



Journée scientifique et technique du CFMS du 21 mars 2019

« *Grands projets d'infrastructures en Région Parisienne* »

Retour d'expérience sur l'application de la norme ECRAN NF P 94-282

Christian GILBERT SYSTRA

SYSTRA

Points abordés



- Utilité de la Norme
- Domaine d'application de la norme
- Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres
- Calcul drainé ou non drainé
- Les équilibres horizontaux et verticaux
- Les tolérances d'exécution
- Le matériau béton armé dans les soutènements
- Conclusions

SYSTRA

Introduction



- Une Norme relativement jeune pour intégrer l'EC7
- Un guide de la pratique Française avant l'EC7
- Un outil pour guider et porter la réflexion dans des cas complexes
- Un outil commun entre les intervenants de la construction pour se comprendre
- Un outil du rayonnement du savoir faire Français
- Un outil pour l'exportation de notre Ingénierie et de nos technologies.

Responsabilité importante de la norme



Domaine d'application de la Norme



- les écrans composites de type berlinoise ou assimilés (Figure 1.2d) ;
- les parois composites réalisées à partir de pieux forés sécants (Figure 1.2a) ou contigus ;
- les rideaux mixtes de palplanches métalliques (Figure 1.2b) ;
- les parois moulées en béton armé avec contreforts (Figure 1.2c) ;
- les parois armées au coulis ;
- les parois circulaires ;
- les écrans réalisés à partir de tranchées ou de puits blindés ;
- les écrans réalisés à partir de voiles par passes alternées.

Domaine d'application de la Norme



La Norme est conçue pour le dimensionnement des ouvrages de soutènements verticaux dont la rigidité et les méthodes d'exécution sont très variables.

La définition de la pression des terres est relativement explicite mais est elle applicable quelque soit la méthode utilisée ?

Il existe 2 méthodes d'interaction sol-structure présentées dans la norme mais elles ne sont pas équivalentes.

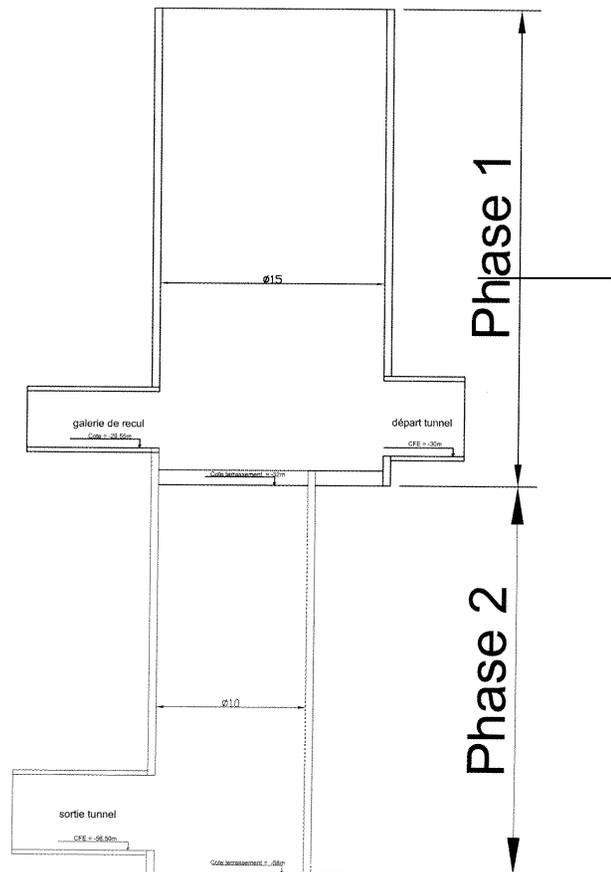
SYSTRA

Une étude comparative

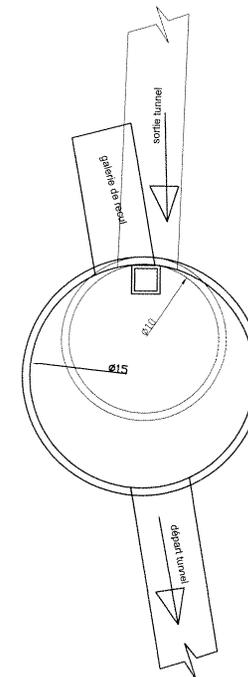


- hauteur totale 58m
- Diamètre partie haute : 15m
- Diamètre partie basse 10m

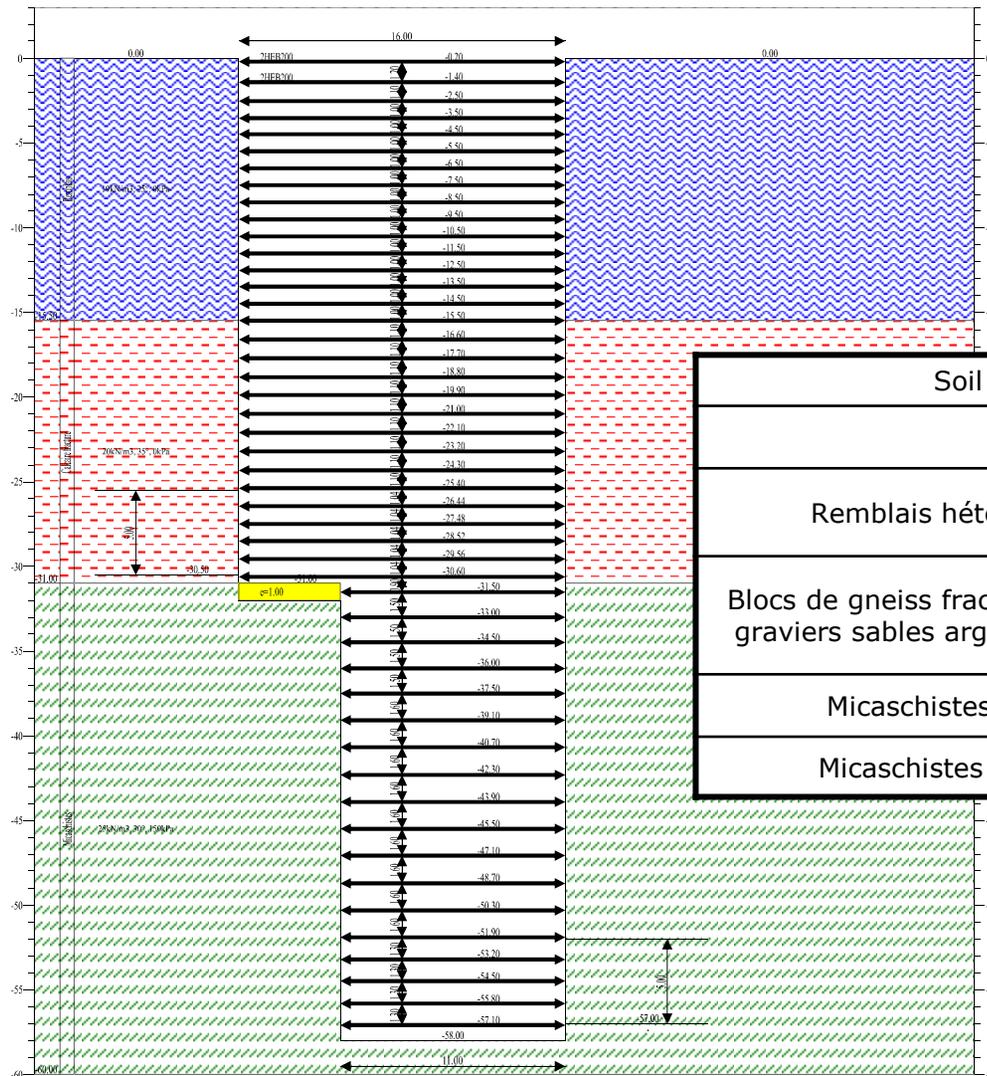
Coupe transversale du puits d'attaque



Vue en plan schématique du puits d'attaque



Une étude comparative



Soil	Tck	Φ	c	E	K0	pl
	m	°	kPa	MPa		MPa
Remblais hétérogènes	10.5	25	0	10	0.58	0.5
Blocs de gneiss fracturés, cailloux, graviers sables argileux limoneux	5.0	25	0	10	0.58	0.5
Micaschistes broyés	15.5	35	0	30	0.43	1.7
Micaschistes rocheux	-	30	150	500	1.5	-

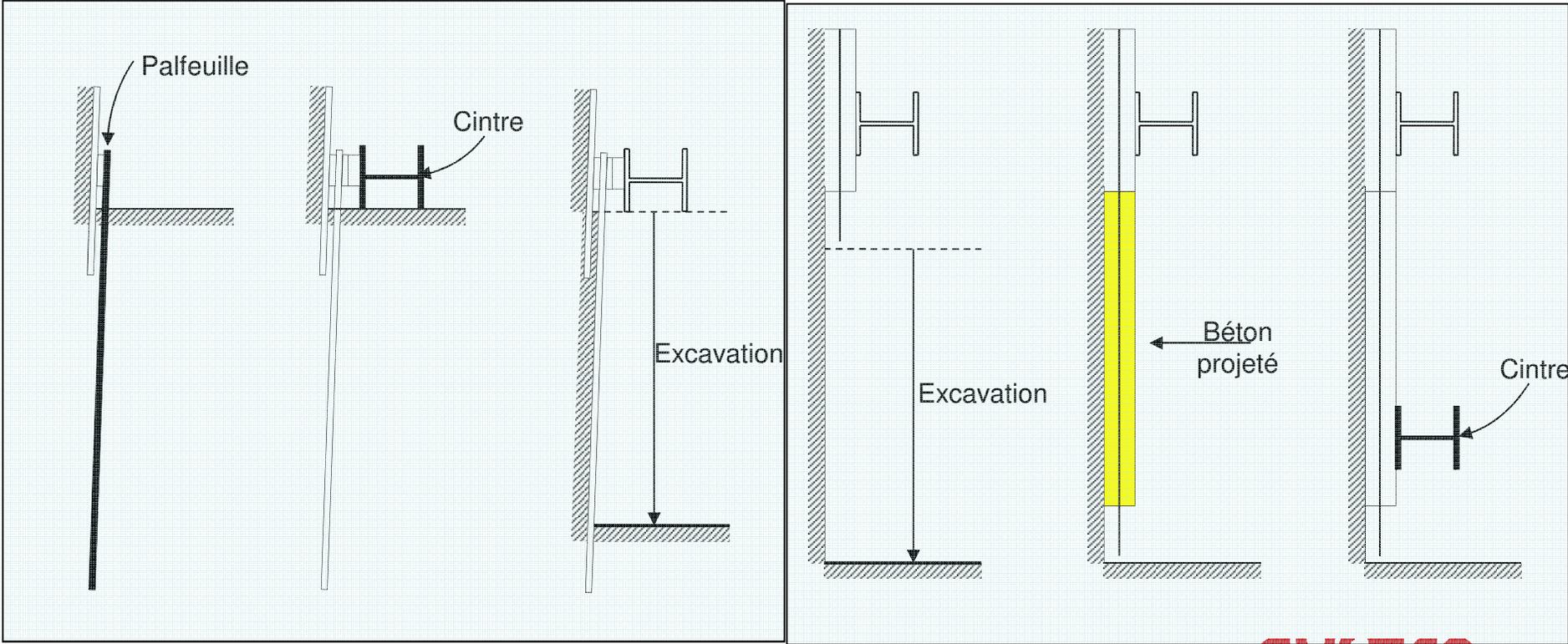


Une étude comparative

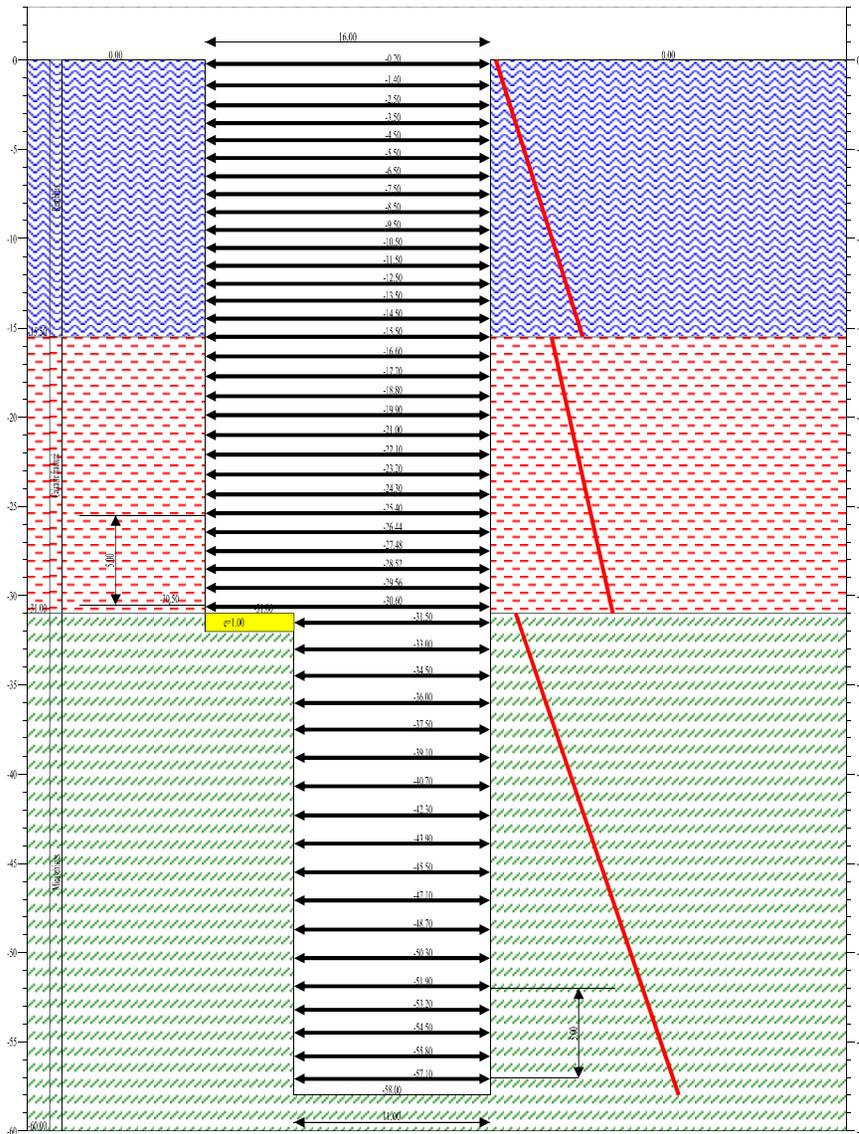


Soutènement partie supérieure

Soutènement partie inférieure



Approche de Rankine

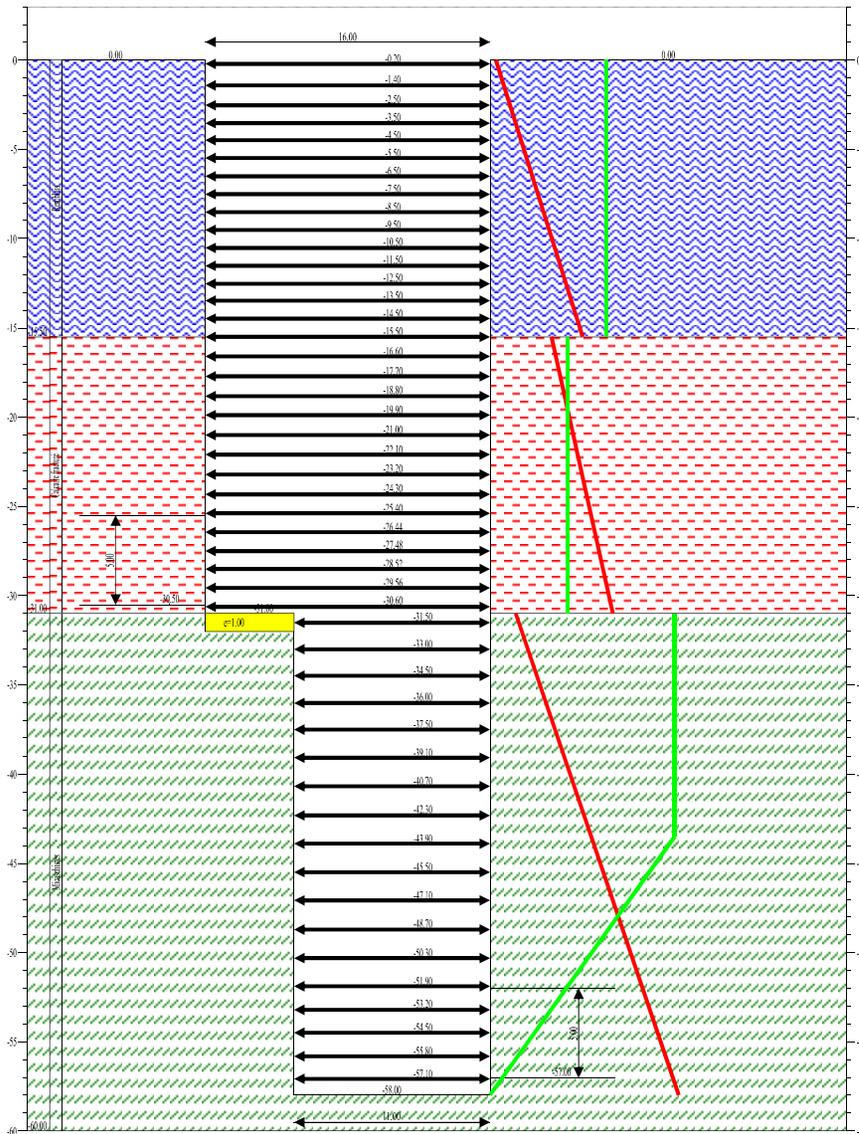


$$\sigma_h = K_a \sigma_v - 2\sqrt{K_a}c$$

$$K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2}\right)$$

- > Pas de pression en tête
- > Pression max au niveau de l'excavation

Approche de Terzaghi

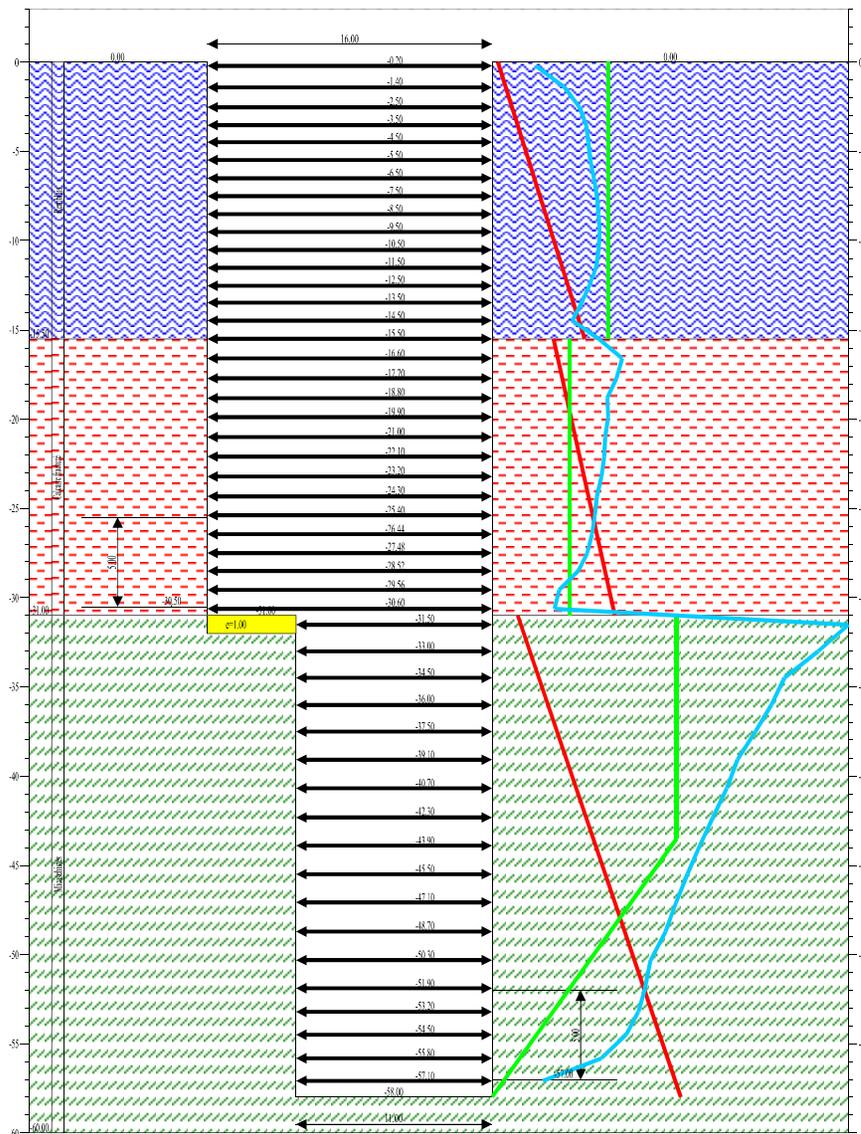


- > Appliquée en monocouche
- > Sable

$$\sigma_h = 0.65 K_a \gamma H$$
 avec H l'épaisseur du
- > Rocher

$$\sigma_h = 0.2 \gamma H$$
 with H total height

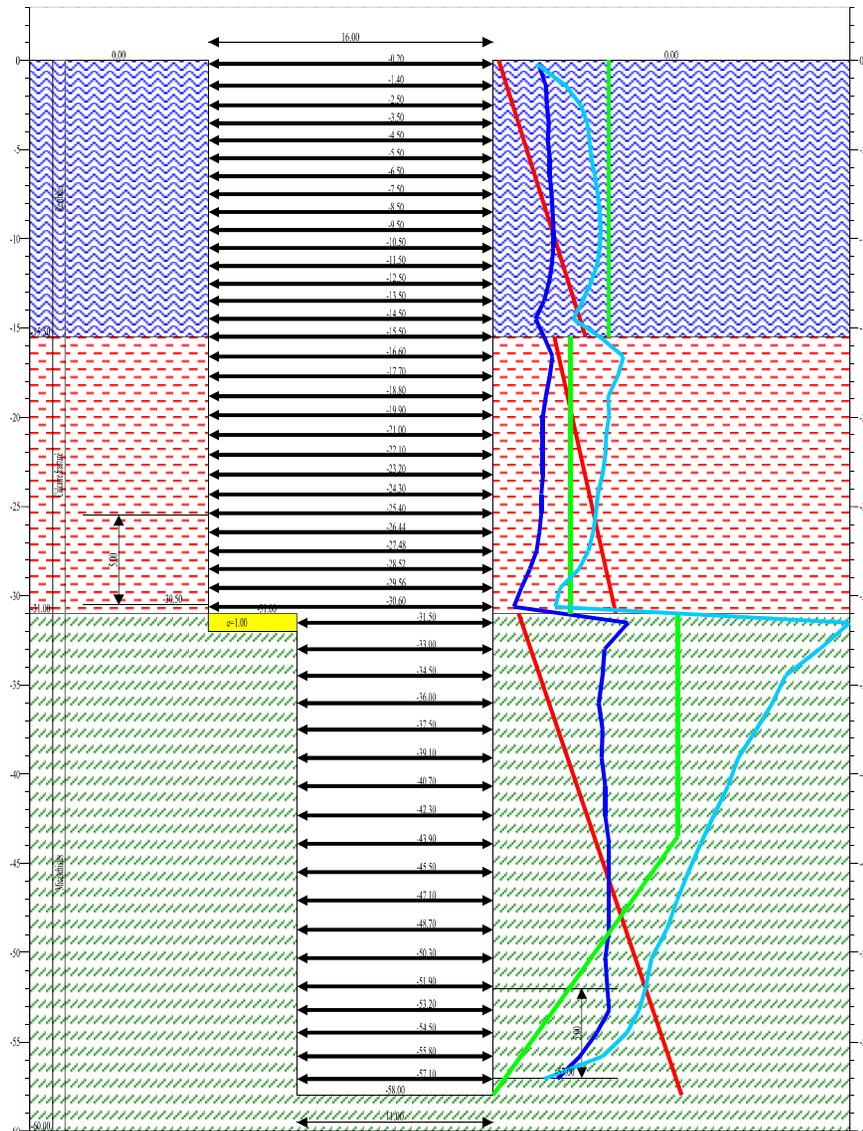
Approche aux éléments finis



- **Déformations planes**
- En général pressions plus proches de Terzaghi que de Rankine
- Pression plus importante à l'interface de la couche d'argile raide

SYSTRA

Approche aux éléments finis



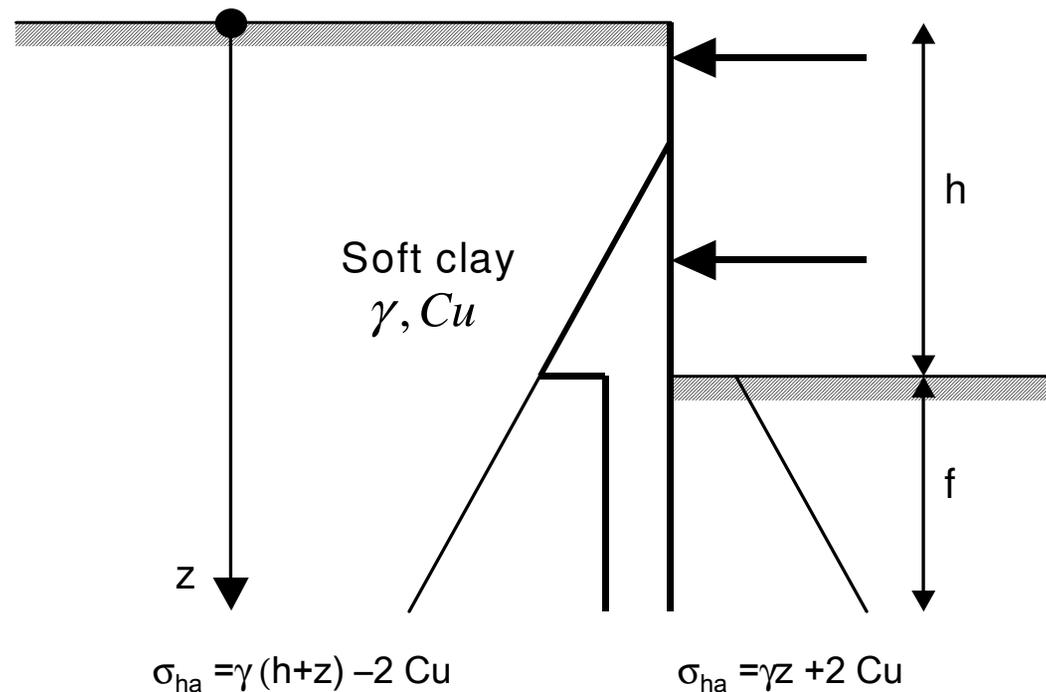
- Calcul axisymétrique
- Pression plus faible due au développement de l'effet voute horizontalement

SYSTRA

Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres



Modèle Hyperstatique

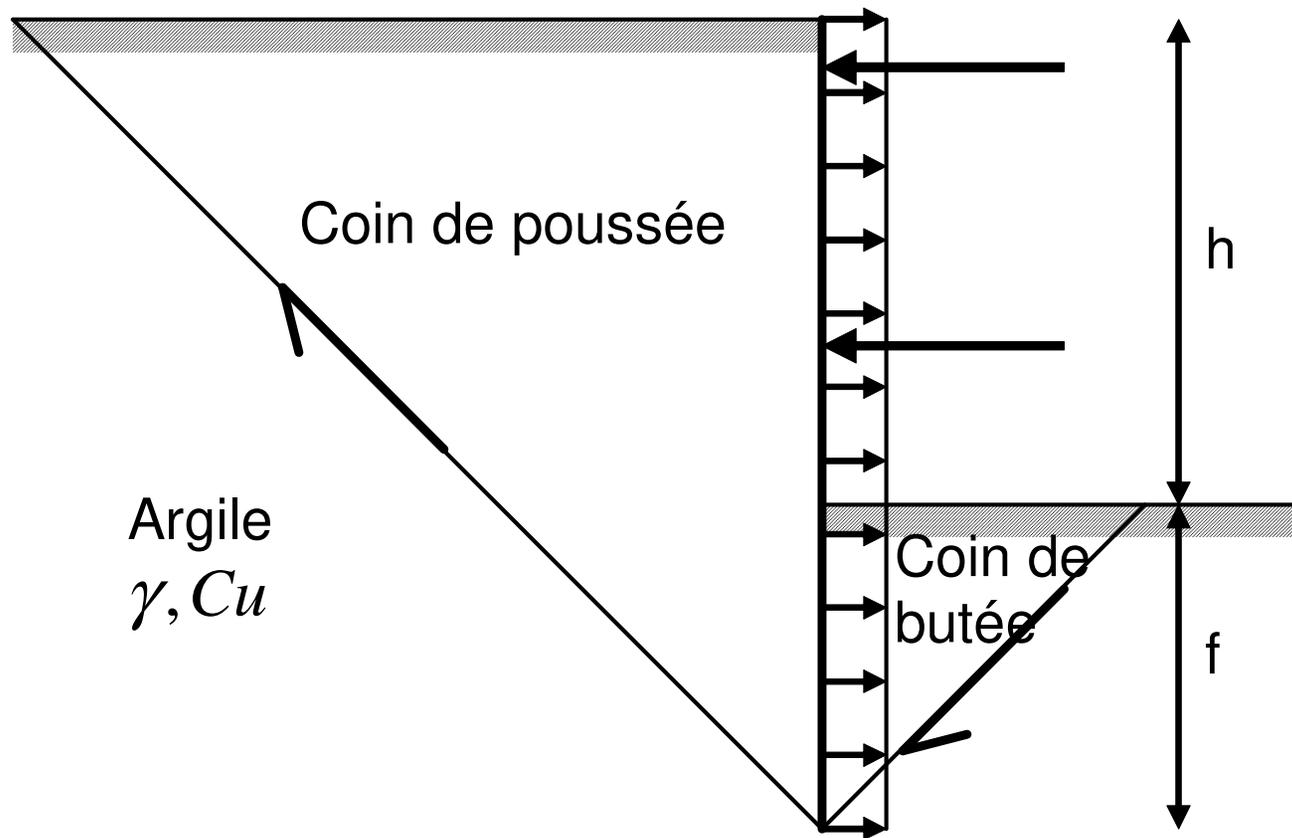


Pas de point de pression nulle

- Rallonger la fiche augmente les efforts internes et ne résout pas le problème
- La stabilité du fond de fouille n'est pas assurée

SYSTRA

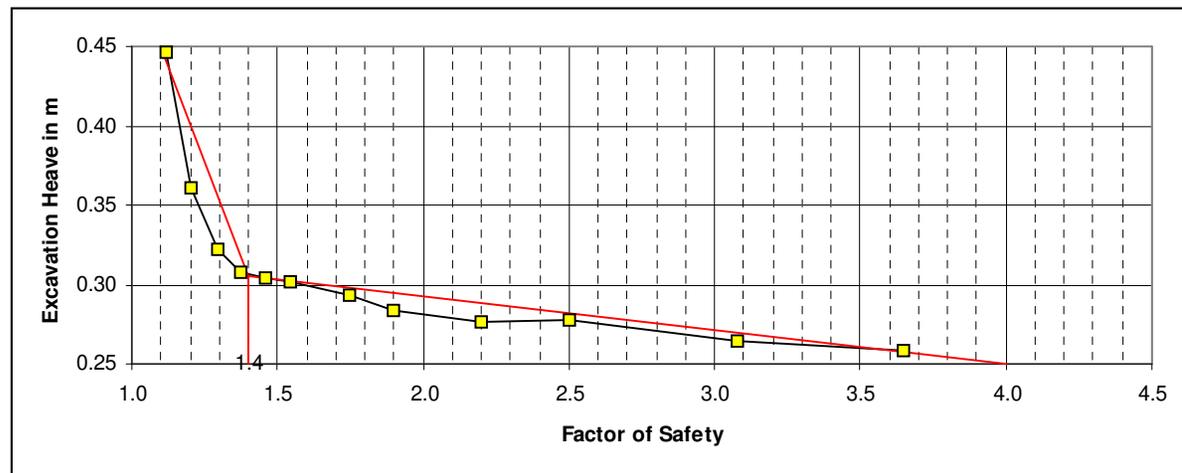
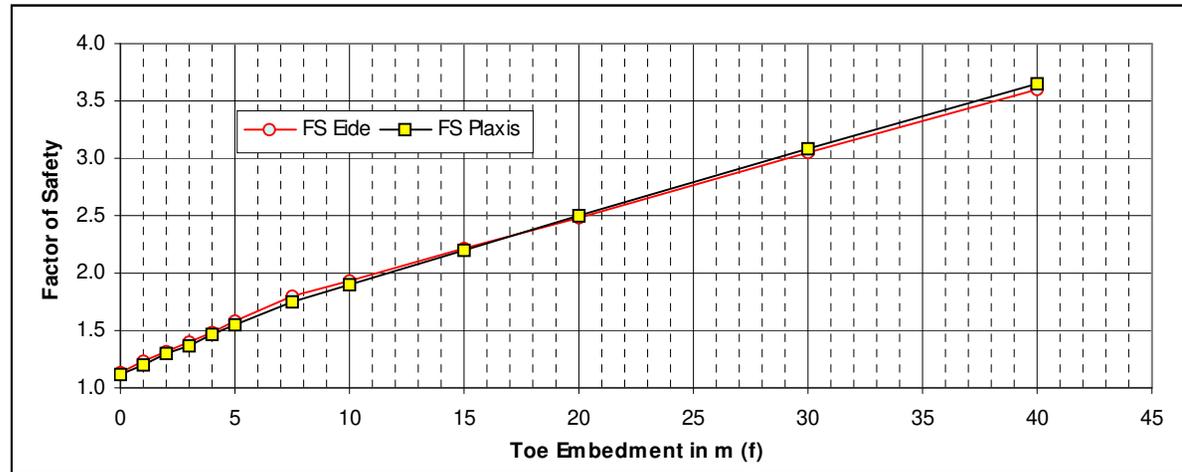
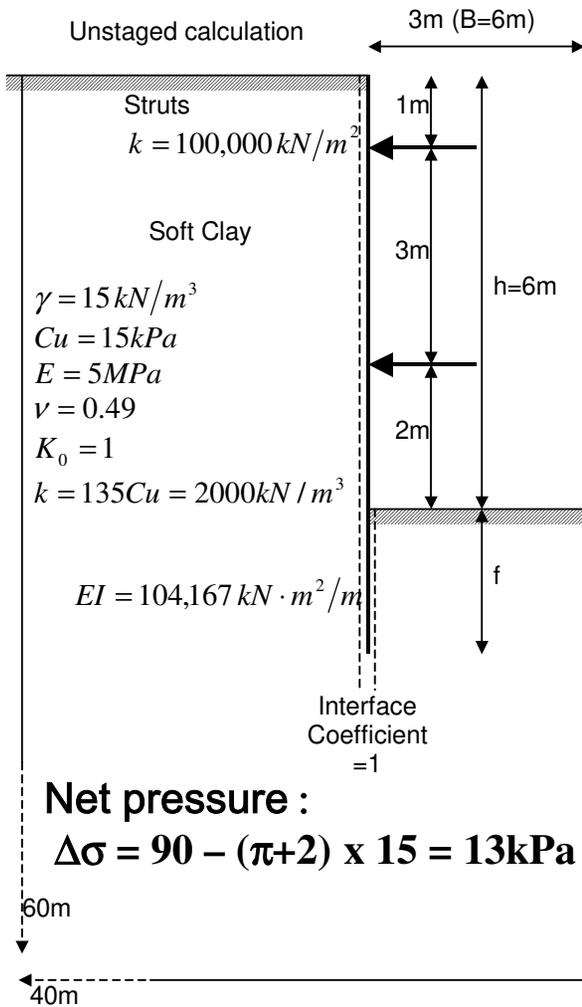
Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres



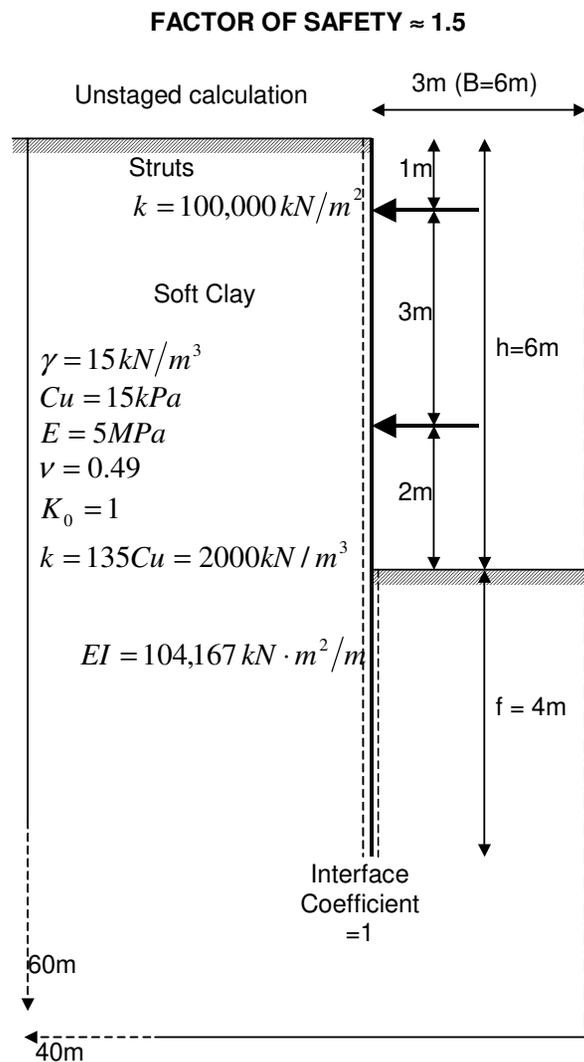
Le déplacement n'est pas compatible avec la répartition des pressions

SYSTRA

Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres

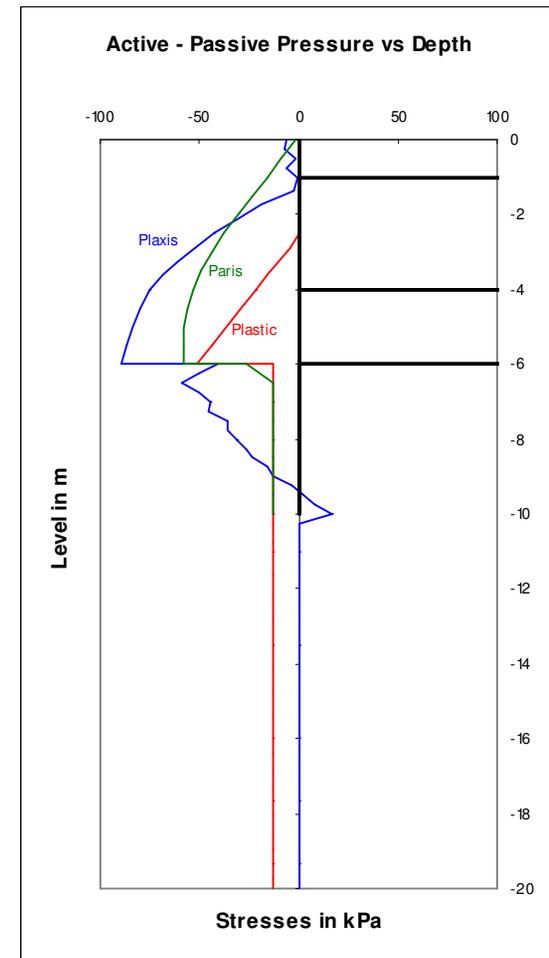
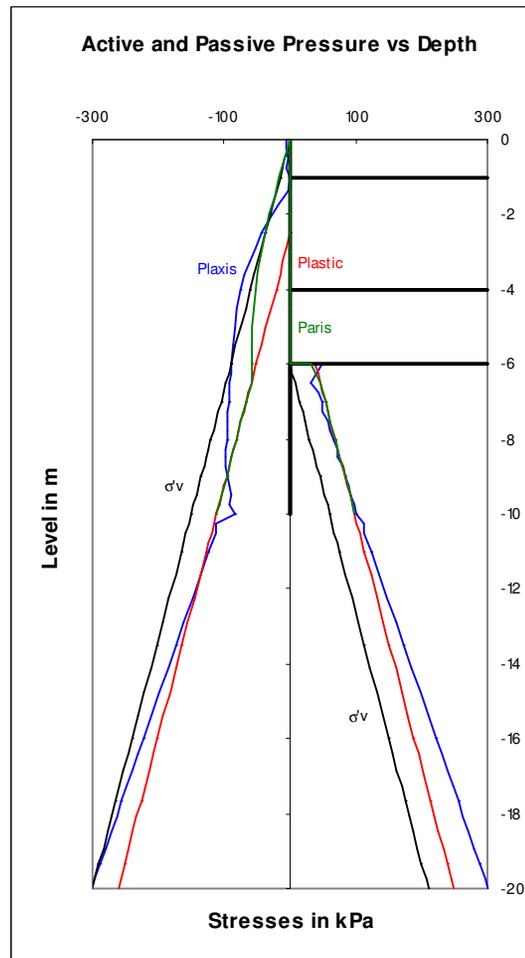


Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres



$M_{\text{Paris}} = 327 \text{ kNm/m}$

$M_{\text{Plaxis}} = 505 \text{ kNm/m}$



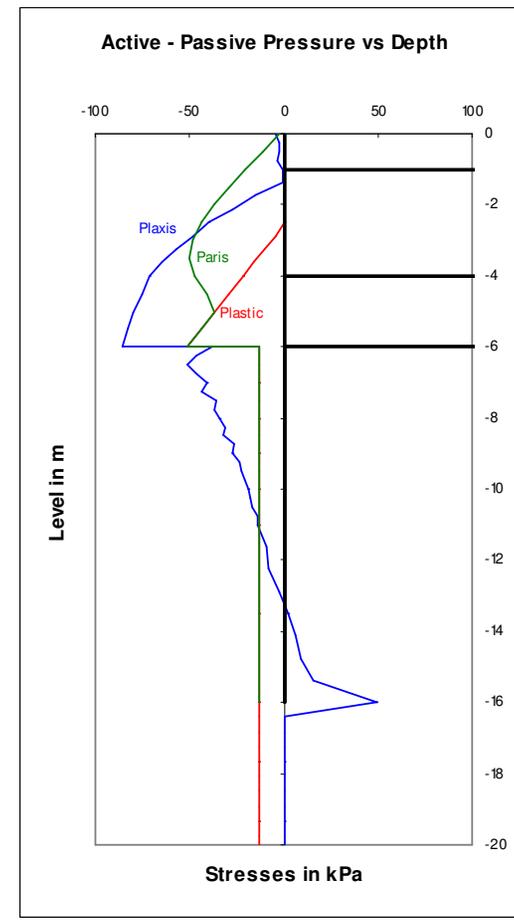
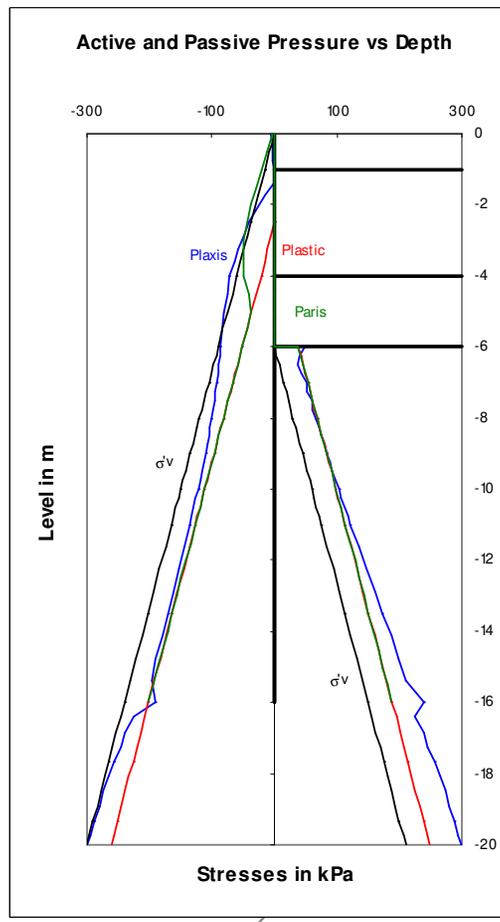
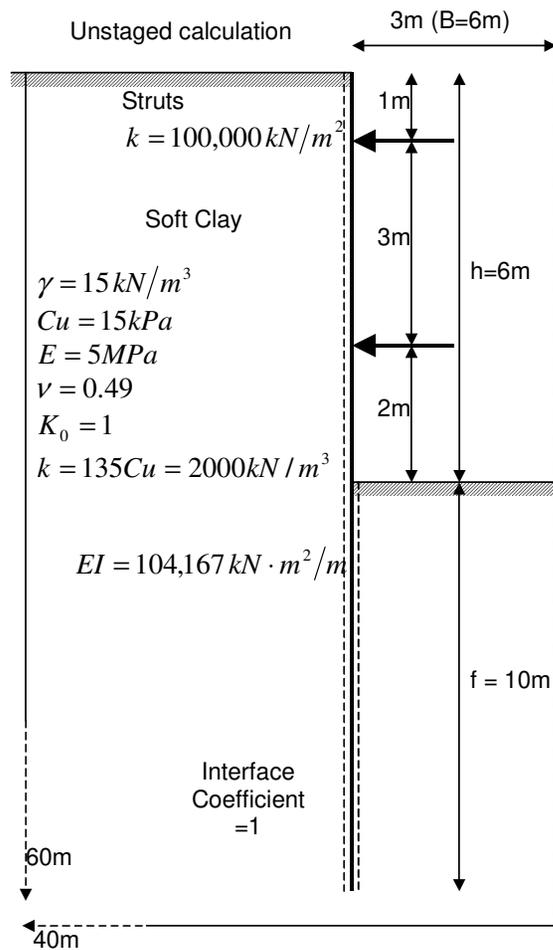
Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres



FACTOR OF SAFETY ≈ 1.9

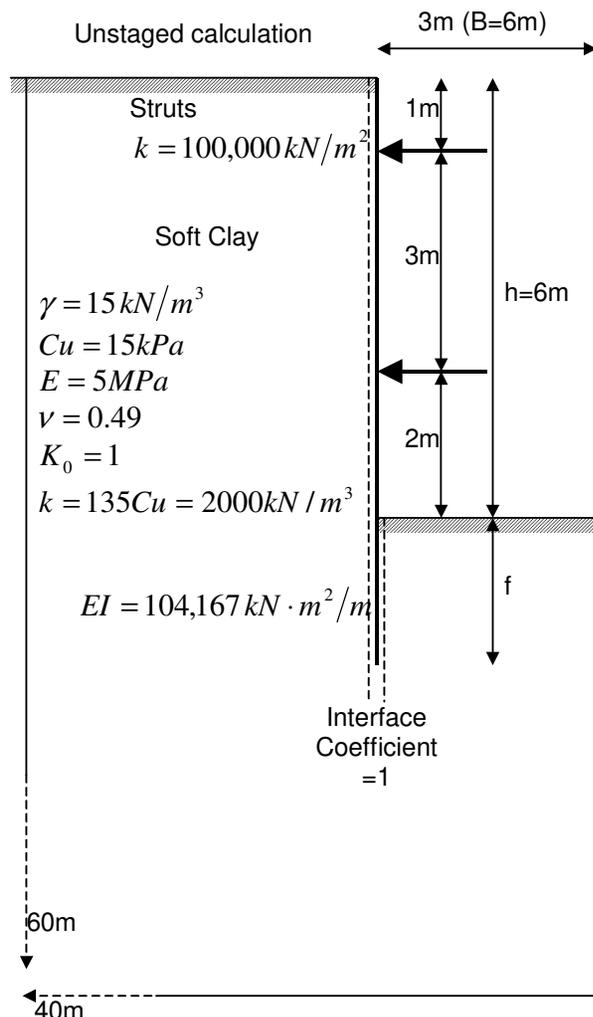
$M_{\text{Paris}} = 987 \text{ kNm/m}$

$M_{\text{Plaxis}} = 440 \text{ kNm/m}$

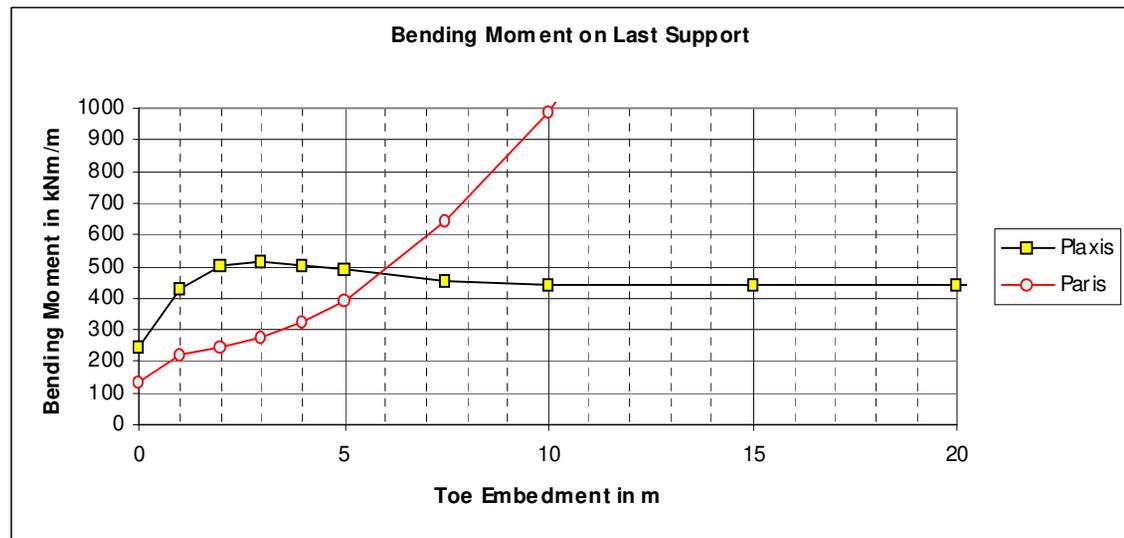


A

Lien entre stabilité de fond de fouille et pression des terres



For $f = 4\text{m}$ (S.F.=1.5) $M_{\text{Paris}} = 327 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{Plaxis}} = 505 \text{ kNm/m}$
 For $f = 10\text{m}$ (S.F.=1.9) $M_{\text{Paris}} = 987 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{Plaxis}} = 440 \text{ kNm/m}$



Terzaghi pour S.F. = 1.5

SYSTRA

$P_{2H} = 92 \text{ kN/m}$ and $\text{BM} = 368 \text{ kNm/m}$

Calculs court et long terme



- Calcul en conditions drainées ou non drainées
- Difficulté d'apprécier les conditions de drainage pour la dissipation des surpressions interstitielles dues à la mobilisation du cisaillement
- La pratique est de choisir des paramètres travaux basés sur les retours d'expériences.
- Les paramètres travaux doivent donner des résistances comprises entre le court et le long terme

SYSTRA

Calculs court et long terme



- La théorie du film d'eau :
 - En condition non drainée et alors que l'eau interstitielle est captive du sol et que le critère en contrainte totale inclut l'eau, il est usuel de prendre la pression hydrostatique comme pression à l'interface entre le soutènement et le coin de sol
 - Une façon de limiter cette pression hydrostatique peut être la mise en place de barbacane lors de l'excavation
- Dans les calculs en contraintes effectives un minimum de 10% de la contraintes effective verticale est prise comme poussée effective minimum

SYSTRA

Calculs court et long terme



- Inclinaison des contraintes à l'interface soutènement / sol
 - A l'état limite l'inclinaison du vecteur contrainte est prise égale à $2/3\phi'$ mais il ne faut pas oublier que cela pourrait être différent pour le terme de cohésion. Le code propose une même valeur mais pour des sols avec de fortes cohésions il faut s'assurer que le frottement latéral unitaire n'est pas dépassé
 - Dans les calculs en contraintes totales l'inclinaison par adhérence se retrouve par un coefficient de **2,475 (à comparé à 2 pour Rankine)** sur le terme de cohésion

SYSTRA

Les équilibres horizontaux et verticaux des soutènements



(2) Pour les situations de projet transitoires, et lorsque la mobilisation locale de la butée limite est jugée sans conséquence (voir l'article 4.2.2 (4)), la valeur de calcul de la butée mobilisable $B_{m;d}$ peut être déterminée à partir de la relation suivante :

$$B_{m;d} = \frac{B_{m;k}}{\gamma_{R;b}} \text{ avec } \gamma_{R;b} = 1,1 \quad (9.2.3)$$

- Un coefficient de sécurité sur la butée de 1,5 est requis si le sol est considéré comme un appui
- Dans le cas contraire le coefficient de sécurité sur la butée peut être inférieur (cas de la console inverse)

Les équilibres horizontaux et verticaux des soutènements



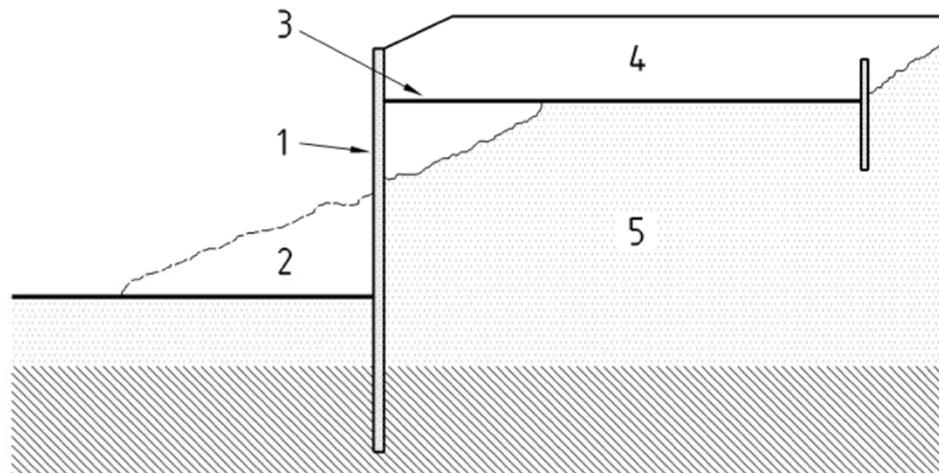
- Prise en compte du poids de l'écran
 - Au dessus du fond de fouille le poids de l'écran est souvent pris en compte dans l'équilibre vertical
 - La composante verticale de l'inclinaison de la poussée est considérée
 - La sous pression s'appliquant à la base de la paroi
 - La composante verticale de l'inclinaison de la butée est considérée
 - La descente de charge appliquée sur le soutènement
 - Le frottement le long de la fiche restante

SYSTRA

Les équilibres horizontaux et verticaux des soutènements



- Les équilibres verticaux doivent être vérifiés et en particulier la vérification que la butée inclinée à $2/3\phi'$ peut être mobilisée (voir rideau arrière)



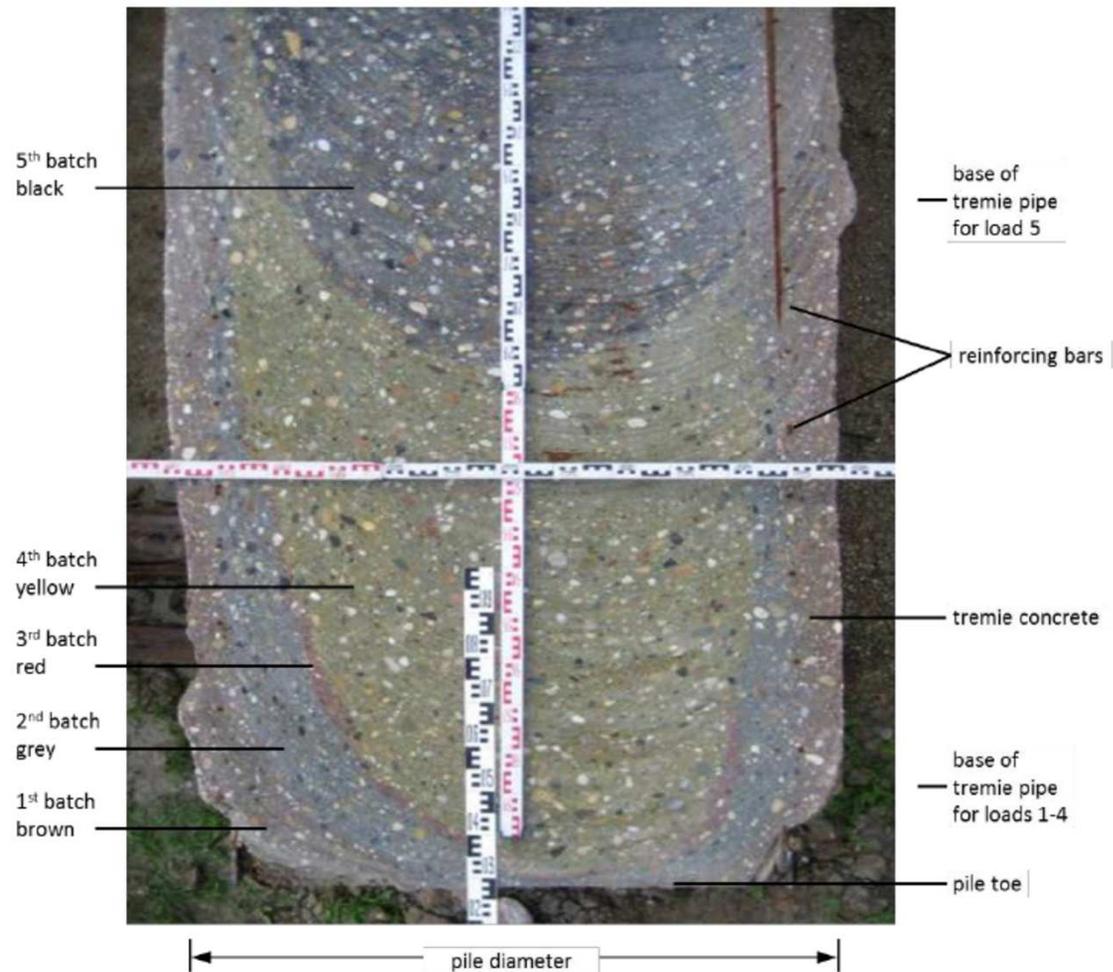
SYSTRA

Figure 1c) – Rideau de palplanches simples ancré avec un contre rideau

Le matériau béton armé dans les soutènements



Figure 18: Cross section of a bored pile cast with differently dyed loads of tremie concrete (Böhle and Pulsfort, 2014), indicating volcano flow



Le matériau béton armé dans les soutènements



- Le processus de bétonnage fait que les bétons de gâchées successives se mélangent ce qui implique que nous ne connaissons pas la position des bétons successifs
 - Il est donc interdit de mélanger deux bétons de qualité différentes dans un même panneau
- Depuis un certain nombre d'années les propriétés des bétons de fondations connaissent des variations fortes entraînant des problèmes de qualité et de pérennité dans les ouvrages réalisés

SYSTRA

Le matériau béton armé dans les soutènements



- Un guide servant à caractériser ces bétons a été développé et peut améliorer le résultat :

Best Practice Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations
by joint EFFC/DFI Concrete Task Group

- Les recouvrements se faisant aux mêmes niveaux, les longueurs de recouvrement ne doivent pas être minimisées
- Il faut couturer les zones de recouvrement en accord avec l'EC2

SYSTRA

Conclusions



- 1- La norme NF P 94-282 est le résultat de la mise en cohérence avec l'EC7 de la pratique Française**
- 2- Elle reflète l'histoire Française de la méthode aux coefficients de réaction et ne prend pas explicitement en considération les effets voutes de tout genre**
- 3- Elle permet un dialogue entre tous les intervenants de la construction en faisant partager les mêmes notions**
- 4- Elle permet de concevoir des projets sûrs répondant aux attentes des clients**

SYSTRA