



Ecoterres

Solutions Environnementales

An aerial photograph of a construction site. A large, irregularly shaped excavation pit is visible, with its edges reinforced by concrete retaining walls. The pit is filled with earth and some debris. The surrounding area is a mix of green grass and bare soil. In the background, there are trees and a residential building. A red line is drawn on the ground, possibly indicating a boundary or a specific area of interest.

**Génie civil &
Environnement**

Dr Ir John Deceuster



Introduction

Stabilité des
pentes

Méthodes de
soutènement

Conclusions





Introduction

Indissociables?

Mais pourtant...

Les outils

Stabilité des
pentes

Méthodes de
soutènement

Conclusions





- Génie civil & Environnement – Matières indissociables?
 - Excavation de terres polluées:
 - Soutènement: fouille ouverte et/ou blindage ?
 - Niveau de la nappe: rabattement, épuisement, enceinte étanche ?
 - Stabilité du fond de fouille : uplift, renard solide ?
 - Cas de charges à prendre en compte?
 - Confinement de terres polluées:
 - Mise en œuvre des terres: stabilité interne du dôme, portance des couches support, tassements ?
 - Capping d'étanchéité: stabilité externe du dôme, drainage, renforcement ?
 - Assainissement des eaux polluées:
 - Rabattement: tassements attendus ?

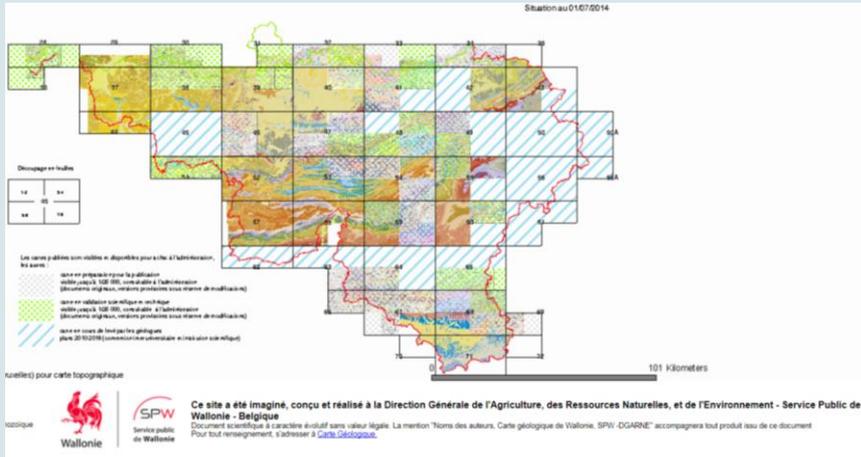




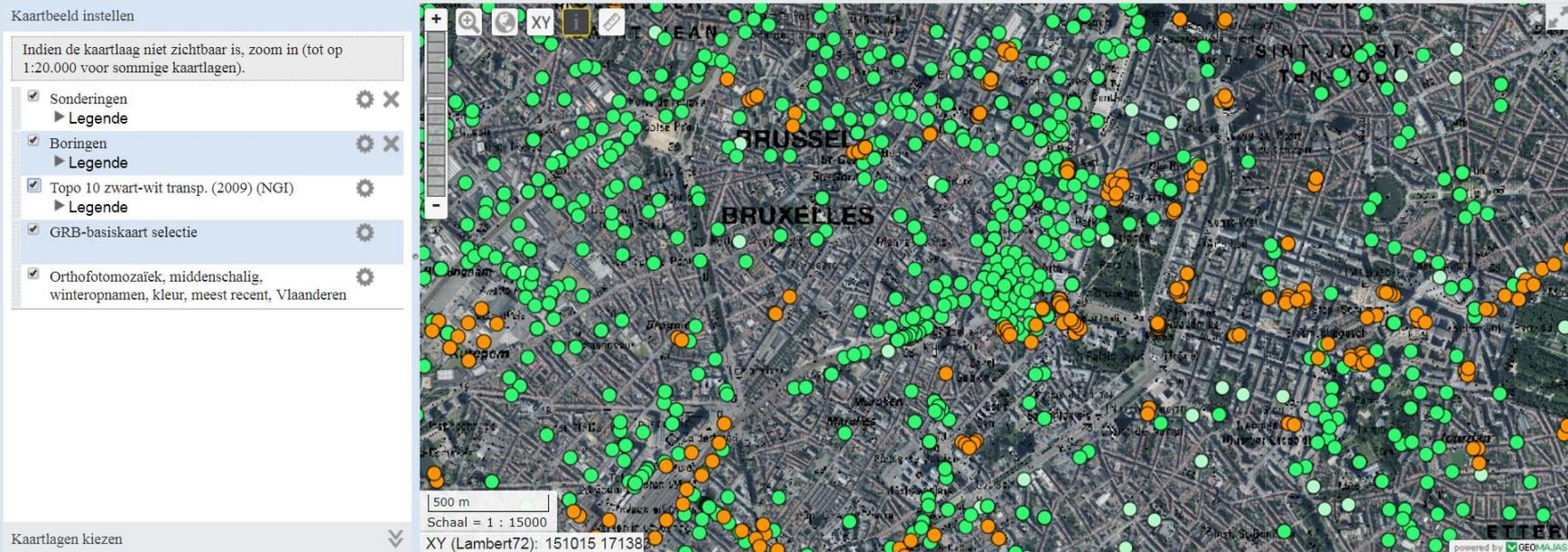
- Génie civil & Environnement – Matières indissociables: **OUI** mais pourtant...
 - Les grands absents des CSC :
 - Essais de sols géotechniques : CPT, panda, forages de reconnaissance profonds, essais pressiométriques
 - Cas de charges: circulation d'engins de chantier, surcharges bâtiments voisins, types de fondations...
 - Limites de dimensionnement géotechnique à prendre en compte : prof. max d'excavation, reconnaissance préalable à l'installation du blindage...
 - Dimensionnement géotechnique: note de calcul...
 - Les erreurs fréquentes :
 - Dogme du talus 4/4 !
 - Non prise en compte des limites techniques des blindages recommandés !
 - Absence de vérification de la stabilité du fond de fouille (uplift) !



- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Les données disponibles:
 - Cartes géologiques (sites : DOV Verkenner (Flandre, BXL) et <http://carto1.wallonie.be>)
 - Cartes géotechniques pour les grandes villes (SPW, ULB)

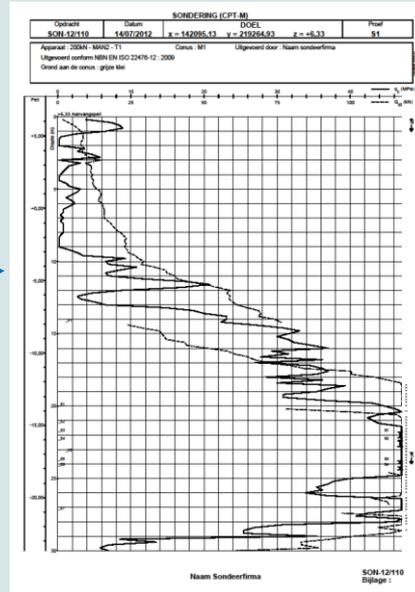


- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Les données disponibles:
 - Essais de sols et logs de forages: Flandre et BXL sur DOV (peut-être bientôt aussi en Wallonie)

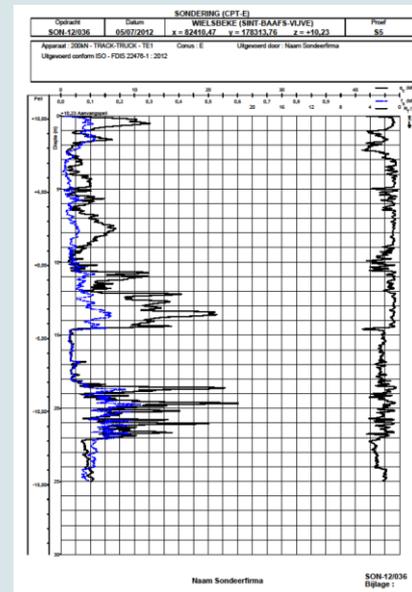


- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Les essais géotechniques:
 - Essais CPT : mécaniques, CPTe (électriques), CPTu (pression interstitielle)

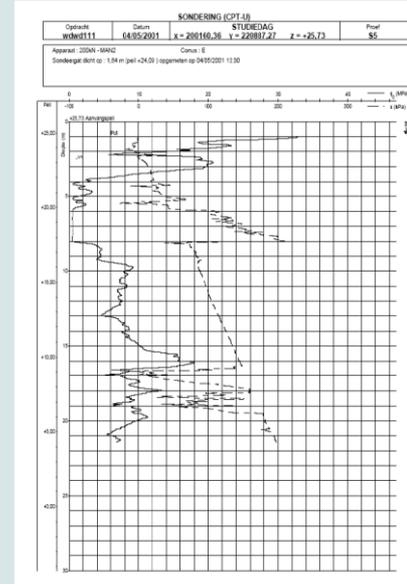
CPTm : $Q_c + Q_{st}$



CPTe : $Q_c + f_s + R_f$



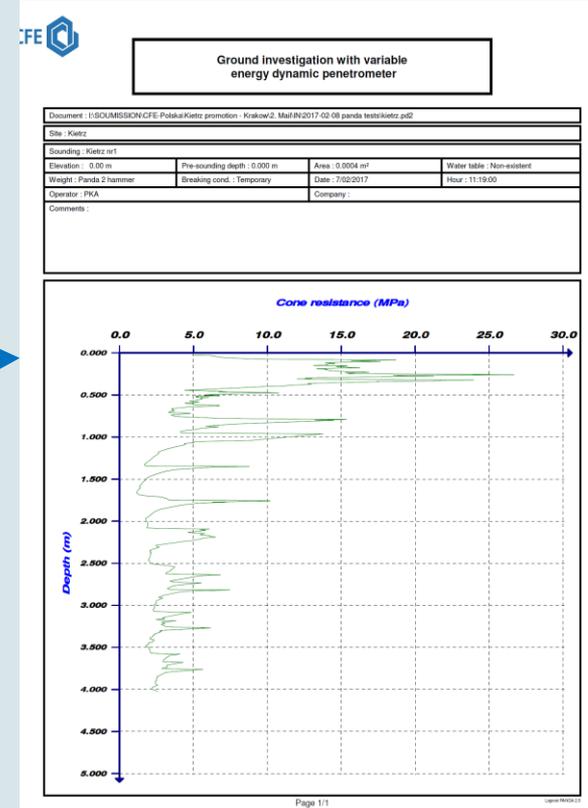
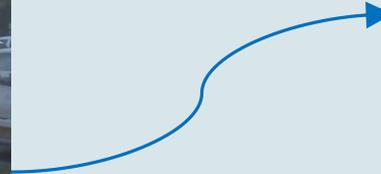
CPTu : $Q_c + u$



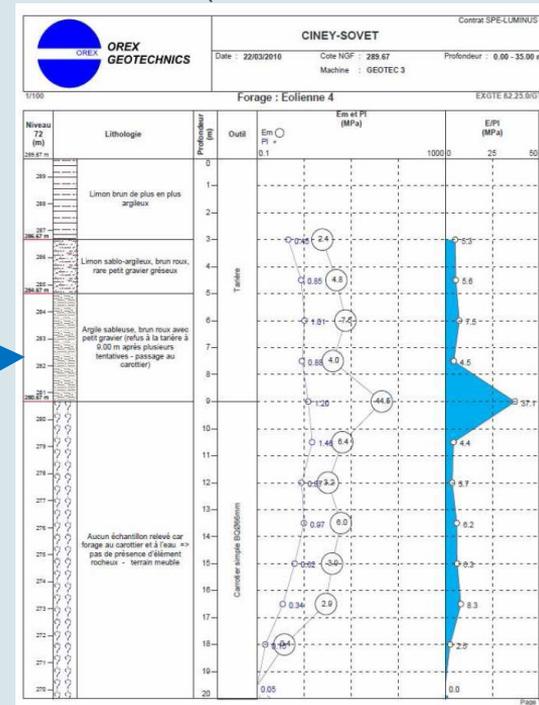
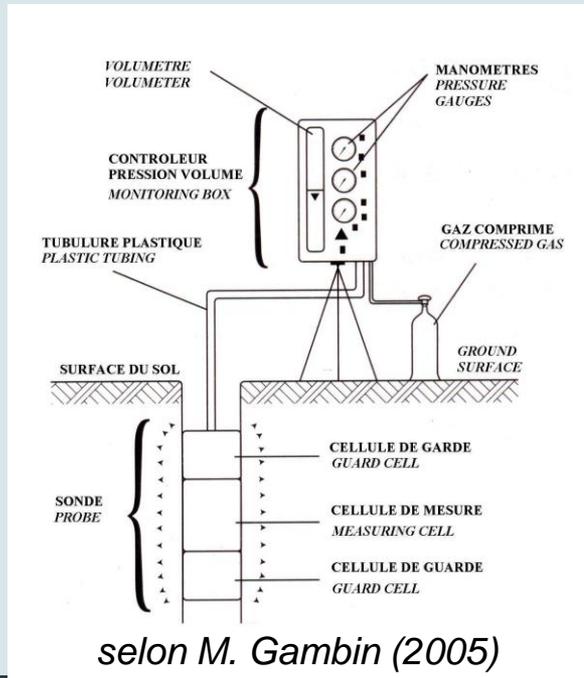
GBMS-CPT (2016)



- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Les essais géotechniques:
 - Essais dynamiques : Panda (prof. max: 4 à 5 m)



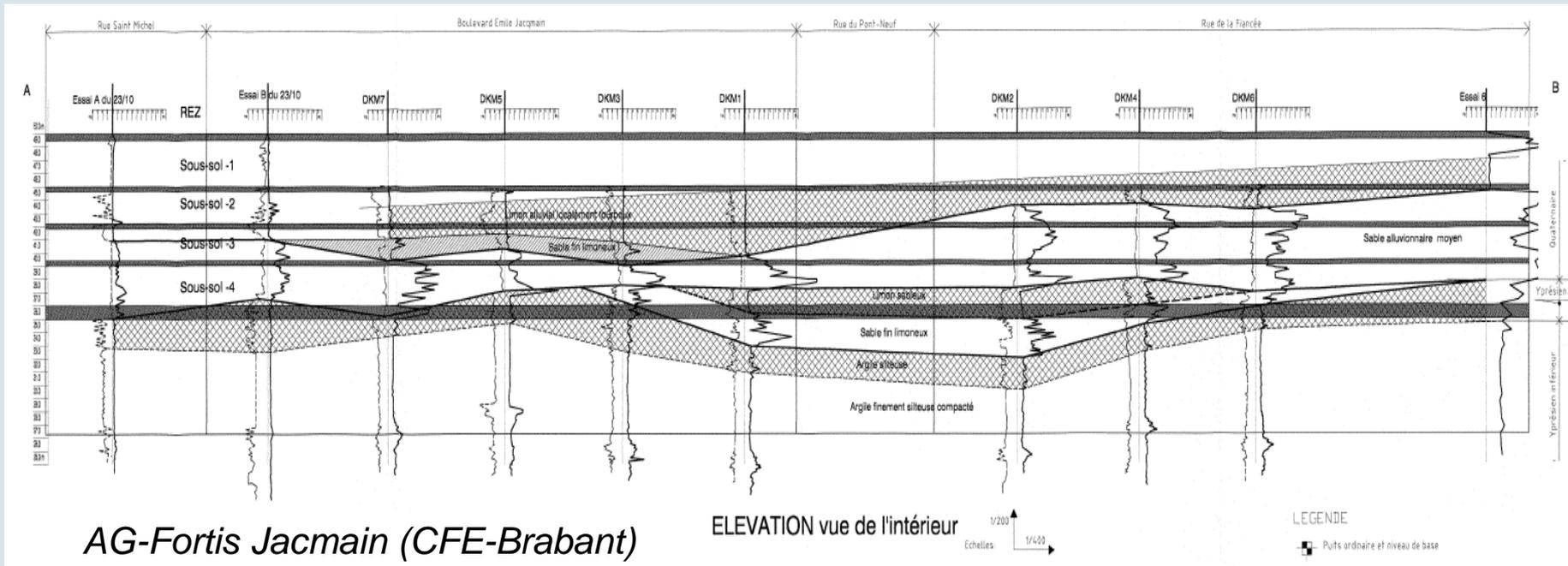
- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Les essais géotechniques:
 - Essais pressiométriques : forage de reconnaissance (craies, marnes, schistes, grès, calcaires)



- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Interprétation des essais géotechniques (cf. Eurocode 7, norme belge)

Type de sol		q_e (MPa)	R_i (%)	Densité/ Consistance	$\gamma > NP$ (kN/m ³)	$\gamma < NP$ (kN/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)
Gravier	–	10-20 > 20	< 1	Moyenne Compact	18 19	20 21	35 40	0 0	– –
	Limoneux ou argileux	10-20 > 20	1-2	Moyenne Compact	19 20	21 22	32 37	0 0	– –
Sable	–	2-4 4-10 > 10	< 1	Lâche Moyenne Compacte	16 17 18	18 19 20	27 30 35	0 0 0	– – –
	Limoneux ou argileux	2-4 4-10 > 10	1-2	Lâche Moyenne Compacte	16 17 18	18 19 20	25 27 30	0 0 0	– – –
Limon	–	0,4-1 1-2 2-4 > 4	2-4	Molle Moyenne Assez ferme Ferme	17 18 19 20	17 18 19 20	22 22 22 22	0 2 4 8	10 25 50 100
	Sableux	0,4-1 1-2 2-4 > 4	1-3	Molle Moyenne Assez ferme Ferme	17 18 19 20	17 18 19 20	25 25 25 25	0 2 4 8	10 25 50 100
Argile	–	0,4-1 1-2 2-4 > 4	3-6	Molle Moyenne Assez ferme Ferme	16 17 18 19	16 17 18 19	20 20 20 20	2 4 8 15	20 50 100 200
	Sableuse	0,1-1 1-2 2-4 > 4	2-5	Molle Moyenne Assez ferme Ferme	16 17 18 19	16 17 18 19	22 22 22 22	2 4 8 15	20 50 100 200
Tourbe	–	0,2-0,5 0,5-1 > 1	≥ 6	Molle Assez ferme Ferme	10 12 14	10 12 14	15 15 15	2 5 10	10 20 40

- Les outils en géotechnique : fournir des données ou prévoir un budget !
 - Coupes géotechniques





Introduction

Stabilité des
pentes

Règles CSTC

Les risques

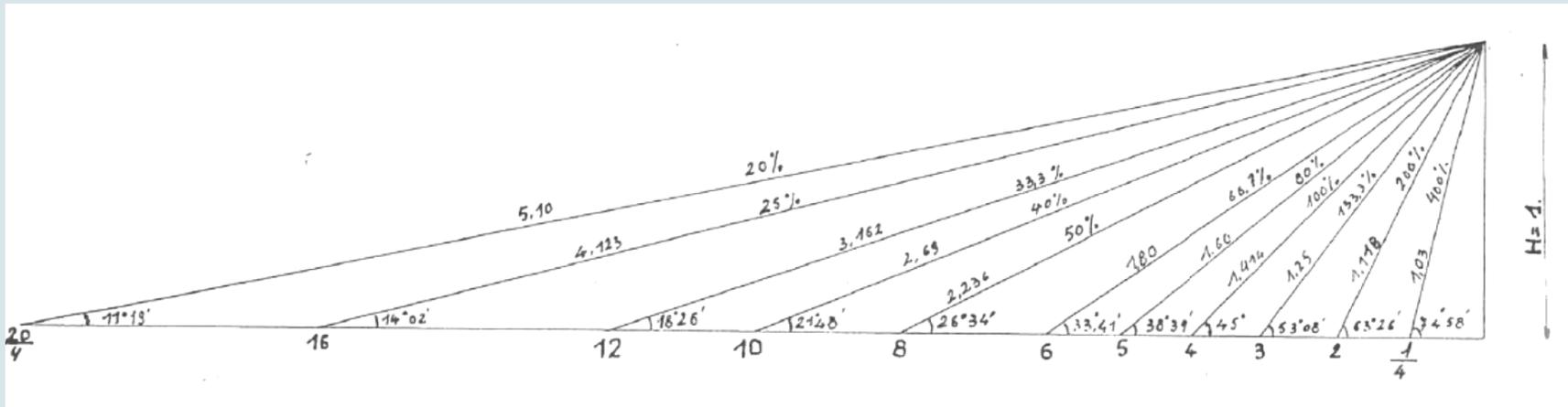
Dimensionnement

Méthodes de
soutènement

Conclusions



- Les principaux facteurs d'influence :
 - Nature du sol: cohésif ou pulvérulent
 - Présence de la nappe
 - Surcharges
 - Profondeur de la fouille
 - Durée: court terme ou long terme



- Règles générales CSTC :
 - Profondeur maximale : 4 m dans les meilleures conditions
 - Protection contre la pluie pour longue durée
 - Pas de nappe
 - Pas de surcharges

Type de sol	Caractéristiques	Pentes minimales	
		<i>Terrain non remanié, à faible profondeur et pour une courte durée</i>	<i>Terrain légèrement remanié, profondeur plus importante, durée plus longue</i>
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 désagrège immédiatement lorsqu'il est plongé dans l'eau.	En cas de parois verticales : blindage continu et fortement étançonné.	
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.	

**Dans les autres cas
=> étude de
dimensionnement
obligatoire**

- Les risques encourus:
 - Rupture de pente brutale ou progressive

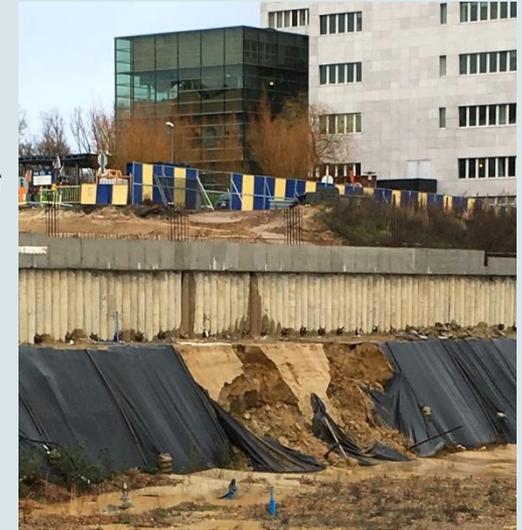


Rupture progressive par fluage d'un sol argileux (CSTC)

Rupture brutale dans des limons (CFE-Brabant)



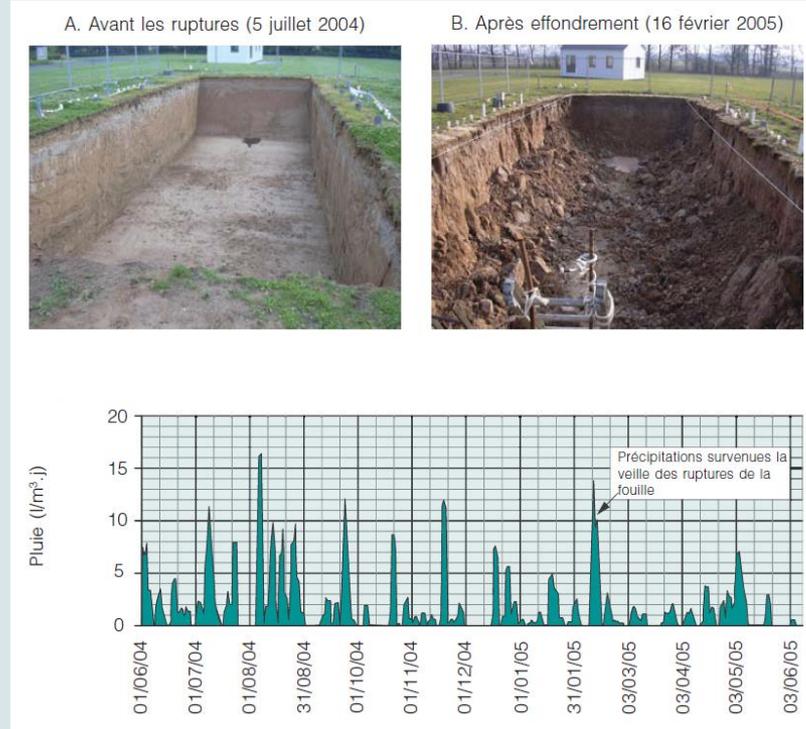
*Ligne LGV Soumagne (BAG)
Rupture due à la schistosité*



- Le grand ennemi: l'eau
 - Erosion / ravinement
 - Rupture liée à l'infiltration

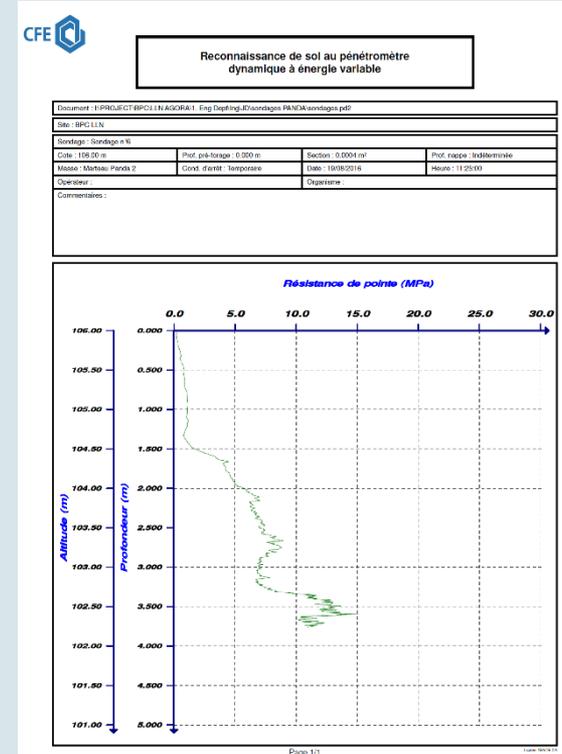
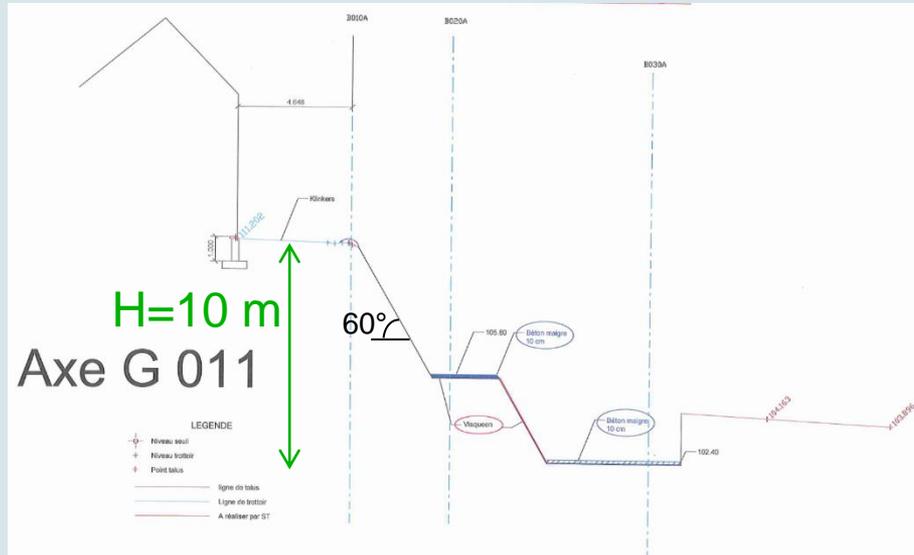


Rupture progressive par fluage d'un sol argileux (CSTC)

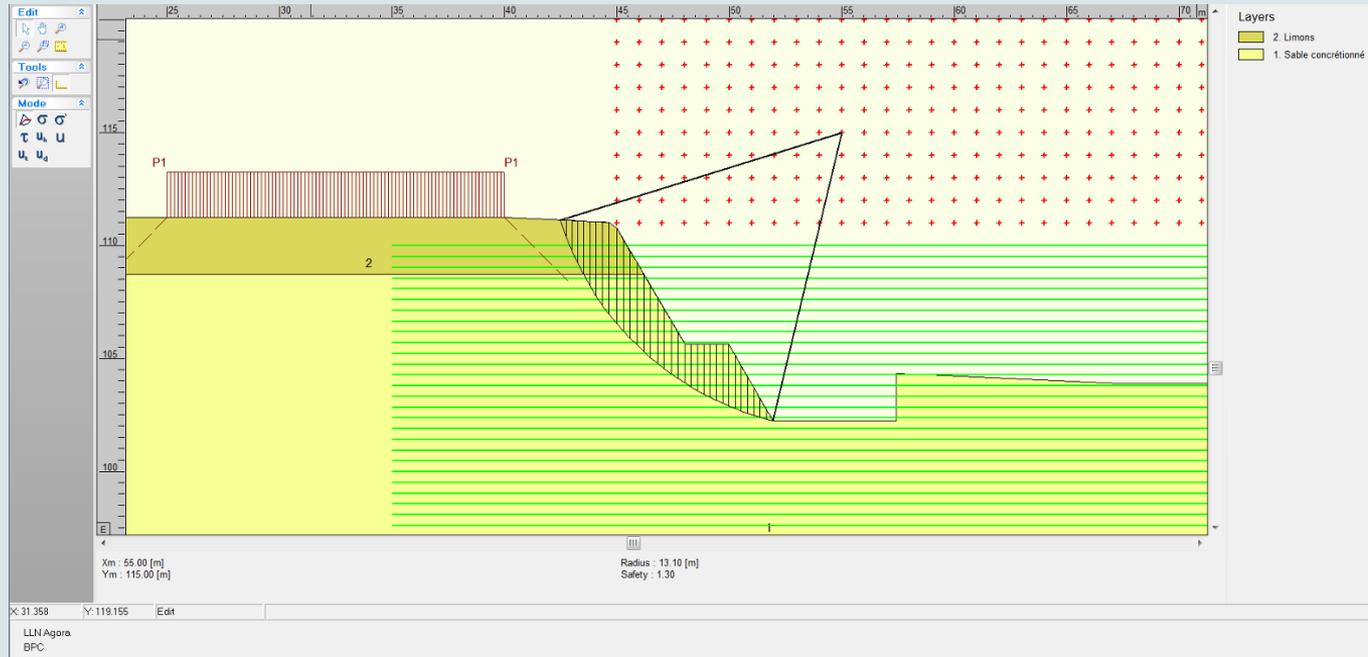


*Ligne LGV Soumagne (BAG)
Rupture due à la schistosité*

- Le dimensionnement des talus provisoires:
 - Exemple: Chantier Agora à Louvain-la-Neuve (durée 1 an)



- Le dimensionnement des talus provisoires:
 - Exemple: Chantier Agora à Louvain-la-Neuve (durée 1 an)

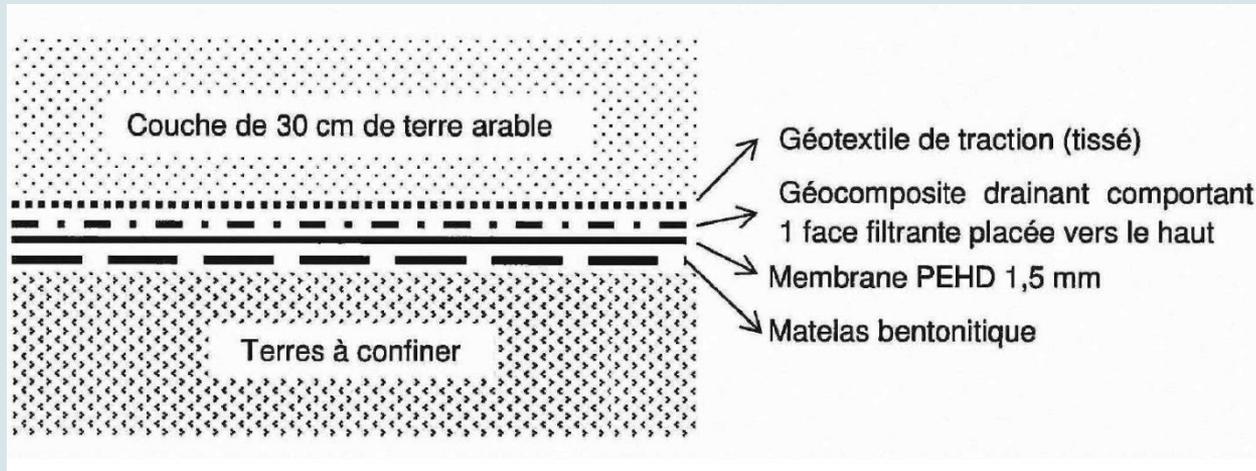


$F \geq 1.30$

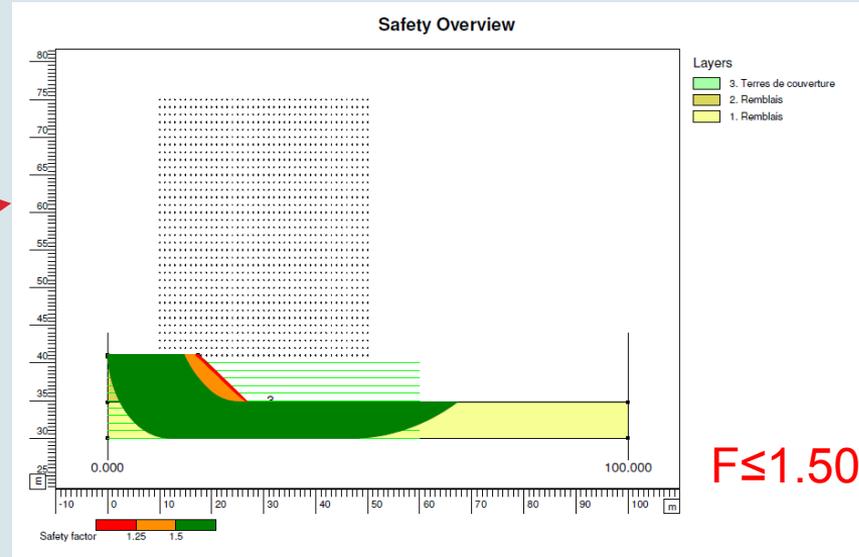
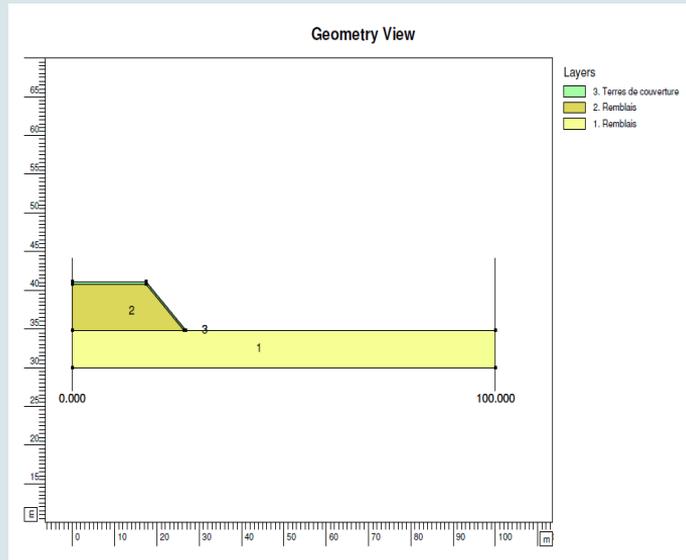
- Le dimensionnement des talus provisoires:
 - Exemple: Chantier Agora à Louvain-la-Neuve (durée 1 an)



- Le dimensionnement des talus définitifs:
 - Exemple: Dôme de confinement de déchets à Ghlin (durée 20 ans)
 - Projet initial : talus 6/4

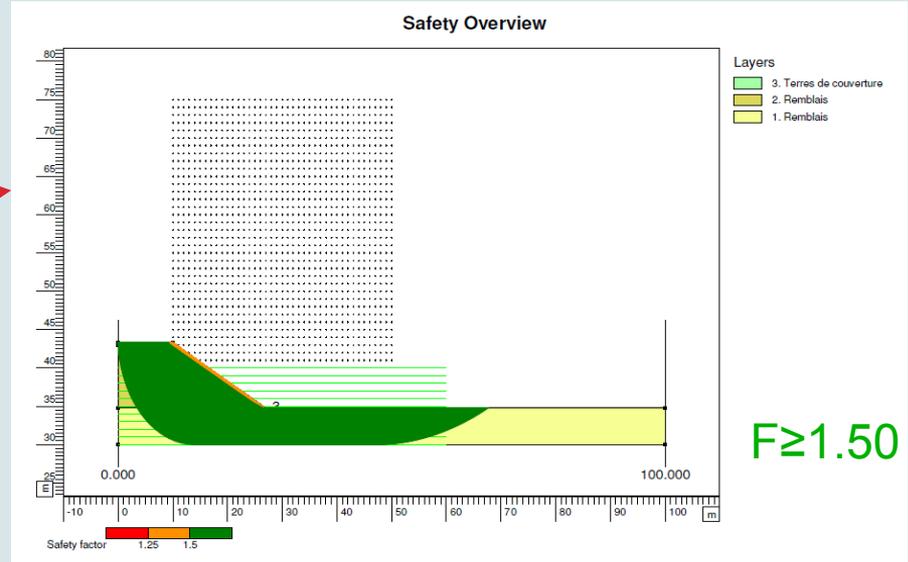
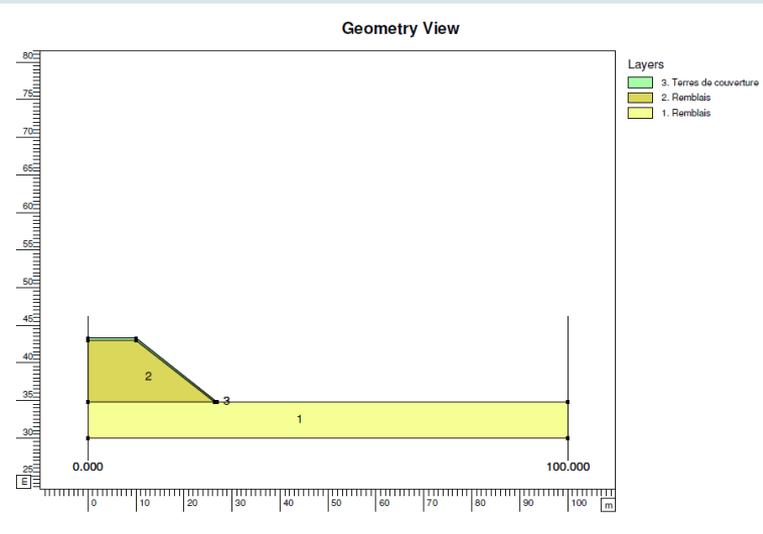


- Le dimensionnement des talus définitifs:
 - Exemple: Dôme de confinement de déchets à Ghlin (durée 20 ans)
 - Projet initial : talus 6/4



Couches	$\gamma_{nat} / \gamma_{sat}$ (kN/m^3)	c' (kPa)	φ' (°)
Terres polluées / remblais	17/18	8	25
Terres de couverture	17/17	0.5	27

- Le dimensionnement des talus définitifs:
 - Exemple: Dôme de confinement de déchets à Ghlin (durée 20 ans)
 - Projet final : talus 8/4 => 2.20 m plus haut



Couches	$\gamma_{nat} / \gamma_{sat}$ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
Terres polluées / remblais	17/18	8	25
Terres de couverture	17/17	0.5	27

- Le dimensionnement des talus définitifs:
 - Exemple: Dôme de confinement de déchets à Ghlin (durée 20 ans)
 - Projet final : talus 8/4



**Impact sur le complexe d'étanchéité
=> Effort de traction plus important dans le géotextile de renforcement**



Introduction

Stabilité des
pentes

Méthodes de
soutènement

Comment choisir?

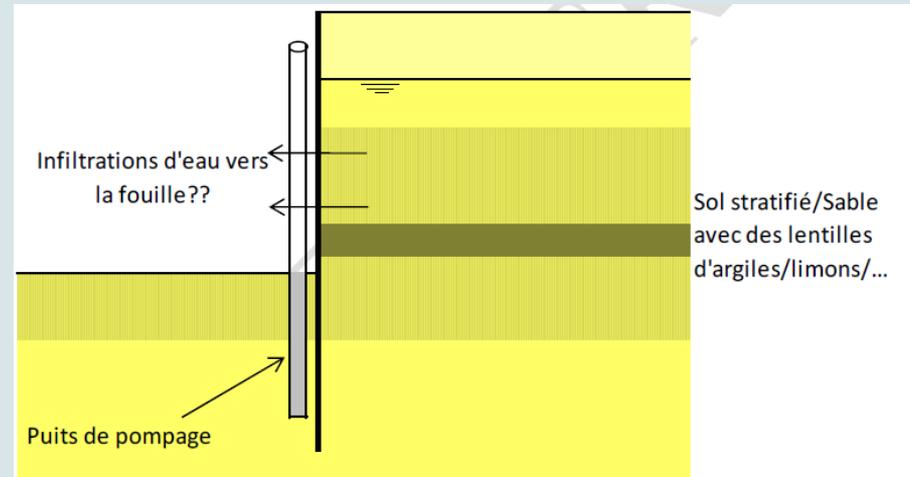
≠ Techniques

Avantages/
Inconvénients

Conclusions

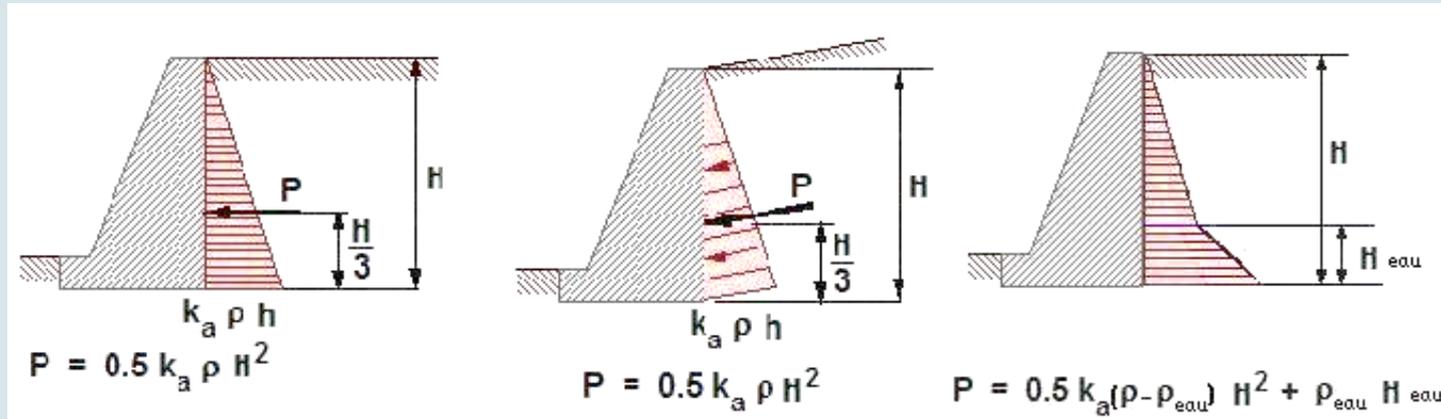


- Multitude de techniques disponibles => comment choisir?
- Objectifs:
 - Profondeur d'excavation à atteindre ?
 - Durée: temporaire / court terme / long terme
 - Paroi étanche ?

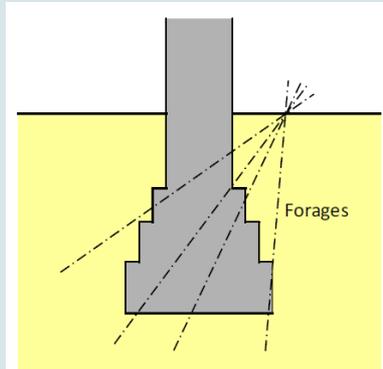


GBMS (2013)

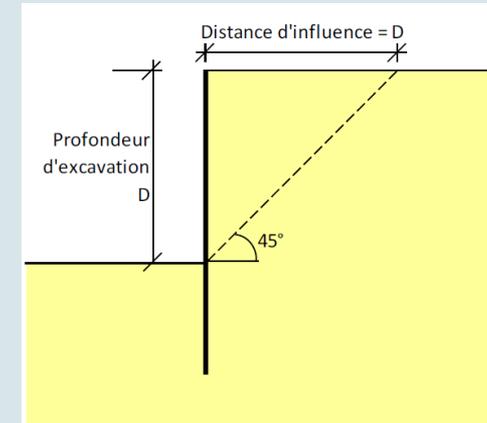
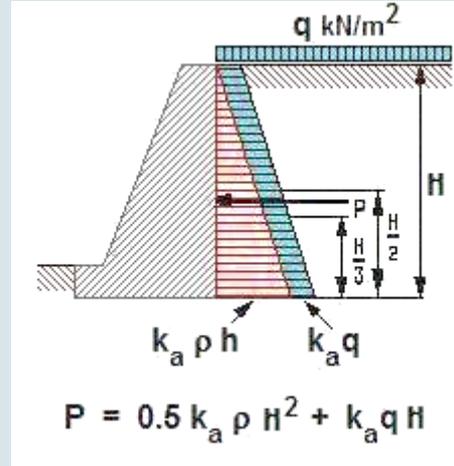
- Multitude de techniques disponibles => comment choisir?
 - Contraintes:
 - Poussée des terres sur écran
 - Poussée hydrostatique?



- Multitude de techniques disponibles => comment choisir?
 - Contraintes:
 - Surcharges de chantier ?
 - Bâtiments à proximité => descente de charges ponctuelle (statiques et mobiles)
 - Infrastructures sensibles ?
 - Voirie : 10 à 20 kPa en charge répartie
 - Chemin de fer: 40 kPa en charge répartie dynamique

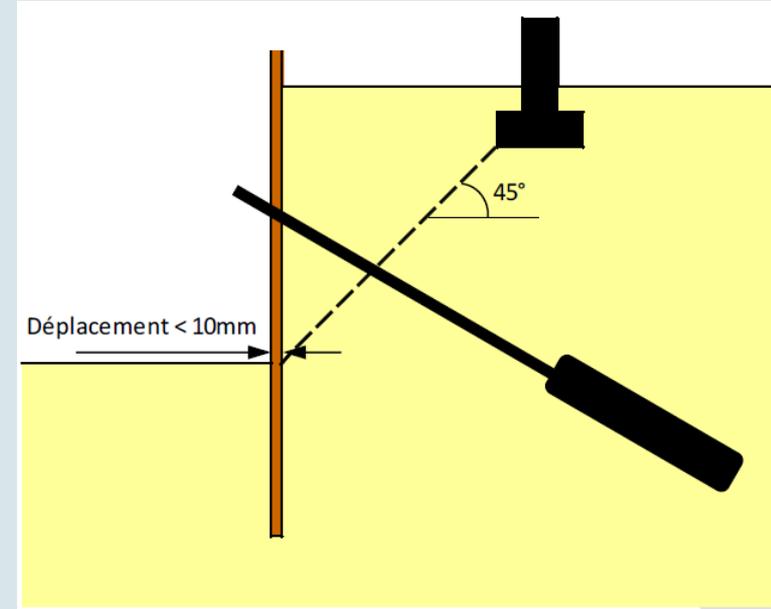
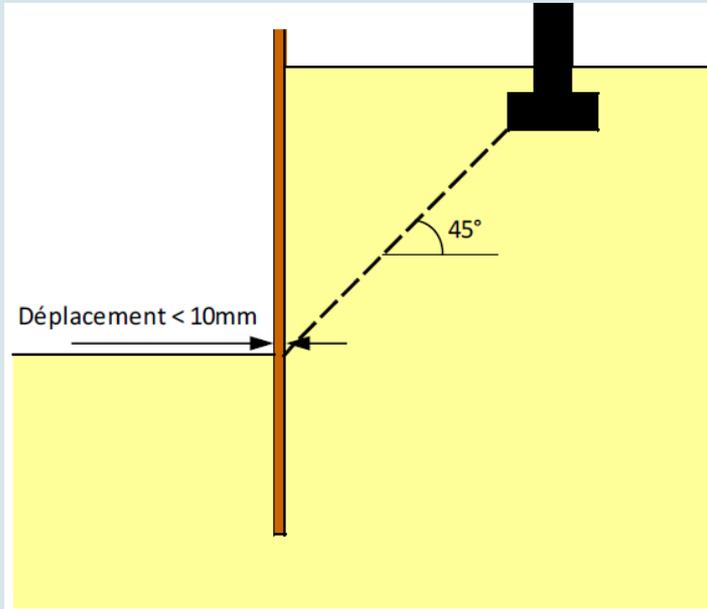


GBMS (2013) – reconnaissance des fondations existantes



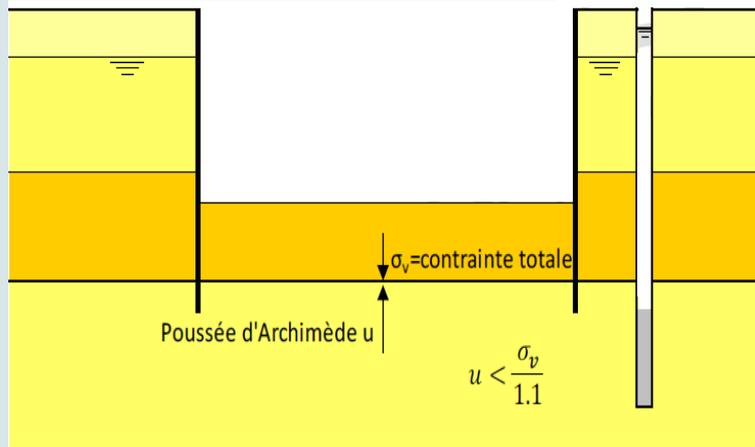
GBMS (2013) – zone d'influence des fondations existantes

- Multitude de techniques disponibles => comment choisir?
 - Contraintes:
 - Reprise des efforts de poussée : autostable, ancrage ou butonnage (avec ou sans lisse de répartition)

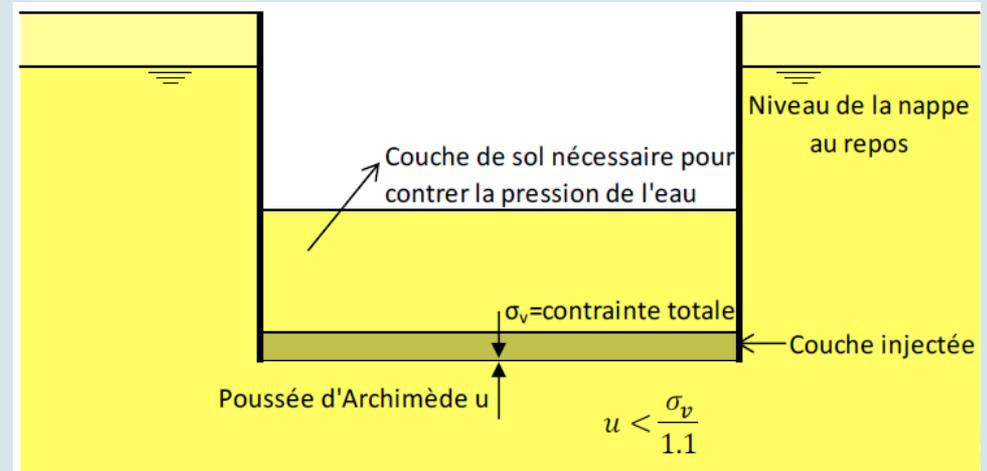


GBMS (2013) – conditions pour paroi autostable

- Multitude de techniques disponibles => comment choisir?
 - Contraintes:
 - Stabilité du fond de fouille



GBMS (2013) – présence d'une couche étanche



GBMS (2013) – couche injectée pour éviter un rabattement

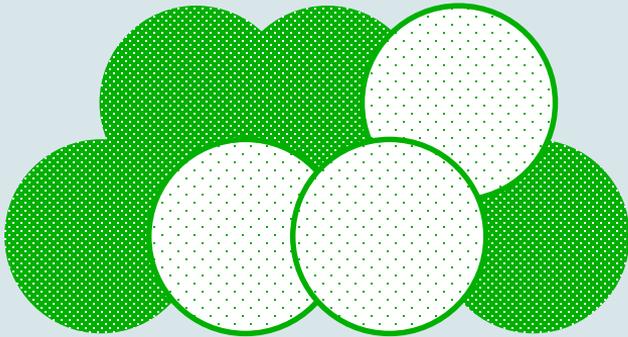
- Les tranchées blindées:
 - Profondeur limitée à quelques mètres
 - Ouvrages linéaires
 - Symétrie des charges !!



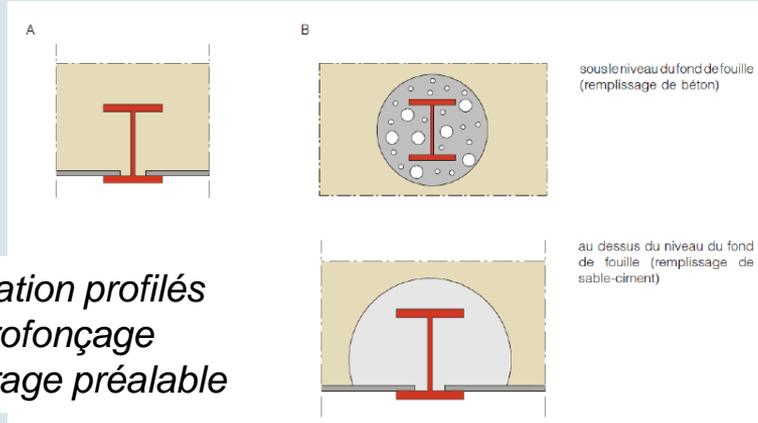
- Excavation par passes successives - caissons
 - Profondeur limitée à quelques mètres
 - Symétrie des charges !!
 - Surface limitée ou passes successives avec remblayage à l'avancement



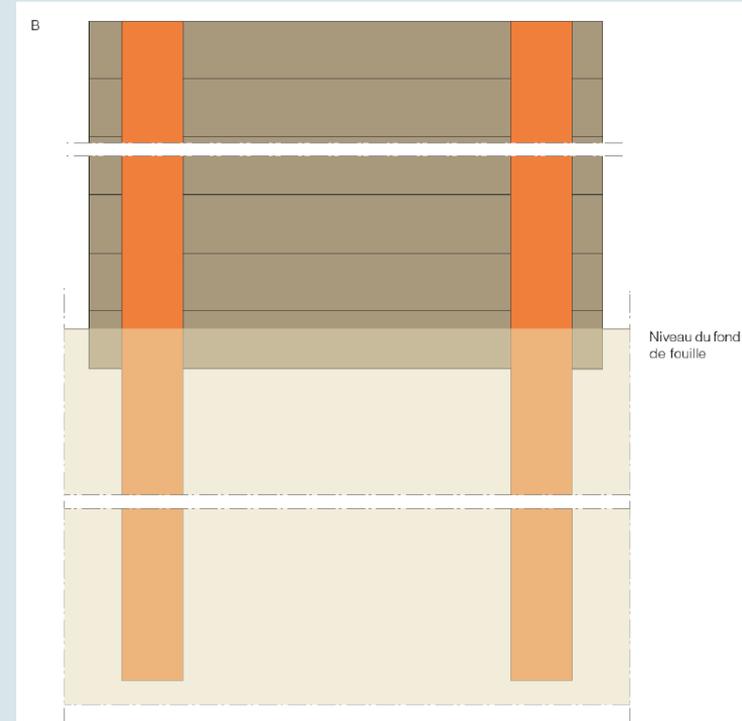
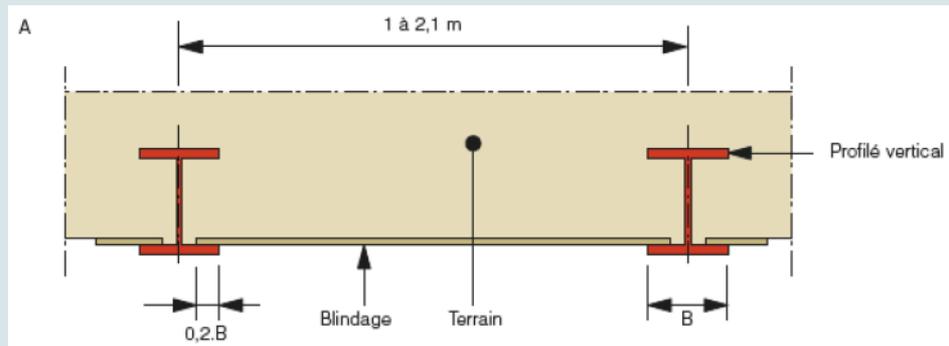
- Excavation par passes successives – technique des faux puits
 - Profondeur jusqu'à 10 – 12 m
 - Diamètres : 80, 100, 120 cm
 - Remblayage au sable ou sable stabilisé (en cas de surcharges)
 - Passes successives avec reprise partielle du remblais
- => Augmentation du volume de terre à traiter



- Parois berlinoises *Infofiche 56.1 et 56.2 (CSTC)*



Installation profilés
A. Vibrofonçage
B. Forage préalable



- Parois berlinoises
 - Paroi non étanche => pas de nappe



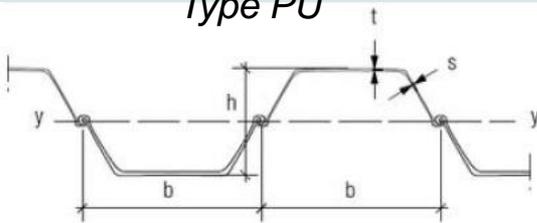
*Soutènement intermédiaire mis en place avant terrassement
Jemeppe-sur-Meuse (BE)*



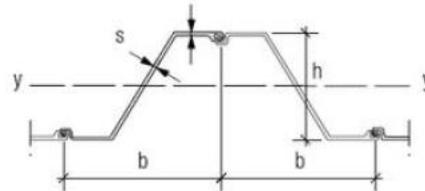
*Soutènement intermédiaire mis en place après terrassement
Varsovie (PL)*

- Palplanches *Infofiche 70.01 (CSTC)*
 - Ne fonctionne pas en roche
 - Paroi étanche

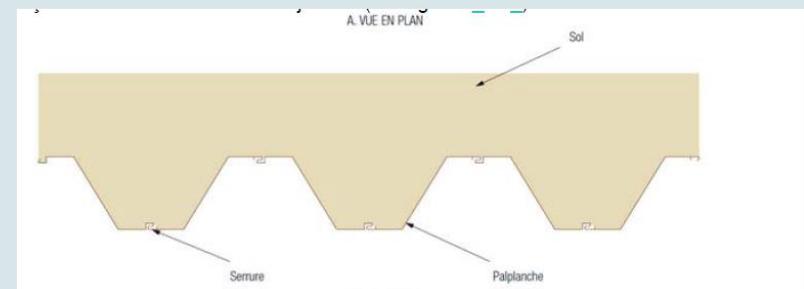
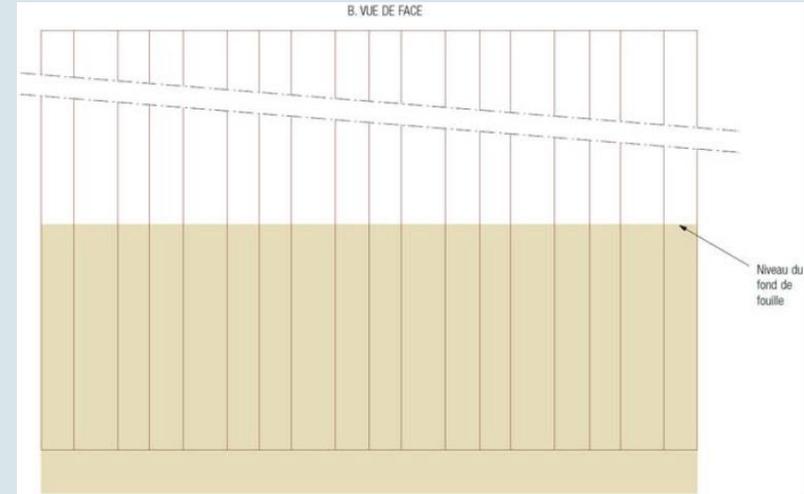
Type PU



Type AZ



y = ligne neutre du rideau de palplanches
 h = hauteur du rideau
 b = largeur
 t = épaisseur t
 s = épaisseur s

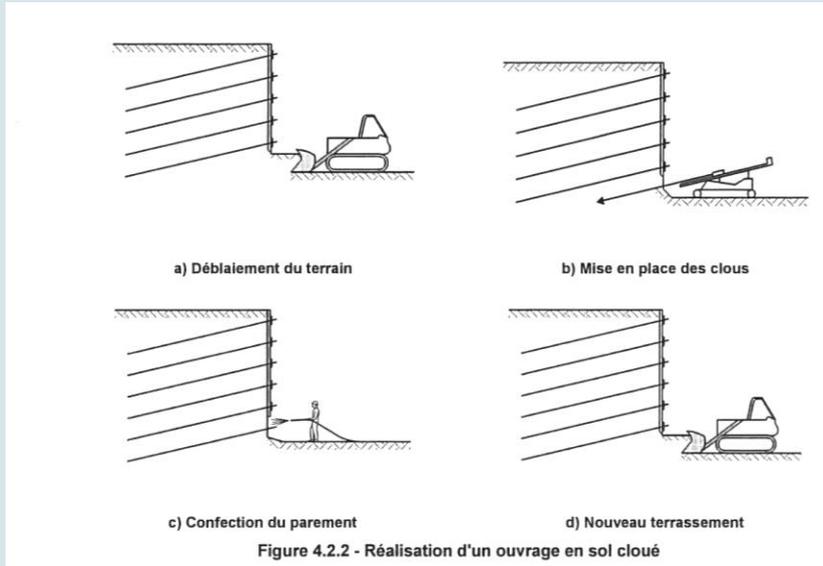


- Palplanches



Gdansk (PL)

- Parois clouées (Clouterre)
 - Nécessite un drainage derrière la paroi
 - Terrains meubles ou en roche => Ok
 - Parement en béton projeté armé



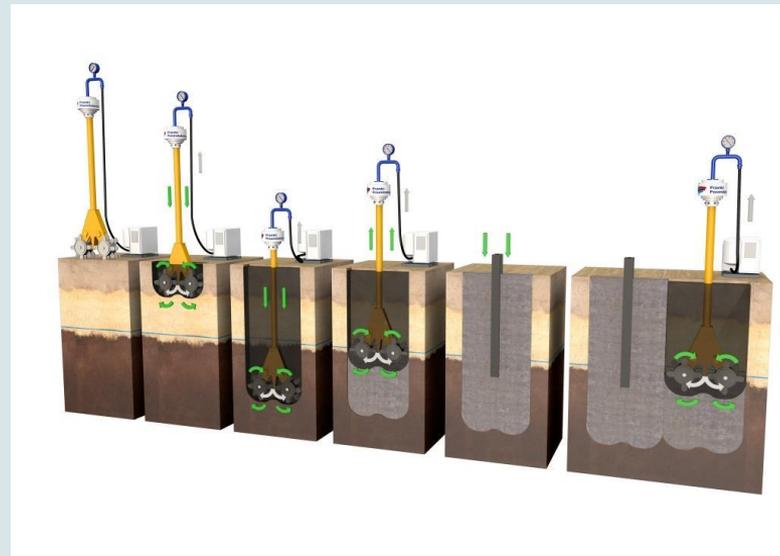
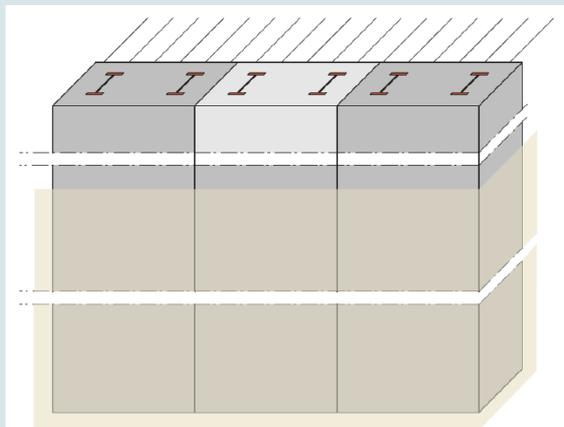
Clouterre II - Principe de réalisation



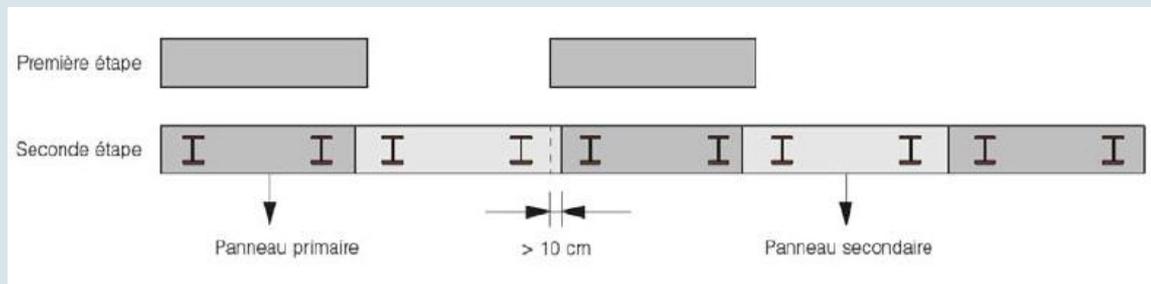
CLE (2012)

■ Soilmix *Infofiche 56.6 (CSTC)*

- Pas d'excavation de sol
- Paroi étanche
- Mélange sol – ciment
- Profilés ou cage d'armatures
- Pas d'éléments grossiers :
 - graviers, fondations



Franki foundations



- Soilmix

Infofiche 56.6 (CSTC)

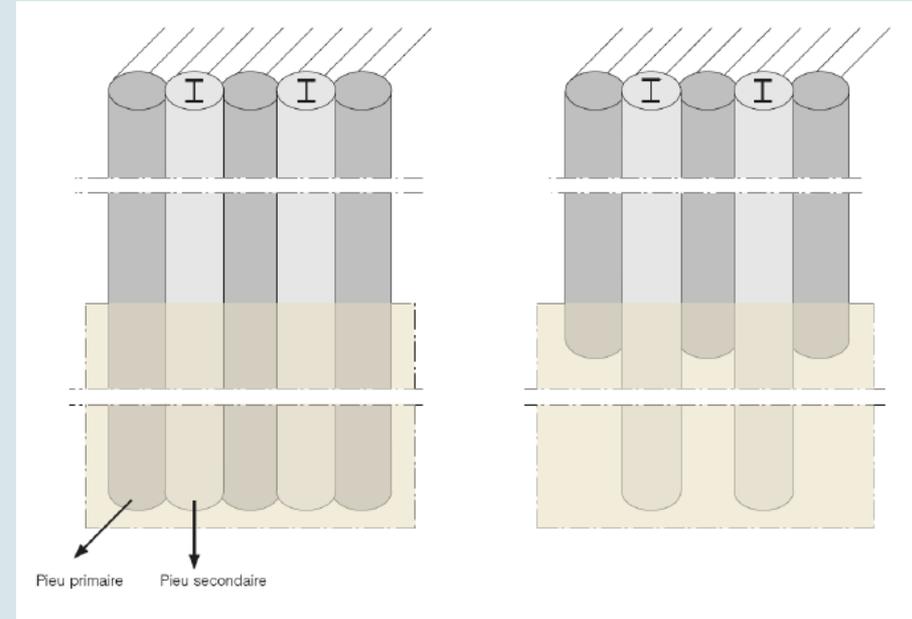
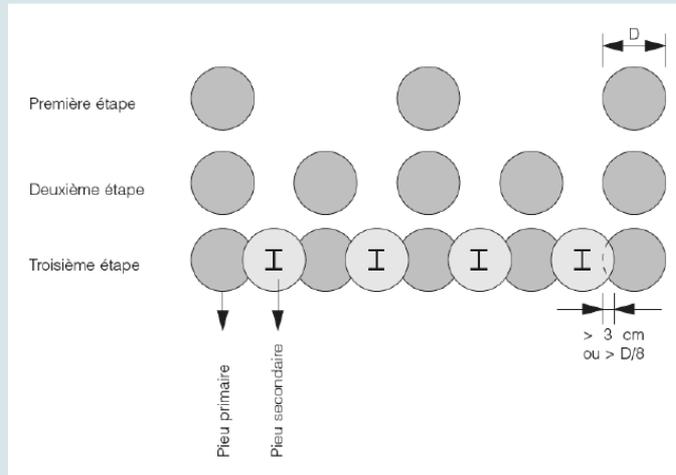


Franki foundations



Franki foundations

- Pieux sécants *Infofiche 56.3 (CSTC)*
 - Excavation de sol
 - Paroi étanche
 - Profilés ou cage d'armatures
 - Avec ou sans poutre de couronnement



- Pieux sécants *Infofiche 56.3 (CSTC)*

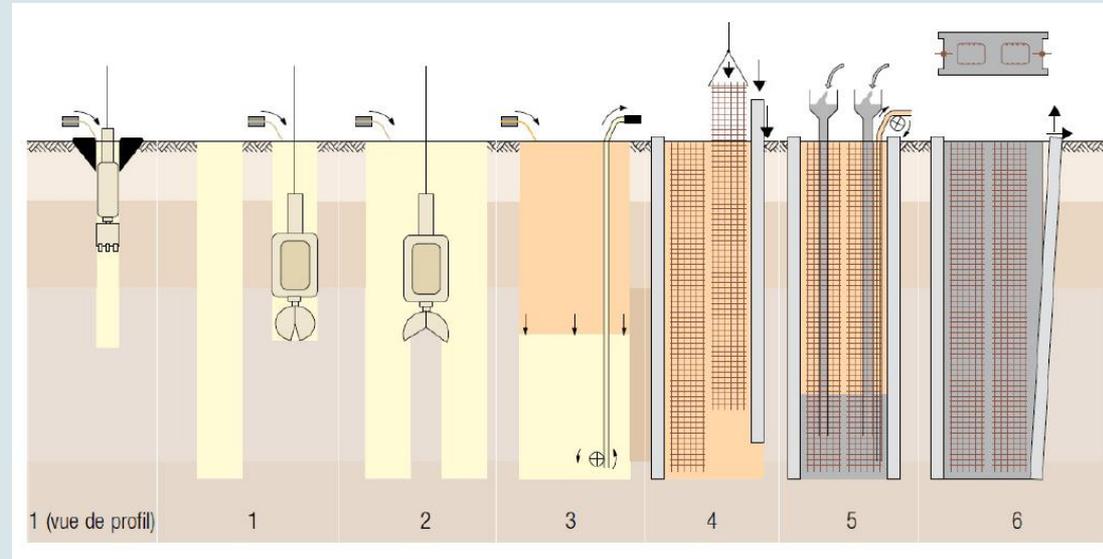


Centre culturel Hijmans BXL (CFE)



Gent – Opgeëistenlaan (MBG)

- Parois moulées *Infofiche 70 (CSTC)*
 - Excavation de sol
 - Paroi étanche
 - Traitement de la boue bentonitique très couteux
 - Généralement en terrains meubles
 - Cage d'armatures
 - Installation de chantier lourde



- Parois moulées *Infofiche 70 (CSTC)*



Kernstraat (BXL, CFE)



Pose de cages d'armatures (CFE)

- Tableau de synthèse

Méthode	Etanchéité	Surcharges	Durée	Excédent de terres
Tranchée blindée	x	x	temporaire	x
Caissons	x	x	temporaire	x
Faux puits	x	v	temporaire / définitif	v
Berlinoise	x	v	temporaire	x
Palplanches	v	v	temporaire	x
Clouage	x	v	définitif	x
Soilmix	v	v	définitif	x
Pieux sécants	v	v	définitif	v
Parois moulées	v	v	définitif	v





Introduction

Stabilité des
pentes

Méthodes de
soutènement

Conclusions



- Fournir des données géotechniques ou prévoir un budget !
- Stabilité des talus:
 - Règles CSTC (< 4 m, pas de nappe et de surcharge, courte durée)
 - Sinon: dimensionnement géotechnique à prévoir !
- Blindages:
 - Techniques variées => fixer des objectifs clairs plutôt qu'une méthode :
 - Durée
 - Etanchéité?
 - Surcharges?
 - Rabattement autorisé ou pas?
 - Tassements ou déplacements maximums



Merci de votre attention

