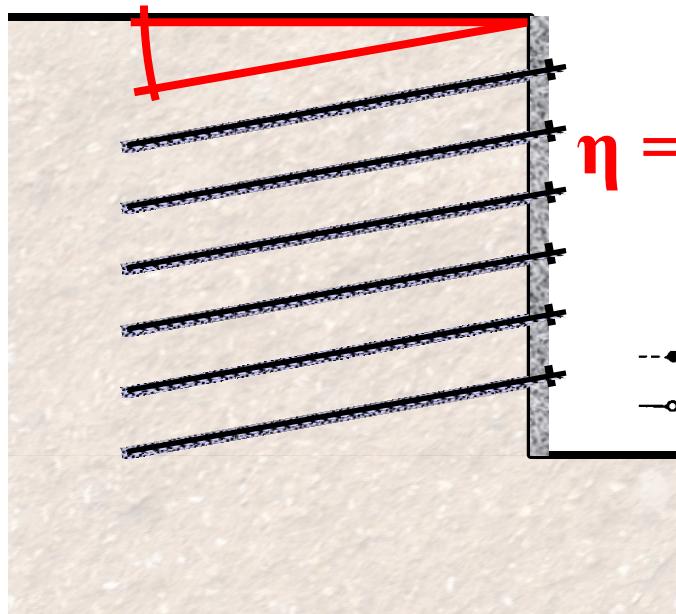
Étude de l'influence des paramètres géométriques



Faible influence de l'inclinaison θ des clous (dans une gamme de variation pratique)

$$\beta = 0$$

θ variable

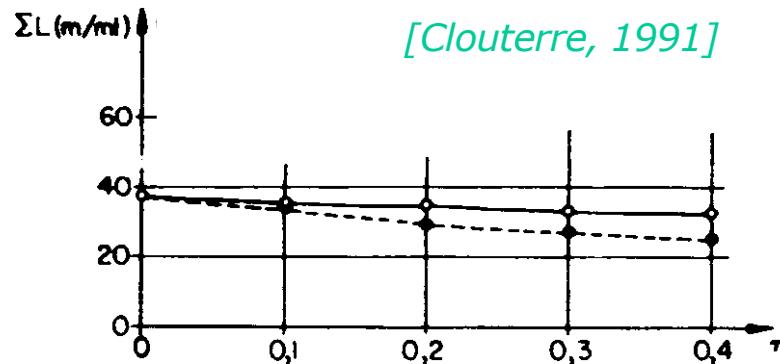
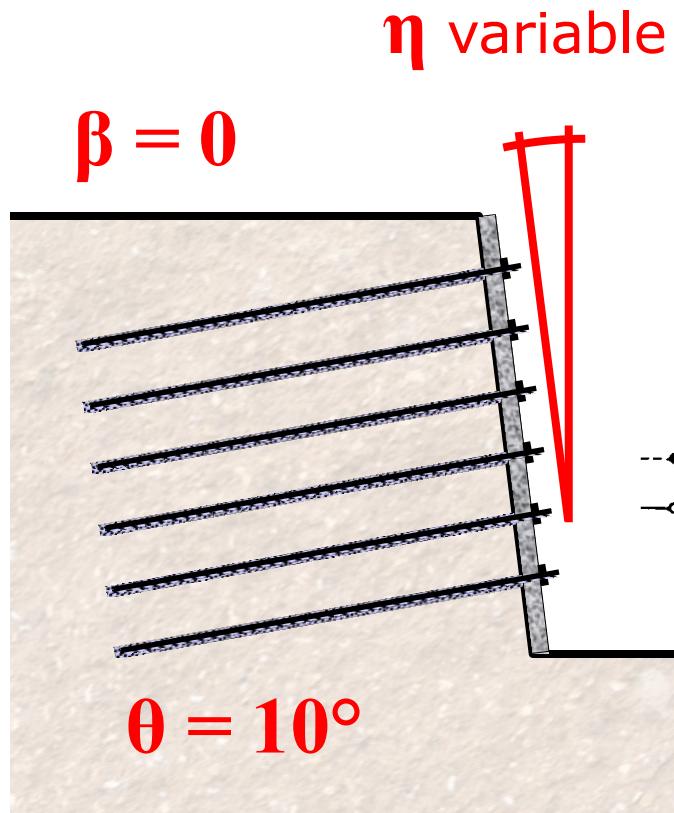


---●--- Calcul avec longueur des clous constante (S_v variable, $L = 9,15\text{m}$)

—○— Calcul avec espacement horizontal S_h constant (L variable, $S_h = 1,5\text{m}$)

En prédimensionnement, influence
généralement négligée pour $0 \leq \theta \leq 20^\circ$

Influence favorable du fruit η de la paroi

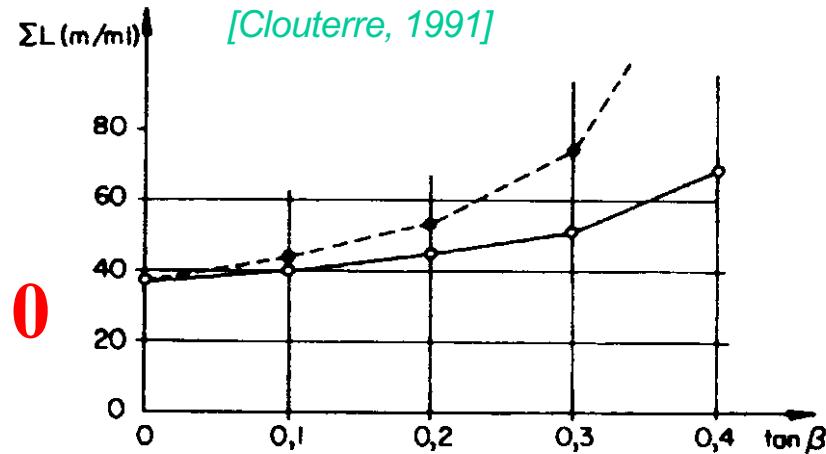
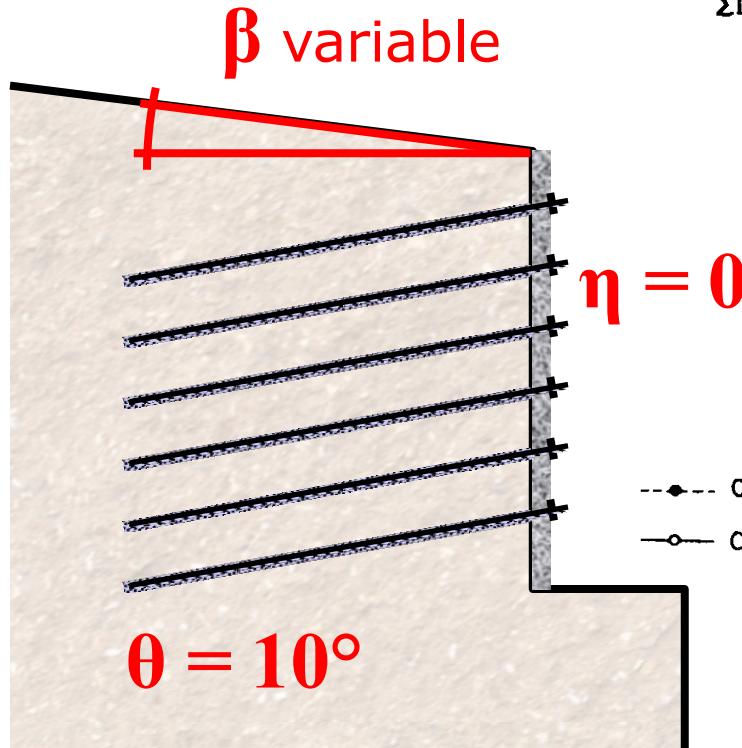


---●--- Calcul avec longueur des clous constante (S_v variable, $L = 9,15\text{m}$)
—○— Calcul avec espace horizontal S_h constant (L variable, $S_h = 1,5\text{m}$)

Pour $\tan \eta$ passant de 0 à 0,2

gain de 10% sur ΣL_{si} $c' = 0 \text{ kPa}$,
gain de 30% sur ΣL_{si} $c' = 20 \text{ kPa}$

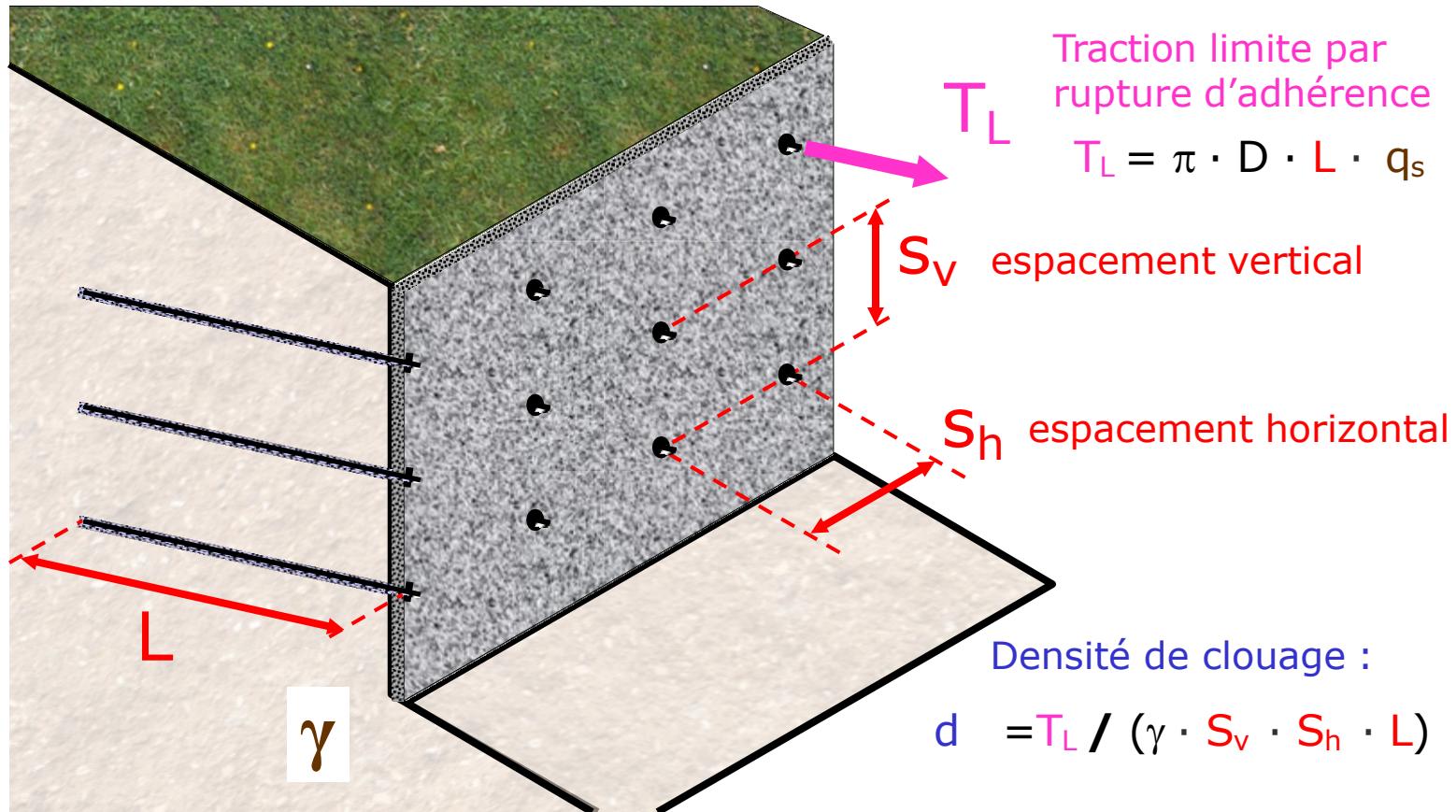
Influence importante de la pente β du terrain



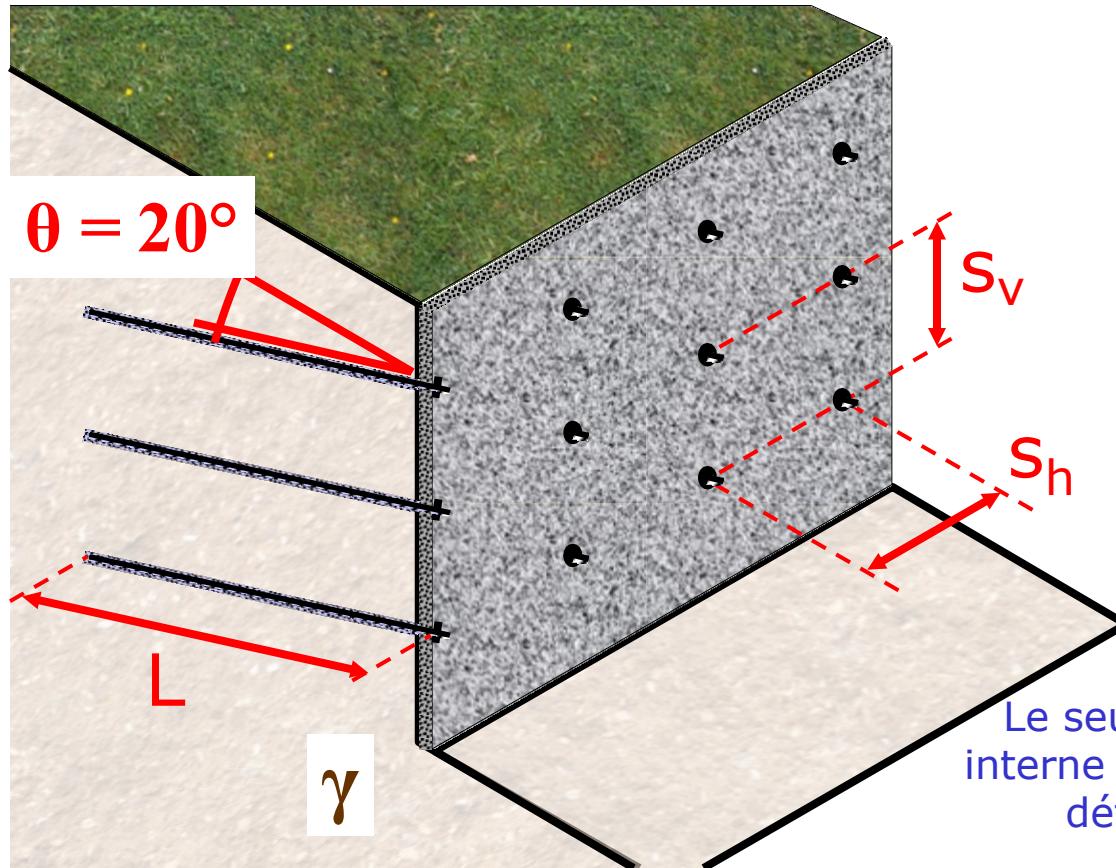
- Calcul avec longueur des clous constante (S_v variable, $L = 9,15\text{m}$)
- Calcul avec espacement horizontal S_h constant (L variable, $S_h = 1,5\text{m}$)

si $\tan \beta = 1/5$ $\Sigma L \times 1,2$
si $\tan \beta = 2/5$ $\Sigma L \times 1,55$

Paramètre densité de clouage



Hypothèses des abaques de Gigan



Sol homogène

- $\eta = 0$
- $\beta = 0$
- $\theta = 20^\circ$

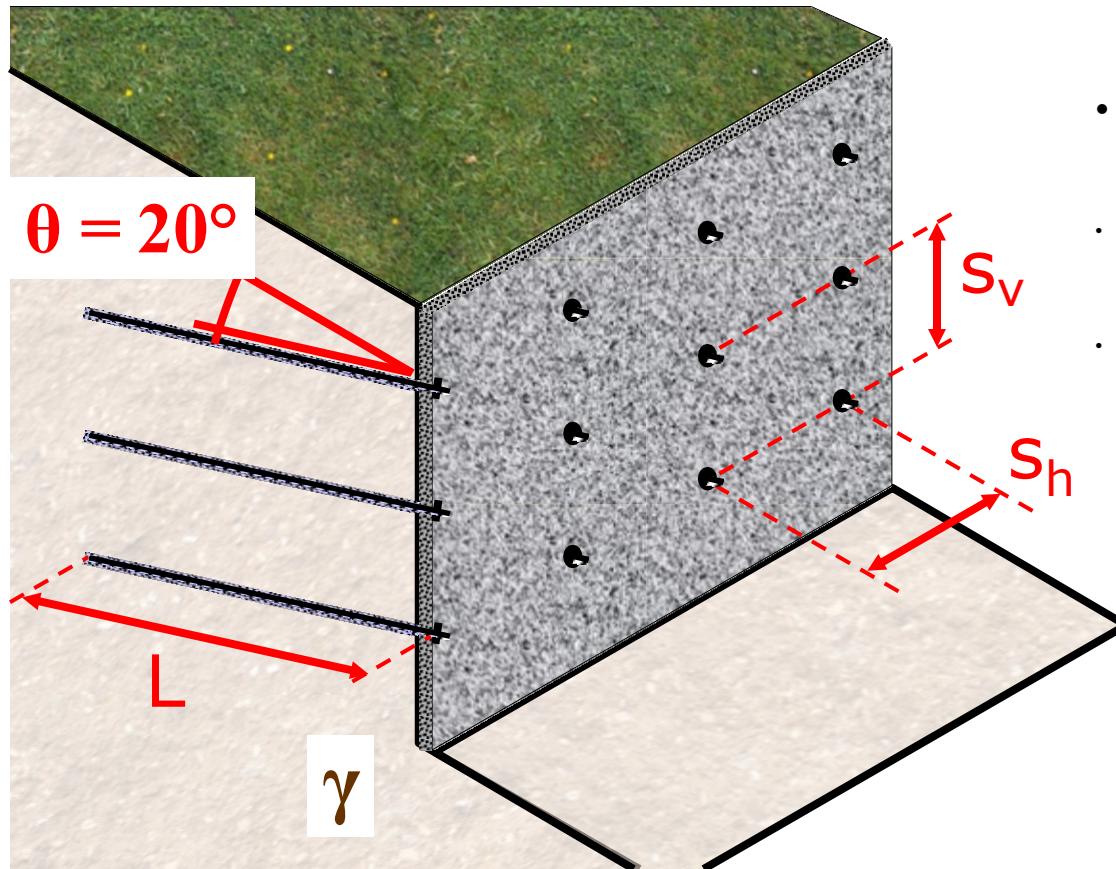
clous identiques

L S_v S_h constants

- Clous sollicités uniquement en traction
- $T_i > T_L$

Le seul critère de rupture interne considéré est celui de défaut d'adhérence

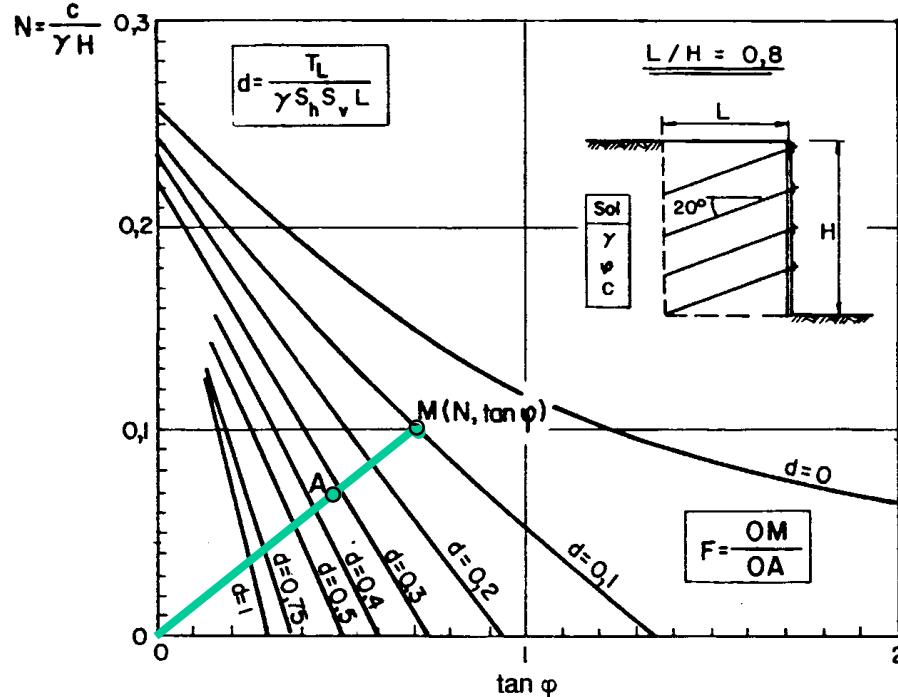
Élaboration des abaques de Gigan



- Méthode classique des tranches
- Surfaces de rupture circulaires
- Vérification de la stabilité interne (rupture par défaut d'adhérence) et de la stabilité externe

Abaques de prédimensionnement de Gigan – exemple d'utilisation

[Clouterre, 1991]



$$d = T_L / (\gamma \cdot S_v \cdot S_h \cdot L)$$

$$T_L = \pi \cdot D \cdot L \cdot q_s$$

Soit:

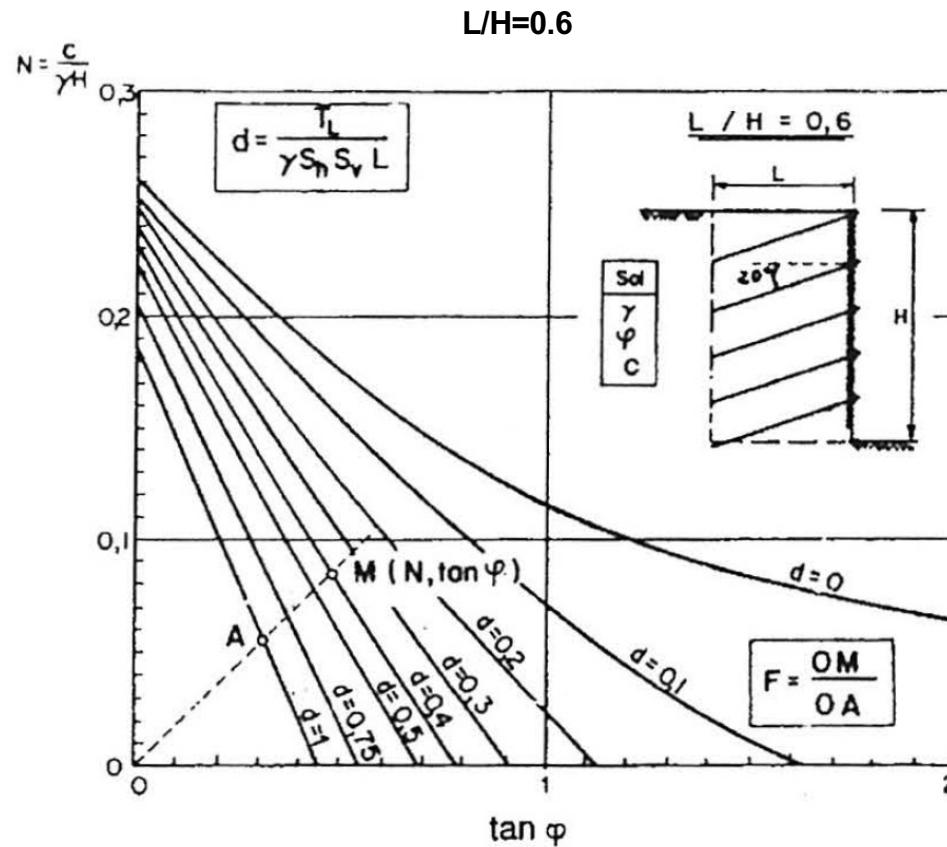
- Sol avec γ c' ϕ'
- Paroi de hauteur H

On choisit $L \rightarrow L/H$

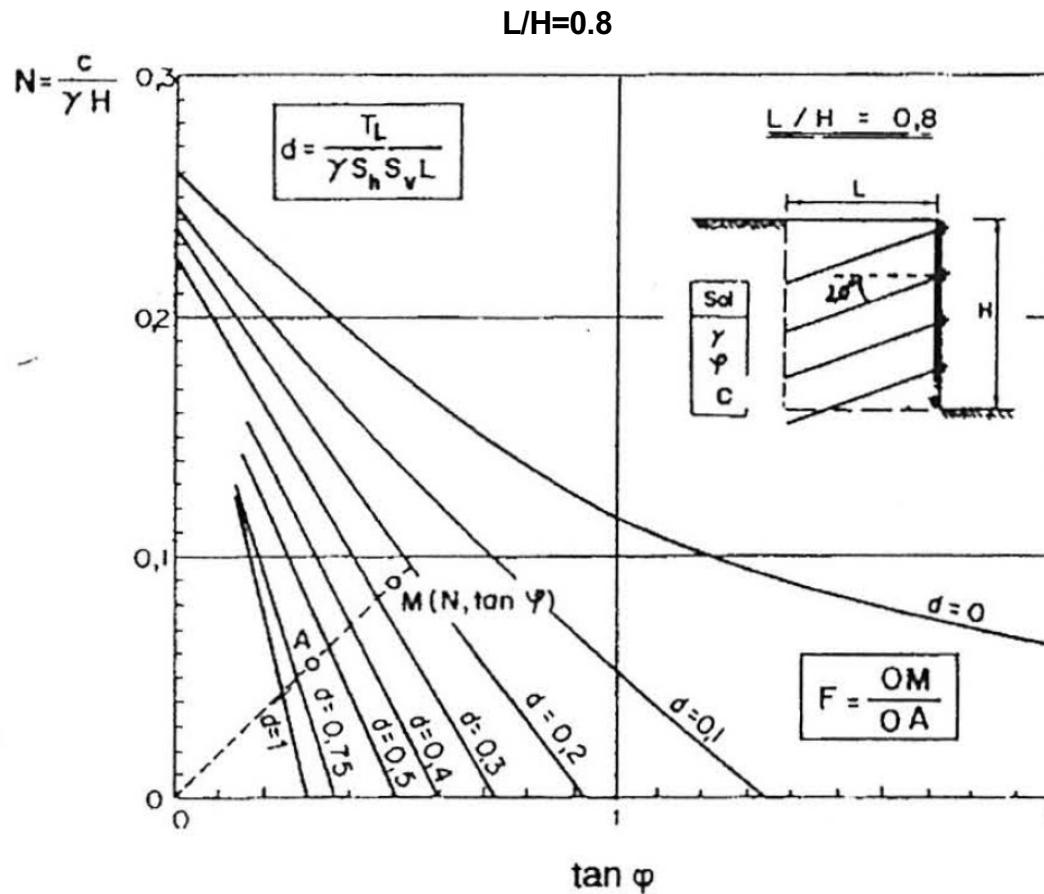
On calcule:

- $M (\tan \phi'; N = c'/\gamma H)$
- $OA = OM / F_s$ car:
 - $\tau = \tau_{\max} / F_s$
 - $\tau = (c' + \sigma' \tan \phi') / F_s$
- densité de clouage d
- Si T_L connu $\rightarrow S_v$ & S_h
- Si S_v & S_h fixés $\rightarrow T_L$

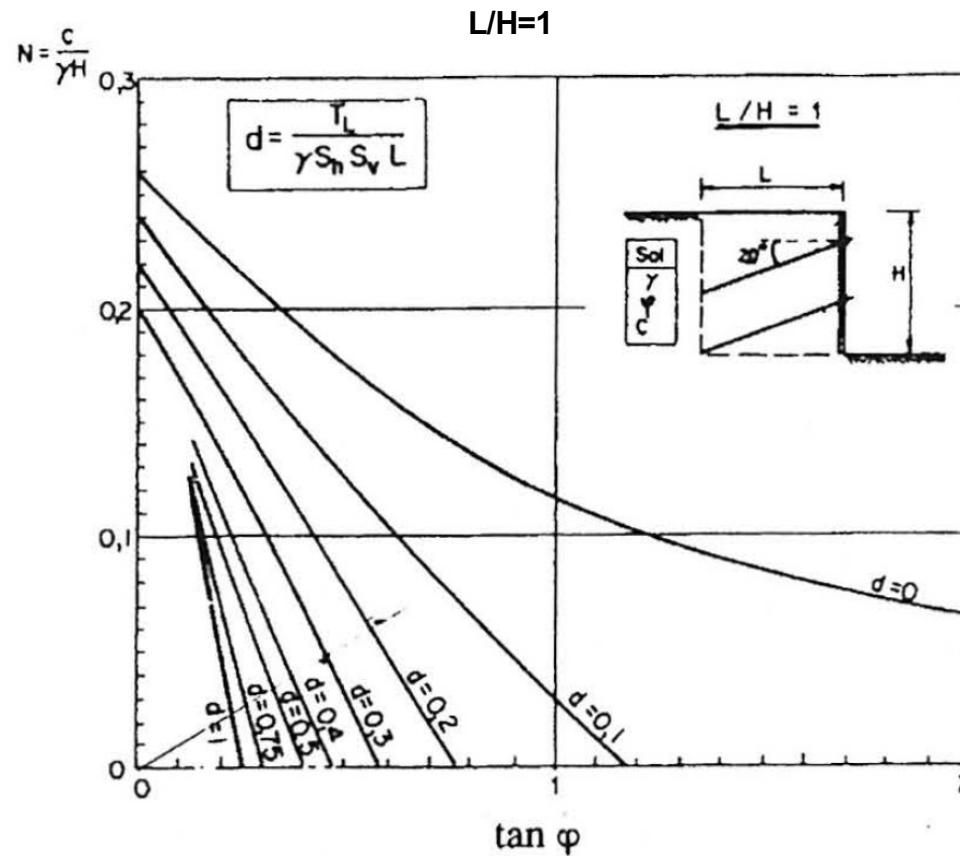
Abaques de prédimensionnement de Gigan



Abaques de prédimensionnement de Gigan



Abaques de prédimensionnement de Gigan



Abaques de prédimensionnement de Gigan

