

Stabilité, blindage de fouilles lors de travaux d'excavations



Pierre Pirotton

Mercredi 26 octobre 2016

Au programme

▶ Introduction

▶ Données et investigations nécessaires

▶ Excavations en talus

▶ Fouilles avec blindage / soutènement

▶ Conclusions

Introduction

- Exécution de fouille = travaux de « moindre importance »?



Introduction

Très courants et conséquences parfois très graves (sécurité et coûts)

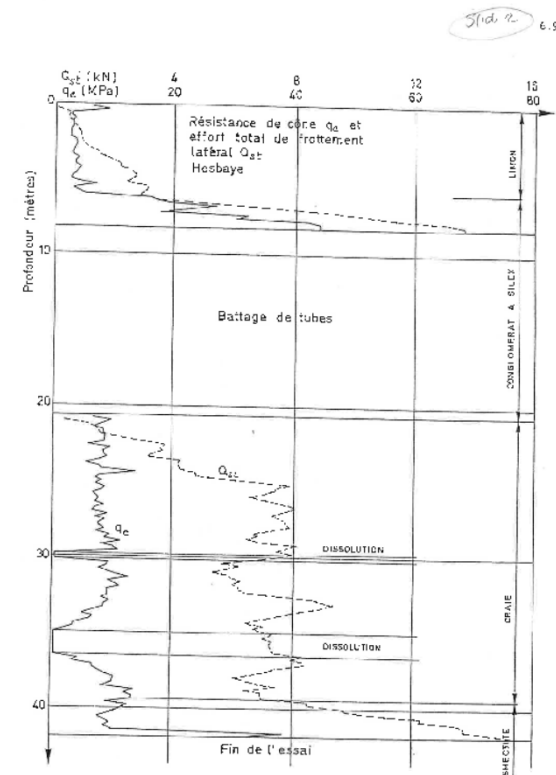
- Tout le monde n'est pas convaincu de la nécessité de mesures !
- En pratique on observe des « ouvrages » dont la stabilité est apparemment inexplicable / beaucoup d'effondrements



Données et investigations nécessaires

Etude géotechnique

- Nature du sol (essais in situ)
(cohésion, angle de frottement interne,...)
- Présence d'eau?
- Homogénéité du terrain
(dans la nature et les niveaux)



Données et investigations nécessaires

Voisinage du site et géométrie

- Quel est l'espace disponible pour faire la fouille?
- Quelles sont les contraintes de voisinage (proximité de bâtiments existants, milieu urbain, monuments historiques,...)
- Présence d'installations souterraines?



Données et investigations nécessaires

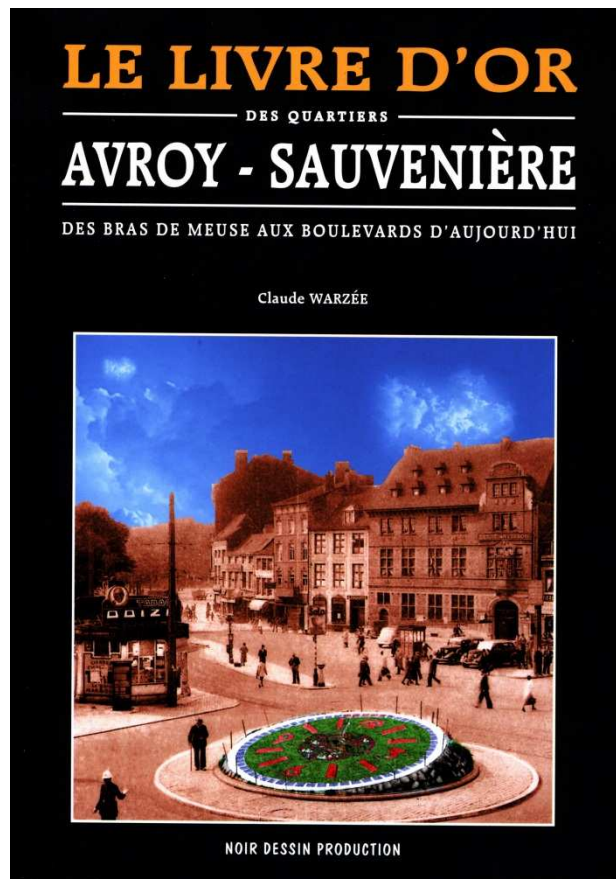
Historique du site

- Cartes géologiques
- Cartes géotechniques
- ..

➤ Expl du chantier des quais de Meuse à Liège

- Carte géotechnique et livre d'histoire
- Les photos des travaux anciens effectués par Galère

Données et investigations nécessaires

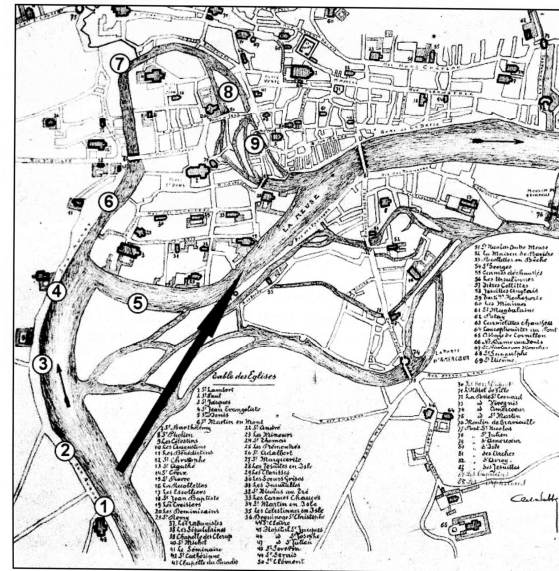


Présentation Galère

— LA MEUSE À LIÈGE AUTREFOIS —

Le plan ci-dessous nous permet de visualiser le réseau hydrographique liégeois vers 1730. La Meuse se sépare en plusieurs branches à la hauteur de la chapelle du Paradis (1). La flèche représente le tracé actuel, à l'emplacement d'un bras qu'on appelle alors le Polet, mais le cours le plus important à l'époque suit les actuels avenue Blondin (2) et boulevard d'Avroy (3).

Aux abords de l'église des Augustins (4), le fleuve se scinde encore : son lit principal préfigure le boulevard Piercot (5), tandis qu'un diverticule décrit une vaste boucle devenue aujourd'hui les boulevards d'Avroy (6) et de la Sauvenière (7), boucle qui circonscrit le quartier de l'Isle (l'île) ; dès l'actuelle place de la République française (8), et surtout après le pont d'île, ce bras se divise en de multiples ramifications, zone remplacée de nos jours par les quartiers Régence (9) et Université.



Données et investigations nécessaires



Données et investigations nécessaires



Données et investigations nécessaires

Autres données/ choix préalables

- Déformations admissibles
 - choix du maitre d'ouvrage
 - Soutènement continu ou non

- Provisoire/ définitif
 - nature du matériau du soutènement (récupérable ou non)
 - « Retour sur investissement » / risque acceptable
 - coefficients de pondération (vérification Eurocodes)

Talus

- Angle de frottement interne (matériaux pulvérulents- invariable!!)
- Cohésion intrinsèque et apparente (!! Paramètre variable !!)

➤ Facteurs influençant la cohésion

L'eau

- Nappe avec ou sans écoulement
- Pluie => érosion, infiltration

Temps

- Décompression du terrain
- Cycle gel/ dégel ou pluies/ sécheresse
- Fluage du sol

Talus

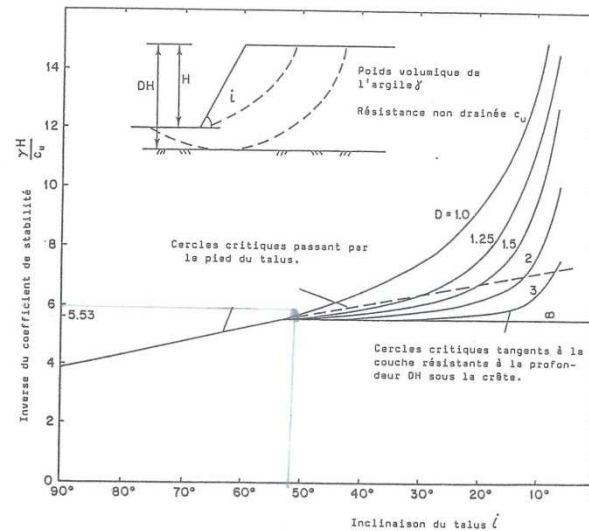


Talus

Ordres de grandeur

- Découpe verticale
- Abaque de stabilité
 - Talus homogène
 - Géométries simples
 - Nappes « habituelles »:

$$H_v = 2h_t = \frac{4c}{\gamma_k} \lg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)$$

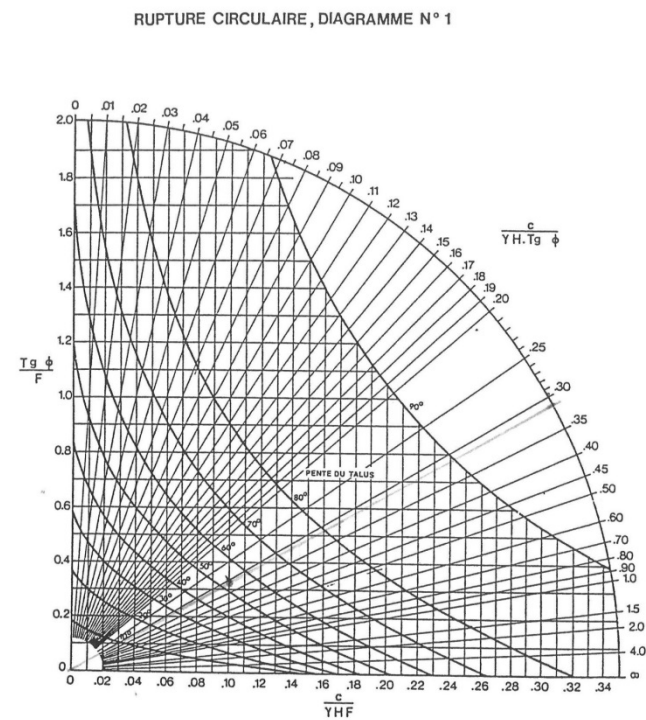


valeurs de D , dans le cas d'une stabilité stricte; il permet donc de définir la valeur requise c_{un} de la cohésion pour $S_F = 1$.

Talus

Abaque de stabilité

Conditions d'écoulement d'eau	Numéro de diagramme
Talus complètement drainé	1
Emergence de la nappe à 8x hauteur du talus derrière la crête.	2
Emergence de la nappe à 4x hauteur du talus derrière la crête.	3
Emergence de la nappe à 2x hauteur du talus derrière la crête.	4
Talus saturé avec alimentation superficielle importante.	5



Talus

Recommandations CSTC fouille jusqu'à 4m de profondeur

Type de sol	Caractéristiques	Pentes minimales	
		Terrain non remanié, à faible profondeur et pour une courte durée	Terrain légèrement remanié, profondeur plus importante, durée plus longue
Sable	Sèche rapidement sur la paume de la main.	En l'absence de blindage : pente 3/4	En l'absence de blindage : pente 4/4
	Frotté entre les doigts, le sable est rugueux et les grains se distinguent nettement.		
	Un agglomérat de sable se disloque sans effort et se désagrége immédiatement lorsqu'il est plongé dans l'eau.	En cas de parois verticales : blindage continu et fortement échançonné.	
Limon	S'humidifie lentement et sèche lentement sur la paume de la main.	En l'absence de blindage : pente 3/4	En l'absence de blindage : pente 4/4
	Frotté entre les doigts, le limon est moins rugueux et quelques grains peuvent être distingués.		
	Un agglomérat de limon peut être écrasé entre les doigts et se disloque lentement lorsqu'il est plongé dans l'eau.	En cas de parois verticales : le blindage peut être discontinu	
Argile compacte	Ne s'humidifie pas et ne sèche que très lentement.	En l'absence de blindage : pente 2/4	En l'absence de blindage : pente 3/4
	Frottée entre les doigts, l'argile est douce et grasse; on ne distingue aucun grain.		
	Un agglomérat d'argile est dur et se coupe sans se disloquer; il ne se disloque pratiquement pas lorsqu'il est plongé dans l'eau.	Un blindage vertical espacé peut être employé.	

Remarques :

- les indications données sont valables pour des sols peu ou pas remaniés, lorsque la fouille ne traverse qu'un seul type de sol. En présence d'eau, de surcharges sur le bord de la fouille ou de profondeurs de tranchées supérieures à 4 m, une étude spécifique devra être réalisée
- la cohésion apparente dans le sable est prise en compte pour des pentes 4/4 ou plus raides (valable uniquement pour des talus provisoires)
- pour les pentes les plus raides, une largeur minimale de fouille doit être respectée pour assurer la sécurité des personnes qui y travaillent.

Talus

Valeurs de référence paramètres sol : EC 7 => calculs

Nature du sol		Compacité/ consistance	q_c (MPa)	R_f (%)	γ_k au-dessus de la N.P. (kN/m³)	γ_k en-dessous de la N.P. (kN/m³)	ϕ'_k (°)	c'_k (kPa)	c_{sk} (kPa)
gravier	-	moyen compact	< 20 > 20	< 1%	18 19	20 21	35 40	0 0	- -
	limoneux ou argileux	moyen compact	< 20 > 20	1-2%	19 20	21 22	32 37	0 0	- -
sable	-	lâche	2-4	< 1%	16	18	27	0	-
		moyen	4-10		17	19	30	0	-
		compact	10-15		18	20	32	0	-
		très compact	> 15		19	20	35	0	-
	limoneux ou argileux	lâche	2-4	1-2%	16	18	25	0	-
		moyen	4-10		17	19	27	0	-
		compact	10-15		18	20	30	0	-
		très compact	> 15		19	20	32	0	-
limon	-	mou	0.4-1	2-4%	16	16	22	* 0	10
		moyennement raide	1-2		17	17	22	2	25
		assez raide	2-4		18	18	22	4	50
		raide	> 4		19	19	22	8	100
	sableux	mou	0.4-1	1-3%	16	16	25	0	10
		moyennement raide	1-2		17	17	25	2	25
		assez raide	2-4		18	18	25	4	50
		raide	> 4		19	19	25	8	100
argile	-	molle	0.4-1	3-6%	16	16	20	2	20
		moyennement raide	1-2		17	17	20	4	50
		assez raide	2-4		18	18	20	8	100
		raide	> 4		19	19	20	15	200
	sableuse	molle	0.4-1	2-5%	16	16	22	2	20
		moyennement raide	1-2		17	17	22	4	50
		assez raide	2-4		18	18	22	8	100
		raide	> 4		19	19	22	15	200
tourbe		peu consistant	0.2-0.5	>6%	10	10	15	2	10
		moyennement consistant	0.5-1		12	12	15	5	20
			>1		14	14	15	10	40

Fouilles avec blindage / soutènement

- Définition :

Un soutènement est une structure qui permet d'exécuter un déblai ou un remblai avec une face verticale => plus raide, (plus étanche) que ce qui est possible avec un talus (non renforcé!)

- Pourquoi faire un soutènement ?

- Rôle de retenue de terres, de liquide ?
- Création de fouille en limitant l'excavation ? En limitant les débits?
 - Contraintes environnement (Installations existantes-emprises)
 - Contraintes logistiques (Volume de terres excavées/ gestion des eaux)

Fouilles avec blindage / soutènement

Rappels théoriques

Principe de stabilité à vérifier (cf structure!)

- Équilibre vertical global (portance)
- Équilibre horizontal = glissement => global + local (soutènement seul)
- Équilibre de rotation (renversement)
- Stabilité intrinsèque de la paroi (calcul organique matériau)

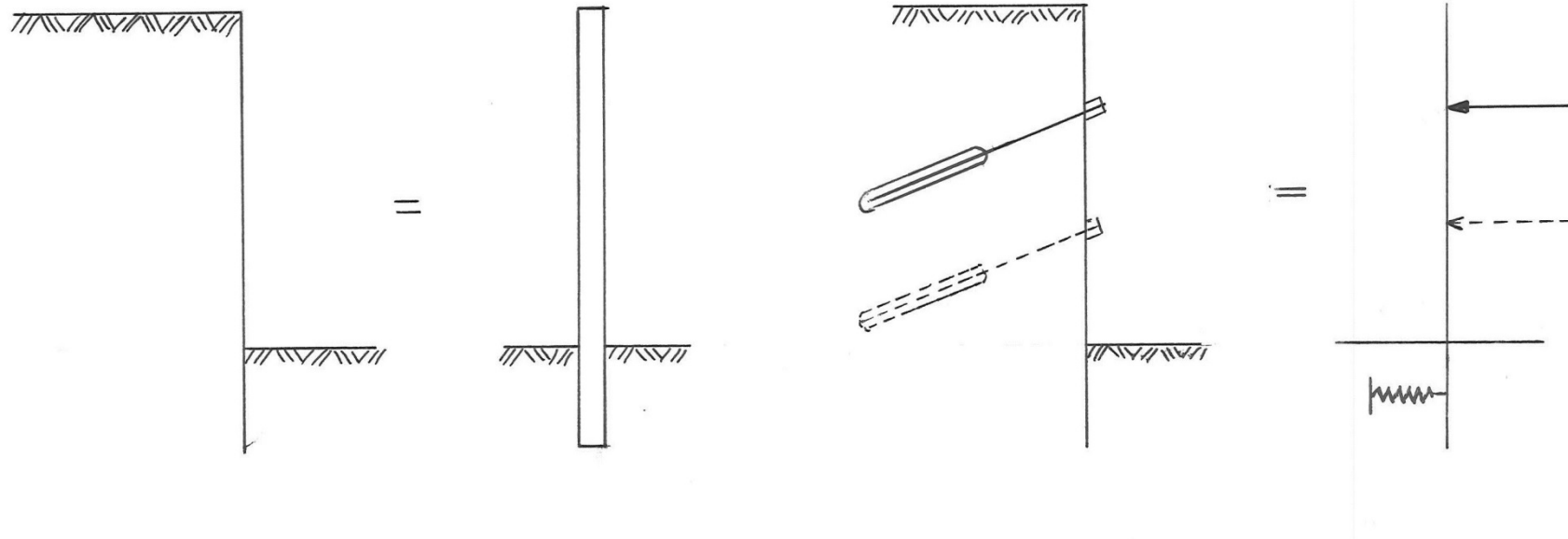
➔ nécessité de définir

- Conditions d'appui
- Sollicitations

Fouilles avec blindage / soutènement

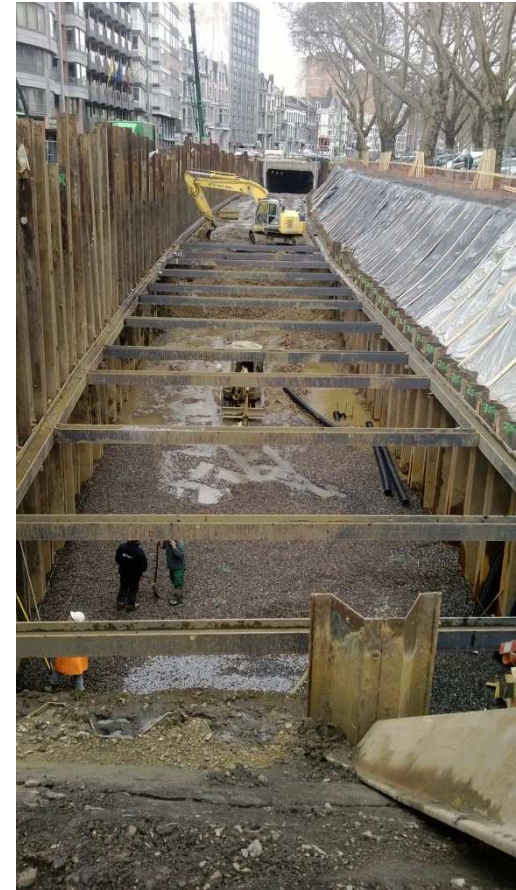
Rappels théoriques

Conditions d'appui



Fouilles avec blindage / soutènement

➤ Appui par buton



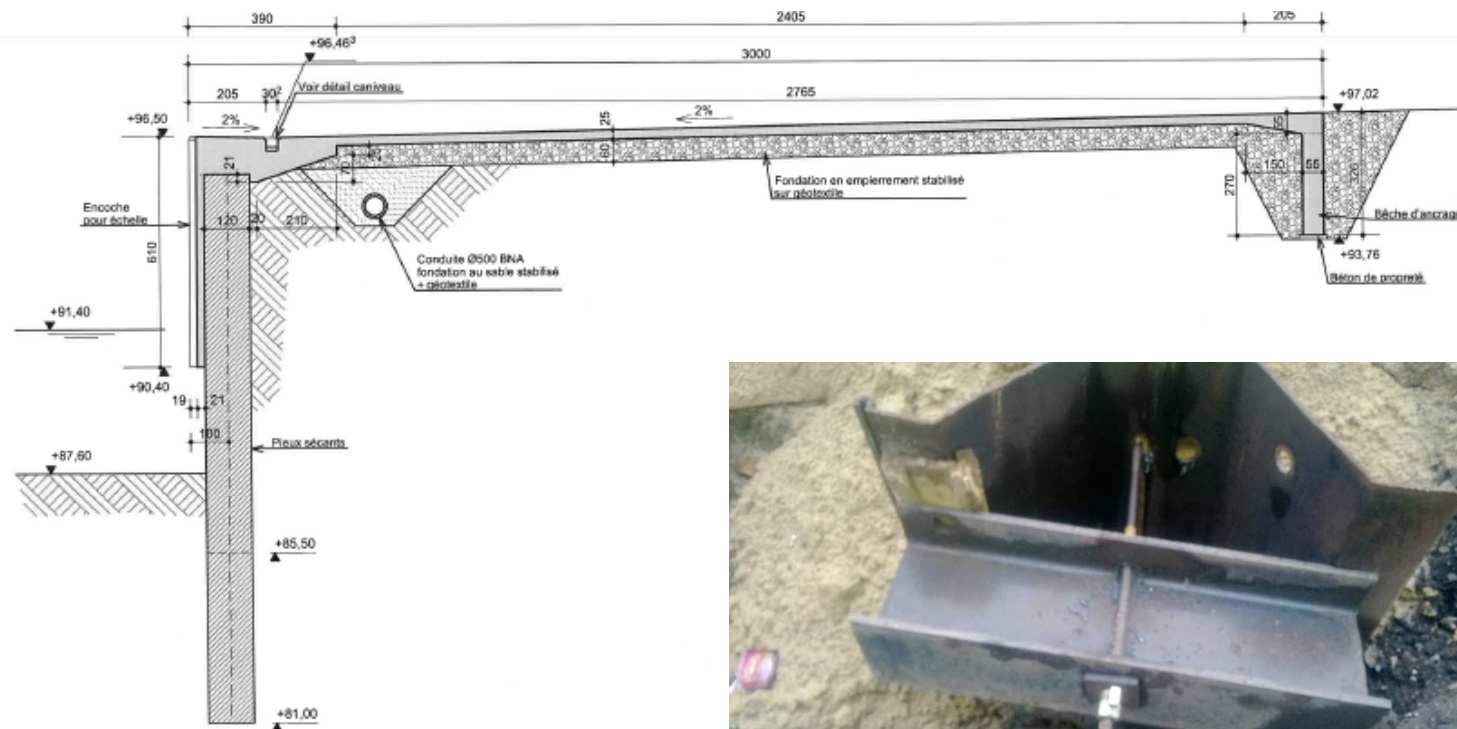
Fouilles avec blindage / soutènement

➤ Appui(s) par tirants



Fouilles avec blindage / soutènement

➤ Appui par mobilisation butée (double paroi)

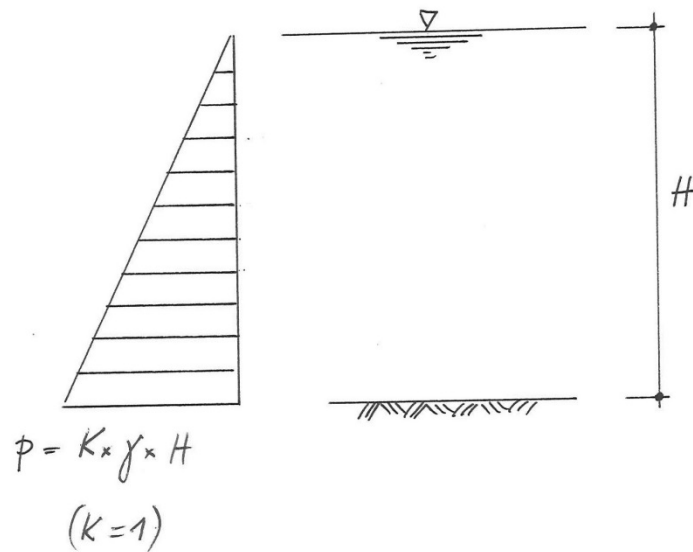


Fouilles avec blindage / soutènement

Rappels théoriques

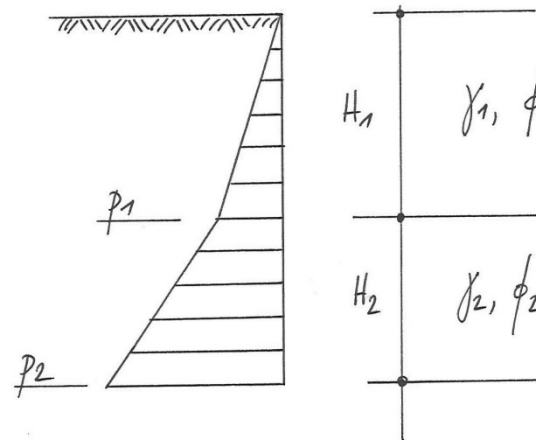
Sollicitations

Effet de la poussée de l'eau



Présentation Galère

Effet de la poussée du sol



$$P_1 = K_1 \times \gamma_1 \times H_1$$

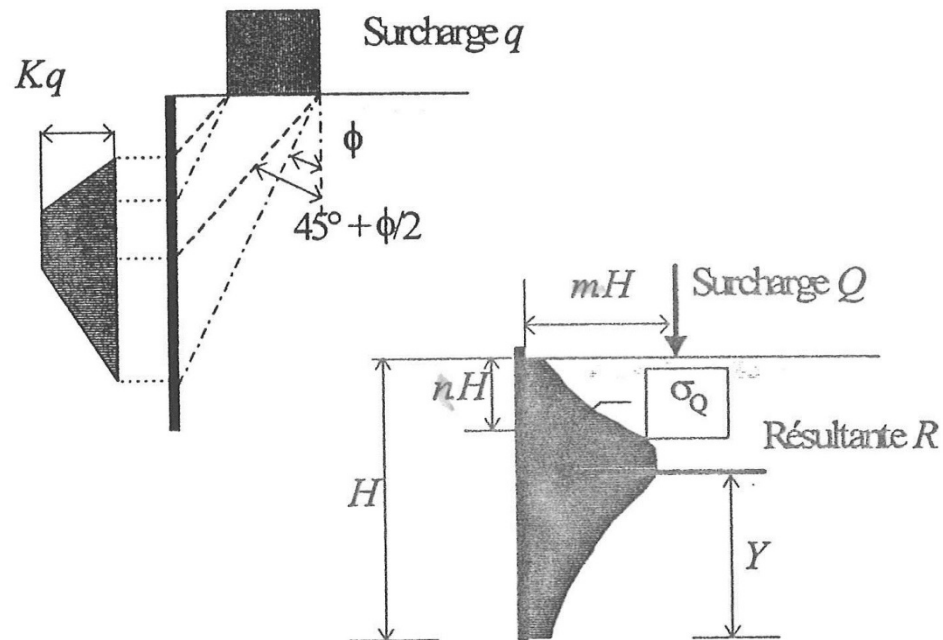
$$P_2 = P_1 + K_2 \times \gamma_2 \times H_2$$

$K = 0,33$ poussées actives
 $0,50$ poussées neutres
 $> 3,00$ butée

Fouilles avec blindage / soutènement

Rappels théoriques

Sollicitations: Effet des charges extérieures (circulation / fondations..)



Fouilles avec blindage / soutènement

Spécificités d'un système /produit (cf. doc CSTC)

- Description du système
- Exécution description générale
- Dimensions caractéristiques et matériaux
- Calculs géotechniques, capacité portante et déplacements
- Domaines d'application
- Points d'attention
- Variantes
- Qualité et tolérances
- Possibilités de conditions d'appuis

Fouilles avec blindage / soutènement

Spécificités d'un système /produit (cf. doc CSTC)



Information & Assistance

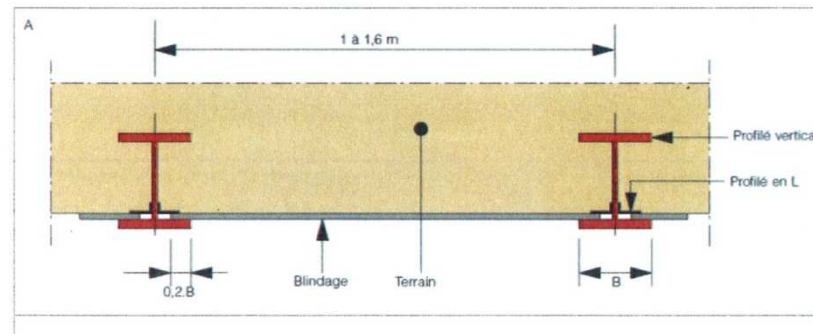
Parois berlinoises de type 2 : blindage mis en place avant l'excavation

Publication : juillet 2012

L'infocarte sur les parois berlinoises de type 2 constituées d'éléments de blindage mis en place avant l'excavation est essentielle si l'on opte pour ce type de soutènement. Elle s'attarde notamment sur les aspects d'exécution, les matériaux et les dimensions d'application dans ce cadre.

1. Description du système

Une paroi berlinoise de type 2 est un soutènement composé de profilés verticaux (cf. figure 1) et d'un système de blindage mis en œuvre avant le début de l'excavation. La pression des terres, transférée aux profilés verticaux par l'intermédiaire des éléments de blindage, est équilibrée par les efforts de butée exercés par le massif de sol situé sous le niveau du fond de fouille, et par les systèmes de support horizontaux complémentaires éventuellement mis en œuvre (étançons, tirants d'ancrage, pieux de traction, ...).



Fouilles avec blindage / soutènement

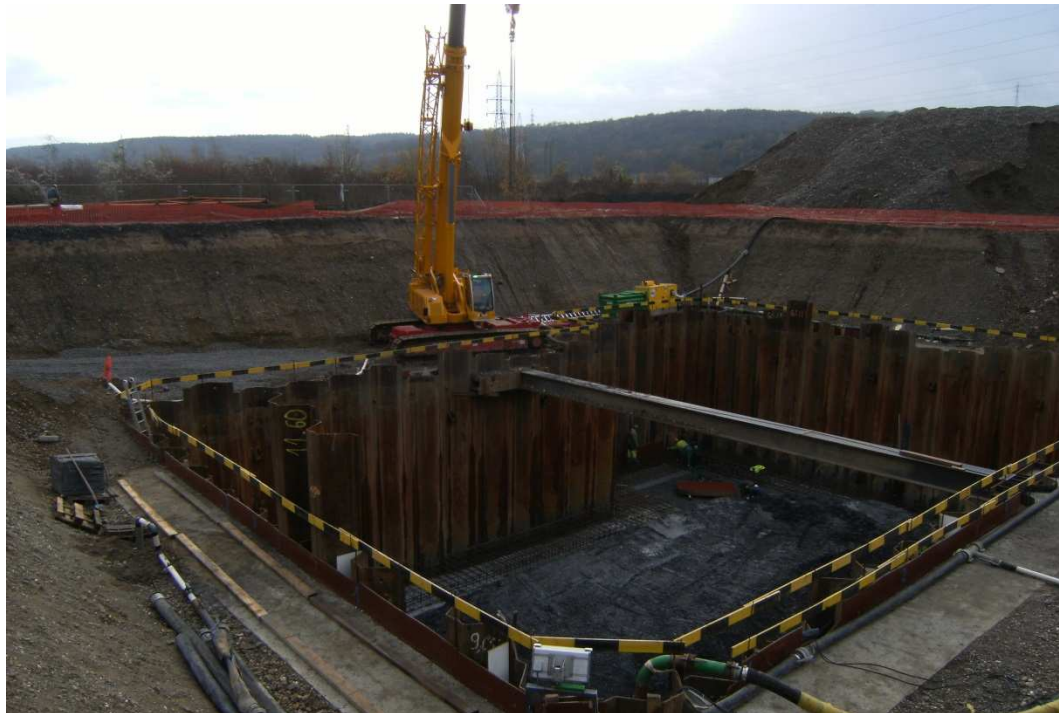
Techniques de soutènement : Palplanches

- Poutrelles de guidage
- Mise en place palplanches:
 - o Battage
 - o Vibrofonçage (fréquence)
 - o Fonçage statique
- « Bonne » étanchéité
- Distance à l'existant >>
- ! Déplacements et déformations!
- Récupération => ! tassements



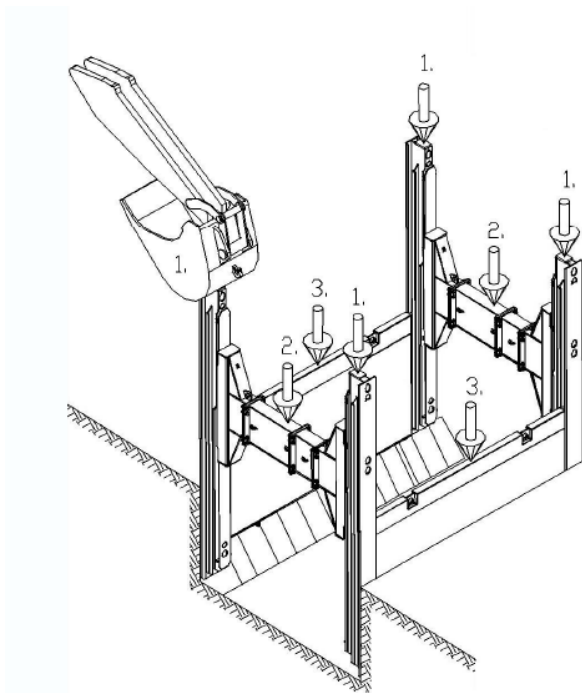
Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Palplanches



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Blindage de « tranchée »



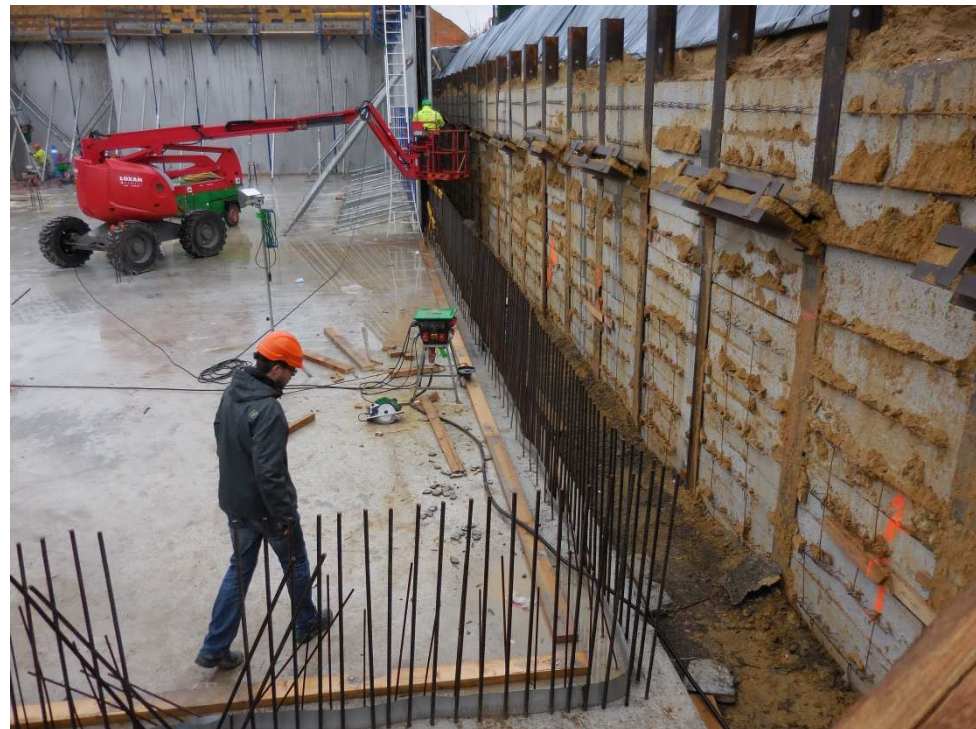
Présentation Galère



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Berlinoise - parisienne

- Fonçage poutrelles métalliques (battage / vibration / forage)
 - Entre poutrelles, par passe hor. et vert. : planches/ prédalles /plaques métalliques
 - Ancrages éventuels
-
- Distance max entre profilés 2m
 - Pas d'eau!
 - présence de cohésion
 - Grandes déformations!
 - 3m sans appui horizontal
 - 6-8m max!



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Jet grouting

- Forage
- Remontée (rotation) de l'outil en injectant du coulis à haute pression
 - =>destructuration du sol
 - =>création de colonnes
- Éventuellement profilés
- Paroi étanche
- Tous types de terrains
- Excédents de matériaux
 - => déchets



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Soilmix

- Creusement tranchée 1m, rempli mélange sol-coulis
 - Fraisage 1m sous tranchée
 - Fraisage + injection simultanée coulis de ciment (fragmentation du terrain)
 - Remontée de la tête => mélange sol + coulis
 - Passes successives
-
- Paroi étanche
 - Terrains granulaires fins => !! obstacles
 - Possibilité de fonçage de profilés
 - Pas de vibration
 - !!Espace nécessaire (silos, pompes,...)



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Rideaux de pieux

- Poutre guide
- Forage pieux primaires (tubés)
- Forage pieux secondaires (tubés) ferrailage et bétonnage

- Tous terrains
- Grands soutènements
- (renforts arm)
- « Bonne » étanchéité
- « Précision » géométrique

Présentation Galère



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Rideaux de pieux



Présentation Galère



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Parois moulées

- Murets-guide
 - Creusement (grappin) et remplissage de « bentonite »
 - Mise en place des ferrillages
 - Bétonnage par tubes plongeur
-
- Installation lourde (bentonite, pompe,...)
 - Etanchéité → !! Détails
 - Grandes profondeurs
 - !! Obstacles!!



Fouilles avec blindage / soutènement

Techniques de soutènement : Parois moulées



Conclusions

- Préalablement :
 - Rôle? Durée?
 - Données disponibles et fiabilité
 - Environnement (limites emprise)
- Techniques adaptées?
- Règles de sécurité!!
- Coordination des différents intervenants
- Responsabilités de chacun => analyse de risques
- Modifications minimales des conditions initiales du sol en place (en équilibre) ➔ !! Eau !!