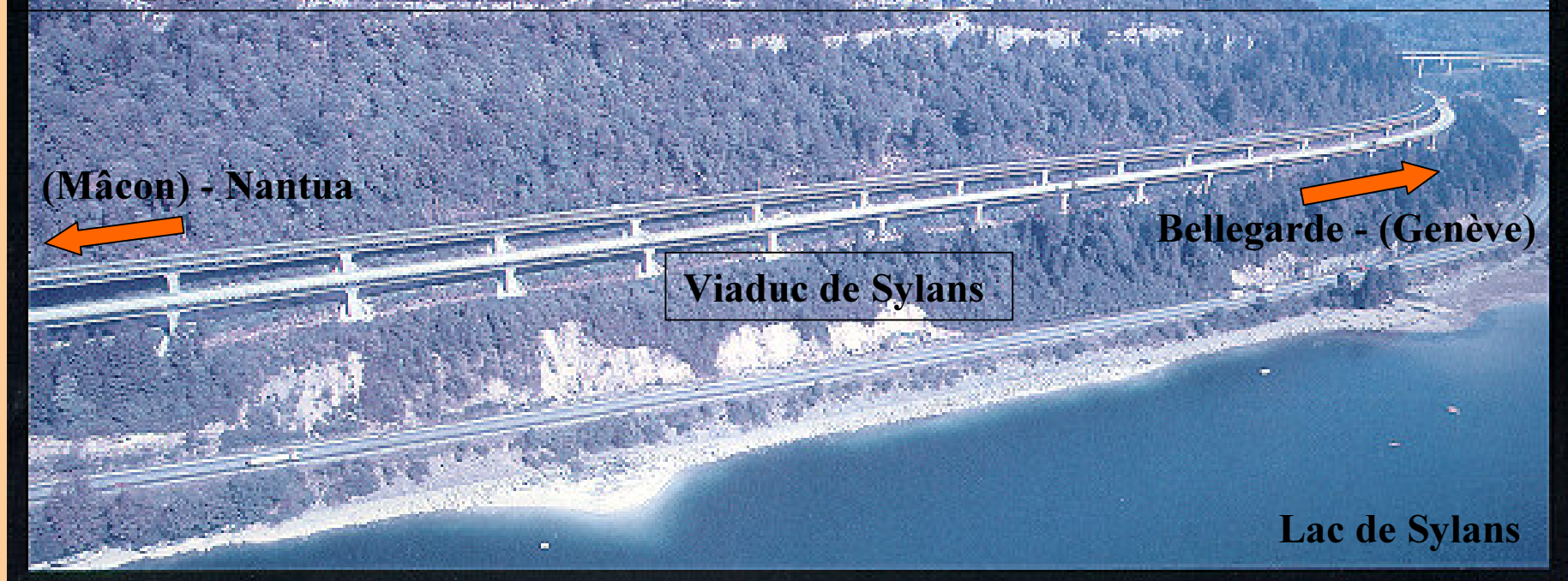


Modélisation numérique de l'action d'un glissement lent sur des fondations d'ouvrages d'art application à un cas d'étude en vraie grandeur.



Laboratoire Sols Solides Structures (3S)

- Pierre FORAY
- Etienne FLAVIGNY



Scetauroute, Département Géotechnique et Matériaux (DGM)

- Yves GUERPILLON
- Luc BOUTONNIER



LCPC / LRPC Clermont Ferrand

- Pierre POUGET
- Roger FRANK



I Contexte de l'étude

II Rappel sur les modélisations physiques

- Essais pressiométriques en cuve
- Essais triaxiaux à faibles contraintes
- Essais en cuve inclinable

III Rappel sur les modélisations numériques

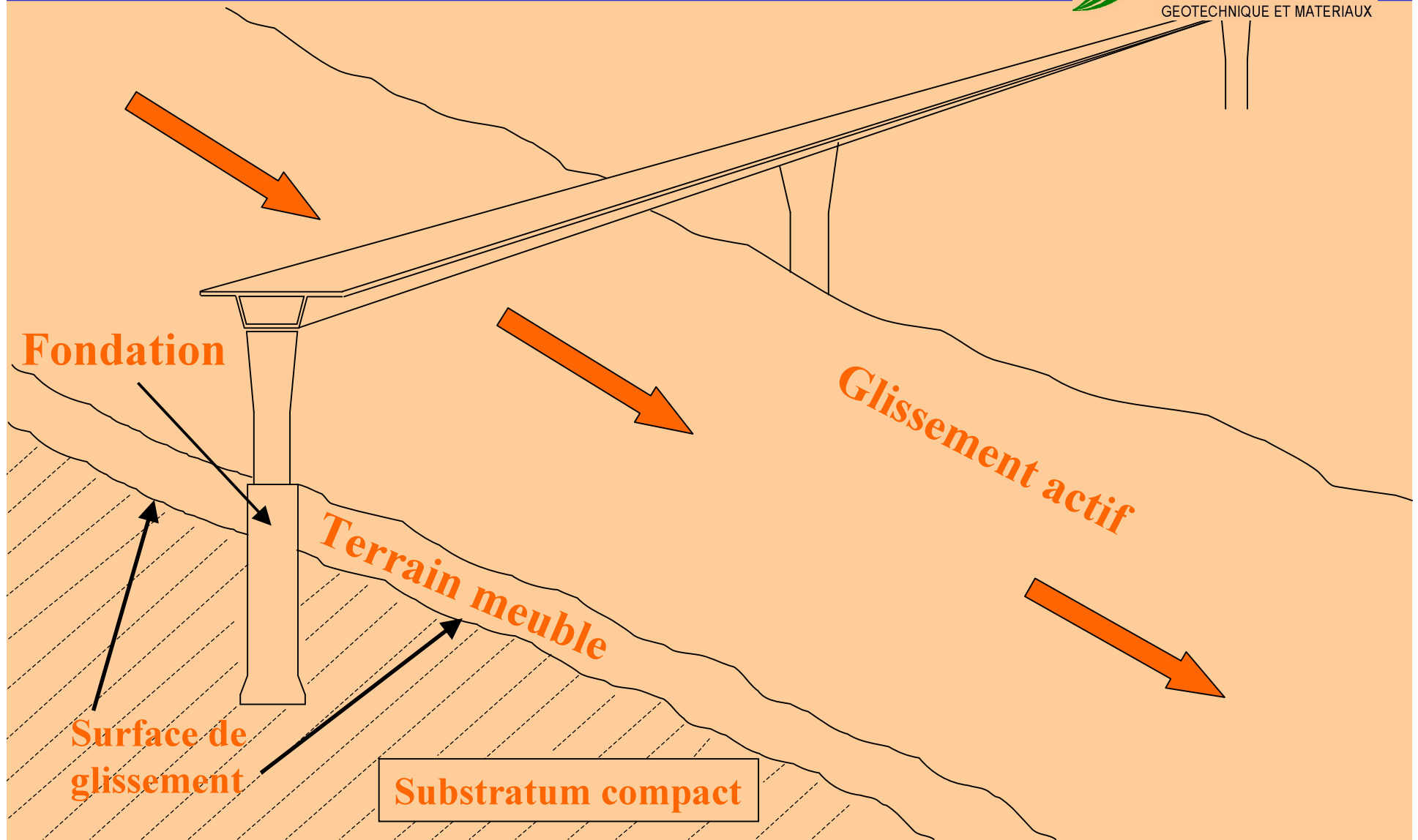
- Simulation des essais pressiométriques
- Simulation des essais triaxiaux
- Simulation des essais en cuve

IV Application de la démarche à l'étude d'un cas réel

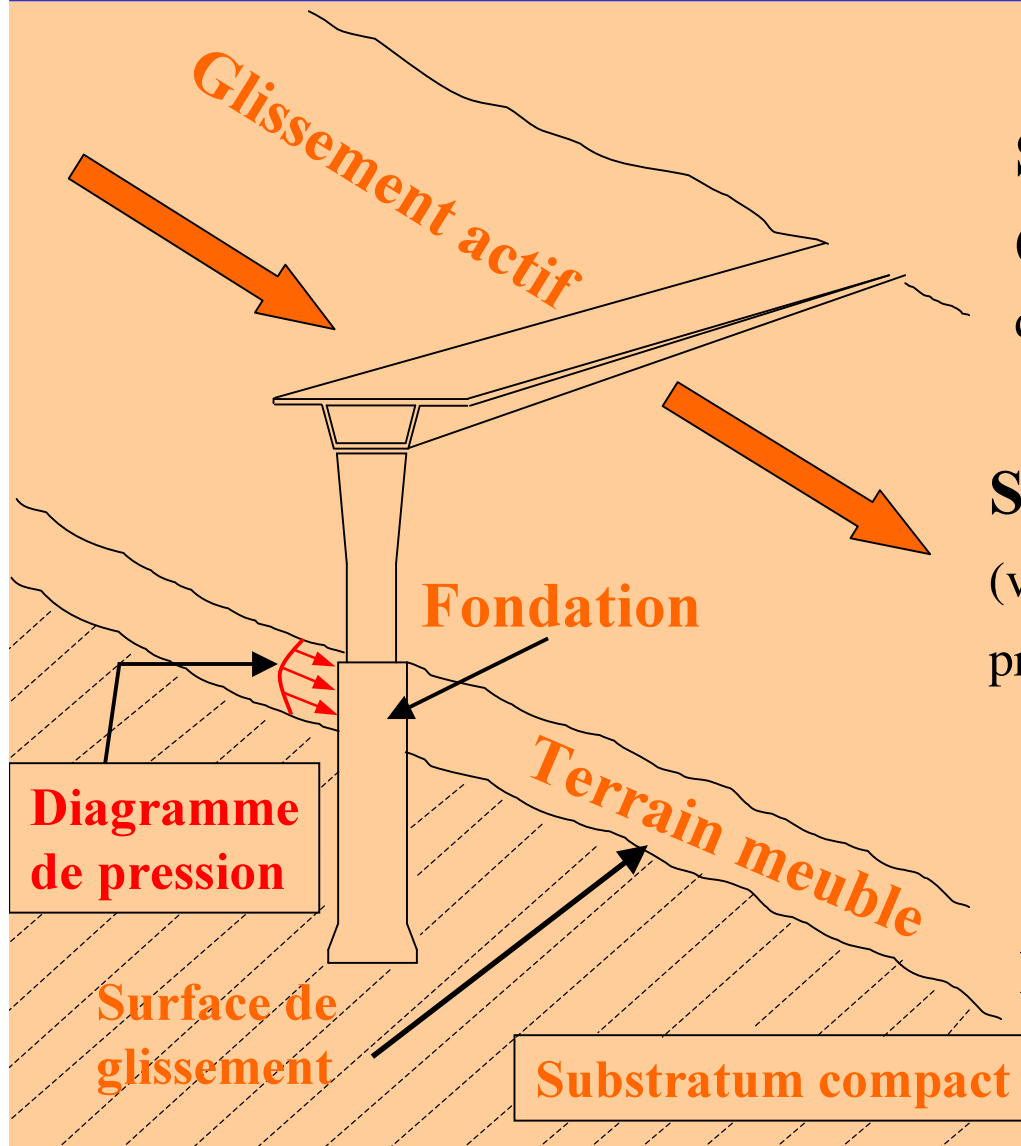
- Le site expérimental de Sallèdes

V Conclusions générales

Contexte de l'étude (1)



Contexte de l'étude (2) : interaction glissement / ouvrage



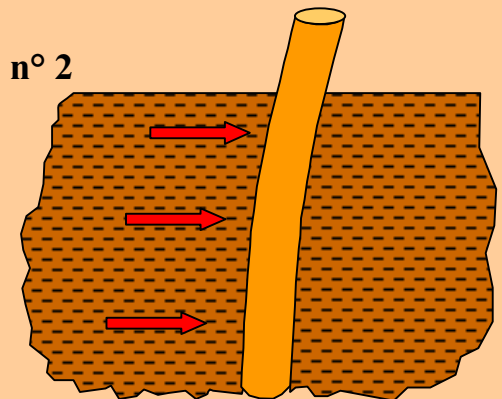
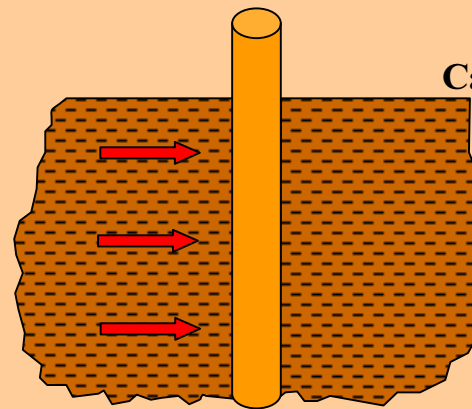
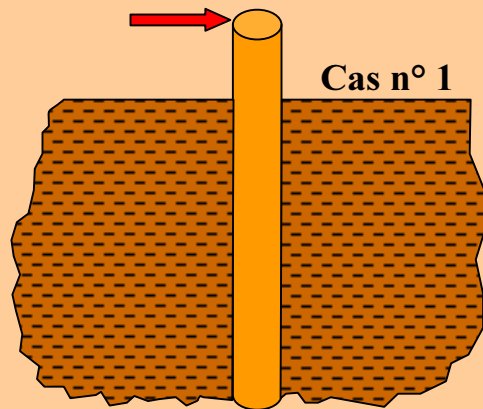
Solution (1) : Stabiliser le versant
(confortements lourds, terrassements,
drainages...)

Solution (2) : Protéger la fondation
(viroles avec espace annulaire, soufflets
protecteurs,...)

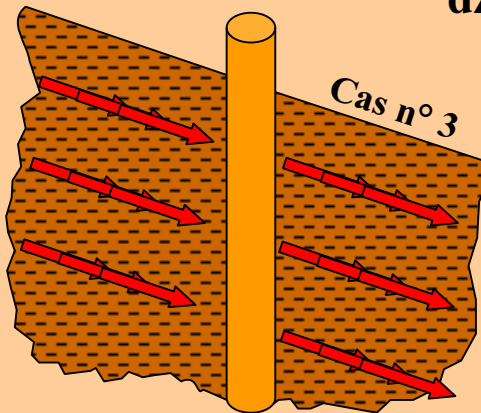
**Solution (3) : Prendre en compte
l'action du glissement sur la pile**

Mécanisme d'interaction sol - obstacle

Solution (3) : Prendre en compte l'action du glissement sur la pile



$$E_{\text{pieu}} \times I_{\text{pieu}} \times \frac{d^4 y}{dz^4} + B \times p[y(z) - g(z), z] = 0$$

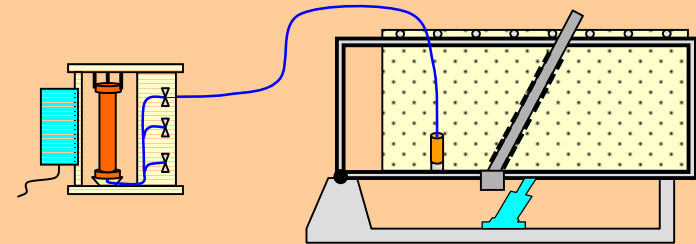


$$E_{\text{pieu}} \times I_{\text{pieu}} \times \frac{d^4 Y}{dz^4} + P_u = 0$$

- **Z** : cote
- **y** : déplacement du pieu
- **g** : déplacement libre du sol
- **B** : diamètre d'interaction
- **E_{pieu}** : module d'Young du pieu
- **I_{pieu}** : inertie du pieu
- **p** : pression de réaction ($P=p.B$)

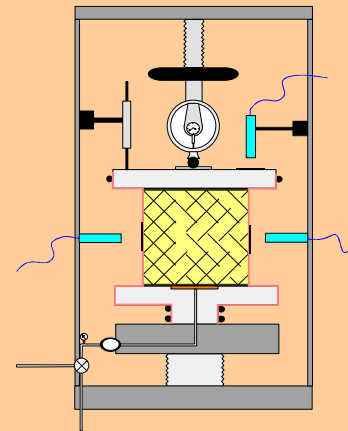
Essais pressiométriques

(Identification des paramètres géomécaniques)



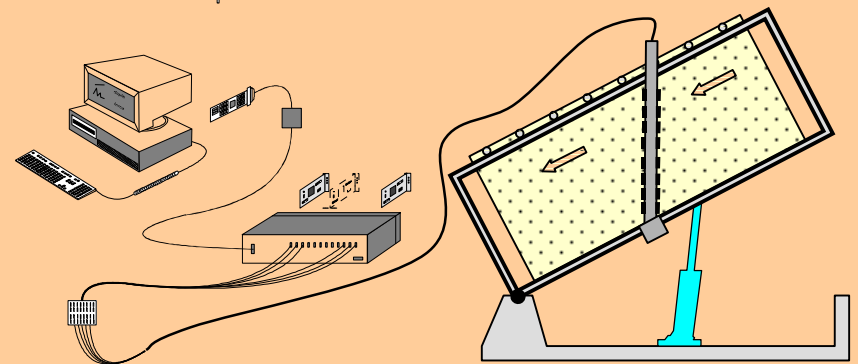
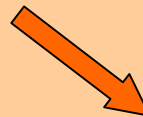
Essais triaxiaux

(Identification des paramètres géomécaniques)

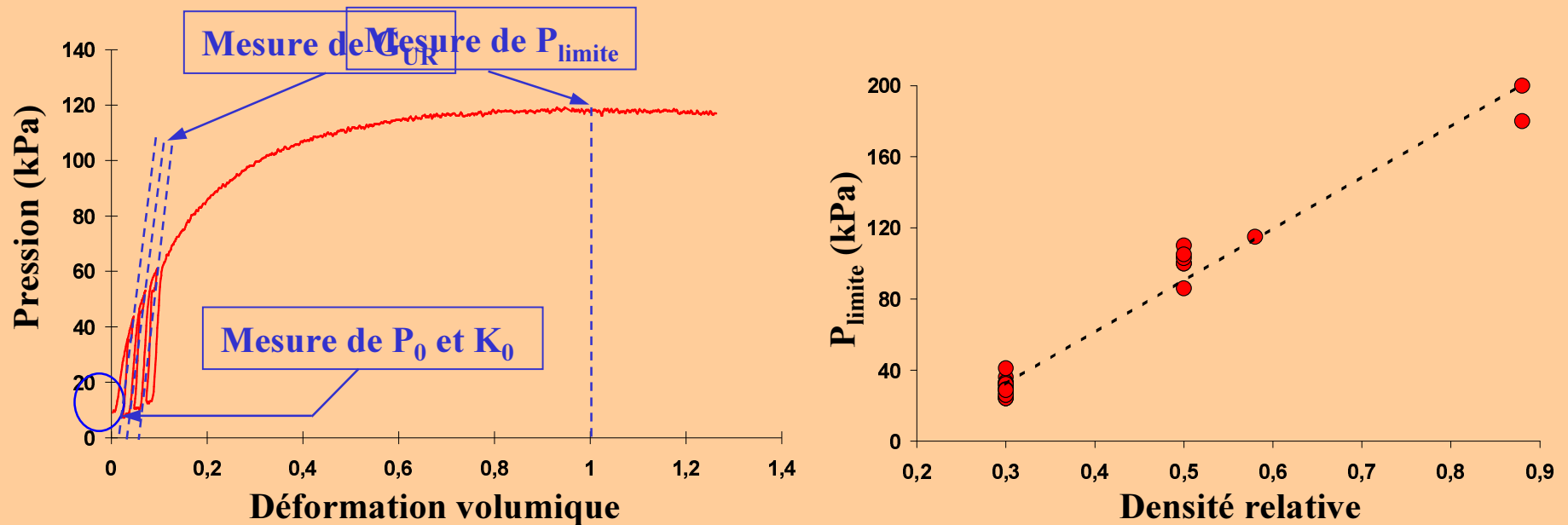


Essais sur cuve

(banque de données pour l'outil numérique)



Essais pressiométriques



40 essais préssiométriques, 4 densités

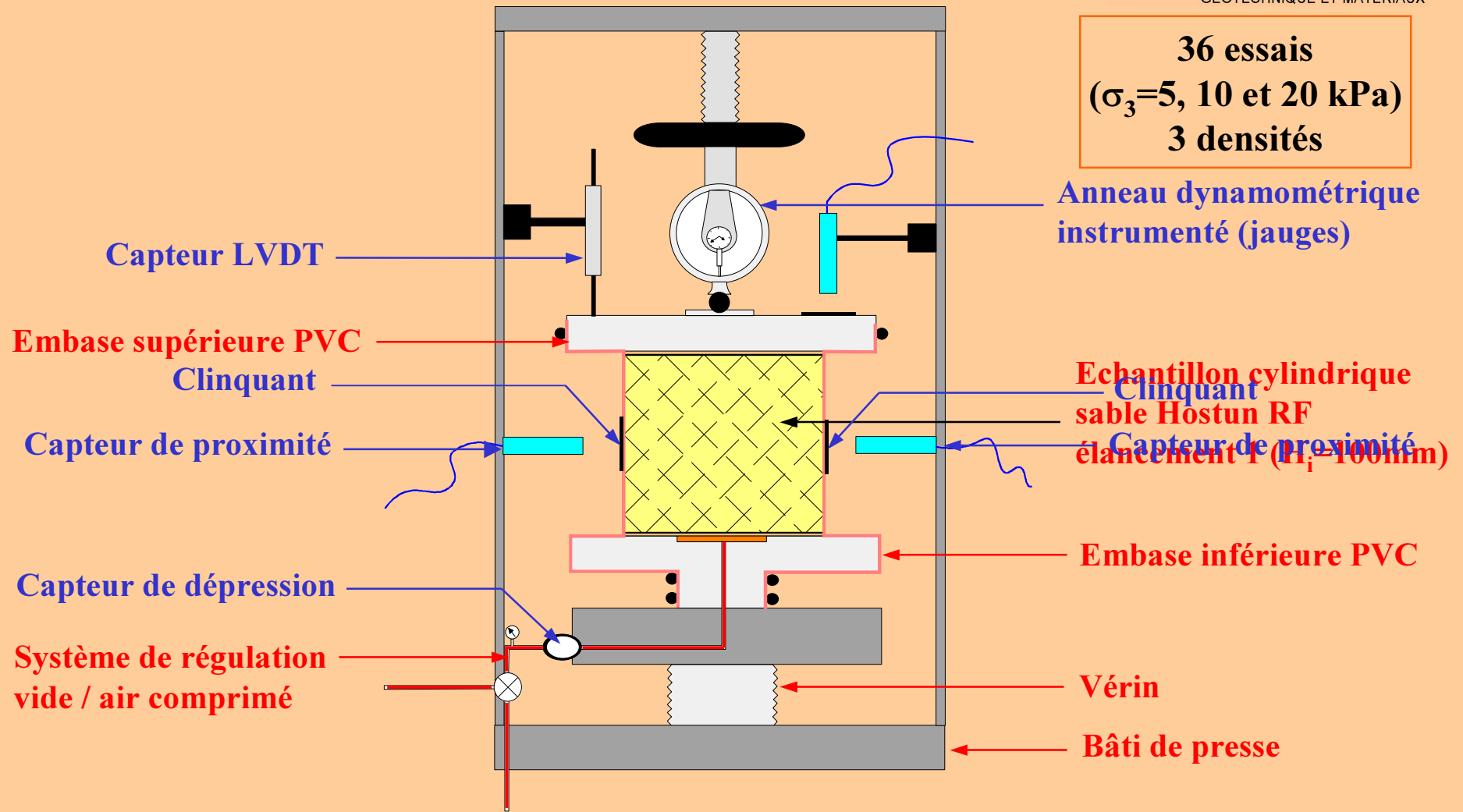
Massif	$D_{relative}$	K_0	G_{UR} ou G_{max} (kPa)	$E_{pressio}$ ou E_{UR} (kPa)	P_{limite} (kPa)
Lâche	0.3	0.4	250-600	600-1500	25-32
Intermédiaire	0.5	1.0	800-1200	2000-3200	95-105
Intermédiaire +	0.6-0.7	1.1	2500	6500	120-130
dense	0.88	1.25	3000-3500	8000-9000	180-200

P_{limite} en pente (kPa)

40

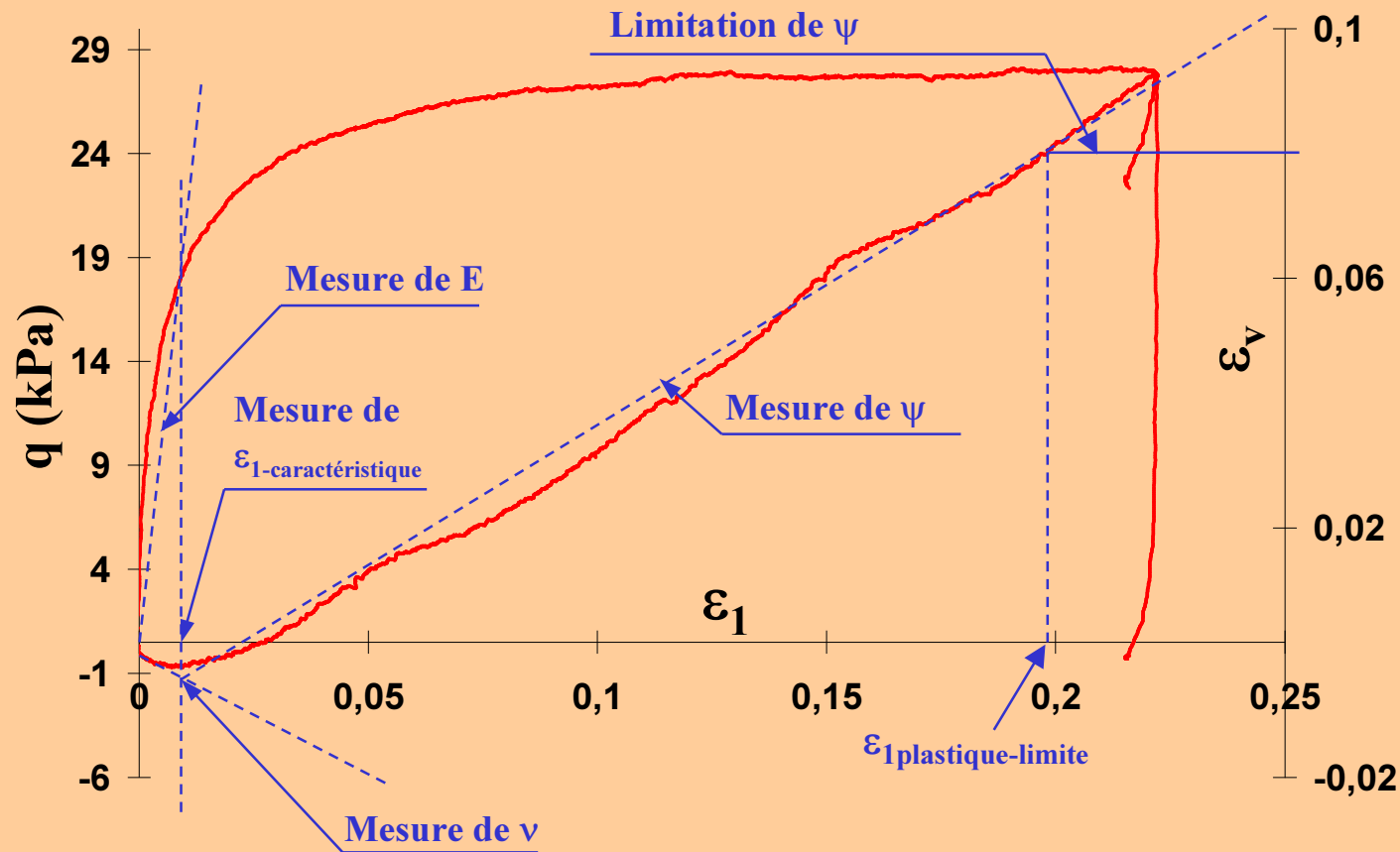
Essais triaxiaux (1)

36 essais
($\sigma_3=5, 10$ et 20 kPa)
3 densités

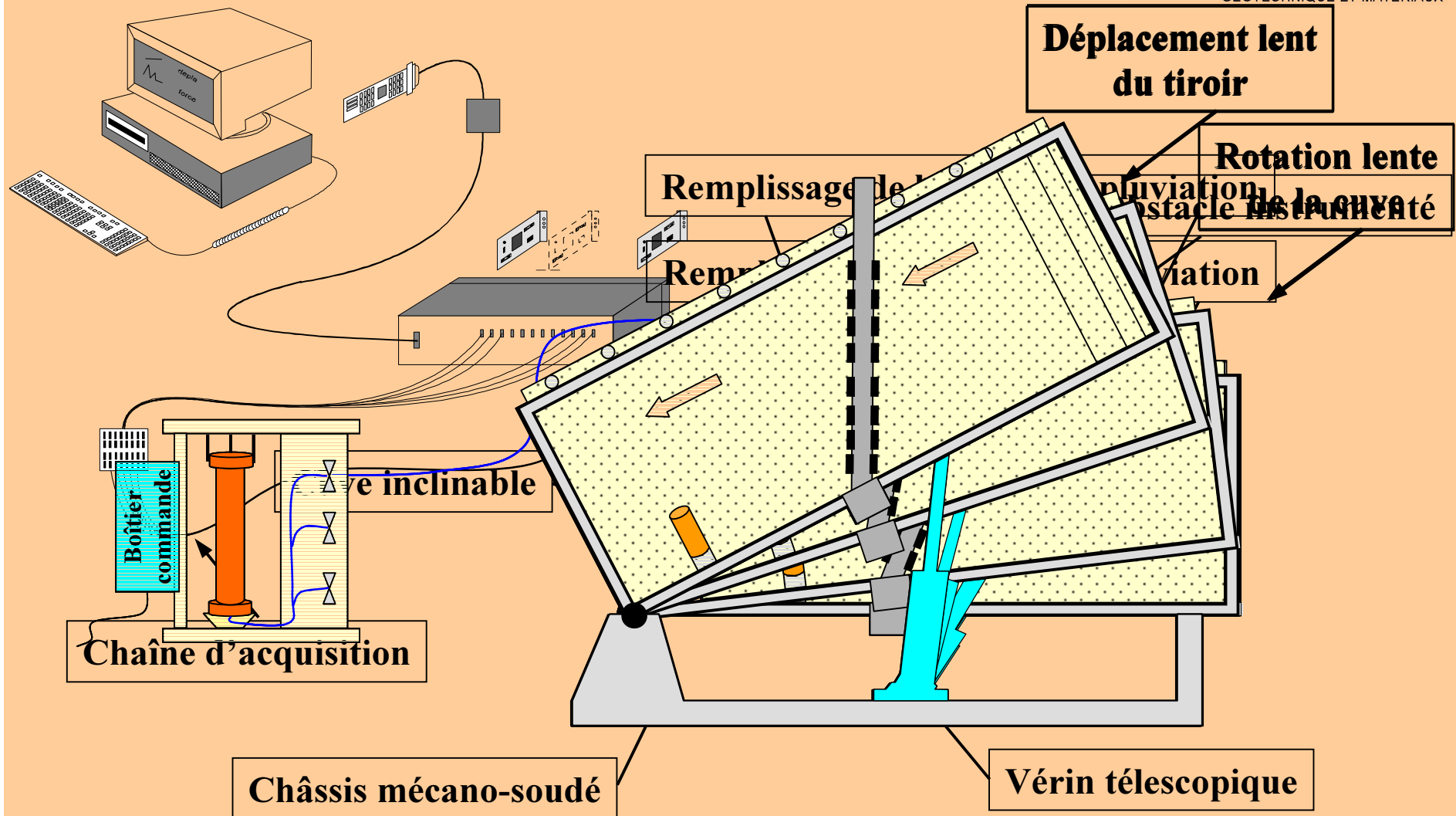


- **Montage et mesure**

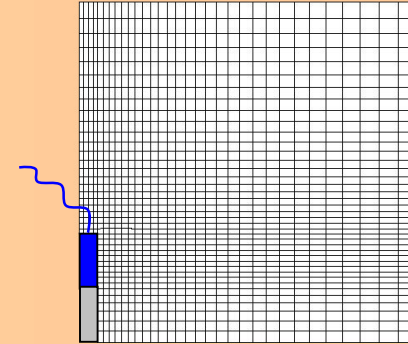
- Mesure systématique des paramètres sur les courbes $q(\varepsilon_1)$ et $\varepsilon_v(\varepsilon_1)$



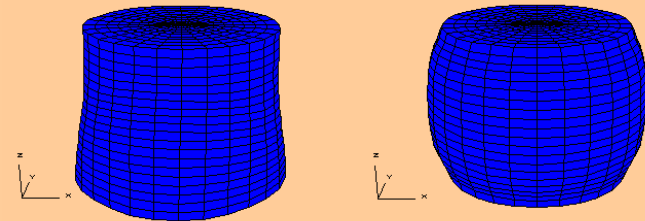
Dispositif expérimental de cuve inclinable



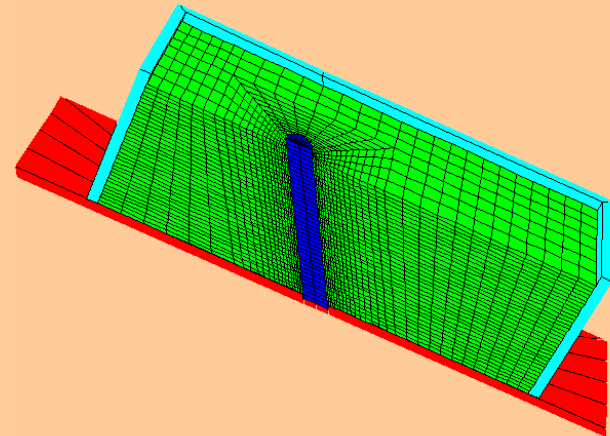
Simulations pressiométriques



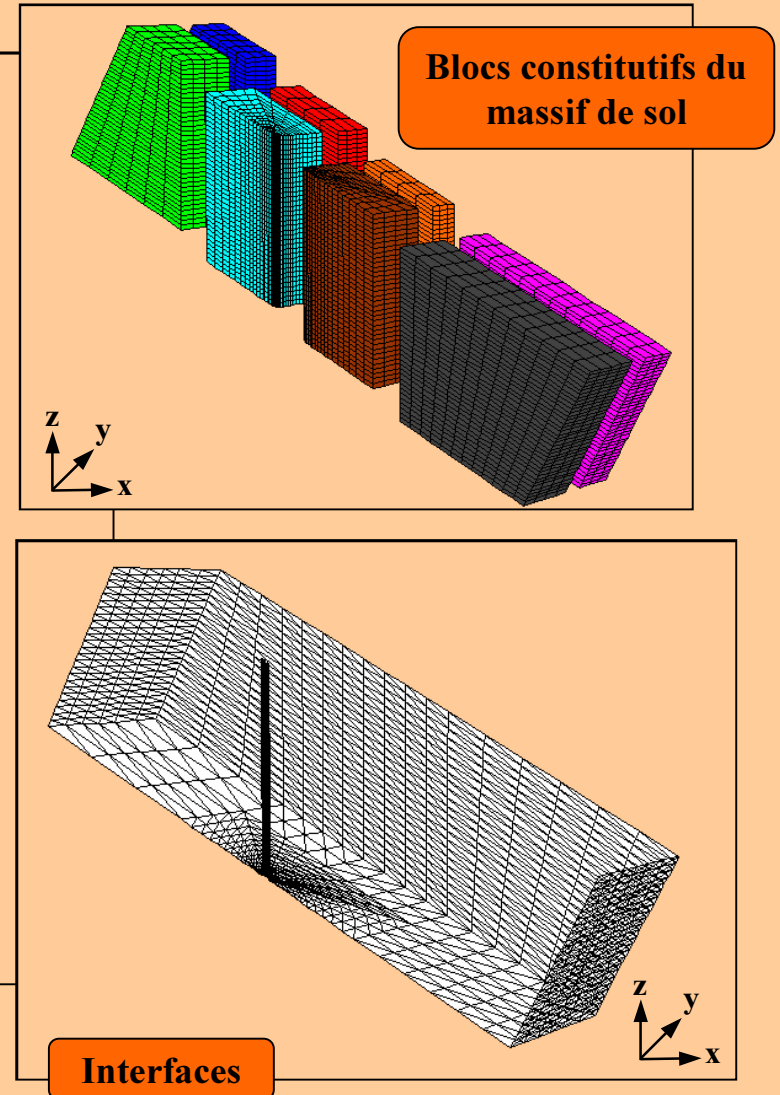
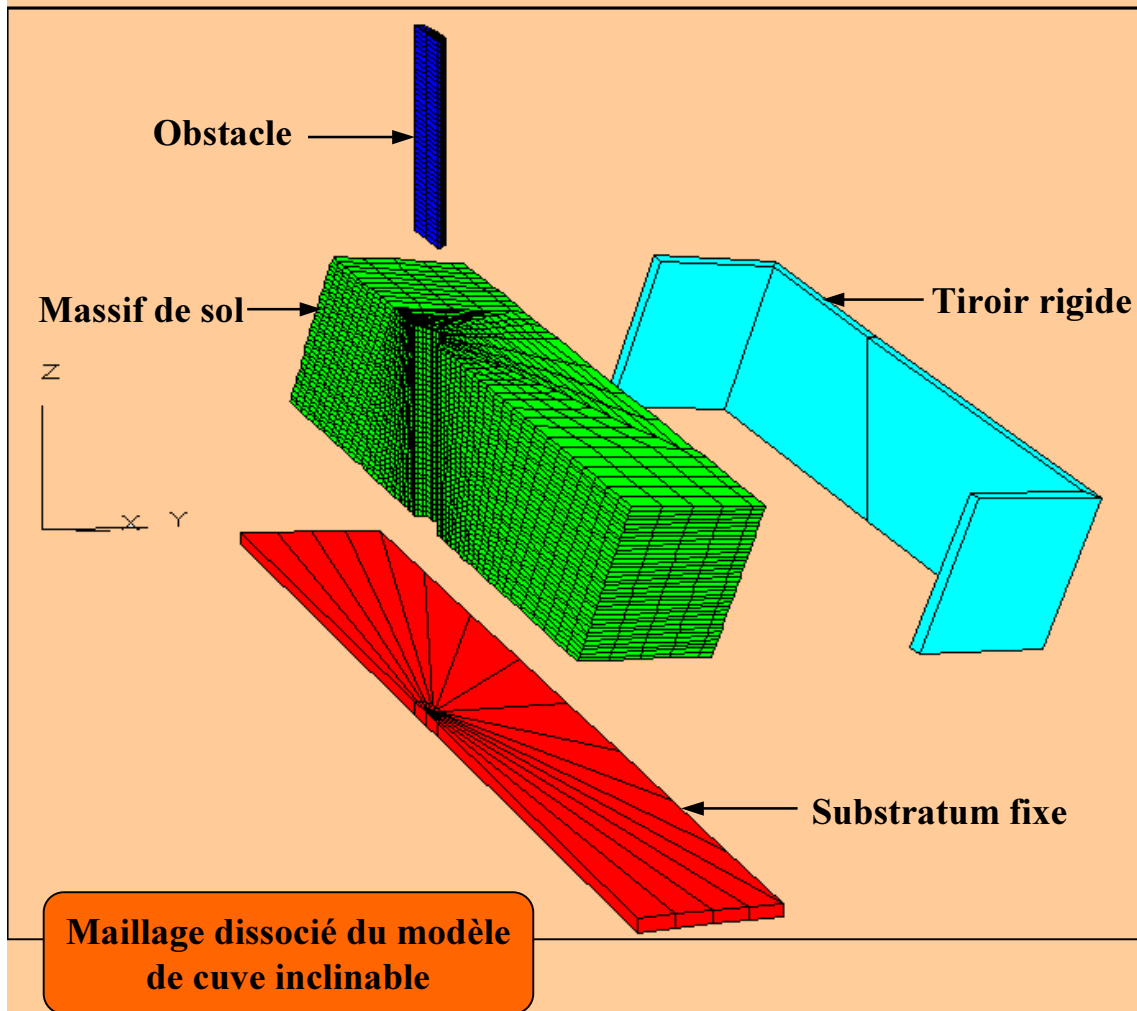
Simulations triaxiales



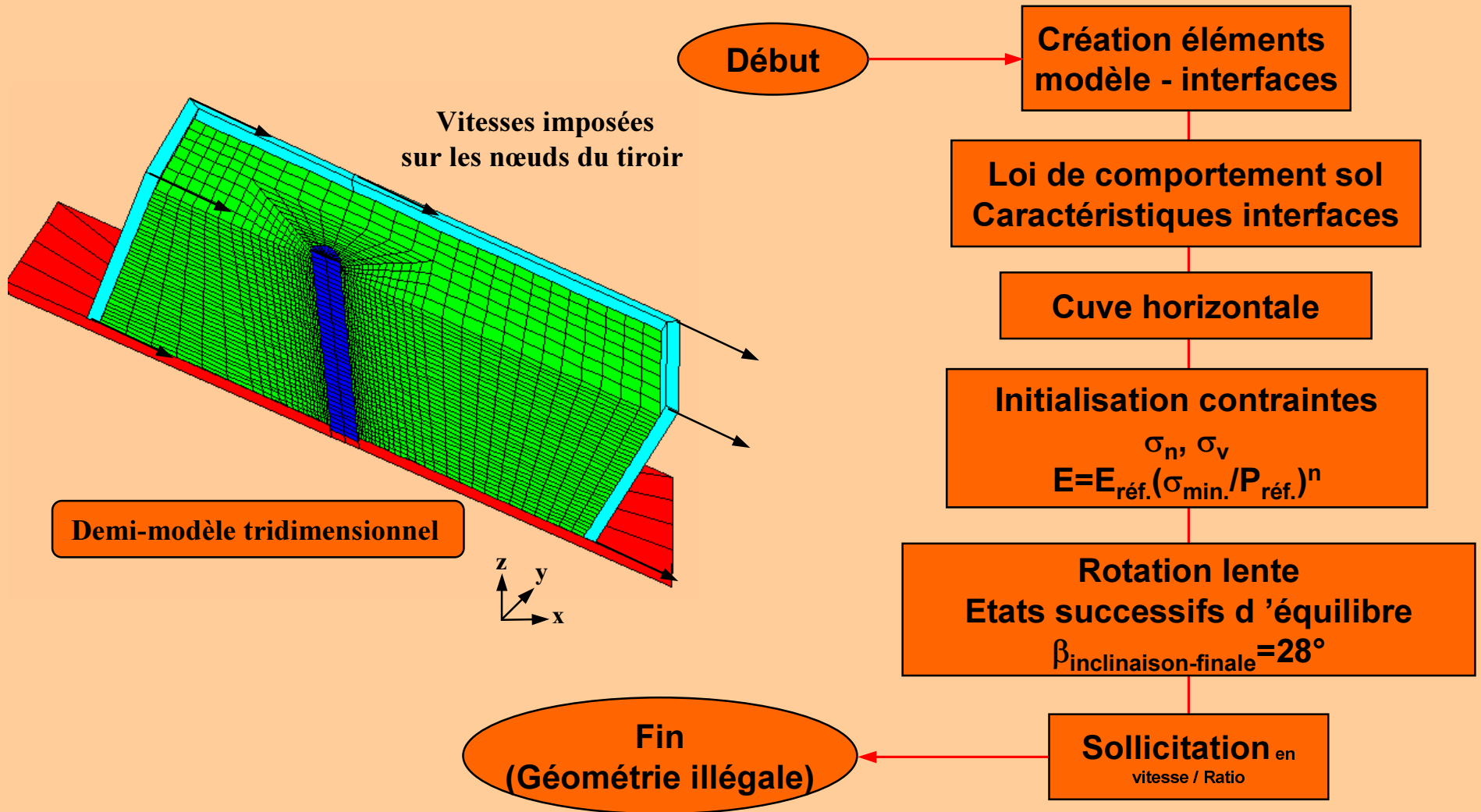
Simulations des essais en cuve

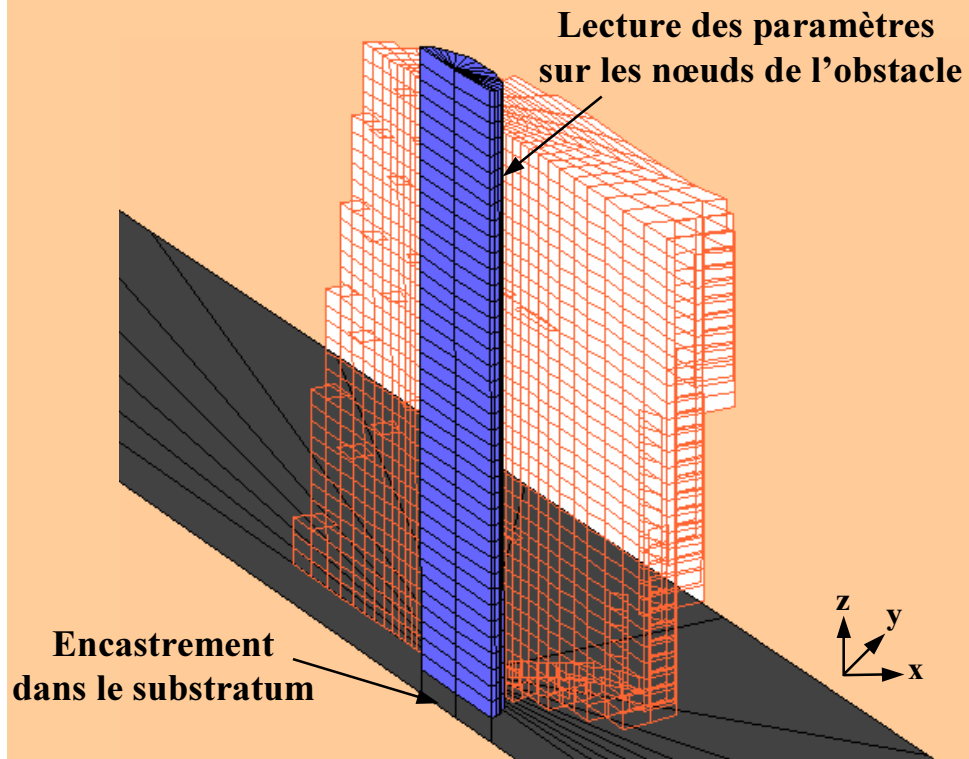


Flac^{3D}, Le Modèle tridimensionnel



Modélisation 3D, déroulement de la simulation

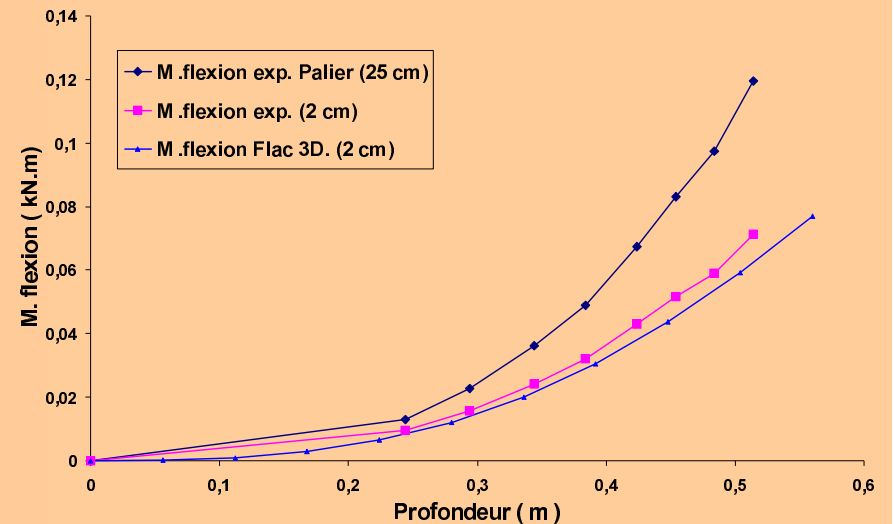




Estimation des contraintes, Efforts , Moments

Etude comparative :

- M.flexion expérimental & numérique



Exploitation des résultats numériques :

- diagramme de pression $P(z)$
- courbe de réaction $P(Y)$

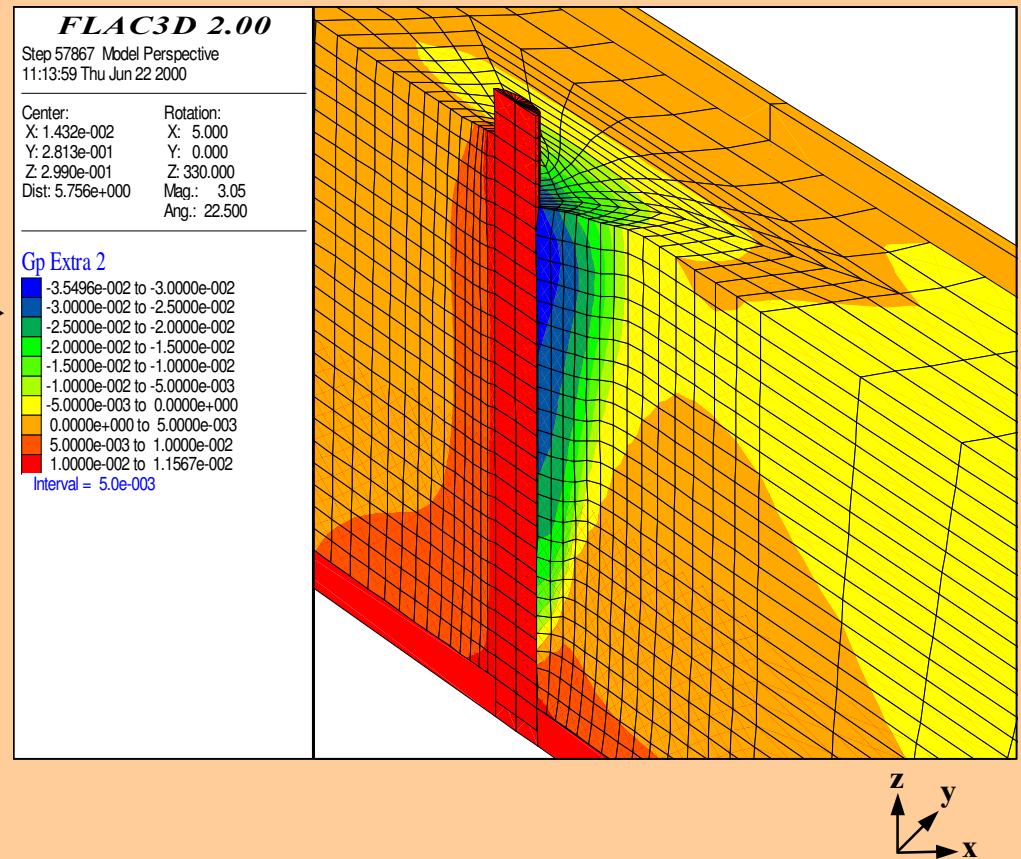
Modélisation 3D, ensemble de l'étude

Observation des mêmes
phénomènes de surface :

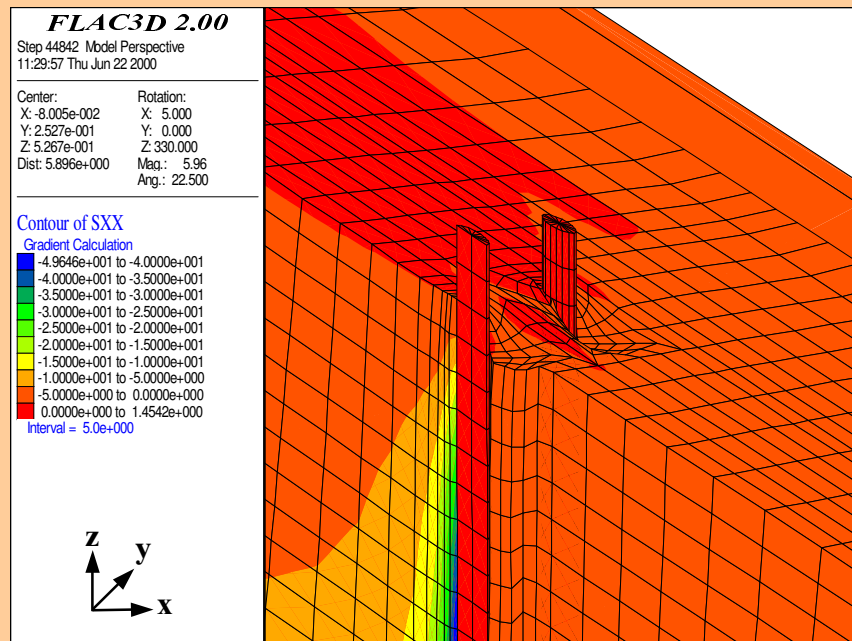
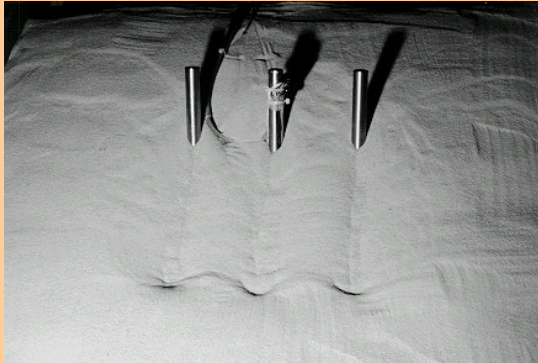


Différents tests menés sur :

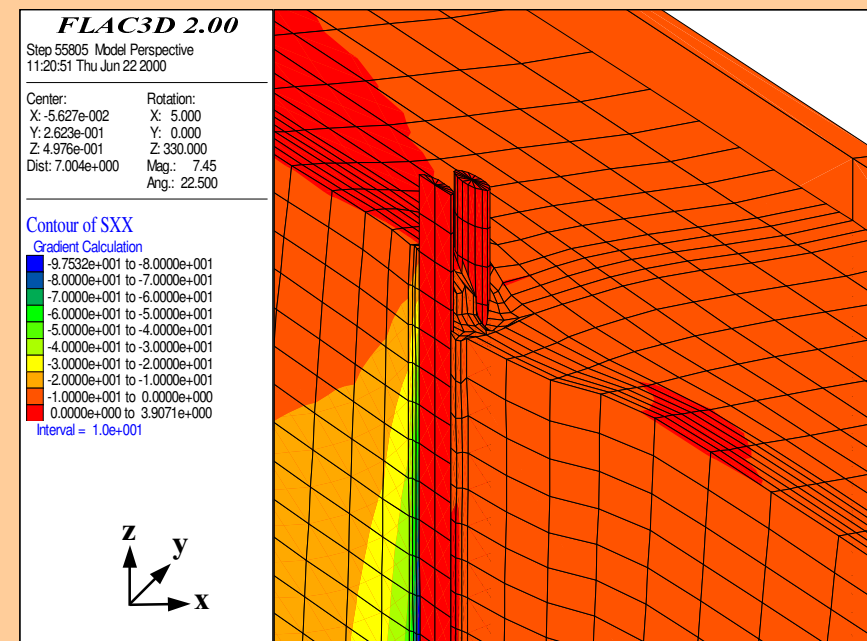
- densité du matériau
- géométrie, taille, rigidité, rugosité
- Effets de K_0 , E , c , ϕ , ψ
- Influence de la loi de comportement



Modélisation 3D, ensemble de l'étude

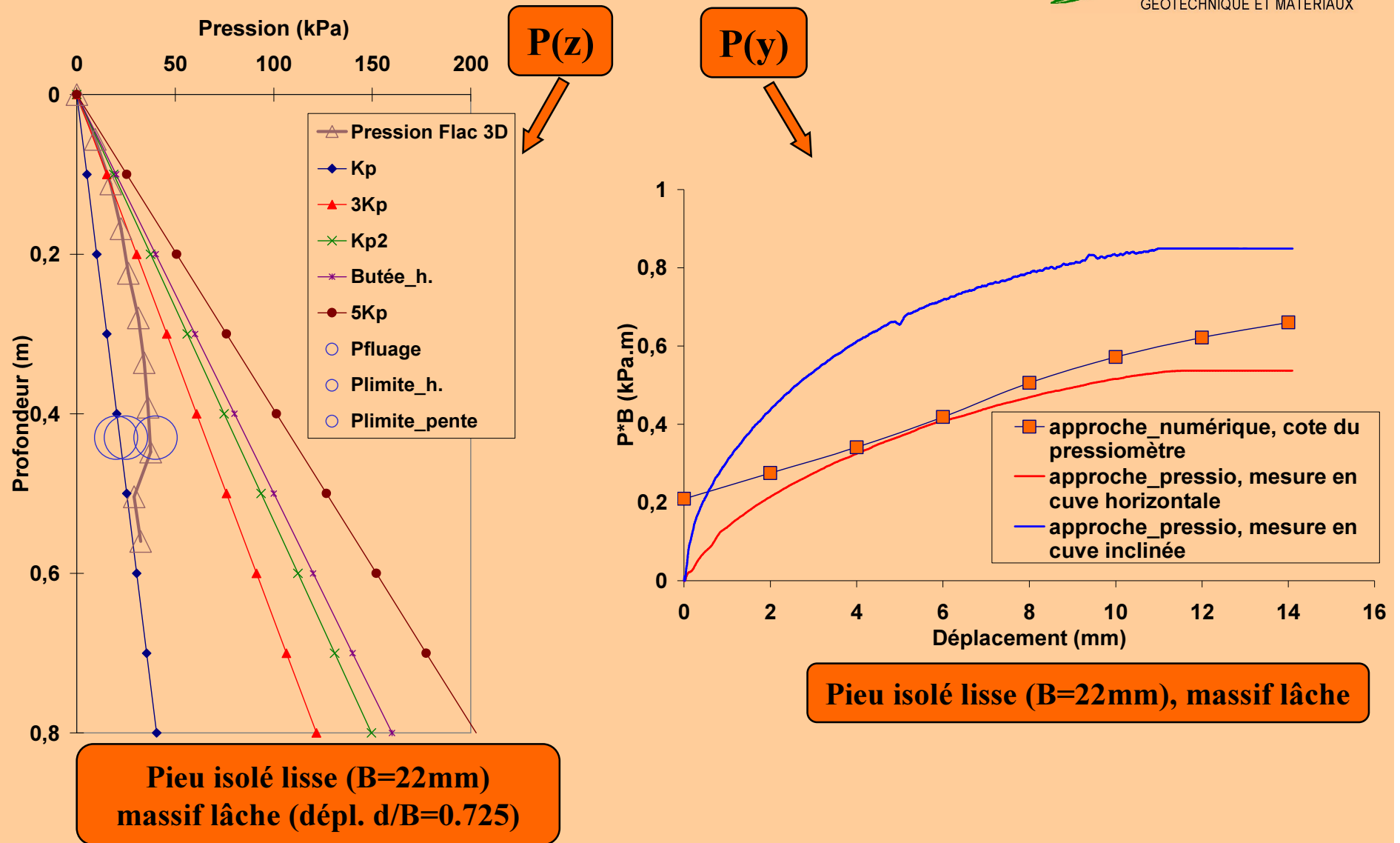


Entraxe 4B



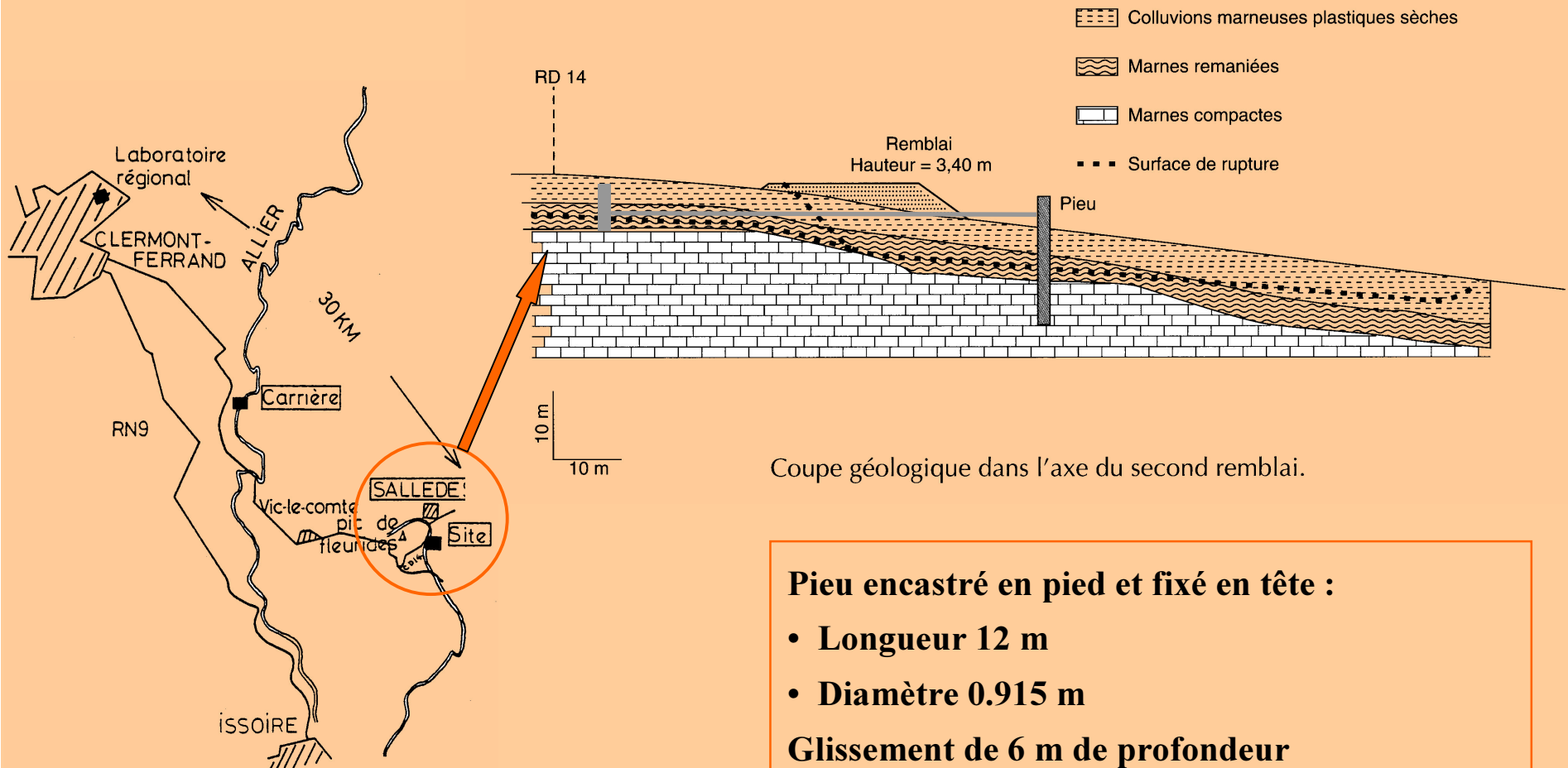
Entraxe 2B

Analyse comparative $P_{numérique}$, P_{limite} et P_{ultime}



Le site expérimental de Sallèdes (1)

- Description géographique et géologique du site



Description géotechnique du site et paramètres retenus

- Nombreux sondages
- Essais pressiométriques (Ménard, P.A.F.)



Remblai ($H_{\text{remblai}} = 3.4\text{m}$):

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$, $c' = 0 \text{ kPa}$, $\phi' = 45^\circ$

couche de surface (0 - 3m) :

$\gamma = 17.0 \text{ kN/m}^3$, $c' = 20 \text{ kPa}$, $\phi' = 21^\circ$

couche profonde (3 - 6m) :

$\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$, $c' = 15 \text{ kPa}$, $\phi' = 25^\circ$

couche inférieure substratum :

interface de glissement $\phi' = 9^\circ$

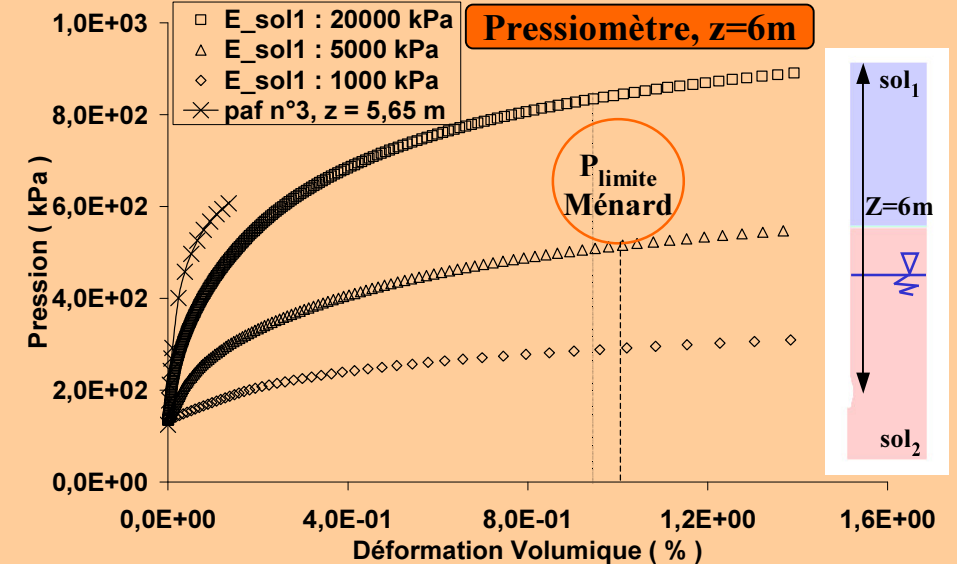
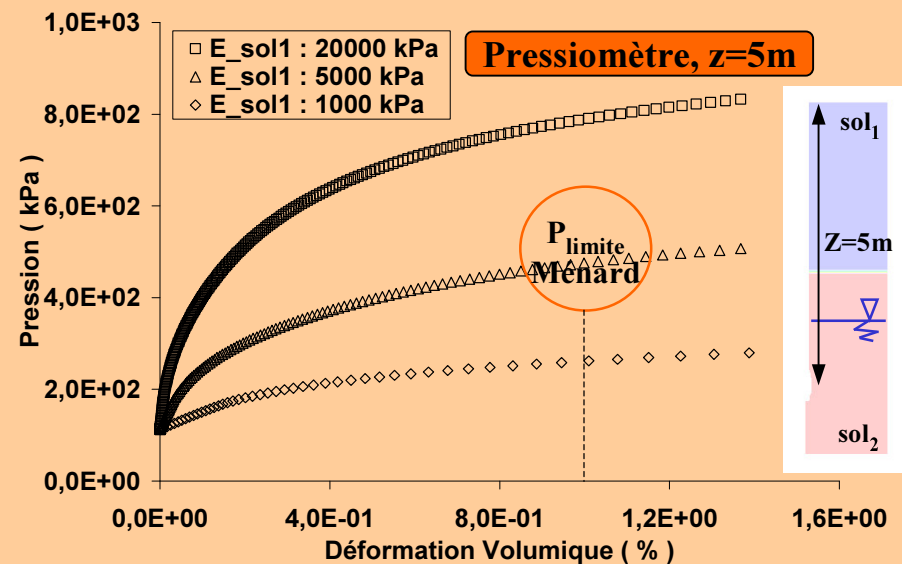
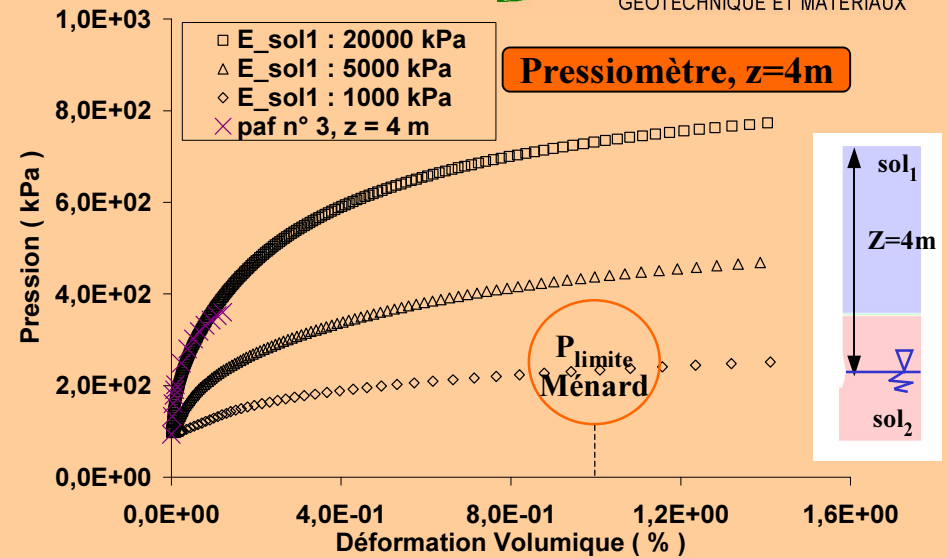
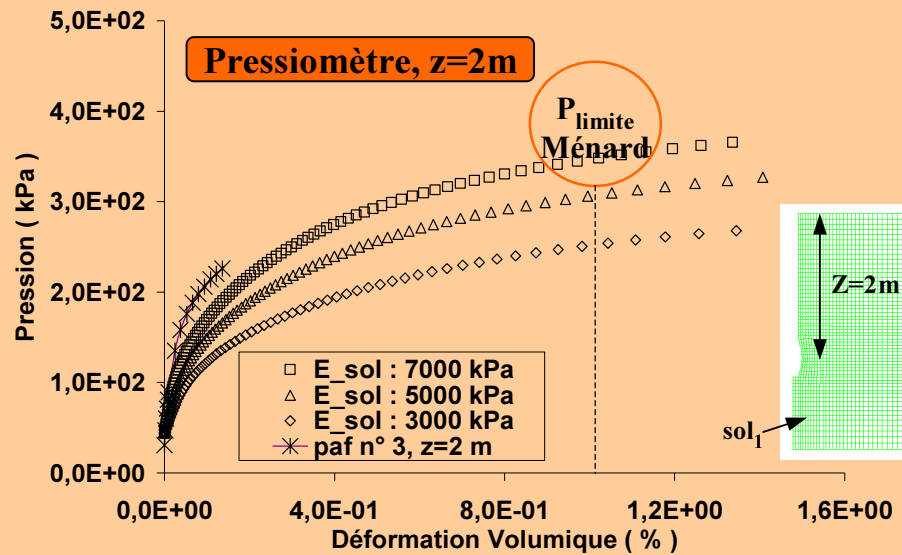
- Mesures inclinométriques
- Instrumentation du pieu



**Construction de courbes
Pression-Déplacement à partir
des mesures expérimentales**

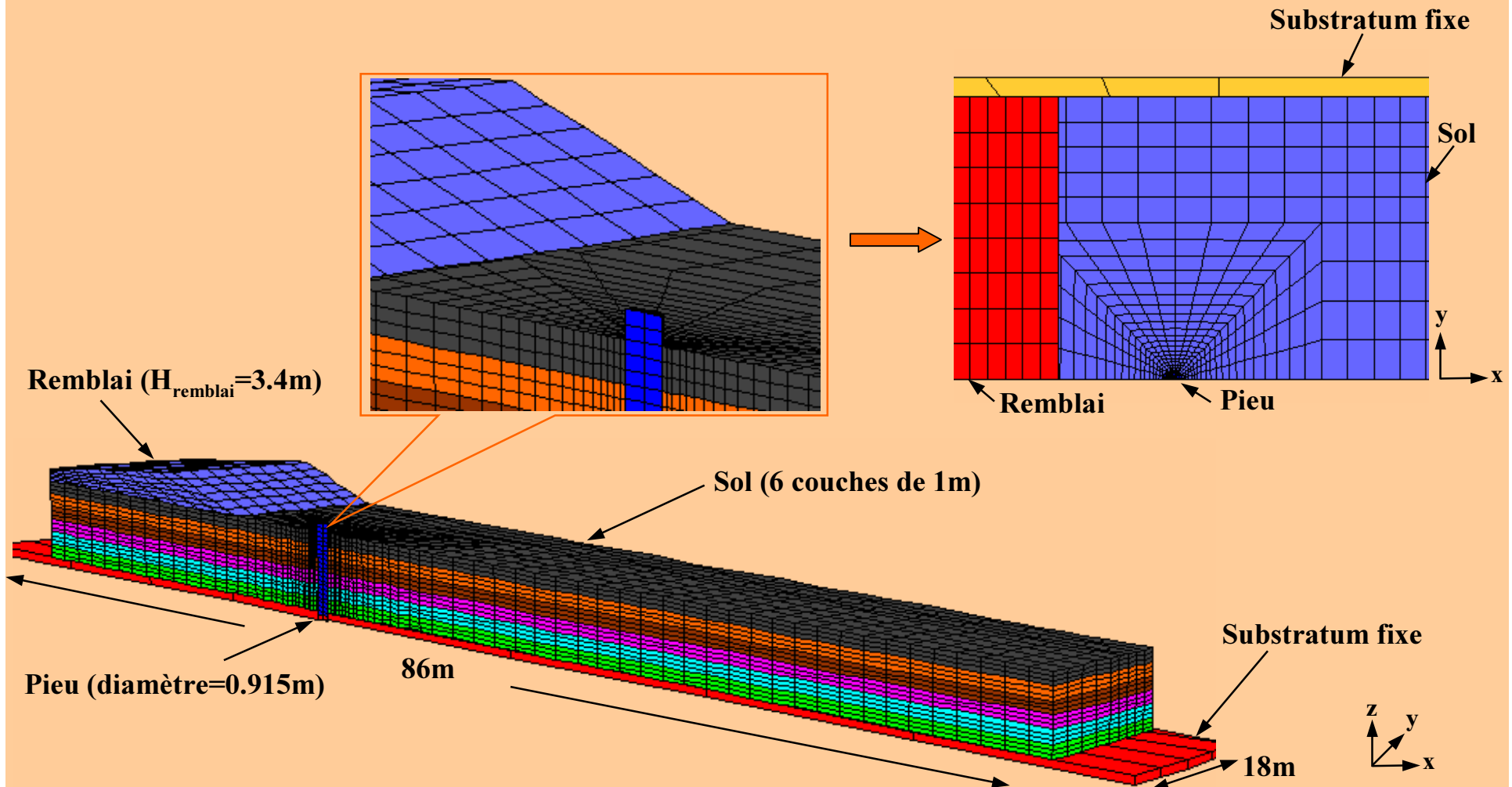
Le site expérimental de Sallèdes (3)

Etape 1 : Simulations pressiométriques

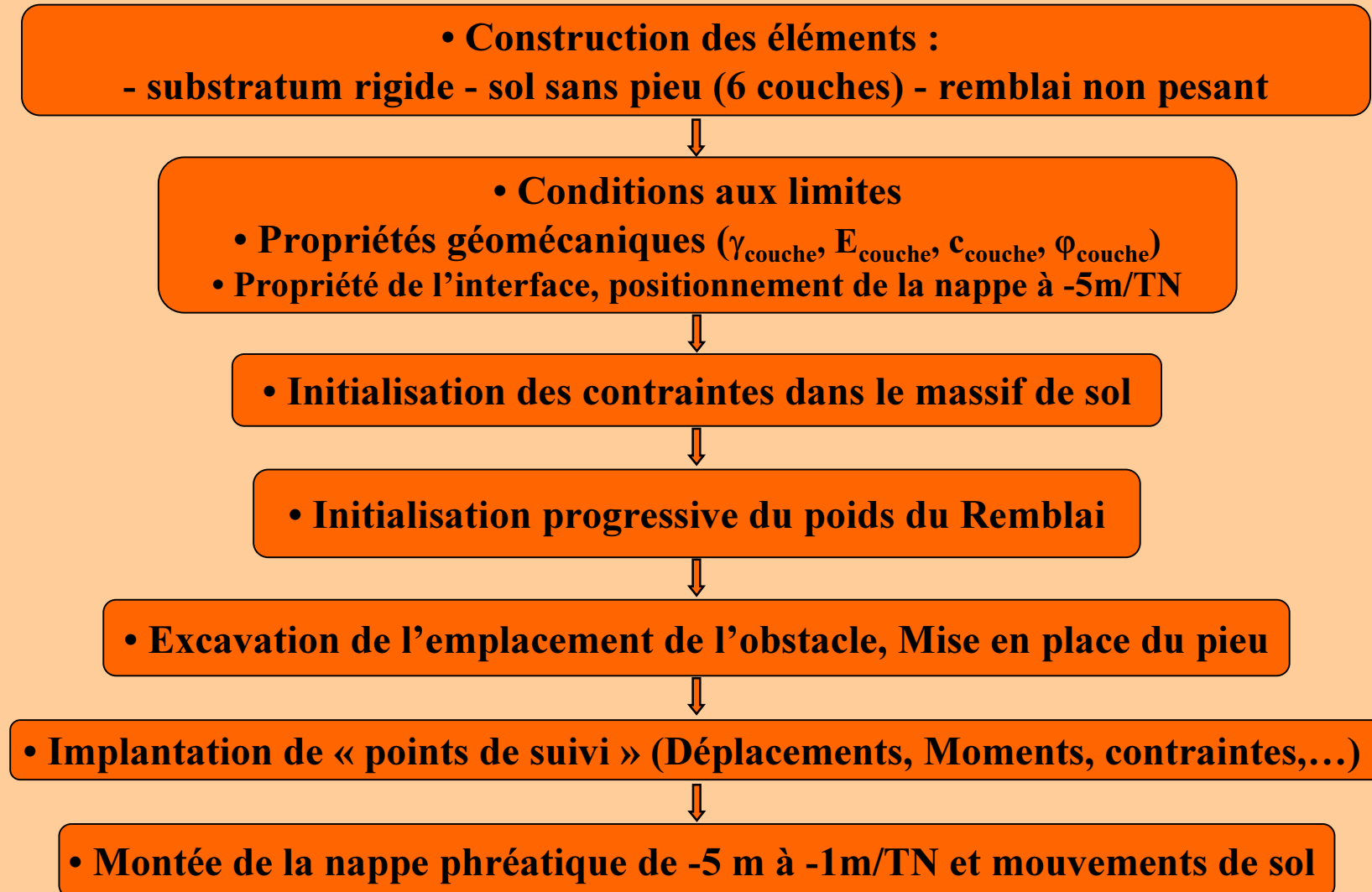


Le site expérimental de Sallèdes (4)

Etape 2 : Modélisation 3D avec Flac^{3D}



Le site expérimental de Sallèdes (5) organigramme



Le site expérimental de Sallèdes (6)

**Vues des contraintes horizontales
(déplacement global > 1 rayon)**

FLAC3D 2.00

Step 60788 Model Perspective
18:34:33 Sun Jun 18 2000

Center: X: 1.894e+000 Y: 1.066e+000 Z: 6.258e+000
Rotation: X: 20.000 Y: 0.000 Z: 330.000
Dist: 2.924e+002 Mag.: 7.45 Ang.: 22.500

Contour of SXX

Gradient Calculation

-8.9444e+002 to -7.0000e+002
-7.0000e+002 to -6.0000e+002
-6.0000e+002 to -5.0000e+002
-5.0000e+002 to -4.0000e+002
-4.0000e+002 to -3.0000e+002
-3.0000e+002 to -2.0000e+002
-2.0000e+002 to -1.0000e+002
-1.0000e+002 to 0.0000e+000
0.0000e+000 to 4.2163e-001
Interval = 1.0e+002

Block Group

remblai

Scetauroute DGM
Laboratoire 3S

FLAC3D 2.00
Step 60788 Model Projection
18:24:43 Sun Jun 18 2000

Center: X: 1.754e-001 Y: 6.62e-001 Z: 1.01e-001
Rotation: X: 90.000 Y: 0.000 Z: 0.000
Dist: 2.783e+002 Size: 1.9

Origin: X: 0.000e+000 Y: 0.000e+000 Z: 0.000e+000
Plane No: X: 1.218e+000 Y: 0.000e+000 Z: 0.000e+000

FLAC3D 2.00

Step 60788 Model Perspective
18:12:56 Sun Jun 18 2000

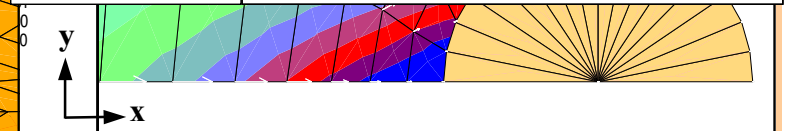
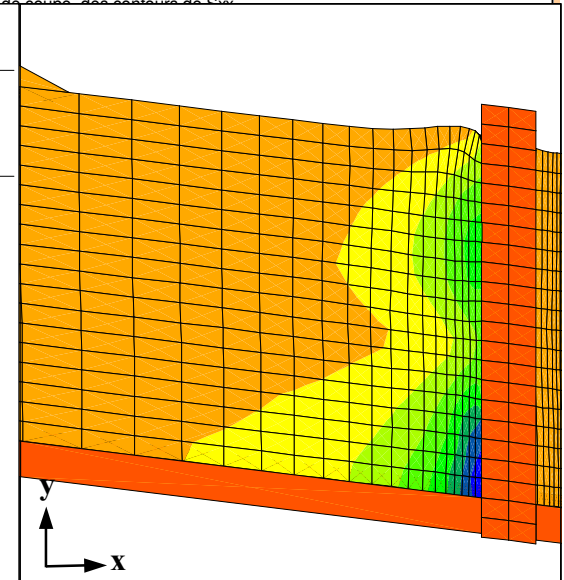
Center: X: -3.707e+000 Y: 9.600e+000 Z: 3.518e+000
Rotation: X: 0.000 Y: 0.000 Z: 0.000
Dist: 2.786e+002 Mag.: 11.6 Ang.: 22.500

Contour of SXX

Gradient Calculation

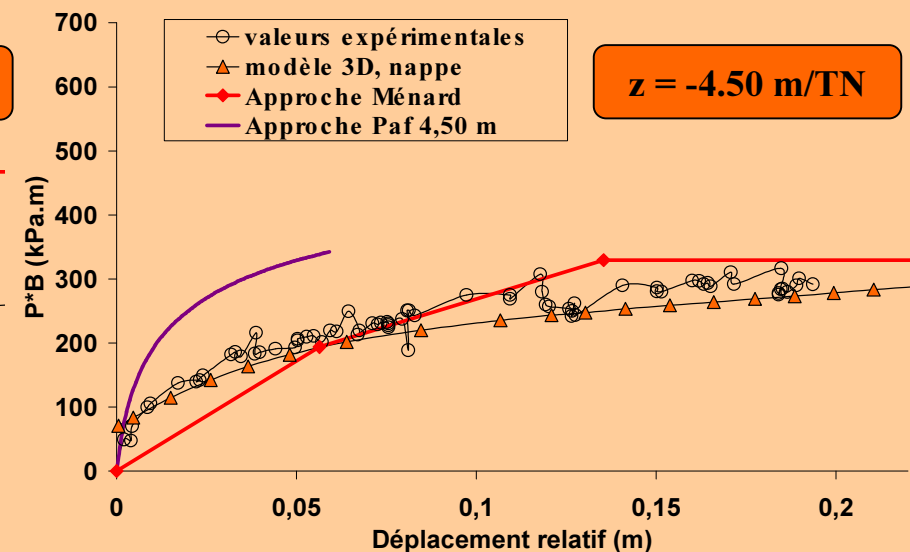
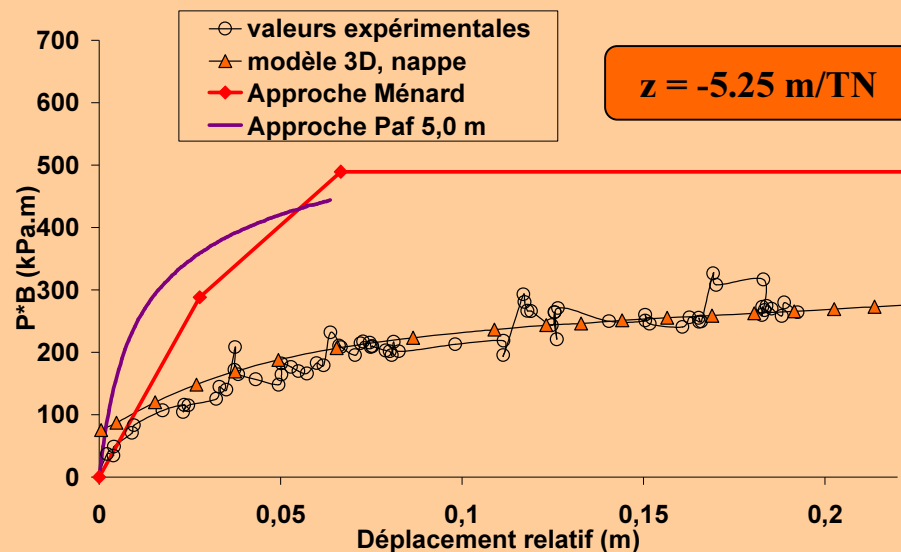
-8.9444e+002 to -7.0000e+002
-7.0000e+002 to -6.0000e+002
-6.0000e+002 to -5.0000e+002
-5.0000e+002 to -4.0000e+002
-4.0000e+002 to -3.0000e+002
-3.0000e+002 to -2.0000e+002
-2.0000e+002 to -1.0000e+002
-1.0000e+002 to 0.0000e+000
0.0000e+000 to 0.0000e+000
Interval = 1.0e+002

Scetauroute DGM
Laboratoire 3S

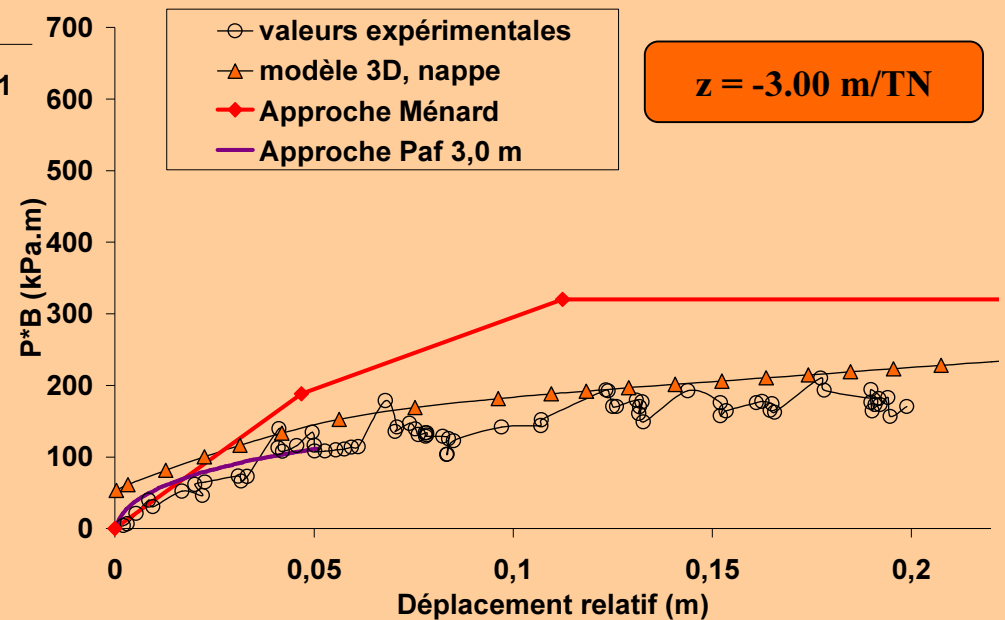
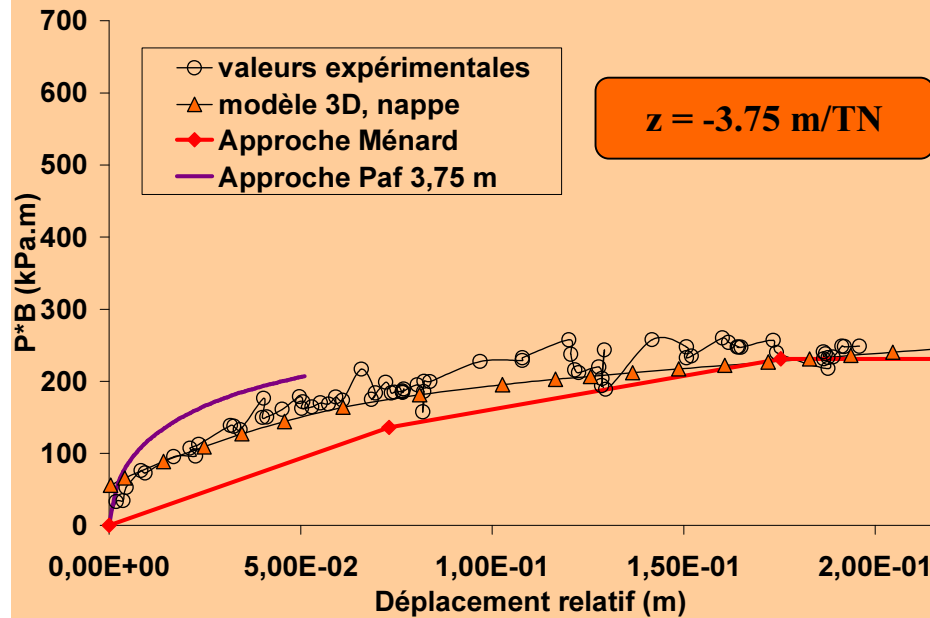


Analyse comparative en contrainte : établissement des courbes P- ΔY

- (1) utilisation des mesures pressiométriques de type Ménard (fascicule 62)
- (2) utilisation des mesures au pressiomètre autoforeur
- (3) données issues des simulations numériques (points de suivis en contrainte et en déplacement)
- (4) données obtenues à partir des mesures expérimentales



Le site expérimental de Sallèdes (8)



Conclusions générales

Modélisation physique, sondages et essais :

- (1) Essais pressiométriques, triaxiaux, auscultation : identification des paramètres**

Modélisation numérique 2D :

- (1) Essais pressiométriques, très bonne concordance**
- (2) Essais triaxiaux, validation du choix de la loi de comportement**

Modélisation numérique 3D :

- (1) Simulation rigoureuse des essais de laboratoire, prise en compte des effets 3D**
- (2) analyse de l'influence des mêmes paramètres que sur les expérimentations
ou sur le cas réel étudié**
- (3) analyse directe sur les pressions et comparaison avec les courbes P-Y établies
à partir des essais pressiométriques.**

Extrapolation cas réels :

- (1) Validation de la démarche par l'étude du site de Sallèdes**

