Réunion technique CFMS du 16 / 12 / 2005

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans de soutènement

SOLETANCHE BACHY

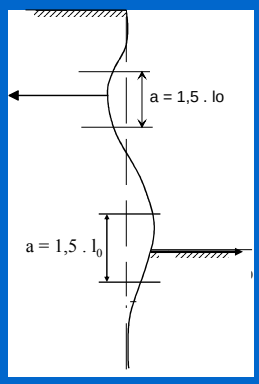
Questions abordées

- Pourquoi un module spécifique aux écrans ?
- Comment relier module d'élasticité et coefficient de réaction ?
- Quel module pour quelle loi de comportement ?
- Comment rapprocher les calculs de la réalité ?
  - Exemple de la tranchée couverte de Rouen Trémie Pasteur
  - Exemple de la station d'épuration de Colombes
- Que faut-il faire avec E_M/α ?

SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

Rappel de l'expérience acquise concernant le coefficient de réaction :



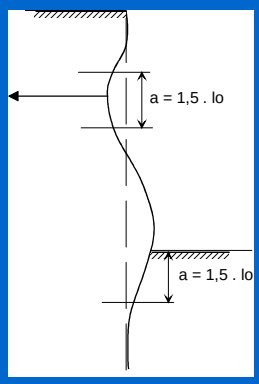
$l_0 = (4 . EI / k)^{1/4}$

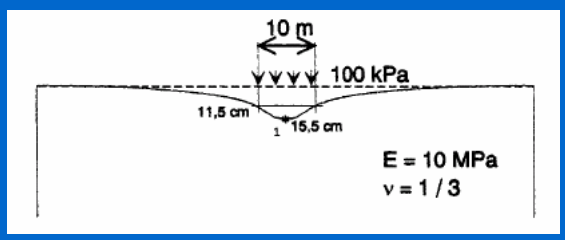
Mesures => $k = 3,6 . E_M/\alpha a$

=> $k \# 2 . (E_M/\alpha)^{4/3} / (EI)^{1/3}$

SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans





$k = p_{moyen}/s_{moyen} \# E_s / (1,3.a)$

Mesures écrans => $k = 3,6 . E_M/\alpha a$

=> $E_s = 4,7 . E_M/\alpha$

SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

- Fondations superficielles

  Hypothèse $E_s = 1,3 \cdot a \cdot k$

  $k = E_M/[\alpha a/6+0,13.(4,42a)^{\alpha}]$

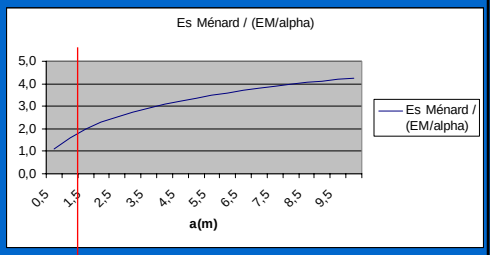
  $\alpha = 1/3$

- Remblais de grande largeur

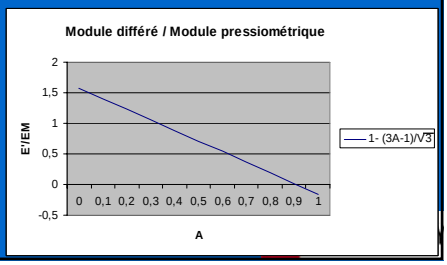
  $E_s / (E_M/\alpha) \leq 1$

- Ecrans de soutènement

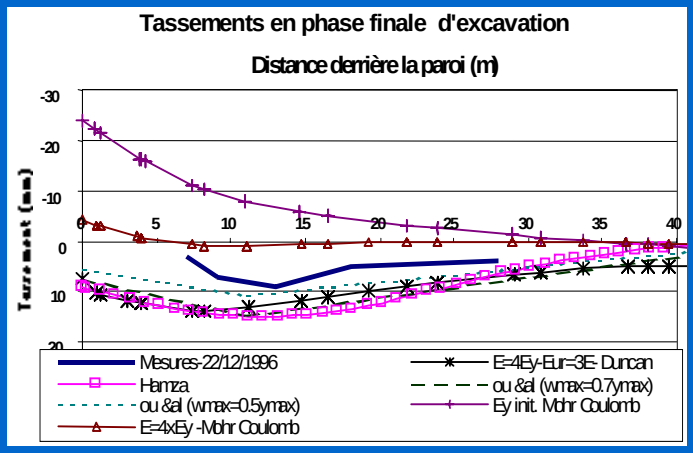
  $E_s / (E_M/\alpha) > 4$



Domaine expérimental ?

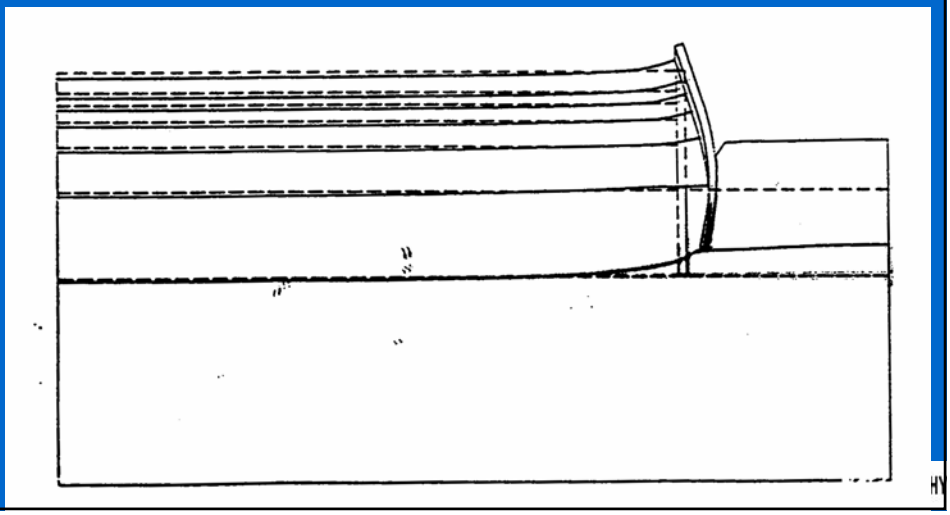


Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

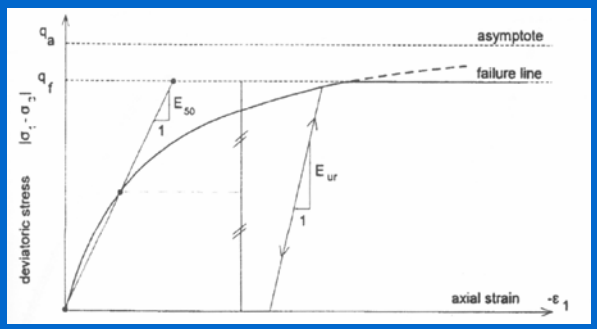


SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

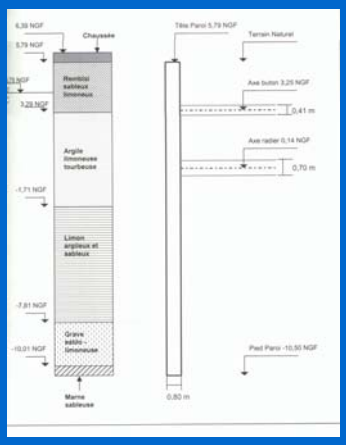


Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



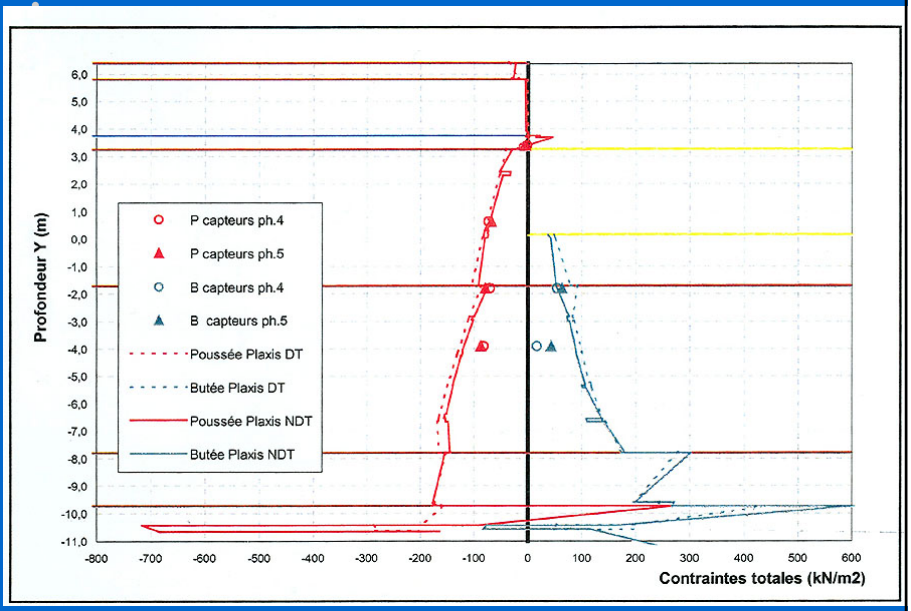
SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



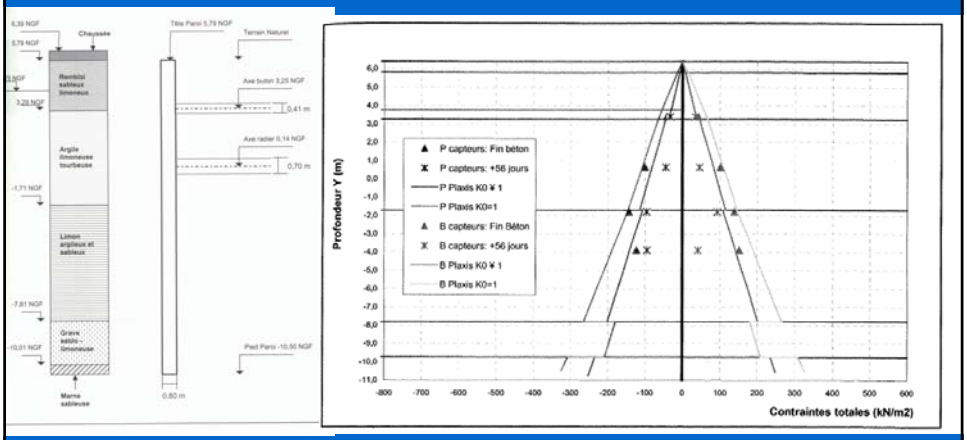
Rouen Trémie Pasteur

SOLETANCHE BACHY



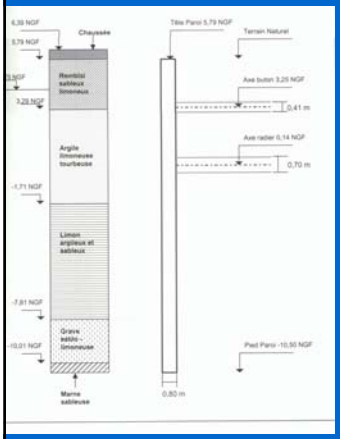
SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



$K_0 = \sigma'_h / \sigma'_v$ état initial

$K_i = \sigma'_h / \sigma'_v$ après réalisation écran

$K_d = \Delta\sigma'_h / \Delta\sigma'_v$ pendant terrassements

$= \nu_{ur} / (1-\nu_{ur})$

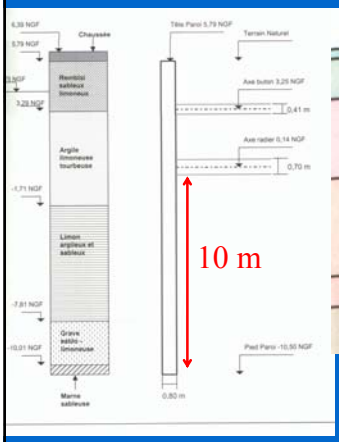
PARIS suppose $K_0 = K_i = K_d$

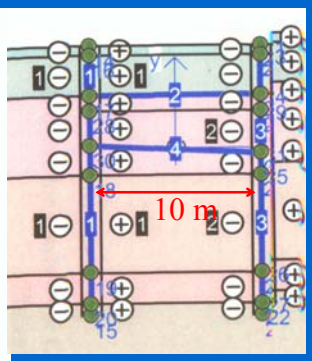
DENEBOLA autorise $K_d = 0$

Les valeurs usuelles de k supposent $K_d = K_0$

SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans





E_M/α # 3 MPa

$2{,}1 \,.\, (E_M/\alpha)^{4/3} / (EI)^{1/3}$
$= 1.000$ kN/m^3

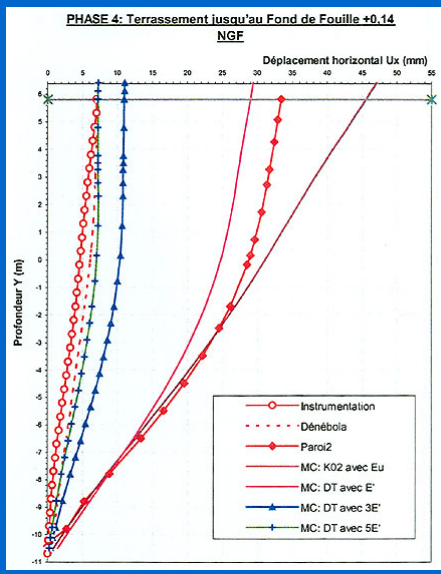
$1{,}7 \,.\, (EI \,.\, \alpha / E_M/)^{1/3}$
$= 11$ m

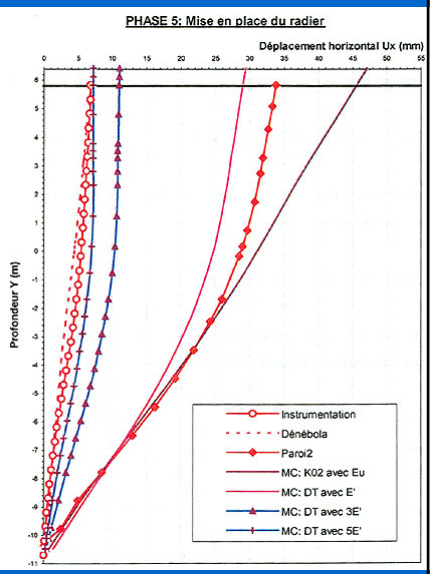
$a = 2/3 \,.\, 10$ # 7 m

$3{,}6 \,.\, E_M/\alpha / a$
$= 1.500$ kN/m^3

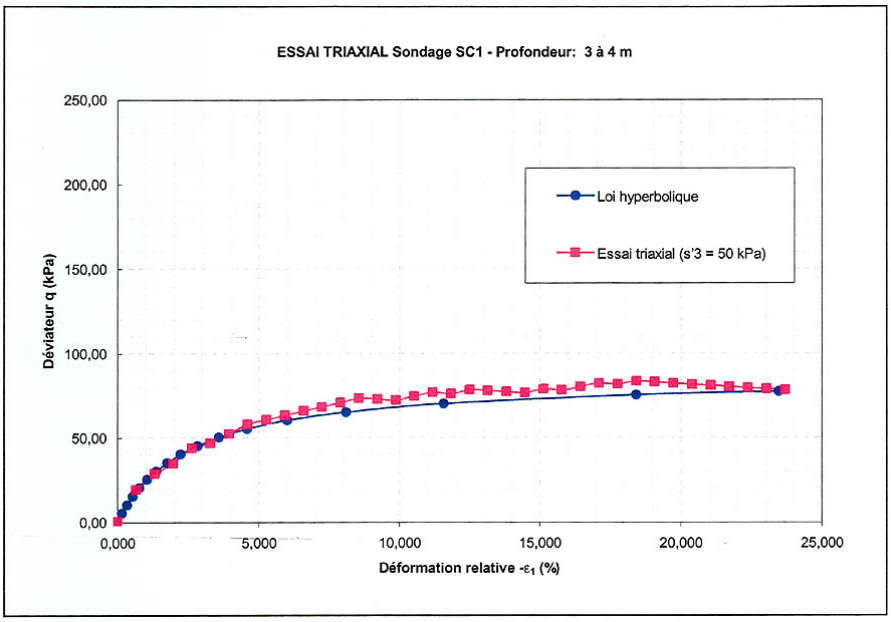
$2 \,.\, (4{,}7 \,.\, E_M/\alpha) / b$
3.000 kN/m^3

SOLETANCHE BACHY

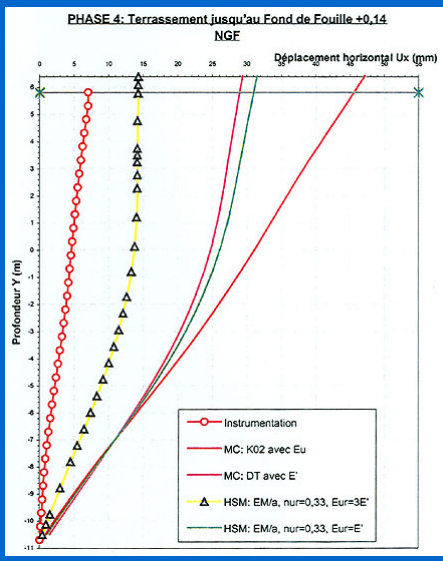


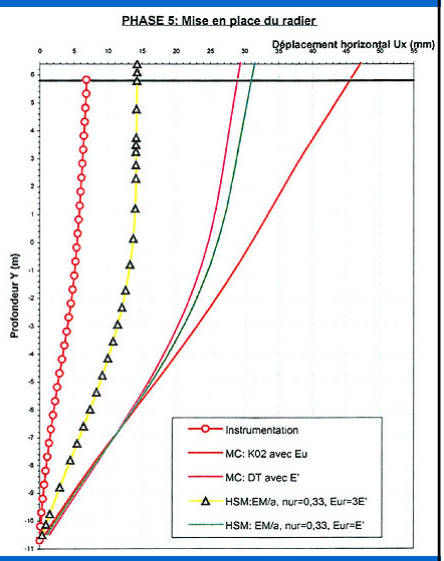


SOLETANCHE BACHY

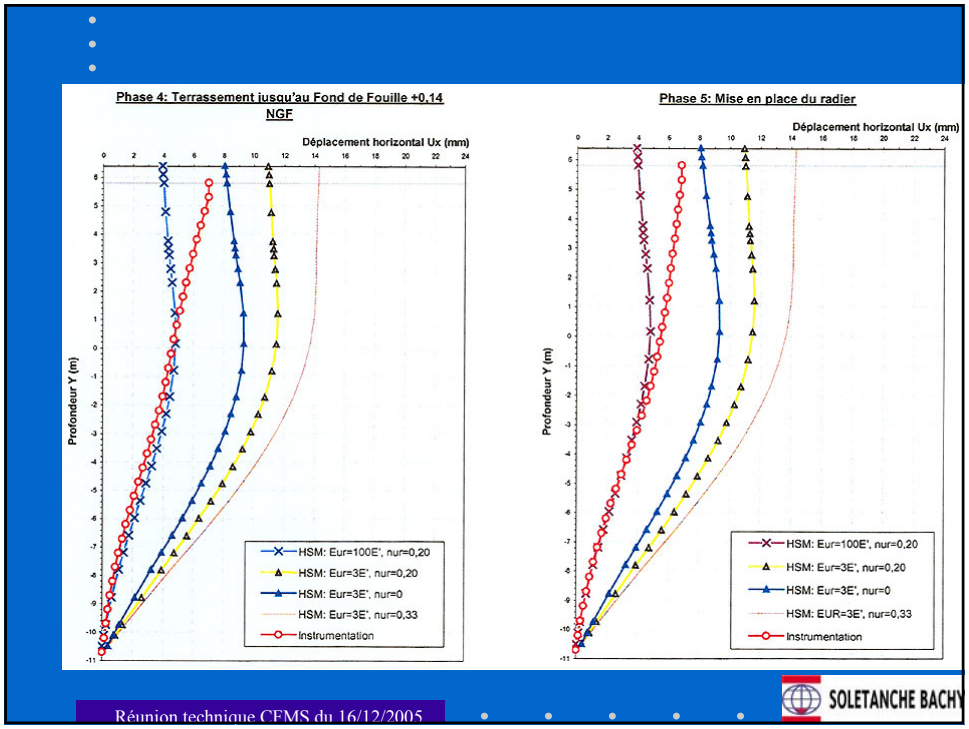


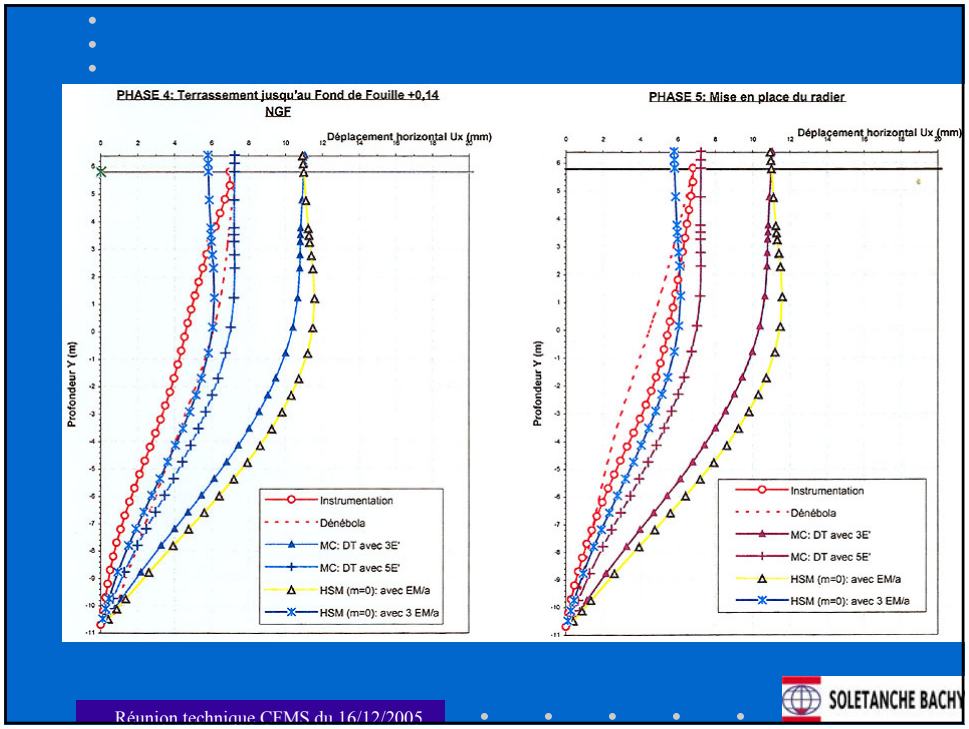
SOLETANCHE BACHY



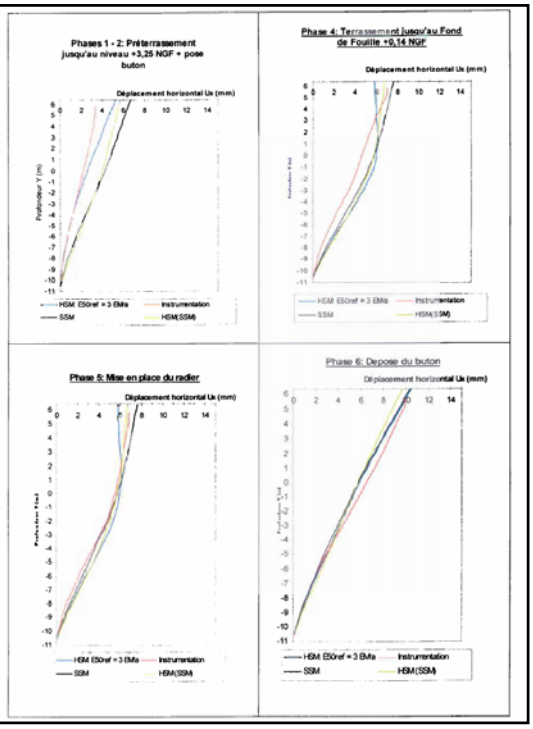


SOLETANCHE BACHY


Phase 4: Terrassement jusqu'au Fond de Fouille +0,14 NGF
Déplacement horizontal Ux (mm)
Profondeur Y (m)
HSM: Eur=100E', nur=0,20
HSM: Eur=3E', nur=0,20
HSM: Eur=3E', nur=0
HSM: Eur=3E', nur=0,33
Instrumentation
Phase 5: Mise en place du radier
Déplacement horizontal Ux (mm)
Profondeur Y (m)
HSM: Eur=100E', nur=0,20
HSM: Eur=3E', nur=0,20
HSM: Eur=3E', nur=0
HSM: EUR=3E', nur=0,33
Instrumentation
Réunion technique CFMS du 16/12/2005
SOLETANCHE BACHY

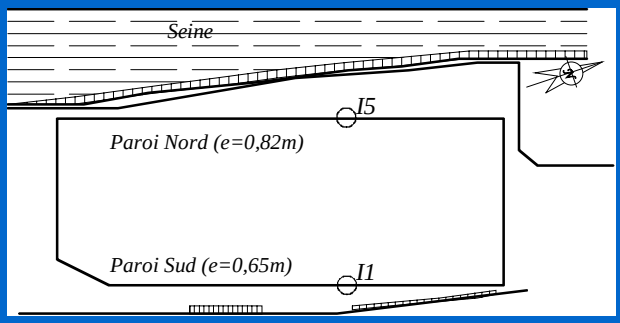

PHASE 4: Terrassement jusqu'au Fond de Fouille +0,14 NGF
Déplacement horizontal Ux (mm)
Profondeur Y (m)
Instrumentation
Dénébola
MC: DT avec 3E'
MC: DT avec 5E'
HSM (m=0): avec EM/a
HSM (m=0): avec 3 EM/a
PHASE 5: Mise en place du radier
Déplacement horizontal Ux (mm)
Profondeur Y (m)
Instrumentation
Dénébola
MC: DT avec 3E'
MC: DT avec 5E'
HSM (m=0): avec EM/a
HSM (m=0): avec 3 EM/a
Réunion technique CFMS du 16/12/2005
SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité



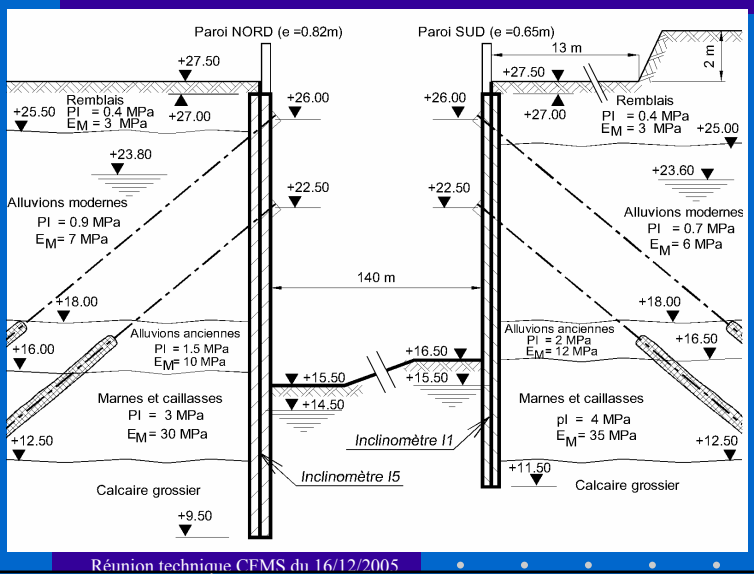
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

Colombes station d'épuration



SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



SOLETANCHE BACHY

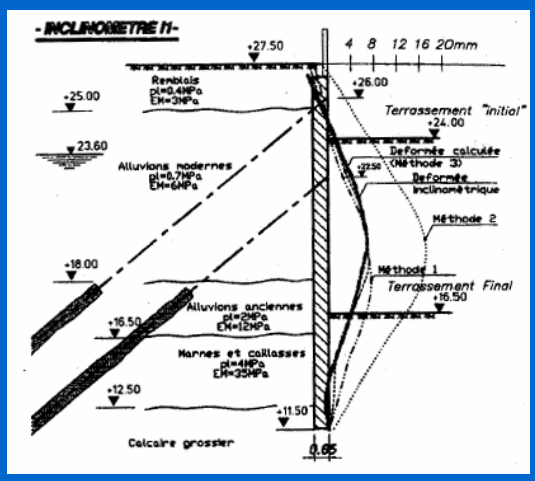
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

	Coupes Nord et Sud					Coupe Nord		Coupe Sud	
	γ (kN/m^3)	c'(kPa)	φ' (°)	c_u (kPa)	φ_u (°)	E_M(MPa)	P_l (MPa)	E_M (MPa)	P_l (MPa)
Remblais	20	0	25	-	-	3	0,4	3	0,4
Alluvions Modernes récentes	18	0	25	40	0	7	0,9	6	0,7
Alluvions Anciennes	20	0	35	-	-	10	1,5	12	2
Marnes et Caillasses	18	20	35	150	0	30	≥3	35	≥4
Calcaire Grossier	22	20	45	-	-	35	≥4	35	≥4

Tableau 1: Caractéristiques géomécaniques

SOLETANCHE BACHY

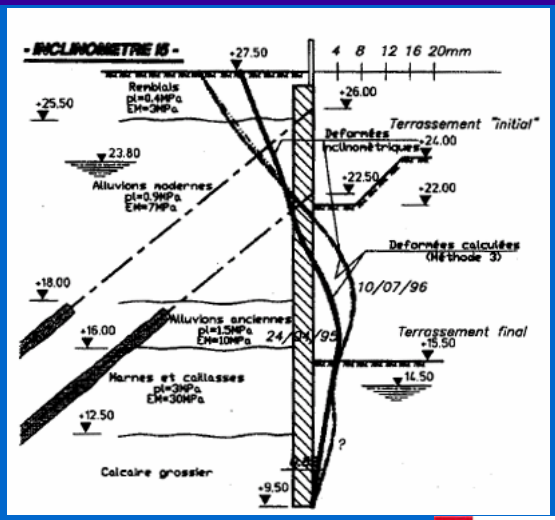
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

k x ½ entre 1995 et 1996



SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

Nom	Type de modèle	Paramètres élastiques
MC. $E_s=E_M/\alpha$	Mohr-Coulomb	$E_s = E_M/\alpha$ (voir tableau n° 2)
MC. $E_s=4E_M/\alpha$	Mohr-Coulomb	$E_s=4E_M/\alpha$
DC. $E_{50}=XE_M/\alpha$	HSM	$E_{50}=2\ E_M/\alpha$ (Remblais, Alluvions modernes et Alluvions anciennes), $E_{50}=3\ E_M/\alpha$ (Marnes et caillasses) et $E_{50}=4\ E_M/\alpha$ (Calcaires grossier)

Tableau 4: Récapitulation des paramètres utilisés

	E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}	c	φ	Ψ	ν_{ur}	m
	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[°]	[°]	[-]	[-]
Remblai	103896	12000	36000	1	25	0	0,1	1
Alluvions modernes	28000	28000	84000	40	0	0	0,1	1
Alluvions anciennes	77655	36792	232965	1	35	5	0,1	0,5
Marne et caillasses	270000	270000	5400000	150	0	0	0,1	0,5
Calcaire grossier	515198	184013	10303955	20	45	15	0,1	0,5

Tableau 5: Paramètres utilisés dans le modèle HSM (DC. $E_{50} = XE_M/\alpha$). Coupe Nord

SOLETANCHE BACHY

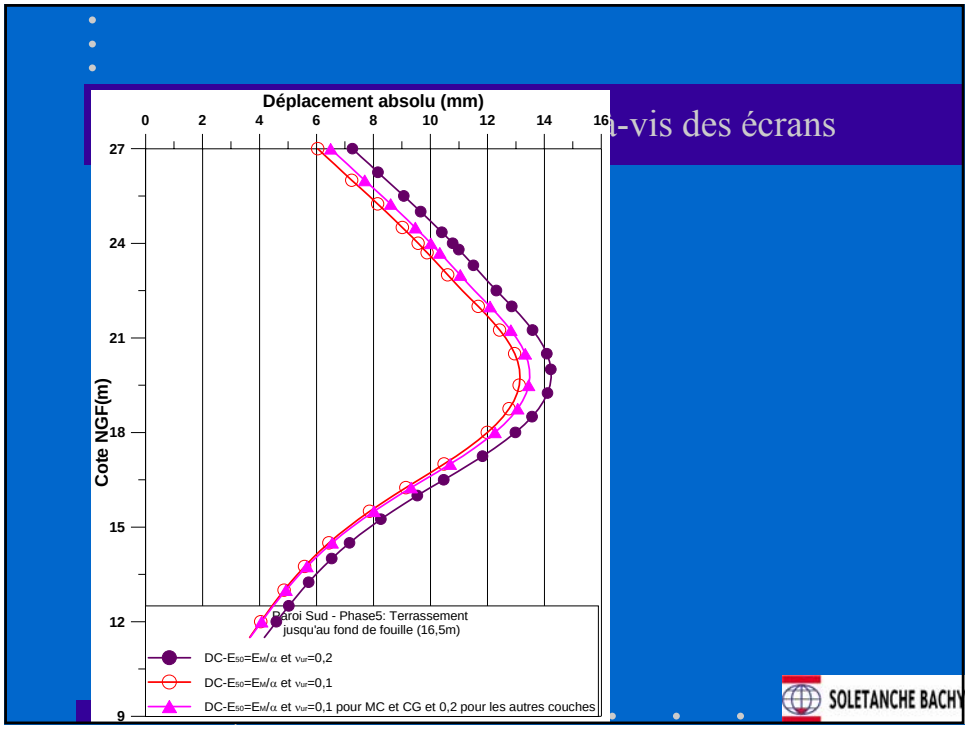
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

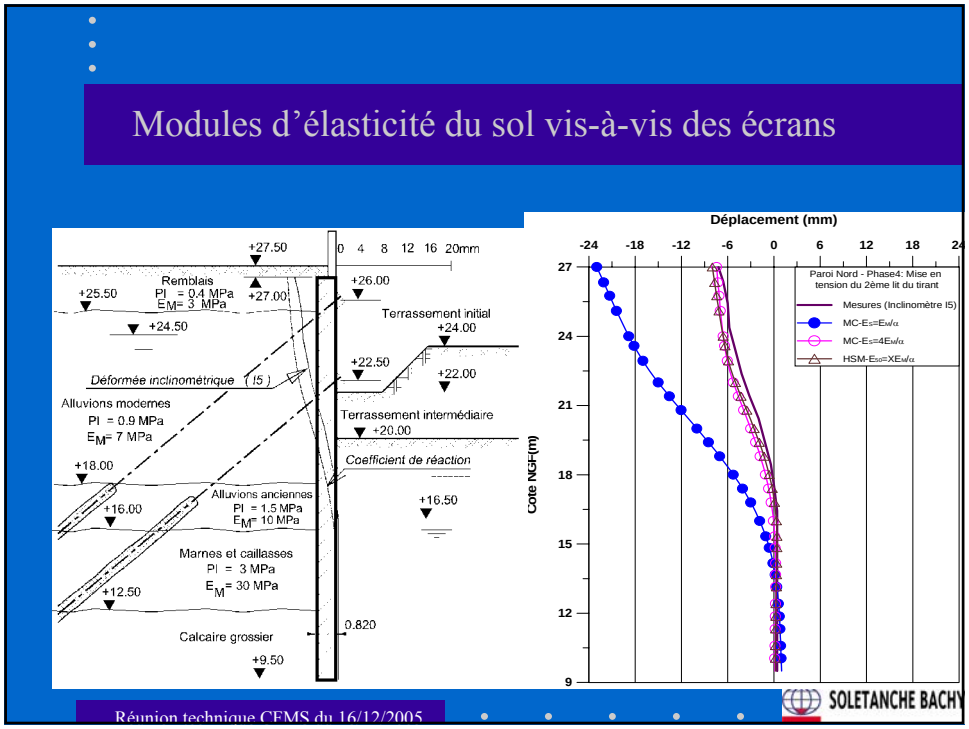
	σ1	$E_{50}=E_M/\alpha$	l*	k*	$E_{oed}=0,75.E_{50}$	ν_{ur}	K_0^{NC}	M	c	Φ	Ψ
	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[°]	[°]
Remblai	25	6000	0,005	0,001	4500	0,1	0,577	1,357	1	25	0
Alluvions modernes	91	14000	0,009	0,002	10500	0,1	0,577	1,358	1	25	0

Tableau 6 : Paramètres utilisés dans le modèle SSM (CC(R-AM) et DC-$E_{50}=XE_M/\alpha$). Coupe Nord

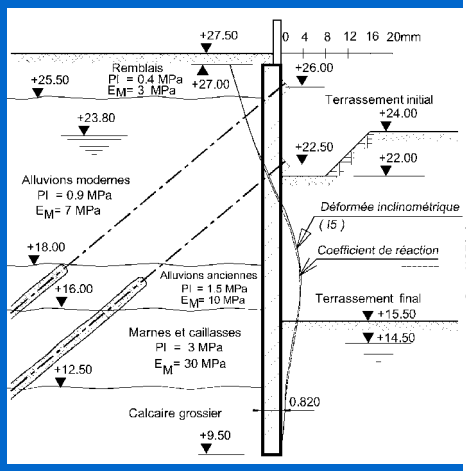
Réunion technique CFMS du 16/12/2005

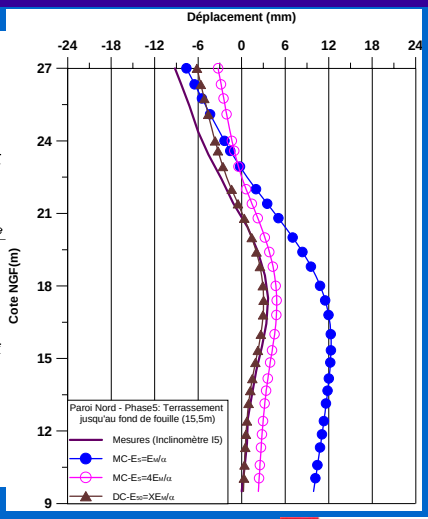
SOLETANCHE BACHY


-vis des écrans
Déplacement absolu (mm)
0 2 4 6 8 10 12 14 16
Cote NGF(m)
27 24 21 18 15 12 9
Paroi Sud - Phase5: Terrassement jusqu'au fond de fouille (16,5m)
DC-E50=EM/α et νur=0,2
DC-E50=EM/α et νur=0,1
DC-E50=EM/α et νur=0,1 pour MC et CG et 0,2 pour les autres couches
SOLETANCHE BACHY


Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans
+27.50
0 4 8 12 16 20mm
Remblais
PI = 0.4 MPa
EM= 3 MPa
+25.50
+27.00
+26.00
+24.50
Terrassement initial
+24.00
+22.50
+22.00
Déformée inclinométrique (I5)
Alluvions modernes
PI = 0.9 MPa
EM= 7 MPa
Terrassement intermédiaire
+20.00
Coefficient de réaction
+18.00
+16.50
+16.00
Alluvions anciennes
PI = 1.5 MPa
EM= 10 MPa
Marnes et caillasses
PI = 3 MPa
EM= 30 MPa
+12.50
0.820
Calcaire grossier
+9.50
Déplacement (mm)
-24 -18 -12 -6 0 6 12 18 24
Cote NGF(m)
27 24 21 18 15 12 9
Paroi Nord - Phase4: Mise en tension du 2ème lit du tirant
Mesures (Inclinomètre I5)
MC-E5=EM/α
MC-E5=4EM/α
HSM-E50=XEM/α
SOLETANCHE BACHY
Réunion technique CFMS du 16/12/2005

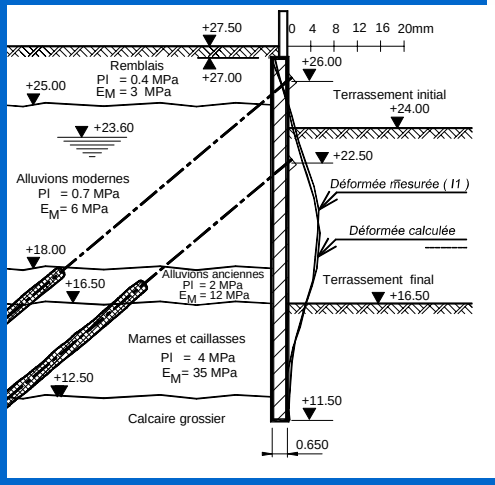
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

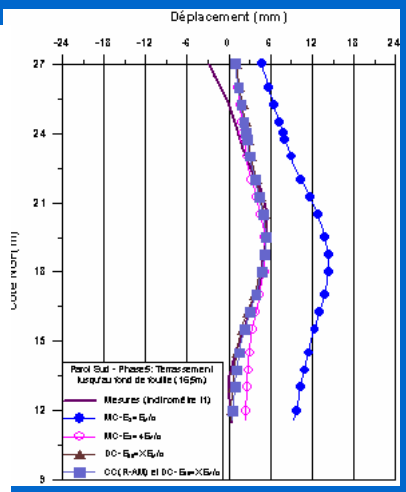




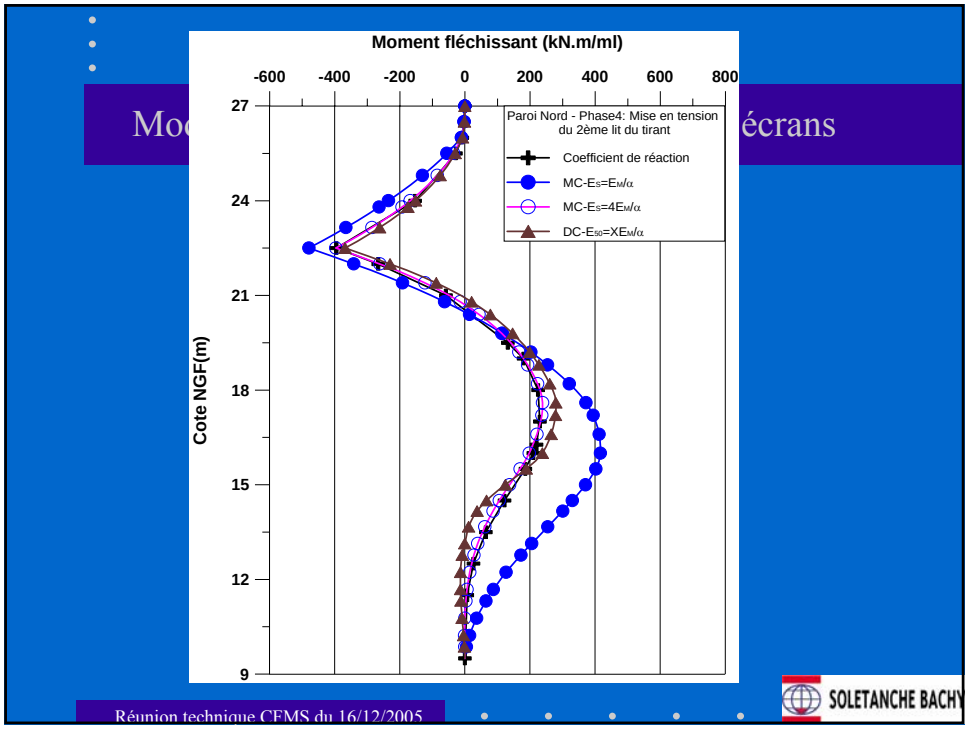
SOLETANCHE BACHY

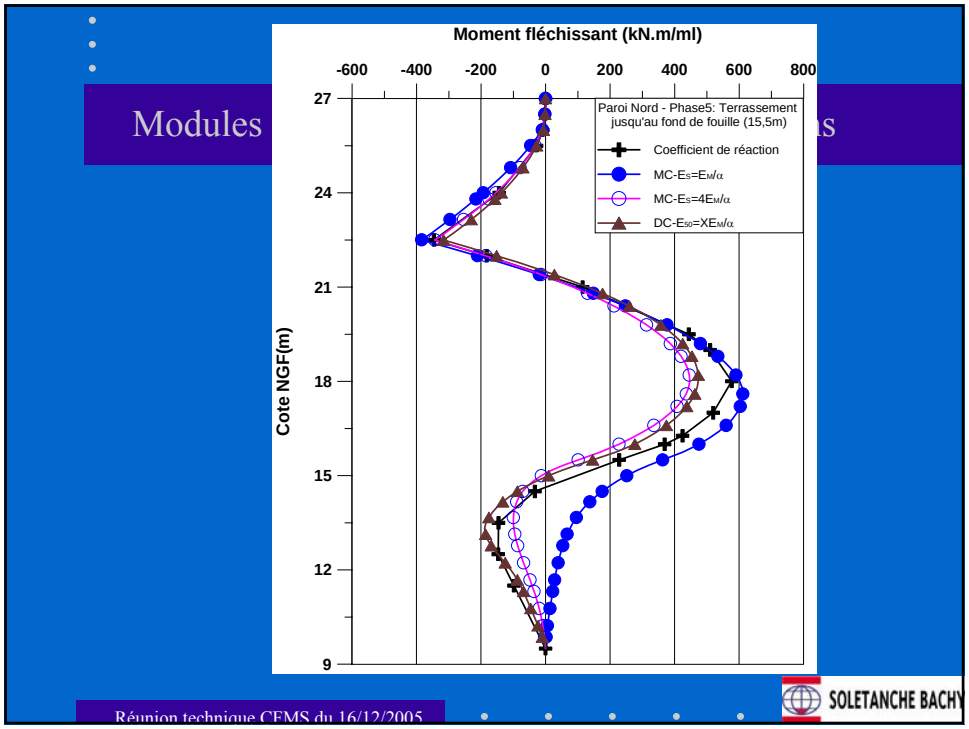
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



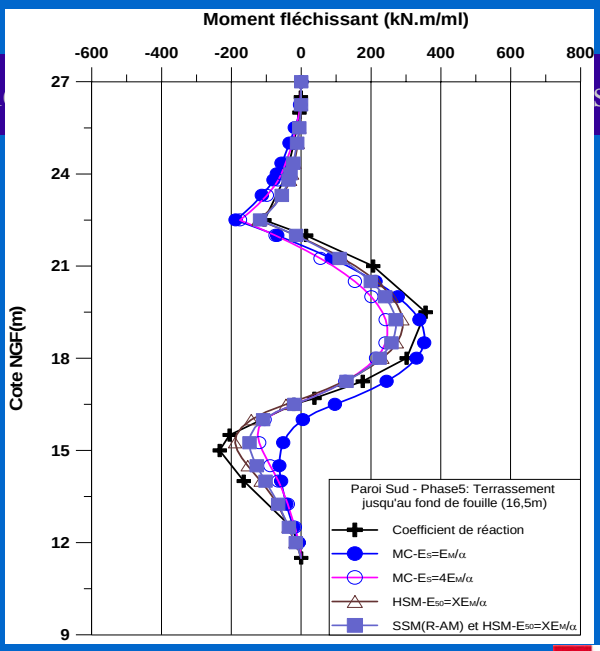


SOLETANCHE BACHY


Moment fléchissant (kN.m/ml)
-600
-400
-200
0
200
400
600
800
27
24
21
18
15
12
9
Cote NGF(m)
Paroi Nord - Phase4: Mise en tension du 2ème lit du tirant
Coefficient de réaction
MC-Es=Ew/α
MC-Es=4Ew/α
DC-E50=XEw/α
Mo
écrans
Réunion technique CFMS du 16/12/2005
SOLETANCHE BACHY

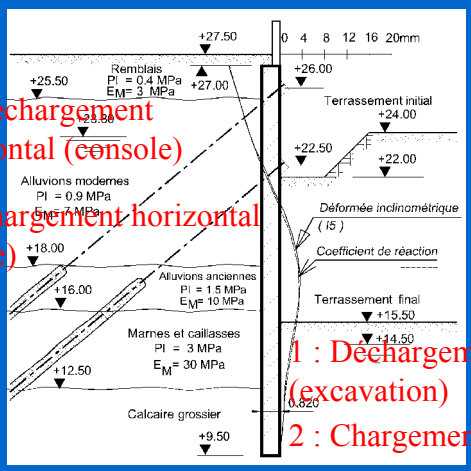

Moment fléchissant (kN.m/ml)
-600
-400
-200
0
200
400
600
800
27
24
21
18
15
12
9
Cote NGF(m)
Paroi Nord - Phase5: Terrassement jusqu'au fond de fouille (15,5m)
Coefficient de réaction
MC-Es=Ew/α
MC-Es=4Ew/α
DC-E50=XEw/α
Modules
ns
Réunion technique CFMS du 16/12/2005
SOLETANCHE BACHY

Modul… …s



SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



1 : Déchargement horizontal (console)

2 : Chargement horizontal (butée)

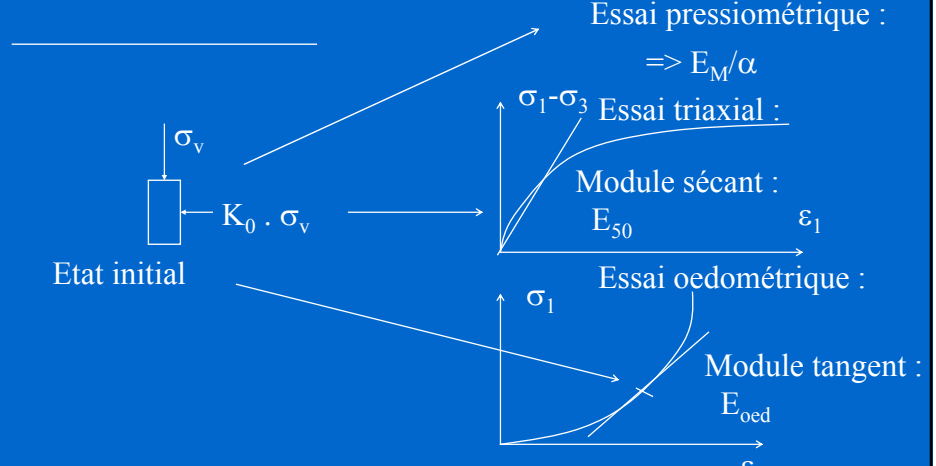
1 : Déchargement vertical (excavation)

2 : Chargement horizontal (butée)

SOLETANCHE BACHY

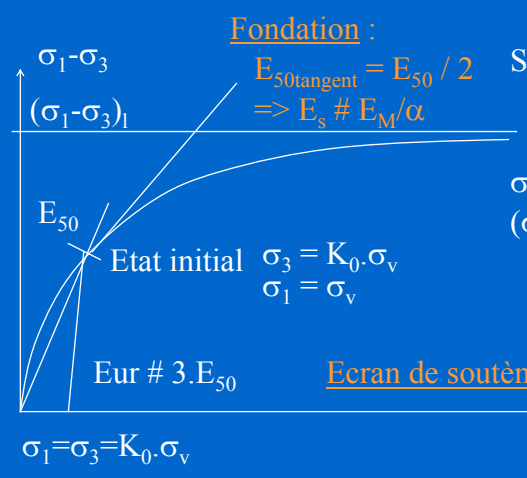
Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans

Signification de E_M/α ?



SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



Fondation :

$E_{50tangent} = E_{50} / 2$

=> E_s # E_M/α

Sol normalement consolidé :

$K_0 = 1-\sin\Phi$

$(\sigma_1-\sigma_3)_0 = \sin\Phi . \sigma_v$

$\sigma_{1l} = \sigma_3 . (1+\sin\Phi) / (1-\sin\Phi)$

$(\sigma_1-\sigma_3)_l = \sigma_3 . 2 . \sin\Phi / (1-\sin\Phi)$

$(\sigma_1-\sigma_3)_l = 2 . \sin\Phi . \sigma_v$

$(\sigma_1-\sigma_3)_0 = (\sigma_1-\sigma_3)_l / 2$

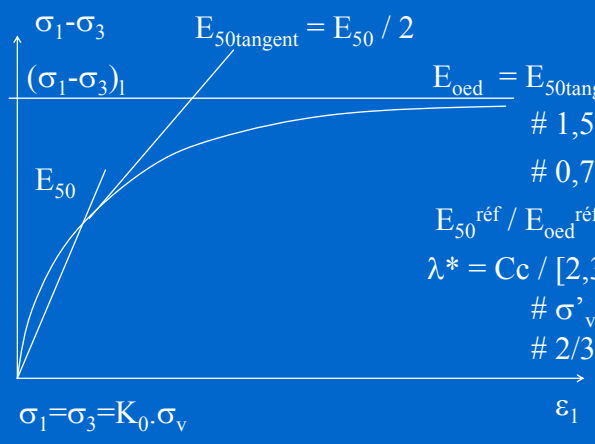
Ecran de soutènement : E_{50} # 2 . E_M/α

E_{ur} # 6 . E_M/α

=> E_s # 4 . E_M/α

SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



$E_{oed} = E_{50tangent} . (1-\nu) / (1+\nu) / (1-2\nu)$

$\# 1,5 . E_{50tangent}$

$\# 0,75 . E_{50}$

$E_{50}^{réf} / E_{oed}^{réf} = E_{50} / E_{oed} . (1/K_0)^m$

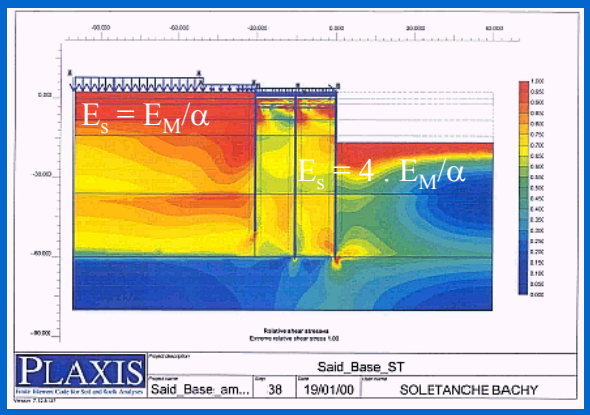
$\lambda^* = Cc / [2,3.(1+e)] = \sigma'_v / E_{oed}$

$\# \sigma'_v / (0,75.E_{50})$

$\# 2/3 . \sigma'_v / (E_M/\alpha)$

SOLETANCHE BACHY

Modules d'élasticité du sol vis-à-vis des écrans



SOLETANCHE BACHY