



Calcul en utilisant la méthode des éléments finis

Topologie

Projet

Date : 28.10.2015

Paramètres globaux du calcul

Type de l'étude : Plan
Type du calcul : Etat de contraintes
Tunnels : non
Saisie avancée : oui
Résultats détaillés : oui
Structures en béton : CSN 73 1201 R

Interface

Num.	Placement de l'interface	Coordonnées des points de l'interface [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00
2		-20,00	-3,00	0,00	-3,00	20,00	-3,00
3		-20,00	-3,50	0,00	-3,50	20,00	-3,50
4		-20,00	-5,50	0,00	-5,50	20,00	-5,50

Paramètres des sols

Soil n. 1 - Class S4

Modèle de matériau : Mohr - Coulomb modifié
Poids volumique : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
Coefficient de Poisson : $\nu = 0,30$
Module d'élasticité : $E = 10,00 \text{ MPa}$
Paramètre de Biot : $\alpha = 1,00$
Angle de frottement interne : $\varphi_{ef} = 29,00^\circ$
Cohésion du sol : $c_{ef} = 4,00 \text{ kPa}$
Angle de dilatation : $\psi = 0,00^\circ$
Poids volumique du sol saturé : $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency



Modèle de matériau : Mohr - Coulomb modifié
 Poids volumique : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Coefficient de Poisson : $\nu = 0,40$
 Module d'élasticité : $E = 4,50 \text{ MPa}$
 Paramètre de Biot : $\alpha = 1,00$
 Angle de frottement interne : $\varphi_{\text{ef}} = 19,00^\circ$
 Cohésion du sol : $c_{\text{ef}} = 10,00 \text{ kPa}$
 Angle de dilatation : $\psi = 0,00^\circ$
 Poids volumique du sol saturé : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Assignation et surfaces

Num.	Placement de la surface	Coordonnées des points de la surface [m]				Assignée sol
		x	z	x	z	
1		0,00	-3,00	20,00	-3,00	Soil n. 1 - Class S4
		20,00	0,00	0,00	0,00	
		-20,00	0,00	-20,00	-3,00	
2		0,00	-3,50	20,00	-3,50	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
		20,00	-3,00	0,00	-3,00	
		-20,00	-3,00	-20,00	-3,50	
3		0,00	-5,50	20,00	-5,50	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
		20,00	-3,50	0,00	-3,50	
		-20,00	-3,50	-20,00	-5,50	
4		0,00	-5,50	-20,00	-5,50	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
		-20,00	-15,50	20,00	-15,50	
		20,00	-5,50			

Types des contacts

Contact n. 1

Modèle de matériau : Mohr-Coulomb
 Rigidité de cisaillement : $K_s = 10000,00 \text{ kN/m}^3$
 Rigidité normale : $K_n = 10000,00 \text{ kN/m}^3$
 Réduction c : $\delta c = 0,30$
 Réduction μ : $\delta \mu = 0,30$
 Angle de dilatation : $\psi = 0,00^\circ$
 Résistance à la traction : $R_t = 0,000 \text{ kPa}$

Points libres

Num.	Emplacement		Num.	Emplacement		Num.	Emplacement		Num.	Emplacement	
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]		x [m]	z [m]		x [m]	z [m]
1	0,00	-10,00									



Lignes libres

Num.	Type ligne	Manière saisie	Topologie de la ligne
1	segment		Origine (0,00; -10,00) [m] , fin (0,00; 0,00) [m]

Raffinement des lignes

Num.	Emplacement	Rayon r [m]	Long. l [m]
1	Ligne libre n° 1	5,00	0,50

Générer le maillage

Paramètres de la génération du maillage

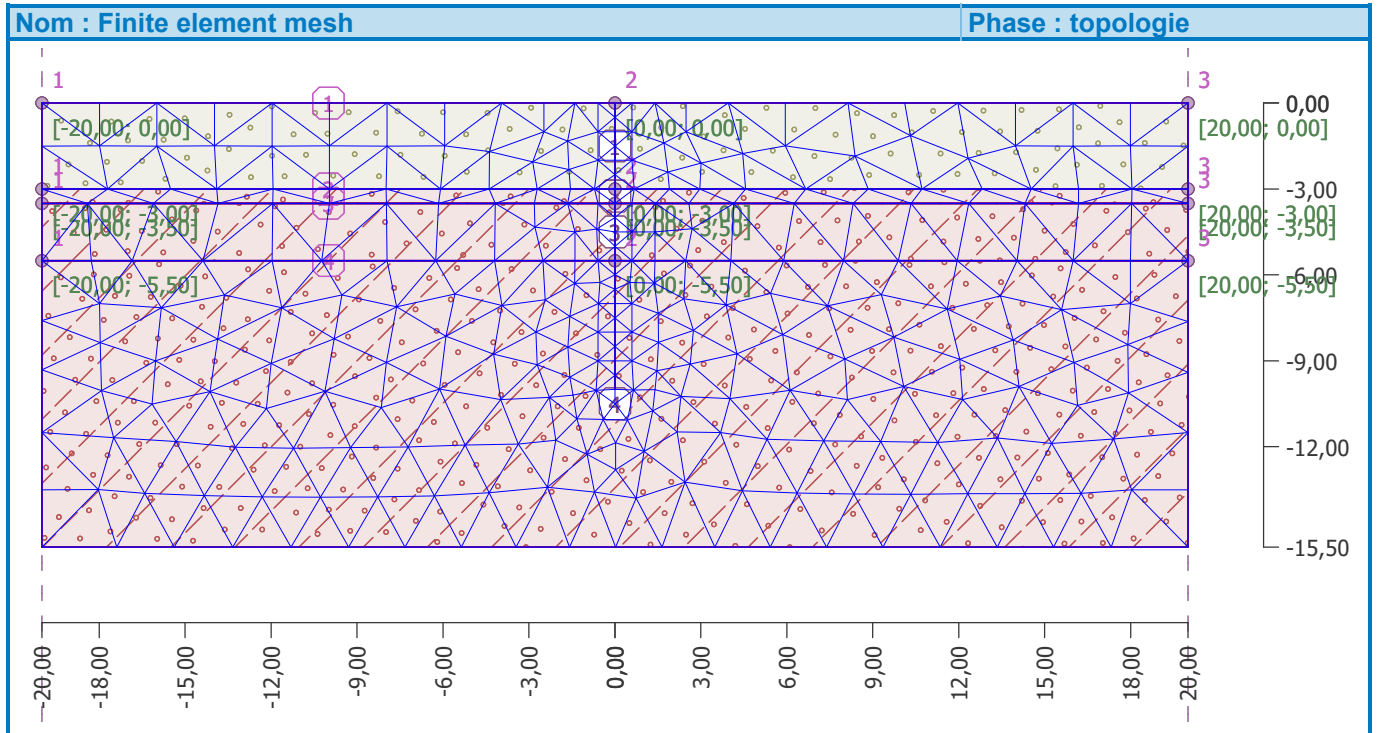
Long. du bord d'élém. : 2,00 [m]
Lisser le maillage : oui
Générer les éléments à plusieurs nœuds : oui

Résultat de la génération du maillage

Maillage des éléments finis a été généré avec succès.

Nombre des nœuds 1809

Nombre des éléments 1162 (superficiels 546, de poutre 154, de transition 462)



Données d'entrée (Phase de construction 1)

Assignment et activation

Num.	Domaine	Actif / inactif	Sol assigné
1		Actif	Soil n. 1 - Class S4



Num.	Domaine		Actif / inactif	Sol assigné
2			Actif	Soil n. 1 - Class S4
3			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
4			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
5			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
6			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
7			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency

Appuis linéiques

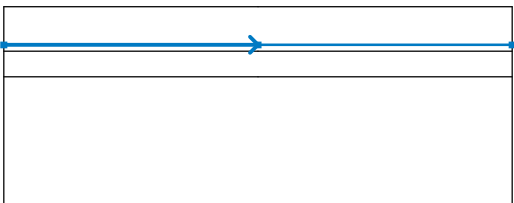
Num.	Emplacement	Soutènement	
		Dans le sens de X	Dans le sens de Z
A1	Ligne du maillage n° 15	solide	libre
A2	Ligne du maillage n° 13	solide	libre
A3	Ligne du maillage n° 9	solide	libre
A4	Ligne du maillage n° 5	solide	libre
A5	Ligne du maillage n° 17	solide	libre
A6	Ligne du maillage n° 12	solide	libre
A7	Ligne du maillage n° 8	solide	libre
A8	Ligne du maillage n° 2	solide	libre
A9	Ligne du maillage n° 16	solide	solide

A1 à A9 - les appuis linéiques générés automatiquement aux bords de l'étude.



Eau

Type : Nappe phréatique

Num.	Placement de la nappe phréatique	Coordonnées des points de la nappe phréatique [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	-3,00	0,00	-3,00	20,00	-3,00

Paramètres du calcul

Général

Méthode : Newton - Raphson
 Modification de la matrice de rigidité : après chaque itération
 Nombre maximum des itérations par augmentation partielle : 100
 Augmentation partielle initiale : 0,25
 Marge d'erreur du glissement : 0,0100
 Marge d'erreurs des forces en déséquilibre : 0,0100
 Marge d'erreur de l'énergie : 0,0100
 Respecter l'interface matérielle : non

Newton - Raphson

Coefficient de relaxation de l'augmentation partielle : 2
 Nombre maximale des relaxations de l'augmentation partielle : 2
 Nombre minimal des itérations par augmentation partielle : 1

Line search

Méthode de la solution : ne pas itérer
 Line search limit - minimum : 0,100
 Line search limit - maximum : 1,000

Plasticité

Marge d'erreur du retour sur la surface de plasticité : 0,00100
 Nombre maximal des itérations par augmentation plastique : 20

Résultats (Phase de construction 1)

Calcul de l'état de contraintes a été réussi.

Paramètres du calcul : **utilisateur**

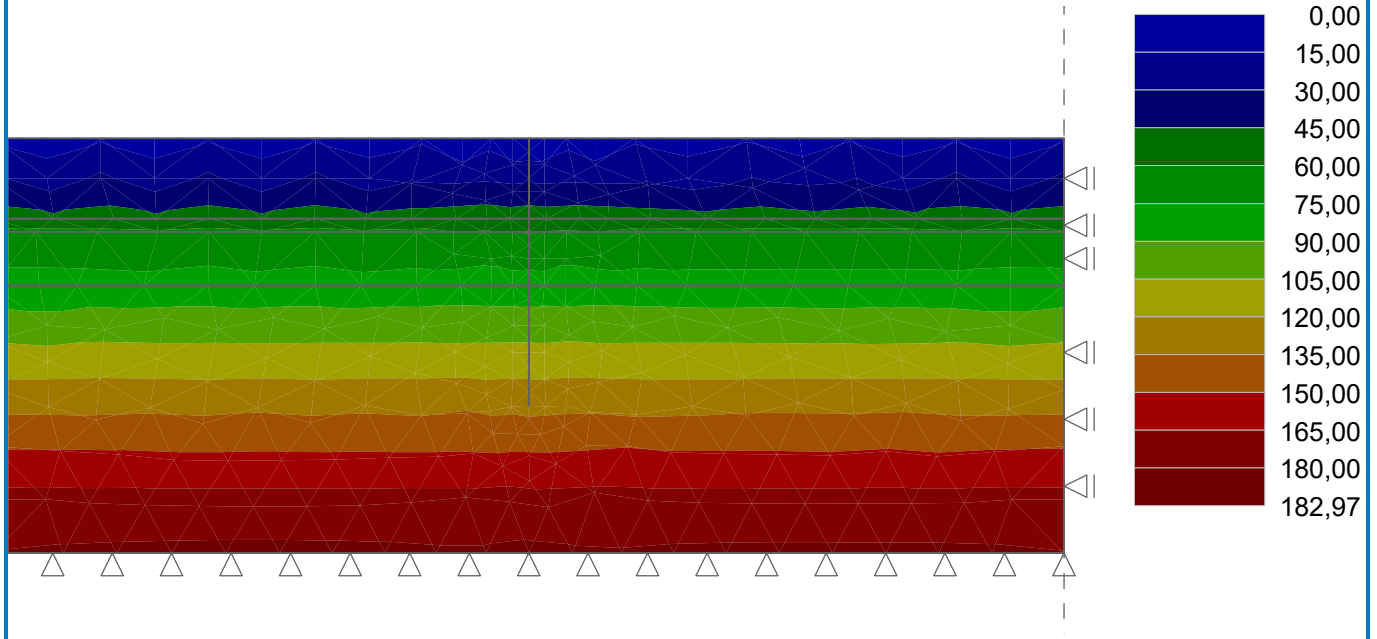
Charge atteinte = 100,00 %



Nom : Calcul

Phase : 1

Résultats : total; grandeur : Sigma z, eff.; limites : <0,00; 182,97> kPa



Extrêmes

Contrainte (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Sigma z, tot. [kPa]	0,00	0,00	0,00	-9,30	-15,50	307,97
Sigma z, eff. [kPa]	0,00	0,00	0,00	-9,30	-15,50	182,97
Sigma x, tot. [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	246,98
Sigma x, eff. [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	121,98
Tau xz [kPa]	0,00	-10,50	0,00	-14,14	-10,07	0,00
Sigma moyen, tot. [kPa]	0,00	0,00	1,86	-9,30	-15,50	267,31
Sigma moyen, effect. [kPa]	0,00	0,00	1,86	-9,30	-15,50	142,31
Sigma eq. [kPa]	0,00	0,00	0,99	-9,30	-15,50	35,21
Sigma 1, tot. [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	246,98
Sigma 1, eff. [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	121,98
Sigma 2, tot. [kPa]	0,00	0,00	3,00	-9,30	-15,50	307,97
Sigma 2, eff. [kPa]	0,00	0,00	3,00	-9,30	-15,50	182,97
Sigma 3, tot. [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	246,98
Sigma 3, eff. [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	121,98

Déformation (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon eq. [%]	0,00	0,00	0,03	-9,30	-15,50	2,19
Epsilon eq., pl. [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon x [%]	1,32	-10,75	0,00	-5,22	-11,94	0,00
Epsilon z [%]	0,00	0,00	0,02	-9,30	-15,50	1,90
Gama xz [%]	0,00	-10,50	0,00	-14,14	-10,07	0,00
Epsilon x, pl. [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon z, pl. [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Gama xz, pl. [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon vol. [%]	0,00	0,00	0,02	-9,30	-15,50	1,90



	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon vol., pl. [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon 1 [%]	1,32	-10,75	0,00	-5,22	-11,94	0,00
Epsilon 2 [%]	0,00	0,00	0,02	-9,30	-15,50	1,90
Epsilon 3 [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00

Pressions interstitielles (extrêmes)

	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]	
Pression interstitielle u [kPa]	5,42	-15,50	125,00

Données d'entrée (Phase de construction 2)

Assignation et activation

Num.	Domaine	Actif / inactif	Sol assigné
1		Inactif	
2		Actif	Soil n. 1 - Class S4
3		Inactif	
4		Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
5		Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
6		Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency



Num.	Domaine	Actif / inactif	Sol assigné
7		Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency

Poutres

Num.	Poutres		Emplacement	Installation [m]		Considère poids propre	Section	Matériau	Contacts	
	nouveau	modifié		Début	Fin				à gauche	à droite
1	Oui		Ligne libre n° 1	0,50		Oui	1,00 (b) x 0,50 (h) m	B 20	Contact n. 1	Contact n. 1

Num.	Section		Matériau	
	I_y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	1,04E-02	5,00E-01	27000,00	11340,00

Appuis linéiques

Num.	Appui linéique		Emplacement	Soutènement	
	nouveau	modifié		Dans le sens de X	Dans le sens de Z
A1	Oui		Ligne du maillage n° 15	solide	libre
A2	Oui		Ligne du maillage n° 13	solide	libre
A3	Oui		Ligne du maillage n° 17	solide	libre
A4	Oui		Ligne du maillage n° 12	solide	libre
A5	Oui		Ligne du maillage n° 8	solide	libre
A6	Oui		Ligne du maillage n° 2	solide	libre
A7	Oui		Ligne du maillage n° 16	solide	solide

A1 à A7 - les appuis linéiques générés automatiquement aux bords de l'étude.

Eau

Type : Nappe phréatique

Num.	Placement de la nappe phréatique	Coordonnées des points de la nappe phréatique [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	-3,90	0,00	-3,90	0,00	-3,00
		20,00	-3,00				

Paramètres du calcul

Général

Méthode : Newton - Raphson
 Modification de la matrice de rigidité : après chaque itération
 Nombre maximum des itérations par augmentation partielle : 100
 Augmentation partielle initiale : 0,25
 Marge d'erreur du glissement : 0,0100
 Marge d'erreurs des forces en déséquilibre : 0,0100
 Marge d'erreur de l'énergie : 0,0100
 Respecter l'interface matérielle : non

Newton - Raphson

Coefficient de relaxation de l'augmentation partielle : 2
 Nombre maximale des relaxations de l'augmentation partielle : 2
 Nombre minimal des itérations par augmentation partielle : 1

Line search

Méthode de la solution : ne pas itérer



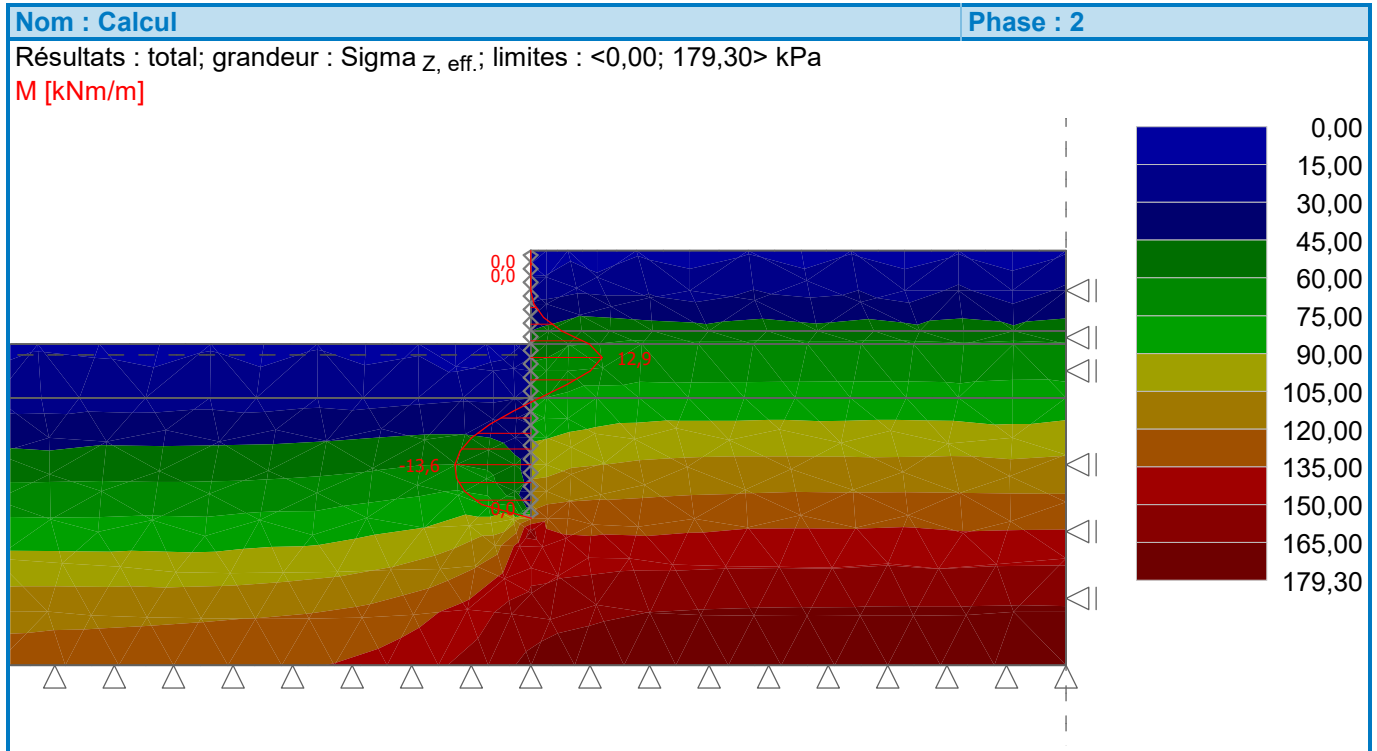
Line search limit - minimum : 0,100
Line search limit - maximum : 1,000
Plasticité
Marge d'erreur du retour sur la surface de plasticité : 0,00100
Nombre maximal des itérations par augmentation plastique : 20

Résultats (Phase de construction 2)

Calcul de l'état de contraintes a été réussi.

Paramètres du calcul : **utilisateur**

Charge atteinte = 100,00 %



Extrêmes

Déformation (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Déformation x [m]	20,00	0,00	0,0	0,00	0,00	70,5
Déformation z [m]	-9,97	-3,50	-84,8	1,40	0,00	33,2

Contrainte (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Sigma z, tot. [kPa]	0,00	0,00	0,00	15,31	-15,50	304,30
Sigma z, eff. [kPa]	0,00	0,00	0,00	15,31	-15,50	179,30
Sigma x, tot. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	243,02
Sigma x, eff. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	118,02
Tau xz [kPa]	1,72	-1,40	-0,87	-0,42	-11,05	22,67
Sigma moyen, tot. [kPa]	2,49	0,00	1,39	15,31	-15,50	263,75
Sigma moyen, effect. [kPa]	2,49	0,00	1,39	15,31	-15,50	138,75
Sigma eq. [kPa]	0,00	0,00	1,58	0,00	-10,50	43,15
Sigma 1, tot. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	242,93
Sigma 1, eff. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	117,93



	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Sigma 2, tot. [kPa]	0,00	0,00	3,41	11,35	-15,50	304,45
Sigma 2, eff. [kPa]	0,00	0,00	3,41	11,35	-15,50	179,45
Sigma 3, tot. [kPa]	0,00	0,00	0,97	15,31	-15,50	243,93
Sigma 3, eff. [kPa]	0,00	0,00	0,97	15,31	-15,50	118,93

Déformation (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon eq. [%]	0,00	0,00	0,08	0,00	-10,50	2,71
Epsilon eq., pl. [%]	20,00	-3,50	0,00	0,00	-2,00	2,01
Epsilon x [%]	0,00	-2,00	-1,06	0,00	-9,50	0,82
Epsilon z [%]	-0,59	-3,50	-0,31	0,00	-10,50	1,89
Gama xz [%]	1,72	-1,40	-0,10	0,00	-9,50	1,73
Epsilon x, pl. [%]	0,00	-2,00	-0,96	0,00	-9,50	0,17
Epsilon z, pl. [%]	0,00	-3,50	-0,13	0,00	-2,00	1,03
Gama xz, pl. [%]	1,72	-1,40	-0,08	0,00	-9,50	0,69
Epsilon vol. [%]	2,49	0,00	0,02	15,31	-15,50	1,85
Epsilon vol., pl. [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Epsilon 1 [%]	0,00	-2,00	-1,07	-9,79	-8,23	0,25
Epsilon 2 [%]	0,00	0,00	0,05	0,00	-10,50	2,03
Epsilon 3 [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Pressions interstitielles (extrêmes)

	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]	
Pression interstitielle u [kPa]	5,42	-15,50	125,00

Diagrammes des valeurs appliquées aux poutres (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
N [kN/m]	0,00	-10,00	-107,2	0,00	0,00	0,0
M [kNm/m]	0,00	-8,00	-13,6	0,00	-4,00	12,9
Q [kN/m]	0,00	-10,00	-21,8	0,00	-5,50	9,9

Données d'entrée (Phase de construction 3)

Assignation et activation

Num.	Domaine	Actif / inactif	Sol assigné
1		Inactif	
2		Actif	Soil n. 1 - Class S4



Num.	Domaine		Actif / inactif	Sol assigné
3			Inactif	
4			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
5			Inactif	
6			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
7			Actif	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency

Poutres

Num.	Poutres		Emplacement	Installation [m]		Considère poids propre	Section	Matériau	Contacts	
	nouveau	modifié		Début	Fin				à gauche	à droite
1	Non	Non	Ligne libre n° 1	0,50		Oui	sans modification	sans modification	Contact n. 1	Contact n. 1

Num.	Section		Matériau	
	I_y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	1,04E-02	5,00E-01	27000,00	11340,00

Appuis linéiques

Num.	Appui linéique		Emplacement	Soutènement	
	nouveau	modifié		Dans le sens de X	Dans le sens de Z
A1	Oui		Ligne du maillage n° 15	solide	libre
A2	Oui		Ligne du maillage n° 17	solide	libre
A3	Oui		Ligne du maillage n° 12	solide	libre
A4	Oui		Ligne du maillage n° 8	solide	libre
A5	Oui		Ligne du maillage n° 2	solide	libre
A6	Oui		Ligne du maillage n° 16	solide	solide

A1 à A6 - les appuis linéiques générés automatiquement aux bords de l'étude.



Ancrages

Num.	Ancrage		Origine		Long. et inclin. / coordonnées		Dist. d'ancrages b [m]	diamètre/su d [mm] / A [mm ²]	Module d'élast. E [MPa]	Effort trac. limit. F _c [kN]	Agit en compression	Force F [kN]
	nouv.	en tens.	x [m]	z [m]	l [m] / x [m]	α [°] / z [m]						
1	Oui		0,00	-2,90	l = 12,00	α = 15,00	1,00	d = 10,0	10000,00	1E80	Non	185,00

Eau

Type : Nappe phréatique

Num.	Placement de la nappe phréatique	Coordonnées des points de la nappe phréatique [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	-5,90	0,00	-5,90	0,00	-3,00
		20,00	-3,00				

Paramètres du calcul

Général

Méthode : Newton - Raphson
 Modification de la matrice de rigidité : après chaque itération
 Nombre maximum des itérations par augmentation partielle : 100
 Augmentation partielle initiale : 0,25
 Marge d'erreur du glissement : 0,0100
 Marge d'erreurs des forces en déséquilibre : 0,0100
 Marge d'erreur de l'énergie : 0,0100
 Respecter l'interface matérielle : non

Newton - Raphson

Coefficient de relaxation de l'augmentation partielle : 2
 Nombre maximale des relaxations de l'augmentation partielle : 2
 Nombre minimal des itérations par augmentation partielle : 1

Line search

Méthode de la solution : ne pas itérer
 Line search limit - minimum : 0,100
 Line search limit - maximum : 1,000

Plasticité

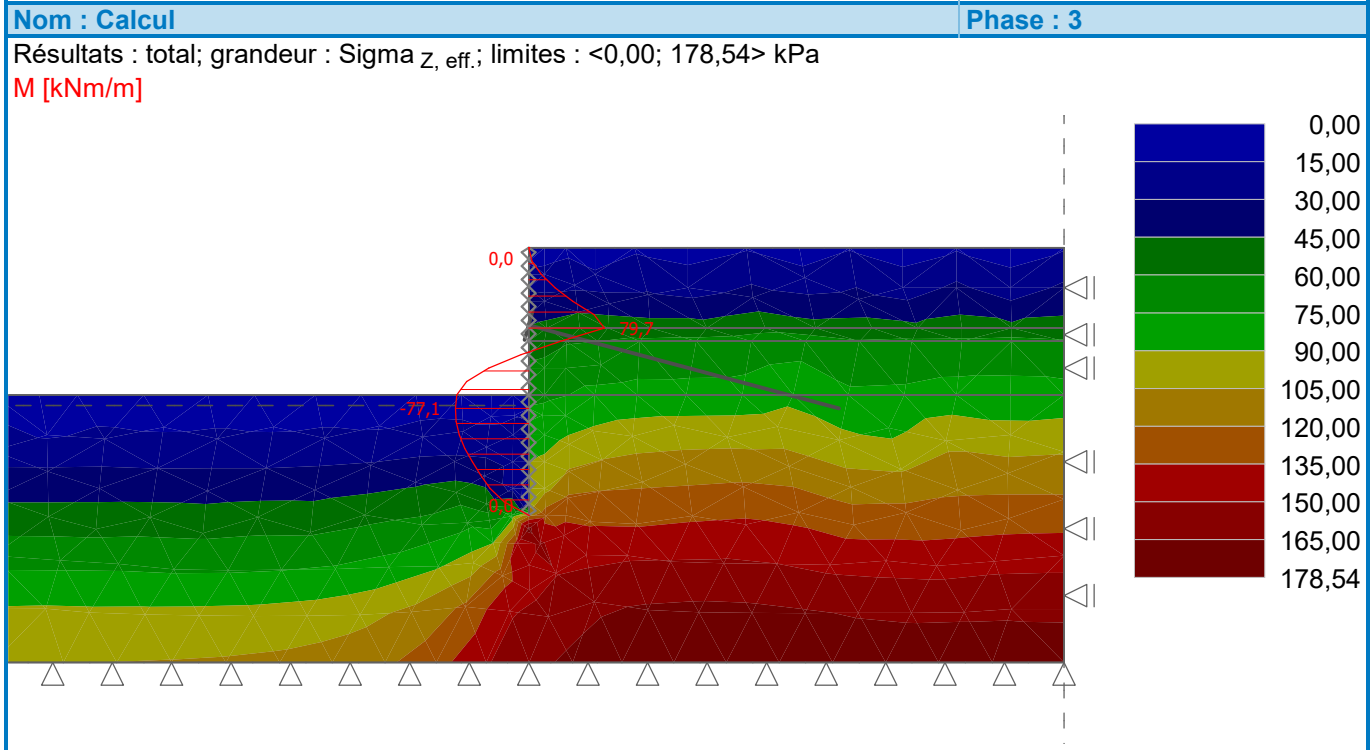
Marge d'erreur du retour sur la surface de plasticité : 0,00100
 Nombre maximal des itérations par augmentation plastique : 20

Résultats (Phase de construction 3)

Calcul de l'état de contraintes a été réussi.

Paramètres du calcul : **utilisateur**

Charge atteinte = 100,00 %



Extrêmes

Déformation (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Déformation x [m]	20,00	0,00	0,0	0,00	-9,50	104,7
Déformation z [m]	-6,25	-5,50	-105,9	1,40	0,00	44,8

Contrainte (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Sigma z, tot. [kPa]	-1,40	-5,50	0,00	7,38	-15,50	303,54
Sigma z, eff. [kPa]	0,00	-5,50	0,00	7,38	-15,50	178,54
Sigma x, tot. [kPa]	10,11	0,00	-2,83	11,35	-15,50	239,14
Sigma x, eff. [kPa]	10,11	0,00	-2,83	11,35	-15,50	114,14
Tau xz [kPa]	8,32	-3,50	-6,05	-0,42	-11,05	36,84
Sigma moyen, tot. [kPa]	10,11	0,00	1,85	7,38	-15,50	261,24
Sigma moyen, effect. [kPa]	10,11	0,00	1,85	7,38	-15,50	136,24
Sigma eq. [kPa]	3,96	0,00	3,07	0,00	-10,50	51,71
Sigma 1, tot. [kPa]	10,11	0,00	-2,83	13,34	-15,50	238,32
Sigma 1, eff. [kPa]	10,11	0,00	-2,83	13,34	-15,50	113,32
Sigma 2, tot. [kPa]	10,11	0,00	6,70	5,42	-15,50	307,31
Sigma 2, eff. [kPa]	10,11	0,00	6,70	5,42	-15,50	182,31
Sigma 3, tot. [kPa]	10,11	0,00	1,68	7,38	-15,50	241,77
Sigma 3, eff. [kPa]	10,11	0,00	1,68	7,38	-15,50	116,77

Déformation (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon eq. [%]	0,59	0,00	0,18	0,00	-9,50	7,34
Epsilon eq., pl. [%]	8,32	-3,50	0,00	0,00	-9,50	6,32



	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon x [%]	0,00	-10,50	-1,05	0,00	-9,50	2,91
Epsilon z [%]	0,00	-9,50	-2,64	0,00	-10,50	2,73
Gama xz [%]	0,00	-9,50	-0,43	0,00	-9,50	4,80
Epsilon x, pl. [%]	0,00	-2,00	-0,96	0,00	-9,50	2,41
Epsilon z, pl. [%]	0,00	-9,50	-2,33	0,00	-2,00	1,03
Gama xz, pl. [%]	0,00	-9,50	-0,31	0,00	-9,50	4,17
Epsilon vol. [%]	10,11	0,00	0,02	7,38	-15,50	1,82
Epsilon vol., pl. [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Epsilon 1 [%]	0,00	-9,50	-3,54	-17,92	-10,04	0,26
Epsilon 2 [%]	0,59	0,00	0,16	0,00	-9,50	3,81
Epsilon 3 [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Pressions interstitielles (extrêmes)

	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]	
Pression interstitielle u [kPa]	5,42	-15,50	125,00

Diagrammes des valeurs appliquées aux poutres (extrêmes)

	Emplacement		Min	Emplacement		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
N [kN/m]	0,00	-10,00	-155,5	0,00	0,00	0,6
M [kNm/m]	0,00	-6,00	-77,1	0,00	-3,00	79,7
Q [kN/m]	0,00	-10,00	-62,1	0,00	-3,50	87,9