

Conception d'un mur cantilever

Résumé

Ce cahier technique décrit comment concevoir et analyser un mur cantilever. Dans ce but, le programme « Murs Cantilever » sera utilisé, le fichier associé est « Demo_manual_02.guz ».

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.

1 Projet

Concevez un mur cantilever d'une hauteur de 4 m et analysez-le selon la norme EN 1997 - DA1 (EC 7-1, Approche de calcul 1). Le terrain derrière la structure est horizontal. La nappe phréatique se trouve à une profondeur de 2 m sous la surface. Une surcharge de type bande d'une longueur de 5 m et d'une intensité de 10 kN/m^2 agit derrière le mur. Le sol de fondation est constitué de limon sableux (MS) ayant une capacité portante admissible de 175 kPa. Le sol derrière le mur est fait de sable avec trace de fines (S-F). Le mur cantilever sera en béton armé de classe C 20/25.



FIGURE 1 - Schéma du mur cantilever - Projet

Les paramètres des sols sont définis de la façon suivante :

Nom du sol	Profil	Poids volumique $\gamma \ ^{\mathrm{kN/m^3}}$	Angle de frottement interne φ_{ef} [°]	Cohésion du sol c _{ef} [kPa]	$\begin{array}{c} \text{Angle de} \\ \text{frottement} \\ \text{interne} \\ \text{struc-} \\ \text{ture/sol} \\ \delta \ [^{\circ}] \end{array}$	Poids volumique saturé γ_{sat} $[^{kN}/m^3]$
S - F	0,0-4,0	17,5	28,0	0,0	18,5	18,0
MS	> 4,0	18,0	26,5	30,0	17,5	18,5

TABLE 1 – Tableau des paramètres du sol

2 Solution

Pour résoudre ce problème, nous allons utiliser le programme GEO5 « Murs Cantilever ». Le texte ci-après décrit la solution pas à pas.

Dans un premier temps, dans le cadre « Paramètres », cliquez sur le bouton « Sélectionner paramètres » et choisissez le paramétrage n° 3 -« Standard – EN 1997 – DA1 ».

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	и ок
49	Chine - coefficient de sécurité (ASD)	Tous	
50	Chine - états limites (LSD)	Tous	_ X Annuler

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

Dans le cadre « Géométrie », sélectionnez la quatrième forme et saisissez ses dimensions comme sur l'illustration ci-dessous :

I	L	⊥		Ľ,	Ŀ	Д			l, l	
	<u>, k</u> ,	— Géo	métrie du mur —							
		k =	0,40	[m]	v ₁ =	0,40	[m]	s ₁ =		[-]
	h / s2:1	h =	3,60	[m]	v ₂ =	1,70	[m]	s ₂ =	0,00	[-]
		h ₁ =		[m]	V ₃ =		[m]	Voile	0,40	[m]
	××	h ₂ =		[m]	x ₁ =		[m]	x ₃ =		[m]
		xx =	0,40	[m]	x ₂ =		[m]			
trie		z ₁ =		[m]	k ₁ =		[m]			
Géomé		z ₂ =		[m]						

FIGURE $3 - Cadre \ll Géométrie \gg$

À présent, la structure ressemble à ceci :



FIGURE 4 – Cadre « Géométrie » - Schéma du mur cantilever

Dans le cadre « Matériau », définissez le matériau du mur. Le mur aura un poids volumique de $\gamma=25\,{\rm kN/m^3}$ et sera fait de béton de classe C20/25 et d'acier de classe B500.

I	Poids volumique du m	ur: γ = 25,0	0 [kN/m ³]	
	— Béton —		— Ferraillage longitud	inal
	<u>C</u> atalogue	<u>P</u> ersonnaliser	C <u>a</u> talogue	P <u>e</u> rsonnaliser
1atériau	C 20/25 f _{ck} = 20,00 MPa f _{ctm} = 2,20 MPa		B500 f _{yk} = 500,00 MPa	

FIGURE 5 – Cadre « Matériau » - Saisie des caractéristiques matérielles de la structure

Dans le cadre « Profil », nous allons définir une interface de sol à une profondeur de 4 m en utilisant le bouton « Ajouter ».

ľ	Num.	Epaisseur de la couche	Profondeur	🕂 🎬 Ajouter	- Information sur la pos	ition
		t [m]	z [m]		Cote de surface :	[m]
	1	-	0,00 ∞	Nouvelle interfa	ce	×
				Profondeur Epaisseur d	r de l'interface : z = de la couche : t =	4 [m] [m] X Annuler

FIGURE $6 - Cadre \ll Profil \gg$

Ensuite, nous allons dans le cadre « Sols ». Nous allons définir les paramètres du sol comme sur l'image ci-dessous en cliquant sur le bouton ajouter. Dans un premier temps, nous ajouterons le sol S-F qui se trouvera derrière le mur; ensuite, nous ajouterons le sol MS, qui constituera le sol de fondation.

Ajouter des nouveaux sols						×
- Identification					— Affichag	је ———
Nom :	S-F				Ca	atégorie des échantillons :
					GEO	-
— Données de base ——				?	Chercher :	
Poids volumique :	γ =	17,50	[kN/m ³]			Sous-catégorie :
Etat de contraintes :	effectives		•		Sols (1 - 16))
Angle de frottement interne :	φef =	28,00	[°]			Echantillon :
Cohésion du sol :	C _{ef} =	0,00	[kPa]			
Angle de frot. structure-sol :	δ =	18,50	[°]			
- Pression au repos				? ·		2 Loam sableux
Sol :	pulvérulent		•			Couleur :
						•
- Soulèvement hydrauliq	ue ———			? ·		Arrière-plan :
Calcul soulèvem. hydraulique :	standard		•		automatiqu	e 🗸
Poids volumique du sol saturé :	γsat =	18,00	[kN/m ³]		Saturation d	e la couleur <10 - 90> : 50 [%
Classer Suprimer						🕂 Ajouter 🗙 Annuler

FIGURE 7 - Fenêtre de dialogue « Ajouter des nouveaux sols » - Ajout du sol S-F

Ajouter des nouveaux sols					×
- Identification					— Affichage ———
Nom :	MS				Catégorie des échantillons :
					GEO 👻
— Données de base ——				? -	Chercher :
Poids volumique :	γ =	18,00	[kN/m ³]		Sous-catégorie :
Etat de contraintes :	effectives		•		Sols (1 - 16) 💌
Angle de frottement interne :	φ _{ef} =	26,50	[°]		Echantillon :
Cohésion du sol :	c _{ef} =	30,00	[kPa]		
Angle de frot. structure-sol :	δ =	17,50	[°]		
— Pression au repos ——				? ·	1 Loam
Sol :	pulvérulent		•		Couleur :
					•
— Soulèvement hydrauliq	ue			? ·	Arrière-plan :
Calcul soulèvem. hydraulique :	standard		•		automatique 🗸
Poids volumique du sol saturé :	γ _{sat} =	18,50	[kN/m ³]		Saturation de la couleur <10 - 90> : 50 [%]
Classer Suprimer					🕂 Ajouter 🗙 Annuler

 $\ensuremath{\mathsf{Figure}}$ 8 – Fenêtre de dialogue « Ajout
er des nouveaux sols » - Ajout du sol $\ensuremath{\mathrm{MS}}$

Remarque : L'intensité de la pression active dépend également du frottement entre la structure et le sol. L'angle de frottement dépend du matériau de la structure et de l'angle de frottement interne du sol - normalement saisi dans l'intervalle :

$$\delta \in [1/3 \cdot \varphi_{ef}, 2/3 \cdot \varphi_{ef}]$$

Nous allons à présent assigner les sols aux couches géologiques dans le cadre « Assignation ».

GEO5 2020 - Murs cantilever [Sans titre.guz *] Fichier Edition Saisie Calcul Sorties Paramě	tres Aide			- o ×
ig 🗅 🔒 - 🖪 - 🙀 ն				
				Modes
20	·			E Projet
30			the first and the second s	🍄 Paramètres
				L Géométrie
↔				📼 Matériau
+				E Profil
Q				Sols
				Assignation
\geq	4,00	4,00		Hereit Fondation
				💕 Remblai
				Terrains
				Eau
				F Surcharge
(FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF				±∎ Pression à l'avant
				🛃 Forces saisies
0.00	4			Séisme
				P Fondation ancrée
18th	<u>, 2,5</u>			Paramètres de la phas
55				🔁 Vérification
Assignation par le clic	nauche :			Capacité portante
S-F	y			A Dimensionnement
Num. Epaisseur [m] Sol assigné				Sorties
1 4,00 S+F	▼			B* Ajouter l'image
2 MS	• 2////////			Profil et assignation :
				B ^m Liste des images
gnation				
ST				Copier la vue

FIGURE 9 - Cadre « Assignation »

Dans le cadre « Terrains », choisissez la forme correspondant à un terrain horizontal :



FIGURE 10 – Cadre "Terrains"

Maintenant, nous allons passer au cadre « Eau » et sélectionner le type d'eau à proximité de la structure et remplir ses paramètres, comme indiqué dans l'image ci-dessous :

	a a a	
h ₄	— Paramètres de la nappe phréatique —	
	Nappe d'eau derrière la structure :	h ₁ = 2,00 [m]
	Nappe d'eau devant la structure :	h ₂ = [m]
	Soulèvem. hydr. dans base de fond. dû au	x prof. différ. : ne pas considérer 🔻
	Fissure de traction	
n	Profondeur de fissure de traction :	h _t = [m]

FIGURE 11 – Cadre « Eau »

Passez ensuite au cadre « Surcharge ». Cliquez sur le bouton « Ajouter » et sélectionnez une surcharge de bande permanente d'intensité 10 kN/m^2 agissant comme une charge morte sur le terrain sur une distance de 5 mètres, comme indiqué dans l'image ci-dessous :

Nouvelle surcharge ×						
Nom : L1						
— Caractéristiqu	ue de l	a surcharge				
Type :		Bande		•		
Type d'applicat	ion :	constante		•		
Placement :		sur la surface		•		
Origine :	x =	0,00	[m]			
Longueur :	1 =	5,00	[m]			
- Intensité de l	a surch	narge				
Intensité :	q =	10,00	[kN/m ²]			
				🕂 Ajouter 🗙 Annuler		

FIGURE 12 – Fenêtre de dialogue « Nouvelle surcharge »

Dans le cadre « Pression à l'avant », sélectionnez la forme du terrain devant le mur, puis définissez d'autres paramètres de la résistance sur la face avant.

1	-Paramètres de la pressio	n à l'avant
	Type de résistance :	n'est pas considérée
		inest pas consideree
	Sol :	MS 🔹
ant		
l'ava	Epaisseur :	h = 1,00 [m]
on à		
essio		
Ъ		

FIGURE $13 - Cadre \ll Pression à l'avant \gg$

Remarque : uans ce cas, nous ne considérons pas la résistance sur la face avant, les résultats seront donc classiques. La pression à l'avant de la structure dépend de la qualité du sol et du déplacement admissible de la structure. On peut considérer la pression au repos pour le sol d'origine, ou un sol bien compacté. Il n'est possible de considérer la pression passive que si le déplacement de la structure est autorisé. (pour plus d'informations, voir AIDE – F1). Ensuite, dans le cadre « Paramètres de la phase », définissez la « Situation de calcul » comme permanente, et la pression agissant sur le mur comme : « Le mur peut se déplacer (pression active) », car le mur le peut.

Т	Situation de calcul :	permanente 👻
	Pression appliquée au mur :	le mur peut se déplacer (pression active)
se	Pression appliquée sur le fût :	pression au repos 🔹
la pha		
res de		
amèti		
Par		

FIGURE 14 – Cadre « Paramètres de la phase »

Remarque : un fût de mur est généralement dimensionnée en fonction de la pression des terres au repos, c'est-à-dire que le mur ne peut pas se déplacer. L'évaluation du fût et du mur pour la pression active ne se fait que dans des circonstances exceptionnelles - telles que les effets d'un tremblement de terre (situation de calcul sismique avec un coefficient partiel égal à 1,0).

À présent, l'étude ressemble à ceci :



FIGURE 15 – Structure à analyser

Maintenant, ouvrez le cadre « Vérification », dans lequel nous pouvons voir les résultats concernant le reversement et le glissement du mur cantilever.

Numéro	Force	Fx	Fz	Point d'ap	plication	Second.	- Vérification		
de la force		[kN/m]	[kN/m]	x [m]	z [m]	charge	RENVERSEMENT :	ADMISSIBLE	(52,7%
1	Poids - mur	0,00	61,00	0,87	-1,38		GLISSEMENT :	NON ADMISSIBLE	(124,5%
	Poids - coin de sol	0,00	23,55	1,31	-1,54				
	Pression active	-42,28	60,25	1,80	-1,46				
4	Pression hydraulique	-20,00	0,00	0,80	-0,67				
	Soulèvement hydraulique	0,00	0,00	0,80	-4,00				
	L1	-7,99	8,67	1,61	-2,08				

FIGURE 16 - Cadre « Vérification »

Remarque : le bouton « En détail » dans la partie droite de l'écran ouvre une fenêtre de dialogue présentant des informations détaillées sur le résultat de l'analyse.

2.1 Résultats de l'analyse

La vérification de la résistance au glissement n'est pas satisfaisante. Le programme donne, pour la structure, les résultats suivants :

 Vérification de la résistance au renversement

 Moment résistant
 M_{res} = 208,17 kNm/m

 Moment de renversement
 M_{ovr} = 109,75 kNm/m

 Résistance du mur au renversement ADMISSIBLE

Vérification de la résistance au glissement Force horizontale résistante $H_{res} = 65,74$ kN/m Force horizontale sollicitante $H_{act} = 81,83$ kN/m Résistance du mur au glissement NON ADMISSIBLE

Le glissement s'est avéré non satisfaisant, nous devons donc modifier la conception. Il existe plusieurs possibilités permettant d'améliorer la conception. Par exemple, nous pouvons :

- utiliser un sol (à l'arrière du mur) présentant de meilleures caractéristiques
- ancrer la base
- augmenter le frottement en inclinant le sol de fondation
- ancrer le fût.

Ces changements seraient économiquement et technologiquement exigeants, nous allons donc plutôt choisir l'alternative la plus pratique, qui est de modifier la géométrie du mur et d'introduire une bêche.

2.2 Modification

Retournez dans le cadre « Géométrie » et modifiez la forme du mur cantilever. Pour augmenter la résistance au glissement , nous allons introduire une caractéristique nommée bêche. Modifiez la forme du mur et introduisez les valeurs de x_1 et x_2 comme indiqué sur la figure :



 $\ensuremath{\mathsf{Figure}}\xspace17-\ensuremath{\mathsf{Cadre}}\xspace$ « Géométrie » - Modification des dimensions du mur cantilever

Remarque : une bêche est généralement analysée comme une semelle inclinée. Si l'influence de la bêché est évaluée comme une résistance de face avant, le programme l'analysera avec une semelle droite, mais la résistance de la face avant de la construction sera analysée jusqu'à la profondeur de la partie inférieure de la bêche (Plus d'informations dans AIDE - F1).



FIGURE 18 - Nouvelle forme de la structure

Cahier technique n^2 Mise à jour 12/2019

À présent, nous pouvons analyser la structure nouvellement conçue.

Vérificatio	n: 🛨 🖃 [1]									
Numéro	Force	Fx	Fz	Point d'application		ation Second.		- Vérification		
de la force		[kN/m]	[kN/m]	x [m]	z [m]	charge		RENVERSEMENT :	ADMISSIBLE	(49,4%)
1	Poids - mur	0,00	65,00	0,95	-1,28			GLISSEMENT :	ADMISSIBLE	(64,9%)
2	Poids - coin de sol	0,00	23,55	1,31	-1,54					
3	Pression active	-42,28	60,25	1,80	-1,46					
4	Pression hydraulique	-28,80	0,00	0,80	-0,40					
5	Soulèvement hydraulique	0,00	0,00	0,80	-4,00					
6	L1	-7,99	9,06	1,65	-2,08					
							-			



Cette fois-ci, le renversement et le glissement du mur sont satisfaisants (Taux de travail : 49,4 % et 64,9%).

Ensuite, dans le cadre « Capacité portante », effectuez une analyse pour sol de fondation, si la capacité portante du sol de fondation est de 175 kPa.

- Calcul de la capacité portante du sol de fondation	🕵 En détail					
Saisir la capacité portante du sol de fondation	Vérification					
Calculer la fondation avec le programme "Semelles"	EXCENTRICITE : ADMISSIBLE (67,3%)					
Calculer la fondation avec le programme "Semelle CPT"	SOL DE FONDATION : ADMISSIBLE (86,2%)					
O Ne pas calculer						
Forme de la contrainte dans sol de fondation : rectangle						
Capacité portante du sol de fondation : R = 175,00 [kPa]						
Longueur totale de la fondation de mur : [m]						

FIGURE 20 - Cadre « Capacité portante »

Remarque : dans ce cas, nous analysons la capacité portante du sol de fondation en tant que valeur d'entrée, que nous pouvons obtenir à partir d'un levé géologique ou de certaines normes. Ces valeurs sont généralement très prudentes, il est donc généralement préférable d'analyser la capacité portante du sol de fondation dans le programme «Semelles», qui prend en compte d'autres influences telles que l'inclinaison de la charge, la profondeur de la fondation, etc. Ensuite, dans le cadre dimensionnement, nous allons évaluer le fût (voile) du mur. Concevez l'armature principal du voile par -10 pcs. Ø 12 mm, ce qui satisfait tous les principes de construction.



FIGURE 21 – Cadre « Dimensionnement »

Rendez vous ensuite dans le cadre « Stabilité », où nous analyserons la stabilité globale du mur. Cela ouvrira le programme « Stabilité des pentes », où nous passerons directement au cadre « Calcul ». Dans notre cas, nous utiliserons la méthode de « Bishop », qui donne des résultats classiques. Effectuez l'analyse avec l'optimisation de la surface de glissement circulaire, cliquez sur « Calculer » pour effectuer les calculs et lorsque ils sont terminés, quittez le programme en cliquant sur « Quitter et transmettre les données ». Les résultats seront importés dans la note de calcul du programme « Murs cantilever ».

I Calcul : 🛨					
	Surface de glissement : circulaire	•	Correction Remplacer graphiquement	🟒 Editer manuellement	Supprimer C Transformer en polygone
Calculer	Paramètres du calcul Méthode : Bishop Type de calcul : Optimisation Limitation n'a pas été saisie	•	Surface de glissement circulaire Centre : $x =$ Quertine : $x =$ Rayon : $R =$ Angles : $\alpha_1 =$	m] $z = 0,76$ [m] °] $\alpha_2 = 82,28$ [°]	Vérification de la stabilité de pente (Bishop) Somme des forces actives : $F_a = 155,02 \text{ kN/m}$ Somme des forces passives : $F_p = 393,36 \text{ kN/m}$ Moment de glissement : $M_a = 877,41 \text{ kNm/m}$ Moment résistant : $M_p = 2226,44 \text{ kNm/m}$ Utilisation : $394.\%$
Calcul					

FIGURE 22 – Programme « Stabilité des pentes » - Cadre « Calcul »

3 Conclusion

Résultats de l'analyse :

- Retournement : 49,4 %
- $M_{res} (= 218, 35) > M_{ovr} (= 107, 94) [kN/m] \Longrightarrow SATISFAISANT$
- Glissement : 64,9 %
- $H_{res} (= 99, 26) > H_{act} (= 64, 38) [kN/m] \Longrightarrow SATISFAISANT$
- Capacité portante : 86,2%
- $R_d (= 175) > \sigma (= 140, 31) [\text{kPa}] \Longrightarrow \text{SATISFAISANT}$
- Évaluation du voile du mur : 85,4 %
- $M_{Rd}\,(=169,92)>M_{Ed}\,(=145,18)\,[{\rm kN\cdot m}]\Longrightarrow {\rm SATISFAISANT}$ Stabilité globale : 39,4 %
 - Méthode de Bishop (optimisation) \implies SATISFAISANT
- Cette conception de mur cantilever est donc SATISFAISANTE.