



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement



Murs de soutènement

Fonctionnement des murs, écrans et parois

Gilles VALDEYRON
CEREMA – Département Laboratoire de
Bordeaux

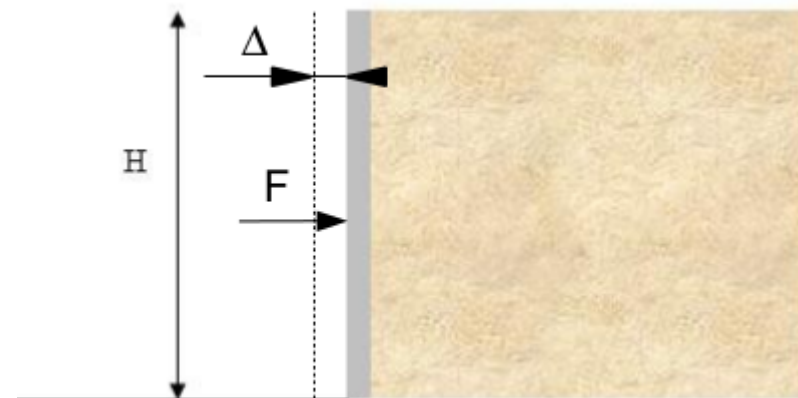
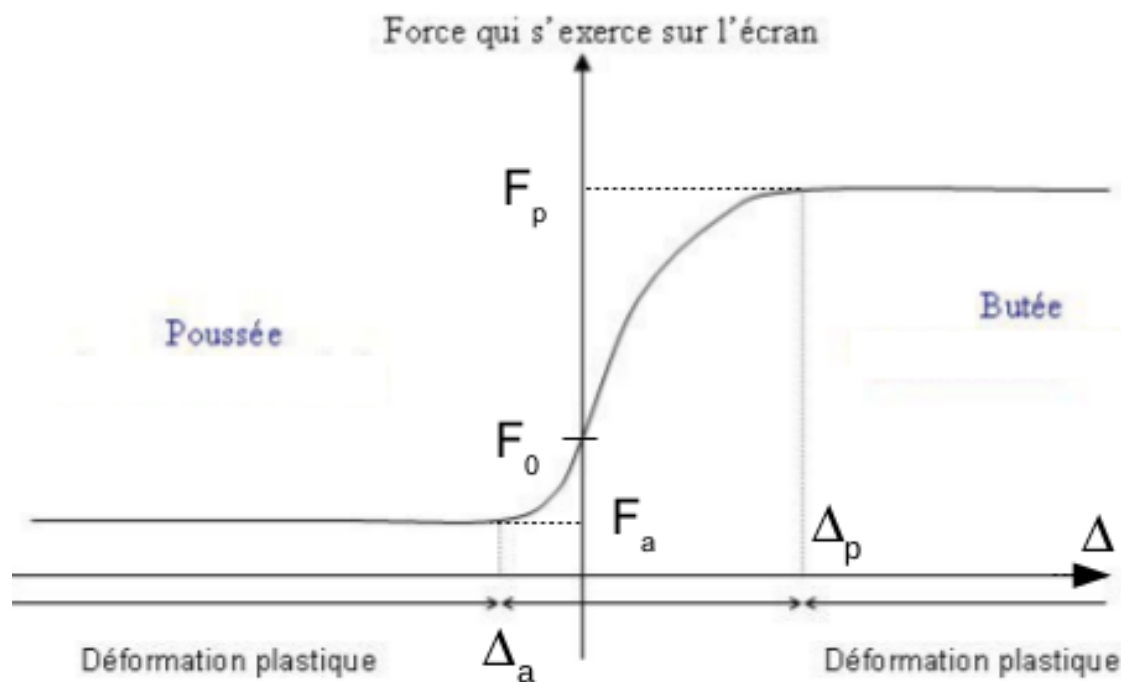


SOMMAIRE

- Un peu de théorie
- Les murs poids (murs maçonnés, murs en L...)
- Les murs en sols renforcés (terre armée...)
- Les écrans de soutènement (berlinoise, palplanches...)
- Les massifs cloués

La poussée, la butée – c'est quoi ?

au tout début... une expérience de l'esprit ! Imaginons le déplacement horizontal Δ d'un écran infiniment rigide contre un massif de sol et mesurons F la force qui permet l'équilibre de l'ensemble...



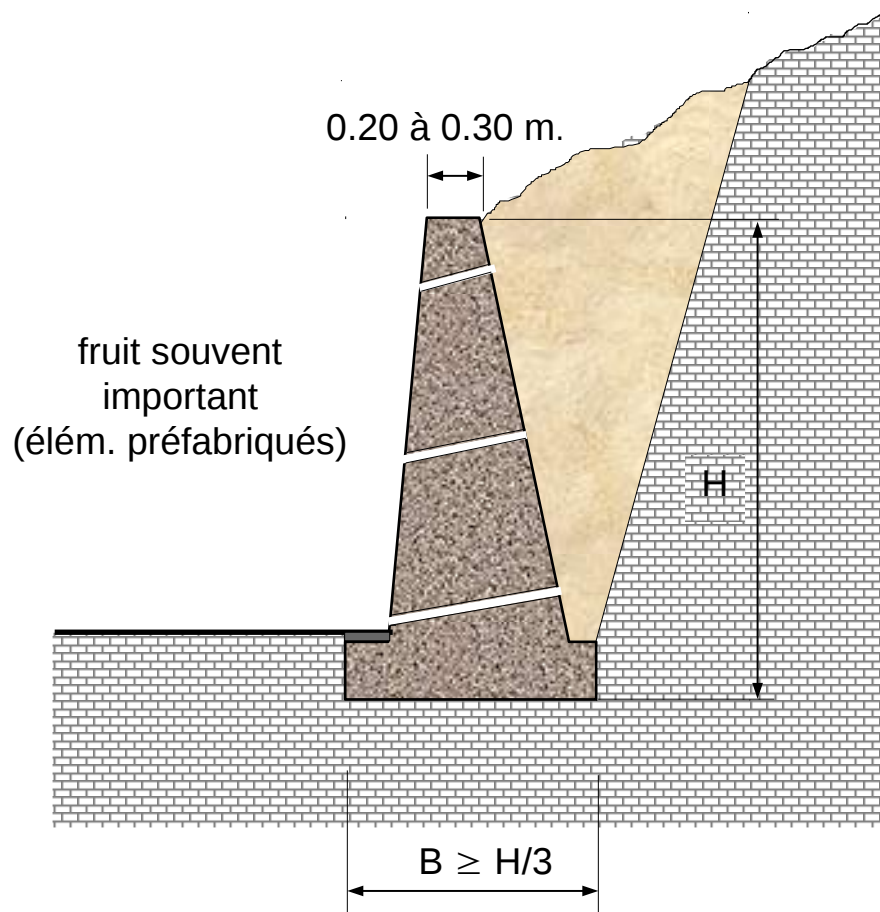
$$F_p = 3 \text{ à } 4 F_0$$

$$F_a = 0,5 F_0$$

$$\Delta_a = H/1000$$

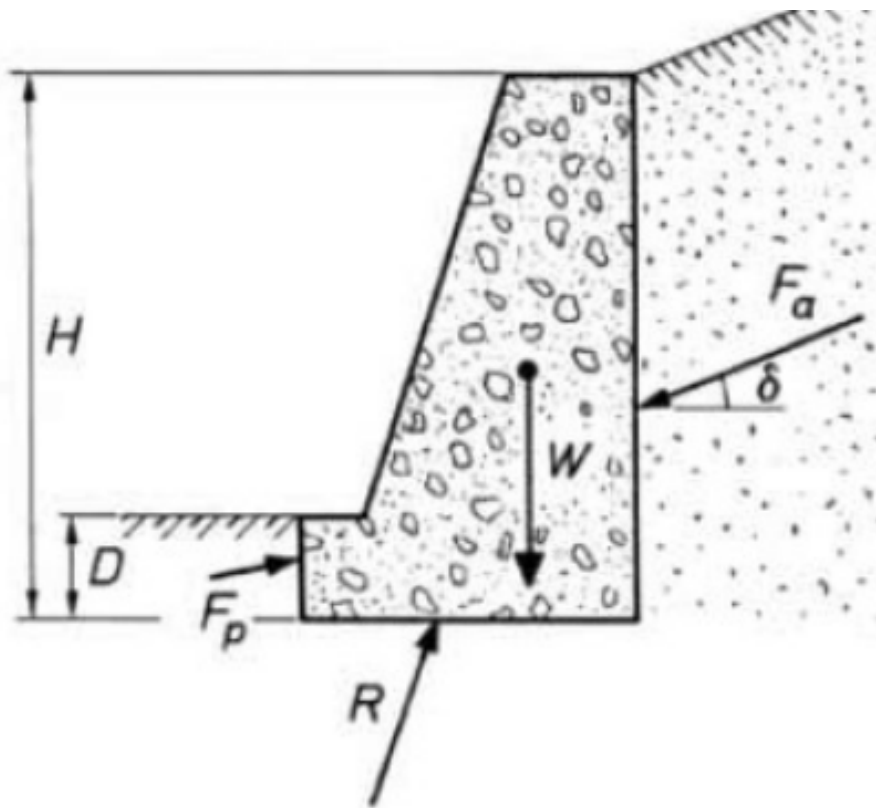
$$\Delta_p = H/100$$

Murs poids – domaine d'emploi



- ouvrages en déblai ou en remblai, mur de culée
- hauteur maximale importante (>10 m)
- en général limitée pour des raisons de coût et emprises
- nécessite un bon sol de fondation (ou moyen pour les gabions)
- adapté à la présence d'eau sous réserve de disposer d'un drainage spécifique et entretenu...

Murs poids – fonctionnement



bilan forces : poids propre du mur (W)

poussée (F_a) et butée (F_p) des terres

réaction du sol sous la base (R)

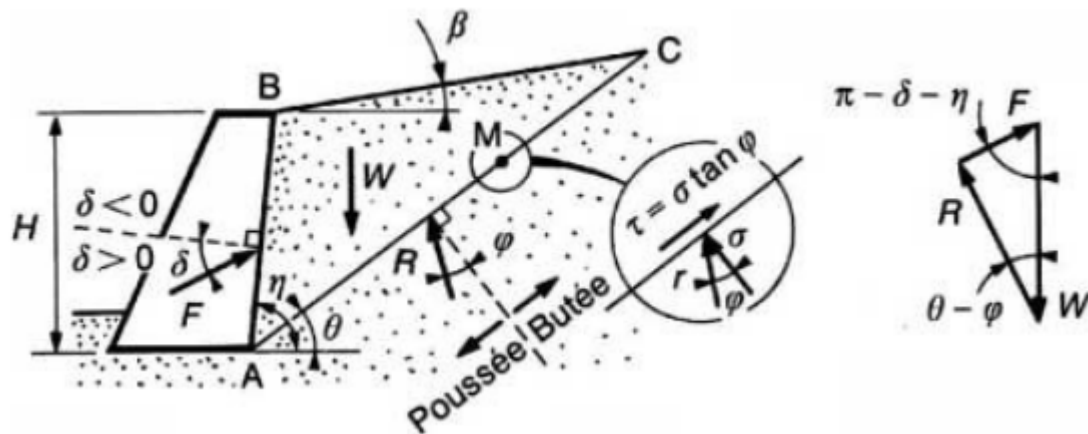
Coefficient de sécurité F :

$F = \text{effort résistant max} / \text{effort moteur}$

on vise usuellement $F > 1,5$ à 2

stratégie de justification : calcul de F_a , F_p et W puis détermination de R qui équilibre le système de forces en résultante et moment... puis vérification des différents scénarios...

Murs poids – le coin de Coulomb



$$F_a = \frac{1}{2} K_a \times \gamma \times H^2$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\eta - \varphi)}{\sin^2(\eta) \sin(\eta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\eta + \delta) \sin(\eta - \beta)}} \right]^2}$$

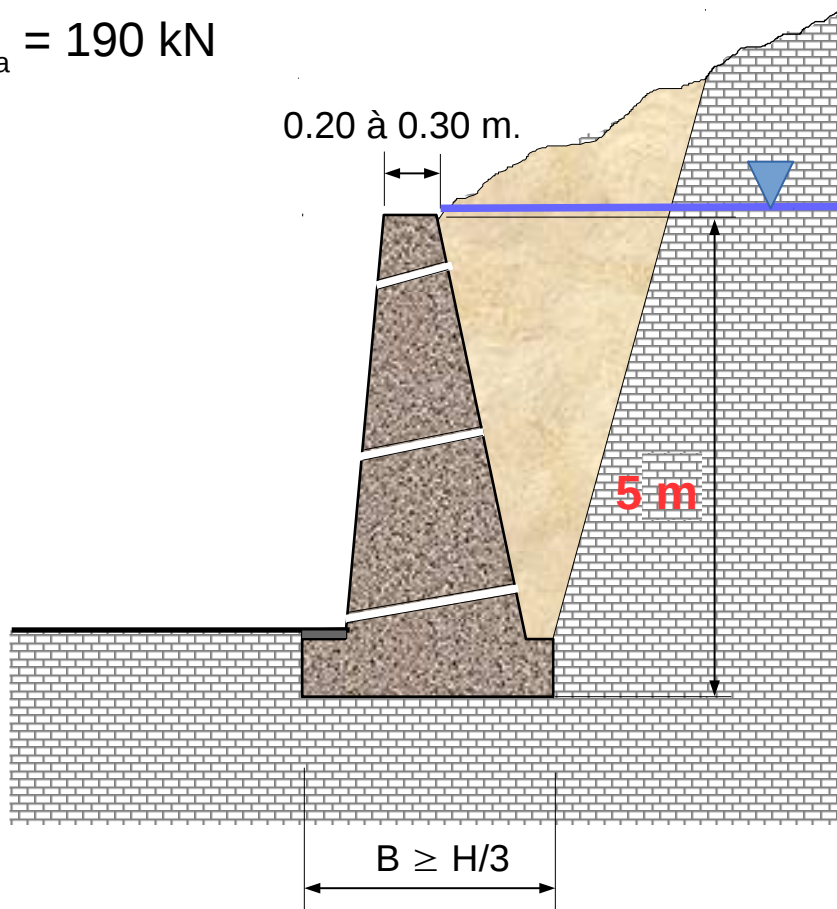
pour $\beta = 0$: $0,17 < K_a < 0,33$

et $K_p = 1 / K_a$

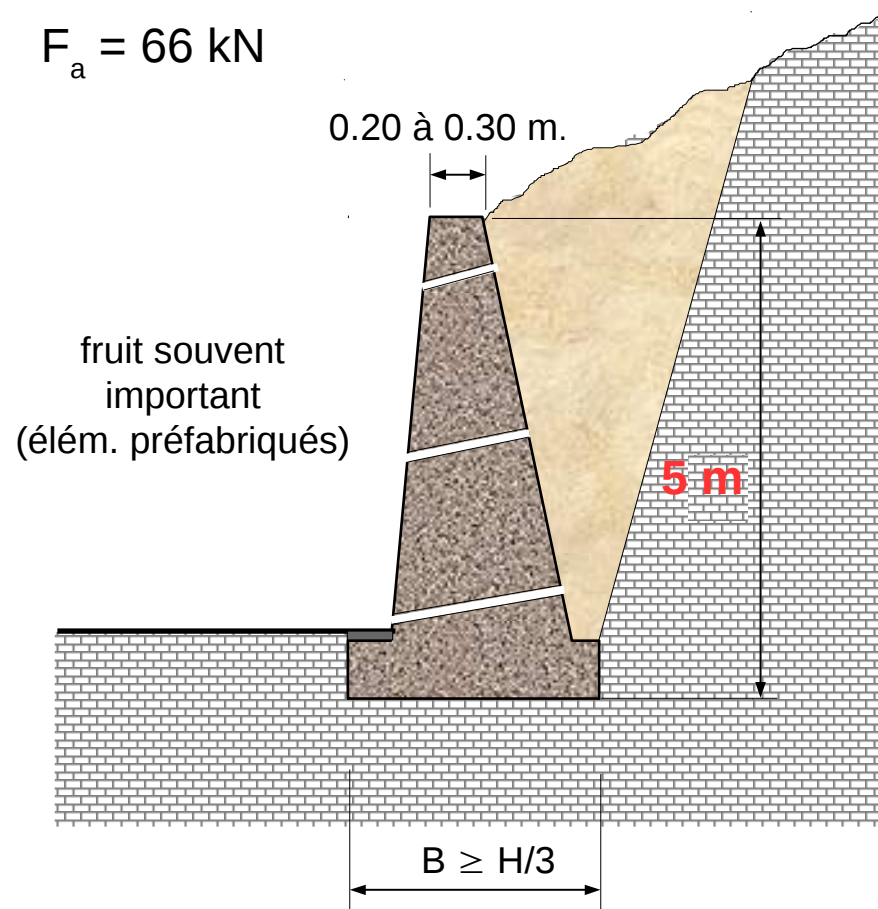
Le « coefficient de poussée » de l'eau est égale à 1...

Murs poids – Influence de l'eau

$$F_a = 190 \text{ kN}$$

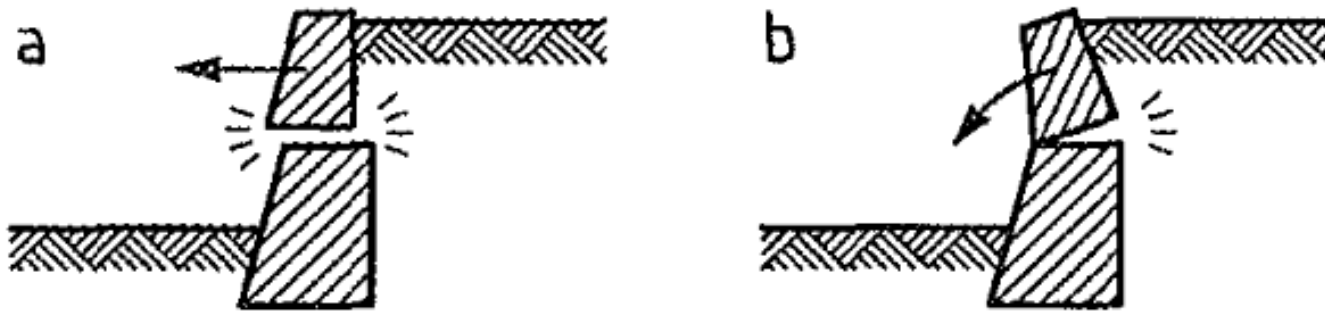


$$F_a = 66 \text{ kN}$$



Murs poids – justifications à réaliser

- stabilité interne

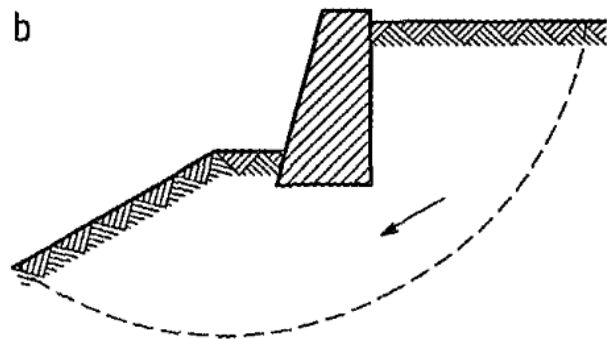


calculs réalisés (en général) par un ouvragiste

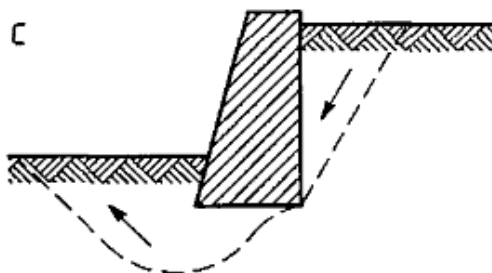
Murs poids – justifications à réaliser

- stabilité externe

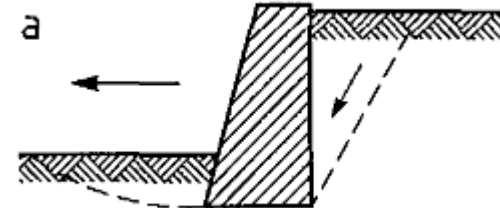
stabilité d'ensemble



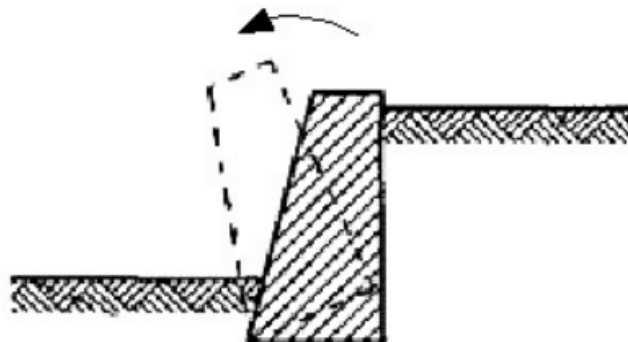
poinçonnement



glissement

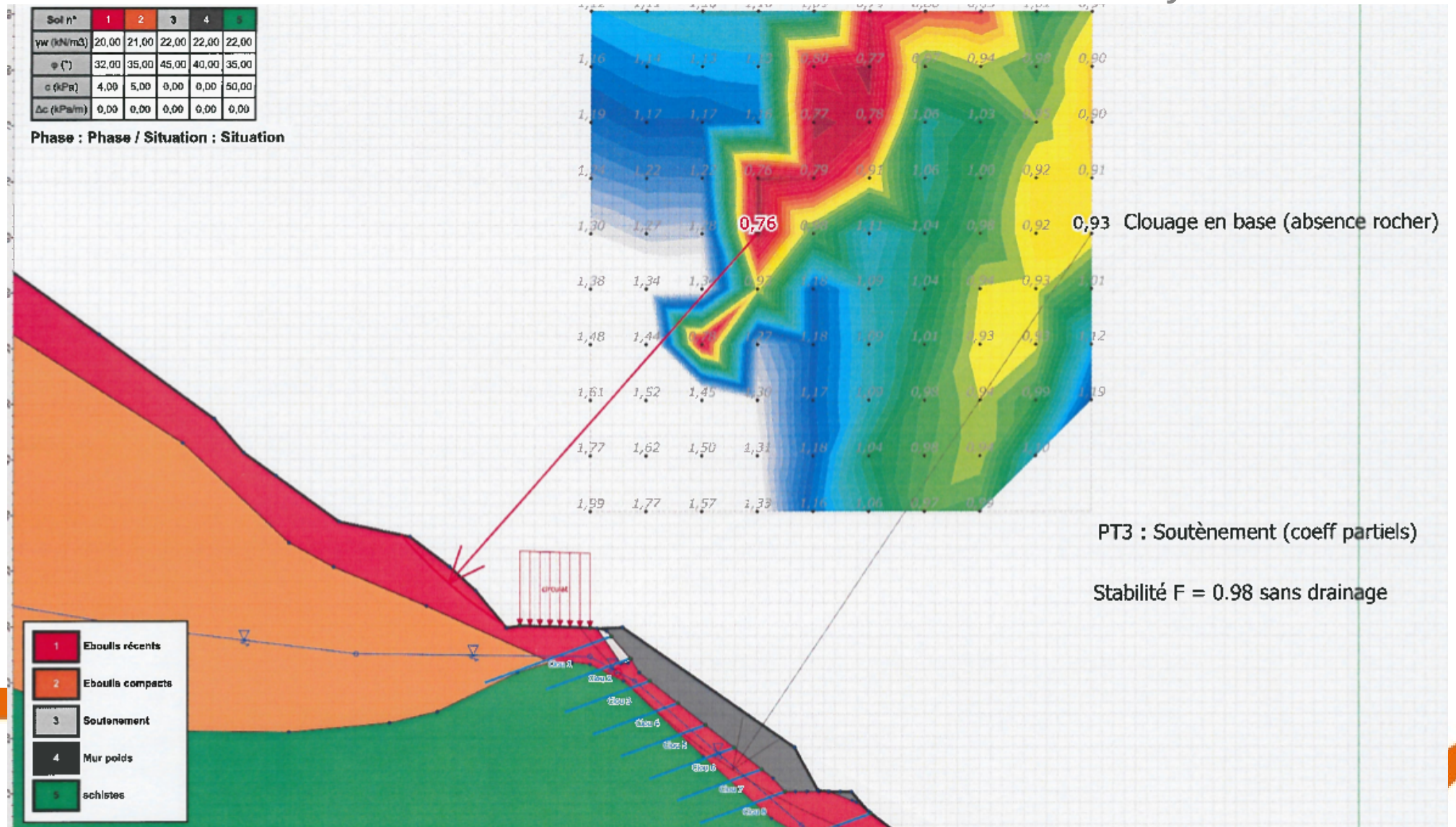


renversement



Murs poids – exemple de vérification

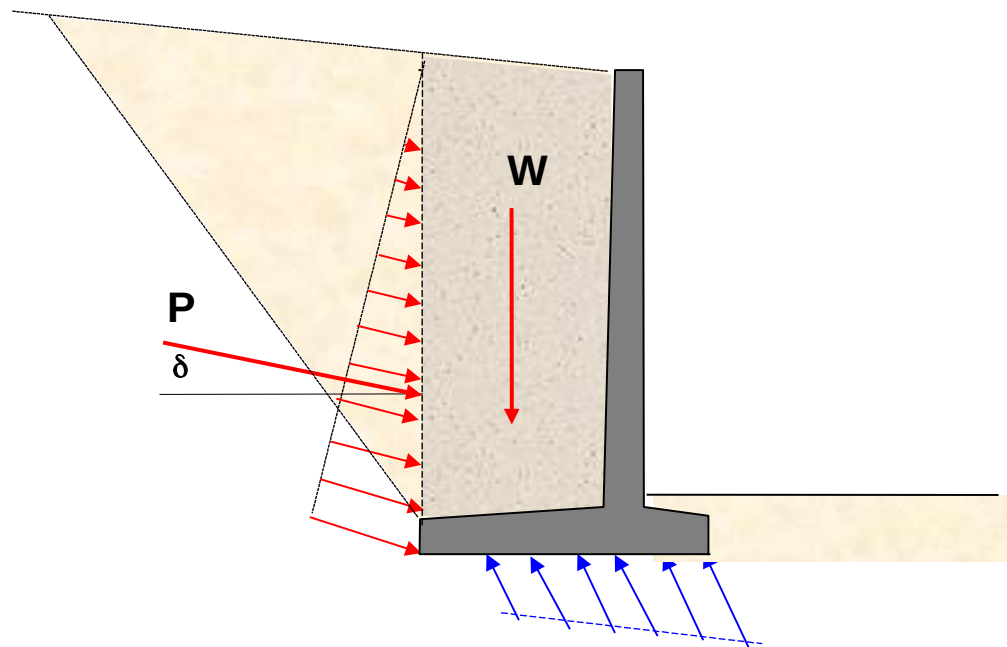
stabilité d'ensemble – mur sur versant – RN134 : Le Larry



Murs en béton armé – fonctionnement

Fonctionnement identique au mur poids, en considérant :

- un coin de sol solidaire du mur
- un parement fictif vertical





Murs en béton armé (mur en L)

Domaine d'emploi :

- idem mur poids, mais :
- plus avantageux économiquement pour les hauteurs de 6 à 8 m
- s'accommode mal des tassements différentiels à la différence de certains murs poids (murs en gabions par ex.)

Murs en béton armé (mur en L)

Semelle B :

≈ 0.35 à $0.40 H$ (bon sol)

≈ 0.45 à $0.60 H$ (sol de qualité moyenne)

Patin $\approx B/2$ à $B/5$

e_{voile} :

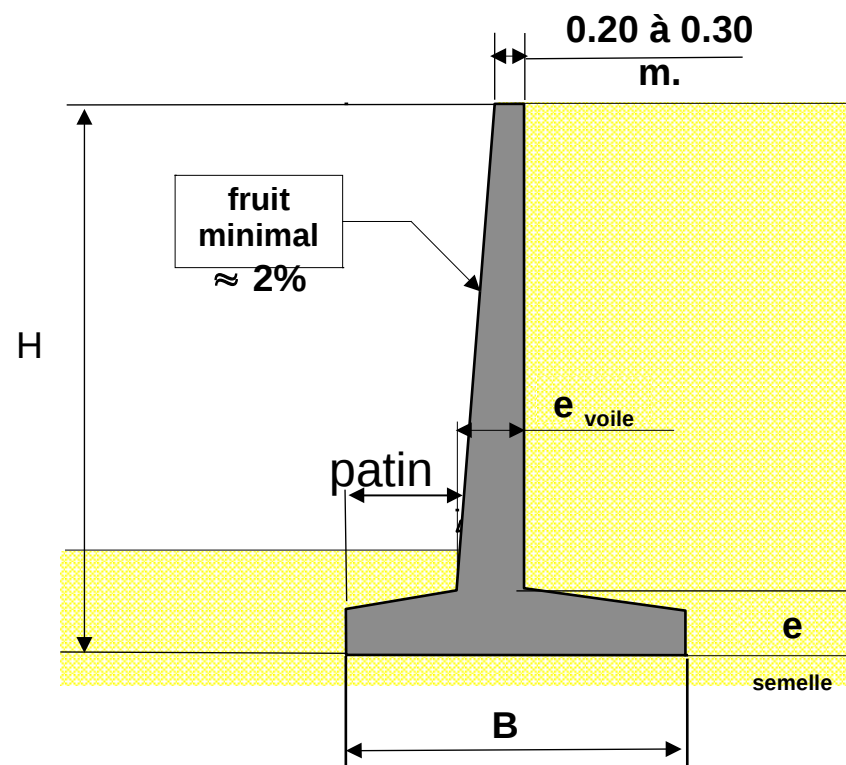
$\approx H/12$

pour H de l'ordre de 7 à 9 m.

$\approx H/15$

pour H de l'ordre de 3 à 4 m.

$e_{\text{semelle}} \approx e_{\text{voile}}$



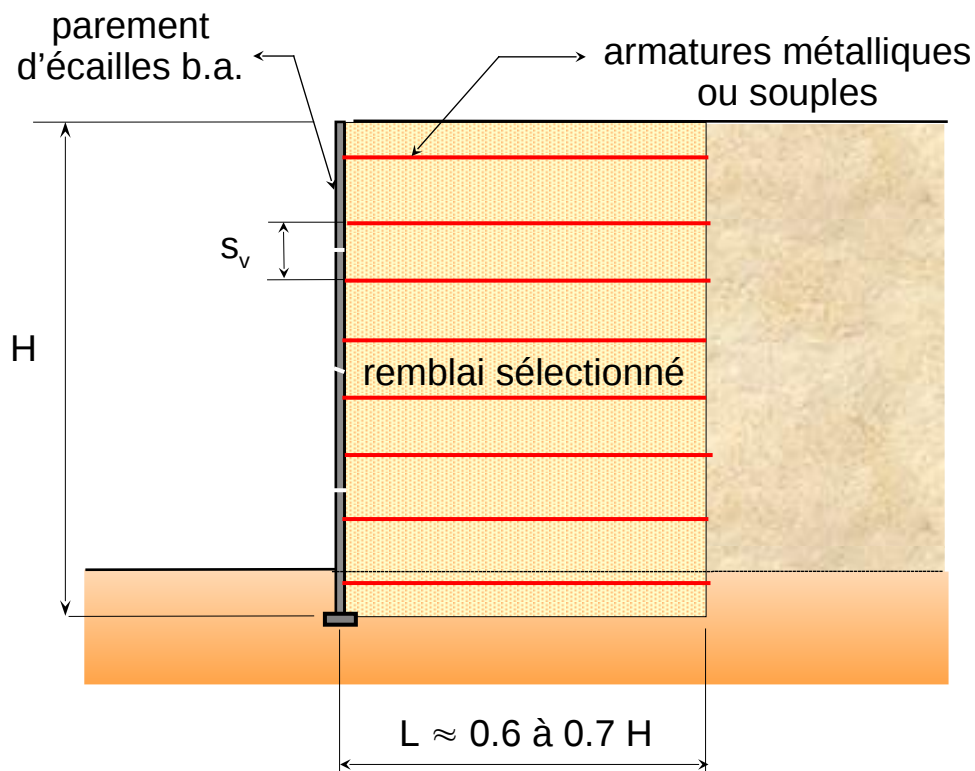
Murs en sols renforcés – domaine d'emploi

- Ouvrages en remblais, hors d'eau

- bien adaptés sur des sols de qualité médiocres (éventuellement renforcés) et notamment si des tassements significatifs sont attendus

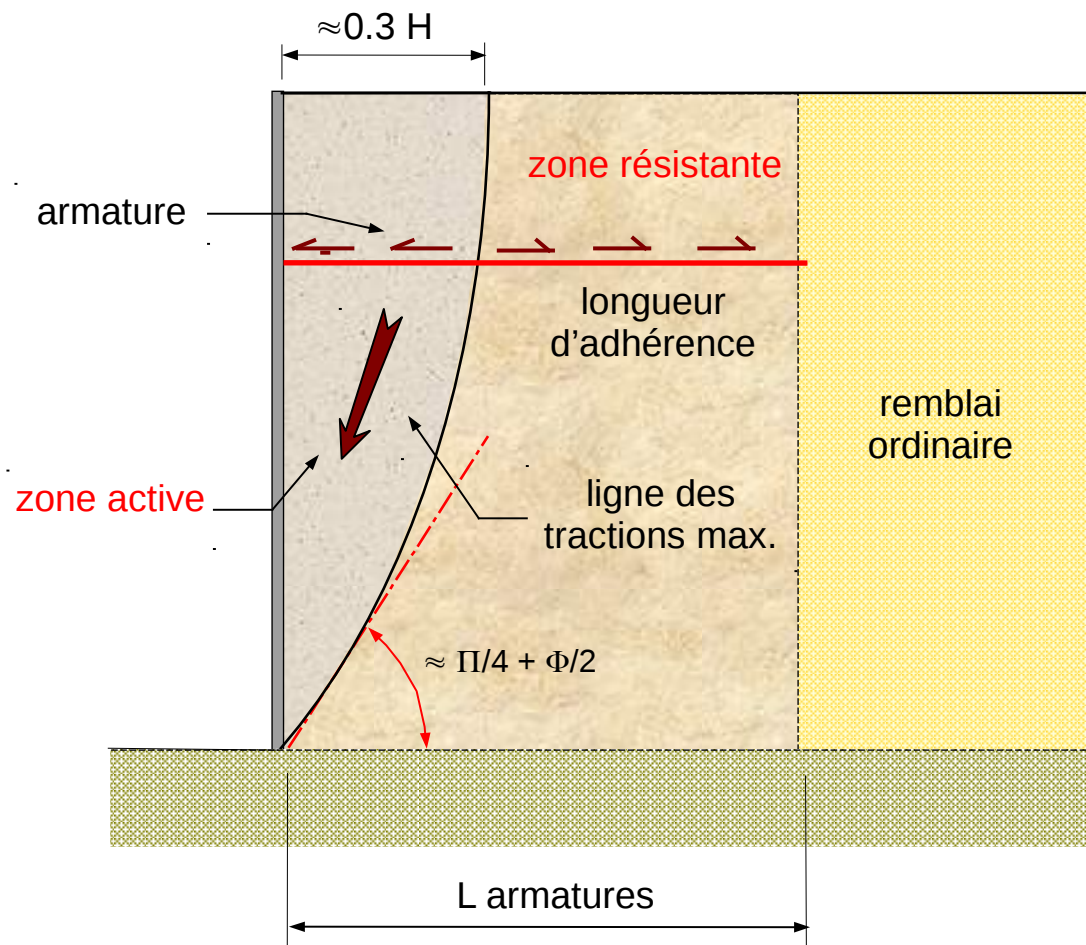
- fortes à très fortes hauteurs possibles ($>>10$ m), notamment en versant, possibilité d'étages et risbermes. Le parement est en général vertical

- Attention à l'agressivité du milieu !!



Murs en sols renforcés - fonctionnement

mode de fonctionnement



Murs en sols renforcés – prédimensionnement

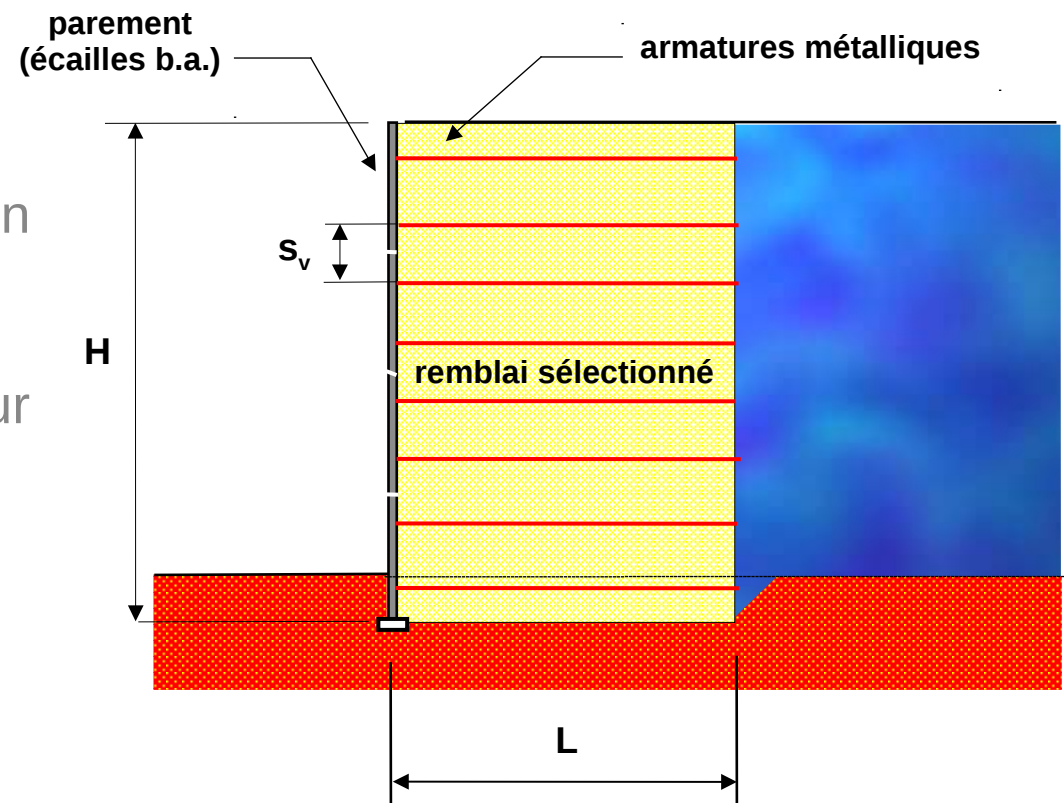
H : jusqu'à 20 à 30 m

Longueur armature : 0.6 à 0.8 H en moyenne

Esp vertical : 0.5 à 1.0 m (0.75 m pour TA)

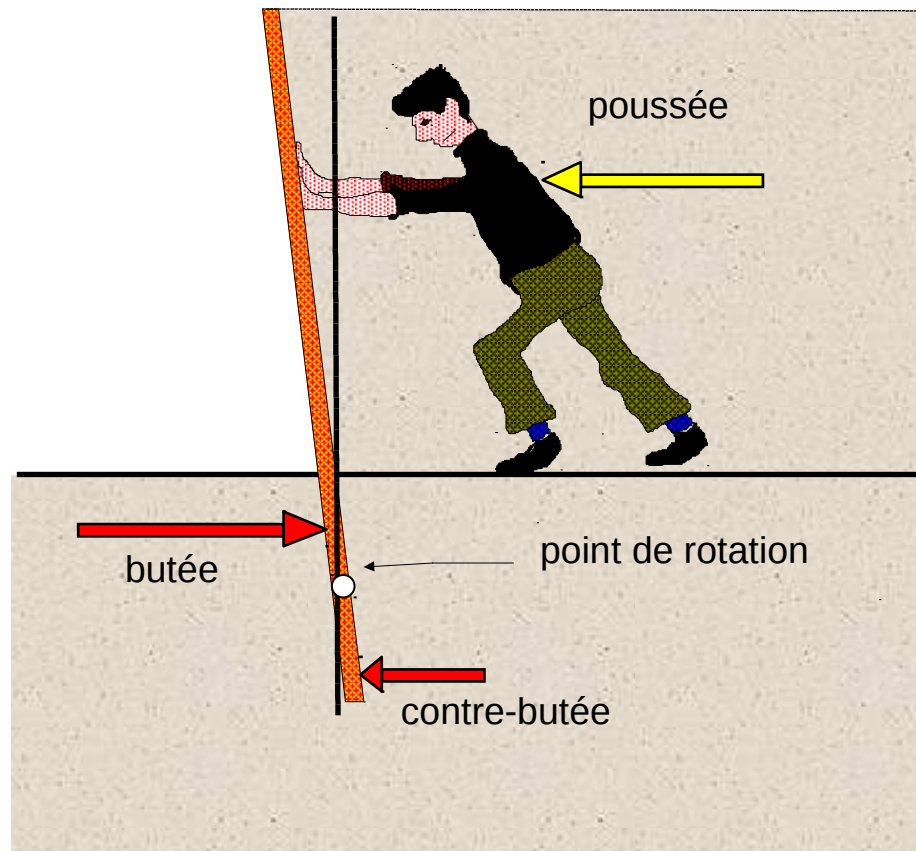
Esp horizontal : 0.5 à 1 m env.

Epaisseur parement : 0.15 à 0.20 m



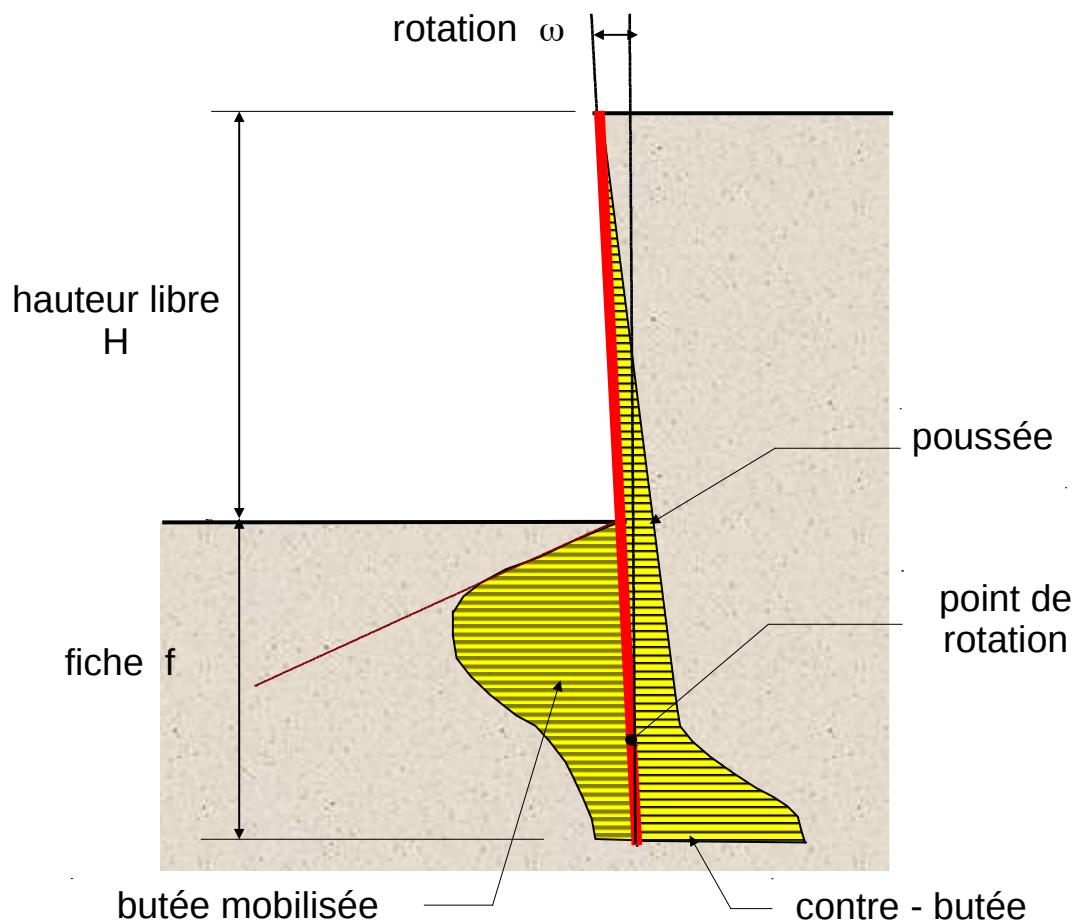
Ecrans de soutènement – fonctionnement

rideau de palplanche simplement encastrés dans le sol



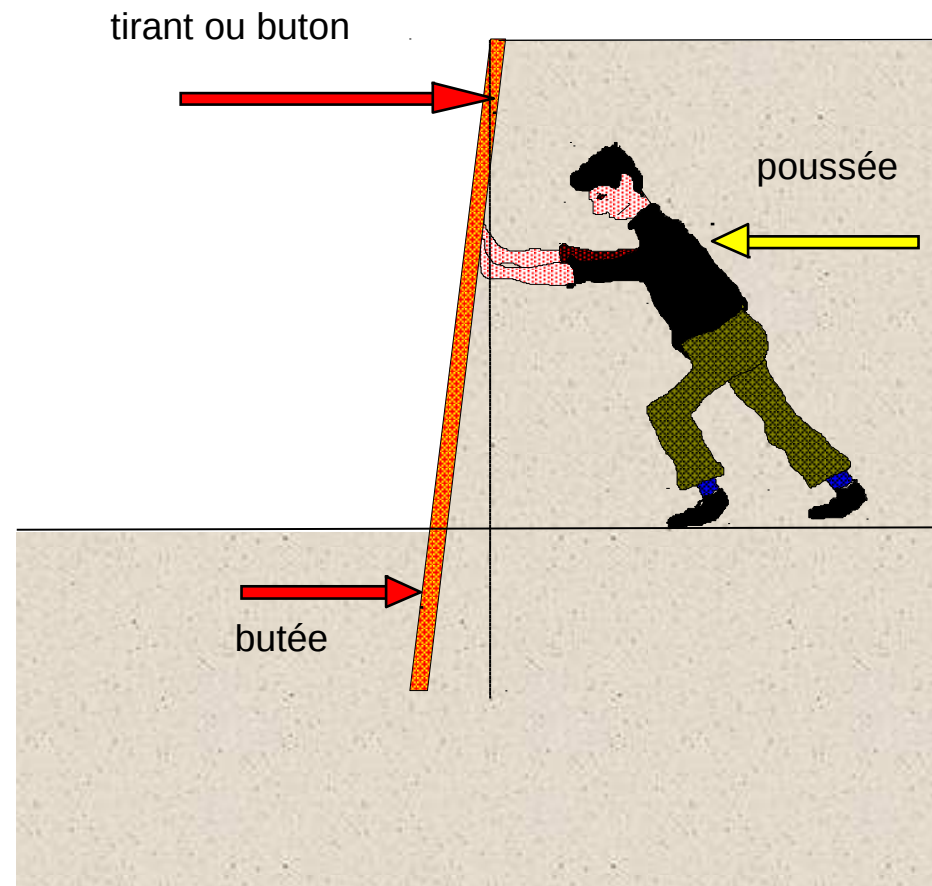
Ecrans de soutènement – fonctionnement

rideau de palplanche simplement encastrés dans le sol



Ecrans de soutènement – fonctionnement

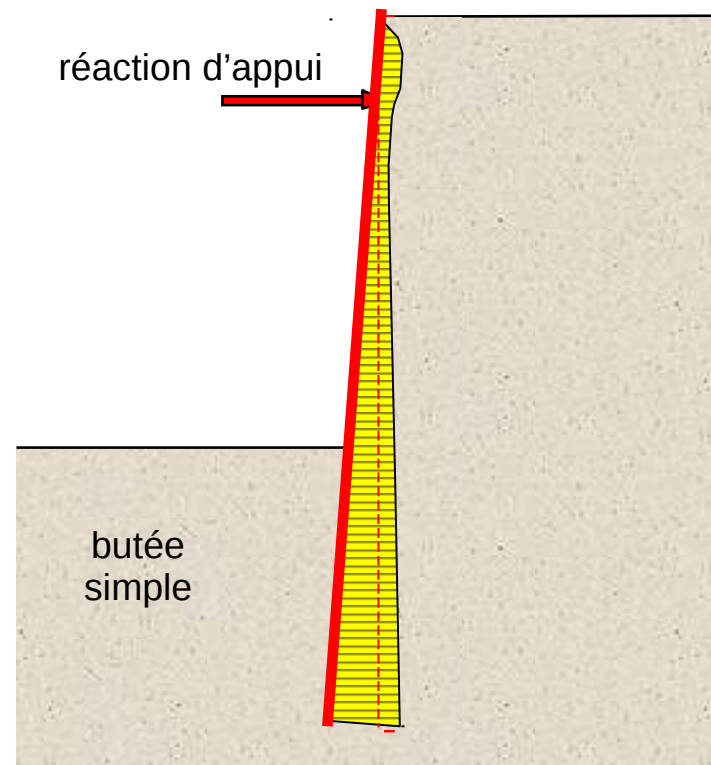
rideau de palplanche ancré ou butonné



Ecrans de soutènement – fonctionnement

rideau de palplanche ancré ou butonné

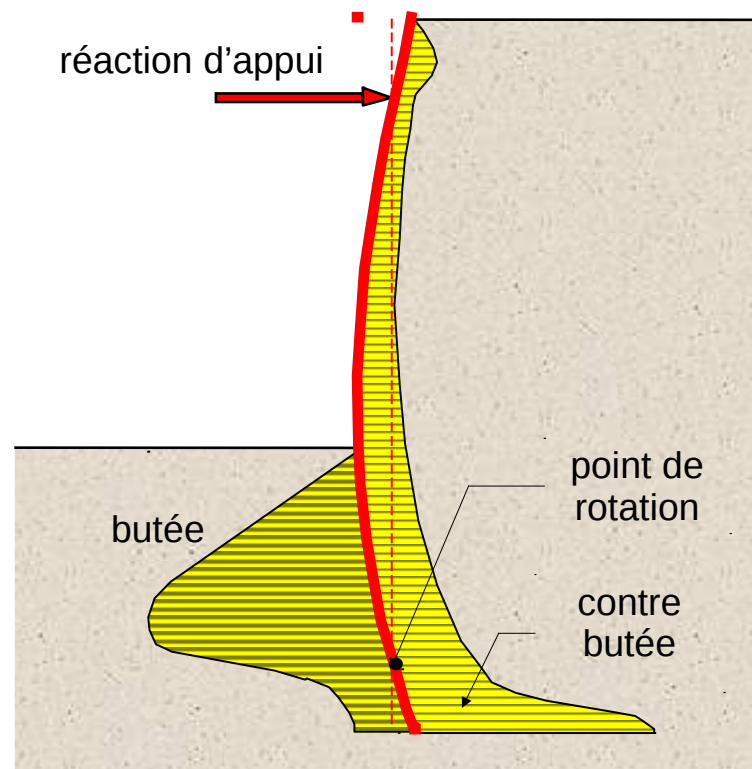
rideau rigide



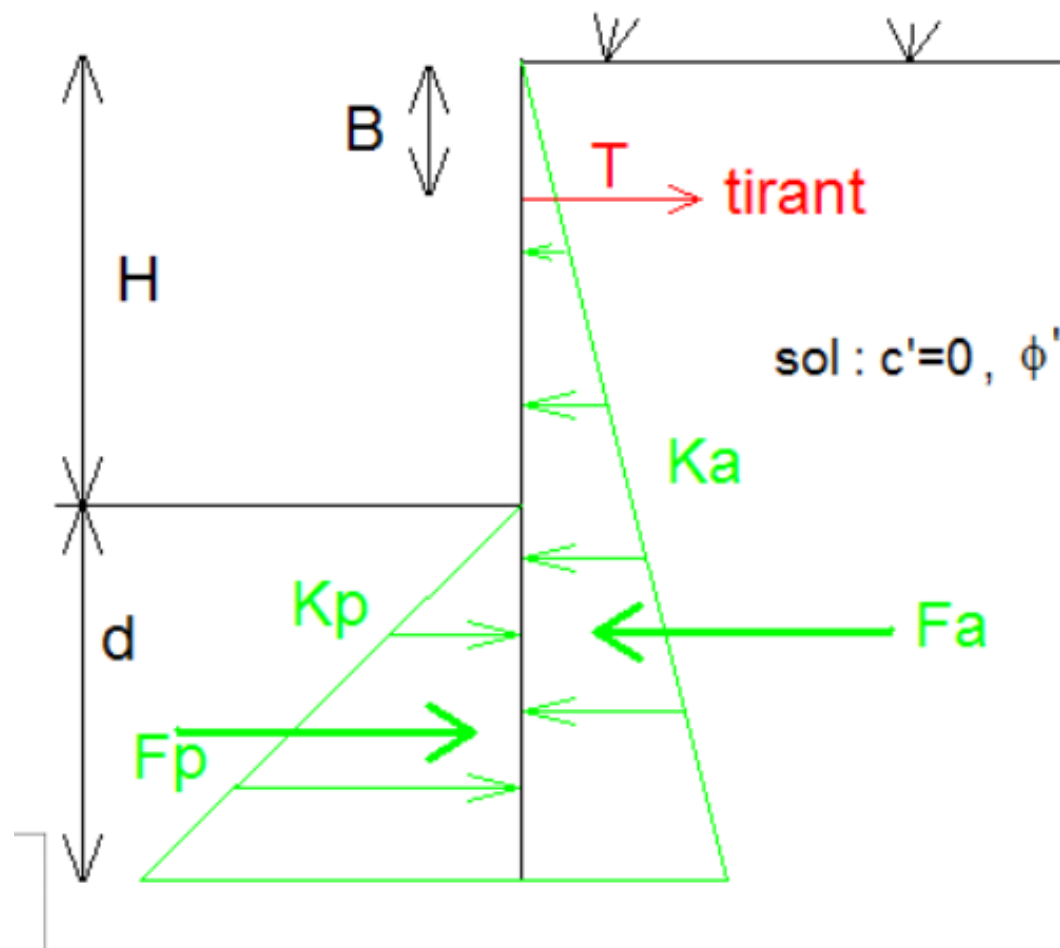
Ecrans de soutènement – fonctionnement

rideau de palplanche ancré ou butonné

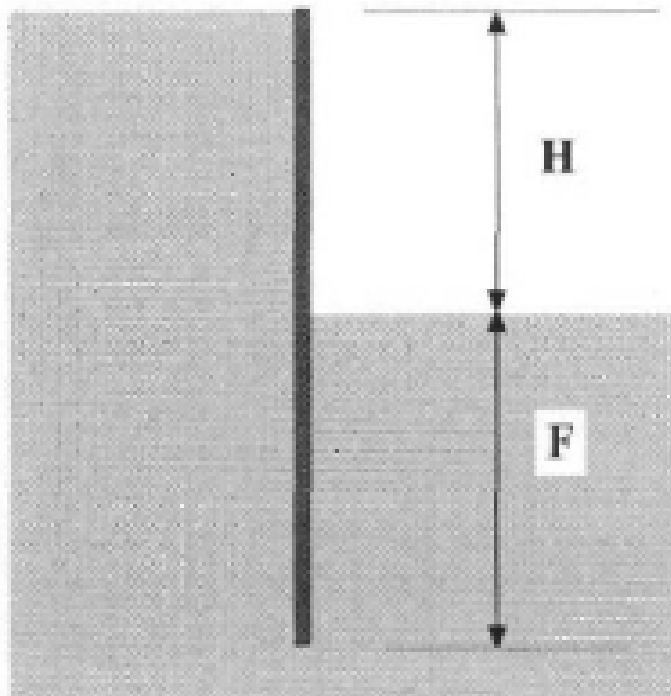
rideau souple



Ecrans – principe de calcul



Ecrans – prédimensionnement



rideau simplement encastré dans le sol

$$F \approx H$$

$$H_{\max} \approx 3 \text{ à } 4 \text{ m.}$$

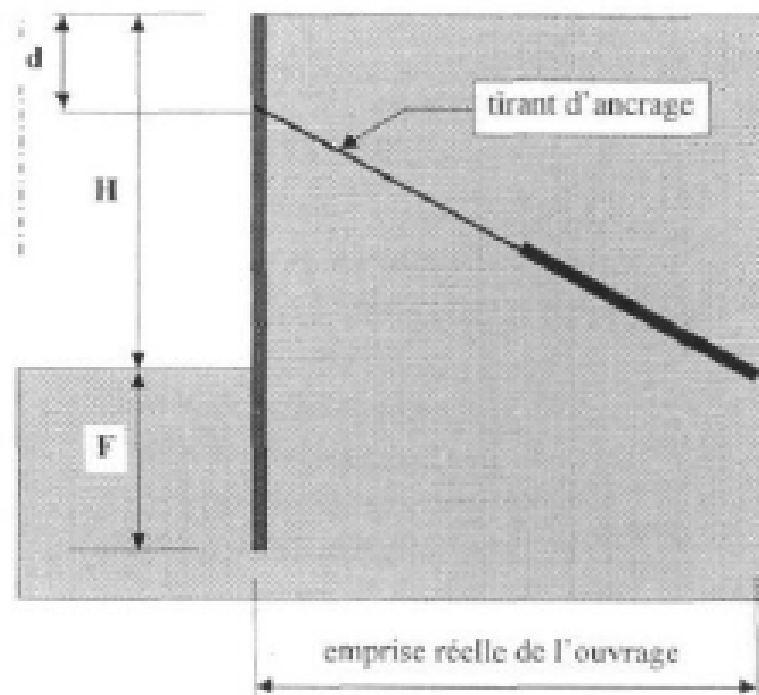
Ecrans – prédimensionnement

rideau ancré (ou boutonné)
par 1 lit de tirants

$$F \approx H/3 \text{ à } 2H/3$$

$$H_{\max} \approx 7 \text{ à } 8 \text{ m.}$$

$$d \approx 0,5 \text{ à } 2 \text{ m.}$$

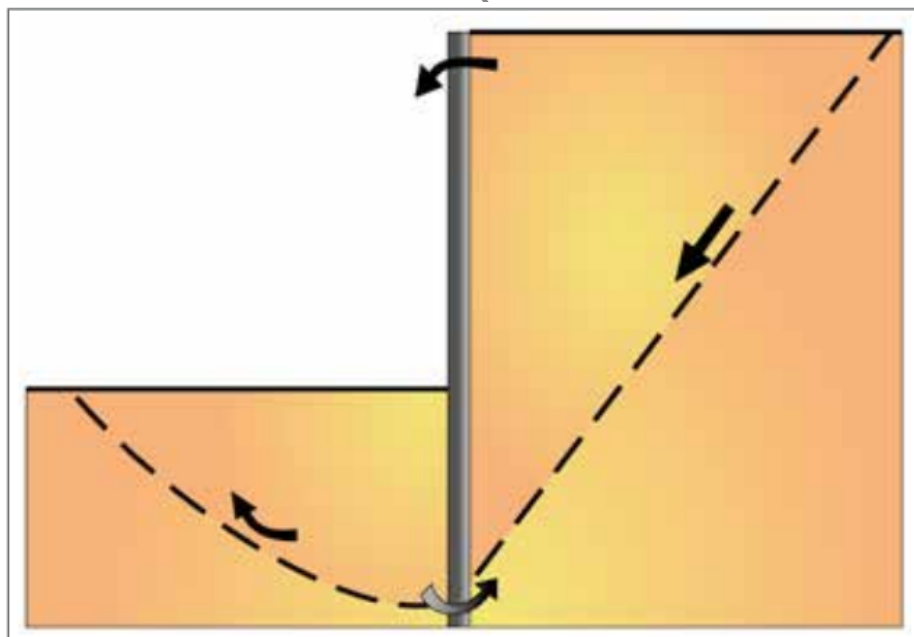


Ecrans de soutènement – domaine d'emploi

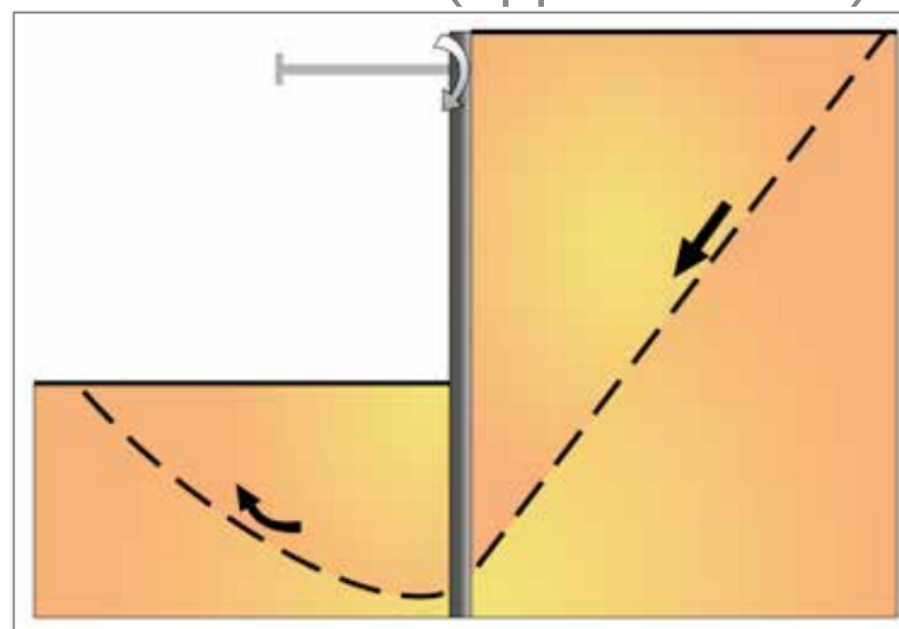
- ouvrage en déblai (souvent) ou en remblai
- terrassement vertical
- adapté à la présence de nappe, ou aux sites aquatiques suivant les types d'écran (palplanche, paroi moulée vs berlinoise)
- adaptés au sols supports médiocres
- Attention au sols trop rigides ou contenant des blocs → Refus pour le fichage de certains types d'écrans (palplanches)
- ouvrage provisoire possible

Ecrans – quelques mécanismes de rupture

défaut de butée (écran autostable)



défaut de butée (appui en haut)



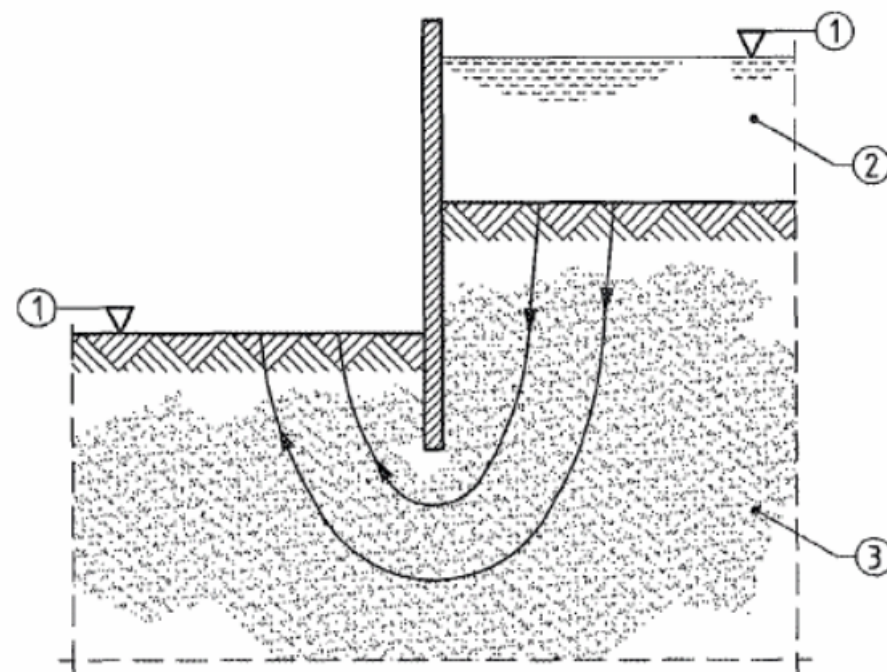
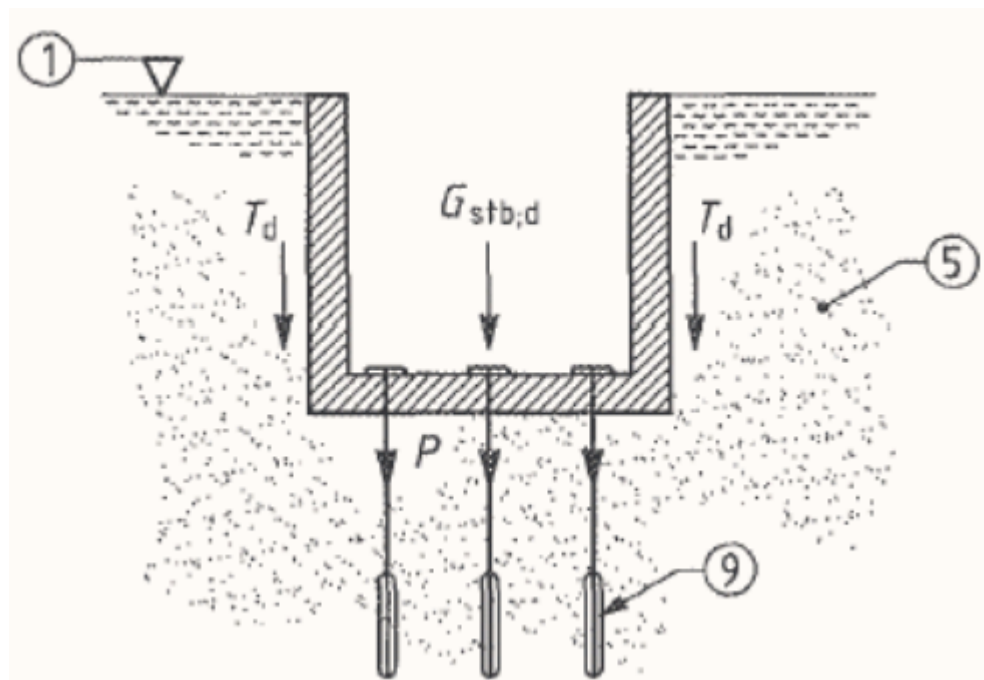
Rupture d'un ancrage, de son scellement (tirant), ou de l'écran

Ru

Ecrans – quelques mécanismes de rupture

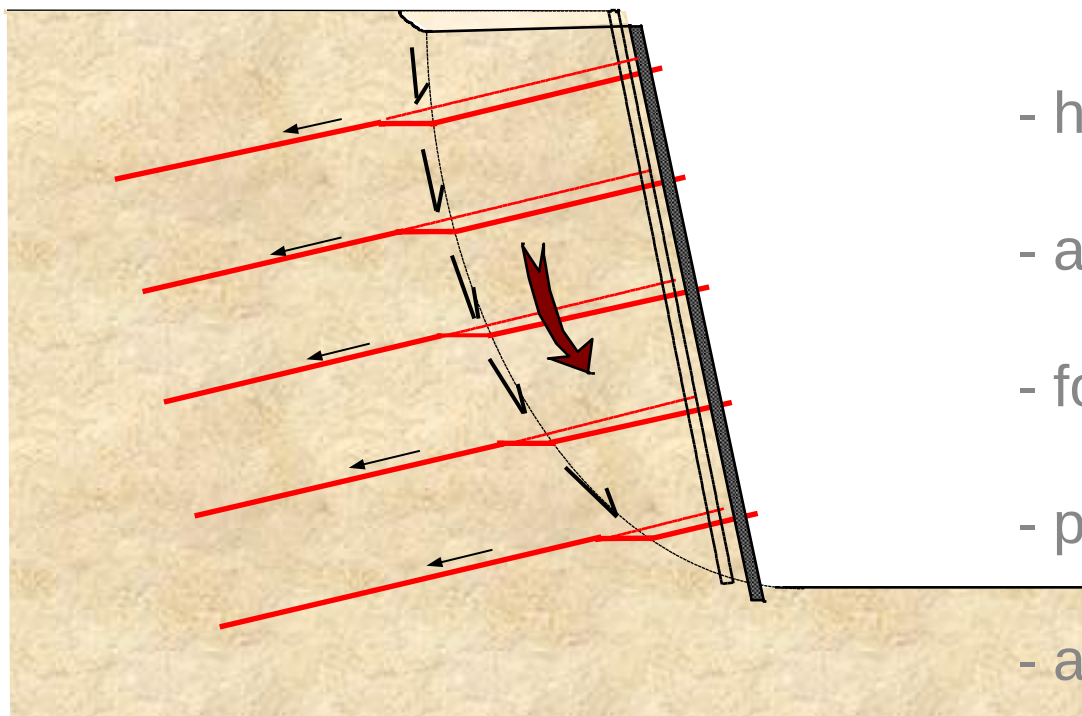
soulèvement du fond de fouille

annulation de la butée (boulance)



1 niveau de l'excavation (gauche) ; niveau de la nappe (droite)
2 eau
3 sable

massifs de sols cloués – domaine d'emploi



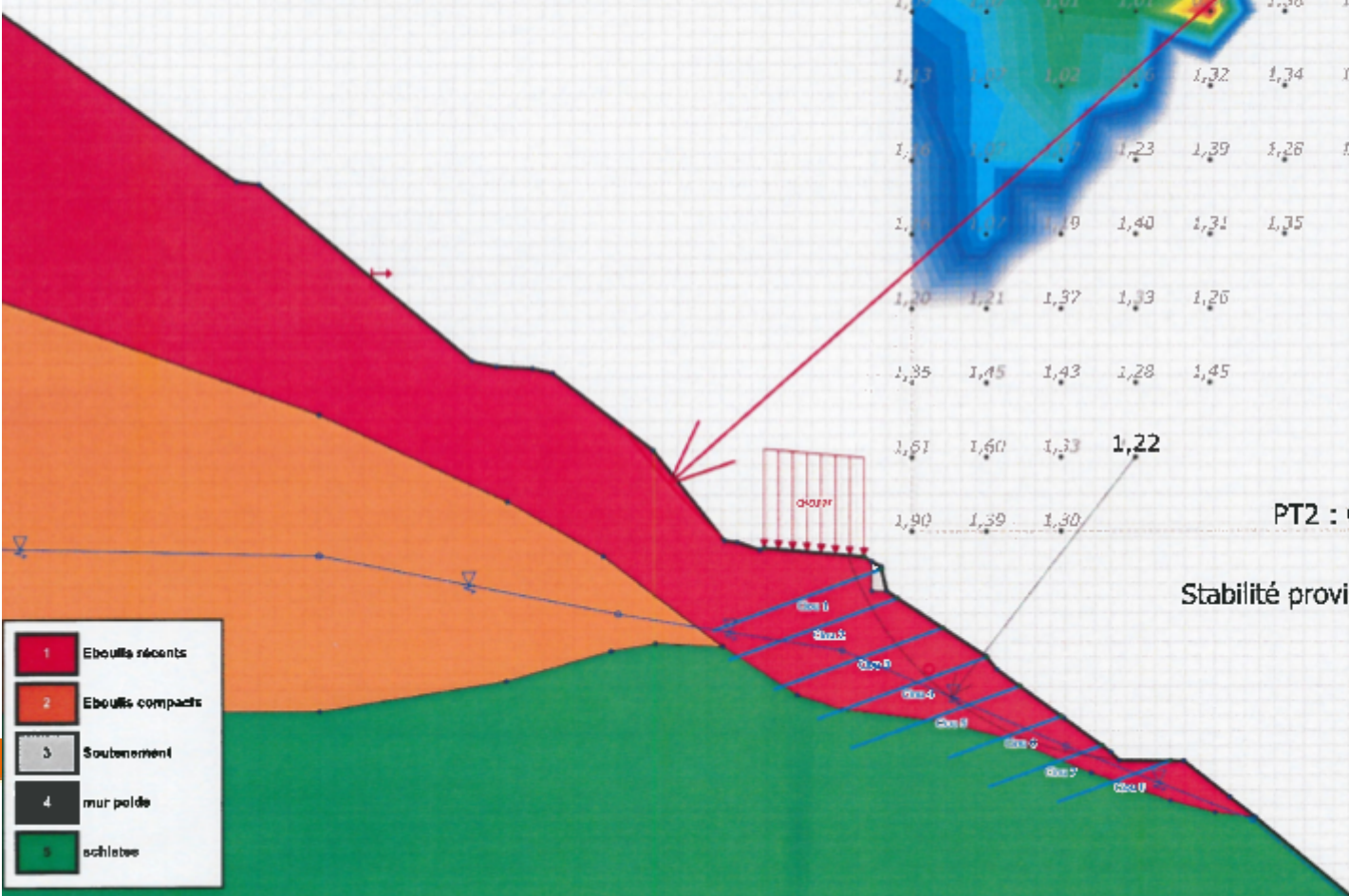
- ouvrages en déblai
- hors nappe
- adaptées aux sites d'accès difficiles
- fortes à très fortes hauteurs possibles
- parement vertical ou incliné
- avec ou sans risberme
- coût modéré



massifs de sols cloués - Fonctionnement

Bol n°	1	2	3	4	5
γ_w (kN/m ³)	20,00	21,00	22,00	22,00	22,00
ϕ (°)	32,00	35,00	45,00	40,00	35,00
c (kPa)	4,00	5,00	0,00	0,00	60,00
$\Delta\sigma$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase / Situation : Situation



1,04	1,01	1,01	0,98	0,99	1,08	1,26	1,35
1,26	1,04	1,02	0,99	1,04	0,82	1,38	1,38
1,26	1,02	1,01	1,01	0,99	1,38	1,32	
1,23	1,02	1,02	1,06	1,32	1,34	1,37	
1,26	1,02	1,02	1,23	1,39	1,26	1,32	
1,26	1,02	1,19	1,40	1,31	1,35		
1,20	1,21	1,37	1,33	1,26			
1,35	1,15	1,43	1,28	1,45			
1,51	1,50	1,33	1,22				
1,90	1,39	1,30					

$F = 1$ (grand glissement)

PT2 : Clouage avec piste inférieure

Stabilité provisoire pour construction du mur-poids



Toute conception dont la fiabilité repose sur
la précision d'un calcul est une mauvaise
conception

H.Q. Golder

Obtenir des solutions rigoureuses n'est pas
une condition nécessaire pour le succès
des recherches dans le domaine de la
mécanique des sols

K.V. Terzaghi