

# L'importance du suivi dans le dimensionnement des ouvrages géotechniques

### Limites du calcul géotechnique

#### Exigences croissantes

- Environnement => maîtrise des déformations
- Sécurité => éloignement de la rupture

#### Difficultés constantes

- Hétérogénéité du sol
- Imprécision des modèles de calcul :
  - signification et mesure des paramètres
  - validité des modèles

#### Comment gérer l'imprécision des modèles?

- en la réduisant
  - en l'acceptant
- } => nécessité du suivi

# Nécessité du suivi géotechnique

1 Prévission du comportement réel des ouvrages

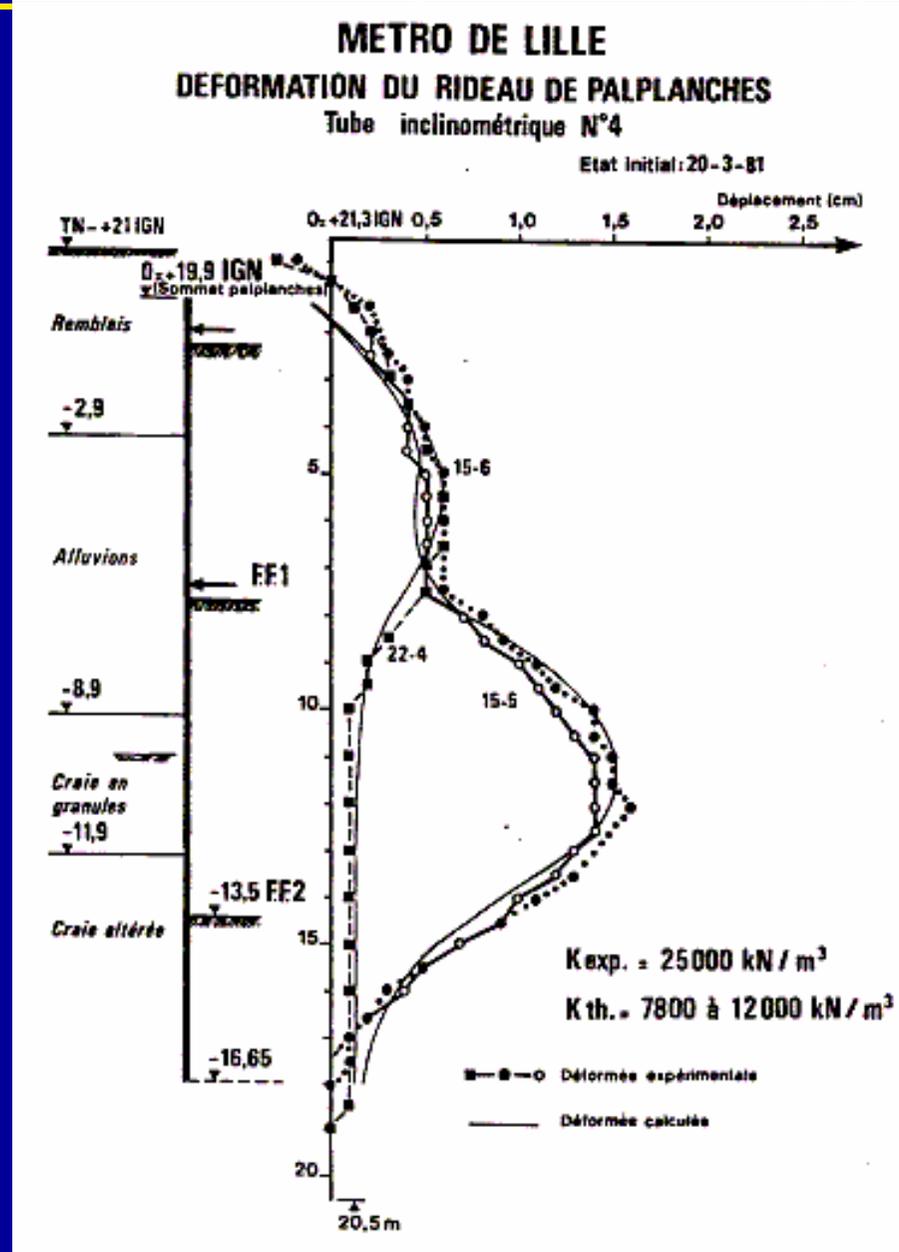
2 Dimensionnement interactif

### Apport du suivi géotechnique

- Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »
- Limites du modèle « poutre sur appuis élastiques »
- Recherche d'un modèle de calcul plus général
- Limites générales des modèles de calcul

# Comportement réel des écrans

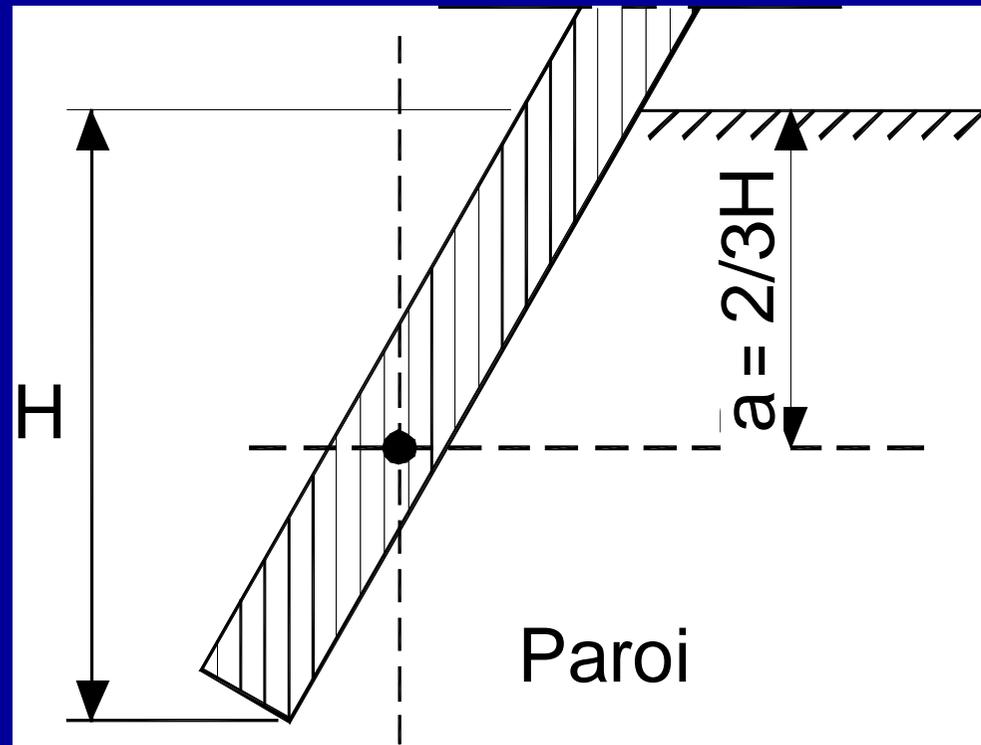
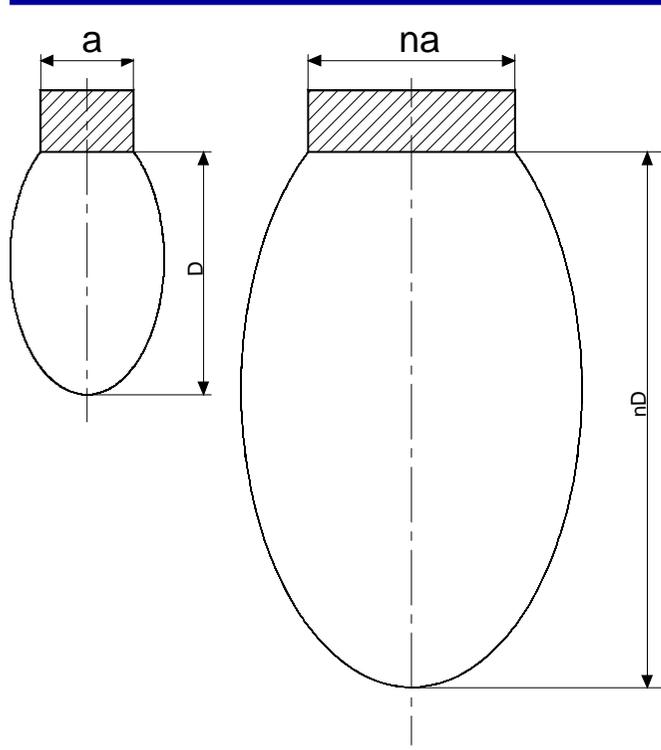
## Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »



## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

« Largeur d'interaction » représentative d'un écran ?

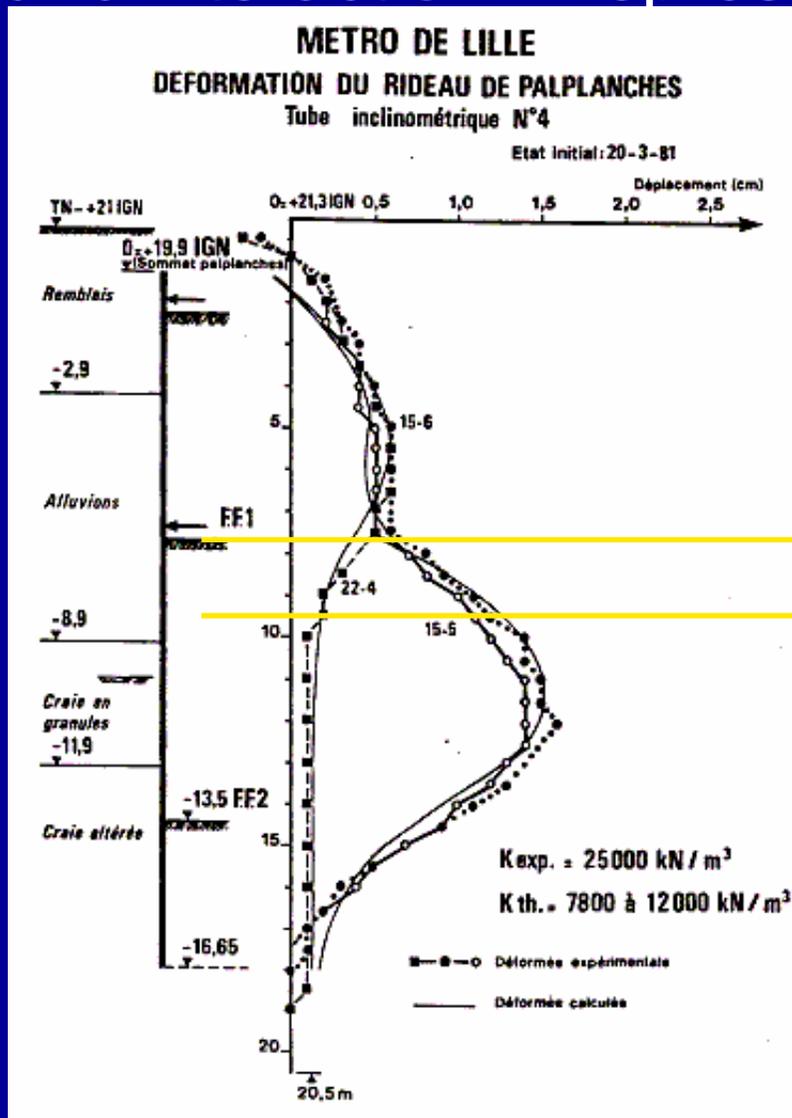


Terzaghi  
Ménard / Bourdon

## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

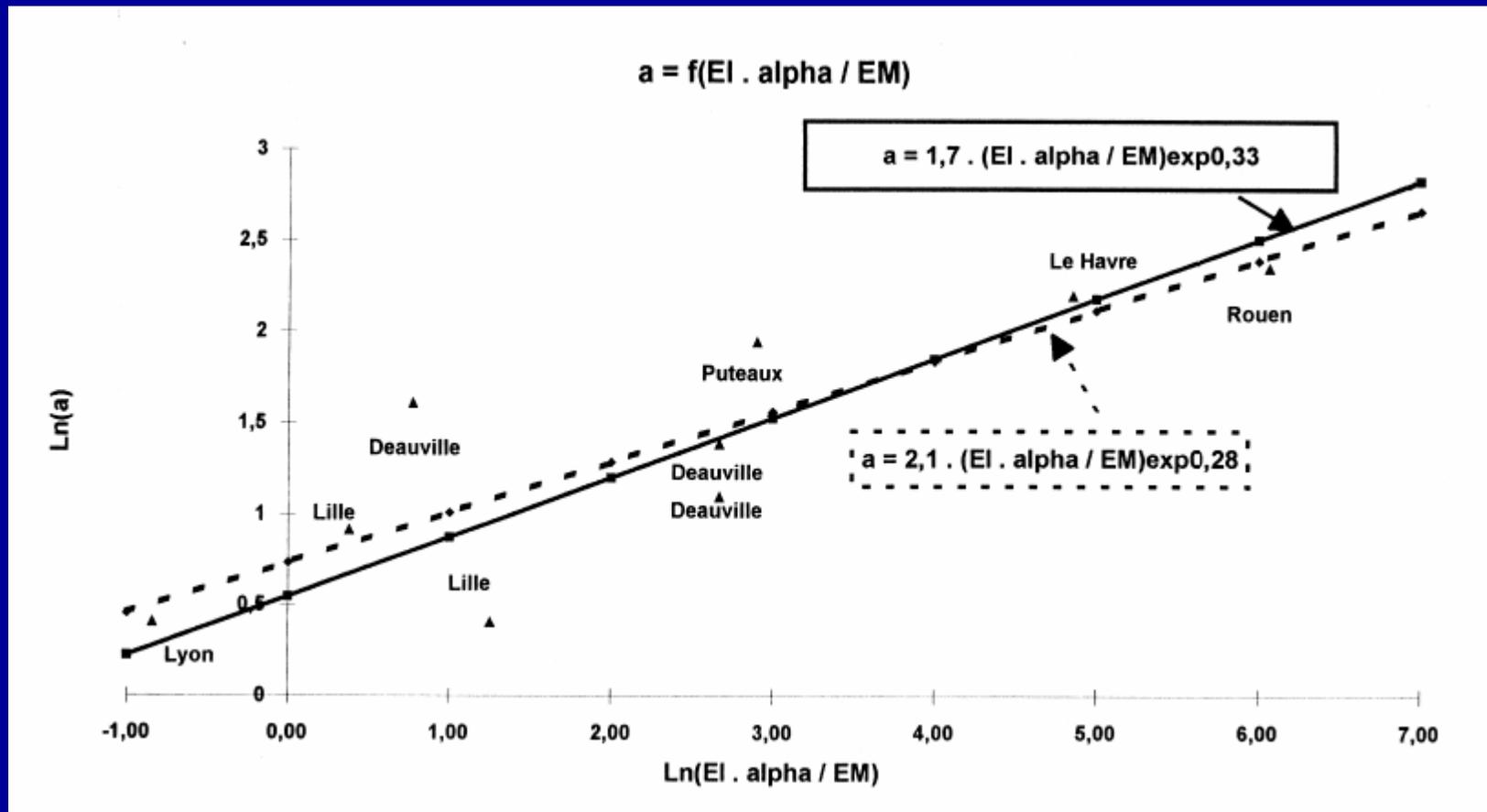
« Hauteur d'interaction » représentative d'un écran ?



## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

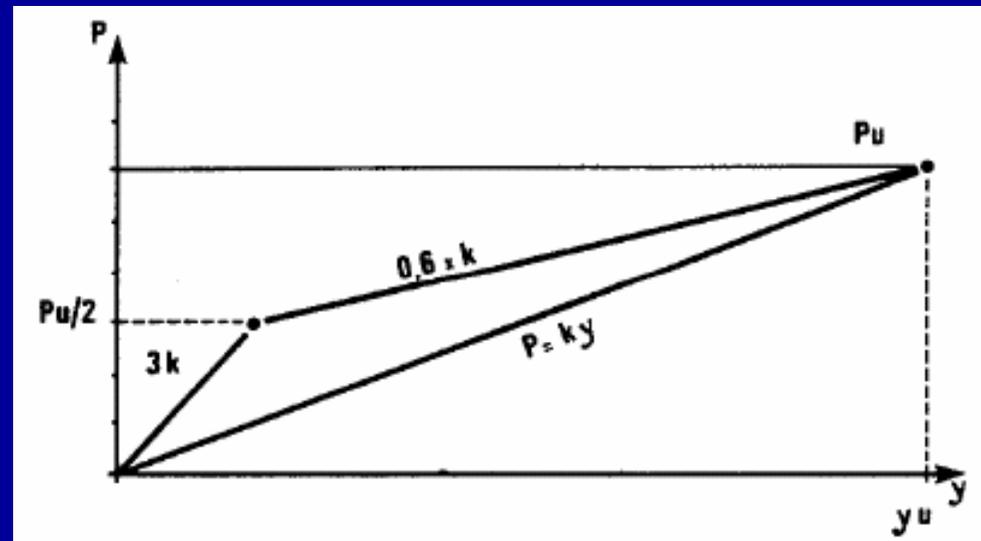
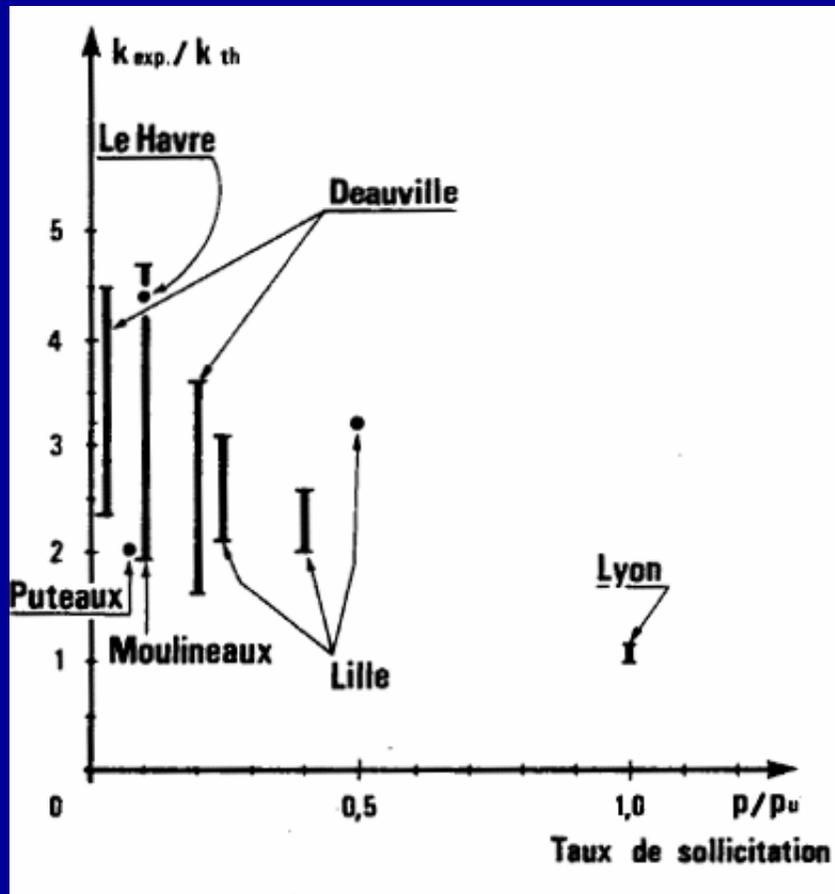
« Hauteur d'interaction » représentative d'un écran ?



## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

Valeur représentative du coefficient de réaction ?



### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

Valeur représentative du coefficient de réaction ?

- Ménard / Bourdon :

$$k \# 1,2 \cdot E_M / (\alpha \cdot a)$$

- Rétro-analyses :  $\Rightarrow$   $k \# 3,6 \cdot E_M / (\alpha \cdot a)$

$$k \times 3$$

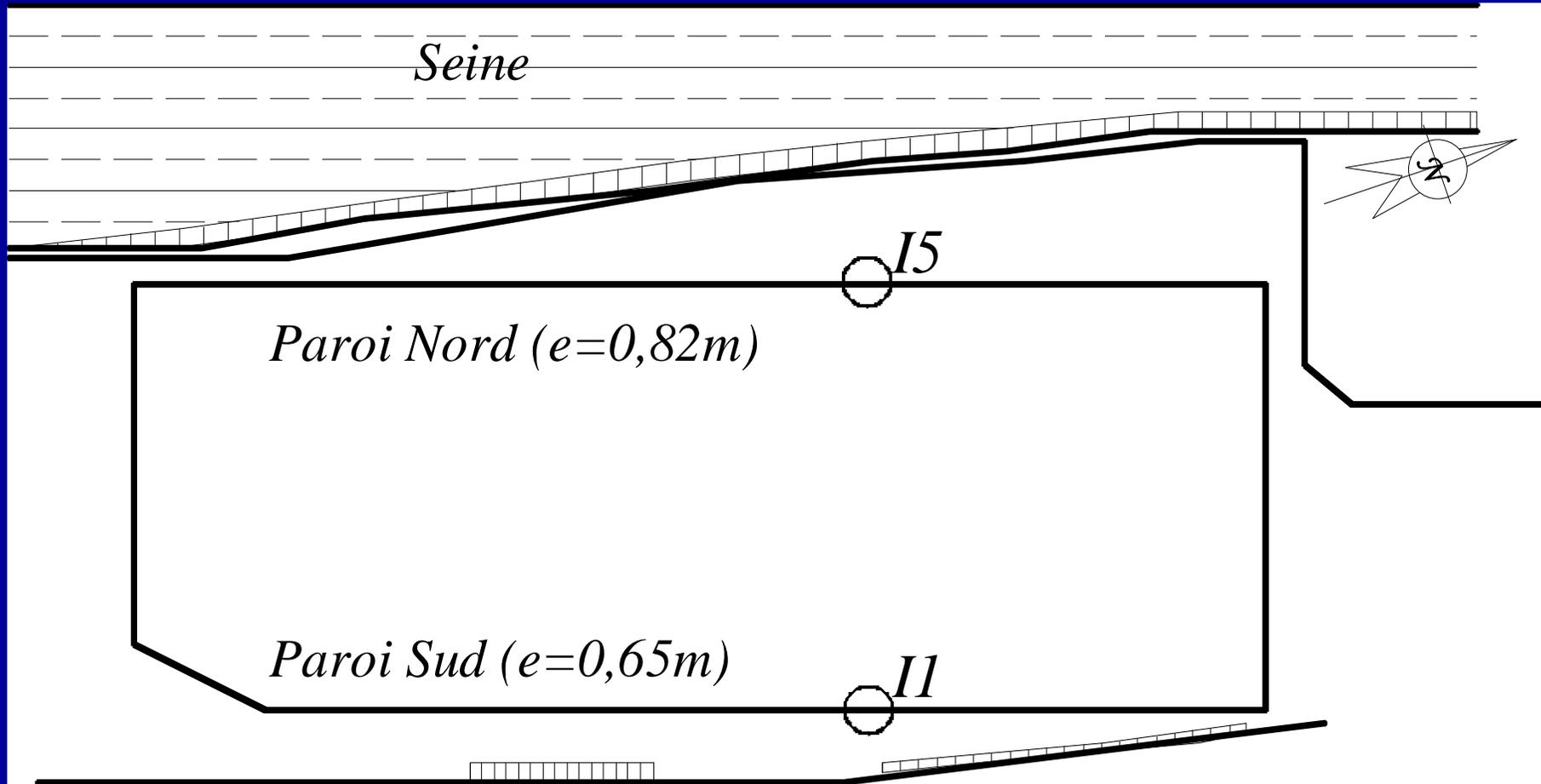
- Mesures inclinométriques :

$$a \# 1,7 \cdot [EI / (E_M / \alpha)]^{1/3} \Rightarrow \underline{k \# 2,1 \cdot (E_M / \alpha)^{4/3} / (EI)^{1/3}}$$

## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

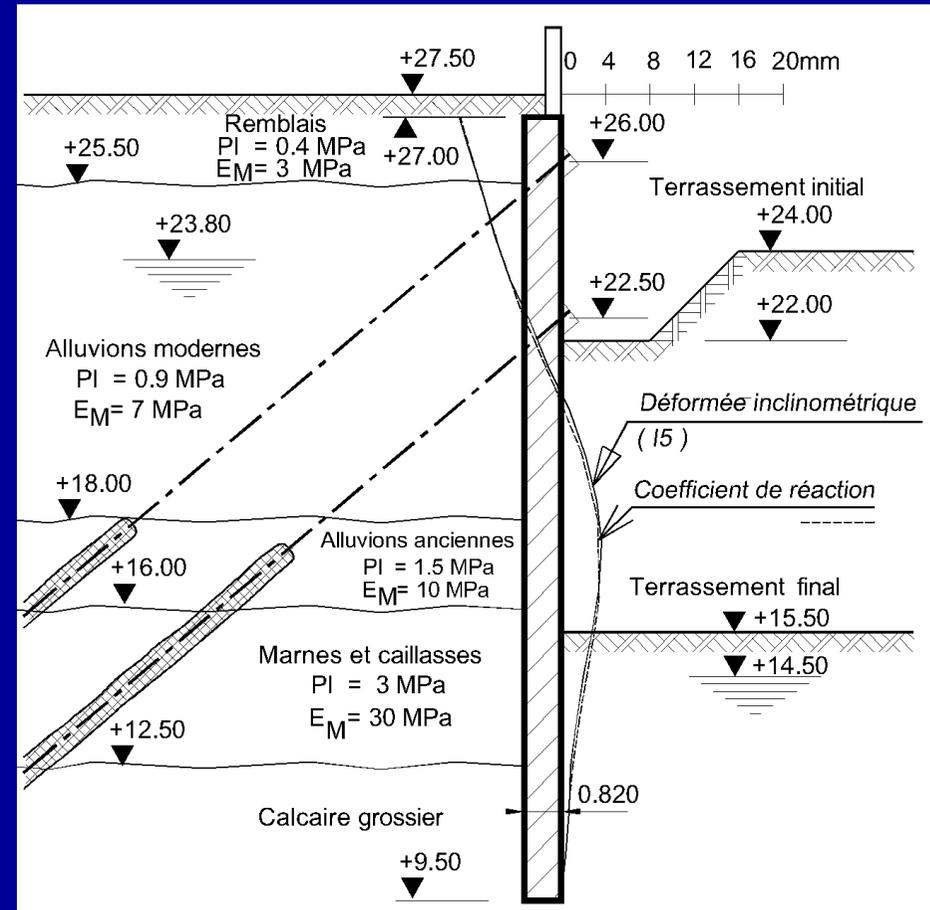
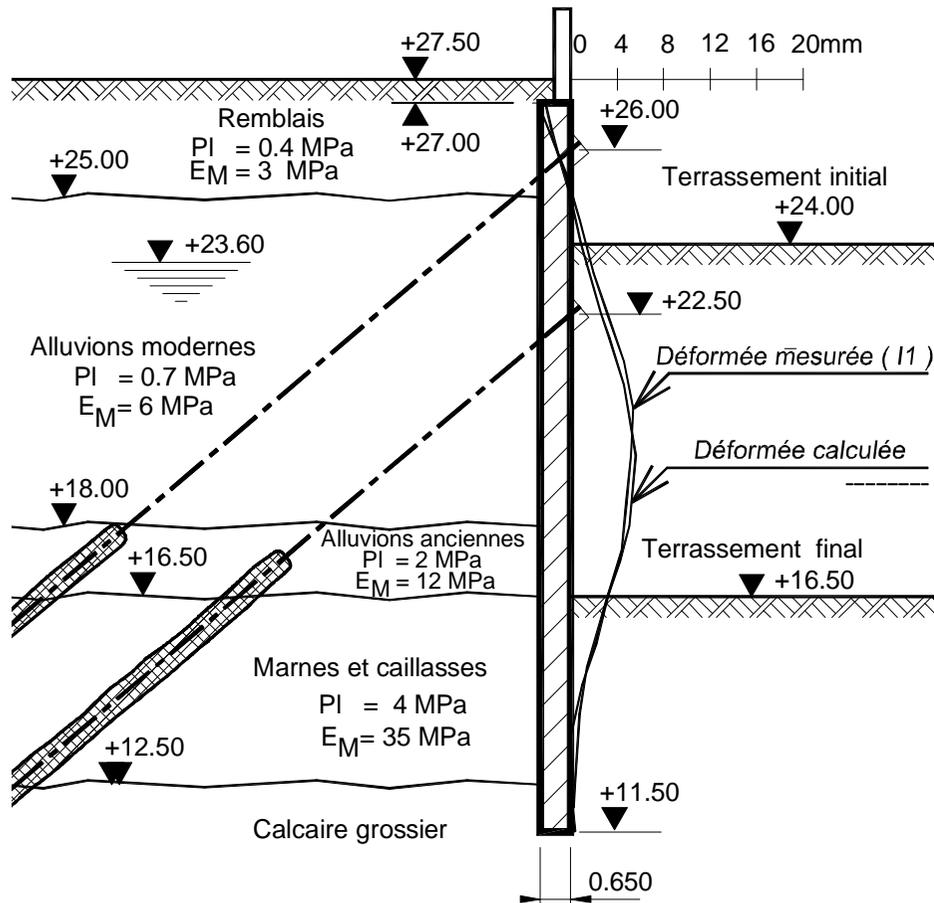
### Colombes / Station d'épuration



# Comportement réel des écrans

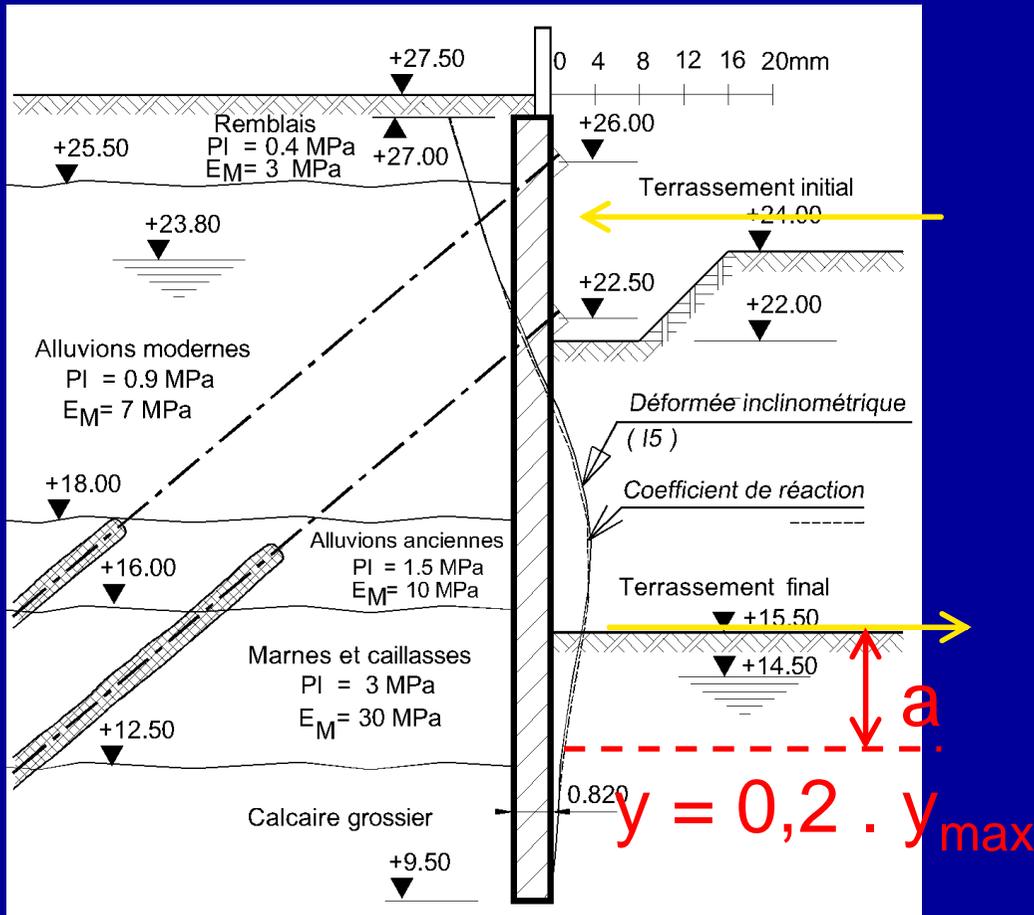
## Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »

### Colombes / Station d'épuration



## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »



« 1/2 semelle » supérieure sollicitée par la précontrainte des appuis supérieurs

« 1/2 semelle » inférieure sollicitée par la partie supérieure de l'écran

Théorie des poutres sur appuis élastiques :  $\Rightarrow a \# 1,6 \cdot l_0$

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

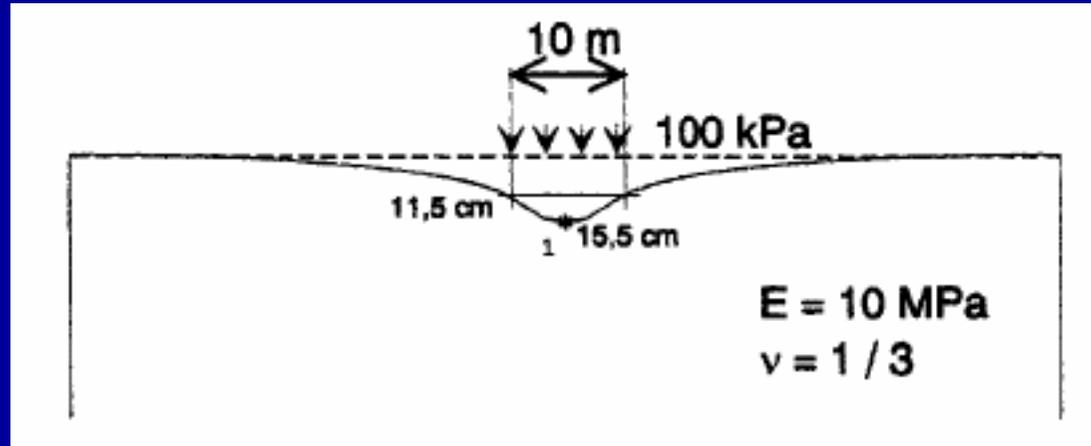
Mesures inclinométriques :

$$\Rightarrow a \# 1,4 \cdot l_0$$

$\Rightarrow$  Validation du modèle

## Comportement réel des écrans

### Validation du modèle « poutre sur appuis élastiques »



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

$$\text{Mesures écrans} \Rightarrow k = 3,6 \cdot E_M / (\alpha.a)$$

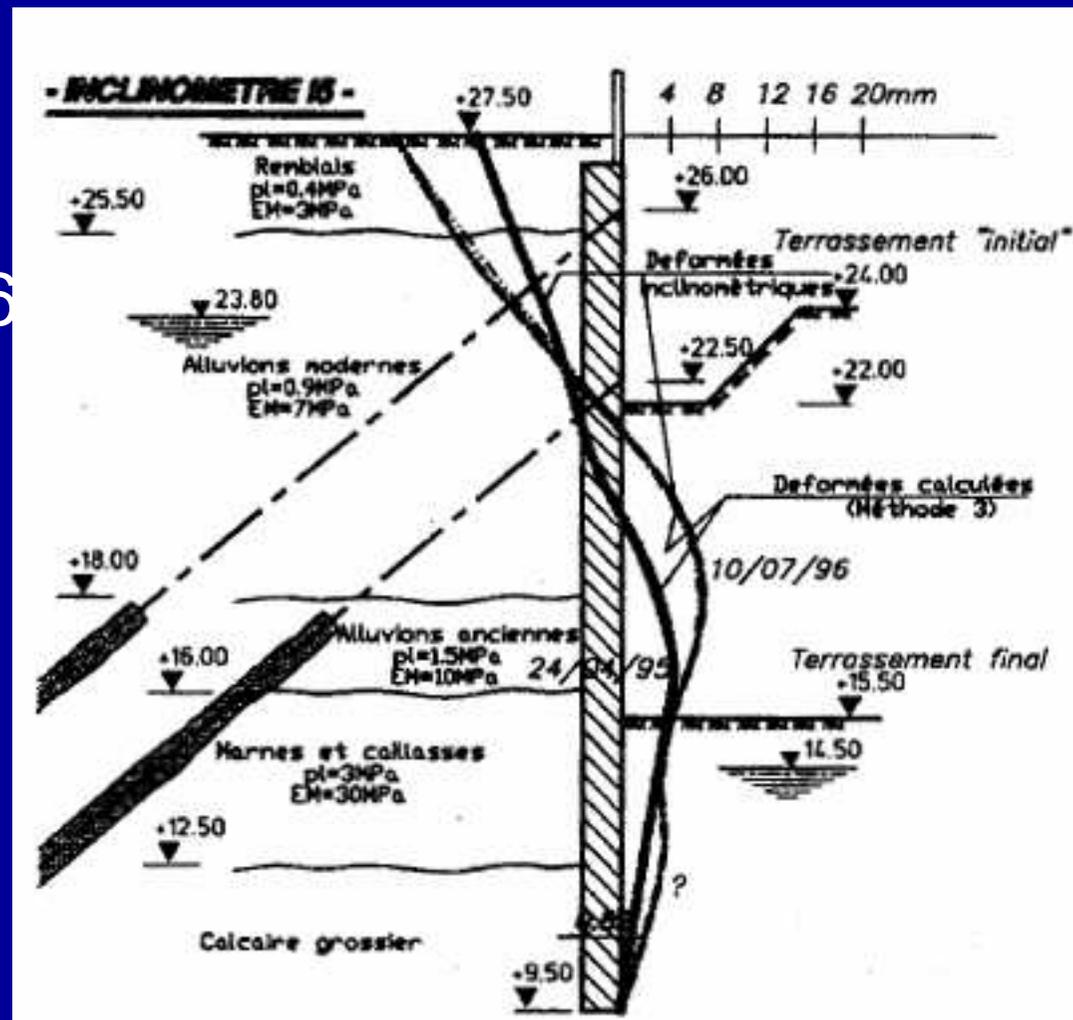
$$\Rightarrow E_Y \# 4,7 \cdot E_M / \alpha$$

# Comportement réel des écrans

## Limites « temporelles »

### Colombes / Station d'épuration

k x 1/2 entre 1995 et 1996

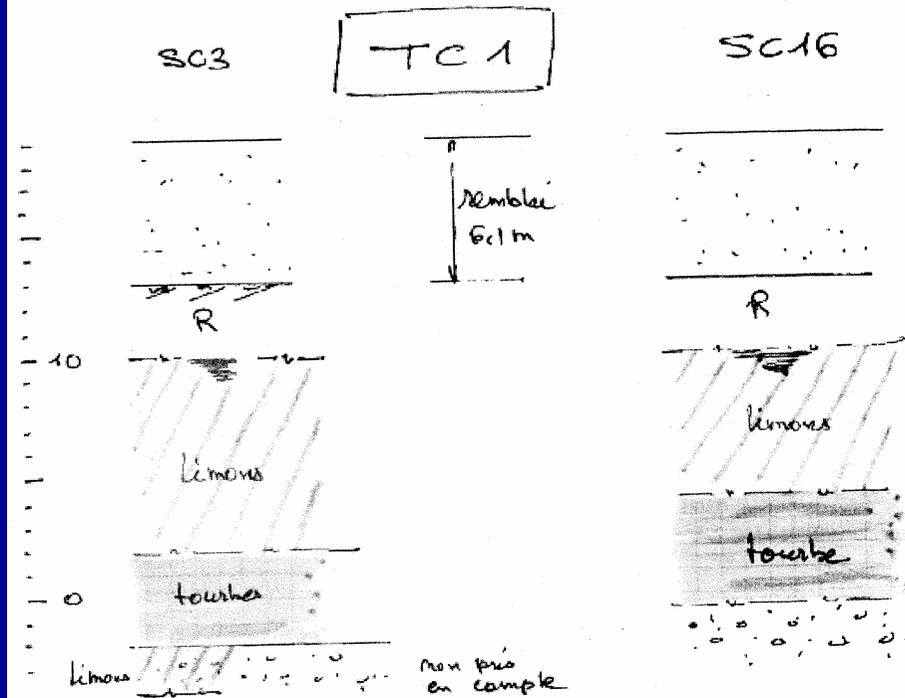


# Comportement réel des écrans

## Limites « temporelles »

### Rouen / Plateforme logistique

Rouen - Plate-forme Vallée de Seine 1/200  
Préchargement + drains verticaux  
coupes schématiques :



PRG  $\Rightarrow$  Base  
terrains compressibles

$a = 3,60$

$$\Rightarrow H_{\text{drains}} = 13 + 3,5 = 16,5 \text{ m.}$$

## Comportement réel des écrans

### Limites « temporelles »

### Rouen / Plateforme logistique



Paramètres de compressibilité retenus

terrains :	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_c / (1 + e_0)$	$C_s / (1 + e_0)$	$C_v$ m <sup>2</sup> /s
Limon	15	0,200	0,015	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Tourbe	12	0,300	0,030	$1,5 \cdot 10^{-8}$

=>  $w = 156$  cm

# Comportement réel des écrans

## Limites « temporelles »

### Rouen / Plateforme logistique

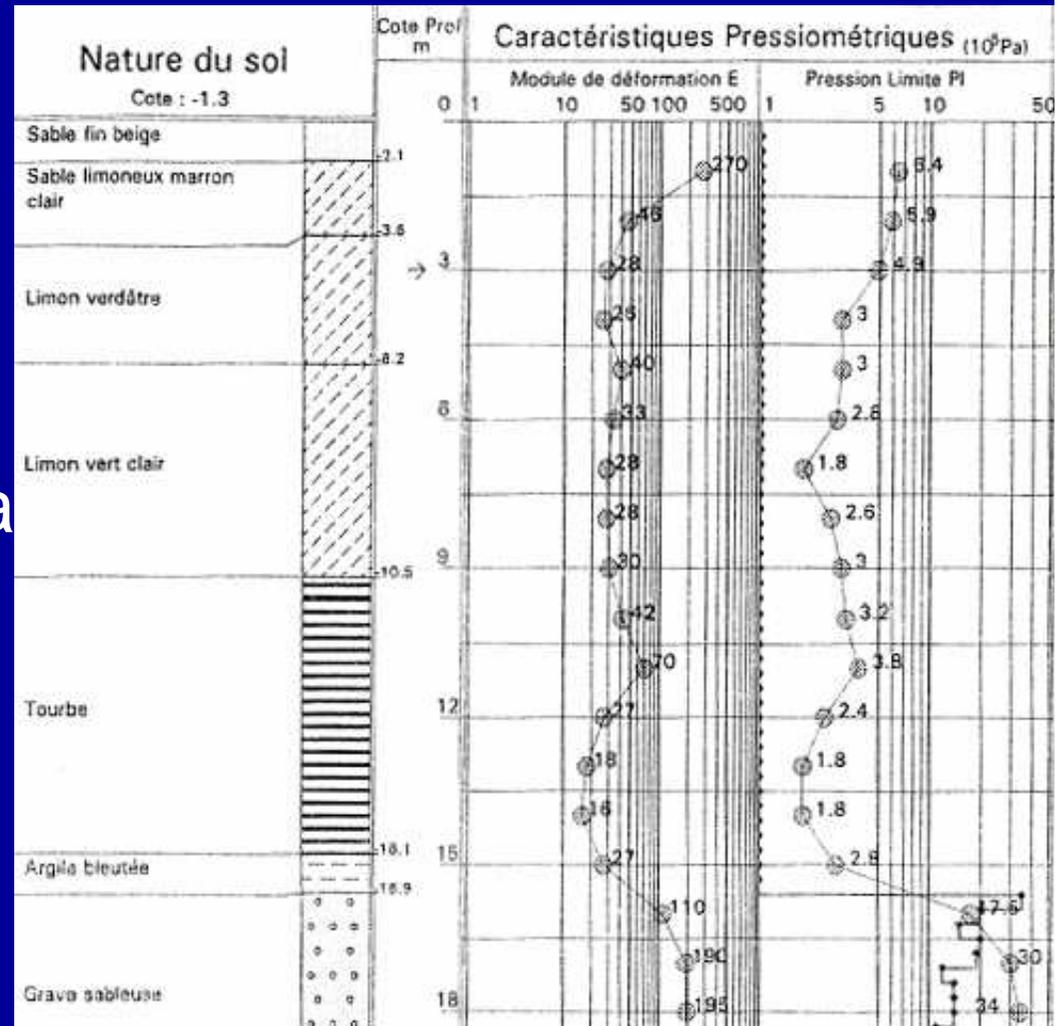
$$E = E_M / \alpha$$

$$\alpha = 0,5 \text{ à } 0,67 \text{ (limons)}$$

$$= 1 \text{ (tourbe)}$$

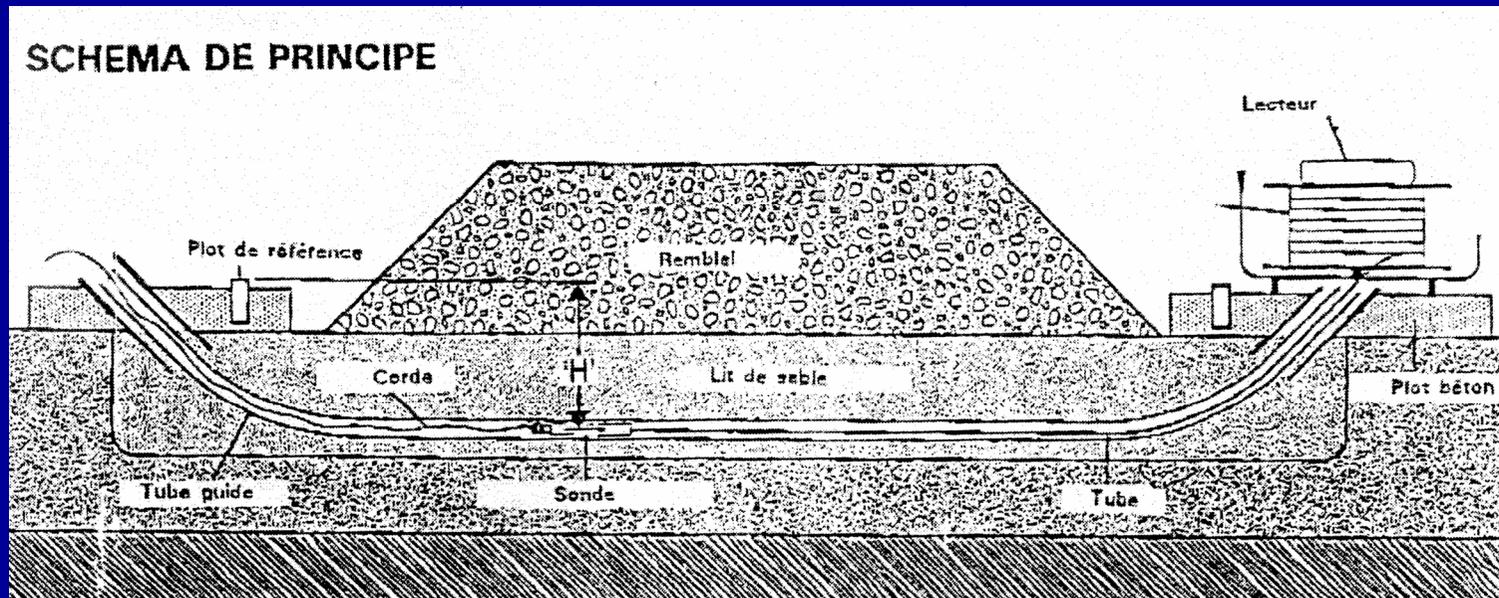
$$\Rightarrow E_M / \alpha \text{ moyen } \# 4.000 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow w = 39 \text{ cm} < 156 \text{ cm}$$



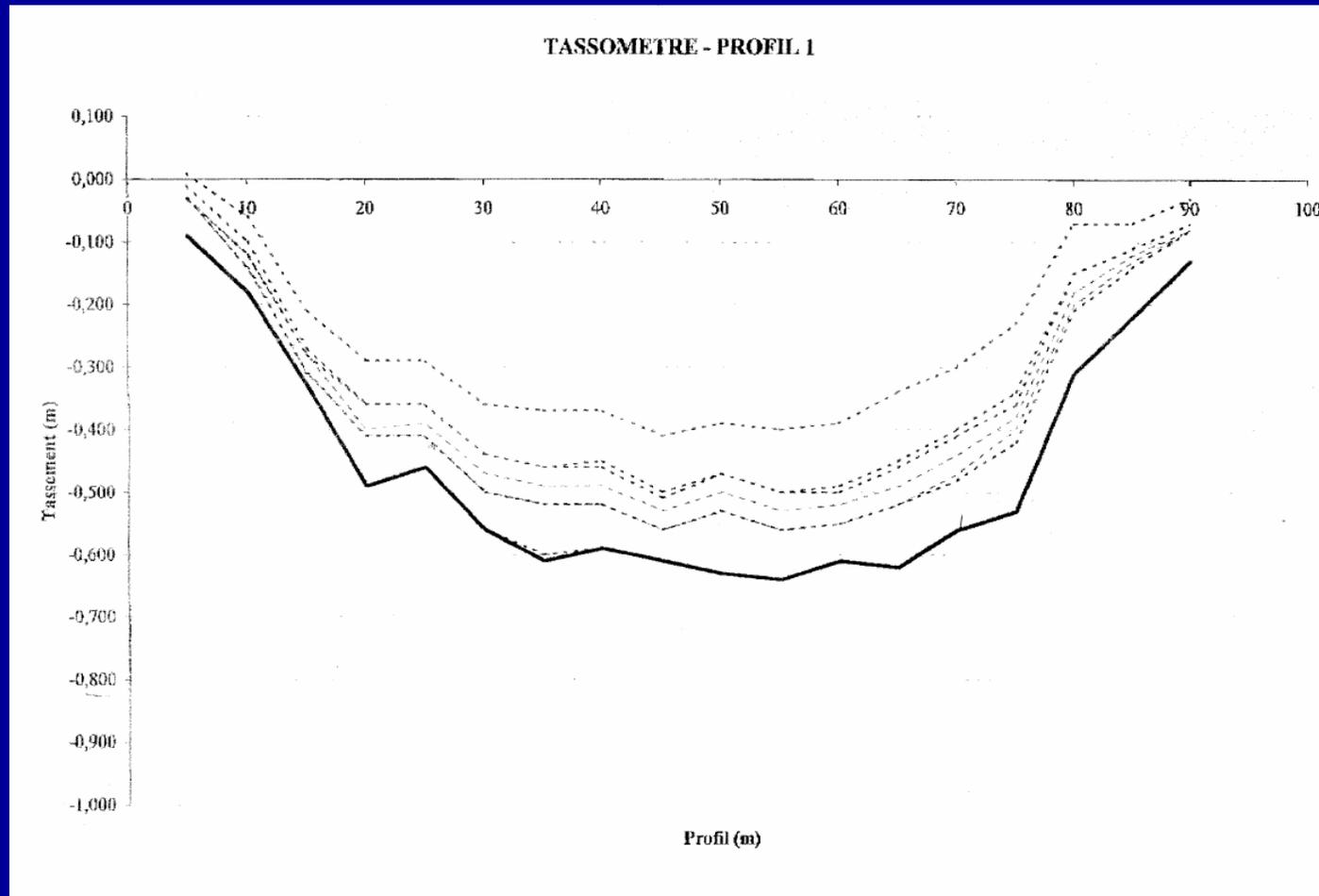
## Comportement réel des écrans

### Limites « temporelles » Rouen / Plateforme logistique



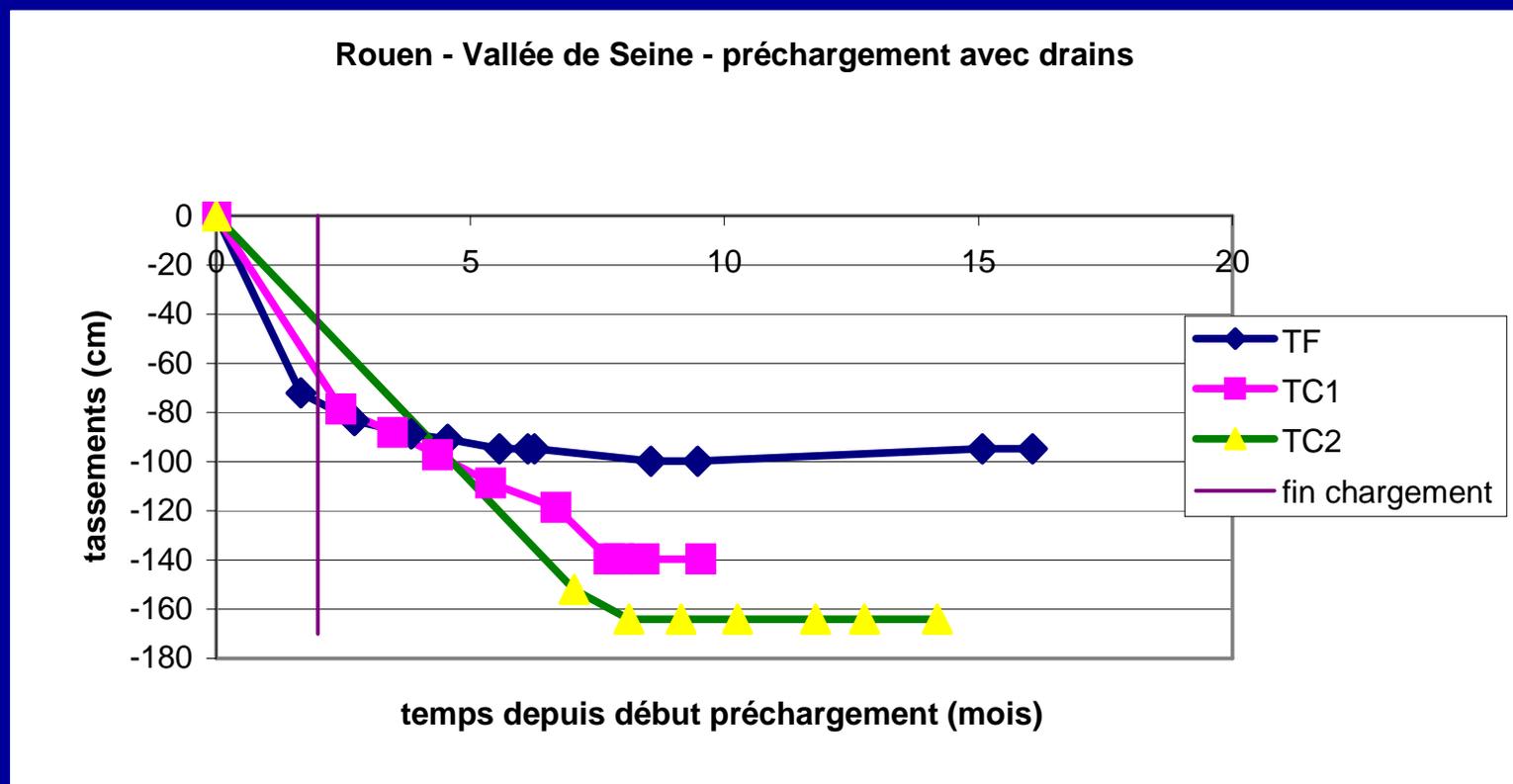
# Comportement réel des écrans

## Limites « temporelles » Rouen / Plateforme logistique



# Comportement réel des écrans

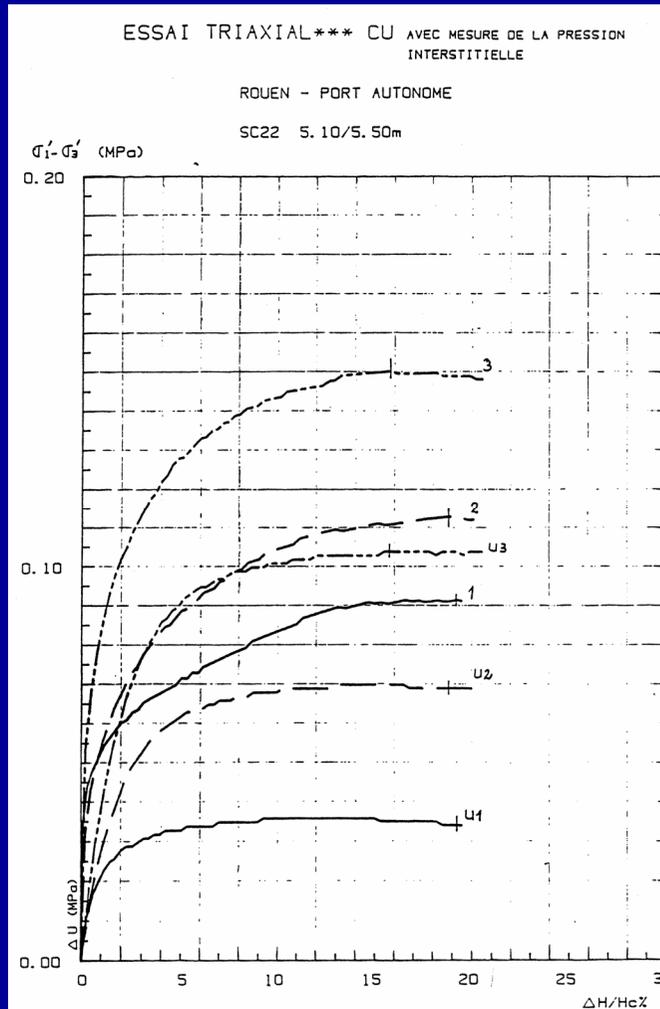
## Limites « temporelles » Rouen / Plateforme logistique



# Comportement réel des écrans

## Limites « temporelles »

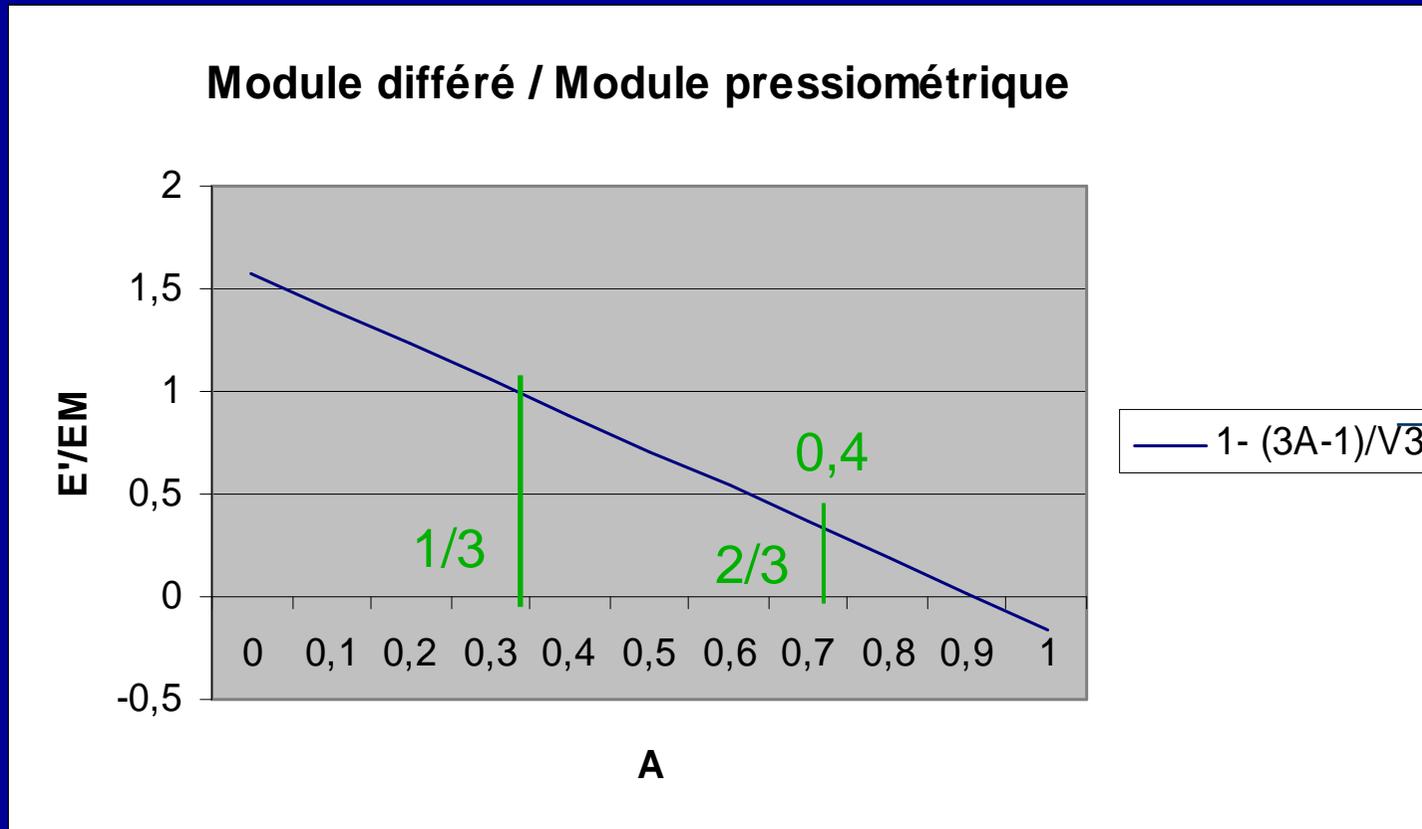
### Rouen / Plateforme logistique



A = 0,4 à 0,8 moyenne # 2/3

## Comportement réel des écrans

### Limites « temporelles » Rouen / Plateforme logistique



## Comportement réel des écrans

### Limites « temporelles »

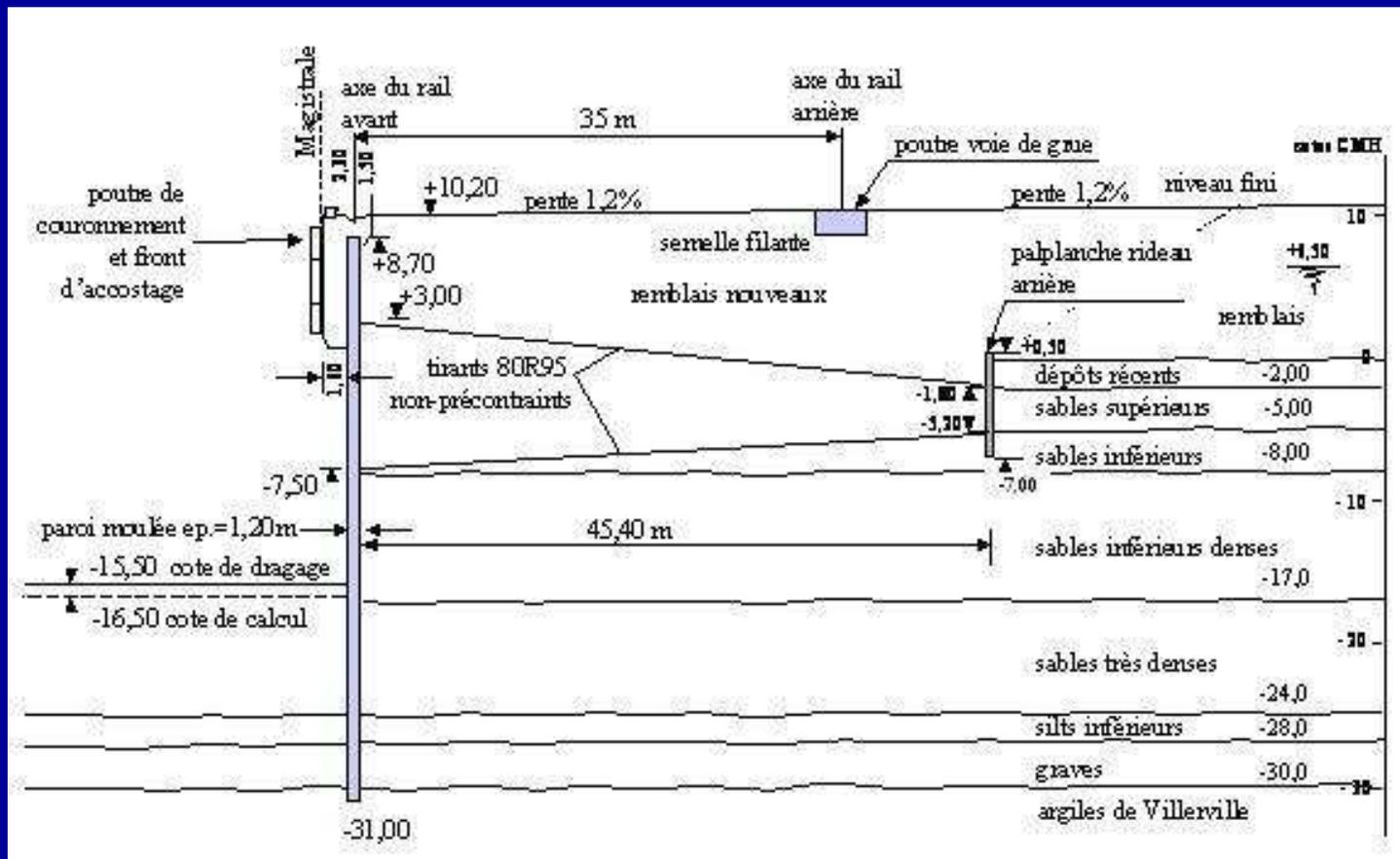
### Le Havre / Port 2000



# Comportement réel des écrans

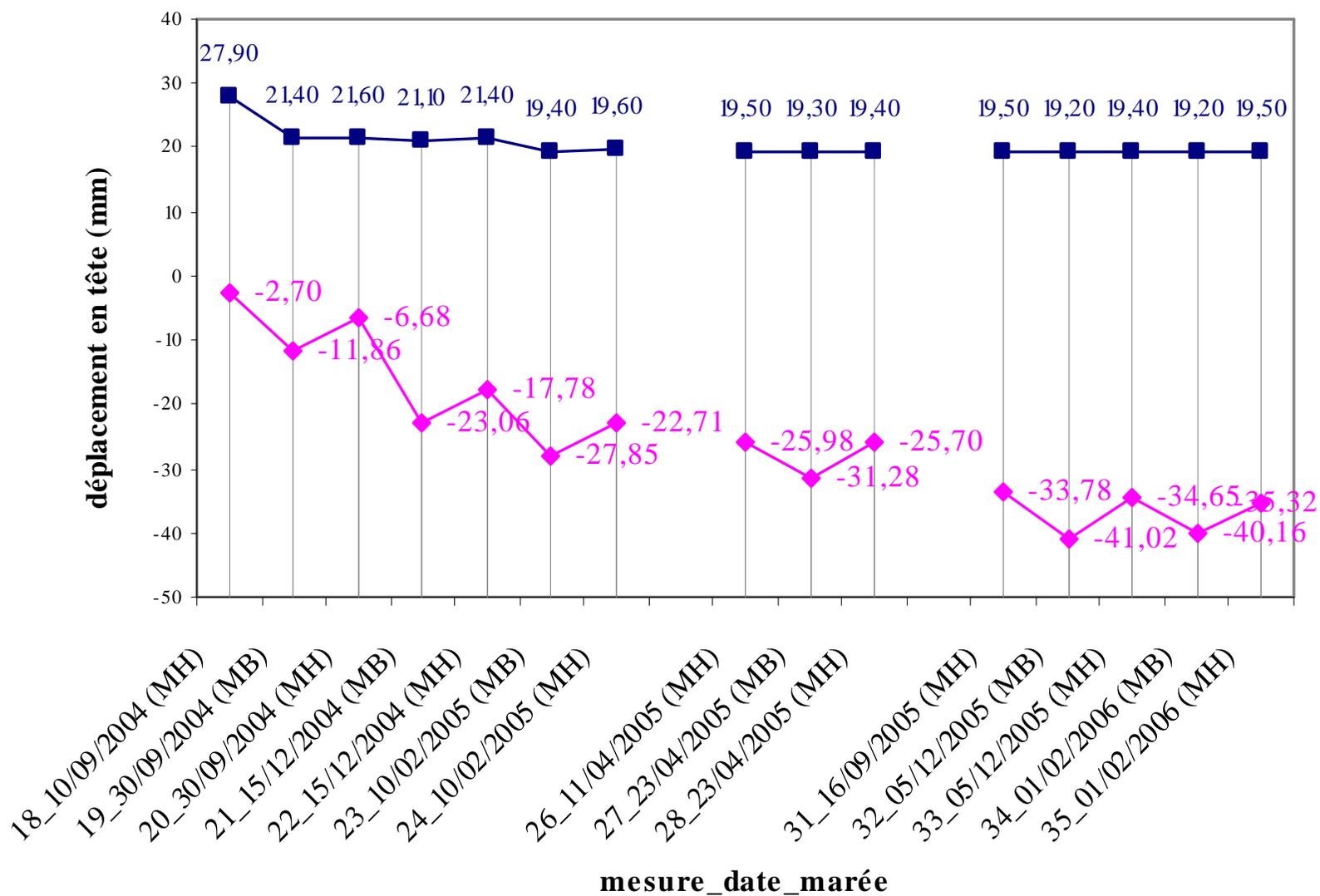
## Limites « temporelles »

### Le Havre / Port 2000



# Comportement réel des écrans

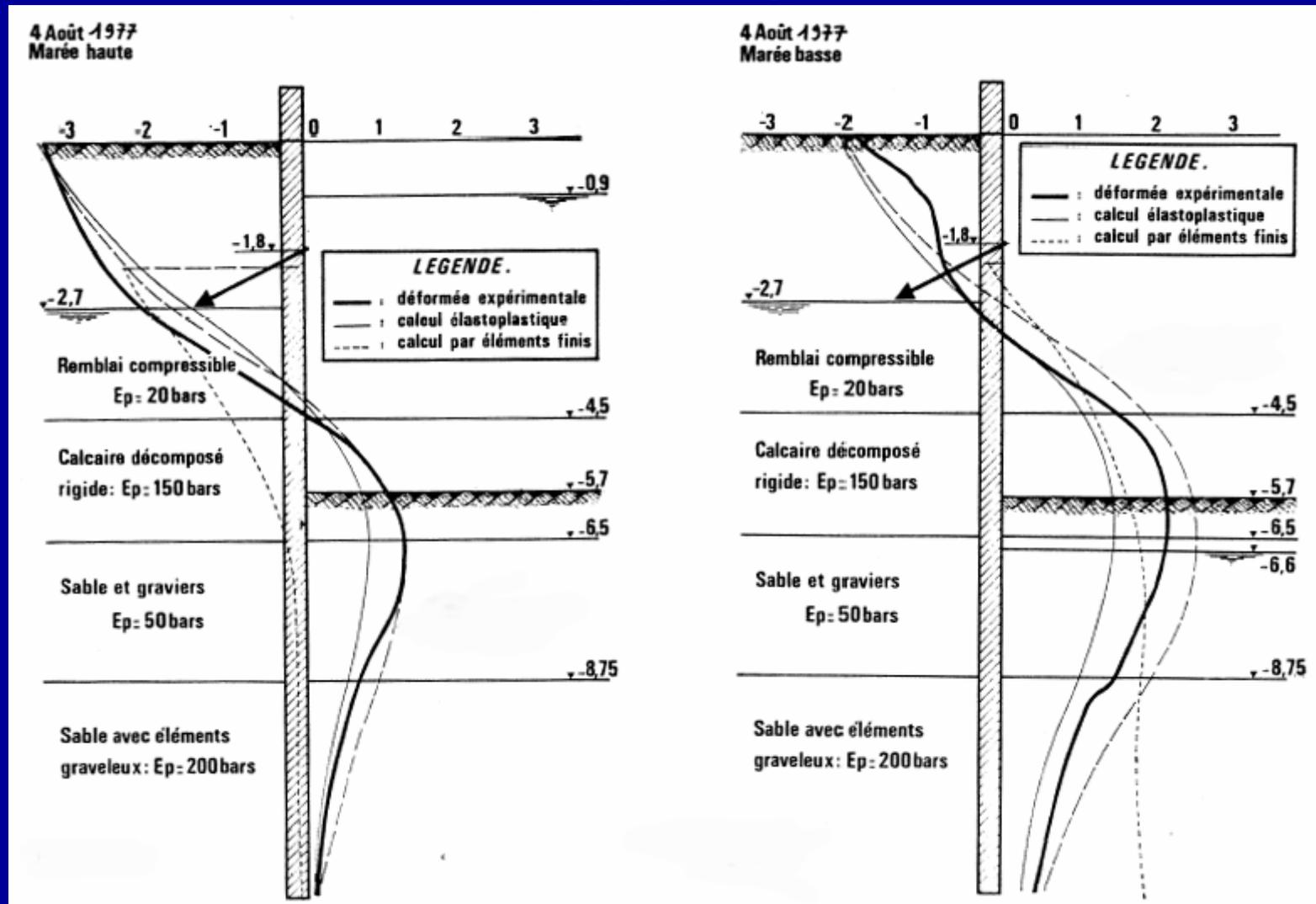
## Limites « temporelles »



# Comportement réel des écrans

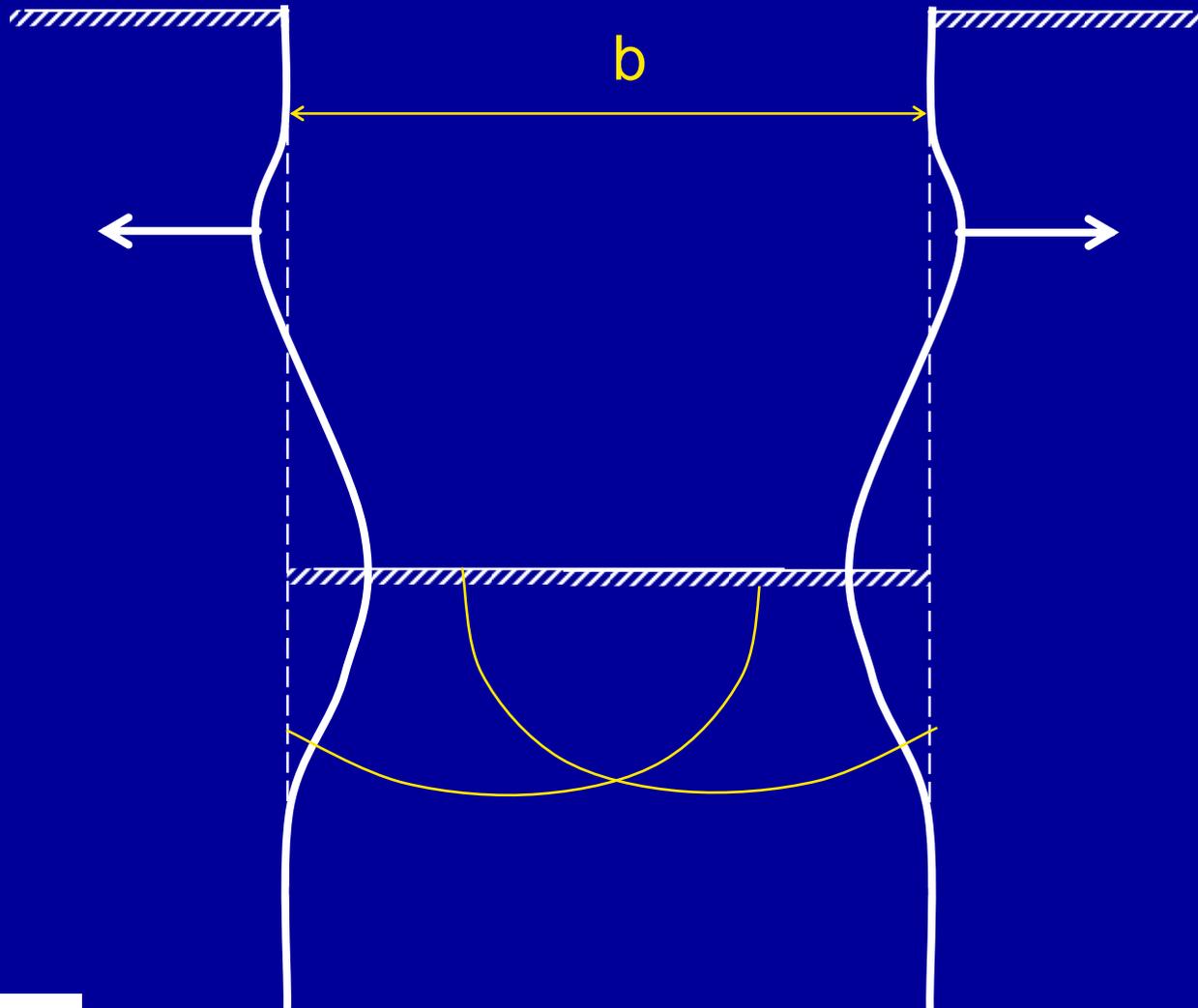
## Limites « temporelles »

### Deauville



## Comportement réel des écrans

### Limites « géométriques » Ouvrages rapprochés



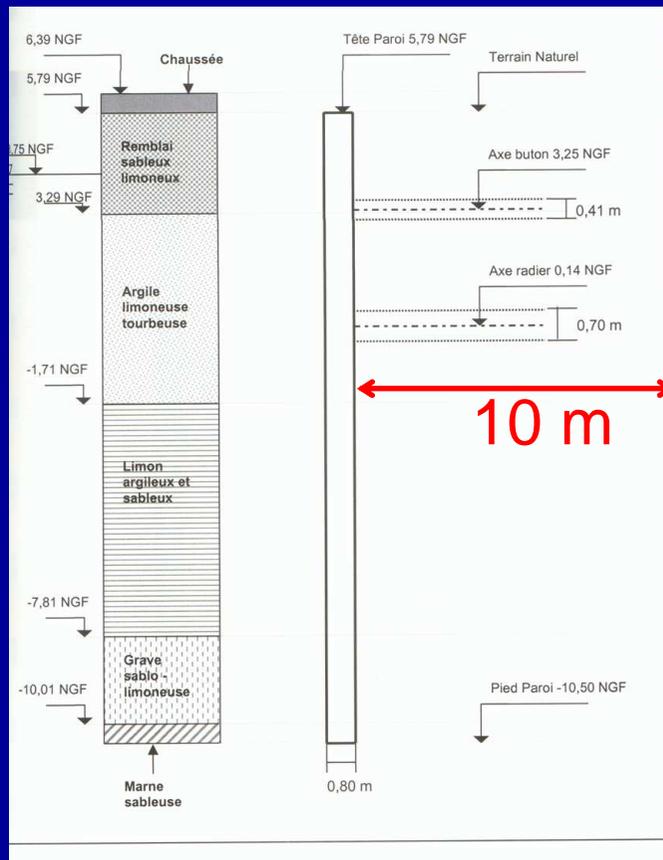
Loi de Hooke :

$$k = 2 \cdot E_s / b$$

# Comportement réel des écrans

## Limites « géométriques »

### Ouvrages rapprochés Rouen / Trémie Pasteur



$$E_M/\alpha \# 3 \text{ MPa}$$

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

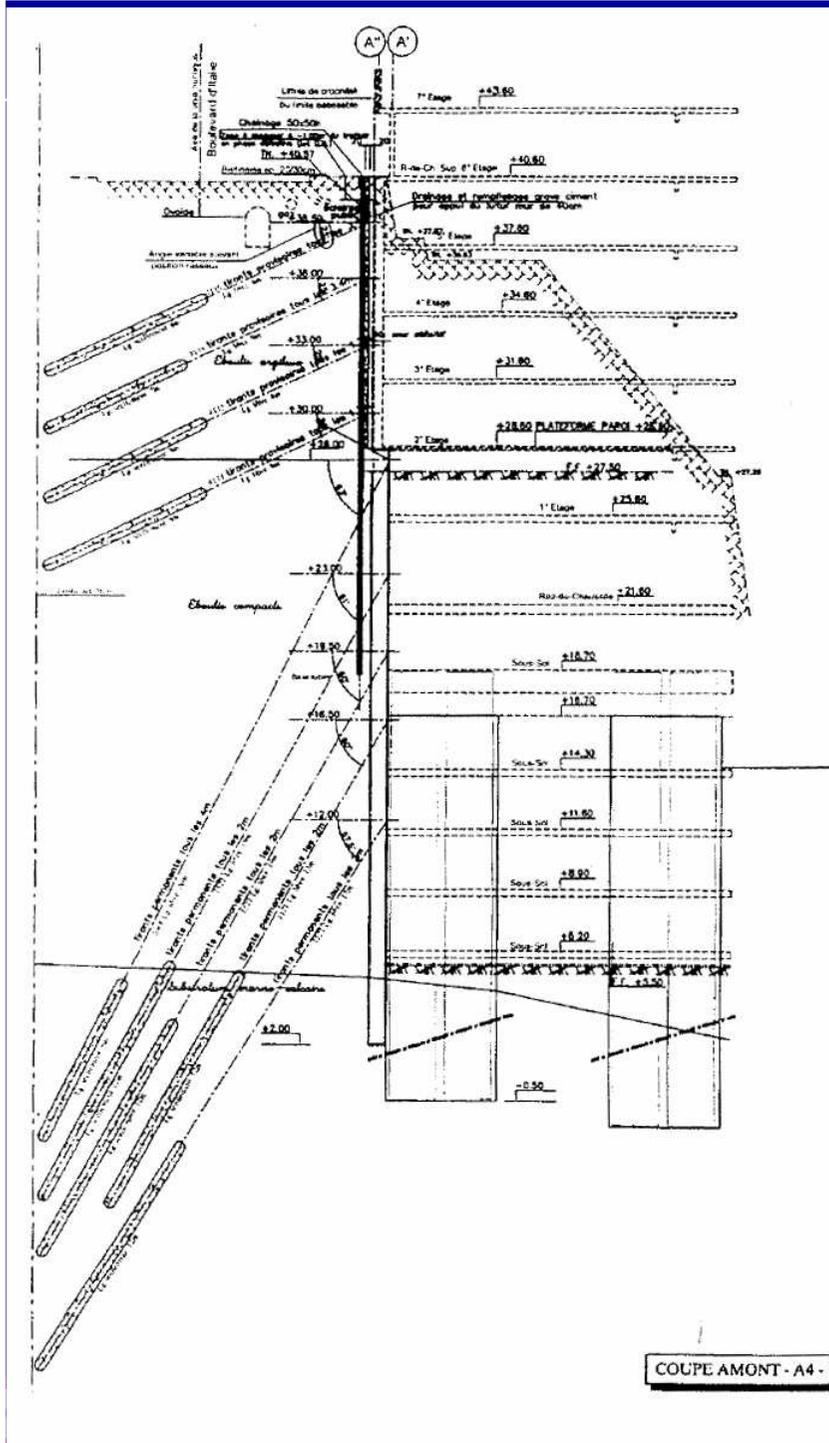
$$2 \cdot (4,7 \cdot E_M/\alpha) / b \\ \# 3.000 \text{ kN/m}^3$$

ment réel des écrans

« géométriques »

« Kranz »

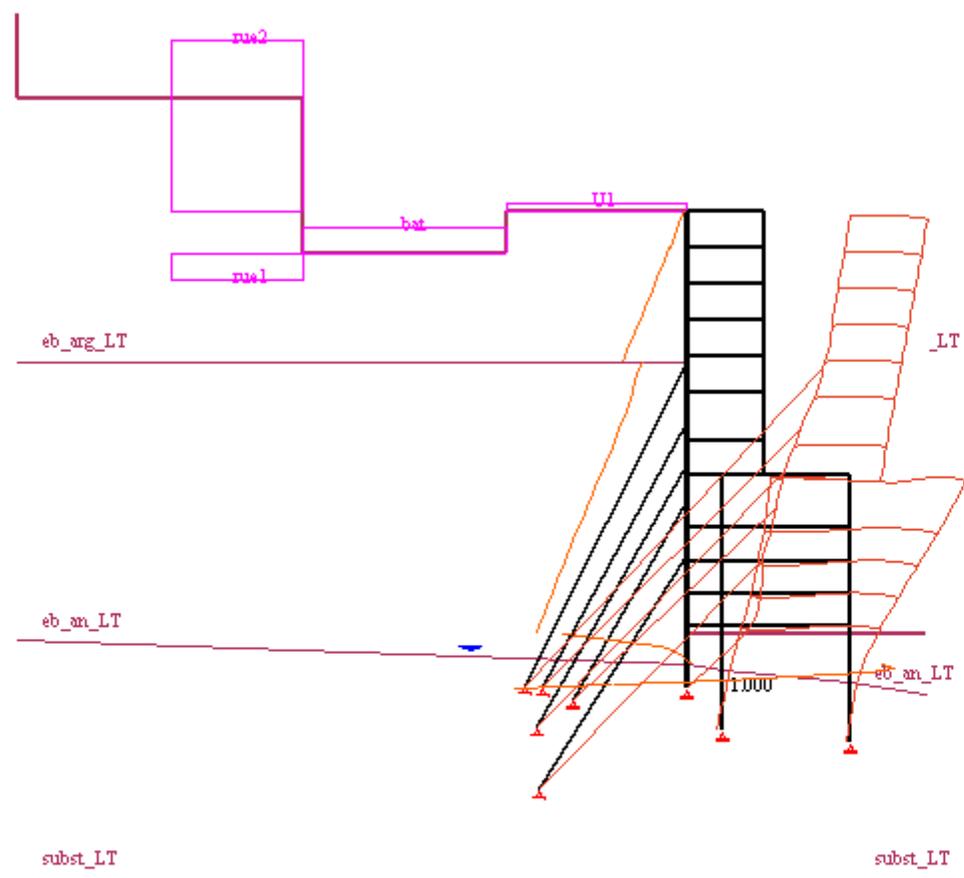
« Testimonio »





code	Y	B min	Y	B max	Y	V max	Y	dmax
[paroil]	11.60	-52.4	6.90	62.5	11.60	-57.1	40.2	95.8

code	Butee mobilisable	Butee mobilisee	Coeff.
[paroil]	211.737	105.558	2.01



code	X	Y	R X	R Y	R / Z
aroil	100.00	1.00	-0.000	90.012	0.000
aram	102.90	-2.50	0.000	122.416	-0.000
arav	113.70	-3.50	0.000	108.212	-0.000

pour 1 u :  $\longleftarrow$   
 d Deplact \* 1e3 40.00 m E-3  
 Poussée - Butée 10.00 t/m2  
 Longueur 5.72 m

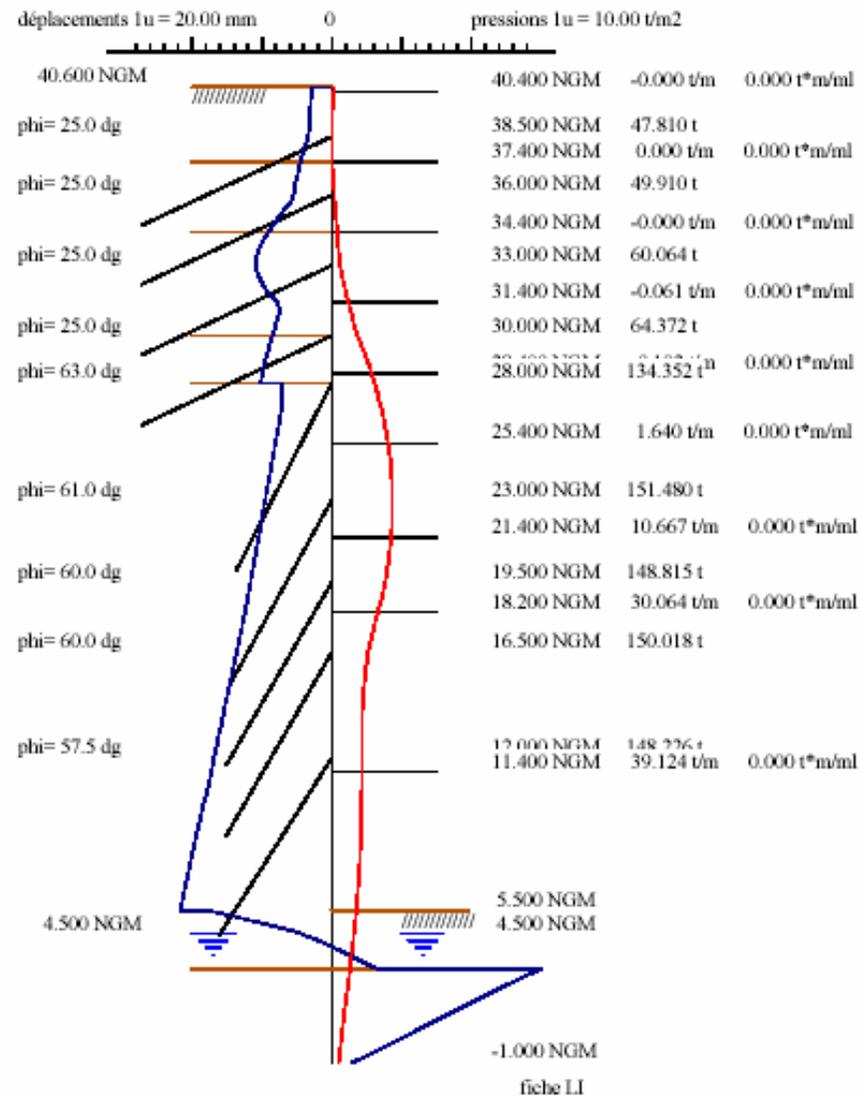
2 fluage long terme

chem de données : calcul2\_text

**SOLETANCHE BACHY**

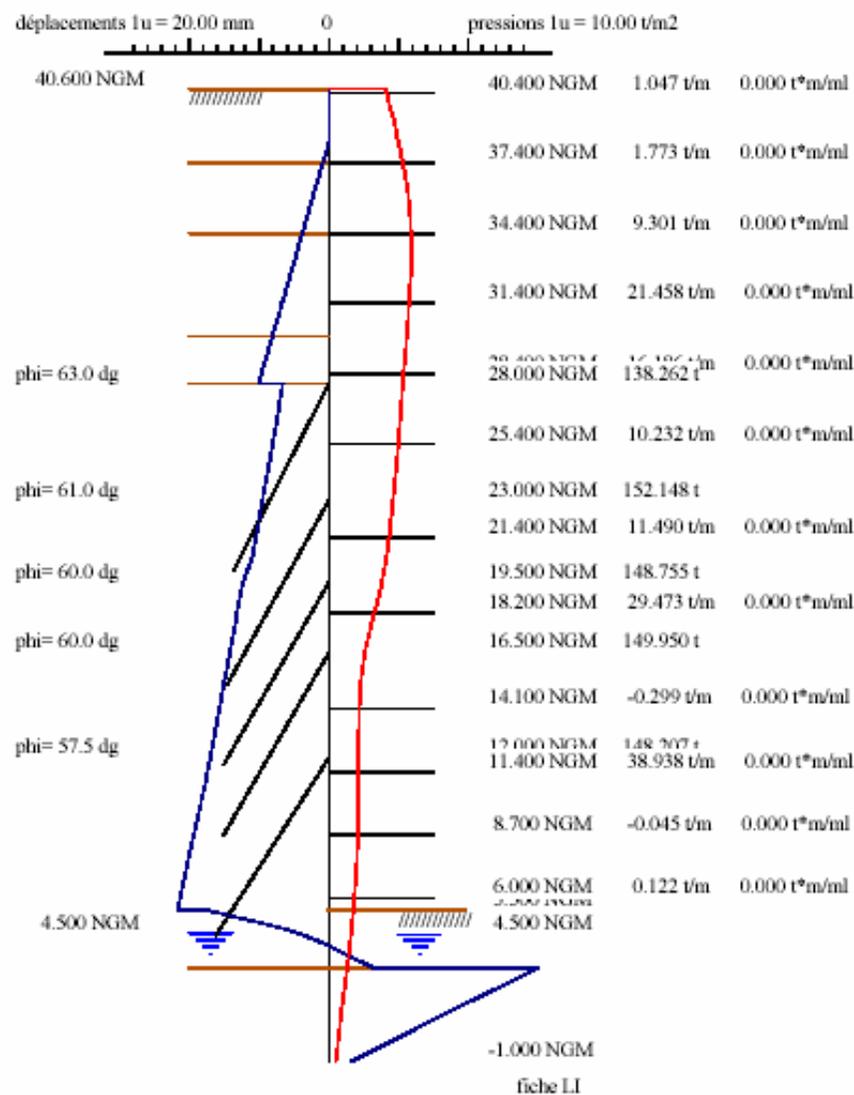
software PARIS version W2005 lg  
 Tél:33 01 47 76 42 62  
 6 rue de Wafard-92000 MANTRES P 511  
 SOLETANCHE BACHY FRANCE

# Comportement réel des écrans



Effort tranchant absolu maxi. a 3.80 NGM = 68.62 t/ml  
 Moment flechissant mini. a 33.00 NGM = -12.87 t\*m/ml  
 Moment flechissant maxi. a 8.16 NGM = 334.79 t\*m/ml

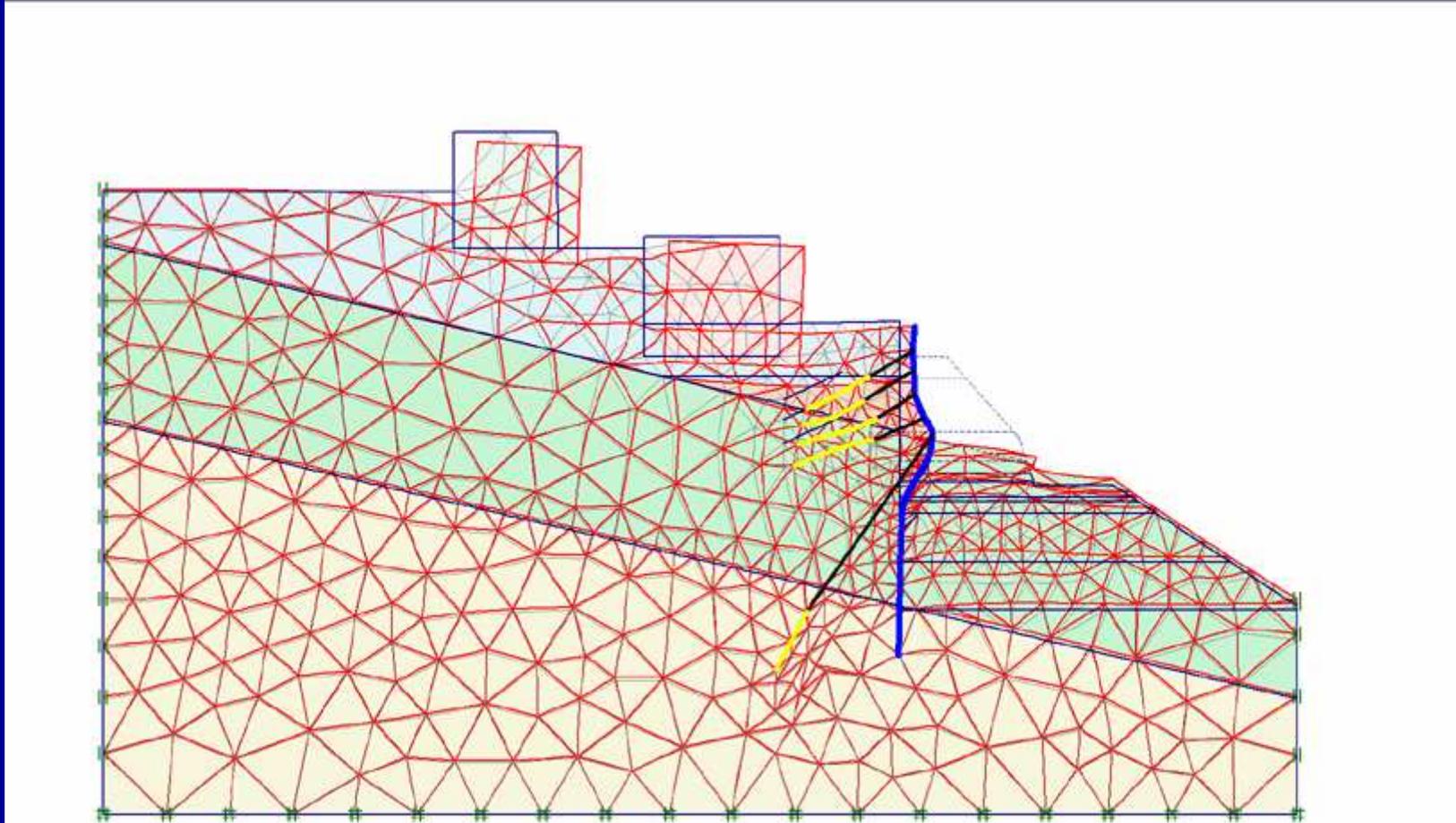
# Comportement réel des écrans



Effort tranchant absolu maxi. a 3.80 NGM = 69.08 t/ml  
 Moment flechissant mini. a 28.40 NGM = -7.10 t\*/m/ml  
 Moment flechissant maxi. a 8.16 NGM = 338.39 t\*/m/ml

## Comportement réel des écrans

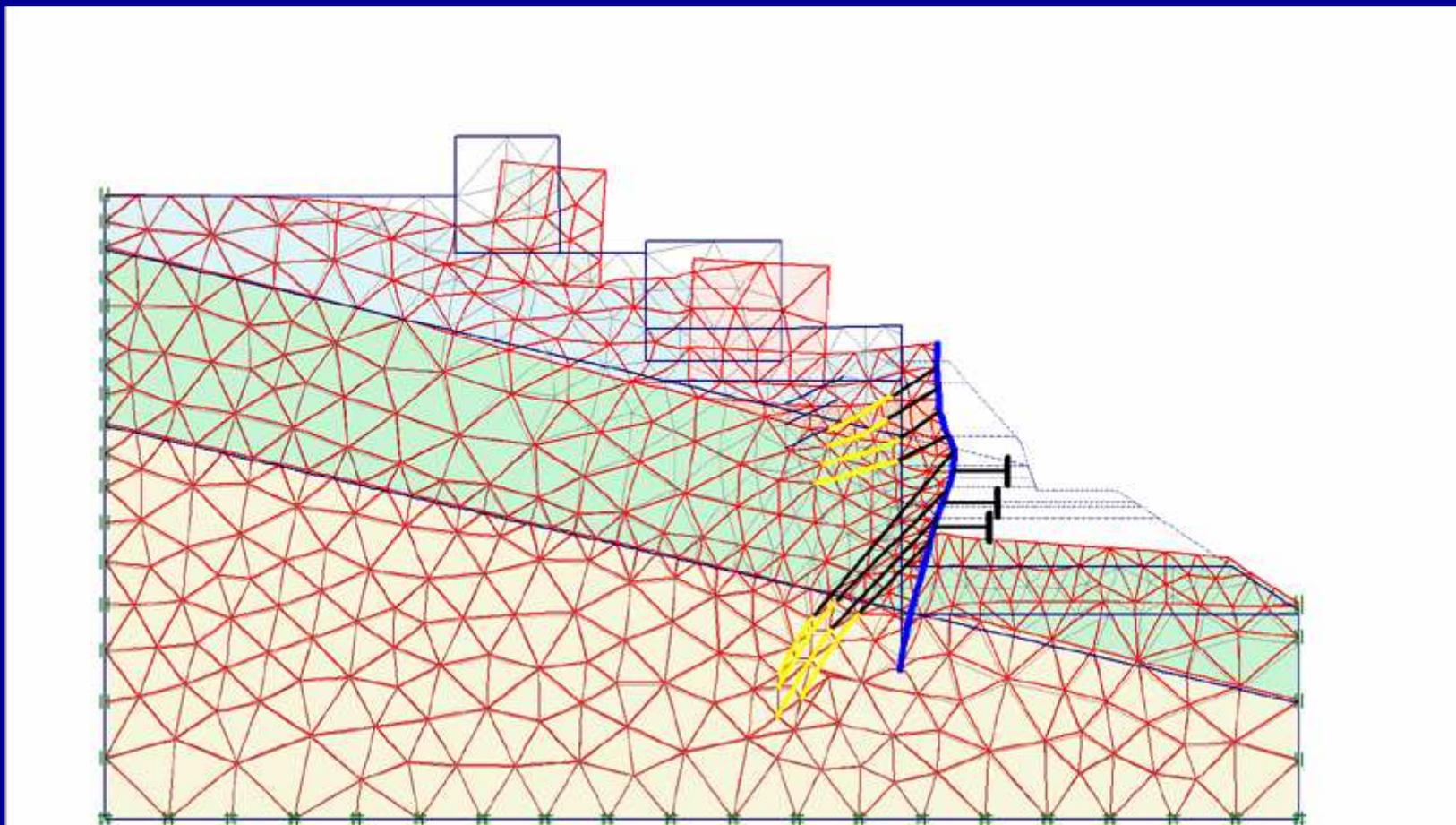
### Limites « géométriques » « Modèle Kranz »



# Comportement réel des écrans

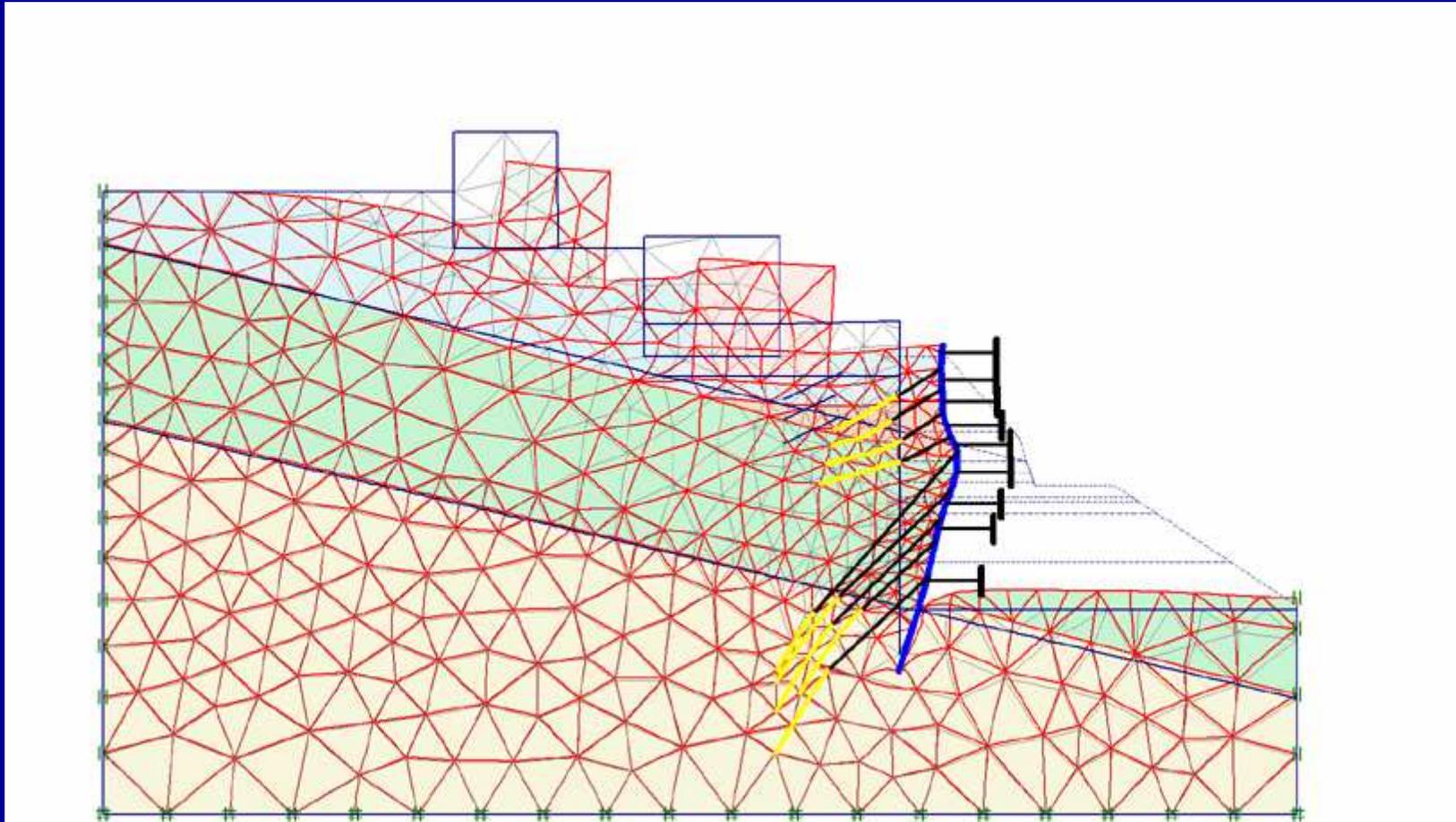
## Limites « géométriques »

### « Modèle Kranz »



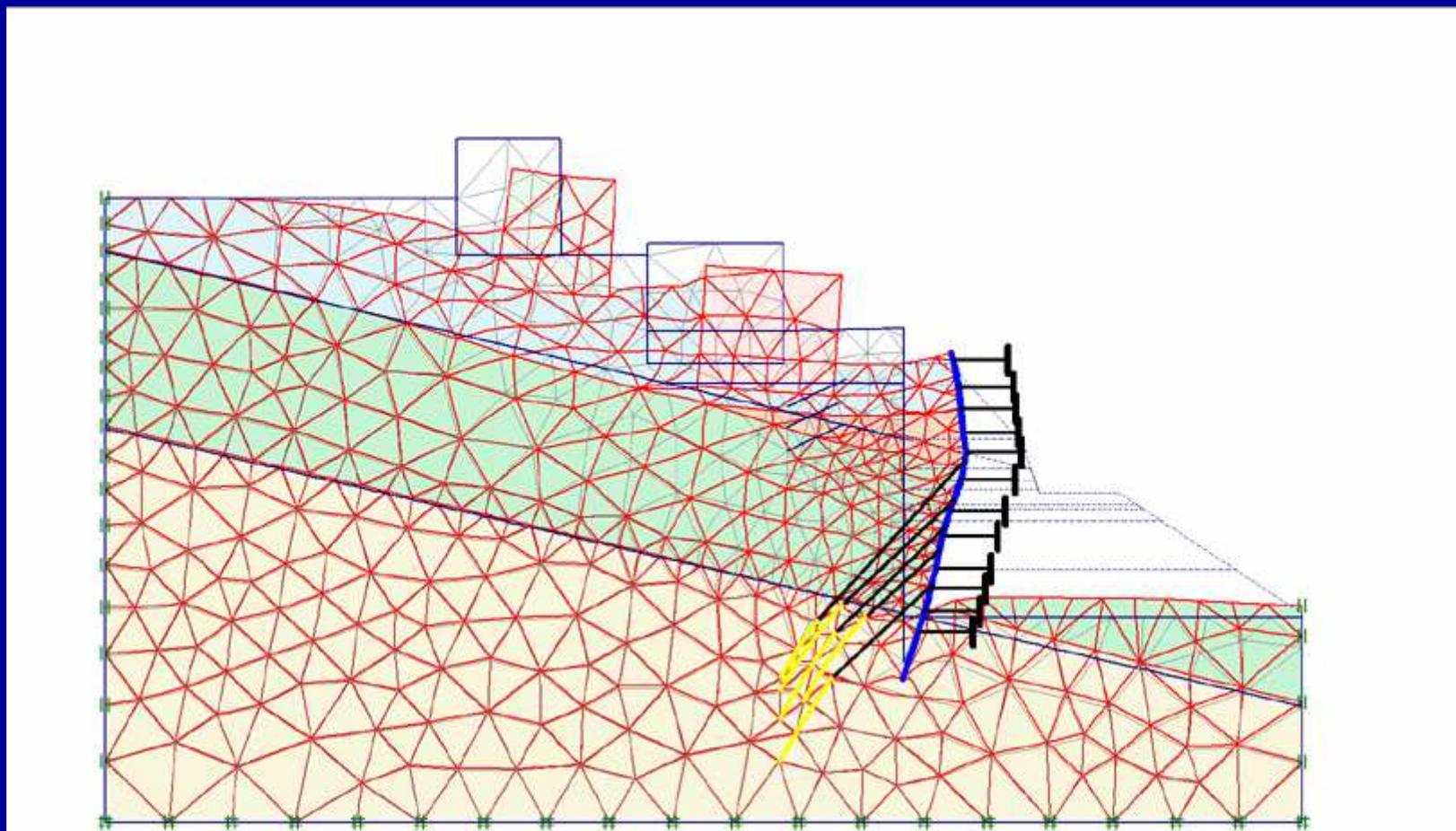
## Comportement réel des écrans

### Limites « géométriques » « Modèle Kranz »



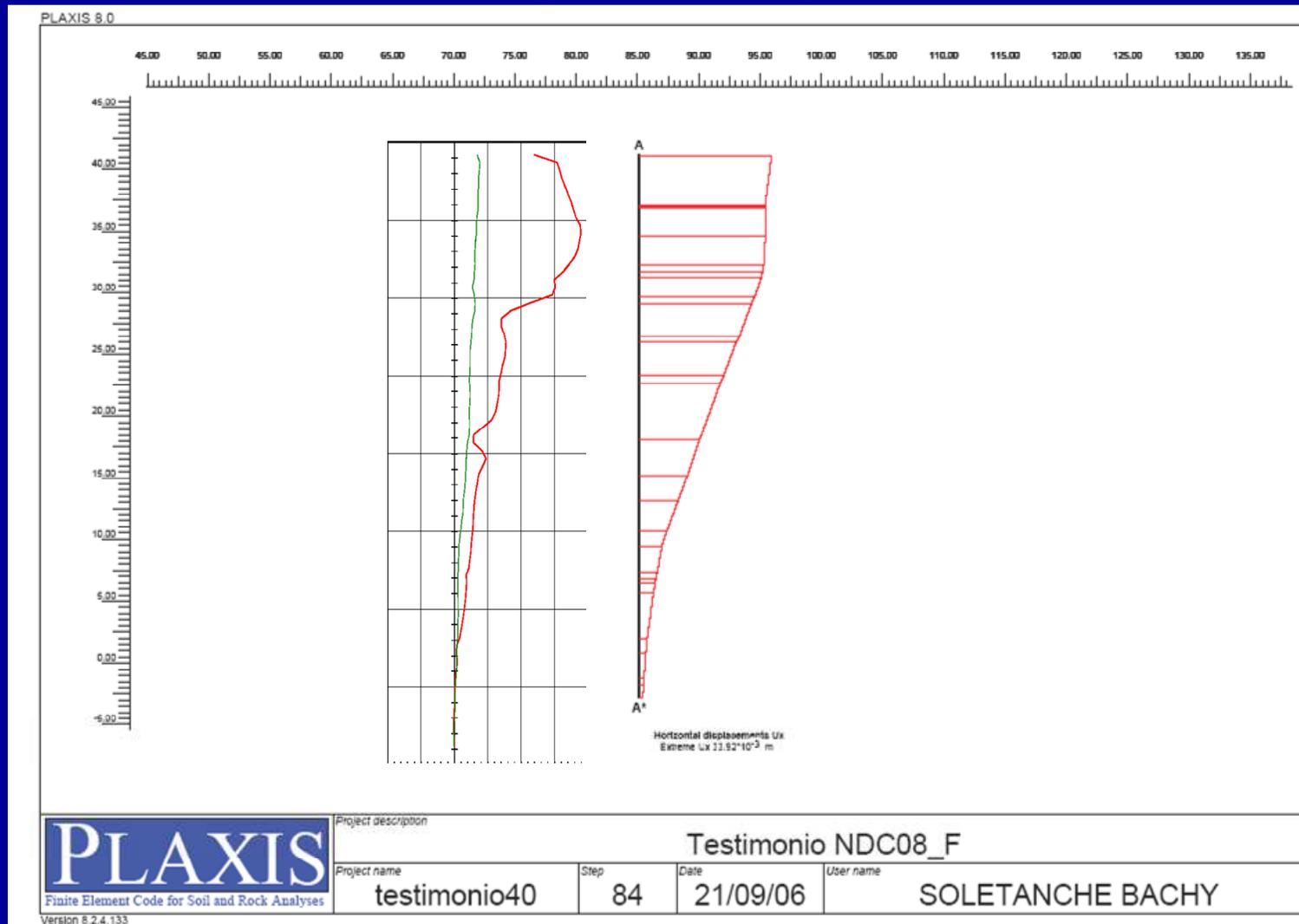
# Comportement réel des écrans

## Limites « géométriques » « Modèle Kranz »



# Comportement réel des écrans

## Limites « géométriques »

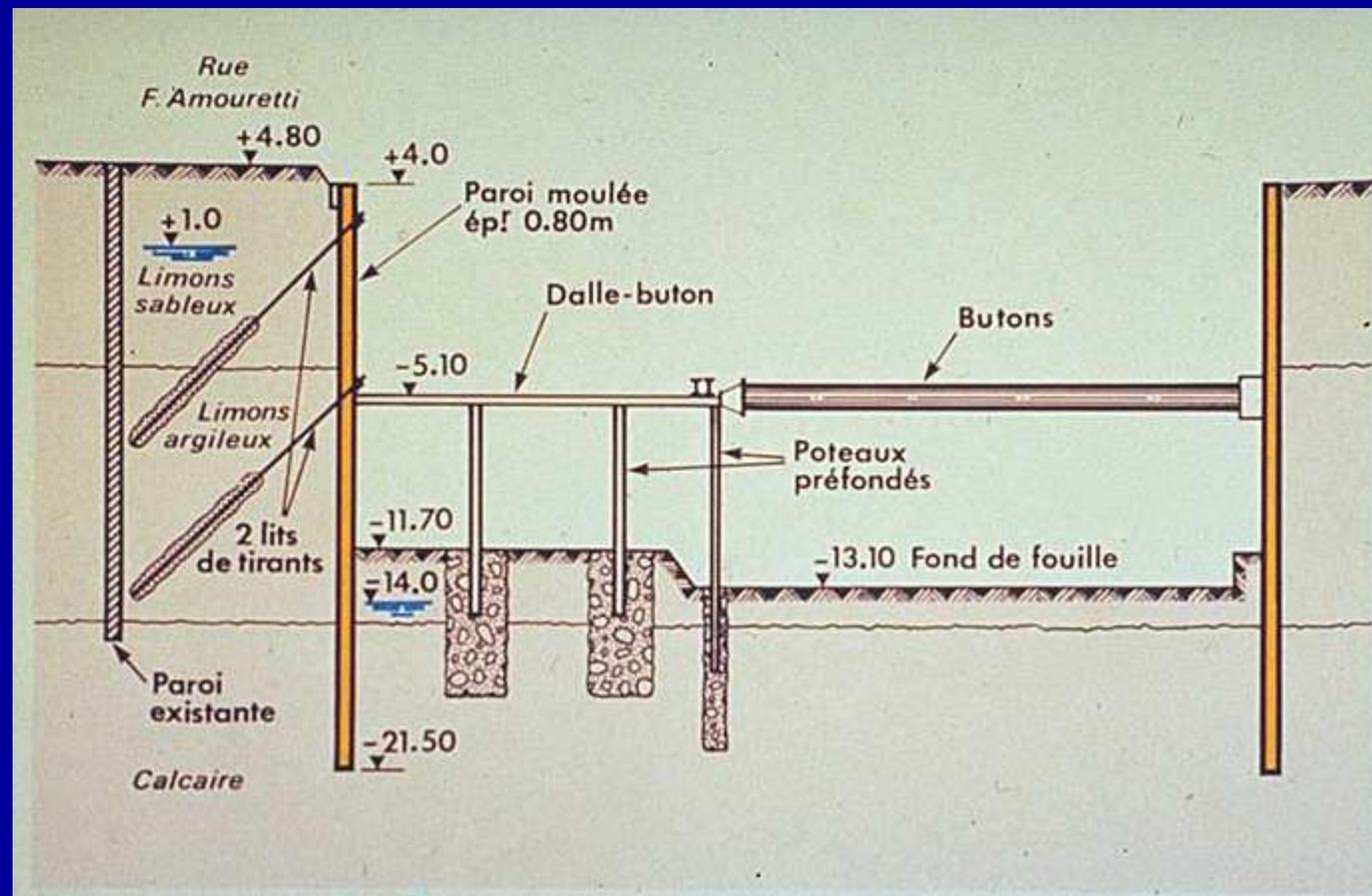


# Comportement réel des écrans

## Limites « géométriques »

### « Modèle Kranz »

## Cannes / Hôtel Hilton



## Comportement réel des écrans

Limites « géométriques »

« Modèle Kranz »

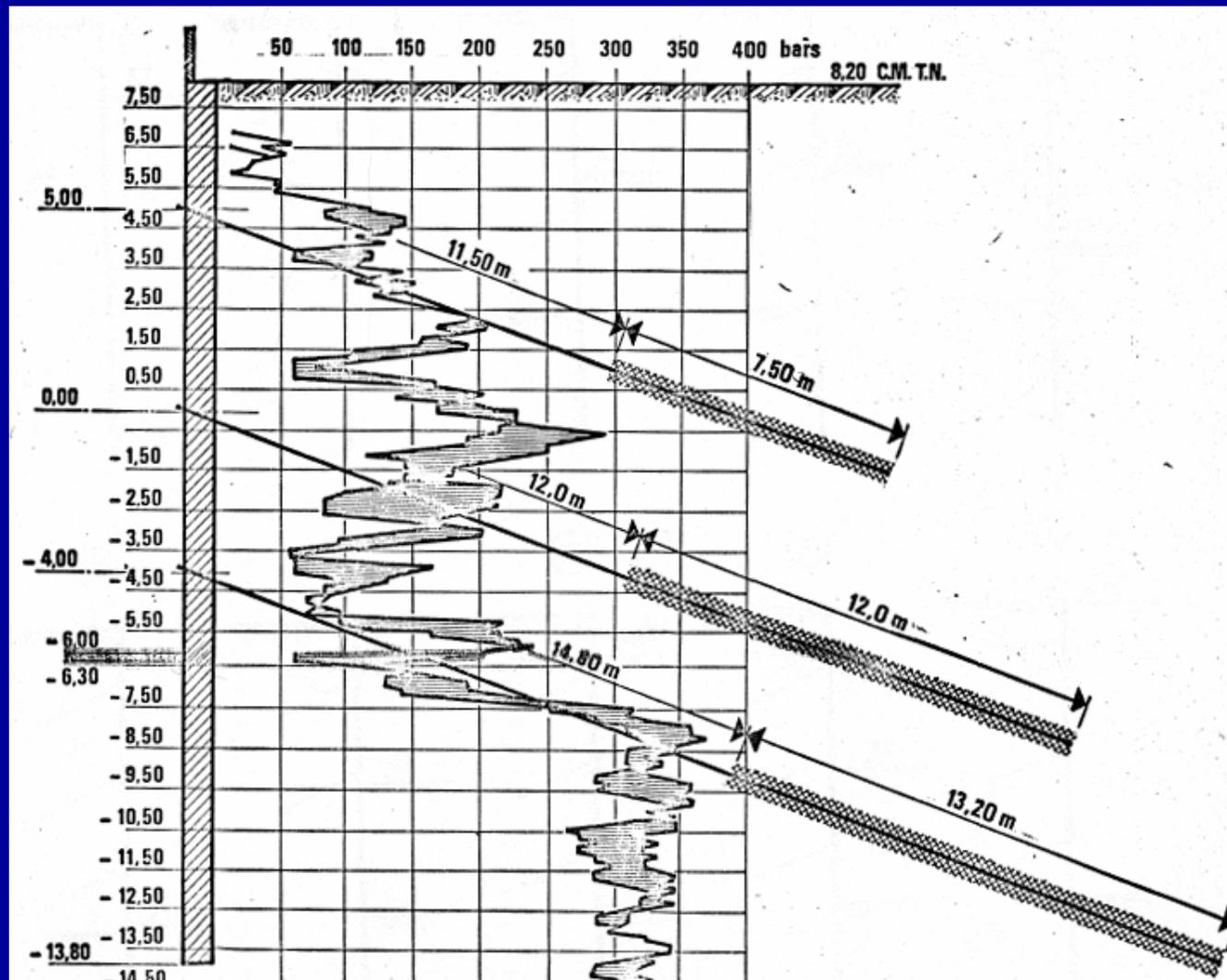
Cannes / Hôtel Hilton



# Comportement réel des écrans

## Limites « géométriques »

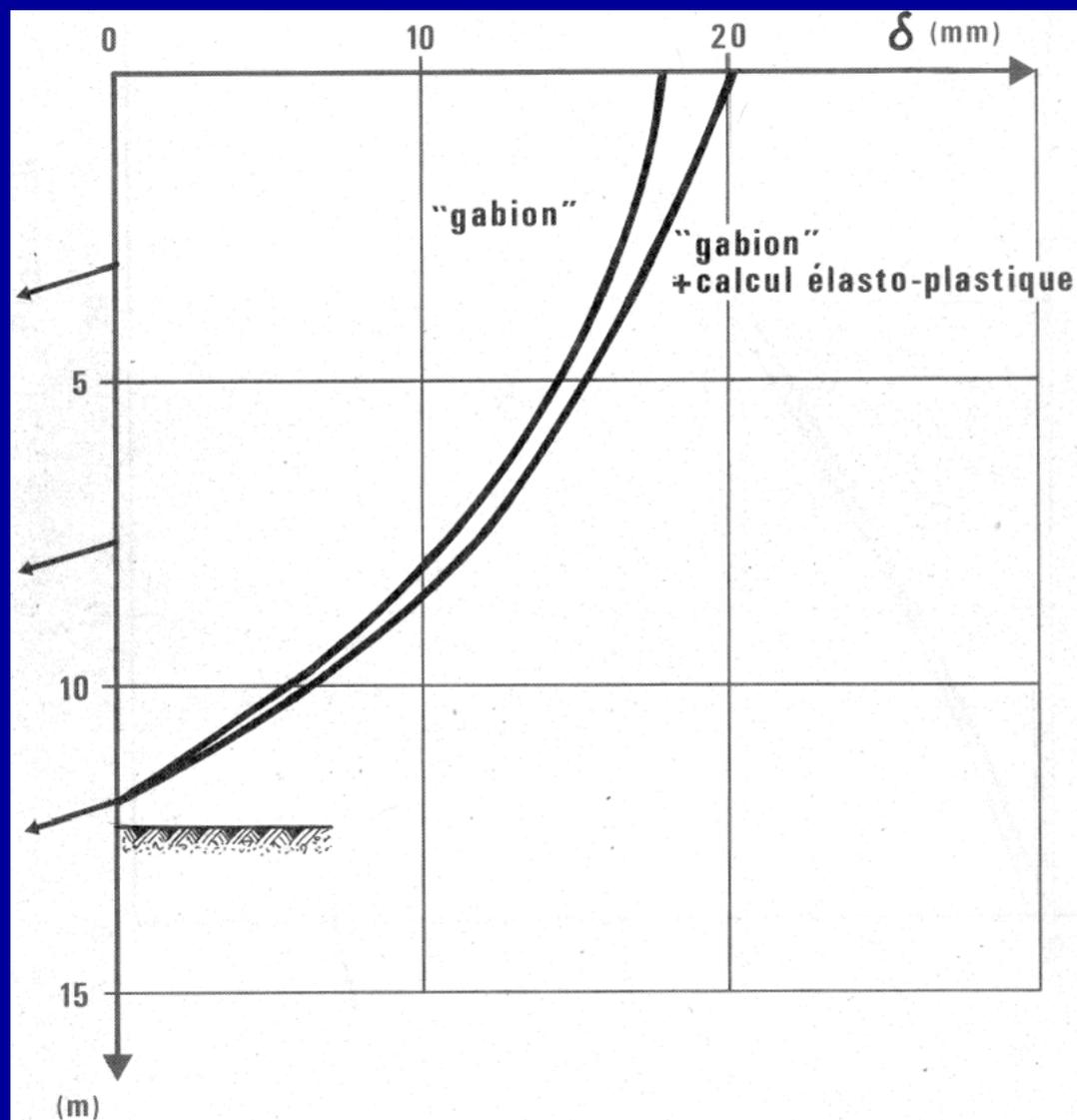
### « Modèle gabion » Gravelines / Centrale



# Comportement réel des écrans

## Limites « géométriques »

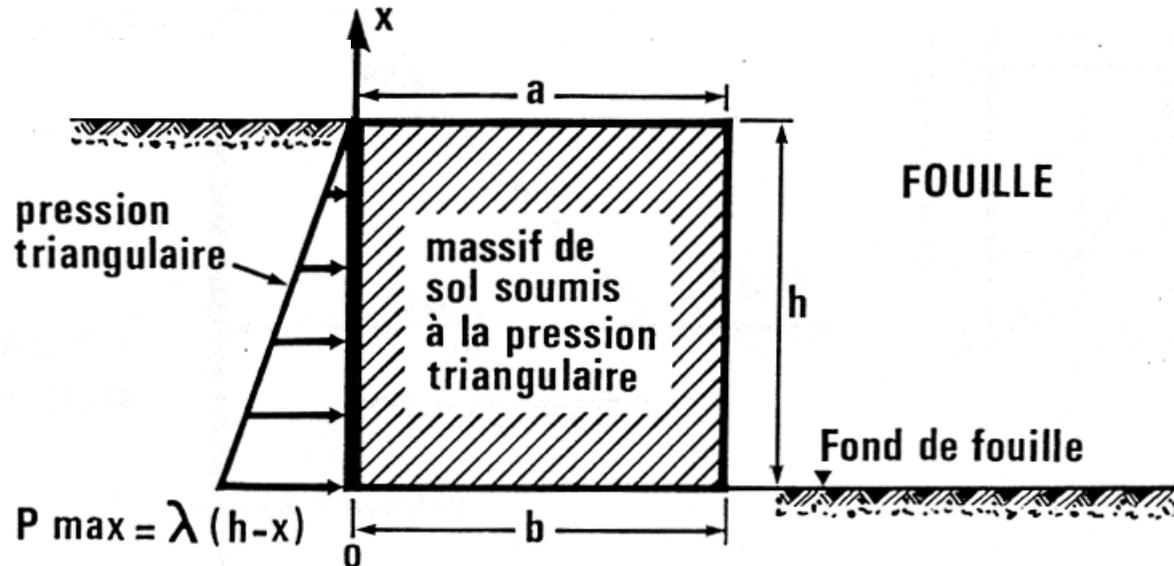
### « Modèle gabion »



## Comportement réel des écrans

### Limites « géométriques »

### « Modèle gabion »



Expression de la déformée :  $v(x)$  :

$$v(x) = \frac{\lambda}{10 E b^3} \left[ -x^5 + 5 h x^4 - 10 h^2 x^3 + 10 h^3 x^2 \right] + \frac{\lambda}{5 G b} \left[ (x-h)^3 + h^3 \right]$$

## Comportement réel des écrans

### Limites « géométriques »

### « Modèle écran rigide »

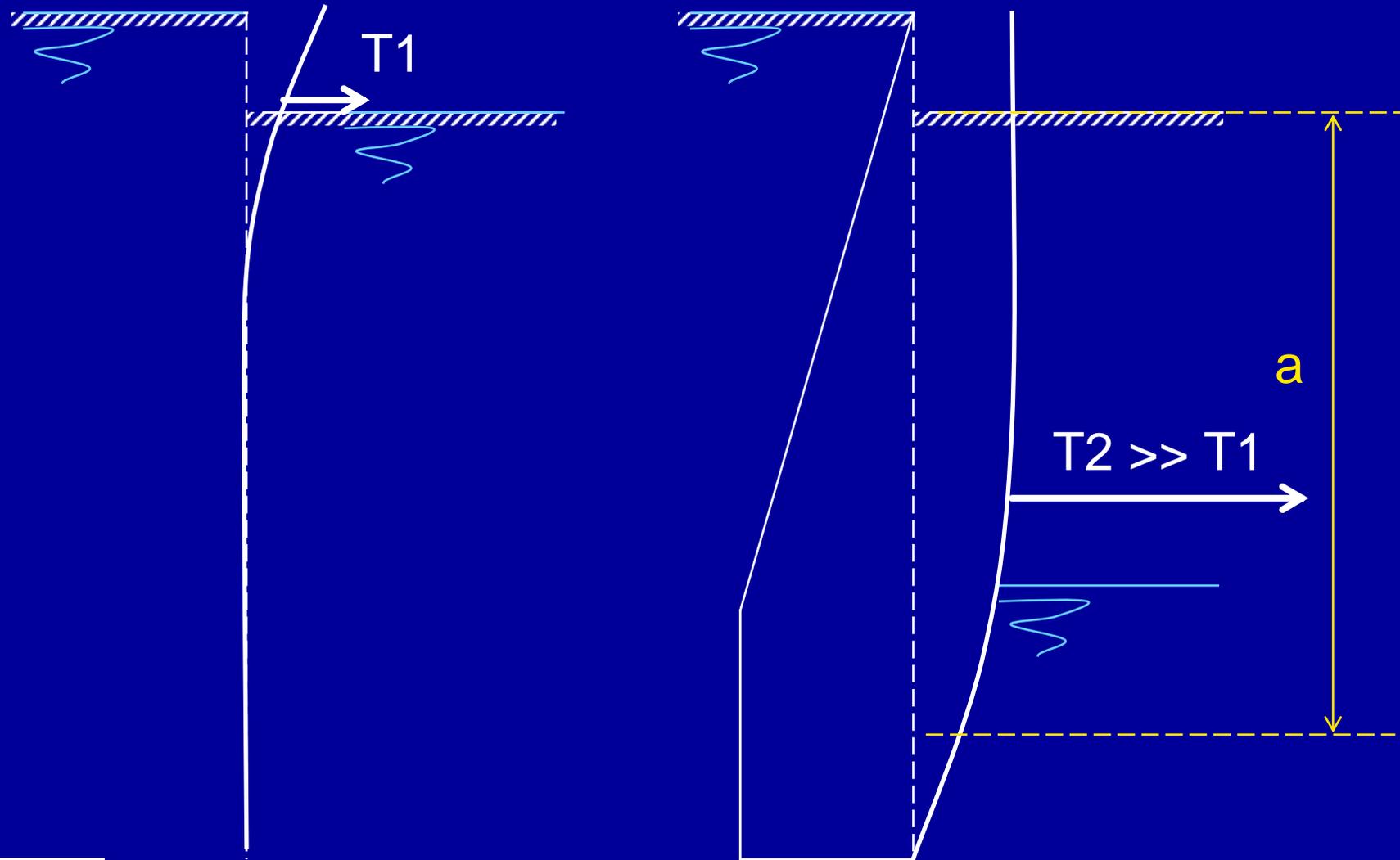


$$a < 1.5 \cdot l_0 \quad k = 3,6 \cdot E_M / (\alpha \cdot a) > 2,1 \cdot (E_M / \alpha)^{4/3} / (EI)^{1/3}$$

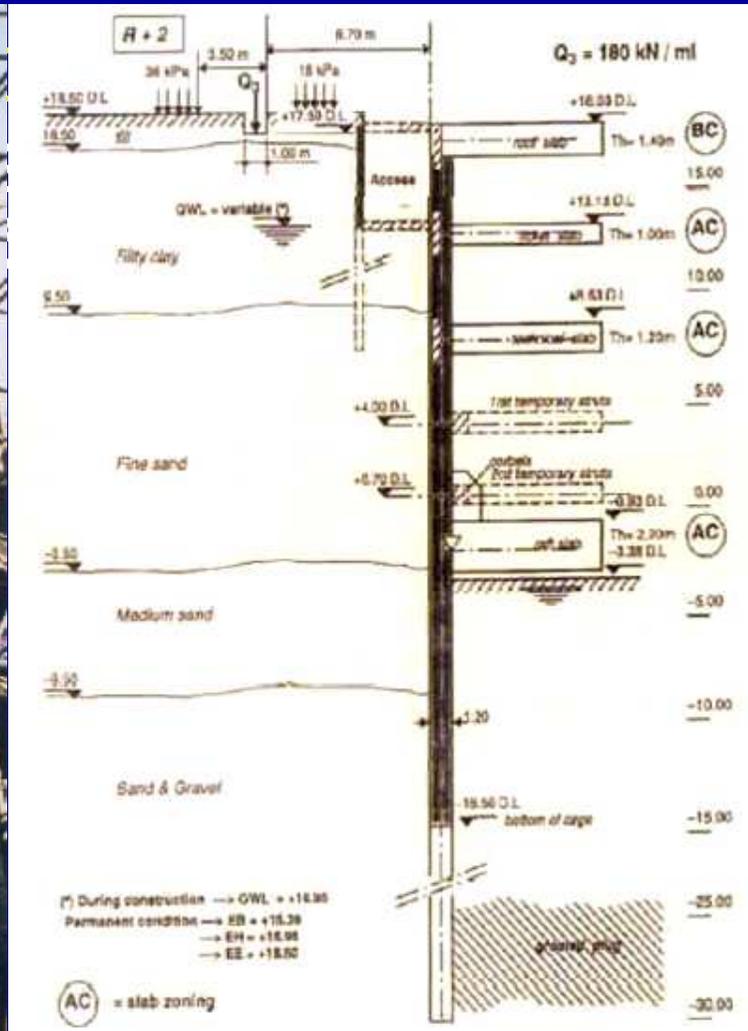
# Comportement réel des écrans

## Limites « mécaniques »

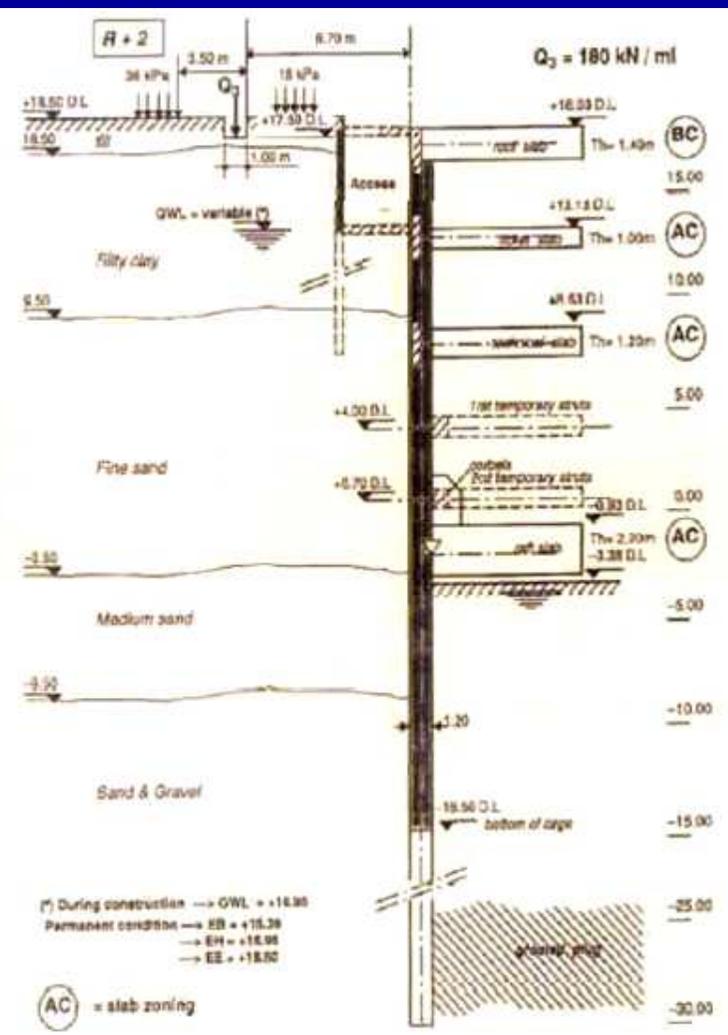
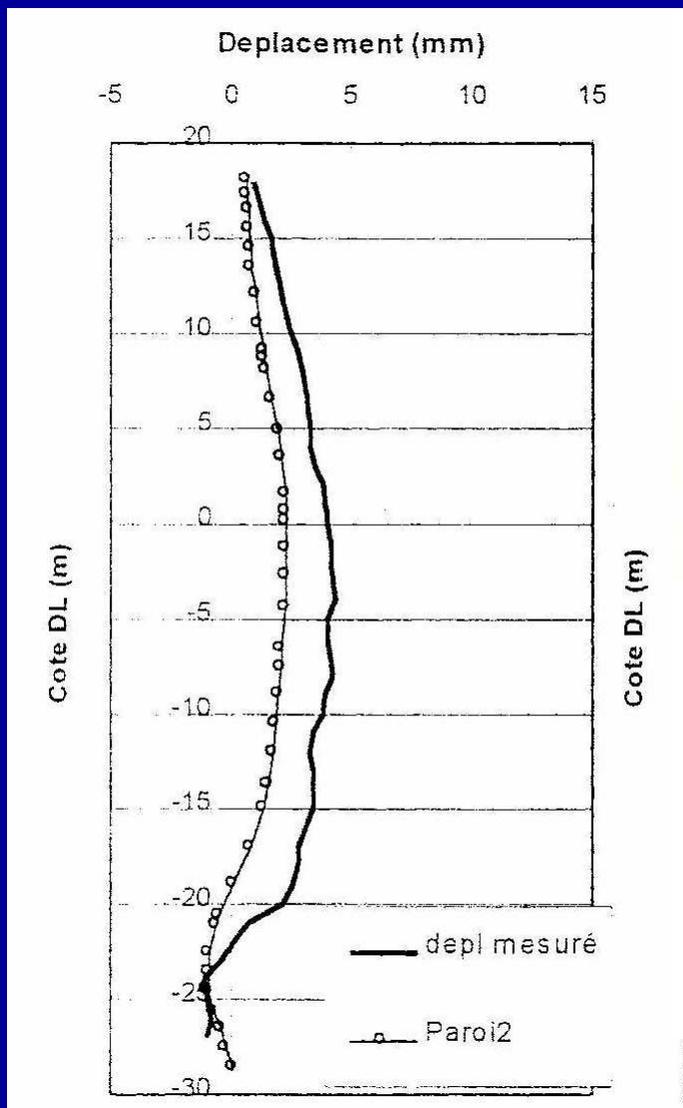
### « Modèle fiche hydraulique »



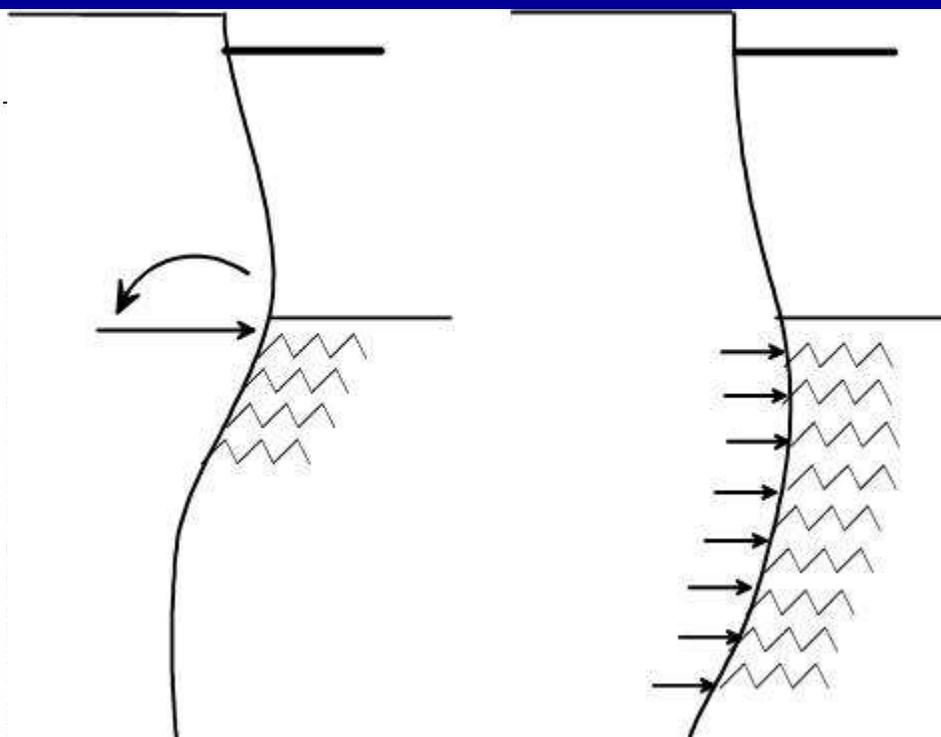
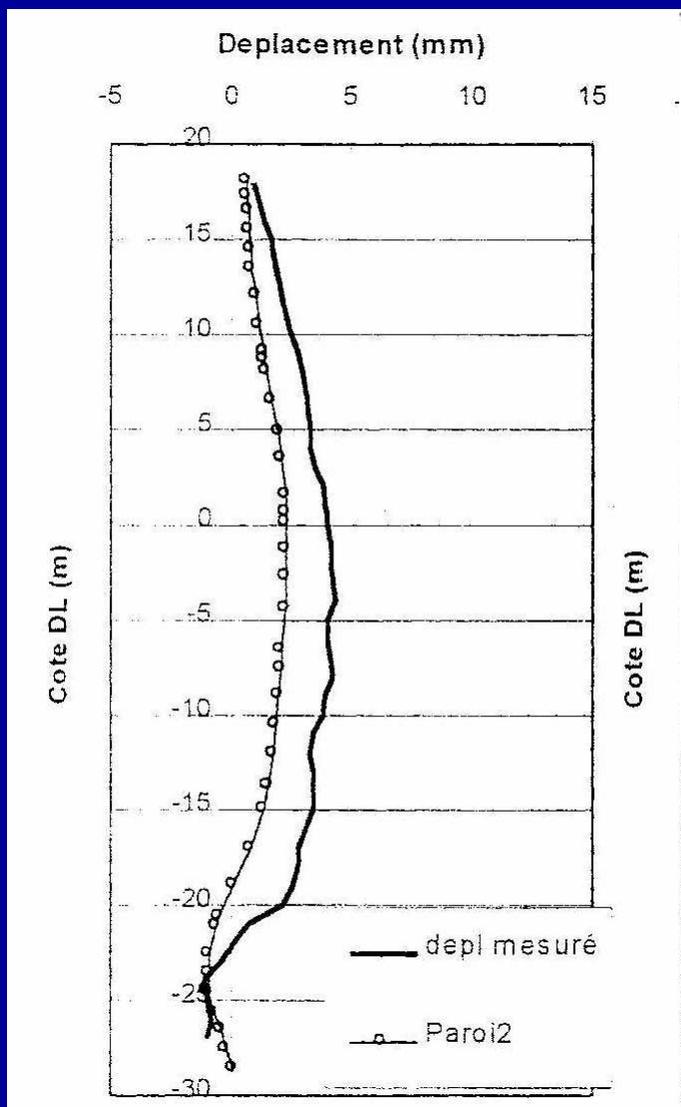
# Comportement réel des écrans



# Comportement réel des écrans

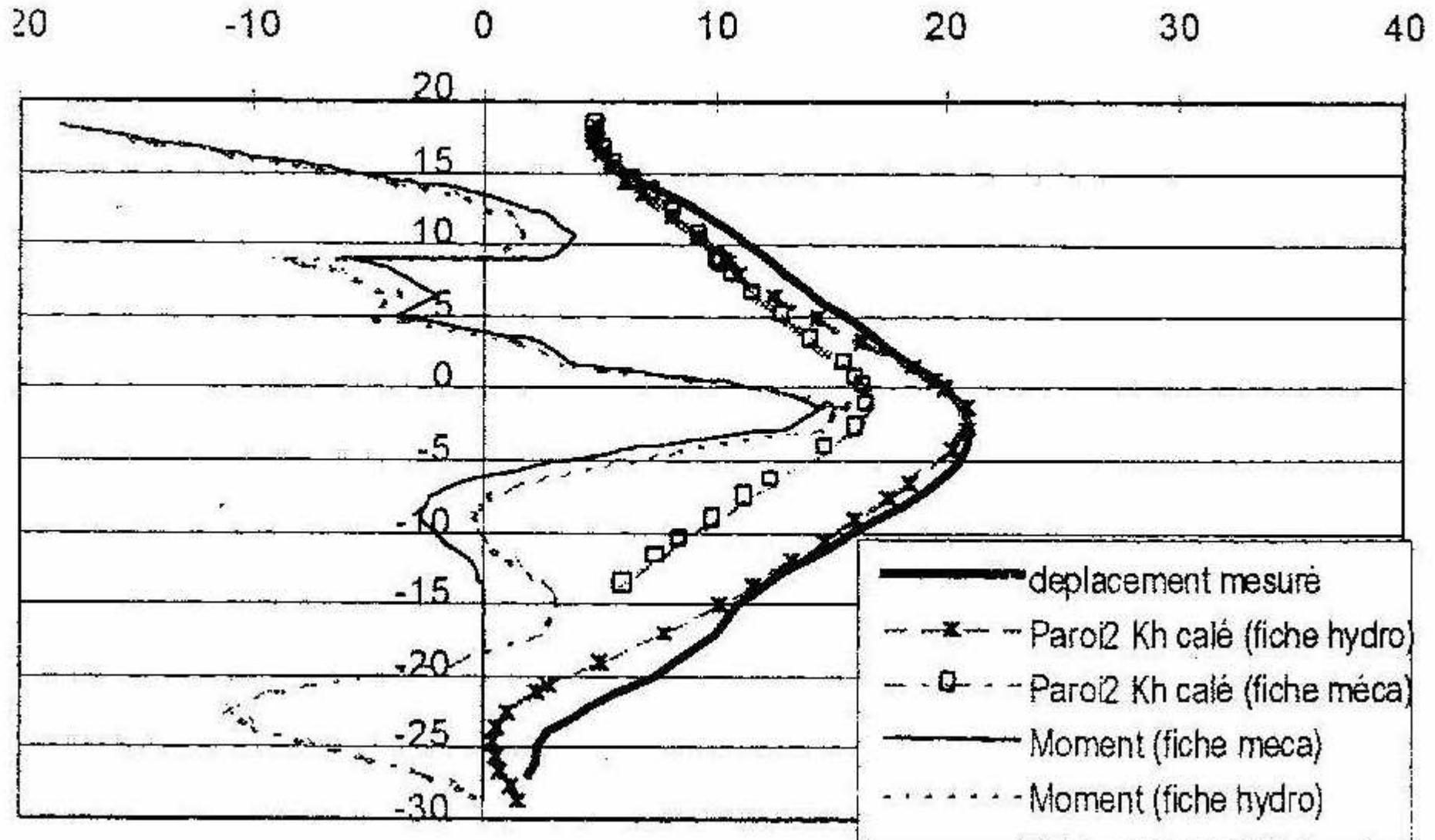


# Comportement réel des écrans



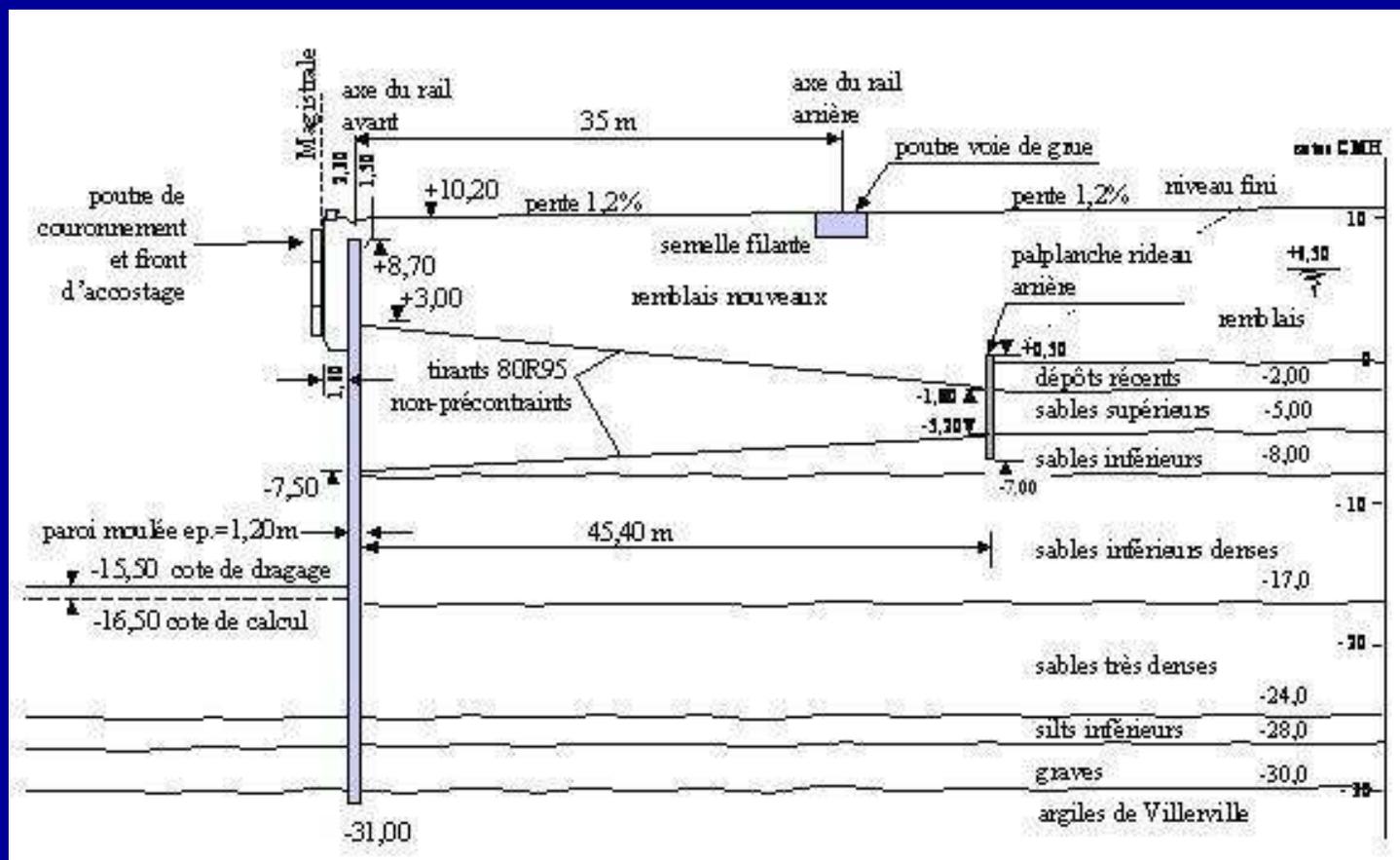
# Comportement réel des écrans

## Limites « mécaniques »



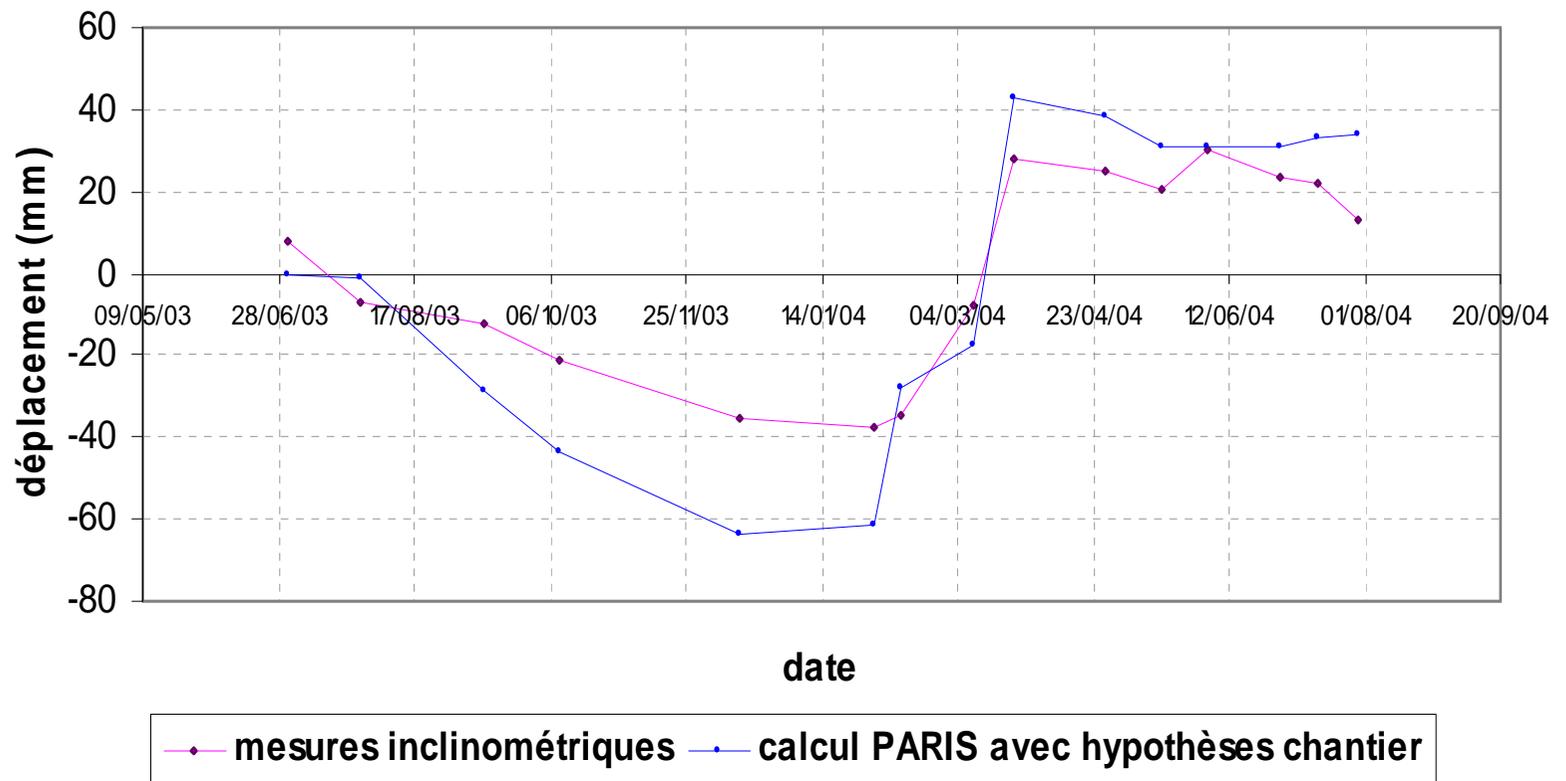
# Comportement réel des écrans

## Limites « mécaniques » « Modèle fiche hydraulique » Le Havre / Port 2000



# Comportement réel des écrans

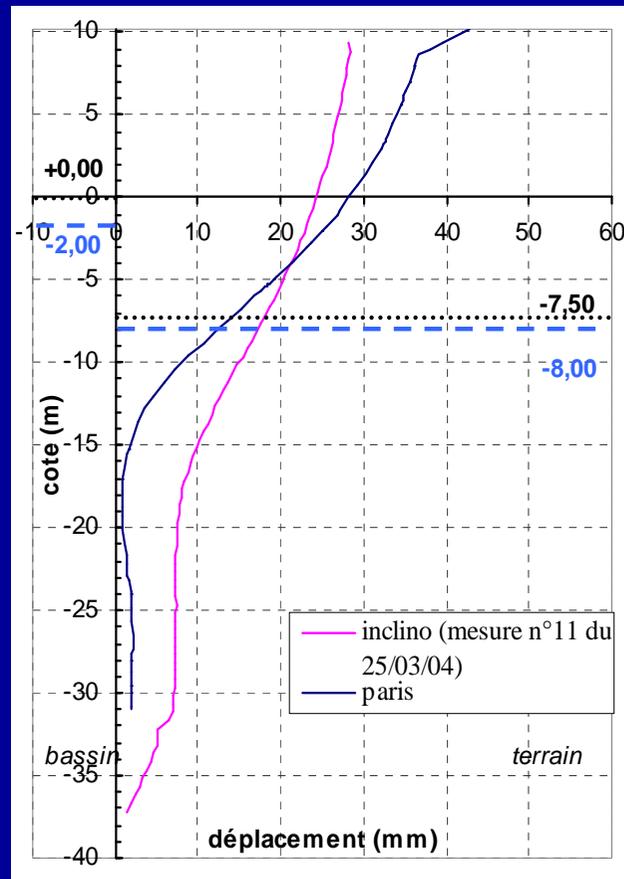
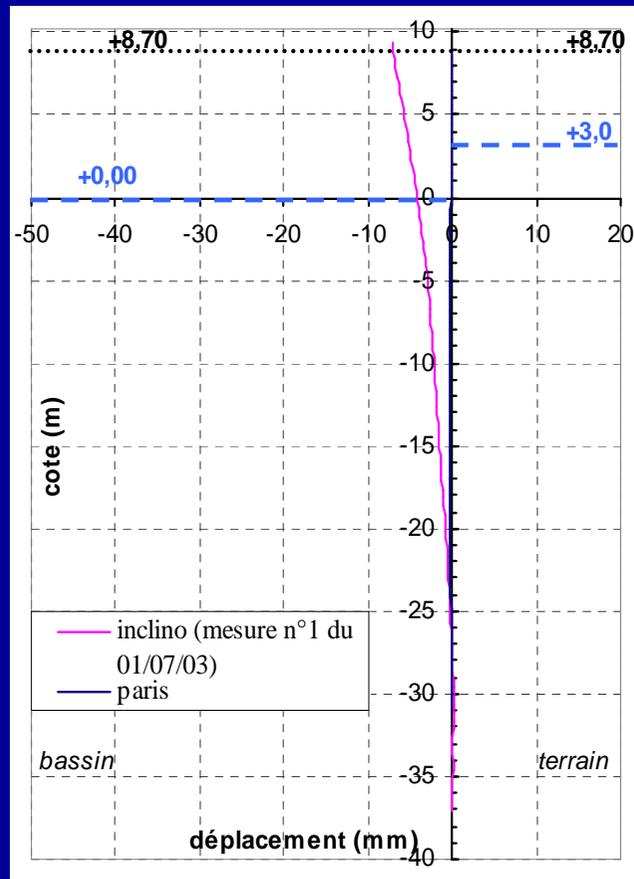
## Limites « mécaniques »



# Comportement réel des écrans

## Limites « mécaniques » « Modèle fiche hydraulique »

### Le Havre / Port 2000



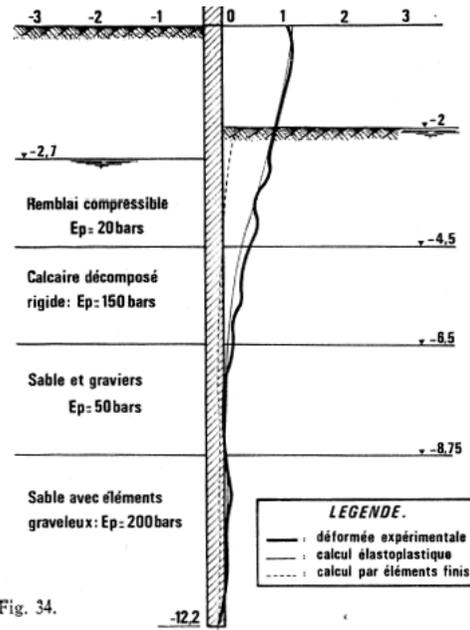


Fig. 34.

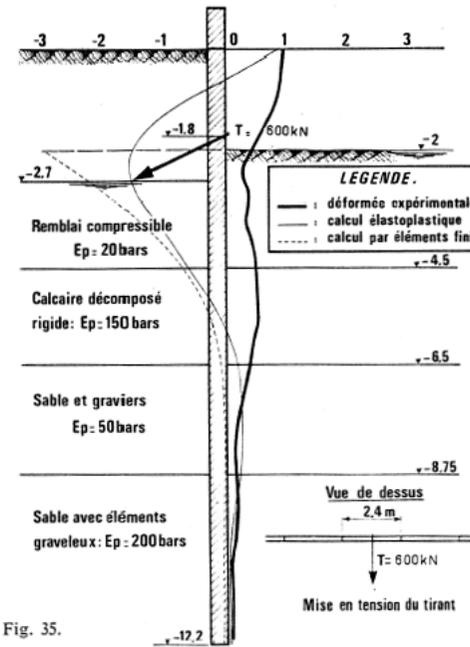


Fig. 35.

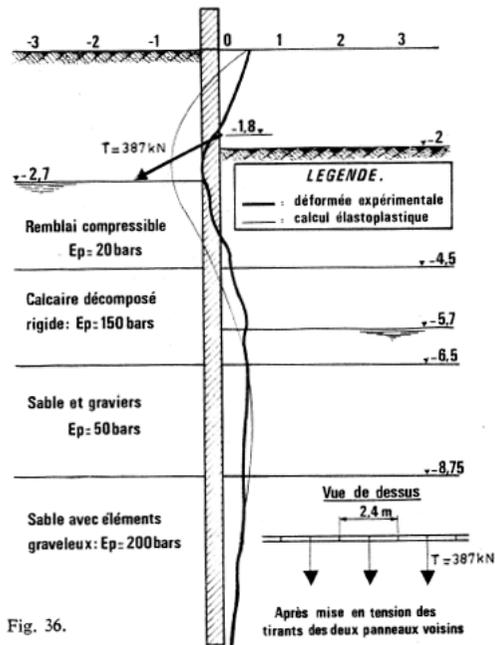


Fig. 36.

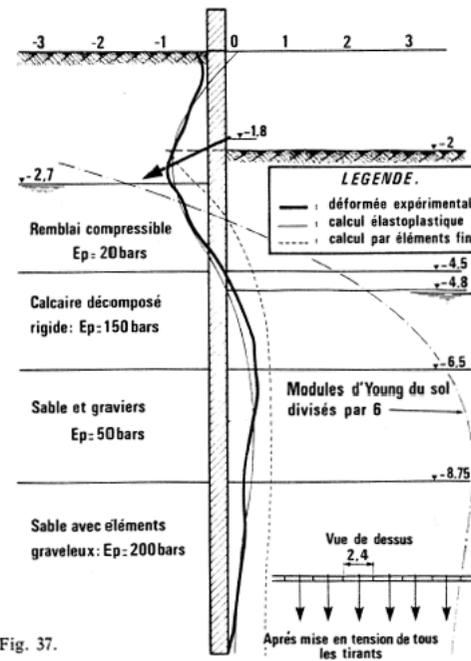
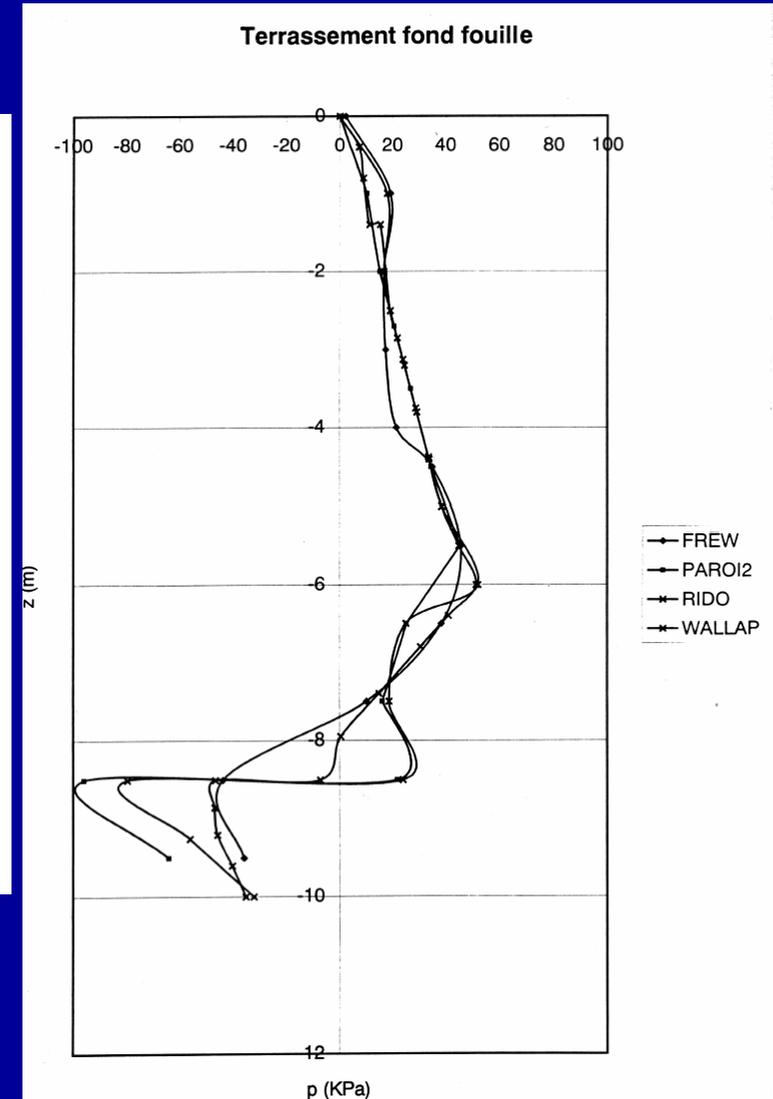
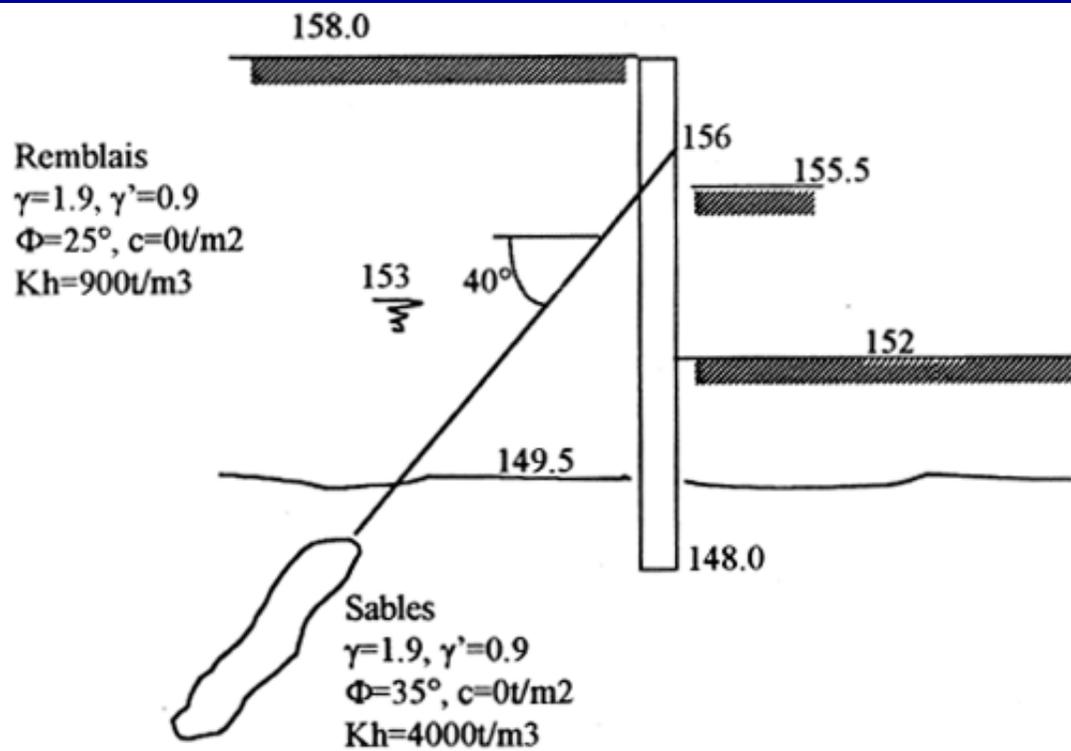


Fig. 37.

# Comportement réel des écrans

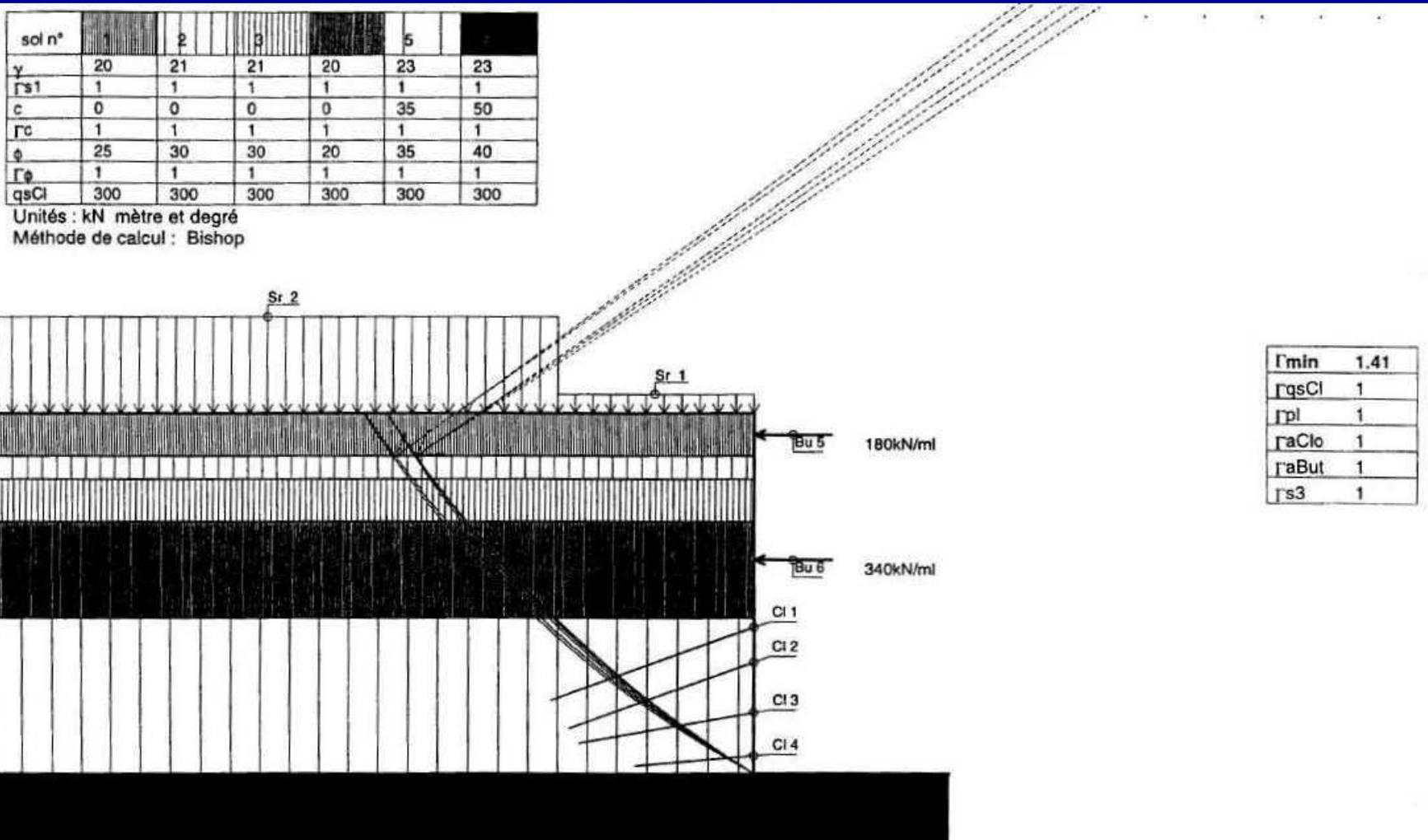
## Limites « mécaniques » « Arcs de décharge »



# Comportement réel des écrans

## Limites « mécaniques » « Arcs de décharge »

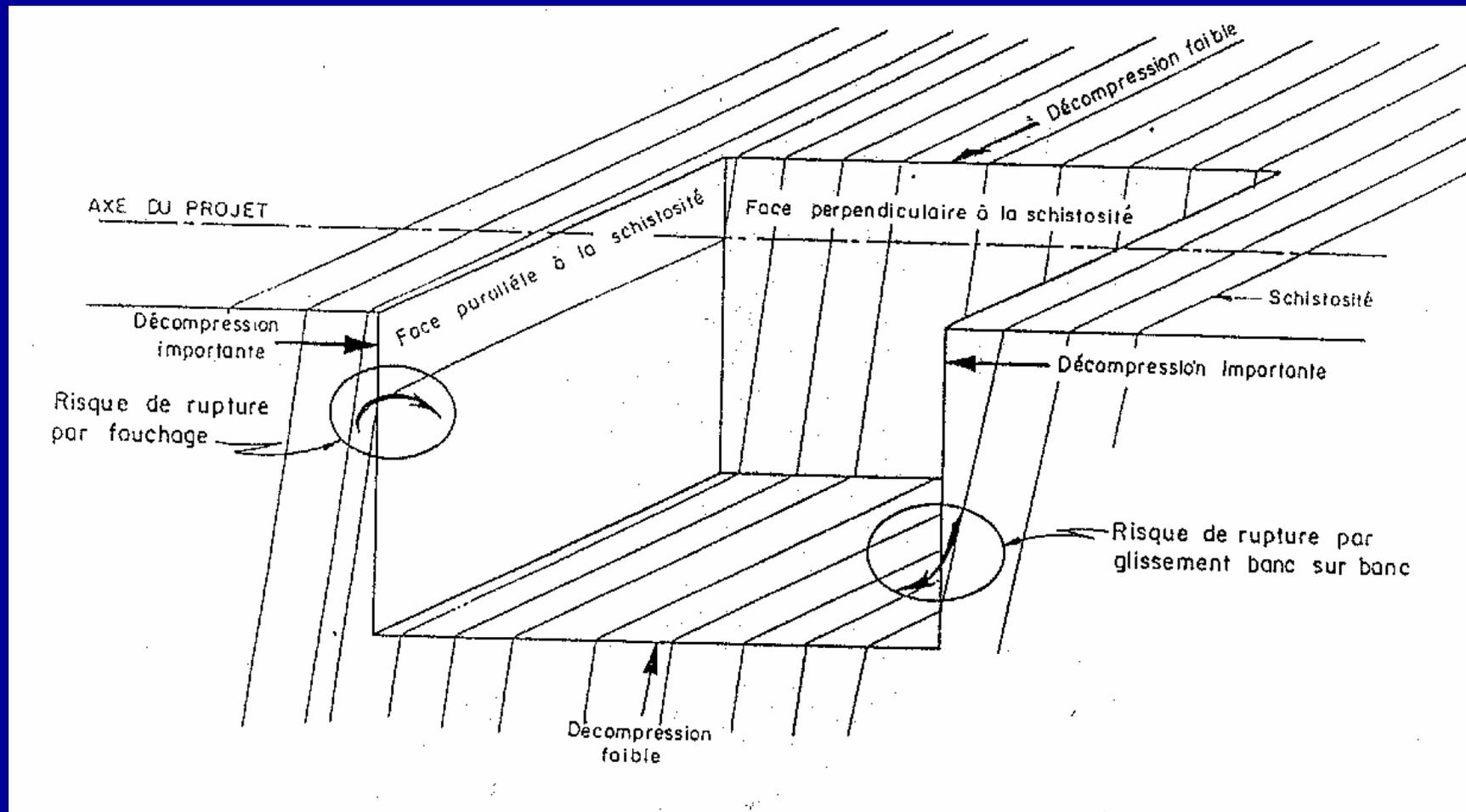
### Rennes / Station Charles de Gaulle



## Comportement réel des écrans

### Limites « mécaniques » « Arcs de décharge »

## Rennes / Station Charles de Gaulle



## Comportement réel des écrans

### Limites « mécaniques » « Arcs de décharge »

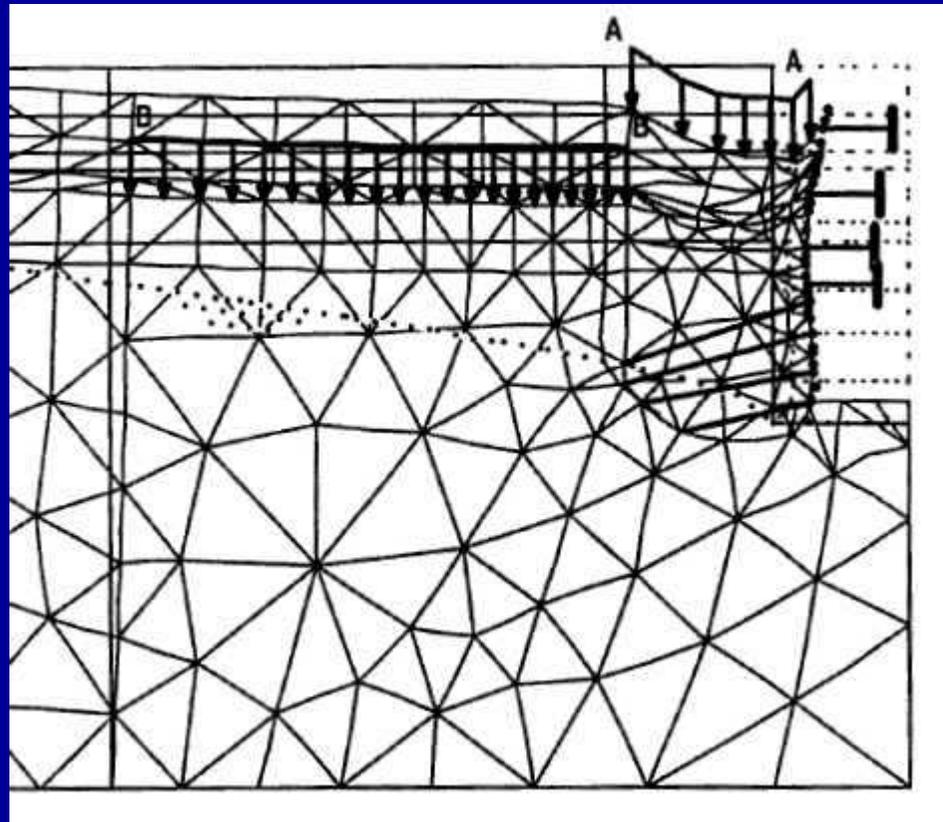
Rennes / Station Charles de Gaulle



## Comportement réel des écrans

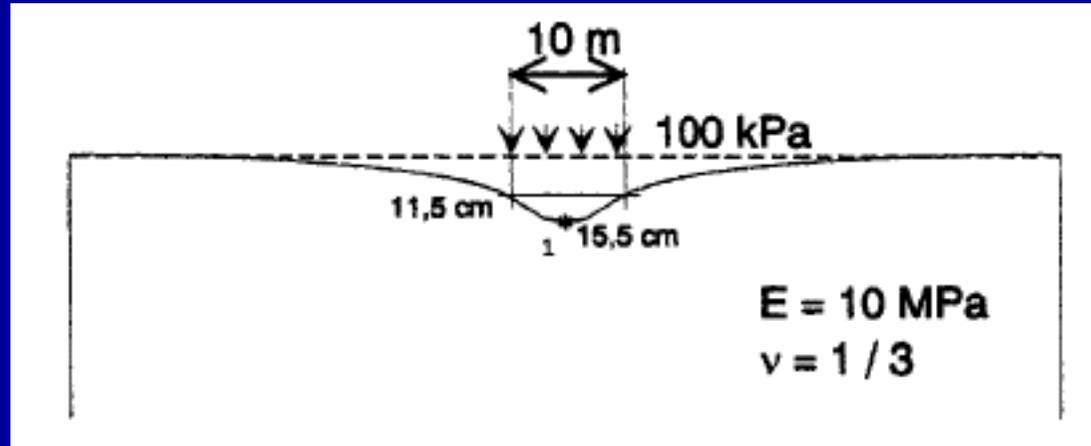
### Limites « mécaniques » « Arcs de décharge »

Rennes / Station Charles de Gaulle



## Comportement réel des écrans

### Recherche d'un modèle de comportement général Modèle élastique



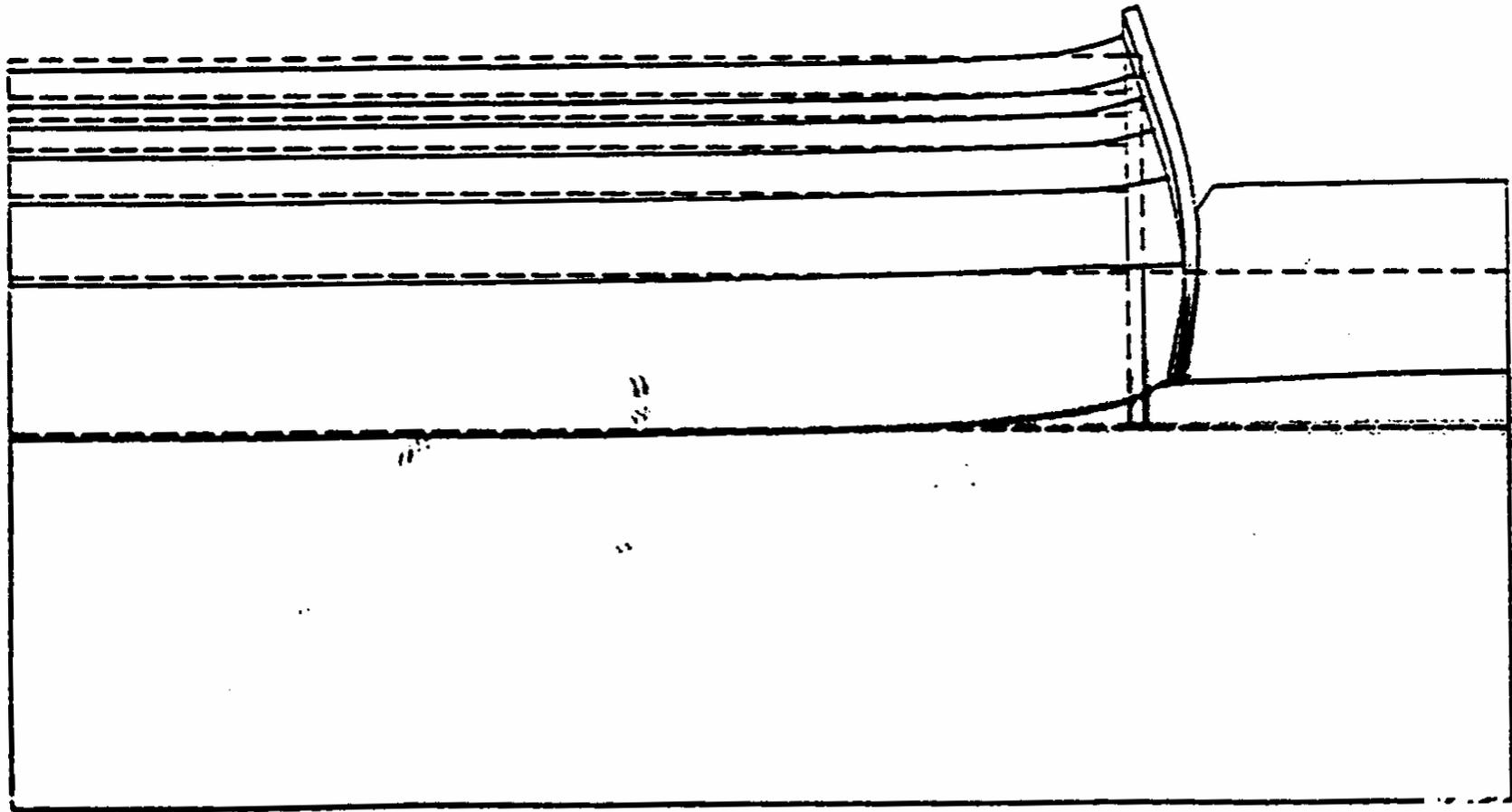
$$k = p_{\text{moyen}} / s_{\text{moyen}} \# E_Y / (1,3.a)$$

$$\text{Mesures écrans} \Rightarrow k = 3,6 \cdot E_M / \alpha$$

$$\Rightarrow E_Y = 4,7 \cdot E_M / \alpha$$

## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général Modèle élastique

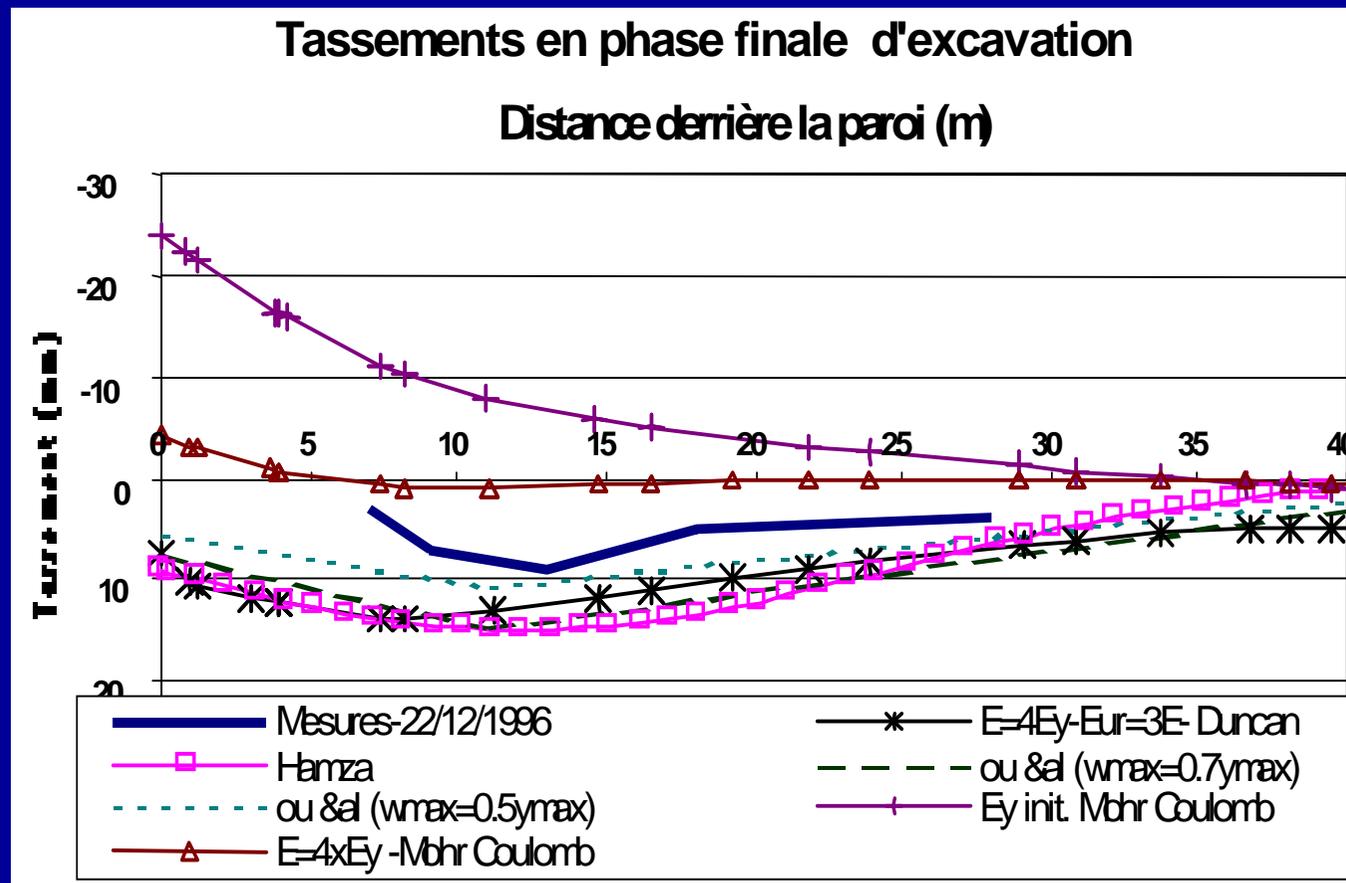


## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général

## Modèle élastique

### Le Caire / Station El Behoos

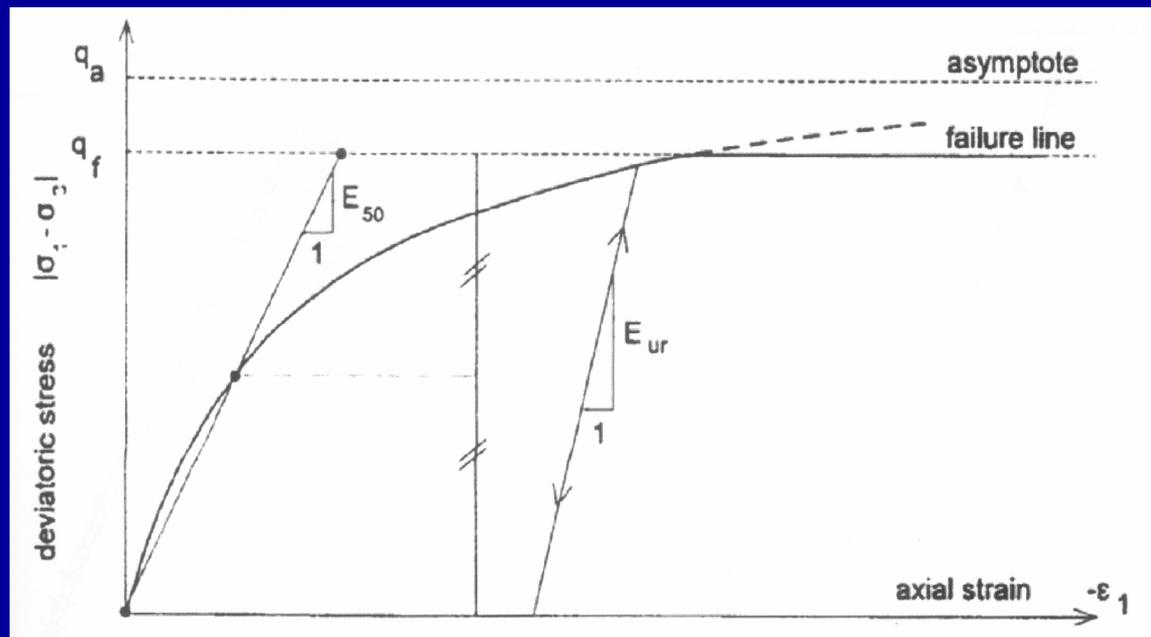


## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général

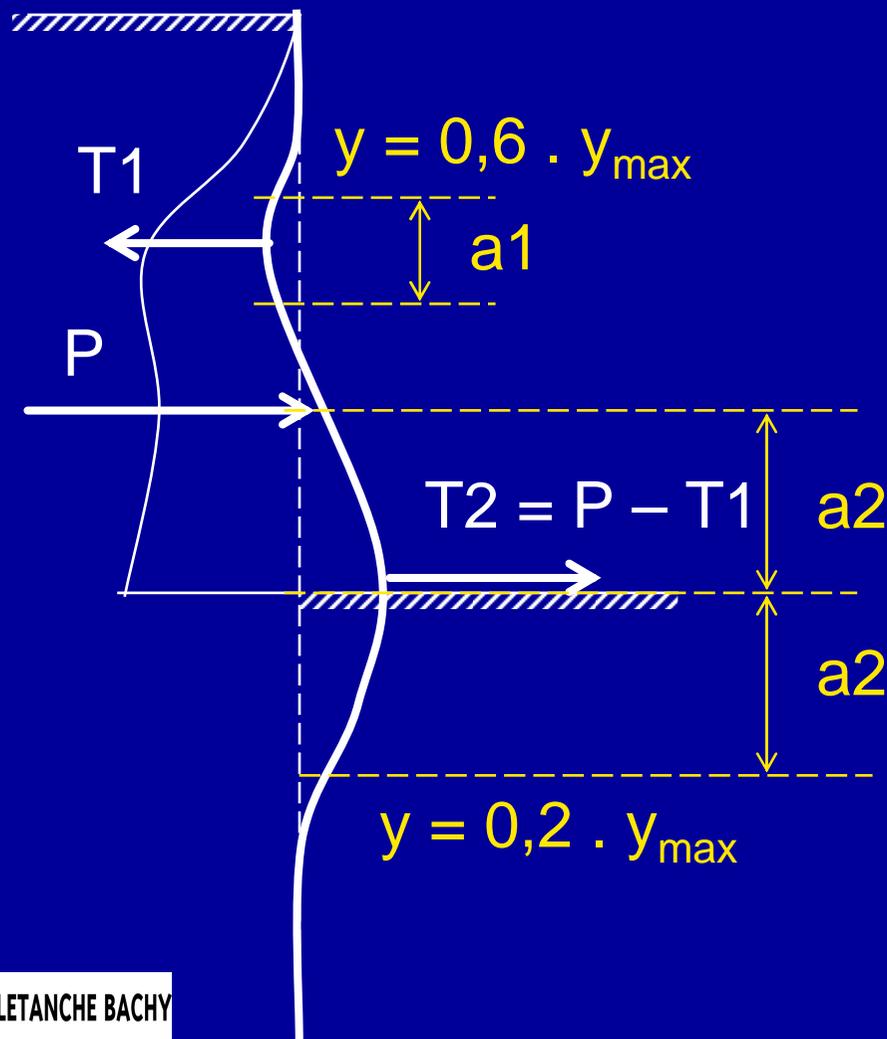
## Modèle élastique

### Chargement / déchargement



### Recherche d'un modèle de comportement général Modèle élastique

Modules « soutènement » / Modules « fondation »



Ménard :

$$k_{\text{écran}} = k_{\text{semelle}} / 2$$

Théorie des poutres :

$$a_{0,2.y_{\max}} = 2 \cdot a_{0,6.y_{\max}}$$

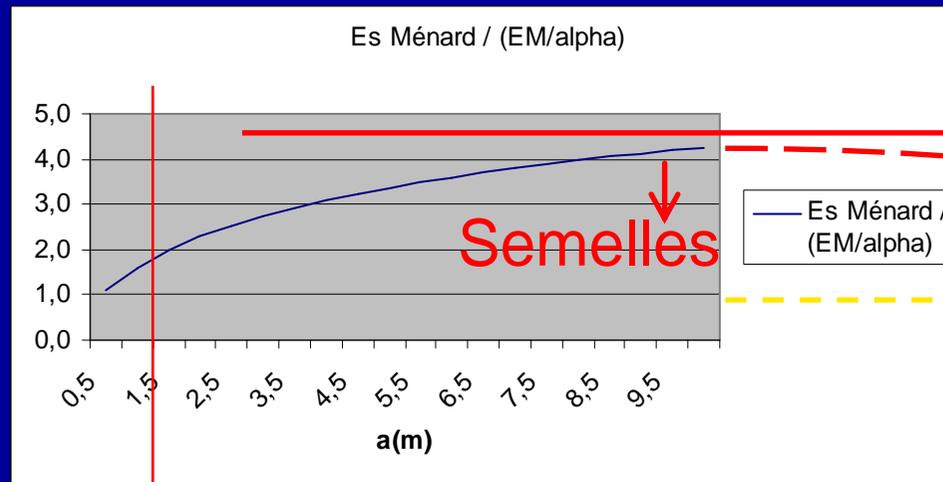
Finalement :

$$k_{\text{écran}} = k_{\text{Ménard}} \times 1,5$$

## Comportement réel des écrans

### Recherche d'un modèle de comportement général Modèle élastique

Modules « soutènement » / Modules « fondation »



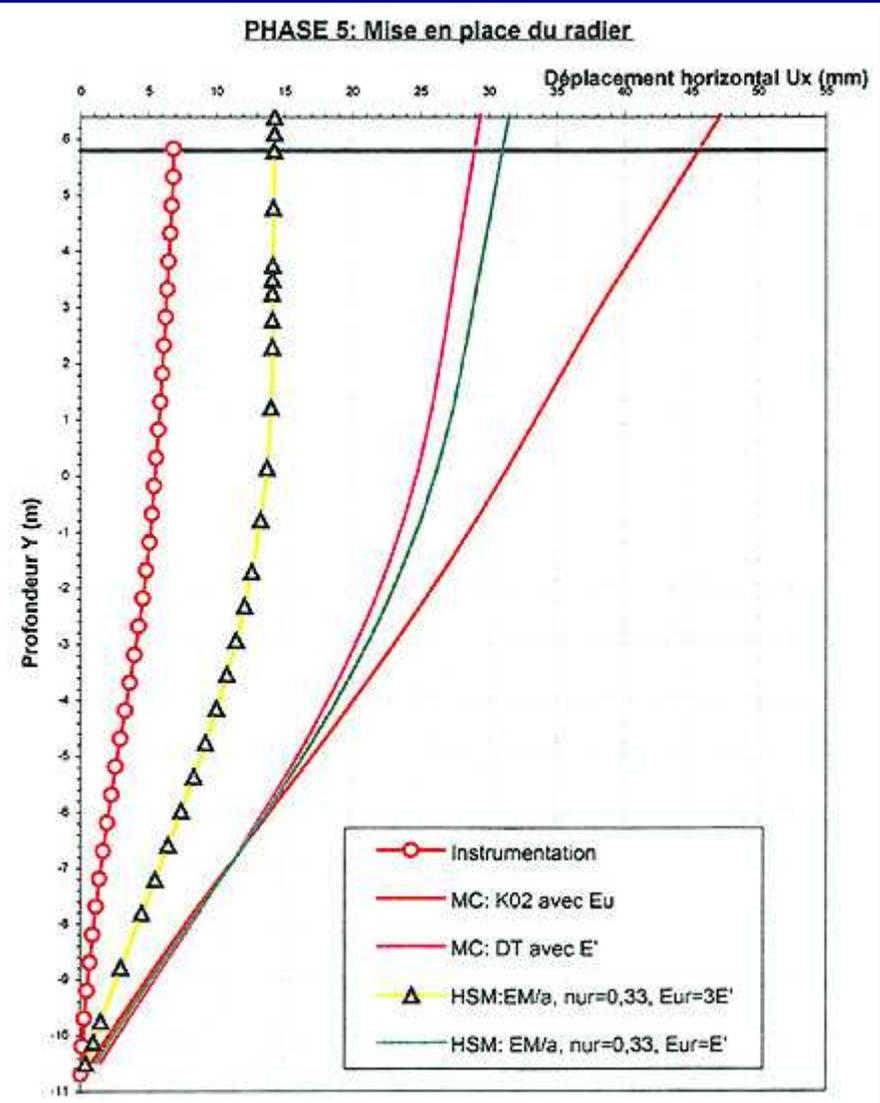
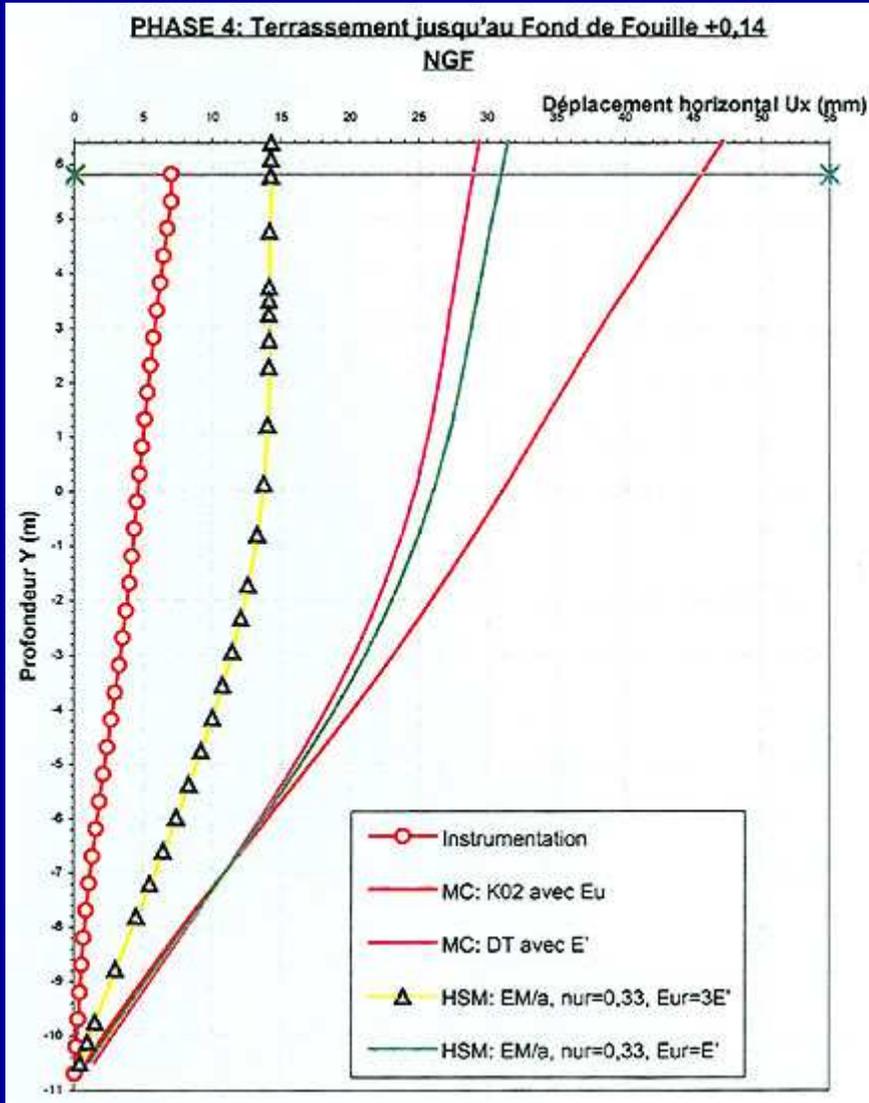
← Domaine expérimental ?

Ecrans

?

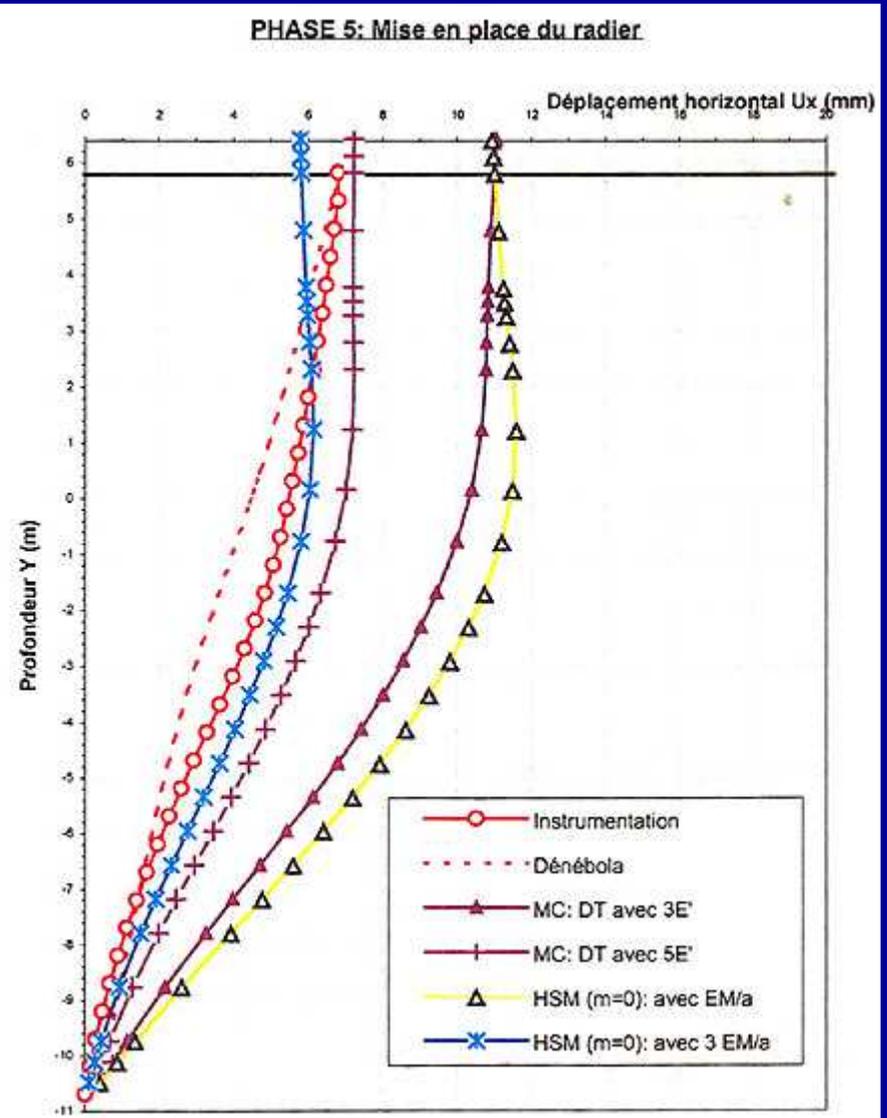
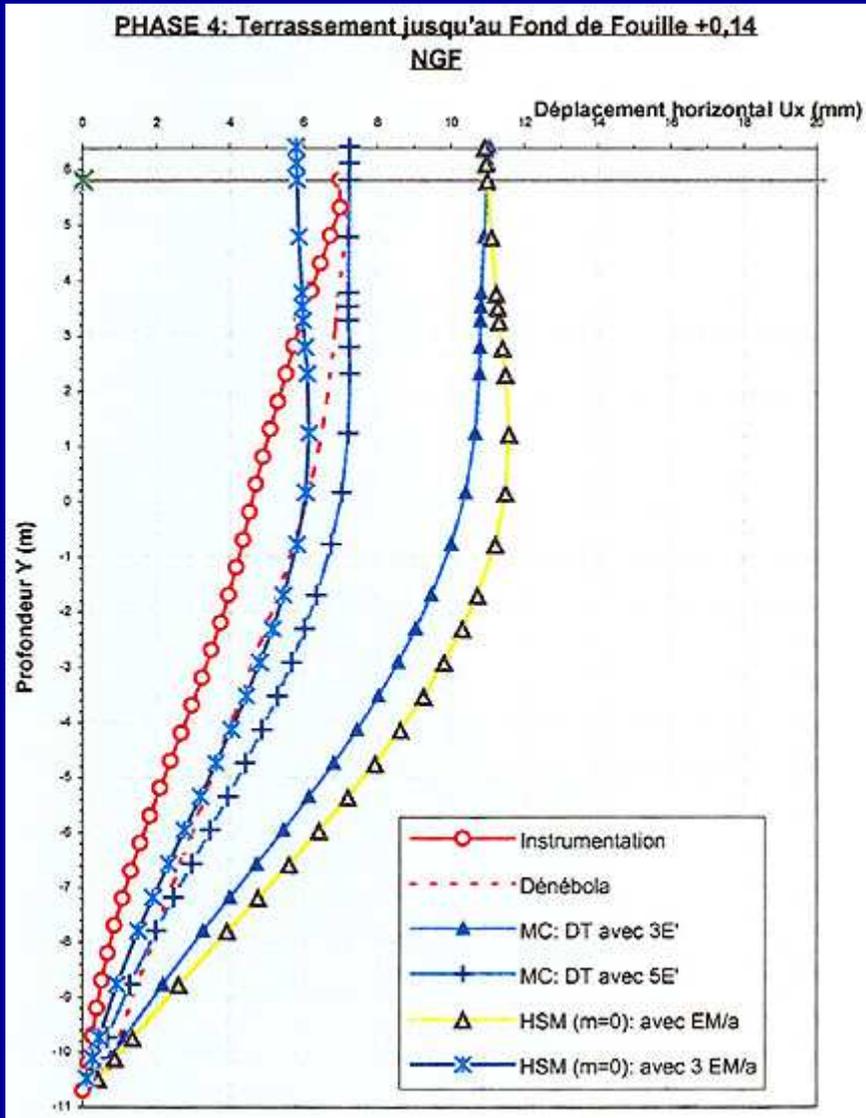
## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général



## Comportement réel des écrans

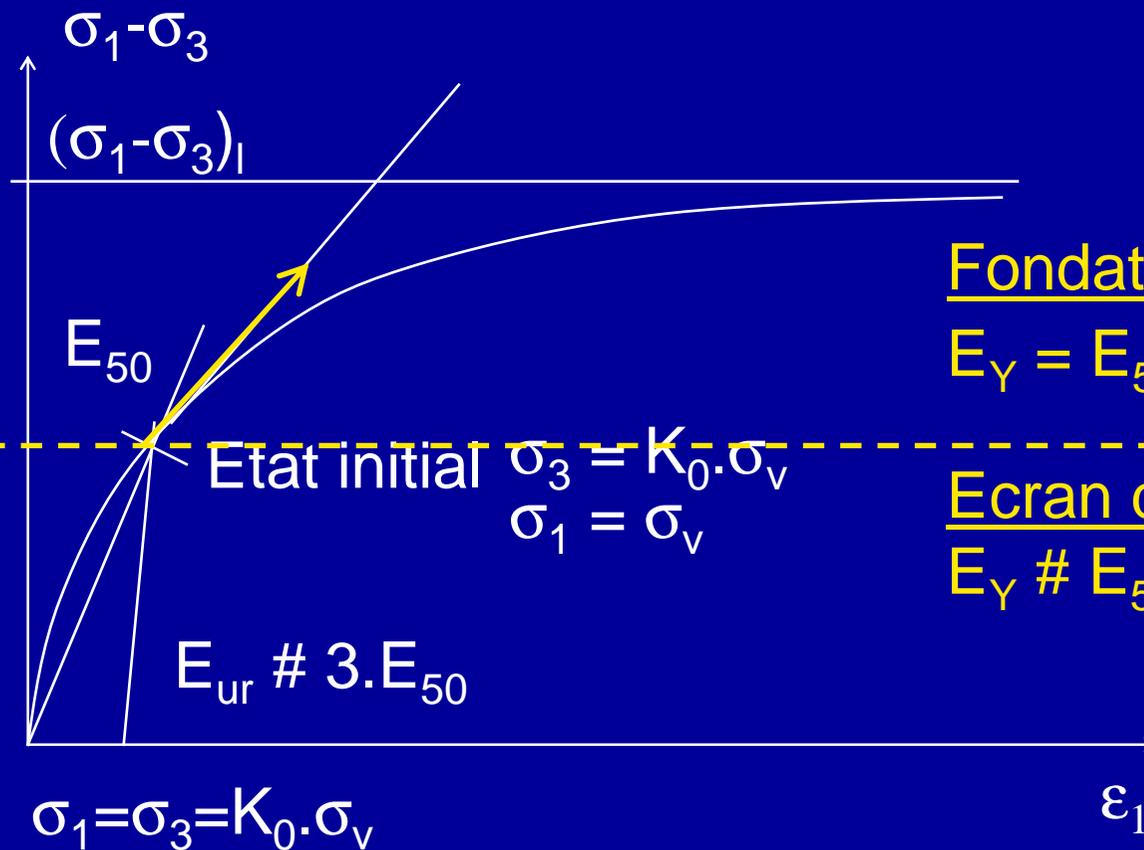
# Recherche d'un modèle de comportement général



## Comportement réel des écrans

### Recherche d'un modèle de comportement général

#### Modules « soutènement » / Modules « fondation »



Fondation :

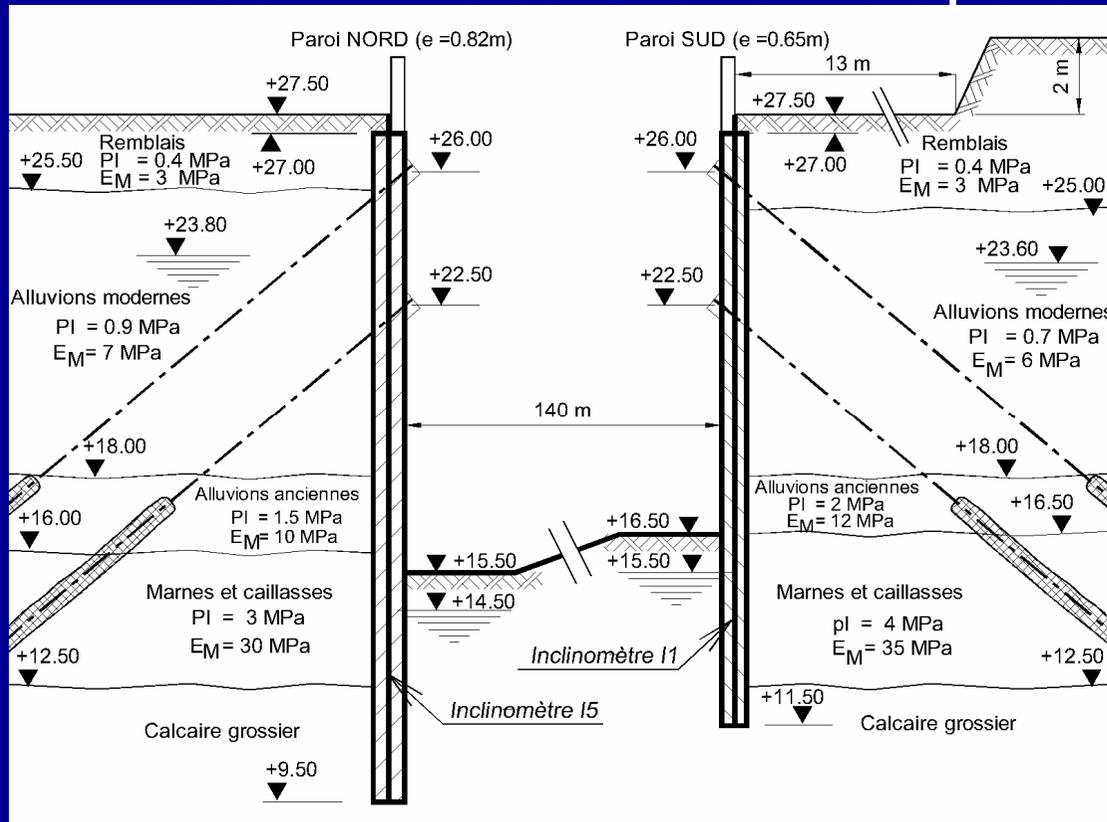
$$E_Y = E_{50 \text{ tangent}} = E_{50} / 2$$

Ecran de soutènement :

$$E_Y \approx E_{50} \text{ à } 3 \cdot E_{50}$$

## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général Colombes / Station d'épuration

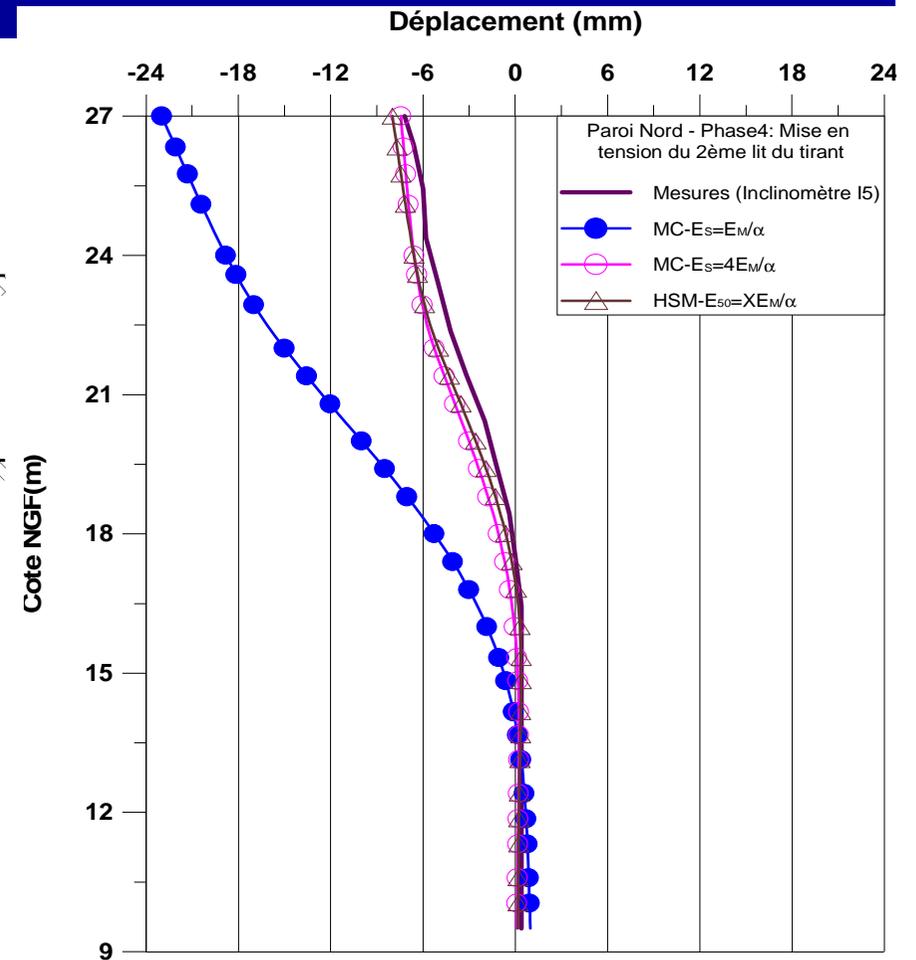
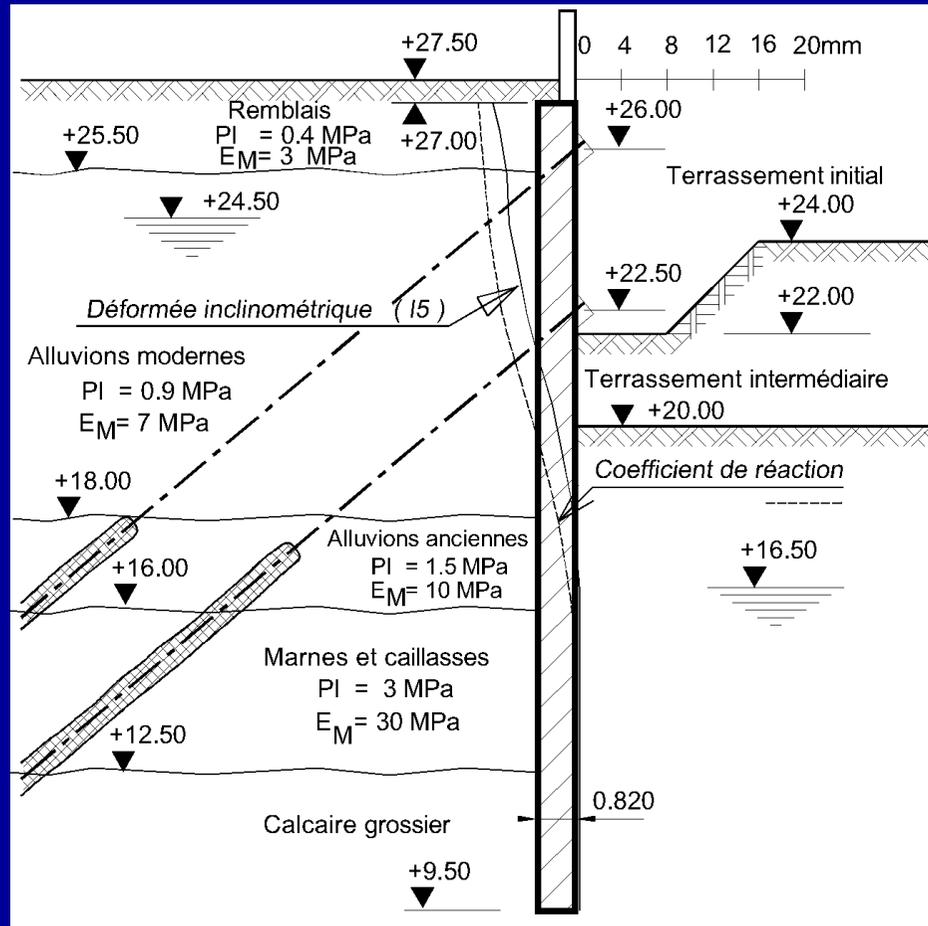


Nom	Type de modèle	Paramètres élastiques
MC. $E_s = E_M / \alpha$	Mohr-Coulomb	$E_s = E_M / \alpha$ (voir tableau n° 2)
MC. $E_s = 4E_M / \alpha$	Mohr-Coulomb	$E_s = 4E_M / \alpha$
DC. $E_{50} = X E_M / \alpha$	HSM	$E_{50} = 2 E_M / \alpha$ (Remblais, Alluvions modernes et Alluvions anciennes), $E_{50}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

Tableau 4: Récapitulatif des paramètres utilisés

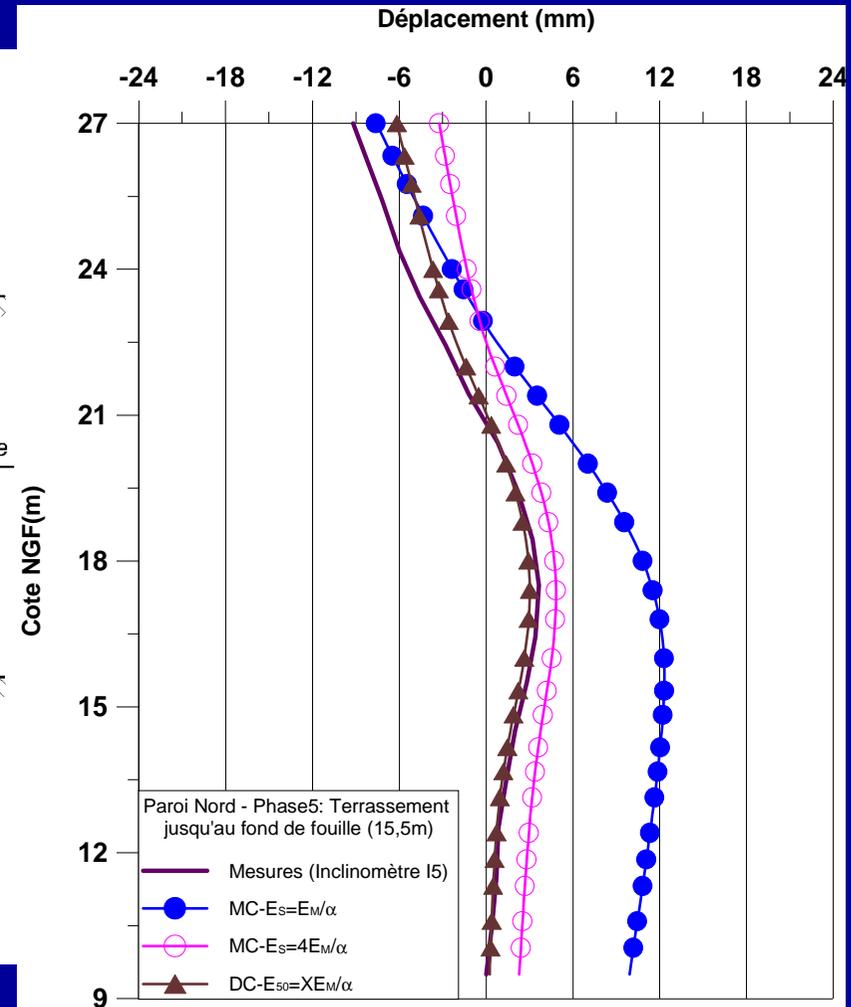
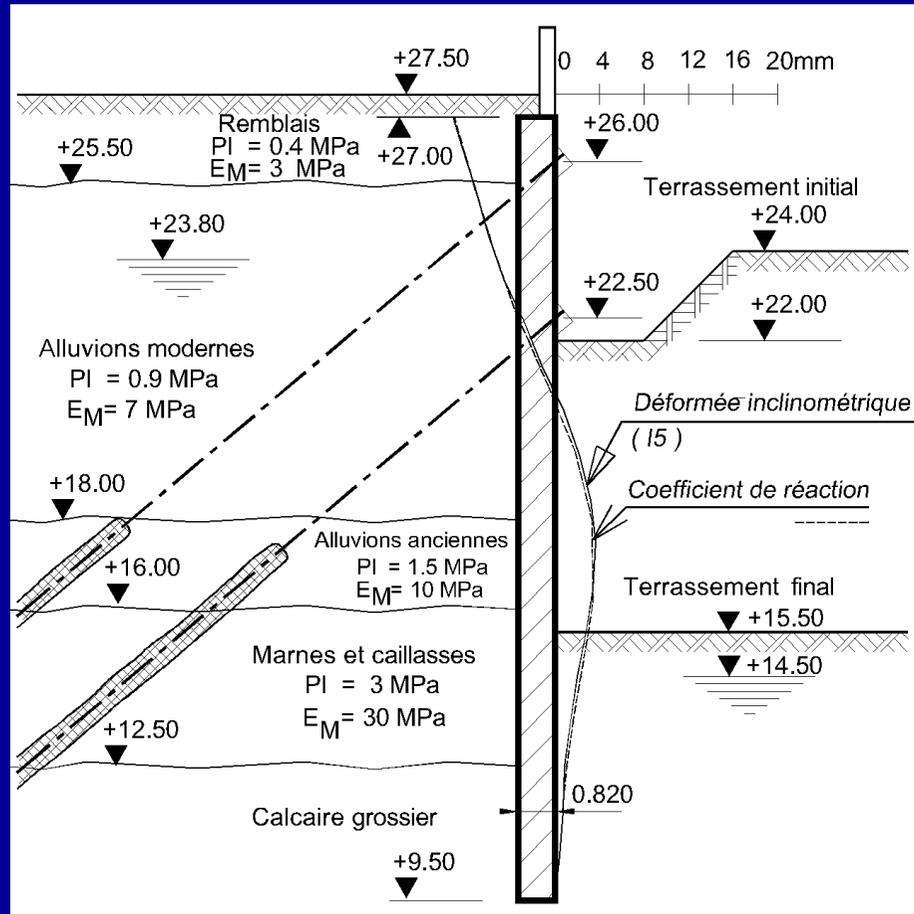
# Comportement réel des écrans

## Recherche d'un modèle de comportement général Colombes / Station d'épuration



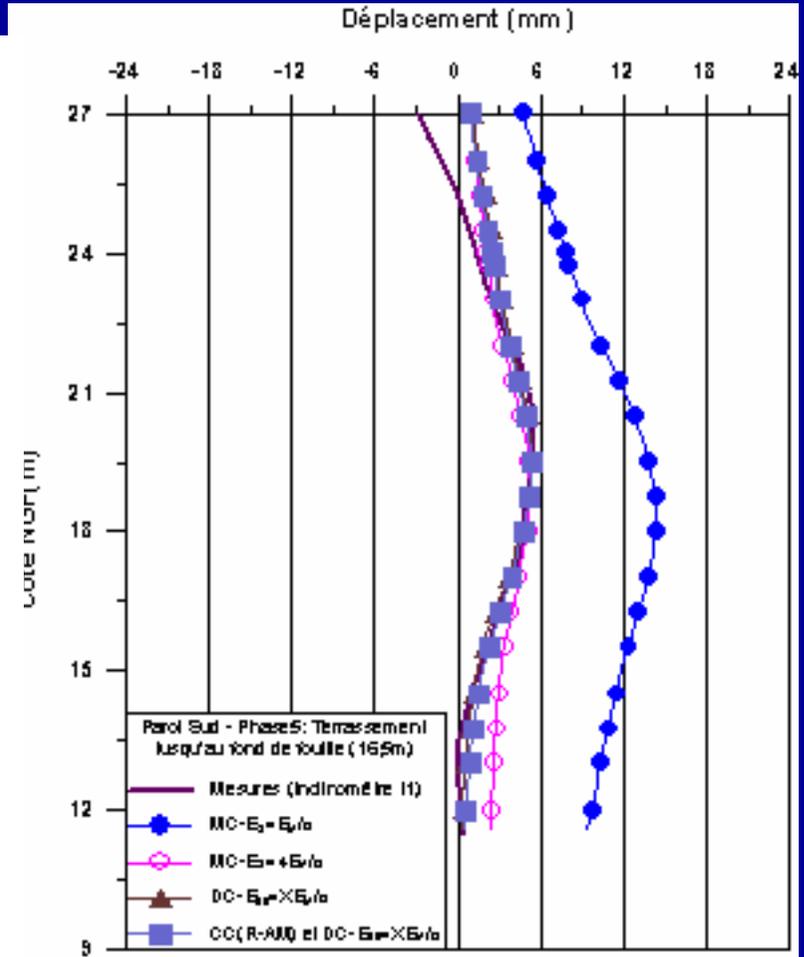
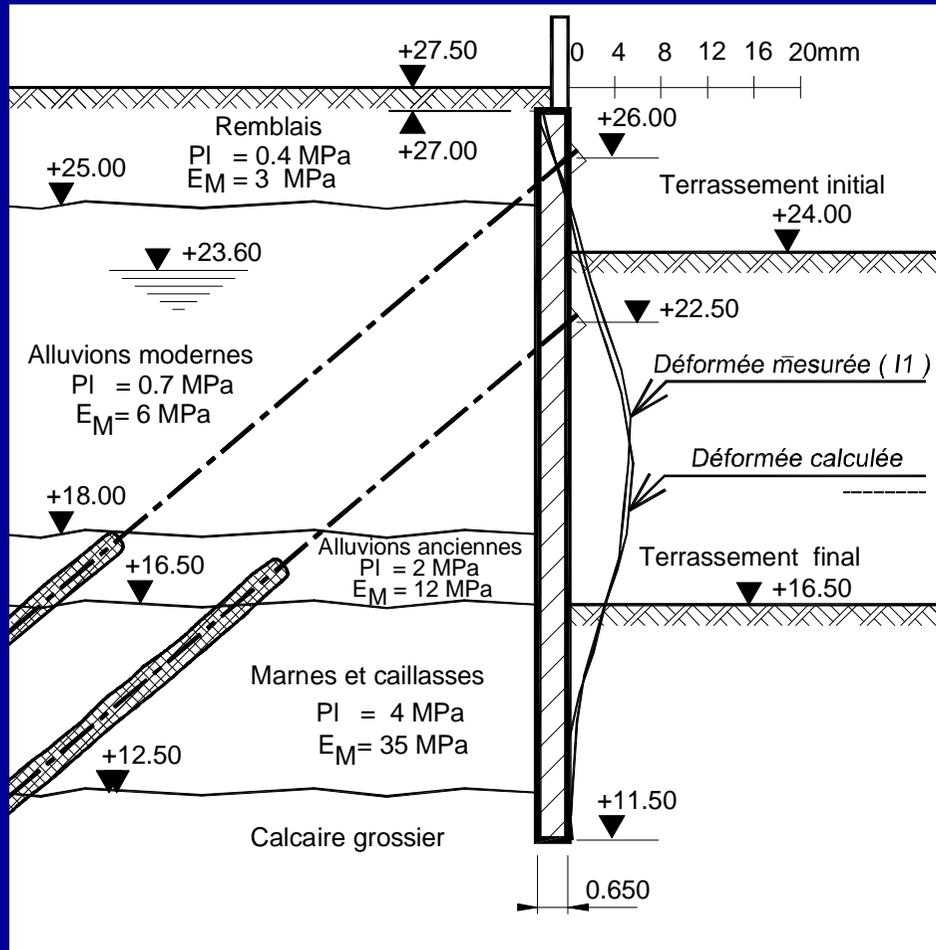
# Comportement réel des écrans

## Recherche d'un modèle de comportement général Colombes / Station d'épuration



## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général Colombes / Station d'épuration



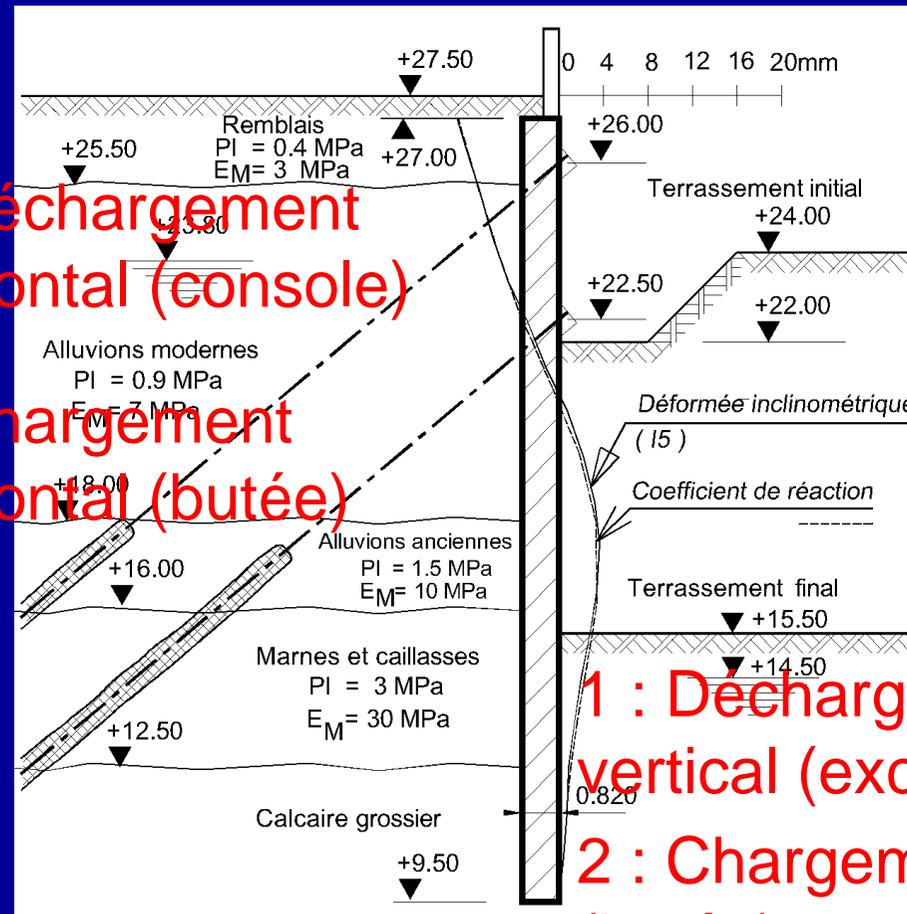
## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général Colombes / Station d'épuration

Importance de l'anisotropie « mécanique » ?

1 : Déchargement horizontal (console)

2 : Chargement horizontal (butée)



1 : Déchargement vertical (excavation)

2 : Chargement horizontal (butée)

## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général

## Le Caire / Nile City

### Importance de l'anisotropie hydraulique

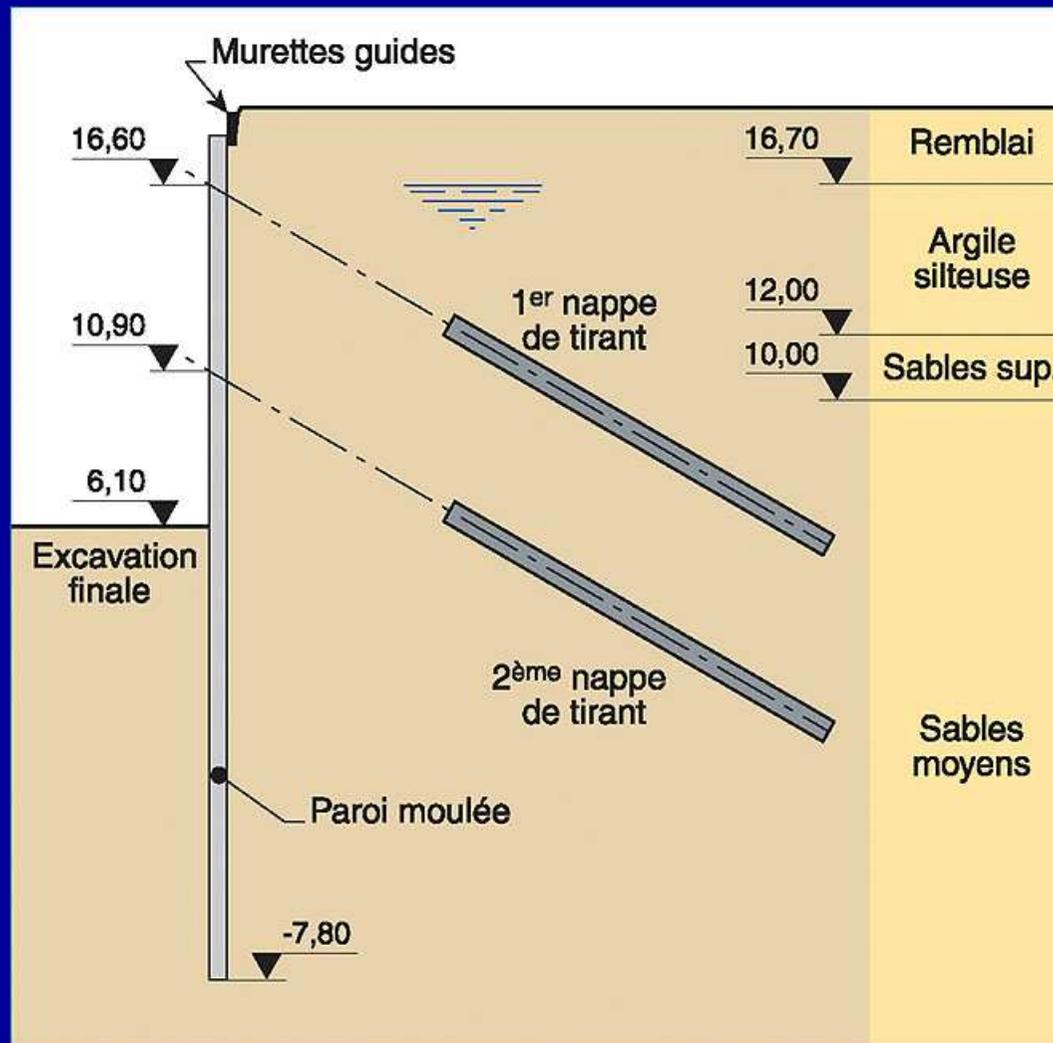


## Comportement réel des écrans

# Recherche d'un modèle de comportement général

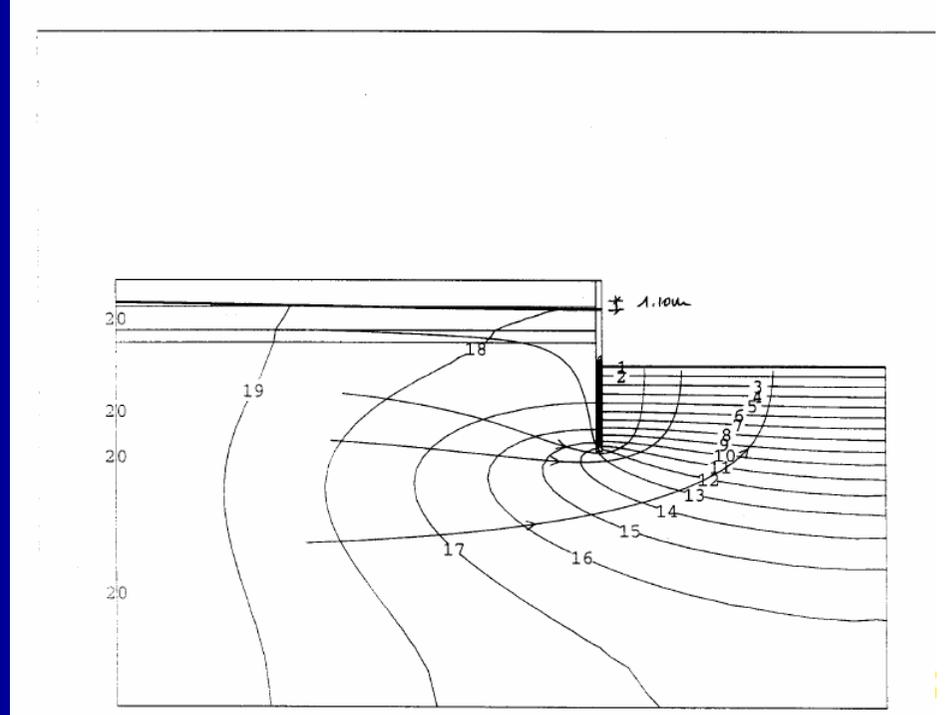
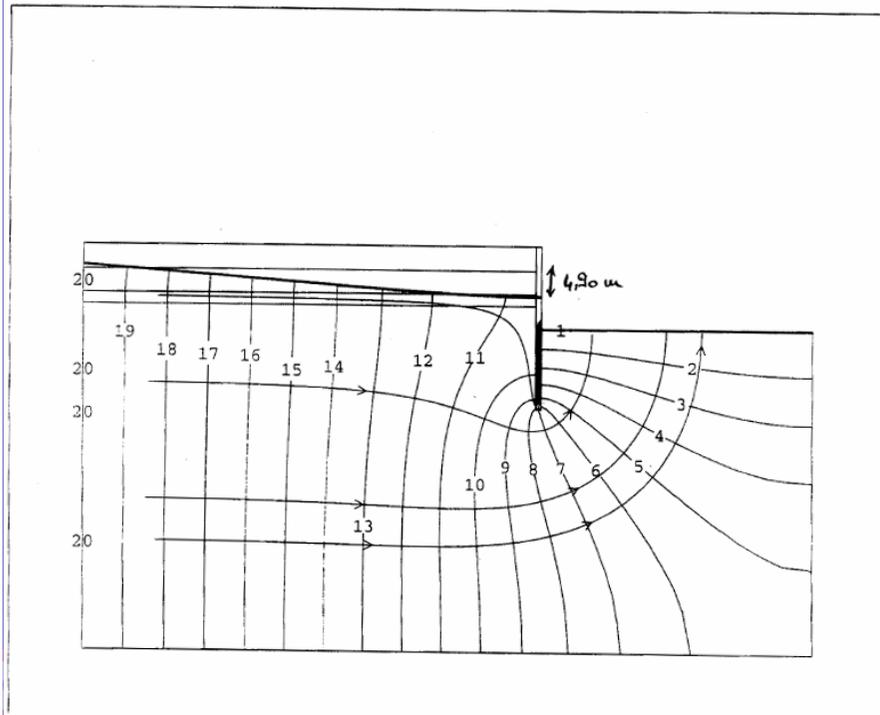
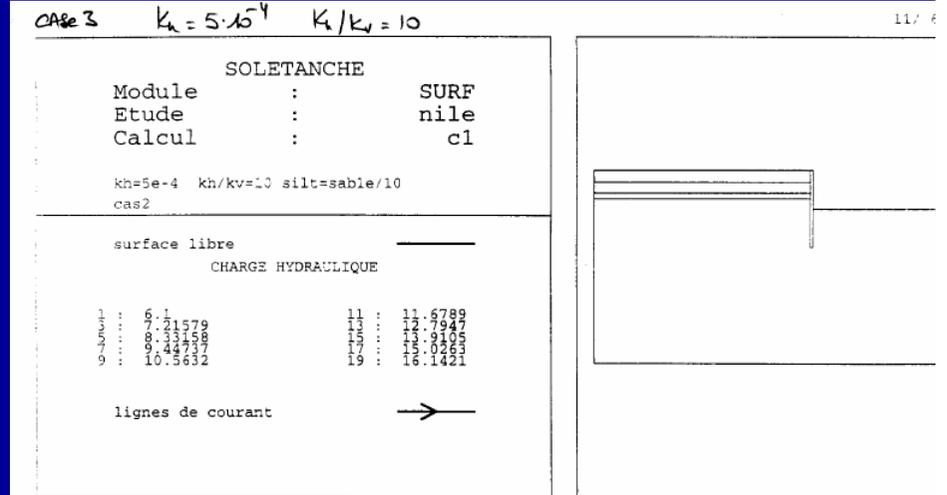
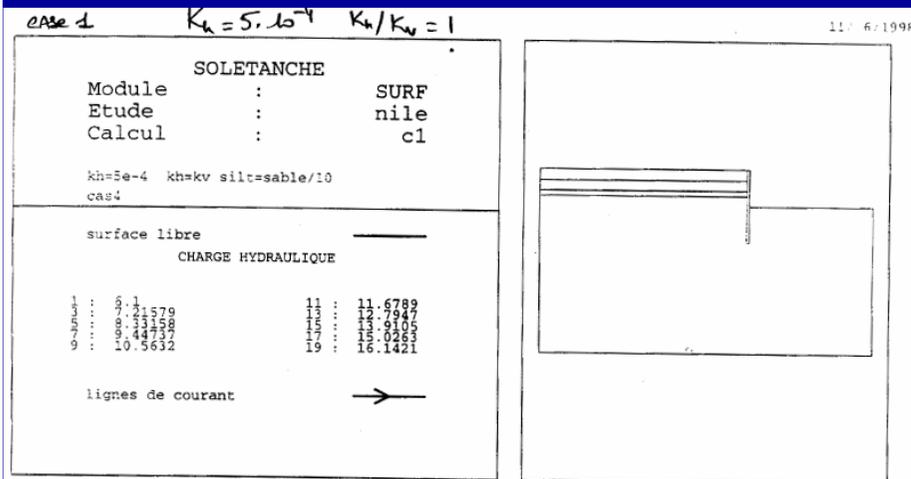
## Le Caire / Nile City

### Importance de l'anisotropie hydraulique



# Comportement réel des écrans

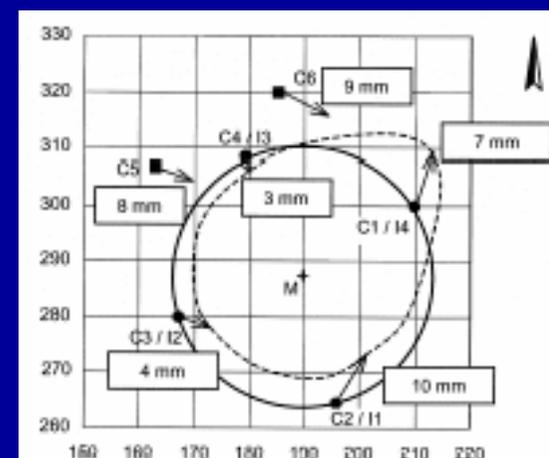
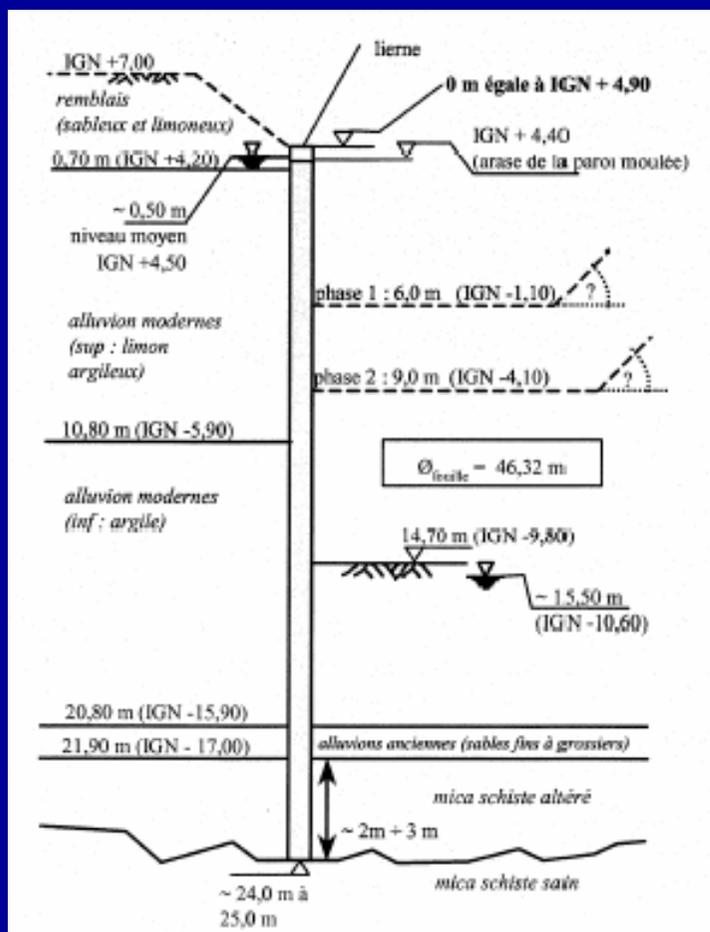
## Recherche d'un modèle de comportement général



# Comportement réel des écrans

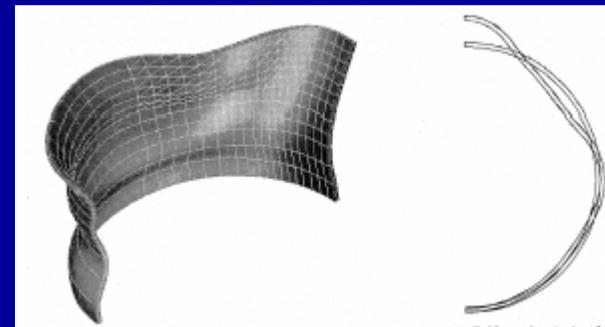
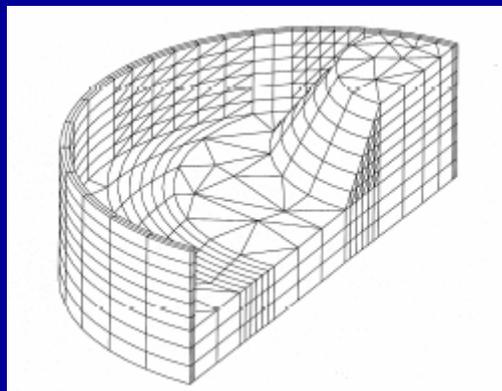
## Importance du mode de réalisation des ouvrages

### Nantes / Îlot 7 Mode de terrassement



## Comportement réel des écrans

### Importance du mode de réalisation des ouvrages

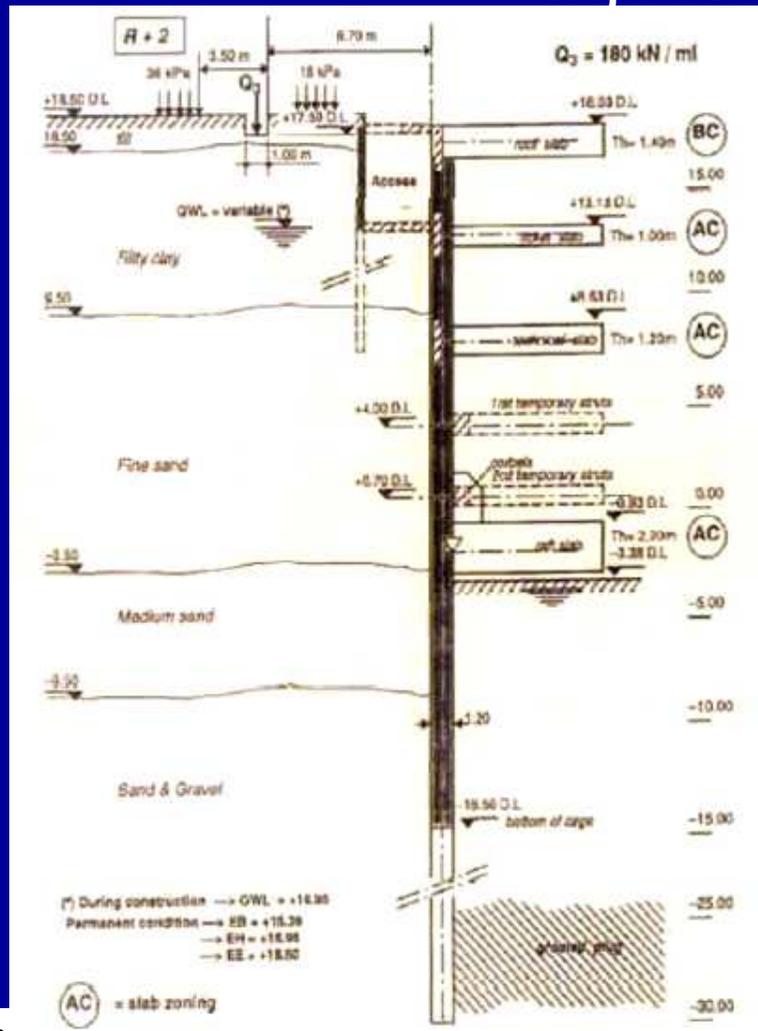


# Comportement réel des écrans

## Importance du mode de réalisation des ouvrages

### Le Caire / Stations El Behoos et Dokki

#### Injections



Détail des remontées de coulis le long de la paroi moulée après excavation.

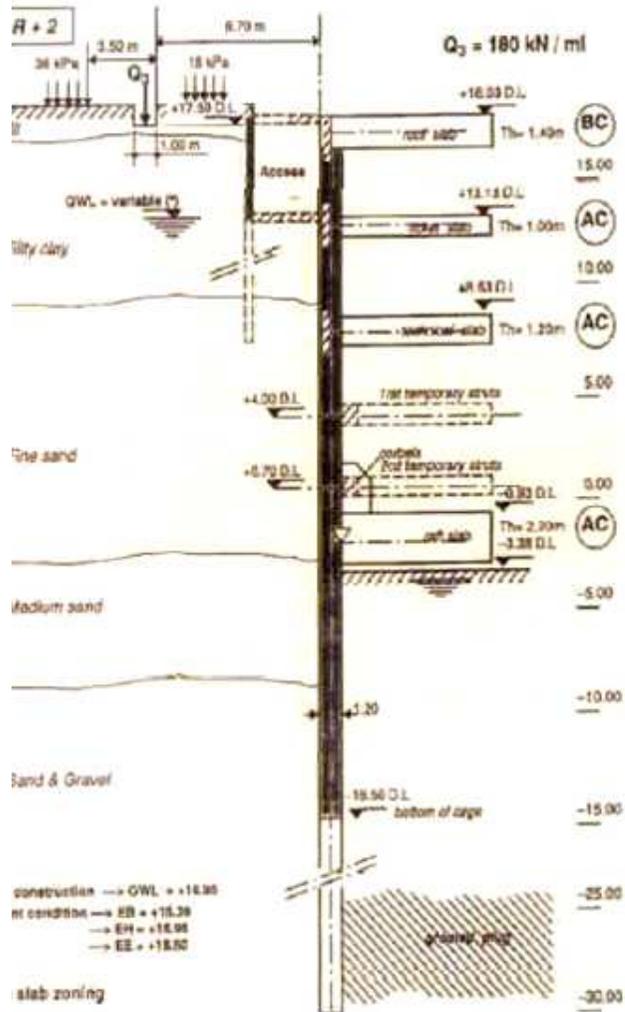
( Métro du Caire - ligne 2 - phase 1 - lot 23 )



# Comportement réel des écrans

## Importance du mode de réalisation des ouvrages

### Le Caire / Stations El Behoos et Dokki

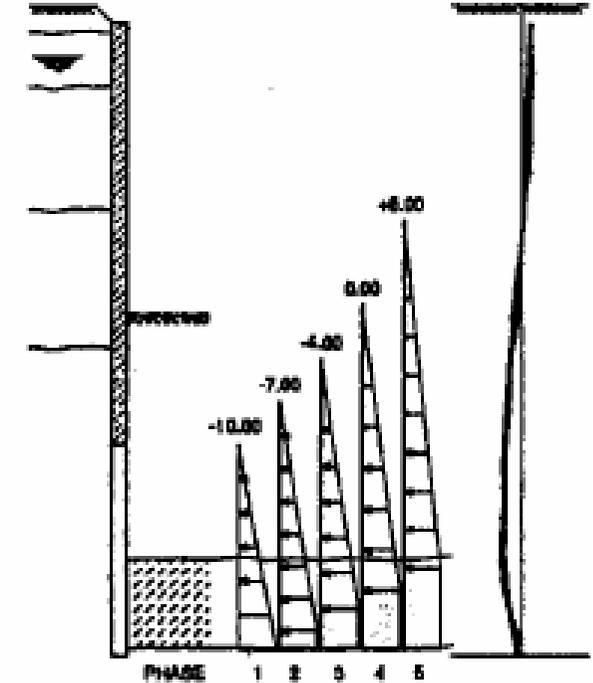
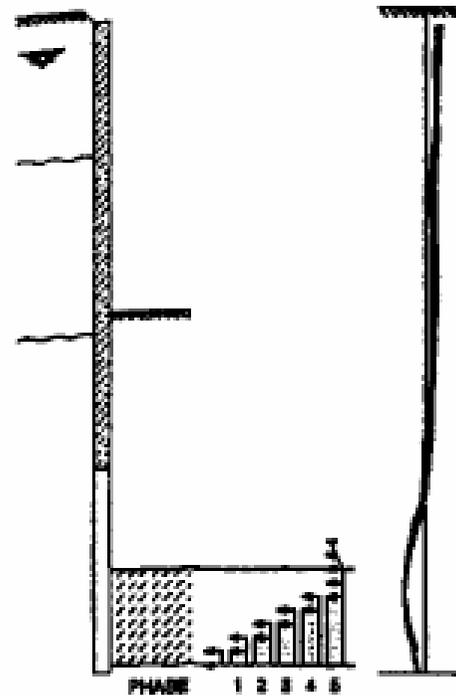


EL BEHOOS STATION

EL DOKKI STATION

DEPLACEMENTS 1 UNITE = 8mm

DEPLACEMENTS 1 UNITE = 8m



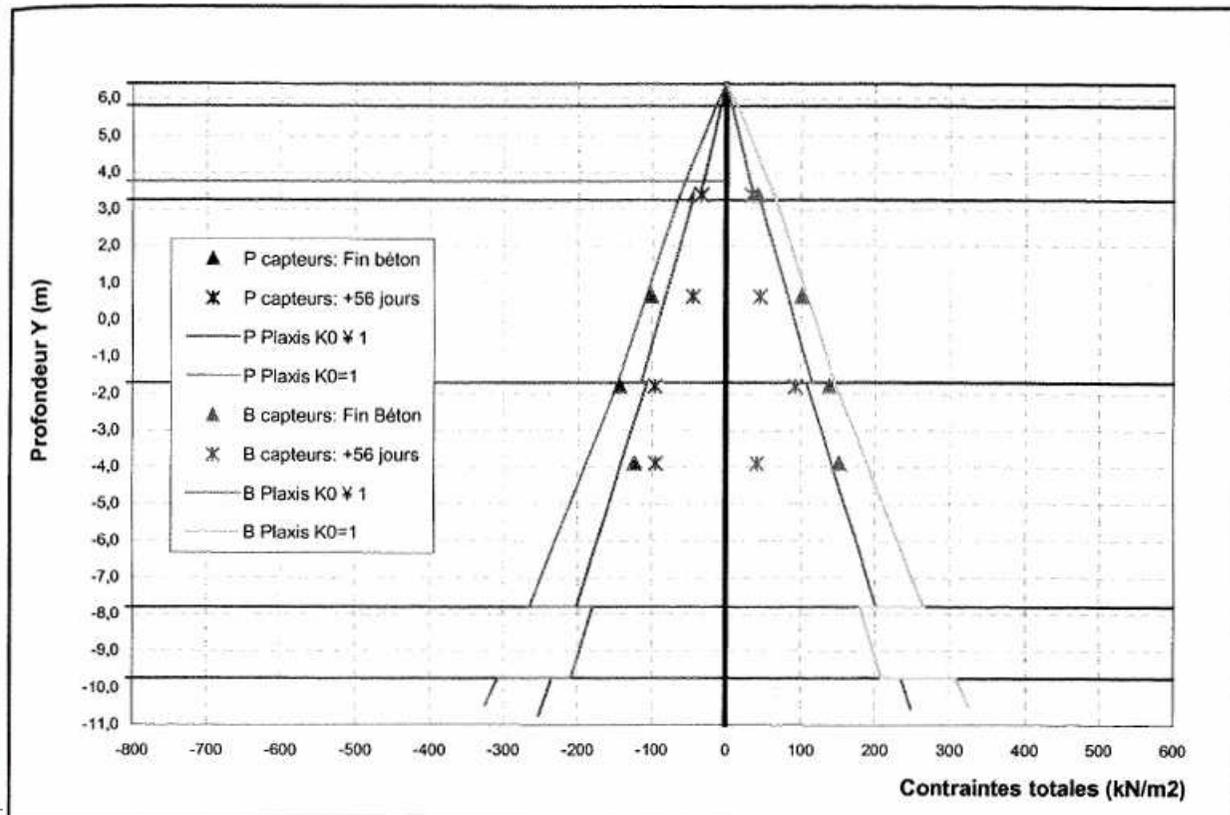
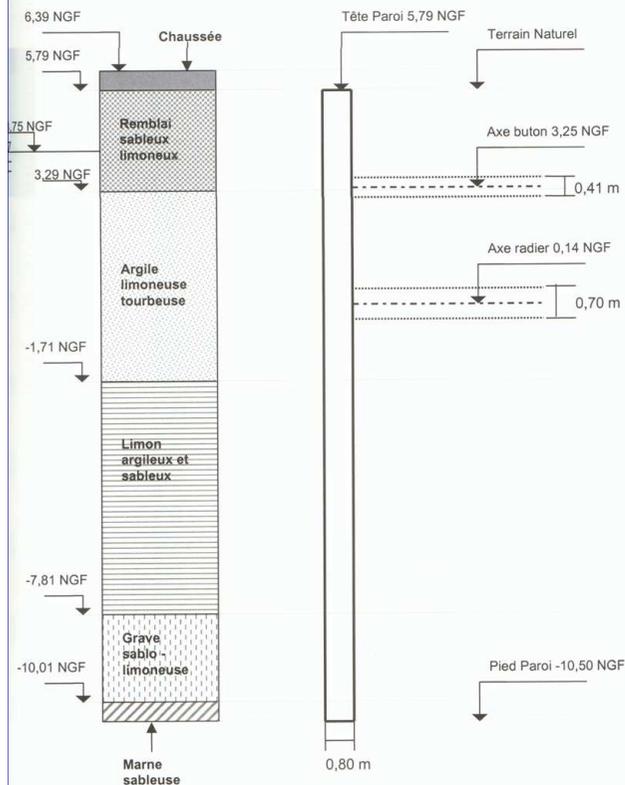
LEGENDE:

— INCLINOMETRE — CALCULS PAROIS 2

# Comportement réel des écrans

## Importance du mode de réalisation des ouvrages

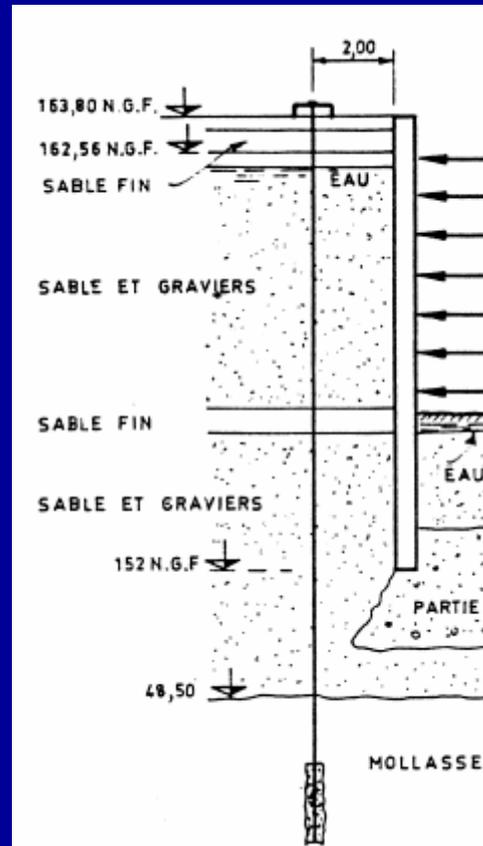
### Rouen / Trémie Pasteur Perforation / bétonnage



## Comportement réel des écrans

### Importance du mode de réalisation des ouvrages

### Métro de Lyon Perforation / bétonnage



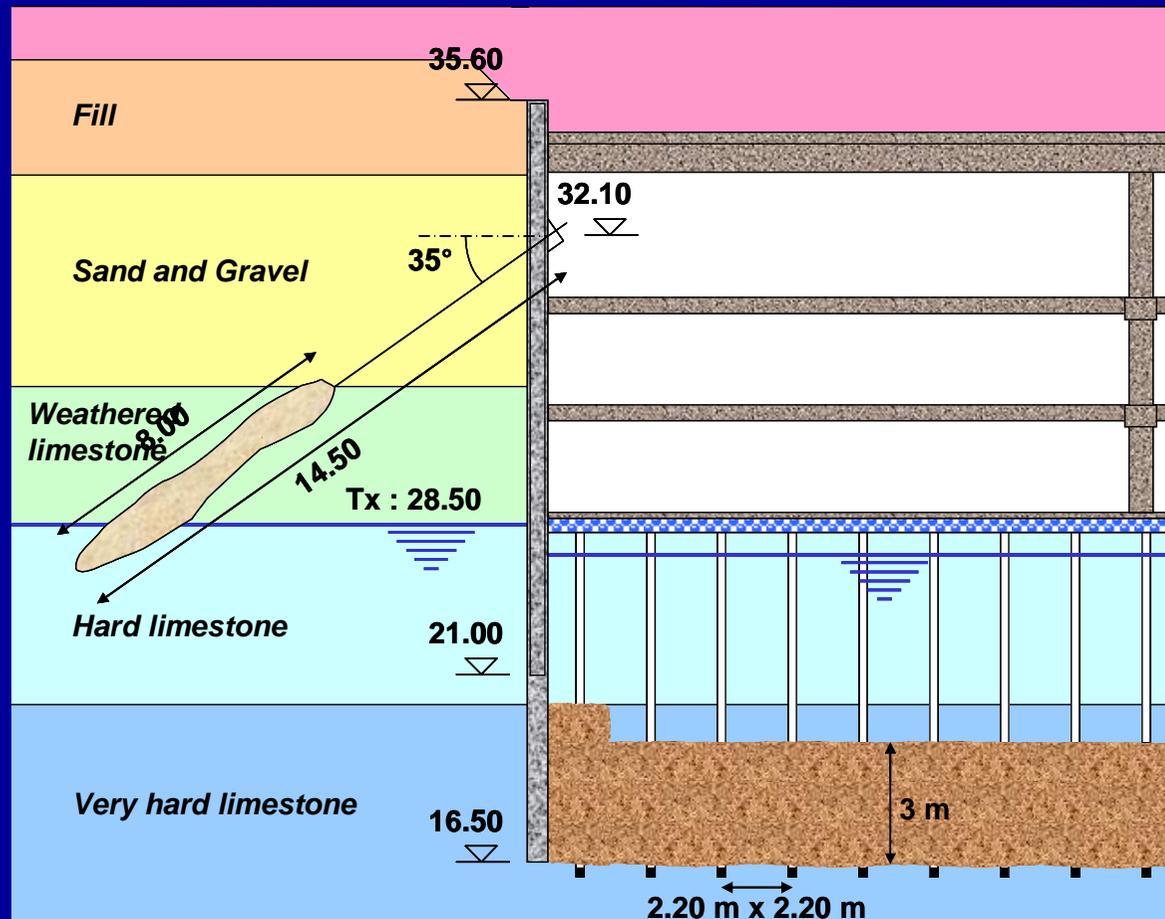
## Maîtriser les risques = prévenir les Etats Limites

1 Etats Limites de Service

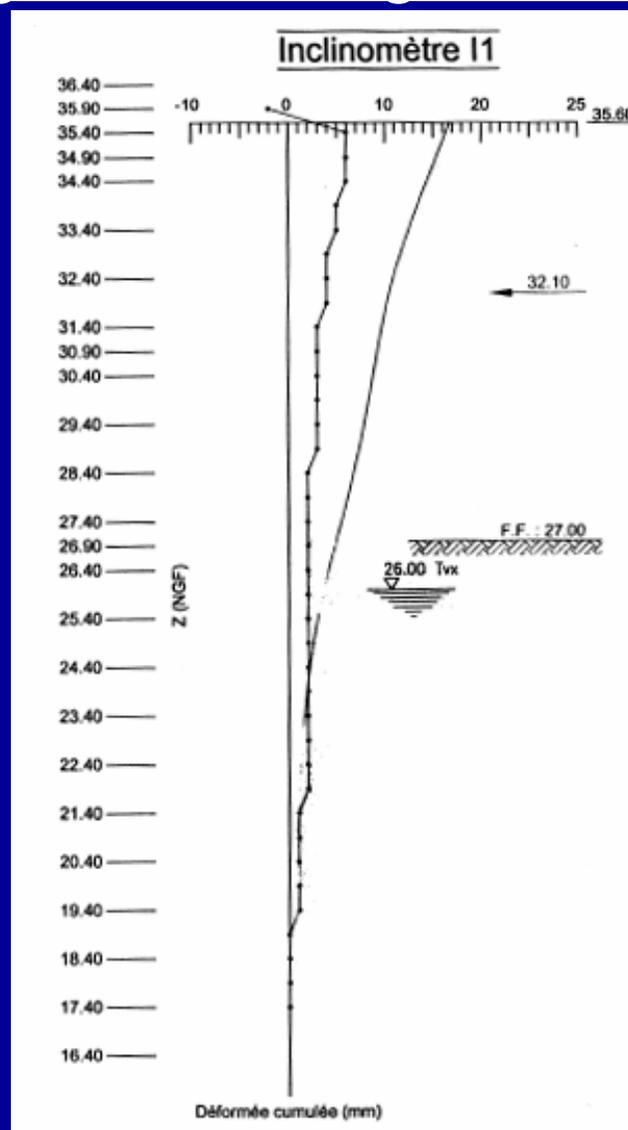
2 Etats Limites Ultimes

# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites de Service Boulogne / Parking Parchamp Suivi géotechnique



## Etats Limites de Service Boulogne / Parking Parchamp



## Maîtrise de la sécurité des ouvrages

### Etats Limites de Service

Monaco / Minerve

Dimensionnement interactif

#### 2.7 Méthode observationnelle

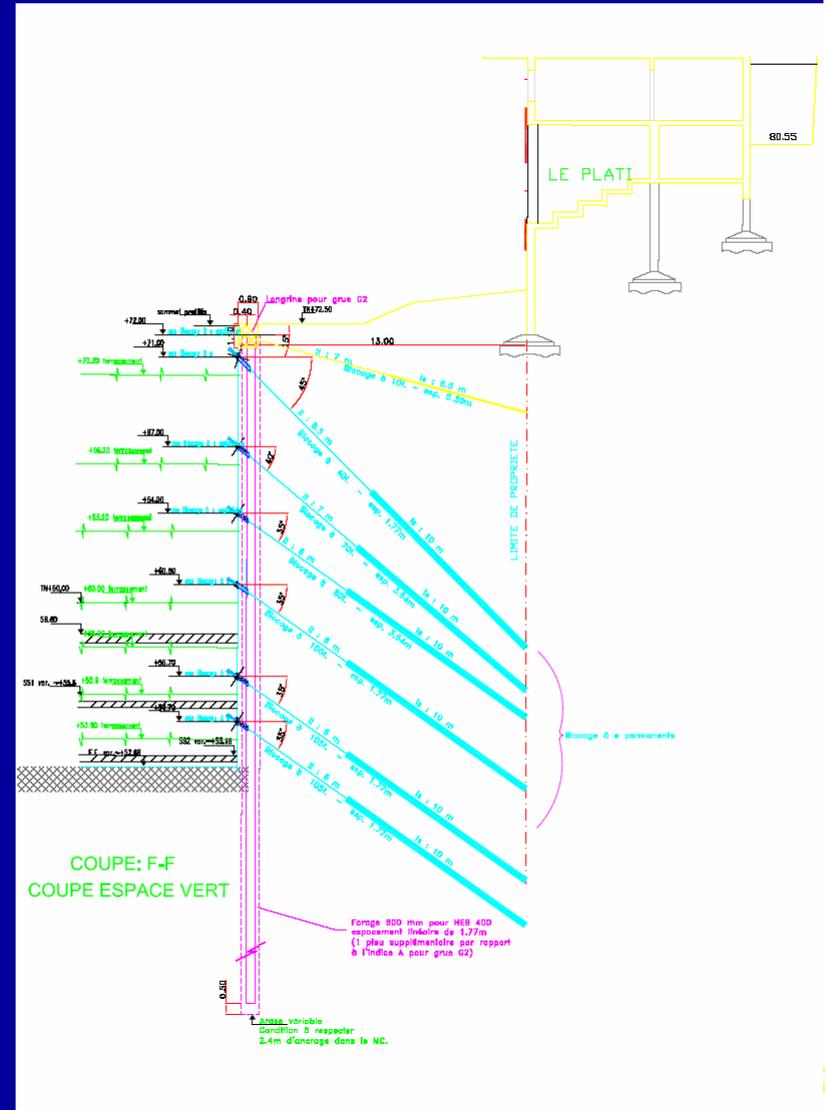
(1) Quand il est difficile de prévoir le comportement géotechnique d'un ouvrage, il peut être approprié d'appliquer l'approche connue sous le nom de «méthode observationnelle», dans laquelle la conception est revue pendant la construction.

# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites de Service Monaco / Minerve

- 1 : Les limites du comportement acceptable de l'ouvrage doivent être établies.

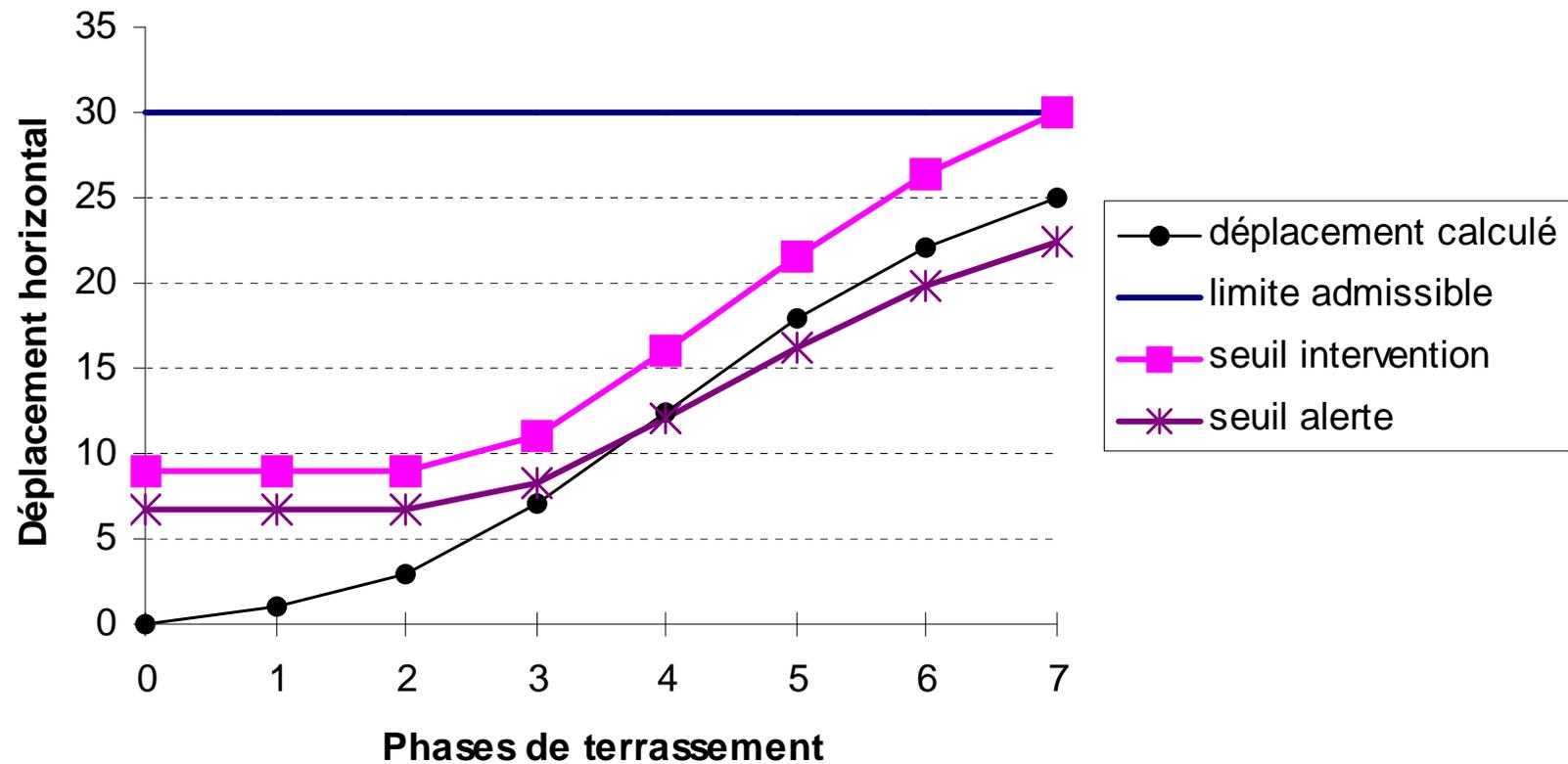
- $y < 35 \text{ mm}$
- $s < 10 \text{ mm}$
- $\delta s < 5 \text{ mm}$
- $\theta < 0,1 \%$





## Etats Limites de Service Monaco / Minerve

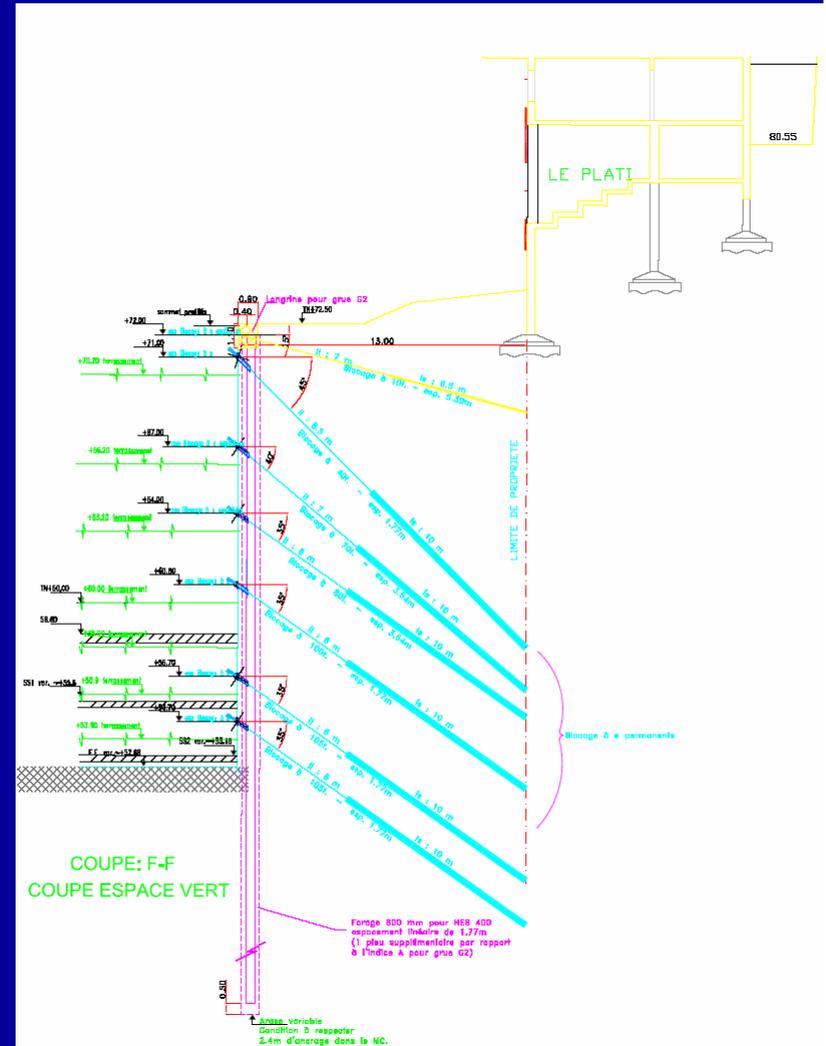
Exemple : Profil X - Cible Y



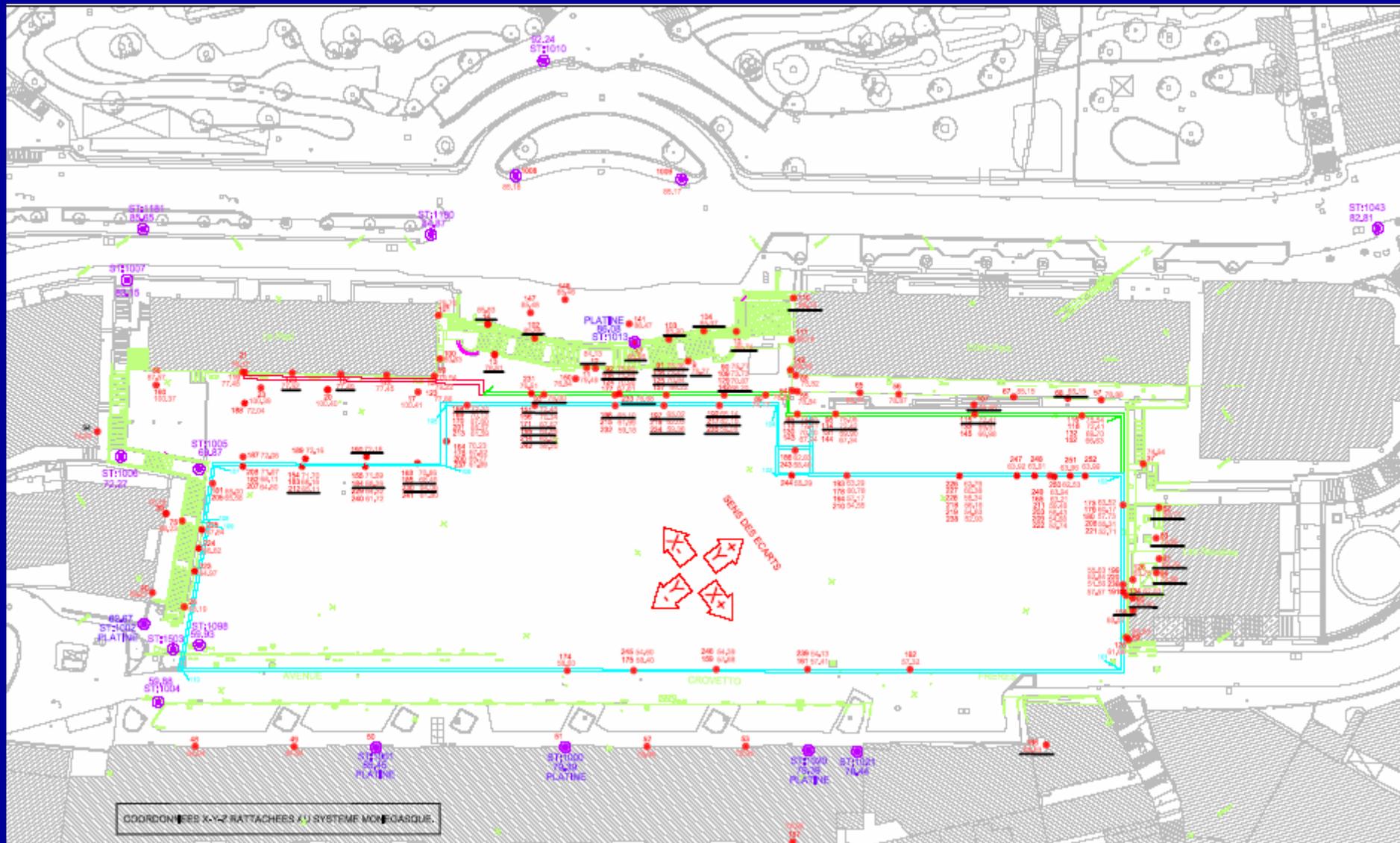
# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites de Service Monaco / Minerve

- 3 : Un plan d'instrumentation doit être établi, pour vérifier si le comportement réel est compris dans les limites acceptables.



# Maîtrise de la sécurité des ouvrages



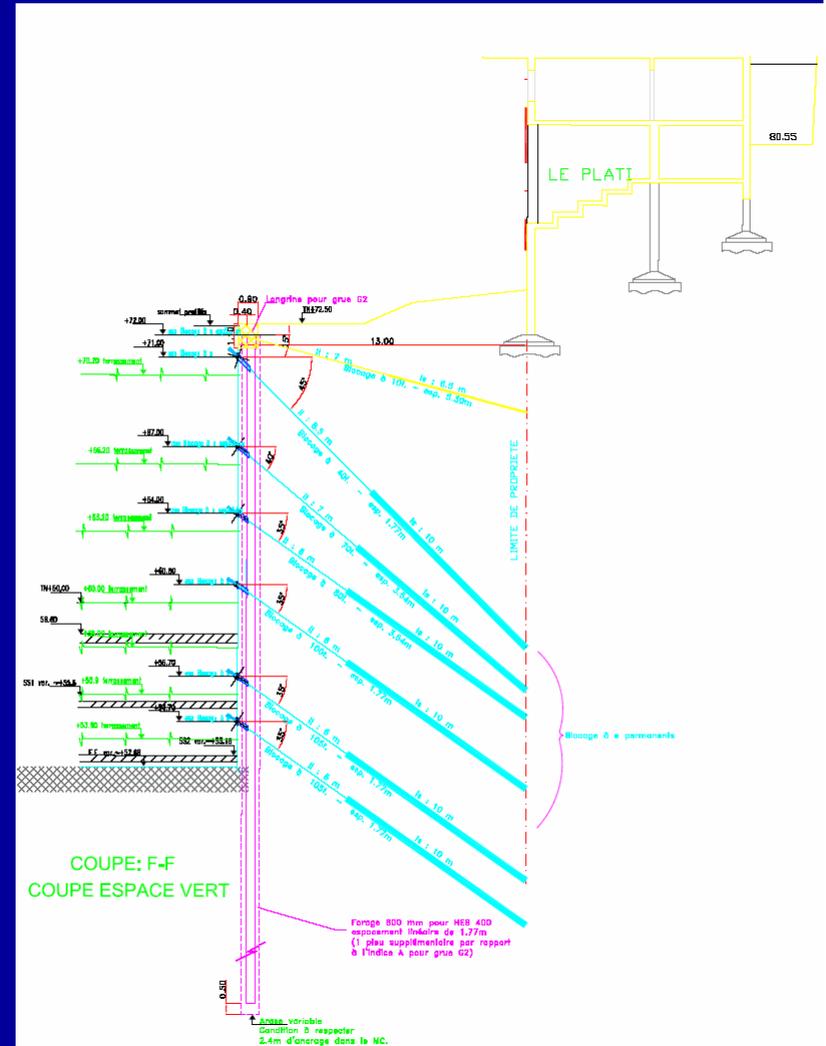
### Etats Limites de Service

#### Monaco / Minerve

- 14 inclinomètres soutènement      Fréquence : 2 semaines
- 6 inclinomètres massif              Fréquence : 2 semaines
- 250 cibles topométriques          Fréquence : 1 semaine
- 70 cales dynamométriques        Fréquence : 1 semaine
- Pesage des tirants                    En cas de doute

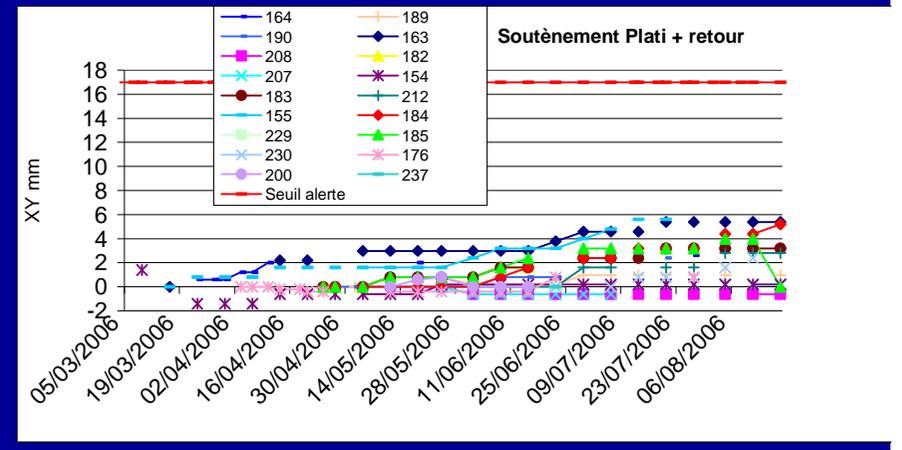
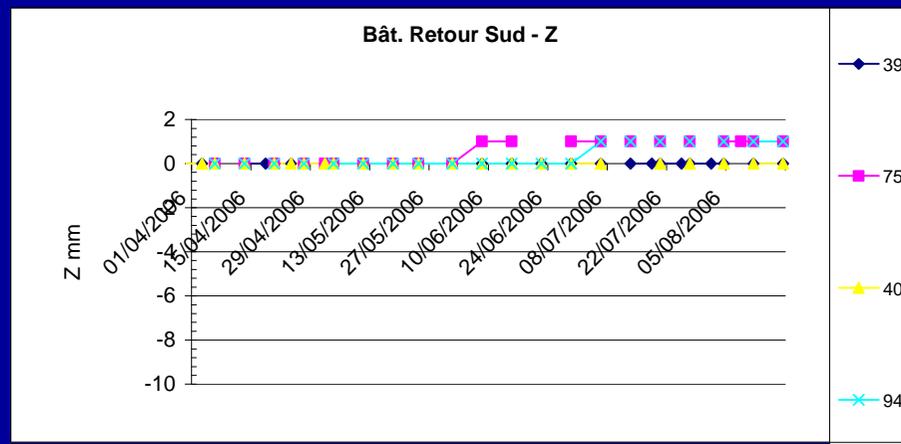
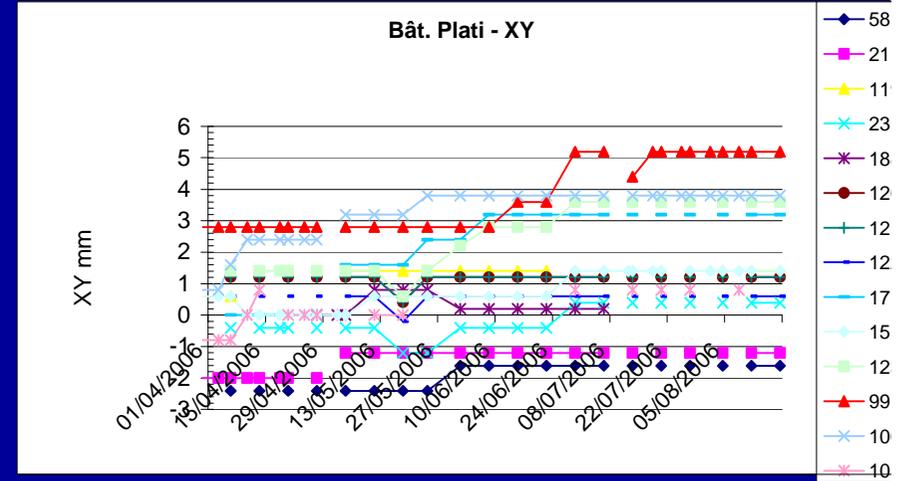
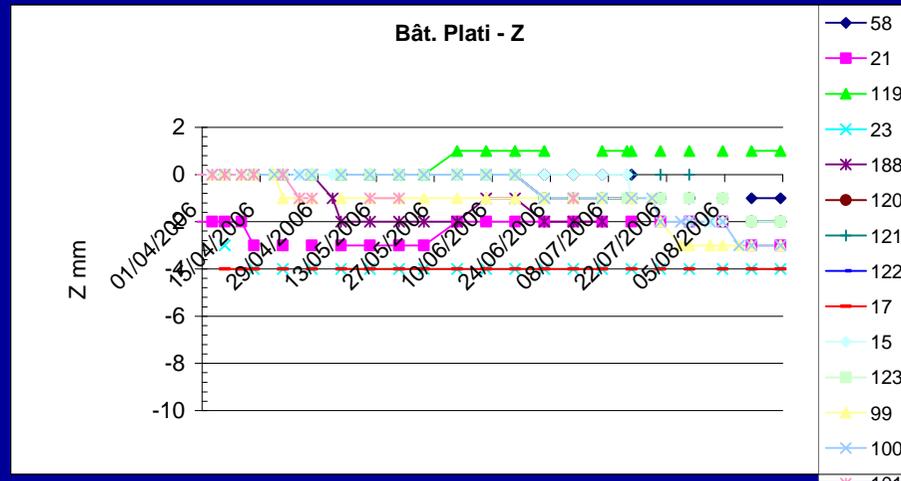
## Etats Limites de Service Monaco / Minerve

- 4 : Le temps de réponse des instruments de mesure et les procédures d'analyse des résultats doivent être suffisamment rapides par rapport à l'évolution possible du système.



# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

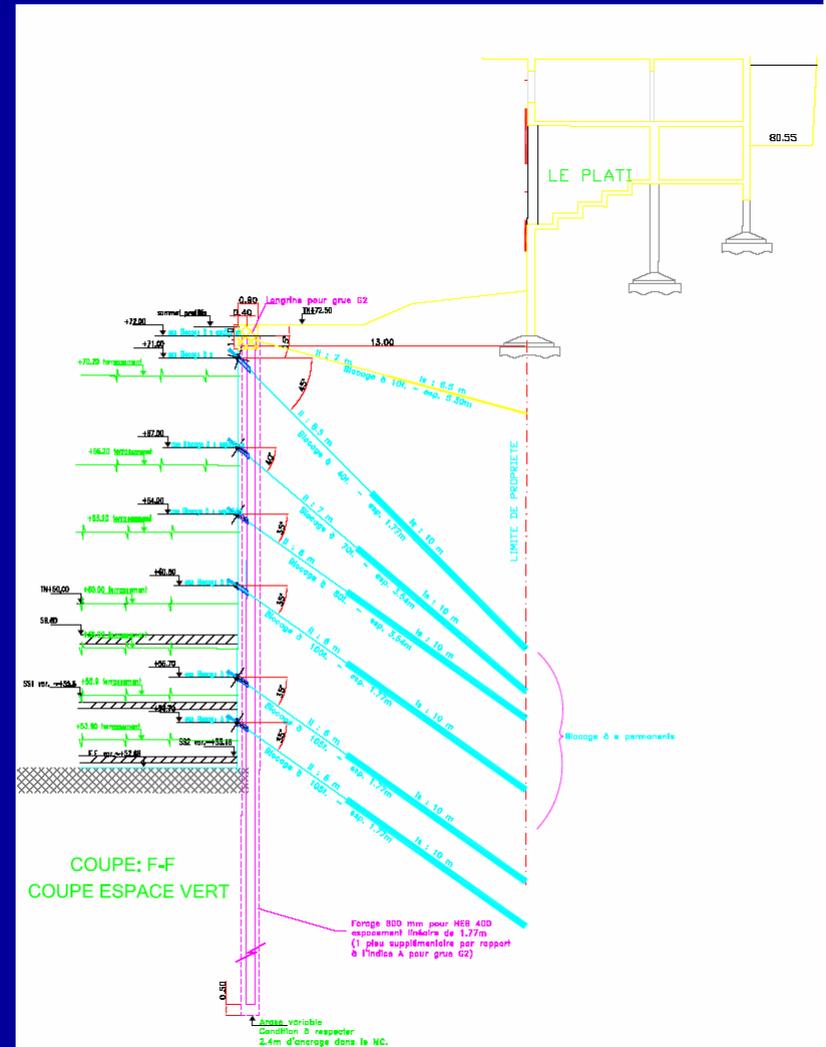
## Etats Limites de Service Monaco / Minerve



# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites de Service Monaco / Minerve

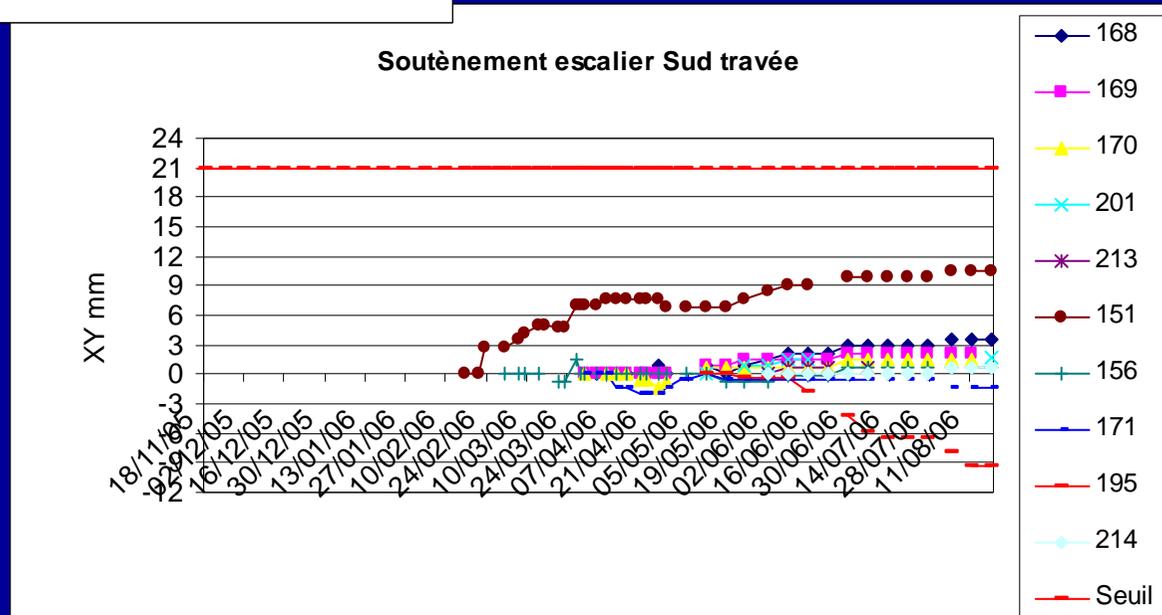
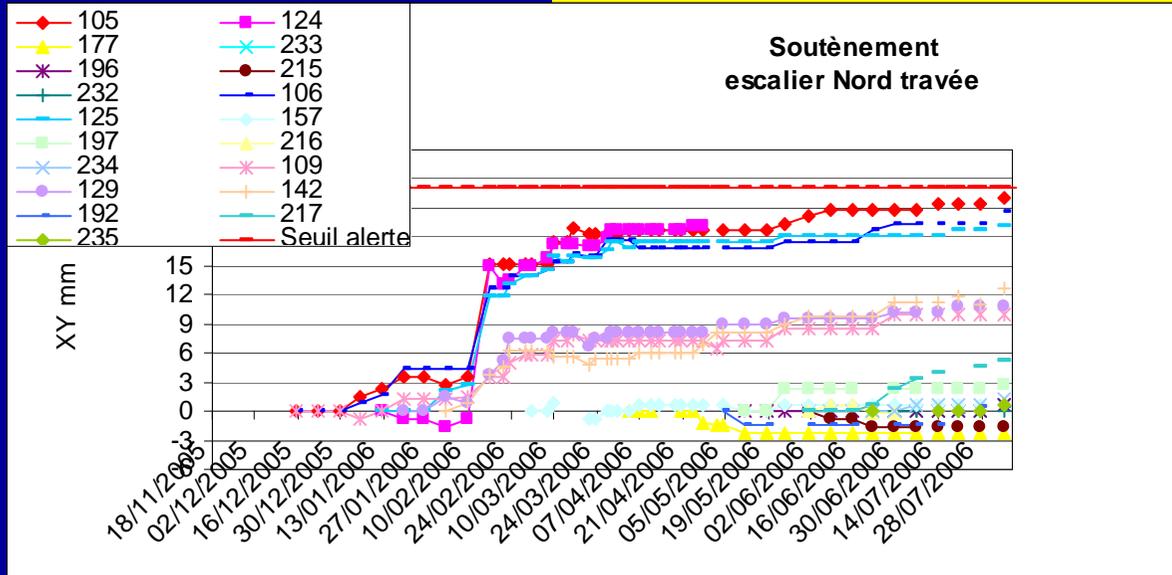
- 5 : Un plan d'action de sauvegarde doit être établi, pour être mis en œuvre si le suivi révèle un comportement sortant des limites acceptables.



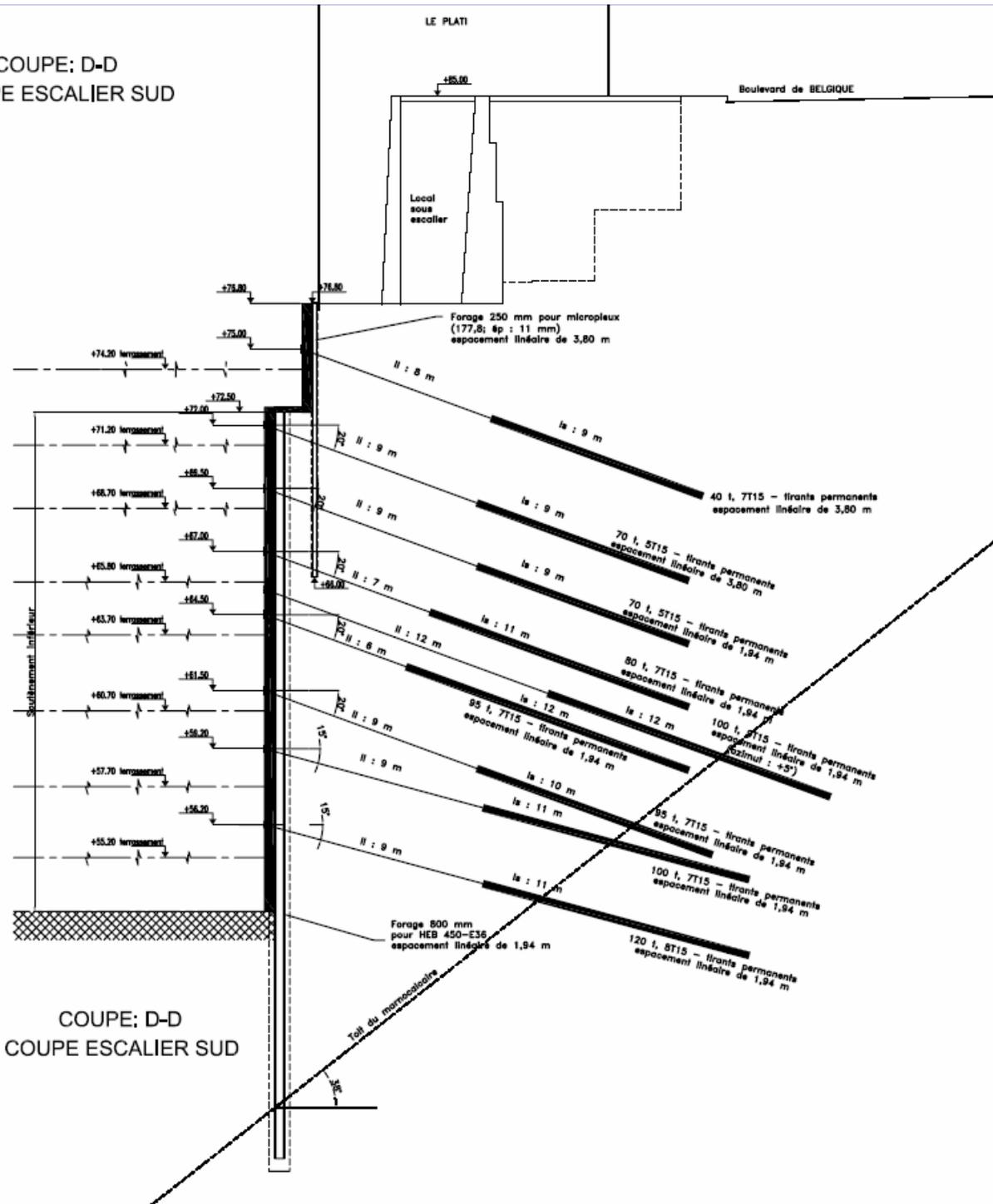


# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites de Service



COUPE: D-D  
COUPE ESCALIER SUD



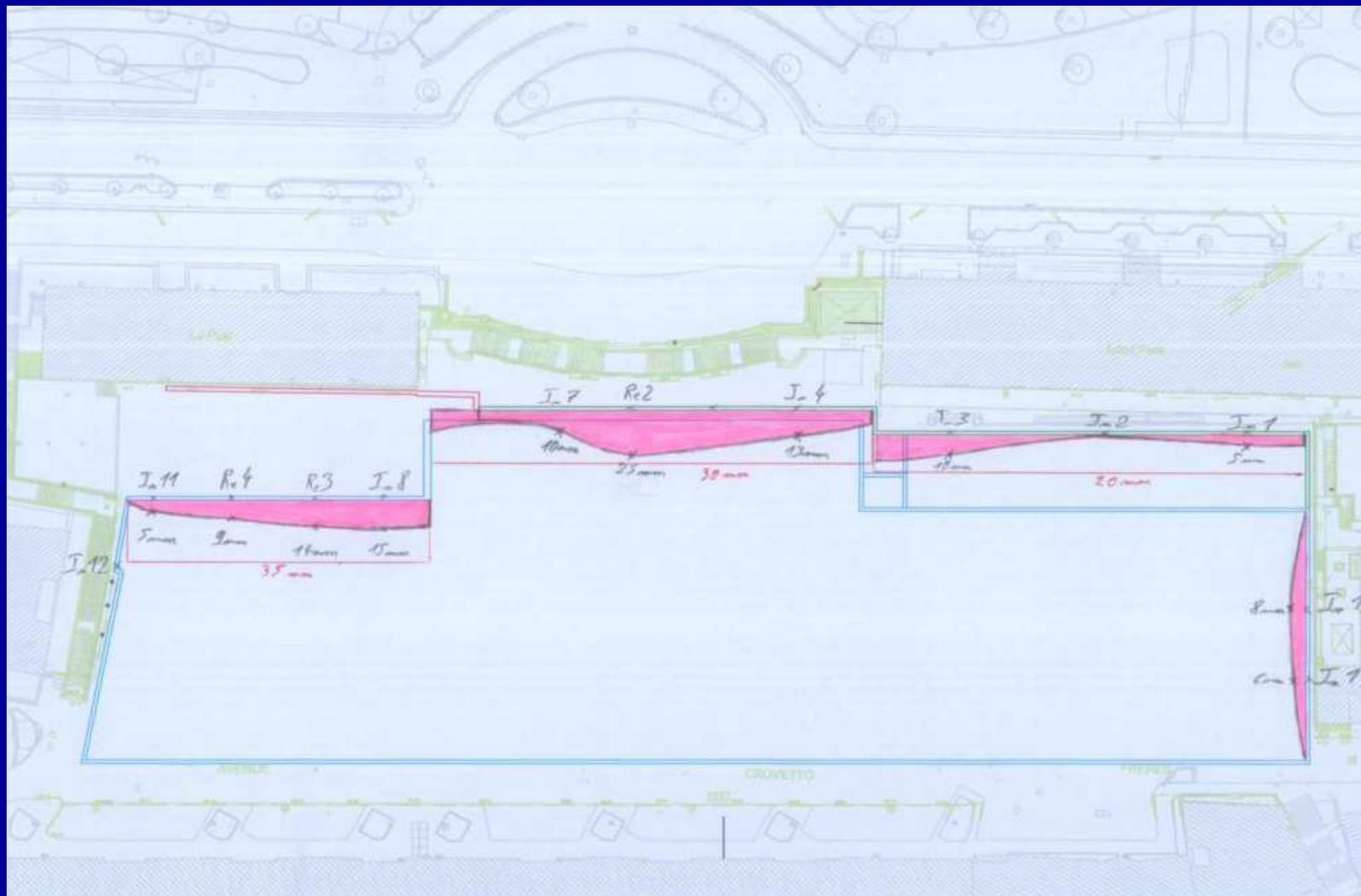
COUPE: D-D  
COUPE ESCALIER SUD

# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites de Service

### Monaco / Minerve

## Dimensionnement interactif



### Etats Limites de Service

#### Conditions nécessaires à la mise en œuvre du dimensionnement interactif

- La limite du « domaine des comportements acceptables » ne doit pas se réduire à un seuil unique.
- L'abondance des mesures doit rester compatible avec les capacités d'interprétation.
- Le « domaine des comportements possibles » doit pouvoir être approché :
  - par le calcul (?) ;
  - par des expériences comparables.

## Etats Limites de Service

### Prévision des déplacements (Peck, 1969)

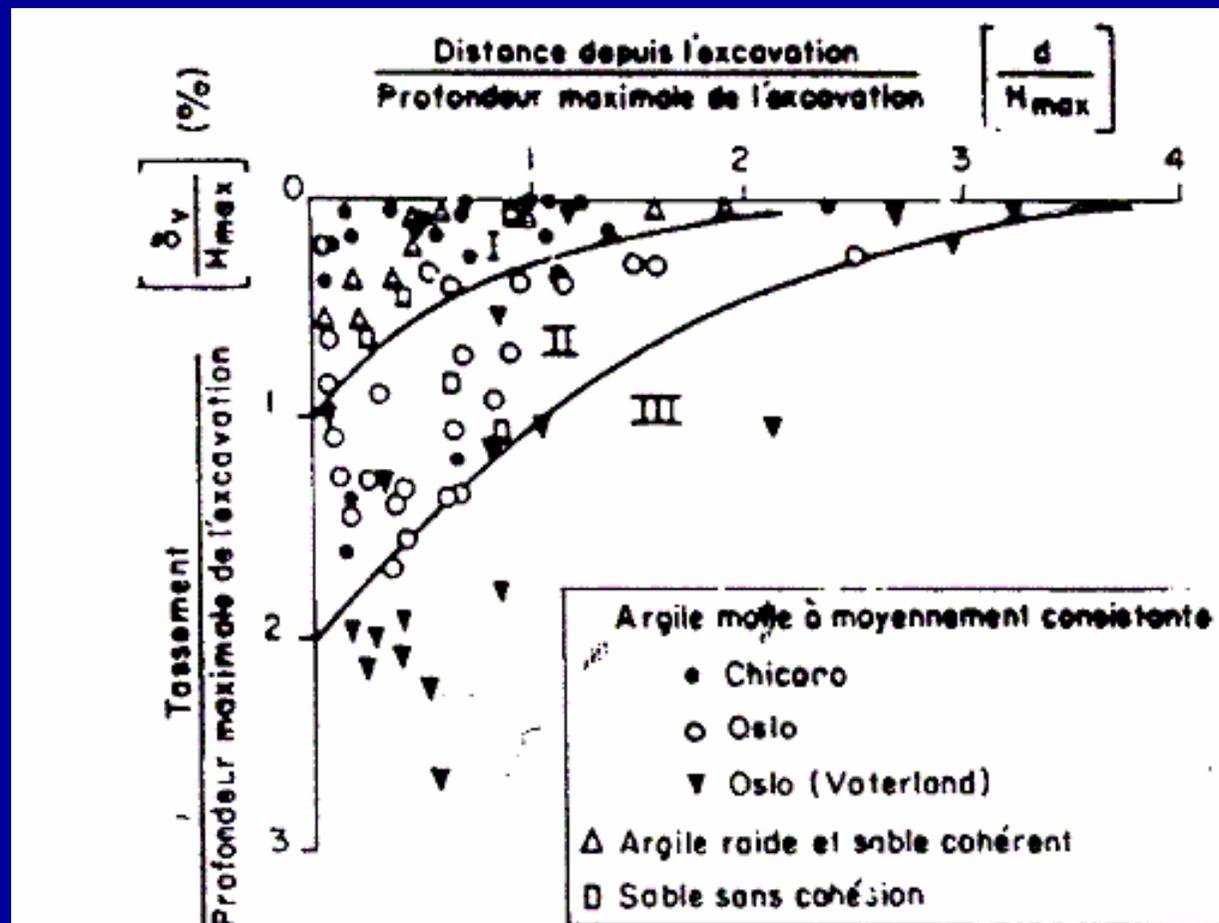


Fig.2 : Tassements au voisinage des excavations en fonction de la distance au bord et de la profondeur maximale (d'après Peck, 1969)

## Etats Limites de Service

### Prévision des déplacements (Solétanche-Bachy et LCPC, 2002)

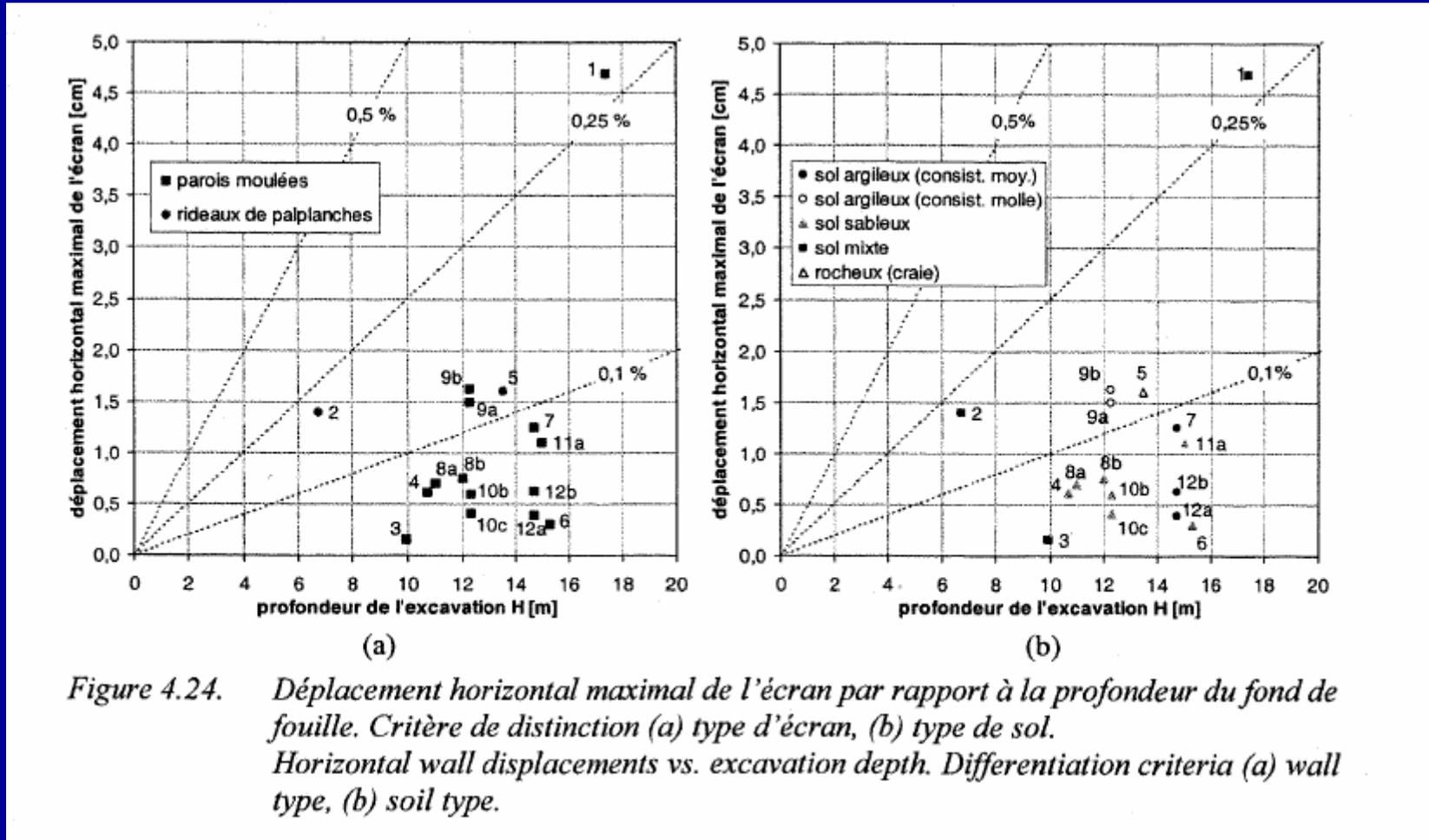


Figure 4.24. Déplacement horizontal maximal de l'écran par rapport à la profondeur du fond de fouille. Critère de distinction (a) type d'écran, (b) type de sol.  
Horizontal wall displacements vs. excavation depth. Differentiation criteria (a) wall type, (b) soil type.

### Etats Limites de Service

#### Utilisation du dimensionnement interactif pour l'optimisation des projets

- Terzaghi et Peck (1967) : « Si le projet permet des modifications du dimensionnement pendant la construction, des économies importantes peuvent être faites au moyen d'un dimensionnement basé sur les hypothèses les plus probables plutôt que sur les plus défavorables. »
- Incertitude limitée à quelques paramètres
- Incertitude bornée
  - => Jeu de paramètres « réaliste »
  - => Jeu de paramètres « pessimiste »

### Etats Limites Ultimes

- Le suivi géotechnique est bien adapté à la maîtrise des ELS.
- Le suivi géotechnique ne permet malheureusement pas de mesurer le coefficient de sécurité.
  - => La prévention d'un ELU se fait par référence à l'ELS : vérifier que le comportement observé est conforme aux prévisions.
  - => A distinguer de la prévention d'un ELS : vérifier que le comportement observé est compatible avec les contraintes environnementales.

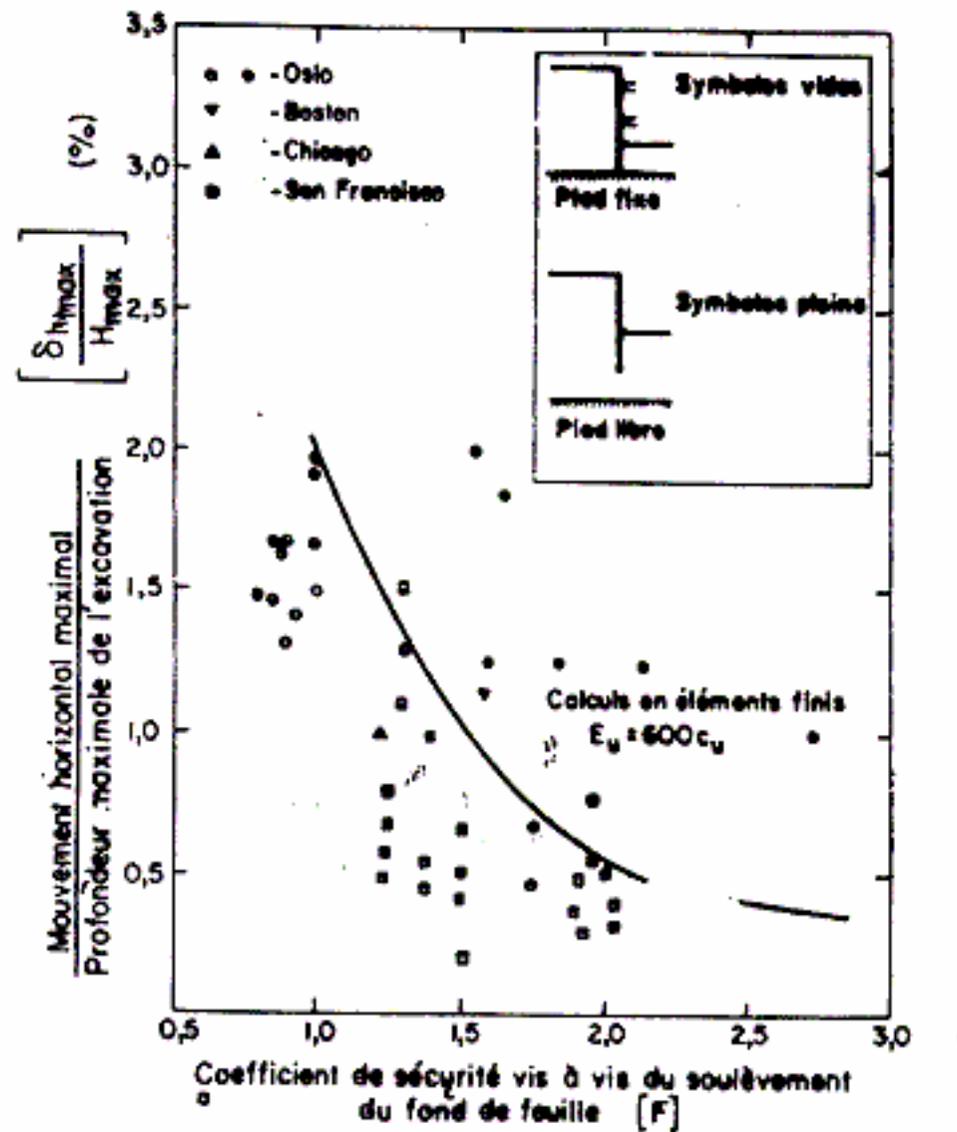
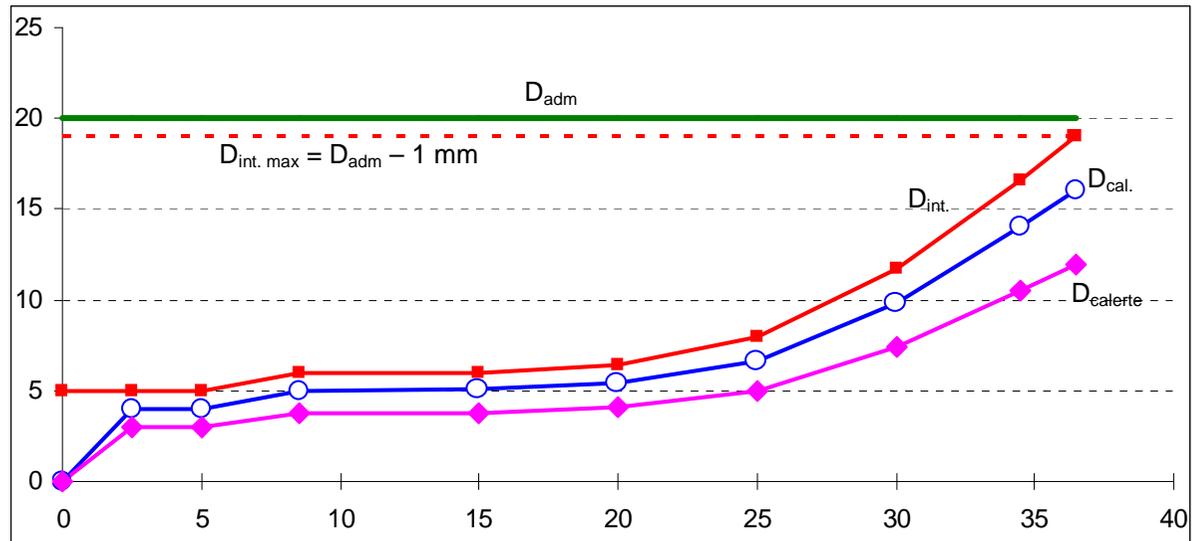


Fig.5: Relation entre le déplacement latéral maximal du soutènement et le coefficient de sécurité vis-à-vis du soulèvement du fond de l'excavation, dans le cas des argiles [d'après Clough et Schmidt, 1971]

# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

## Etats Limites Ultimes



### LEGENDE

Abscisses : profondeur en m  
Ordonnées : dépl. en mm

- Déplacement admissible
- - - Seuil d'interv. maxi
- Seuil d'intervention
- Déplacement calculé
- ◆ Seuil d'alerte

## Etats Limites Ultimes

### Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

#### 2.7 Méthode observationnelle

(1) Quand il est difficile de prévoir le comportement géotechnique d'un ouvrage, il peut être approprié d'appliquer l'approche connue sous le nom de «méthode observationnelle», dans laquelle la conception est revue pendant la construction.

#### Section 4 Surveillance de l'exécution des travaux, suivi et entretien

##### 4.1 Généralités

(1)P Afin d'assurer la sécurité et la qualité d'un ouvrage, les opérations suivantes doivent être effectuées, lorsque c'est pertinent :

- le déroulement des travaux de construction et la qualité de la réalisation doivent être surveillés ;
- le comportement de l'ouvrage doit être surveillé pendant et après la construction ;
- l'ouvrage doit être entretenu de manière adéquate.

(7)P Dans le cas d'évènements imprévus, les méthodes, l'ampleur et la fréquence des mesures doivent être révisées.

(5)P Les décisions relatives au projet qui sont influencées par les résultats de la surveillance et des mesures de suivi doivent être clairement identifiées.

# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

Tableau 17.3 – Principes généraux à suivre pour définir la surveillance, le suivi et le contrôle des travaux

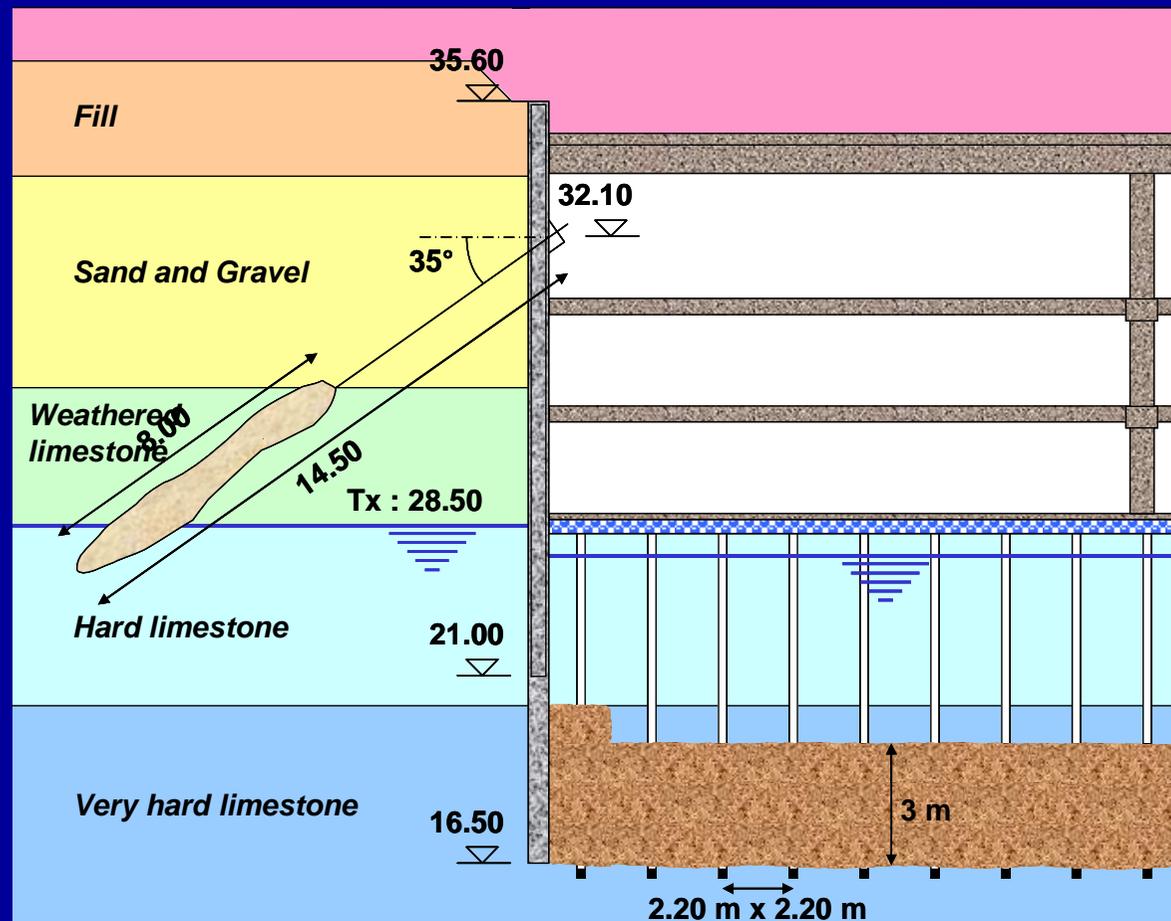
Objet	Catégorie géotechnique		
	1 a)	2	3 a)
<b>Surveillance</b>	inspection visuelle, contrôle simple, estimation qualitative du comportement de l'ouvrage	idem 1 + contrôle des propriétés des remblais et du comportement de l'ouvrage	idem 1 + mesures des propriétés du terrain et du comportement de l'ouvrage aux étapes importantes
<b>Vérification de l'état des terrains</b>	inspection du site et relevé des types de terrains dans les excavations sur le site	idem 1 + vérification des propriétés du terrain avec reconnaissance et essais complémentaires si besoin	idem 2 + reconnaissance complémentaire et étude des conditions du terrain influant sur le dimensionnement
<b>Contrôle de l'exécution des travaux</b>	normalement, pas de plan de suivi et de contrôle	plan de suivi indiquant les phases de travaux	plan de suivi indiquant les phases de travaux
<b>Instrumentation et suivi de l'ouvrage</b>	évaluation simple et qualitative du comportement de l'ouvrage, fondée sur l'inspection visuelle	évaluation du comportement de l'ouvrage, basée au moins sur la mesure des mouvements <sup>b)</sup> de quelques points choisis et si besoin sur des mesures inclinométriques et si possible des réactions d'appui (cales dynamométriques)	évaluation du comportement de l'ouvrage, sur la base de mesures de déplacements et d'analyses tenant compte des phases des travaux, de mesures inclinométriques et de la mesure si possible des réactions d'appui (cales dynamométriques) surtout si la méthode observationnelle est utilisée

<sup>a</sup> cité pour mémoire, les dispositions de cette norme ne s'appliquent pas aux ouvrages de catégorie 1 et 3  
<sup>b</sup> à comparer avec les prévisions fondées sur des résultats de calcul ou une expérience comparable

## Etats Limites Ultimes

Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

Boulogne / Parking Parchamp



Etats Limites Ultimes

Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

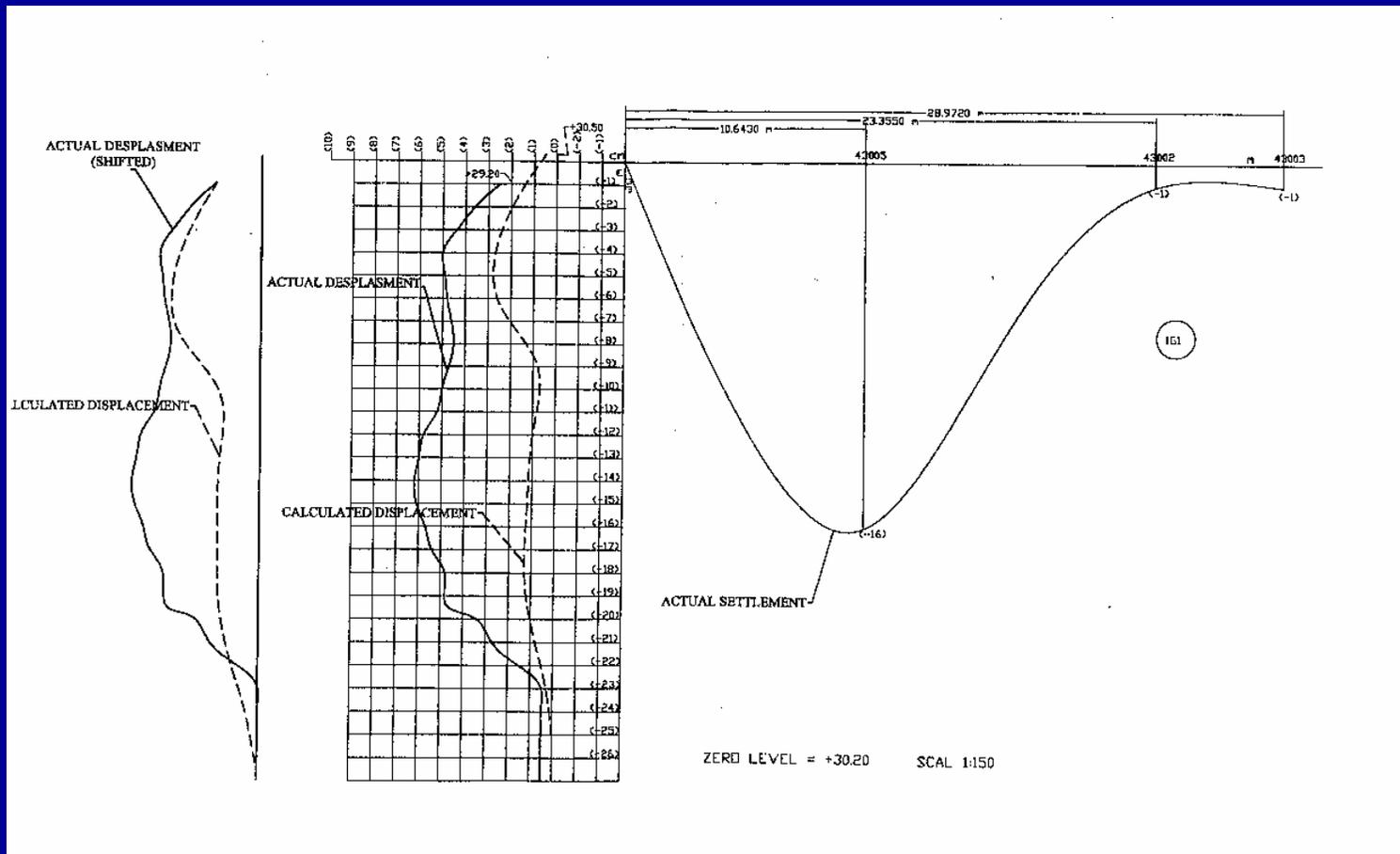
Rennes / Station Gares



## Etats Limites Ultimes

Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

Rennes / Station Gares



Etats Limites Ultimes

Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

Rennes / Station gares



### Etats Limites Ultimes

### Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

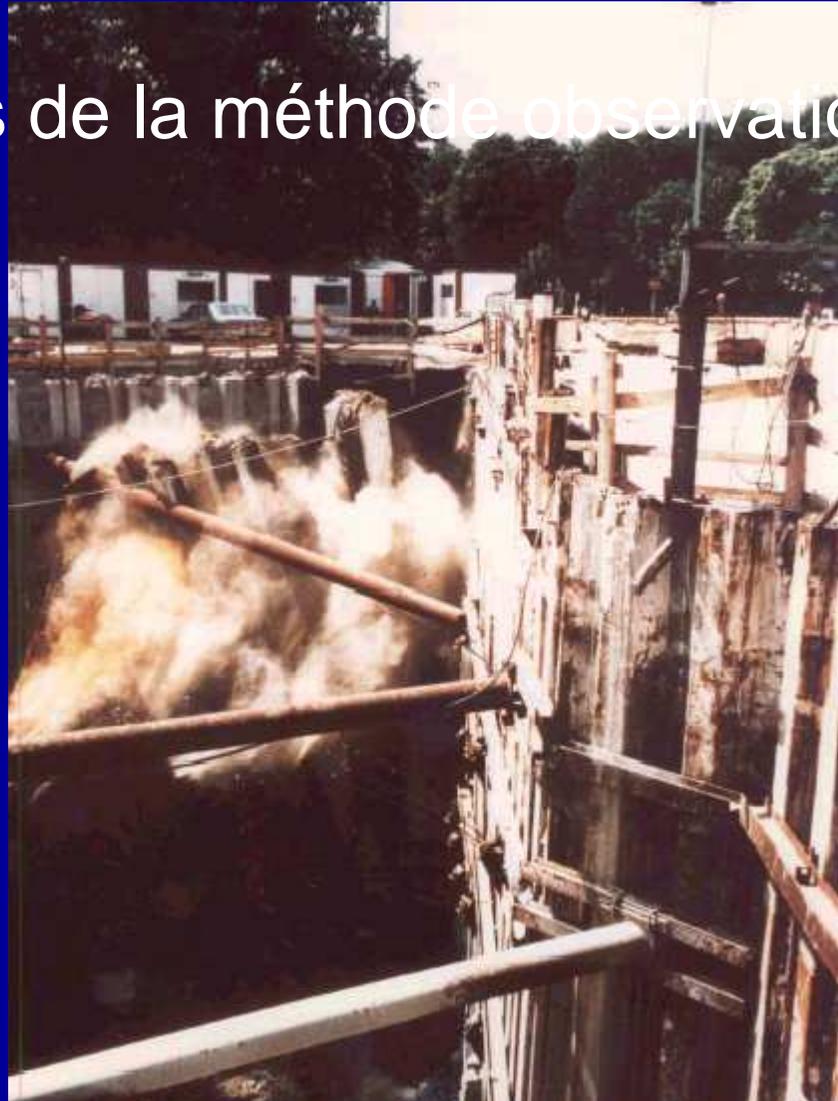
#### Limites de la méthode observationnelle :

(4) Il convient autant que possible de concevoir les ouvrages de soutènement de telle façon qu'il y ait des signes visibles de l'approche d'un état limite ultime. Il convient que la conception protège contre l'occurrence d'une rupture fragile, c'est à dire d'un effondrement brutal sans déformations préalables visibles.

Etats Limites Ultimes

Suivi géotechnique ou dimensionnement interactif ?

Limites de la méthode observationnelle :



Etats Limites Ultimes

ELU « HYD »



Etats Limites Ultimes

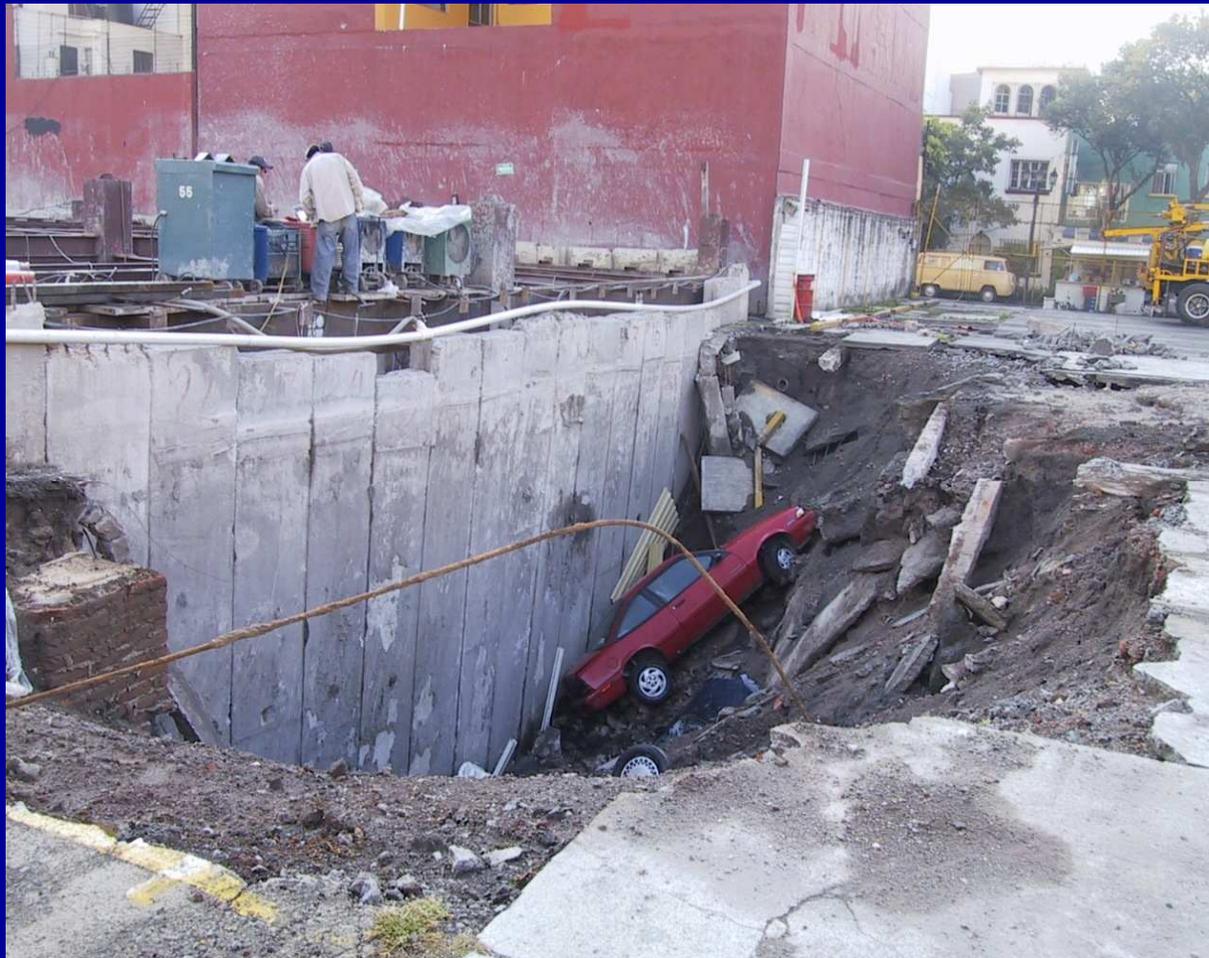
ELU « HYD »



# Maîtrise de la sécurité des ouvrages

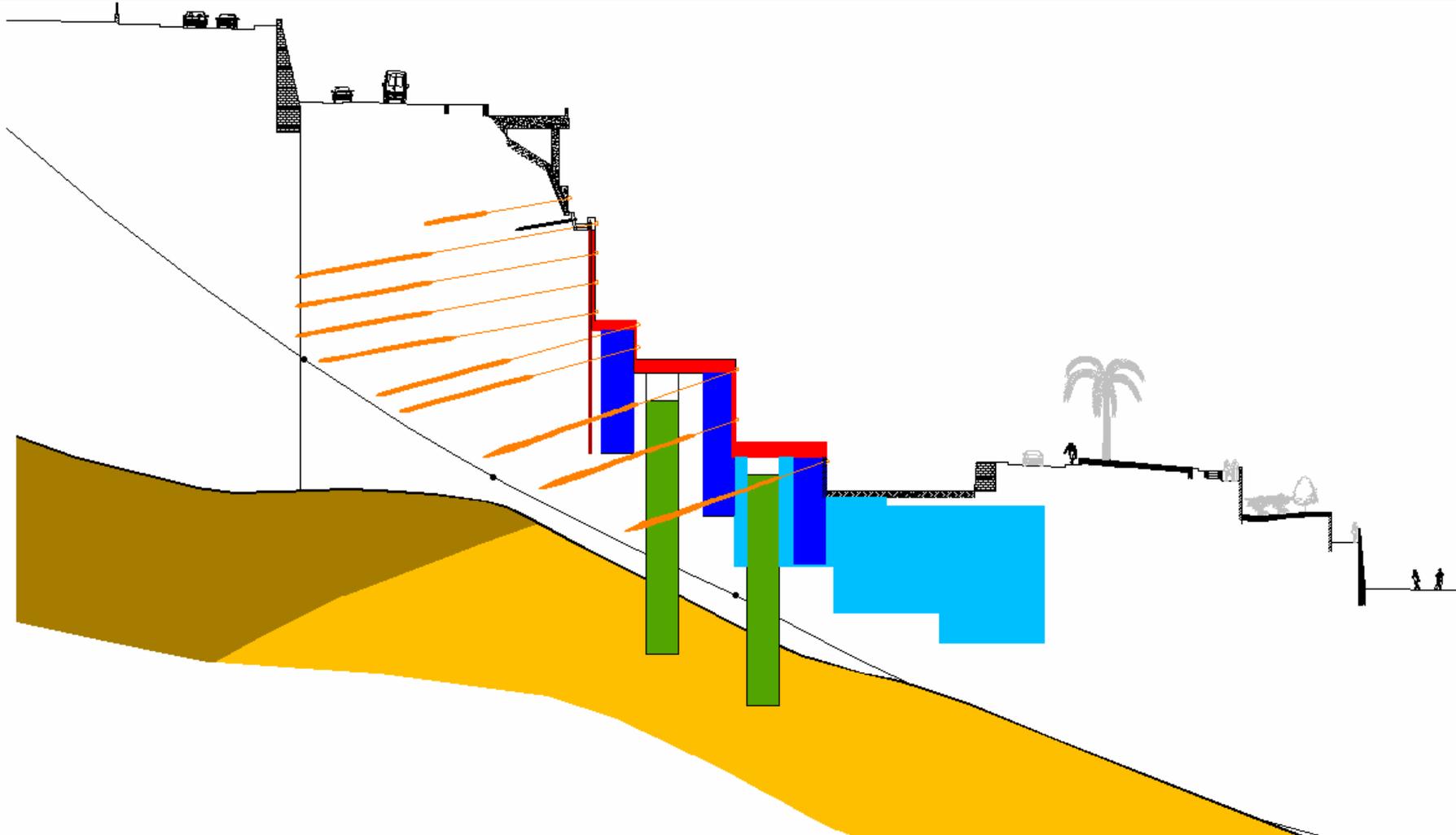
## Etats Limites Ultimes

### ELU « HYD »

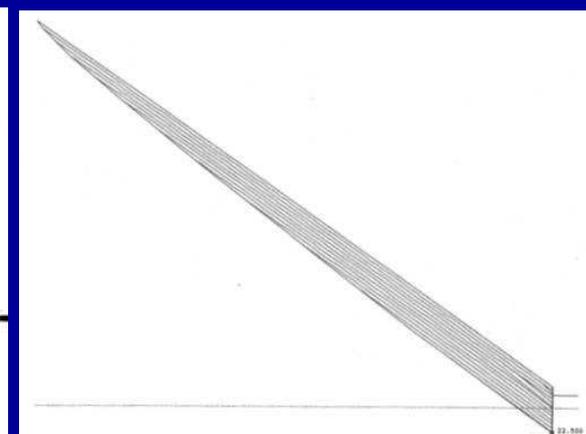
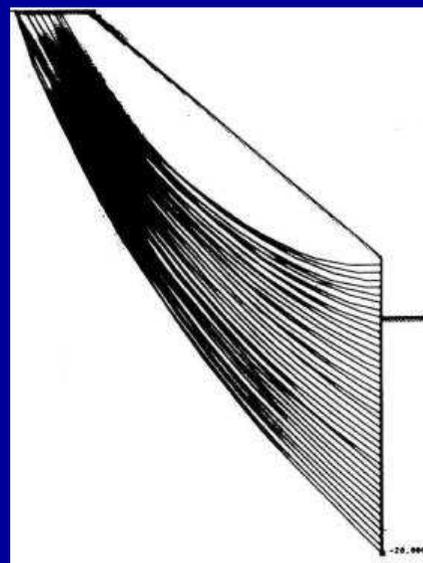
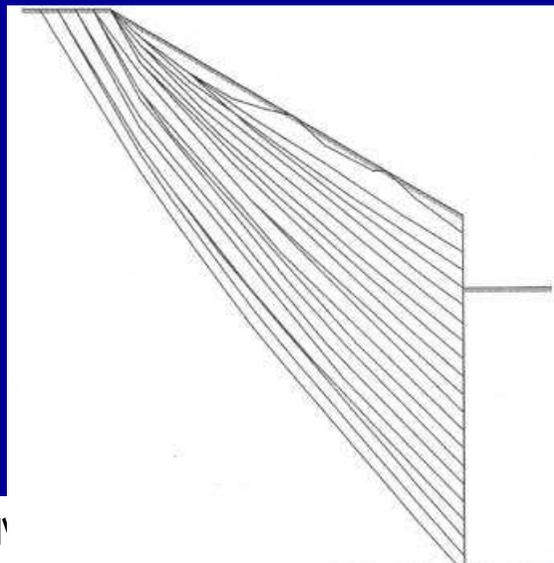
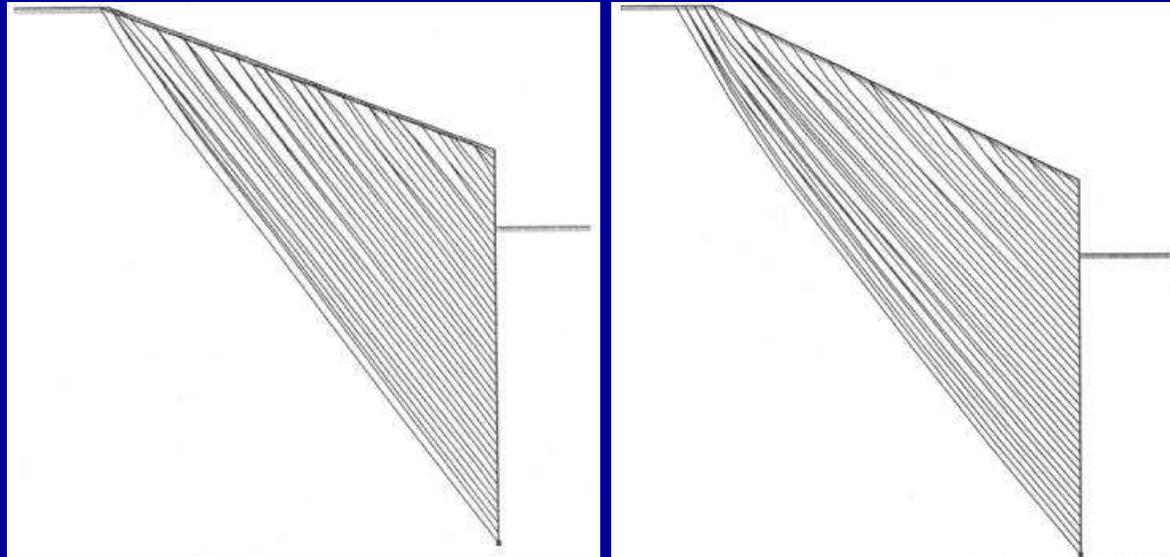


Etats Limites Ultimes

ELU « GEO »



## Etats Limites Ultimes



## Conclusion

### Type d'insécurité

### Origine

### Suivi

#### Etats Limites de Service

- Déformations

- Réalisation de l'écran
- Déplacement de l'écran
- Rabattement de la nappe

Topographie  
Inclinométrie  
Piézométrie

#### Etats Limites Ultimes

- Défaut de butée
- Défaut de portance
- Instabilité d'ensemble
- Instabilité hydraulique
- Instabilité structurale

- Hétérogénéité
- Dégradation
- Gradient hydraulique
- Instabilité initiale du site
- Effet des travaux
- Piézométrie
- Action géotechnique
- Dispositions constructives

Inclinométrie  
Piézométrie  
Topographie  
Inclinométrie  
Extensométrie  
Observations  
Piézométrie  
Débits  
Réactions d'appui  
Inclinométrie

## Conclusion

Ouvrage+contexte  
géotechnique

Environnement+classe de  
conséquences

Comportement prévisible ?  
Incertitudes ?

Comportement acceptable ?  
Niveau de vigilance ?

Programme de suivi

Interaction chantier / études

Modèles de comportement,  
paramètres de calcul

Maîtrise du projet et  
des travaux