# GEO5

# Conception d'un mur de soutènement non ancré

#### Résumé

Ce cahier technique décrit la conception d'un mur de soutènement non ancré subissant des charges permanentes et accidentelles (inondation). Dans ce but, le programme « Conception des écrans de soutènement » sera utilisé, le fichier associé est « Demo\_manual\_04.gp1 ».

**ATTENTION** : Dans ce document, l'utilisateur sera guidé à travers toutes les étapes de définition et d'analyse d'un projet géotechnique, dans un contexte établi par l'auteur. L'utilisateur doit être informé que les réglages de l'analyse (onglet « Paramètres ») sont de sa responsabilité et doivent être vérifiés/adaptés avant de commencer tout nouveau projet. GEO5

### 1 Projet

Concevoir un mur de soutènement non ancré fait de palplanches de type VL 601 en utilisant la norme EN 1997-1 (EC 7-1, DA3) en couches géologiques non homogènes. Le matériau de la palplanche est un acier de type S 240 GP. La profondeur de l'excavation est de 2,75 m. La nappe phréatique est située à une profondeur de 1 m. De plus, analysez la construction pour les inondations, lorsque l'eau est située à 1 m au-dessus du haut du mur (des barrières anti-inondation mobiles doivent être installées).



FIGURE 1 – Schéma d'un mur non ancré en palplanches - Projet

## 2 Solution

Pour résoudre ce problème, nous utiliserons le programme GEO5 « Conception des écrans de soutènement ». Dans ce manuel, nous développerons chaque étape de la résolution de ce problème :

- -- 1ère phase de construction : situation de calcul permanente
- 2ème étape de construction : situation de calcul accidentelle
- Dimensionnement de la section
- Vérification de la stabilité
- Résultat de l'analyse et conclusion

#### 2.1 Phase de construction 1

Dans le cadre « Paramètres », cliquez sur « Sélectionner paramètres » et choisissez l'option n° 5 - « Standard - EN 1997 - DA3 ».

🔲 Liste des para	mètres de calcul			×
Numéro	Nom	Validité		
1	Standard - coefficients de sécurité	Tous		
2	Standard - états limites	Tous		
3	Standard - EN 1997 - DA1	Tous		
4	Standard - EN 1997 - DA2	Tous		
5	Standard - EN 1997 - DA3	Tous		
6	Standard - LRFD 2003	Tous		
7	Standard - sans réduction	Tous		
8	République tchèque - normes anciennes CSN (73 1001, 73 1002, 73 0037)	Tous		
37	France - EN 1997	Tous		
38	France - EN 1997, gamma d'eau=1.0	Tous		
45	Chine - normes de construction (JGJ)	Tous		
46	Chine - normes de transport (JT)	Tous		
47	Chine - normes ferroviaires (TB)	Tous		
48	Chine - normes de protection de l'eau (SL)	Tous		V UK
49	Chine - coefficient de sécurité (ASD)	Tous	-	🗙 Annuler

FIGURE 2 – Fenêtre de dialogue « Liste des paramètres de calcul»

Tout d'abord, allez dans le cadre « Profil » et ajoutez deux nouvelles interfaces à l'aide du bouton « Ajouter ». L'une se situera à une profondeur de 1,5 m et l'autre à une profondeur de 2,5 m.

Num.	Epaisseur de la couche	Profondeur	🕂 籠 Ajouter	- Information sur la position
	t [m]	z [m]		Cote de surface : [m]
1	1,50	0,00 1,50		
2	1,00	1,50 2,50	_	Coordonnées GPS Afficher
3	-	2,50∞		GPS: (n'est pas saisi) sur la carte
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			

FIGURE 3 – Cadre « Profil » - Ajouter une nouvelle interface

Ensuite, allez dans le cadre «Sols» et ajoutez de nouveaux sols en cliquant sur le bouton «Ajouter», entrez les paramètres des sols selon le tableau ou les images ci-après et affectez-les au profil. L'état de contrainte est considéré comme **effectif**, la pression au repos est calculée pour les sols **pulvérulents** et le calcul du soulèvement est choisi comme **standard** pour chaque sol. Nous ne prendrons pas en compte la variation de poids volumique due à la saturation.

G		J

Sol (Clas-	Profil [m]	Poids	Angle de	Cohésion	Angle de
sification		volumique	frottement	du sol	frottement
des sols)		$\gamma  [{ m kN/m^3}]$	interne	$c_{ef}$ [kPa]	interne
			$\varphi_{ef}$ [°]		struc-
					$\mathrm{ture/sol}$
					δ [°]
S-F - Sable	0,0 - 1,5	17,5	29,5	0,0	14,0
avec trace					
de fine, sol					
moyenne-					
ment					
dense					
SC - Sable	1,5 - 2,5	18,5	27,0	8,0	14,0
argileux,					
sol moyen-					
nement					
dense					
CL, CI -	>2,5	21,0	19,0	12,0	14,0
Argile de					
plasticité					
faible ou					
moyenne,					
consis-					
tance					
faible					

TIDID	1	T-1-1	1		1	1 -
LABLE	T	– Tableau	aes	parametres	des	SOIS

Ajouter des nouveaux sols					×
- Identification					- Affichage
Nom :	Sable avec trace of	le fines			Catégorie des échantillons :
Sable avec l'addition de	sol fin (S-F), moye	nnement den	se		GEO 👻
— Données de base ———				~~?	Chercher:
Poids volumique :	γ =	17,50	[kN/m <sup>3</sup> ]	17,5	Sous-catégorie :
Etat de contraintes :	effectives		•		Sols (1 - 16) 👻
Angle de frottement interne :	φ <sub>ef</sub> =	29,50	[°]	28 - 31	Echantillon :
Cohésion du sol :	c <sub>ef</sub> =	0,00	[kPa]	0	
Angle de frot. structure-sol :	δ =	14,00	[°]		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
- Pression au repos				~~?	- 9 Sable
Sol :	pulvérulent		•		Couleur :
					•
— Soulèvement hydrauliqu	e			?	Arrière-plan :
Calcul soulèvem, hydraulique :	standard		•		automatique 🔻
Poids volumique du sol saturé :	γ <sub>sat</sub> =	17,50	[kN/m <sup>3</sup> ]		Saturation de la couleur <10 - 90> : 50 [%]
Classer Suprimer					🕂 Ajouter 🗙 Annuler

FIGURE 4 – Fenêtre de dialogue «Ajouter de nouveaux sols» - Sable avec traces de fines

Ajouter des nouveaux sols				-	×
- Identification					- Affichage
Nom :	Sable argileux				Catégorie des échantillons :
Sab	le argileux (SC)				GEO 👻
- Données de base				? ·	Chercher :
Poids volumique :	γ =	18,50	[kN/m <sup>3</sup> ]	18,5	Sous-catégorie :
Etat de contraintes :	effectives		•		Sols (1 - 16) 👻
Angle de frottement interne :	φ <sub>ef</sub> =	27,00	[°]	26 - 28	Echantillon :
Cohésion du sol :	c <sub>ef</sub> =	8,00	[kPa]	4 - 12	
Angle de frot. structure-sol :	δ =	14,00	[°]		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
- Pression au repos				<b>?</b> -	11 Sable argileux
Sol :	pulvérulent		-		Couleur :
					•
- Soulèvement hydrauliqu	e				Arrière-plan :
Calcul soulèvem, hydraulique :	standard		•		automatique 🔻
Poids volumique du sol saturé :	γ <sub>sat</sub> =	18,50	[kN/m <sup>3</sup> ]		Saturation de la couleur <10 - 90> : 50 [%]
Classer Suprimer					🕂 Ajouter 🗙 Annuler



Ajouter des nouveaux sols				×
- Identification				- Affichage
Nom :	Argile de plasticité faible			Catégorie des échantillons :
Argile de plasticité faible o	u moyenne (CL, Cl), consist	ance rigide		GEO 👻
- Données de base			<b>?</b> -	Chercher :
Poids volumique :	γ = 2	1,00 [kN/m <sup>3</sup> ]	21,0	Sous-catégorie :
Etat de contraintes :	effectives	•		Sols (1 - 16) 👻
Angle de frottement interne :	φ <sub>ef</sub> = 1	9,00 [°]	17 - 21	Echantillon :
Cohésion du sol :	c <sub>ef</sub> =	2,00 [kPa]	8 - 16	
Angle de frot. structure-sol :	δ = 1	4,00 [°]		¯_¯_¯_¯_¯_¯_¯_¯_¯_¯
- Pression au repos			<b>?</b>	4 Argile
Sol :	pulvérulent	•		Couleur :
				<b>•</b>
— Soulèvement hydrauliqu	e		? -	Arrière-plan :
Calcul soulèvem. hydraulique :	standard	•		automatique
Poids volumique du sol saturé :	γ <sub>sat</sub> = 2	1,00 [kN/m <sup>3</sup> ]		Saturation de la couleur <10 - 90> : 50 [%]
Classer Suprimer				유 Ajouter 🗙 Annuler

FIGURE 6 – Fenêtre de dialogue «Ajouter de nouveaux sols» - Argile de plasticité faible

Ensuite, dans le cadre « Assignation », affectez les sols aux couches comme l'indique l'illustration ci-dessous.



FIGURE 7 - Cadre « Assignation » - Assignation des sols

Dans le cadre « Géométrie », sélectionnez la forme du fond de l'excavation et saisissez sa profondeur (2,75 m). Cliquez ensuite sur « modifier » pour sélectionner le type des sections transversales. Pour notre exemple, nous considérerons une palplanche VL 601.



FIGURE 8 - Cadre « Géométrie »

Dans le cadre «Matériau», nous définissons le type d'acier requis par S 240 GP (palplanches d'acier).

'	Acier de construction Catalogue Personnaliser	Catalogue des matériaux - Acier de construc	ction X
	EN 10248-1:S 240 GP fy = 240,00 MPa E = 210000,00 MPa G = 81000,00 MPa	Selection des materiaux du catalogue - Acier de construction EN Acier pour les palplanches EN	EN 10248-1: S 240 GP EN 10248-1: S 270 GP EN 10248-1: S 320 GP EN 10248-1: S 355 GP EN 10248-1: S 390 GP EN 10248-1: S 430 GP
<b>Aatériau</b>			✓ OK X Annuler

FIGURE 9 - Cadre « Matériau »

Pour cette étude, nous n'utilisons pas les cadres « Ancrages », « Butons », « Appuis », « Surcharge » ou « Forces saisies ». Le cadre « Séisme » n'est pas non plus important dans cette analyse, car la structure n'est pas située dans une zone sismiquement active. Dans le cadre «Terrain», nous utilisons le paramétrage par défaut (terrain horizontal).

Nous passons ensuite au cadre « Détermination de la pression ». Dans ce cadre, nous sélectionnons l'option « Considérer la pression dimensionnante minimale».



FIGURE 10 – Cadre « Détermination de la pression »

#### Remarques :

- 1. pour les sols cohérents, il est recommandé par certaines normes d'utiliser la pression de dimensionnement minimale agissant sur le mur de soutènement. La valeur standard pour le coefficient de pression de dimensionnement minimale est  $K_a = 0, 2$ . Cela signifie que la pression minimale sur la structure est d'au moins 20% de la contrainte géostatique jamais moins.
- 2. dans le cas de murs de soutènement ancrés, il est recommandé d'utiliser la redistribution de la pression active en raison de l'ancrage. Si l'on veut réduire la déformation de la palplanche, il est également possible d'augmenter la pression agissant sur la structure (augmentation active, au repos) dans le même cadre. Ces deux possibilités sont décrites dans l'aide du programme (F1) ou dans le cahier technique n° 5 - Conception d'un mur de soutènement ancré.

Dans le cadre « Eau », valorisez la profondeur de la nappe phréatique à 1 m.



FIGURE 11 – Cadre « Eau » - 1ère phase de construction

Ensuite, dans le cadre « Paramètres de la phase », sélectionnez la situation de calcul permanente.

'	Situation de calcul :	permanente	•
hase			
ramètres de la p			

FIGURE 12 - Cadre « Paramètres de la phase » - 1ère phase de construction

Maintenant, ouvrez le cadre « Calcul ». Dans ce cadre, le programme calculera automatiquement les efforts internes et la profondeur nécessaire de la structure dans le sol (fiche).



FIGURE  $13 - Cadre \ll Calcul \gg$ 

Tous les résultats peuvent être affichés à l'aide du bouton « En détail ».

Vérification		—		$\times$
Valeur maximale de la force motrice Valeur maximale du moment Profondeur nécessaire de la structure dans le sol Long, totale de la structure	= = =	73,09 40,86 2,79 5,54	kN/m kNm/m m m	
			X Quit	tter

FIGURE 14 - Cadre « Calcul » - 1ère phase de construction - Fenêtre de dialogue « En détail »

Dans la prochaine étape, nous allons montrer comment analyser la fiche minimale et les forces internes en cas de situation de calcul accidentelle - les inondations.

#### 2.2 Phase de construction 2

#### Saisie des données de base

Maintenant, ajoutez une nouvelle phase de construction dans la barre d'outils « Phase de construction » dans le coin supérieur gauche de votre écran.



FIGURE 15 – Barre d'outils « Phase de construction »

Dans le cadre «Eau», modifiez la hauteur de la nappe phréatique de sorte qu'elle prenne pour valeur -1 m. Nous ne considérerons pas l'eau devant la structure.



FIGURE  $16 - Cadre \ll Eau \gg$ 

Ensuite, dans le cadre « Paramètres de la phase », sélectionnez la situation de calcul « accidentelle ».

1	Situation de calcul :	accidentelle 🔹
a phase		
ètres de l		
Param		

FIGURE 17 – Cadre « Paramètres de la phase »

Toutes les autres valeurs sont identiques à celles de la 1ère phase de construction, nous n'avons donc rien d'autre à modifier. Par conséquent, nous pouvons passer directement au cadre « Analyse » et voir les résultats détaillés.

#### Calcul



FIGURE  $18 - Cadre \ll Calcul \gg$ 

Valeur maximale de la force motrice	=	215,82	kN/m
Valeur maximale du moment	=	178,81	kNm/m
Profondeur nécessaire de la structure dans le sol	=	4,46	m
Long. totale de la structure	=	7,21	m

FIGURE 19 – Cadre « Calcul » - 2ème phase de construction - Fenêtre de dialogue « En détail »

Il est maintenant nécessaire de vérifier la section de la palplanche en flexion et compression ainsi que sa résistance au cisaillement.

#### Vérification de la section

Passez au cadre «Dimensionnement».



FIGURE  $20 - Cadre \ll Dimensionnement \gg$ 

1	Calcul : 🕕 📄 [1] - structure entière	
	Phase : (envelop. toutes phases) Modifier	Vérification : structure entière
	Géométrie : Palplanche : VL 601	✓ Vérifier la section
	- Information	Coefficient de calcul des sollicitations de la section : 1,00 [-]
Ŧ	Force motrice max. de 1m du mur = 215,82 kN/m	Effet de l'effort normal : efforts normaux - ne pas considérer 🔹
emer		- Résultats
ionn		FLEXION ET COMPRESSION : NON ADMISSIBLE (100,4%)
ensi		CISAILLEMENT : ADMISSIBLE (37,5%)
Dim		

FIGURE 21 – Cadre « Dimensionnement » - Résultats de la vérification

Remarque : les valeurs maximales des efforts internes de toutes les étapes sont affichées dans le cadre « Dimensionnement ». Si nous voulons utiliser les résultats d'étapes de construction spécifiques, nous devons les sélectionner à l'aide du bouton « Modifier ».

Nous constatons que notre section n'est pas satisfaisante pour la vérification « Flexion + Compression », le taux de travail est supérieur à 100%. Les résultats détaillés peuvent être affichés à l'aide du bouton « En détail ».

Dimensionnement	-		×
Vérification de la section en acier selon EN 1993-1-1 Toutes les phases de construction sont considérées dans le ca Coefficient de calcul des sollicitations de la section = 1,00	lcul.		
Forces de dimensionnement appliquées à 1 m du mur           M <sub>max</sub> = 178,81 kNm/m;         Q = 2,08 kN/m           Q <sub>max</sub> = 215,82 kN/m;         M = 0,92 kNm/m			
$\begin{array}{l} \label{eq:product} \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{du} \ \textbf{moment} \ \textbf{max}, \textbf{M}_{max} + \textbf{Q}:\\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{flexion}:\\ \textbf{M}_{max}/M_{C,Rd} = 1,004 > 1  \textbf{Non admissible} \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{du} \ \textbf{glissement}:\\ \textbf{Q}/V_{C,Rd} = 0,004 \leq 1  \textbf{Admissible} \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{l}^{\ \textbf{tat}} \ \textbf{de} \ \textbf{contraintes} \ \textbf{plannes}: \\ \textbf{Contrainte normale}  \sigma_{x,Ed} = 229,42  MPa \\ \textbf{Contrainte de cisaillement} \ \tau_{Ed} = 0,29  MPa \\ \textbf{Expertise}: \ (\sigma_{x,Ed}/(f_y/\gamma_{MO}))^2 + 3^*(\tau_{Ed}/(f_y/\gamma_{MO}))^2 = 0,914 \leq 1 \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{Q}_{max} + \textbf{M}: \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{la} \ \textbf{force motrice} \ \textbf{max}, \ \textbf{La} = 0,375 \leq 1  \textbf{Admissible} \\ \textbf{V}\acute{erification} \ \textbf{de} \ \textbf{l}^{\ \textbf{contrainte}} \ \textbf{ormale} \ \textbf{\sigma}_{x,Ed} = 1,19  \textbf{MPa} \\ \textbf{Contrainte} \ \textbf{de} \ \textbf{contrainte} \ \textbf{t}_{Ed} = 30,51  \textbf{MPa} \\ \textbf{Contrainte} \ \textbf{de} \ \textbf{contrainte} \ \textbf{de} \ \textbf{contrainte} \ \textbf{de} \ \textbf{contrainte} \ \textbf{de} \ $	Adm	issible	
$ \begin{array}{l} \mbox{Expertise:} \ (\sigma_{x,Ed}/(f_y/\gamma_{M0}))^2 + 3^*(\tau_{Ed}/(f_y/\gamma_{M0}))^2 = 0,049 \leq 1 \\ \mbox{Section NON ADMISSIBLE} \end{array} $	Adm	issible	•
		X Qui	tter

FIGURE 22 – Résultats détaillés

Comme la vérification de la section n'est pas satisfaisante, nous devons revenir au cadre « Géométrie » et sélectionner une palplanche plus grande - VL 602.



FIGURE 23 – Cadre « Géométrie » - Modification de la section

Suite à l'édition de la section, nous retournons dans le cadre « Dimensionnement ». La vérification du nouveau soutènement muni d'une section plus grande est maintenant satisfaisante.

# GEO5



FIGURE 24 – Cadre « Dimensionnement » - Vérification de la nouvelle section

Ca	Icul: 🛨 📄 [1] - structure entière	
Ph	ase : (envelop. toutes phases) Modifier	Vérification : structure entière 🔻
Gé	ométrie : Palplanche : VL 602	✓ Vérifier la section
	Information	Coefficient de calcul des sollicitations de la section : 1,00 [-]
ŧ	Force motrice max. de 1m du mur = 215,82 kN/m	Effet de l'effort normal : efforts normaux - ne pas considérer 🔻
eme		- Résultats
uuo		FLEXION ET COMPRESSION : ADMISSIBLE (88,2%)
ensi		CISAILLEMENT : ADMISSIBLE (30,4%)

 $\ensuremath{\mathsf{Figure}}\xspace 25$  – Cadre « Dimensionnement » - Nouveaux résultats de vérification

Remarque : la modification de la section n'a aucune influence sur l'analyse des efforts internes. La rigidité de la structure n'influencera que l'analyse dans le programme « Vérification des écrans de soutènement », qui peut être utilisé lors de l'analyse de structures ancrées plus délicates.

#### 2.3 Vérification de la stabilité

Il faut maintenant vérifier que la structure est satisfaisante en termes de stabilité globale. Cette vérification est effectuée dans le cadre « Stabilité ».

Dans ce cadre, le programme affiche la profondeur minimale de la structure dans le sol. Une analyse de stabilité doit être effectuée pour chaque étape de la construction.

La profondeur minimale de la structure (basée sur une analyse à la 2ème phase de construction) est de 4,46 m. Nous allons donc concevoir un rideau de palplanches à 4,5 m de profondeur dans le sol. Dans un premier temps, nous effectuons une analyse de la 1ère phase de construction.



FIGURE 26 - Cadre « Stabilité » - 1ère phase de construction

Cliquez sur le bouton « Stabilité des pentes » afin de lancer le programme « Stabilité des pentes ». Tous les paramètres d'entrée sont transférés automatiquement dans ce programme. Dans le programme, allez dans le cadre « Analyse ». Sélectionnez la méthode « Bishop » avec optimisation de la surface de glissement circulaire comme indiqué sur l'illustration ci-dessous et cliquez sur le bouton « Calculer ».



FIGURE 27 – Programme « Stabilité des pentes » - Cadre « Calcul » (1ère phase de construction)

Une fois l'analyse de la 1ère étape terminée, cliquez sur « Quitter et transmettre les données » sur le côté droit de l'écran. Ensuite, nous allons réaliser la même analyse pour la 2ème phase de construction.



FIGURE 28 – Programme « Stabilité des pentes » - Cadre « Calcul » (2ème phase de construction)

# 3 Résultat de l'analyse et conclusion

Le but de cette étude était de concevoir un mur de palplanches pour un puits de fondation d'une profondeur de 2,75 m.

Lors de la conception d'un mur de soutènement non ancré, nous obtenons la valeur de la profondeur minimale de la structure dans le sol (fiche). Cette profondeur est déterminée comme la valeur maximale déduite de toutes les étapes de construction :

— profondeur minimale de la structure à la première phase de construction :  $2,79\,\mathrm{m}$ 

— profondeur minimale de la structure à la deuxième phase de construction : 6,46 m

Ainsi, nous concevrons le mur de palplanches à 4,5 m de profondeur dans le sol avec une longueur totale de 7,25 m (4,46 m + 2,79 m).

Cette construction est satisfaisante du point de vue de la stabilité globale. Le taux de travail maximal de la structure ne dépasse pas 60%.

La section initialement conçue de palplanches de type VL 601 n'était pas satisfaisante pour la vérification en flexion. Pour cette raison, la section a été remplacée par un type plus grand VL 602, qui s'est révélé satisfaisant.

Le mur en palplanches (section type VL 602, acier S 240 GP) d'une longueur totale de 7,25 m est satisfaisant pour toutes les vérifications.