



PARTIE E : MODULE TASNEG

E.1. INTRODUCTION.....	3
E.2. ASPECTS THEORIQUES.....	4
E.2.1. Principes de calcul.....	4
E.2.1.1. Calcul pratique général.....	4
E.2.1.2. Cas d'un pieu isolé.....	5
E.2.1.3. Cas d'un pieu dans un réseau.....	6
E.2.1.4. Cas d'un groupe limité de pieux.....	9
E.2.1.5. Hauteur critique d'action du frottement négatif.....	10
E.2.2. Applications et limites.....	10
E.3. MANUEL D'UTILISATION.....	11
E.3.1. Onglet "Paramètres".....	11
E.3.1.1. Cadre "Paramètres généraux".....	11
E.3.1.2. Cadre "Paramètres de la maille élémentaire des pieux".....	11
E.3.1.3. Cadre "Caractéristique de la nappe".....	12
E.3.2. Onglet "Couches".....	12
E.3.2.1. Cadre "Type de modèle de calcul".....	13
E.3.2.2. Cadre "Définition des couches de sol".....	14
E.3.3. Onglet "Supplément de contraintes".....	15
E.3.3.1. Cadre "Contrainte Q1 en tête de profil".....	15
E.3.3.2. Cadre "Supplément de contrainte à la base de chaque couche".....	15
E.3.3.3. Cadre "Réduction des contraintes".....	16
E.3.3.4. Importation des suppléments de contrainte à partir de Tasseldo.....	16
E.3.3.5. Importation des suppléments de contrainte à partir de Taspie+.....	18
E.3.4. Onglet "Hauteur de calcul".....	18
E.3.5. Calcul et Résultats.....	18
E.3.5.1. Calcul.....	18
E.3.5.2. Résultats.....	18
E.4. EXEMPLES.....	25
E.4.1. Calcul du frottement négatif par le modèle de Combarieu.....	25
E.4.1.1. Saisie des données.....	26
E.4.1.2. Calcul et résultats.....	30
E.4.1.3. Exemple1 : Variante.....	33

E.4.2. Exemple 2.....	37
E.4.2.1. Création du projet	37
E.4.2.2. Etape 1 : module Tasseldo.....	38
E.4.2.3. Etape 2 : module Tasneg	44

TABLE DES FIGURES

Figure E.1 : Détermination du coefficient d'accrochage λ	5
Figure E.2 : Abaques de détermination de $m(\lambda, b).R/(K.tan\delta)$	6
Figure E.3 : Etats de contraintes dans le sol aux différentes étapes.....	7
Figure E.4 : Définition de la contrainte moyenne entre les inclusions	8
Figure E.5 : File de pieux	9
Figure E.6 : Groupe de pieux.....	9
Figure E.7 : Onglet "Paramètres".....	11
Figure E.8 : Figure d'aide - Représentation relative au choix des dimensions des mailles.....	12
Figure E.9 : Onglet "Couches" (cas de données oedométriques et cas de données élastiques linéaires)	13
Figure E.10 : Onglet "Supplément de contraintes"	15
Figure E.11 : Figure d'aide relative à la définition du supplément de contrainte	15
Figure E.12 : Assistant d'importation des suppléments de contrainte à partir de résultats d'un calcul Tasseldo	17
Figure E.13 : Assistant d'importation des suppléments de contrainte à partir de résultats d'un calcul Tasseldo – Sélection d'un point de calcul Tasseldo	17
Figure E.14 : Onglet "Hauteur de calcul"	18
Figure E.15 : Fenêtre des résultats.....	19
Figure E.16 : Résultats numériques : Résultats formatés	20
Figure E.17 : Résultats numériques : tableaux de résultats	22
Figure E.18 : Résultats graphiques : Courbes principales.....	22
Figure E.19 : Résultats graphiques : Tassements superposés	23
Figure E.20 : Résultats graphiques : Contraintes superposées	24

TABLE DES TABLEAUX

Tableau E.1 : Valeurs de $Ktan\delta$ pour différents types de sols et modes de réalisation des pieux	5
Tableau E.2 : Paramètres de calcul.....	12
Tableau E.3 : Propriétés des couches de sol	14
Tableau E.4 : Paramètres "Supplément de contraintes"	16
Tableau E.5 : Equivalences des notations Combarieu/Tasneg.....	20

E.1. INTRODUCTION

Le module TASNEG permet de calculer le frottement négatif agissant sur un pieu isolé ou sur un groupe de pieux, selon la méthode de Combarieu (rapport de recherche LPC 136 d'Octobre 1985).

E.2. ASPECTS THEORIQUES

E.2.1. Principes de calcul

La méthode de calcul adoptée est celle développée par O. Combarieu, du Laboratoire des Ponts et Chaussées de Rouen. Cette méthode a été élaborée à partir de la constatation suivante : le frottement négatif résulte de la transmission d'un effort du sol au pieu, et ce mécanisme ne peut s'effectuer sans une diminution de la contrainte verticale régnant dans le sol au voisinage du pieu. Pour en tenir compte, on introduit la notion d'accrochage du matériau autour du fût du pieu et on définit une loi de variation horizontale de la contrainte verticale à la cote z .

E.2.1.1. Calcul pratique général

Les méthodes employées pour déterminer l'intensité des efforts engendrés par frottement négatif postulent que le déplacement du sol est suffisant pour mobiliser le frottement négatif unitaire maximal $\tau'_f(z)$ donné par :

$$\tau'_f(z) = K \cdot \tan \delta \cdot \sigma'_v(z)$$

avec :

- $\sigma'_v(z)$: contrainte verticale effective régnant au contact du sol et du fût du pieu à la cote z ;
- $K \cdot \tan \delta$: coefficient traité comme un paramètre unique caractérisant le sol et le type de pieu.

Si h_c désigne la hauteur du pieu sur laquelle un frottement négatif unitaire $\tau_f(z)$ est susceptible de se développer, on peut estimer le frottement négatif total par la relation :

$$Gsf = 2 \cdot \pi \cdot R \int_0^{h_c} K \cdot \tan \delta \cdot \sigma'_v(z) \cdot dz$$

la valeur de $K \cdot \tan \delta$ étant donnée par le Tableau E.1 (cf tableau H.2.2.1 de l'annexe H de la norme NF P 94 262).

Combarieu (1974) propose une loi empirique de variation radiale des contraintes verticales, telle que pour $r > R$ (Rayon du pieu) on ait :

$$\sigma'(z,r) - \sigma'(z,R) = (\sigma'_1(z) - \sigma'(z,R)) \left(1 - e^{-\frac{\lambda \cdot (r-R)}{R}} \right)$$

où :

- $\sigma'(z,r)$ est la contrainte verticale à la profondeur z et à la distance r du pieu,
- $\sigma'_1(z)$ est la contrainte verticale à l'emplacement du pieu régnant en l'absence de celui-ci,
- λ est un coefficient appelé coefficient d'accrochage.

Le coefficient d'accrochage λ est relié au facteur $K \tan \delta$ de la manière suivante :

$$\lambda = \begin{cases} \frac{1}{0,5 + 25 K \tan \delta} & \text{pour } K \tan \delta < 0,15 \\ 0,385 - K \tan \delta & \text{si } 0,15 < K \tan \delta < 0,385 \\ 0 & \text{pour } K \tan \delta > 0,385 \end{cases}$$

Sols		Pieux			
		Pieux forés tubés	Pieux forés	Pieux battus	Pieux chemisés bitume
Tourbes	sols organiques	0,10	0,15	0,20	<0,05
Argiles, Limons	mous	0,10	0,15	0,20	<0,05
	fermes à durs	0,15	0,20	0,30	<0,05
Sables, graves	très lâches	0,35	0,35	0,35	<0,05
	lâches	0,45	0,45	0,45	<0,05
	autres	1,00	1,00	1,00	<0,05

NOTE 1 – Le choix du type de sol pourra être guidé par les catégories conventionnelles données dans l'annexe B.

NOTE 2 – Lorsque le type de sol ne peut être identifié précisément, le terme $K_{tan\delta}$ est déterminé par interpolation à partir des différentes valeurs présentées dans le tableau H.2.2.1.

NOTE 3 – Naturellement, la valeur de calcul de $K_{tan\delta}$ pourra être déduite des mesures effectuées lorsque, pour diverses raisons, et en particulier lorsque l'économie du projet le justifie, on est amené à procéder, sur le site même, à des essais en vraie grandeur.

Tableau E.1 : Valeurs de $K_{tan\delta}$ pour différents types de sols et modes de réalisation des pieux

Le graphique suivant illustre cette relation.

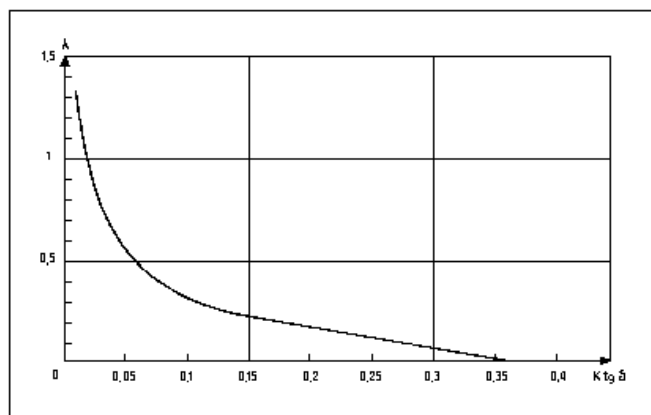


Figure E.1 : Détermination du coefficient d'accrochage λ

E.2.1.2. Cas d'un pieu isolé

La détermination de la contrainte verticale au contact du fût du pieu peut se formuler sous la forme d'une équation différentielle du premier ordre :

$$m(\lambda, \infty) \cdot \sigma'_v(z) + \frac{d\sigma'_v(z)}{dz} = \frac{d\sigma'_1(z)}{dz}$$

avec :

$$m(\lambda, \infty) = \frac{\lambda^2 K \tan \delta}{(1 + \lambda) R}$$

Nota: dans les résultats formatés de Tasneg, σ'_v est noté q, σ'_1 est noté sigmax, et $m(\lambda, \infty)$ est noté m1 (cf chapitre E.3.5.2.1).

E.2.1.3. Cas d'un pieu dans un réseau

E.2.1.3.1. Calcul du frottement négatif

Comme dans le cas précédent, la contrainte verticale au contact du fût du pieu vérifie l'équation différentielle suivante :

$$m(\lambda, b) \cdot \sigma'_v(z) + \frac{d \sigma'_v(z)}{dz} = \frac{d \sigma'_1(z)}{dz}$$

avec : b défini par la dimension de la maille des pieux : $b = \sqrt{\frac{S \cdot S'}{\pi}}$

où S et S' caractérisent l'entraxe des pieux dans les deux directions du plan.

Le coefficient $m(\lambda, b)$ (notation $m2$ dans les résultats formatés de Tasneg) est exprimé par la relation suivante (cf abaques sur la Figure E.2) :

$$m(\lambda, b) = \frac{\lambda^2 K \tan \delta}{\left(1 + \lambda - \left(1 + \frac{\lambda b}{R}\right) \cdot e^{-\frac{\lambda(b-R)}{R}}\right) \cdot R}$$

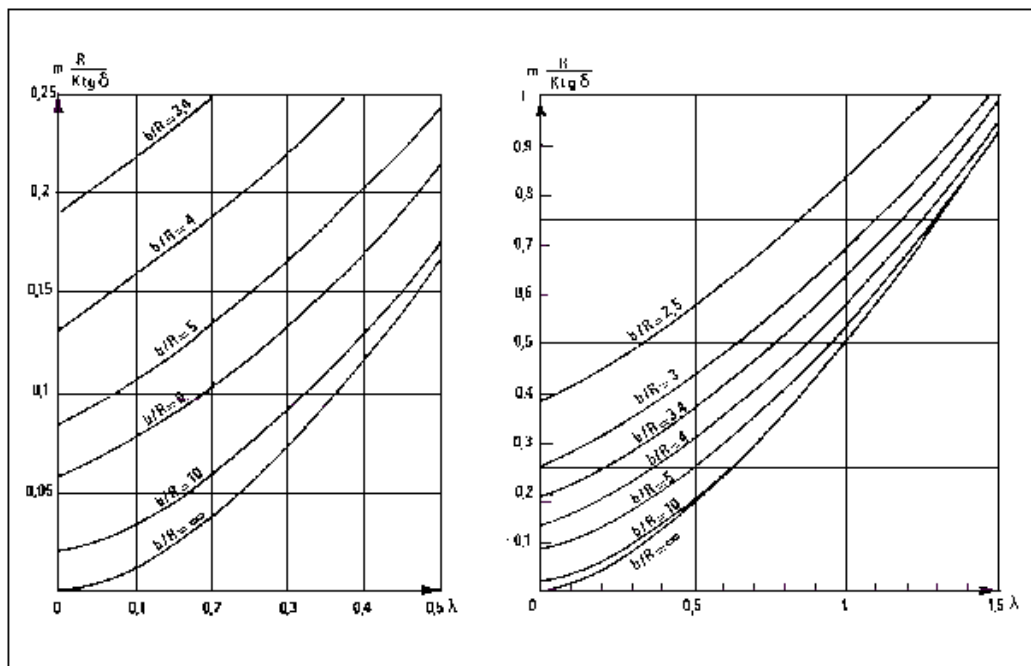
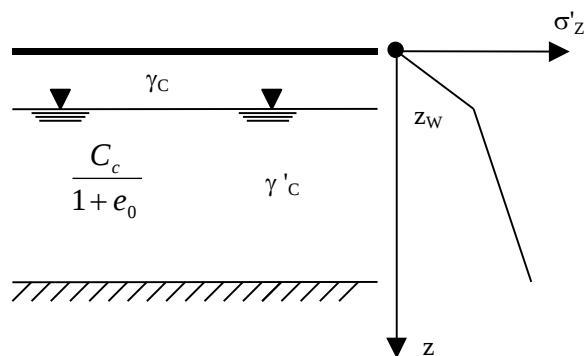


Figure E.2 : Abaques de détermination de $m(\lambda, b) \cdot R / (K \cdot \tan \delta)$

La résolution des équations différentielles précédentes conduit dans les deux cas (pieu isolé et pieu dans un réseau infini respectivement) à la solution suivante (où m désigne $m(\lambda, \infty)$ et $m(\lambda, b)$ respectivement) :

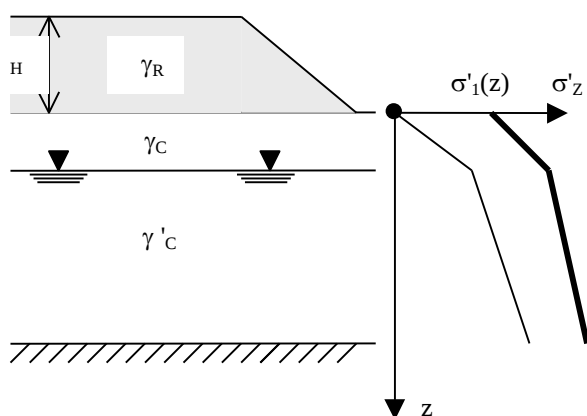
$$\sigma'_v(z) = \left(\sigma'_v(0) - \frac{1}{m} \cdot \frac{d \sigma'_1(z)}{dz} \right) \cdot e^{-mz} + \frac{1}{m} \cdot \frac{d \sigma'_1(z)}{dz}$$

La Figure E.3 illustre les états de contraintes dans le sol aux différentes phases de construction.



ETAT INITIAL

$$\sigma'_0(z) = \begin{cases} \gamma_c \cdot z & \text{pour } 0 < z < z_w \\ \gamma_c \cdot z_w + \gamma'_c(z - z_w) & \text{pour } z > z_w \end{cases}$$



MISE EN PLACE DU REMBLAI

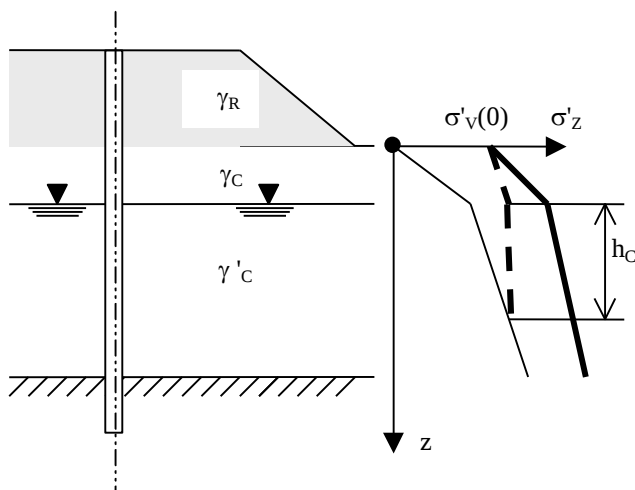
$$\sigma'_1(z) = \sigma'_0(z) + q(z)$$

$$q(z) = q_0 = \gamma_R H$$

pour un remblai de grande emprise

$$q(z) = f(q_0, z)$$

pour un remblai à emprise limitée



MISE EN PLACE DU PIEU

$$\sigma'_v(z) = \left(\sigma'_v(0) - \frac{1}{m} \cdot \frac{d \sigma'_1(z)}{dz} \right) \cdot e^{-mz} + \frac{1}{m} \cdot \frac{d \sigma'_1(z)}{dz}$$

Figure E.3 : Etats de contraintes dans le sol aux différentes étapes

La connaissance de la contrainte verticale σ'_v permet de calculer la hauteur critique h_c pour laquelle $\sigma'_v(z) = \sigma'_0(z)$. Le frottement négatif n'est comptabilisé que sur h_c . Si h_c correspond à une valeur de z plus profonde que la base de la couche compressible, le frottement négatif est comptabilisé sur toute la hauteur du pieu concernée.

L'intégration de la relation générale exprimant la résultante du frottement négatif G_{sf} (cf chapitre E.2.1.1) permet d'écrire la relation fondamentale suivante pour une couche dont le sommet se situe à la cote 0 et la base à la cote z_0 :

$$G_{sf} = \frac{2 \pi R K \tan \delta}{m} [(\sigma'_1(z_0) - \sigma'_1(0)) - (\sigma'_v(z_0) - \sigma'_v(0))]$$

E.2.1.3.2. Calcul de la contrainte moyenne entre les inclusions

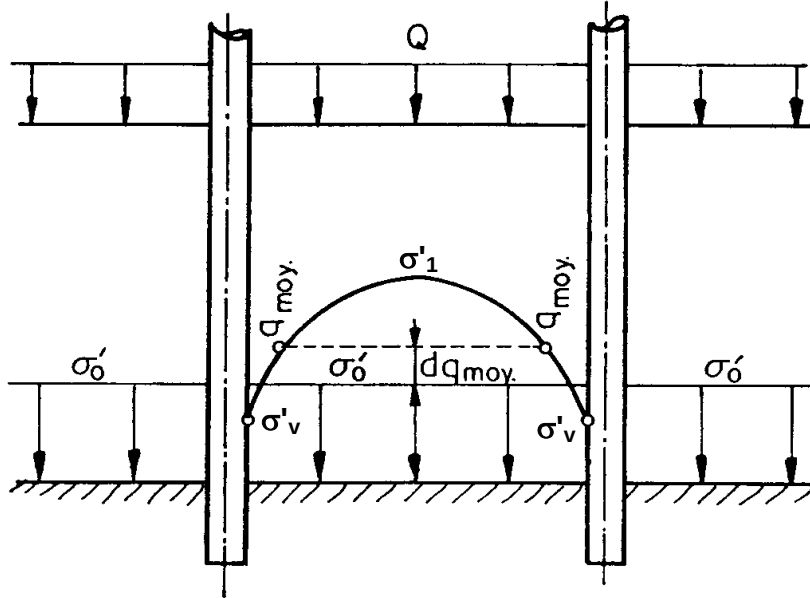


Figure E.4 : Définition de la contrainte moyenne entre les inclusions

La contrainte moyenne entre les inclusions q_{moy} s'écrit :

$$q_{moy}(z) = (1 - T2) \cdot \sigma'_1(z) + T2 \cdot \sigma'_v(z)$$

où T2 caractérise la variation de la contrainte verticale entre les pieux, soit :

$$T2 = \frac{\sigma'_1(z) - q_{moy}(z)}{\sigma'_1(z) - \sigma'_v(z)}$$

Après intégration, T2 s'exprime par la formule :

$$T2 = \frac{2 \cdot K \tan \delta \cdot R}{(b^2 - R^2) \cdot m^2}$$

On note dq_{moy} la différence entre la contrainte moyenne q_{moy} et σ'_0 :

$$dq_{moy} = q_{moy} - \sigma'_0$$

E.2.1.3.3. Calcul du tassement oedométrique

Le tassement oedométrique calculé au sein du réseau est calculé comme suit, à partir de dq_{moy} (si celle-ci est positive) :

- Sol normalement consolidé : $\sigma'_0 = \sigma'_p$

$$\Delta H = H \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \left[\log_{10} \left(1 + \frac{dq_{moy}}{\sigma'_0} \right) \right]$$

- Sol surconsolidé : $\sigma'_0 < \sigma'_p$

$$\checkmark \quad \text{Si } \sigma'_p < (\sigma'_0 + dq_{\text{moy}}) \quad \Delta H = \frac{H}{1+e_0} \left[C_s \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} \right) + C_c \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma'_0 + dq_{\text{moy}}}{\sigma'_p} \right) \right]$$

$$\checkmark \quad \text{Si } \sigma'_p > (\sigma'_0 + dq_{\text{moy}}) \quad \Delta H = H \cdot \frac{C_s}{1+e_0} \left[\log_{10} \left(1 + \frac{dq_{\text{moy}}}{\sigma'_0} \right) \right]$$

E.2.1.4. Cas d'un groupe limité de pieux

En conformité avec la norme NF P 94 262, la valeur du frottement négatif sur chaque type de pieu est calculée selon les règles suivantes.

Une file de pieux

En prenant : $b = \frac{2d}{\sqrt{\pi}}$

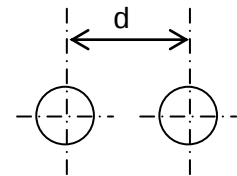


Figure E.5 : File de pieux

- Pieux extérieurs ou d'extrémités : $G_{sf} = G_{sf}(b)/3 + 2.G_{sf}(\infty)/3$
- Pieux intérieurs : $G_{sf} = 2.G_{sf}(b)/3 + G_{sf}(\infty)/3$

Plusieurs files de pieux

En prenant : $b = \sqrt{\frac{4 d d'}{\pi}}$

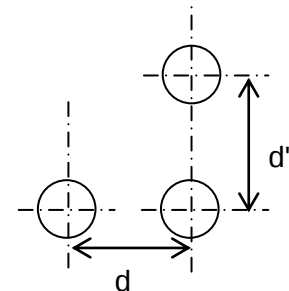


Figure E.6 : Groupe de pieux

- Pieux d'angle : $G_{sf} = 7.G_{sf}(b)/12 + 5.G_{sf}(\infty)/12$
- Pieux extérieurs : $G_{sf} = 5.G_{sf}(b)/6 + G_{sf}(\infty)/6$
- Pieux intérieurs : $G_{sf} = G_{sf}(b)$

$G_{sf}(\infty)$ est la valeur du frottement négatif total pour le pieu supposé isolé ($b = \infty$). $G_{sf}(b)$ est la valeur du frottement négatif total pour un pieu supposé au milieu d'un groupe illimité de pieux, valeurs déterminées par la méthode de Combarieu.

E.2.1.5. Hauteur critique d'action du frottement négatif

En ce qui concerne la hauteur h_c d'action du frottement négatif, trois critères peuvent être adoptés :

- le critère $q_{moy} = \sigma'_o(h_c)$ est adopté par défaut car il est considéré le plus représentatif puisqu'il conduit à prendre comme limite inférieure de l'action du frottement négatif la profondeur où la contrainte moyenne entre les inclusions (qui détermine l'intensité du tassement moyen du sol au même niveau) devient égale à la contrainte verticale initiale du profil considéré (cf article¹).

Nota : ce critère n'est pas applicable pour le pieu isolé ; s'il est sélectionné, il est appliqué pour le pieu dans le réseau, et c'est automatiquement le critère $\sigma'_v(h_c) = \sigma'_o(h_c)$ qui est appliqué pour le pieu isolé ;

- celui pour lequel $\sigma'_v(h_c) = \sigma'_o(h_c)$ correspond à la valeur h1 des recommandations de la norme NF P 94 262 (annexe H - paragraphe H.2.4). Un critère supplémentaire h2 est également défini par la norme NF P 94 262 : niveau auquel le tassement restant à acquérir par le sol après exécution de la fondation calculé sans tenir compte de celle-ci devient égal à B/100. Ce critère n'est pas pris en compte dans TASNEG. Une évaluation par l'ingénieur est donc à mener dans chaque cas ;
- le critère $\sigma'_v(h_c) = 0$ peut être utilisé dans les cas où le tassement qui provoque le frottement négatif n'est pas totalement déterminé par le niveau de contrainte : c'est par exemple le cas d'une couche affectée de fluage.

E.2.2. Applications et limites

La formulation introduite dans le programme permet de traiter les cas des pieux de diamètres quelconques dans toutes les configurations mentionnées plus haut :

- pieux isolés ;
- file de pieux (calculs des pieux d'extrémité et des pieux intérieurs) ;
- groupe limité de pieux (calcul des pieux extérieurs et intérieurs) ;
- groupe illimité de pieux.

La validité du calcul réalisé par TASNEG nécessite de faire coïncider le niveau de la nappe avec la limite d'une couche.

La valeur du poids volumique des différentes couches de sol est utilisée uniquement pour définir la contrainte initiale, avant travaux, $\sigma'_o(z)$. Cette donnée permet de déterminer la hauteur d'action du frottement négatif, selon le choix du critère retenu.

Le déplacement relatif sol-pieu n'est pas pris en compte pour déterminer h_c . Pour les couches peu compressibles, on estimera h_c par des considérations extérieures au programme, et on calculera le frottement négatif à partir des valeurs du tableau de résultats pour $z < h_c$.

¹ B SIMON, *Une méthode intégrée pour le dimensionnement des réseaux d'inclusions rigides en déformations*, XV Congrès International de Mécanique des Sols et de la Géotechnique, Istanbul, 2001

E.3. MANUEL D'UTILISATION

On présente dans ce chapitre les paramètres nécessaires à l'exécution du calcul Tasneg. Certaines zones ne peuvent recevoir que des données ayant une signification physique (Exemple : Poids volumique du sol $\gamma > 0$).

La fenêtre du module Tasneg est constituée de 4 onglets. Tous les onglets sont visibles. Pour changer d'onglet, cliquer simplement sur l'onglet choisi ou utiliser les boutons [Précédent]  et [Suivant] . Toutes les fonctionnalités décrites dans la partie C s'appliquent à ce module.

E.3.1. Onglet "Paramètres"

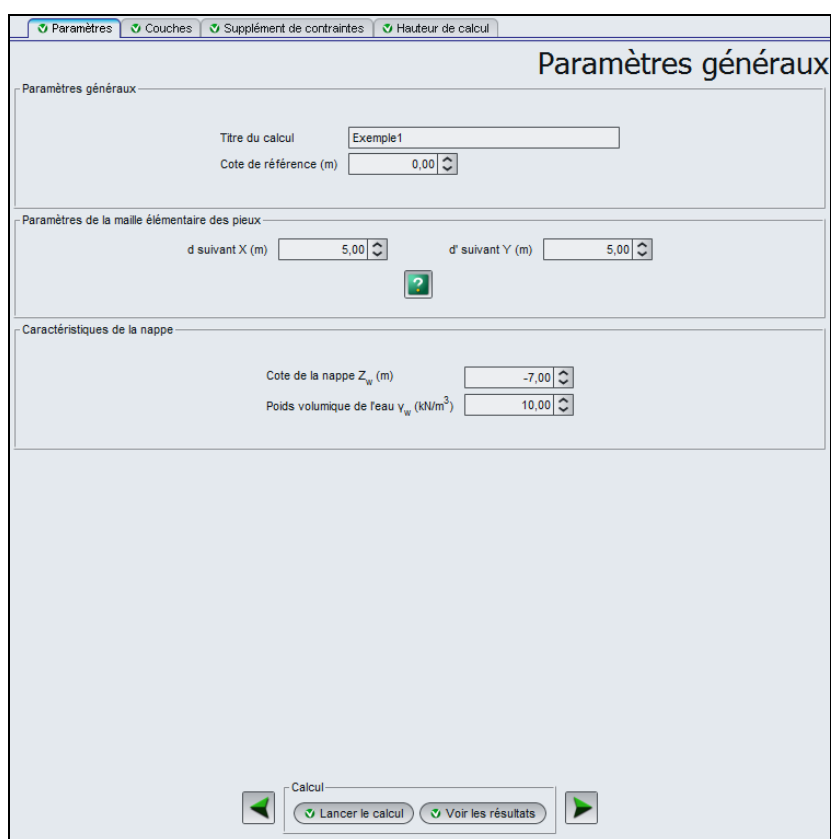


Figure E.7 : Onglet "Paramètres"

Ce premier onglet comporte les informations suivantes :

E.3.1.1. Cadre "Paramètres généraux"

Ce cadre permet de définir

- le titre du calcul ;
- la cote de référence (cote de la tête de la première couche de sol).

E.3.1.2. Cadre "Paramètres de la maille élémentaire des pieux"

Ce deuxième cadre permet la saisie de l'entraxe d entre inclusions suivant X et de l'entraxe d' entre inclusions suivant Y.

Le choix de $d=0$ et/ou de $d'=0$ implique une géométrie spécifique, comme illustré sur la figure d'aide, accessible par le bouton  (figure suivante).

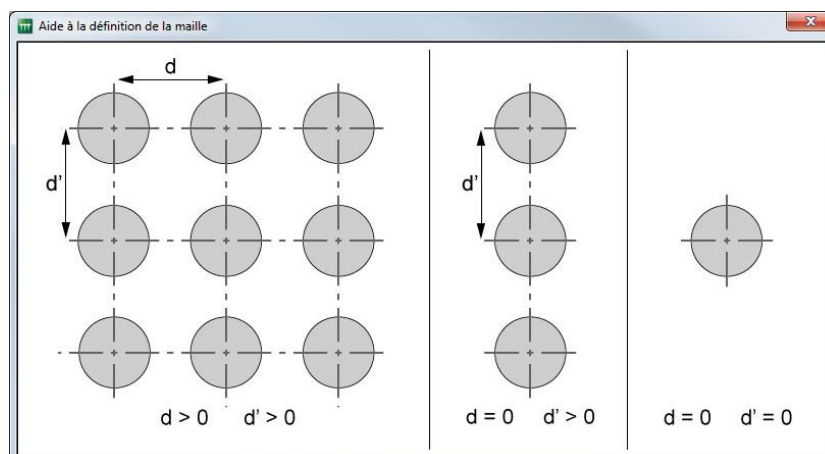


Figure E.8 : Figure d'aide - Représentation relative au choix des dimensions des mailles

E.3.1.3. Cadre "Caractéristique de la nappe"

Ce cadre permet de saisir les éléments suivants :

- la cote de la nappe Z_w (en m) ;
- le poids volumique de l'eau γ_w (en kN/m^3).

Le tableau suivant décrit les propriétés des paramètres à définir pour les paramètres du calcul :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Titre du calcul	-	Titre du calcul	Toujours	Oui	-
Cote de référence	m	0,00	Toujours	Oui	-
d : entraxe entre inclusions suivant X	m	5,00	Toujours	Oui	≥ 0 Si $d = 0$, la géométrie se réduit à une seule file suivant Y
d' : entraxe entre inclusions suivant Y	m	5,00	Toujours	Oui	≥ 0 Si $d' = 0$, la géométrie se réduit à une seule file suivant X
Z_w : cote de la nappe	m	0,00	Toujours	Oui	-
γ_w : poids volumique de l'eau	kN/m^3	10,00	Toujours	Oui	> 0

Tableau E.2 : Paramètres de calcul

E.3.2. Onglet "Couches"

Ce deuxième onglet permet la saisie des paramètres relatifs aux couches de sol.

Paramètres Couches Supplément de contraintes Hauteur de calcul

Données des couches

Type de modèle de calcul

☒ Oedométrique
 ☐ Élastique linéaire

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Z _{base}	Ktanδ	γ	B	Cs/(1+e0)	tc	Cc/(1+e0)
1	Couche indépendante		-2,00	0,80	20,00	1,00	0,00	1,00	0,00
2	Sol 1		-5,00	0,25	20,00	1,00	0,00	1,00	0,00
3	Sol 2		-12,00	0,28	22,00	1,00	0,00	1,00	0,20

Nb de couches : 3

Bases de données

Lancement du calcul

Paramètres Couches Supplément de contraintes Hauteur de calcul

Données des couches

Type de modèle de calcul

☐ Oedométrique
 ☒ Élastique linéaire

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Z _{base}	Ktanδ	γ	B	E _{sol}	ν
1	Couche indépen...		-2,00	0,80	20,00	1,00	1,50E03	0,30
2	Sol 1		-5,00	0,25	20,00	1,00	1,80E05	0,00
3	Sol 2		-12,00	0,28	22,00	1,00	1,90E04	0,00

Nb de couches : 3

Bases de données

Lancement du calcul

Figure E.9 : Onglet "Couches"
(cas de données oedométriques et cas de données élastiques linéaires)

E.3.2.1. Cadre "Type de modèle de calcul"

Il convient ici de définir si l'on souhaite adopter pour les couches de sol un comportement œdométrique ou un comportement élastique linéaire, en sélectionnant le bouton adéquat.

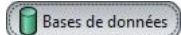
Le nombre et le type de colonnes qui s'afficheront dans le tableau de cet onglet dépendent du type de modèle choisi (cf Figure E.9).

E.3.2.2. Cadre "Définition des couches de sol"

Le tableau suivant décrit les propriétés des couches de sol à définir pour chaque couche :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Z_{base} : cote de la base de la couche	m	1 m sous la base de la couche au-dessus	Toujours	Oui	Valeurs strictement décroissantes, et la 1 ^{ère} valeur doit être inférieure à la cote de référence
Ktanδ : paramètre de frottement	-	-	Toujours	Oui	> 0
γ : poids volumique total de la couche	kN/m ³	-	Toujours	Oui	≥ 0 Prendre γ = 0 dans le cas de remblais rapportés (pour prendre σ ₀ = 0 sur cette hauteur)
B : diamètre du forage	m	-	Toujours	Oui	> 0
Cs/(1+e₀) : coefficient de compressibilité en recompression	-	-	Calcul œdométrique	Oui si affichée	≥ 0
t_c : paramètre de surconsolidation	-	-	Calcul œdométrique	Oui si affichée	Convention : - si t_c > 0 : t_c = σ'_p/σ'₀ - si t_c < 0 : t_c = - (σ'_p - σ'₀) avec : - σ'₀ : contrainte verticale géostatique - σ'_p : pression de consolidation
Cc/(1+e₀) : coefficient de compressibilité vierge	-	-	Calcul œdométrique	Oui si affichée	≥ 0
E_{sol} : module de déformation de la couche	kPa	-	Calcul élastique linéaire	Oui si affichée	> 0
ν : coefficient de Poisson	-	-	Calcul élastique linéaire	Oui si affichée	0 ≤ x < 0,5

Tableau E.3 : Propriétés des couches de sol

Foxta permet d'enregistrer les couches de sol dans la base de données des sols du projet et/ou dans la base de données globale des sols en cliquant sur le bouton .

Ceci permet d'enregistrer les couches de sol avec leurs paramètres et d'éviter de les saisir à nouveau lors de la création d'un nouveau module dans le projet en cours, ou d'un autre projet Foxta.

L'utilisation de la base de données des sols est décrite en détail dans la partie C du manuel.

E.3.3. Onglet "Supplément de contraintes"

Cet onglet permet l'introduction des valeurs définissant le supplément de contrainte verticale, en tête de profil et à la base de chaque couche. Celui-ci sera considéré uniforme ou non, selon que la case "Contrainte uniforme" est cochée ou non.

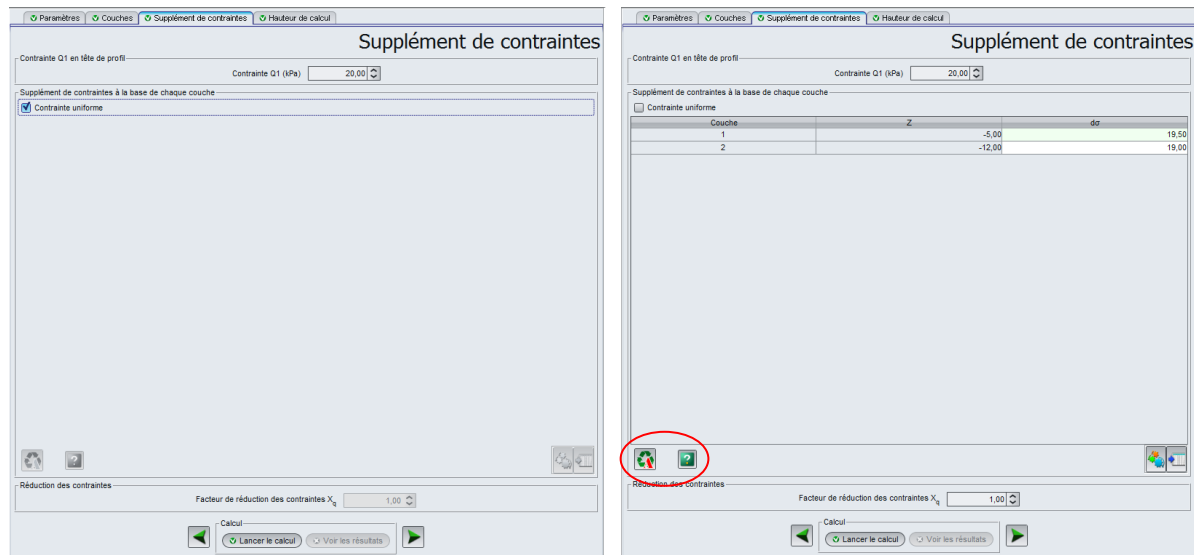


Figure E.10 : Onglet "Supplément de contraintes"

La figure d'aide ci-dessous, accessible par le bouton , illustre la définition du supplément de contrainte :

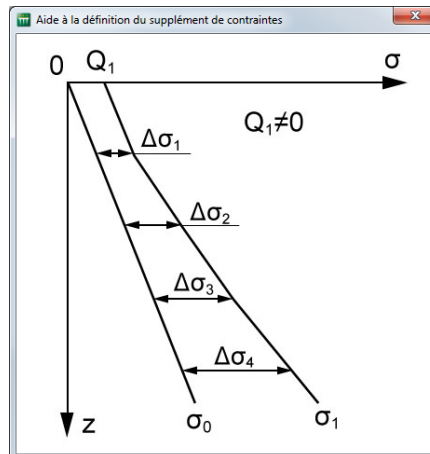


Figure E.11 : Figure d'aide relative à la définition du supplément de contrainte

E.3.3.1. Cadre "Contrainte Q1 en tête de profil"

Saisir la contrainte Q1 qui est appliquée en tête de profil (en kPa).

E.3.3.2. Cadre "Supplément de contrainte à la base de chaque couche"

- Si le type de distribution du supplément de contrainte est uniforme, cocher la case "Contrainte uniforme".

- Si le supplément de contrainte évolue de façon non uniforme, décocher la case "Contrainte uniforme", et renseigner les lignes du tableau qui s'affichent.

Le nombre de lignes est fonction du nombre de couches de sol défini précédemment. Ces lignes peuvent être complétées selon deux méthodes différentes :

- la méthode manuelle consiste à introduire les valeurs de suppléments de contrainte σ_0 à la base de chaque couche ;
- la méthode automatique permet l'importation de données issues des résultats d'un calcul Tasseldo ou Taspie+. Pour utiliser cette méthode, cliquer sur le bouton Assistant d'importation . Consulter les chapitres E.3.3.4 et E.3.3.5 pour la procédure détaillée.

E.3.3.3. Cadre "Réduction des contraintes"

Le facteur de réduction des contraintes X_q permet de n'appliquer au sol qu'une fraction du supplément de contrainte qui a été défini (le complément étant appliqué au pieu). Cette fonctionnalité est utilisée pour le dimensionnement d'un réseau d'inclusions et n'est disponible que dans le cas de contraintes non uniformes.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Q1 : contrainte appliquée à la cote de référence	kPa	0,0	Toujours	Oui	-
X_q : coefficient de réduction des contraintes (la contrainte appliquée sur le sol est égale à $X_q \cdot Q1$, le reste de la charge étant appliqué sur l'inclusion)	-	1,0	Si la case "Contrainte uniforme" n'est pas cochée	Oui si affichée	$0 < X_q \leq 1$ si contrainte non-uniforme

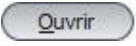
Tableau E.4 : Paramètres "Supplément de contraintes"

E.3.3.4. Importation des suppléments de contrainte à partir de Tasseldo

Comme indiqué précédemment, cliquer sur le bouton "Assistant d'importation"  pour accéder à la fenêtre de cet assistant.

Cette fenêtre permet d'importer les suppléments de contrainte soit depuis un calcul Tasseldo, soit depuis un calcul Taspie+. Cliquer sur l'onglet "Importer depuis Tasseldo".

Cadre "Répertoire d'importation"

- pour choisir le répertoire d'importation, cliquer sur le bouton  ;
- sélectionner le répertoire portant le nom de votre projet Tasseldo ;
- cliquer sur le bouton .

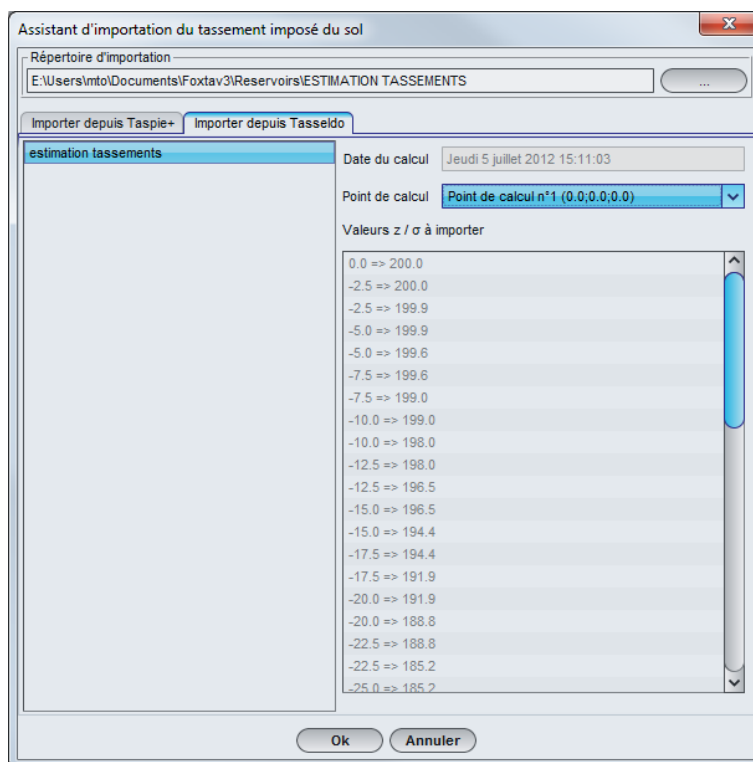


Figure E.12 : Assistant d'importation des suppléments de contrainte à partir de résultats d'un calcul Tasseldo

Onglet "Importer depuis Tasseldo"

- sélectionner dans la liste de gauche le titre du projet Tasseldo dont vous souhaitez importer les résultats ;
 - le champ "Date du calcul" se renseigne automatiquement et reste non modifiable ;
 - la partie droite de l'écran permet alors la sélection d'un des points de calcul disponibles dans le fichier Tasseldo (par son numéro et/ou ses coordonnées : les 2 informations sont affichées automatiquement).
- Nota : si la liste des points de calcul est vide, il faut reprendre au préalable le calcul Tasseldo, en définissant au moins un point de calcul.

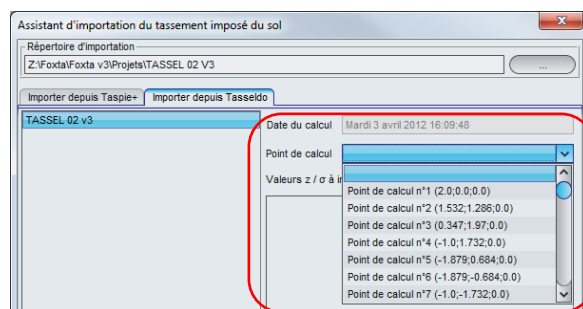


Figure E.13 : Assistant d'importation des suppléments de contrainte à partir de résultats d'un calcul Tasseldo – Sélection d'un point de calcul Tasseldo

- dans la zone en bas à droite de l'onglet sont alors affichées les valeurs de z et de σ importées (pour le point de calcul sélectionné).
- Nota : si cette zone reste vide, c'est que les résultats Tasseldo ne sont pas disponibles. Il faut donc relancer au préalable le calcul Tasseldo.

Pour valider les suppléments de contrainte à importer dans Tasneg, cliquer sur le bouton



Les résultats Tasseldo à importer sont alors filtrés : seules les contraintes correspondant aux cotes définies dans le calcul Tasneg sont prises en compte. Puis elles sont transférées vers le tableau correspondant dans Tasneg.

E.3.3.5. Importation des suppléments de contrainte à partir de Taspie+

Le mode de fonctionnement est le même que pour l'importation à partir de Tasseldo, décrite dans le chapitre E.3.3.4. Il faudra sélectionner un projet Taspie+, puis choisir le cas de charge que l'on veut importer.

E.3.4. Onglet "Hauteur de calcul"

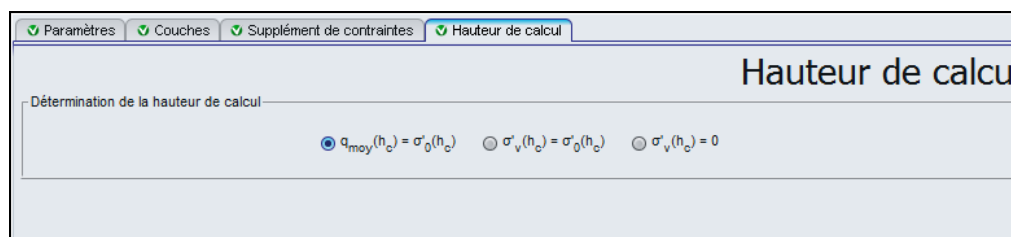


Figure E.14 : Onglet "Hauteur de calcul"

Il est nécessaire de sélectionner le critère à appliquer pour le calcul de la hauteur critique sur laquelle s'applique le frottement négatif, parmi les 3 critères disponibles :

- $q_{\text{moy}}(h_c) = \sigma'_0(h_c)$ (critère sélectionné par défaut) ;
- $\sigma'_v(h_c) = \sigma'_0(h_c)$;
- $\sigma'_v(h_c) = 0$.

Voir aussi le chapitre E.2.2.

E.3.5. Calcul et Résultats

E.3.5.1. Calcul

Le calcul peut se lancer depuis n'importe quel onglet à partir du moment où les onglets sont correctement renseignés, c'est-à-dire lorsqu'ils sont tous marqués d'une croix verte (par exemple :  Couches).

Ceux-ci sont marqués d'une croix rouge (par exemple :  Couches) tant qu'ils ne sont pas complétés correctement (données manquantes ou non conformes aux valeurs attendues).

Pour lancer le calcul, cliquer sur le bouton  Lancer le calcul.

E.3.5.2. Résultats

Pour afficher les résultats du calcul, cliquer sur le bouton  Voir les résultats.



Figure E.15 : Fenêtre des résultats

Différents types de résultats sont accessibles après un calcul Tasneg :

- 2 types de résultats numériques : résultats formatés, et tableaux de résultats ;
- 3 types de résultats graphiques : courbes principales, tassements superposés et contraintes superposées

Les chapitres suivants détaillent ces différents types de résultats.

L'utilisation de la fenêtre des résultats est décrite en détail dans la Partie C - Tour d'horizon des fonctionnalités.

E.3.5.2.1. Résultats numériques formatés

Les résultats formatés présentent entre autre une synthèse des données de calcul et des résultats.

Tout copier

Copier uniquement la sélection

Programme Tasneg v1.3.2

(c) TERRASOL 2011

File : R:\Logiciels\Foxta v3\Manuels et exemples\Manuels Foxta v3\E - Tasneg\MT0\GROUPE DE PIEUX VARIANTE1\Groupe de pieux variante1[TN].tsn

Calcul réalisé le : 06/05/2013 à 17h08

par : Terrasol

Exemple 1

Maille des pieux : 5,000 x 5,000

Rayon du cylindre équivalent : 2,8209

Cote de la nappe : -7,00

Poids volumique eau : 10,00

CARACTERISTIQUES DES COUCHES

N	Z	K.tand	Gamma	Rayon	m1	m2	T2
	0,000						
1	-2,000	0,800	20,000	0,500	0,0000	0,1038	1,0000
2	-5,000	0,250	20,000	0,500	0,0080	0,0471	0,6891
3	-12,000	0,280	22,000	0,500	0,0056	0,0486	0,7467

CHARGEMENT ET TASSEMENT SANS INCLUSIONS

N	Z	sig0	sigmax	ds/dz	cs/(1+e)	sigp	cc/(1+e)	tassement
1	0,000	0,000	20,000	20,000	0,000	0,000	0,000	0,075
2	-2,000	40,000	60,000	20,000	0,000	40,000	0,000	0,075
3	-5,000	100,000	120,000	14,857	0,000	100,000	0,200	0,075
4	-12,000	204,000	224,000	14,857	0,000	204,000	0,200	0,000

Pieu isolé

Z	sig0	sigmax	q
0,000	0,000	20,000	20,000
-2,000	40,000	60,000	60,000
-5,000	100,000	120,000	117,855
-12,000	204,000	224,000	215,327

* Cote profondeur critique : -12,000

Critère : q = sig0

Pieu dans réseau infini

Z	sig0	sigmax	q	tau	Gsf	qmoy	tassement
0,000	0,000	20,000	20,000	16,000	0,000	20,000	0,0016
-2,000	40,000	60,000	52,372	13,093	184,704	12,372	0,0016
-5,000	100,000	120,000	101,432	28,401	182,556	7,204	0,0016
-12,000	204,000	224,000	197,217*	55,221	51,374*	0,000	0,0000

* Cote profondeur critique : -5,561

Critère : qmoy = sig0

DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LE GROUPE

	frottement négatif	frottement négatif + surcharge (20,00)
Une file de pieux : pieu extérieur	1098,619	1114,327
pieu intérieur	758,627	774,335
Plusieurs files : pieu d'angle	843,625	859,333
pieu extérieur	588,630	604,338
pieu intérieur	418,634	434,342
EFFORT TOTAL APPLIQUE EN TETE :	484,292	500,000

Figure E.16 : Résultats numériques : Résultats formatés

Le tableau ci-dessous présente les équivalences entre les notations utilisées par Combarieu (cf chapitre E.2) et celles présentes dans le fichier de résultats Tasneg.

Notations Combarieu	Notations fichier de résultats Tasneg
σ'_0	sig0
σ'_1	sigmax
σ'_v	q
$m(\lambda, \infty)$	m1
$m(\lambda, b)$	m2

Tableau E.5 : Equivalences des notations Combarieu/Tasneg

Le fichier de résultats comporte :

- un rappel des paramètres de calcul ;
- les caractéristiques des couches :
 - ✓ rappel des données saisies ;
 - ✓ paramètres m1 ($m(\lambda, \infty)$), m2 ($m(\lambda, b)$), et T2 (cf chapitre E.2).

- le comportement du modèle sans inclusions :
 - ✓ Z : cote de calcul (m) ;
 - ✓ σ_0 : σ'_0 (kPa) ;
 - ✓ $\sigma_{\max}$: contrainte après chargement loin de l'inclusion à la cote considérée ;
 - ✓ $ds/dz = [\sigma_{\max}(i+1) - \sigma_{\max}(i)]/H(i)$;
 - ✓ rappel des valeurs de $(C_s/1+e)$ et $(C_v/1+e)$ dans le cas d'un modèle oedométrique ;
 - ✓ σ_p (kPa) : contrainte verticale σ'_p (kPa) tenant compte de la préconsolidation, calculée en fonction de la donnée t_c (cf chapitre E.3.2.2) ;
 - ✓ rappel des valeurs E_{Young} (kPa) et ν dans le cas d'un modèle élastique linéaire ;
 - ✓ E_{oedo} (kPa) : module oedométrique équivalent calcul à partir de E_{Young} et ν dans le cas d'un modèle élastique linéaire ;
 - ✓ tassement oedométrique du sol calculé pour le modèle sans inclusions (m) : tassement moyen entre les inclusions.
- le calcul pour un pieu isolé :
 - ✓ Z , σ_0 et $\sigma_{\max}$ (idem ci-dessus) ;
 - ✓ $q = \sigma'_v$ = contrainte le long de l'inclusion (notation Combarieu) ;
 - ✓ contrainte τ de frottement négatif ;
 - ✓ résultante G_{sf} des efforts de frottement négatif, pour chaque couche.

Sous le tableau, Tasneg indique la profondeur critique obtenue dans le cas du pieu isolé, avec un rappel du critère de calcul appliqué (il s'agit toujours du critère $\sigma'_v = \sigma'_0$ dans le cas d'un pieu isolé).

- le calcul pour le pieu dans un réseau infini :
 - ✓ Z , σ_0 et $\sigma_{\max}$ (idem ci-dessus) ;
 - ✓ calcul de q pour un réseau infini ;
 - ✓ τ et G_{sf} pour le réseau ;
 - ✓ $d_{q\text{moy}}$;
 - ✓ tassement oedométrique calculé au sein du réseau. Les valeurs indiquées sont des valeurs cumulées depuis la base du profil.

Sous le tableau, Tasneg indique la profondeur critique obtenue dans le cas du pieu dans un réseau, avec un rappel du critère de calcul appliqué (celui sélectionné par l'utilisateur).

- le fichier de résultats affiche ensuite la distribution des efforts dans le cas d'une file de pieux (pieu extérieur ou pieu intérieur) et celui d'un groupe de pieux (pieu d'angle, pieu extérieur ou pieu intérieur) ;
- et enfin, Tasneg fournit l'effort total appliqué en tête de pieu en tenant compte du frottement négatif seul, puis du frottement négatif et de la surcharge appliquée en tête de profil.

E.3.5.2.2. Résultats numériques : tableaux de résultats

Ce tableau reprend une partie des résultats numériques formatés.

Les lignes "Type = 1" correspondent aux résultats pour le pieu isolé et les lignes "Type = 2" correspondent aux résultats pour le pieu dans un réseau.

Type	Z	σ'_0	σ'_1	σ'_v	G_{sf}	dq_{moy}	Tassement	τ'
1	0,00	0,00E00	2,00E01	2,00E01	1,44E03	0,00E00	0,00E00	1,60E01
1	-2,00	4,00E01	6,00E01	6,00E01	1,24E03	0,00E00	0,00E00	1,50E01
1	-5,00	1,00E02	1,20E02	1,18E02	1,03E03	0,00E00	0,00E00	3,30E01
1	-12,00	2,04E02	2,24E02	2,15E02	2,27E-13	0,00E00	0,00E00	6,03E01
2	0,00	0,00E00	2,00E01	2,00E01	4,19E02	2,00E01	1,62E-03	1,60E01
2	-2,00	4,00E01	6,00E01	5,24E01	2,34E02	1,24E01	1,62E-03	1,31E01
2	-5,00	1,00E02	1,20E02	1,01E02	5,14E01	7,20E00	1,62E-03	2,84E01
2	-12,00	2,04E02	2,24E02	1,97E02	1,42E-14	0,00E00	0,00E00	5,52E01

Figure E.17 : Résultats numériques : tableaux de résultats

Dans chaque cas, les résultats suivants sont donnés en fonction de la cote Z (m) :

- σ'_0 : contrainte verticale effective initiale (kPa) ;
- σ'_1 : contrainte verticale effective sans inclusion avec surcharge (kPa) ;
- σ'_v : contrainte verticale effective au contact du fût du pieu (kPa) ;
- G_{sf} : résultante du frottement négatif entre la base de l'inclusion et la cote Z (kN) ;
- dq_{moy} : $dq_{moy} = q_{moy} - \sigma'_0$ (kPa) ;
- Tassement : tassement moyen entre les inclusions (m) ;
- τ' : frottement négatif unitaire maximal (kPa).

E.3.5.2.3. Résultats graphiques : courbes principales

Les courbes principales affichent (de gauche à droite) :

- les contraintes obtenues pour un pieu isolé : σ'_0 , σ'_v , σ_{max} et τ' (kPa) en fonction de la cote Z (m) ;
- les contraintes obtenues pour le pieu dans un réseau : σ'_0 , σ'_v , dq_{moy} , σ'_1 et τ' (kPa) en fonction de la cote Z (m) ;
- la résultante du frottement négatif G_{sf} (kN) pour un pieu isolé et pour un pieu en réseau, en fonction de la cote Z (m).

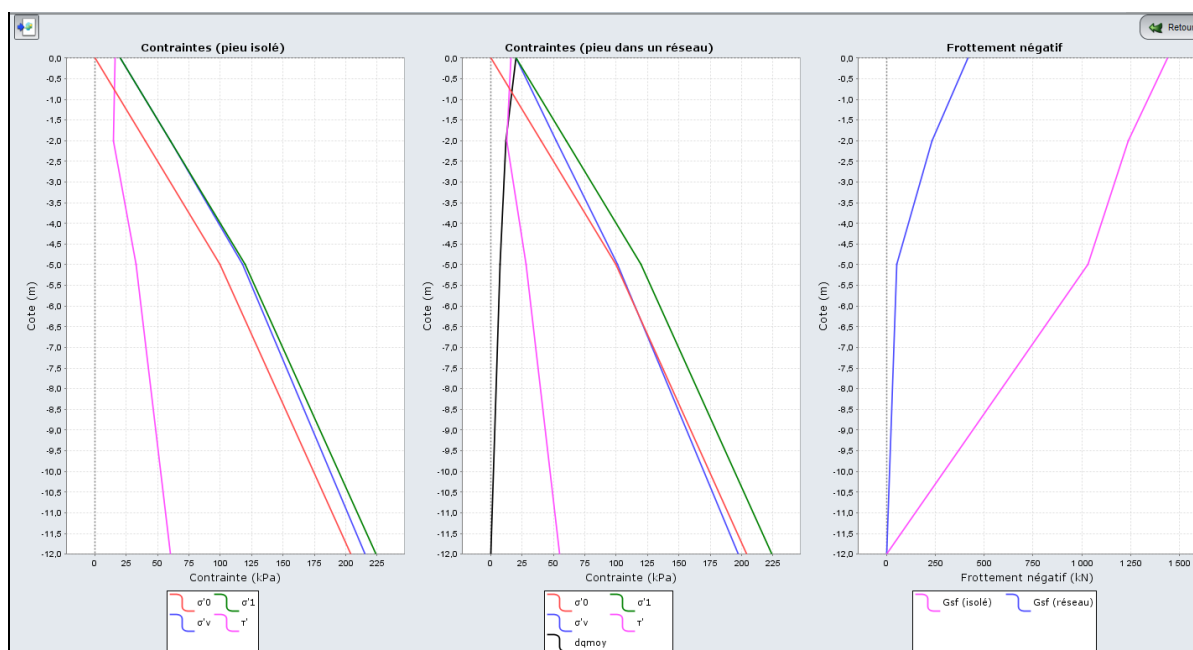


Figure E.18 : Résultats graphiques : courbes principales

E.3.5.2.4. Résultats graphiques : tassements superposés

Les courbes des tassements superposés affichent :

- le tassement sans inclusions s_1 (m) en fonction de la cote Z (m) ;
- le tassement avec inclusions s_2 (m) en fonction de la cote Z (m).

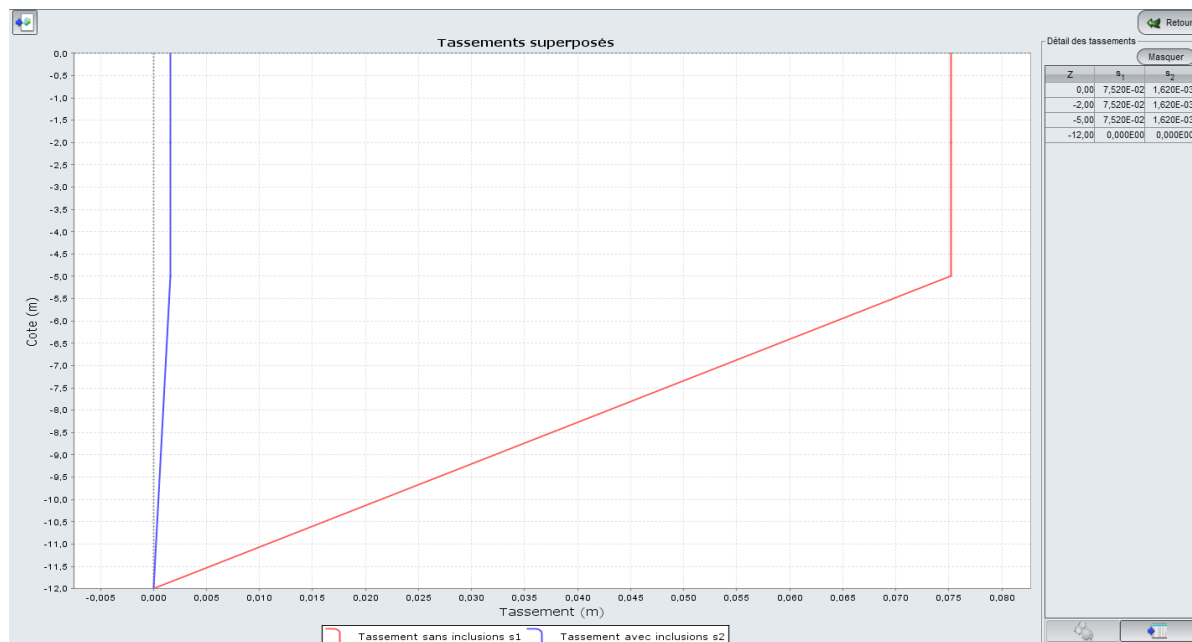


Figure E.19 : Résultats graphiques : tassements superposés

Cliquer sur le bouton [Voir](#) pour visualiser à droite le tableau "Détail des tassements".

E.3.5.2.5. Résultats graphiques : contraintes superposées

Les courbes des contraintes superposées affichent en fonction de la cote Z (m) :

- la contrainte verticale initiale σ'_0 (kPa) ;
- la contrainte verticale effective sans inclusion avec surcharge σ'_1 (kPa) ;
- la contrainte verticale effective au contact du fût du pieu isolé σ'_v (isolé) (kPa) ;
- la contrainte verticale effective au contact du fût du pieu dans un réseau σ'_v (réseau) (kPa).

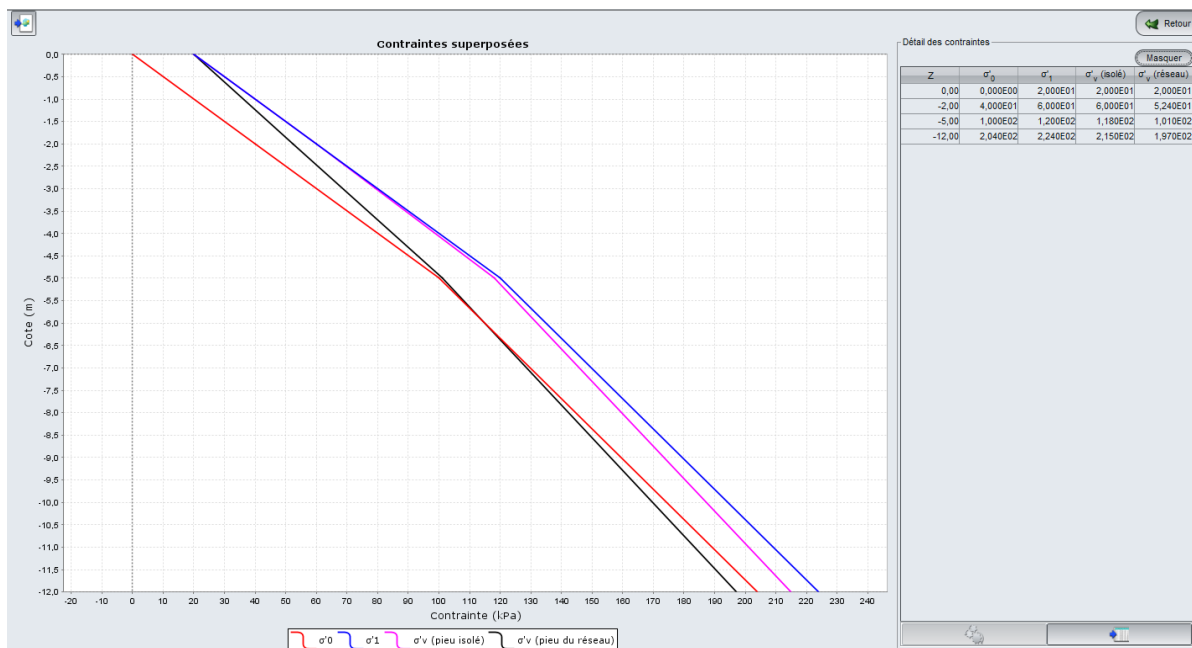
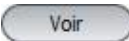


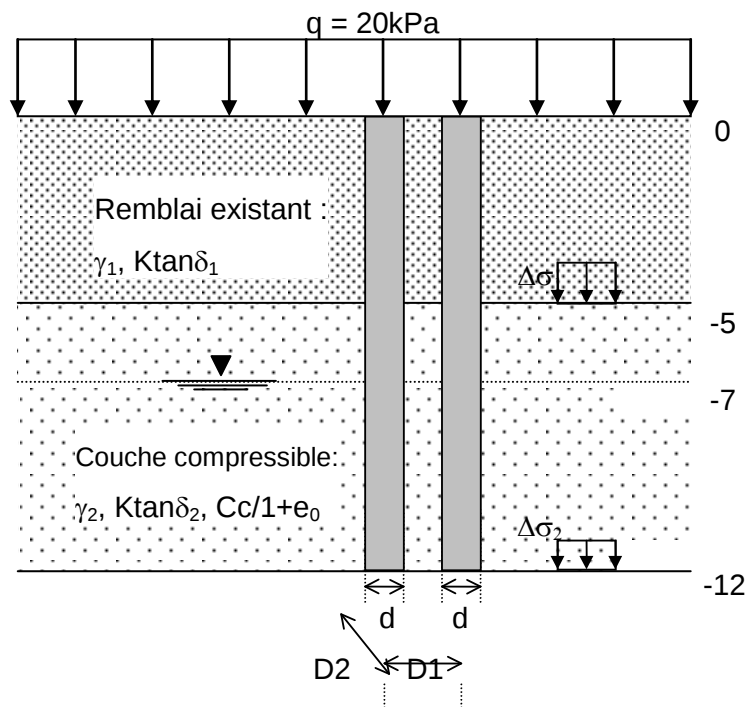
Figure E.20 : Résultats graphiques : Contraintes superposées

Cliquer sur le bouton  pour visualiser à droite le tableau "Détail des contraintes".

E.4. EXEMPLES

E.4.1. Calcul du frottement négatif par le modèle de Combarieu

Cet exemple traite du frottement négatif subi par un groupe de pieux sous une charge considérée comme infinie par rapport aux dimensions de la couche compressible. On suppose ici que le remblai (couche 1) est en place depuis suffisamment longtemps pour que seule la surcharge de 20 kPa soit à l'origine du frottement négatif.



Les données numériques de ce problème sont les suivantes :

	Cote		γ (kN/m ³)	Ktan δ	Cc/(1+e ₀)	q (kPa)	Diamètre (m)	Dimensions
	tête	pied						
Couche 1	0	-5	20	0.25	0	-	-	Hauteur : 5 m
Couche 2	-5	-12	22	0.28	0.2	-	-	Hauteur : 7 m
Pieu	0	-12	-	-	-	-	1	Maille : 5x5 m
Surcharge	0		-	-	-	20	-	Infinies
Nappe	-7		10	-	-	-	-	-

Nota : on pourrait également définir les paramètres E et ν au lieu des paramètres oedométriques.

E.4.1.1. Saisie des données

A l'ouverture de l'application, Foxta propose :

- de créer un nouveau projet ;
- d'ouvrir un projet existant ;
- d'ouvrir automatiquement le dernier projet utilisé.

Dans le cas de cet exemple :

- choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton ☒ Nouveau projet ;
- cliquer sur le bouton **OK**.

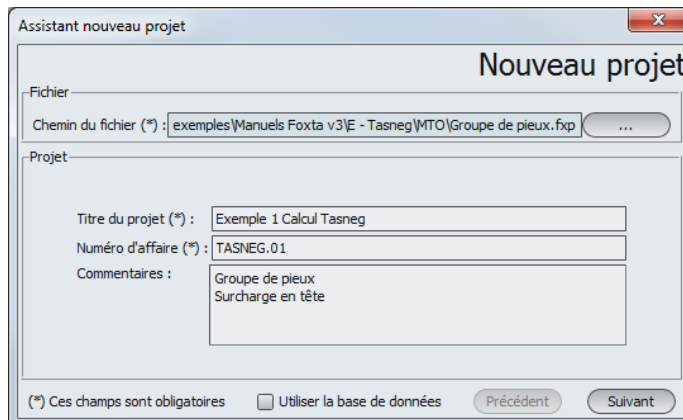
E.4.1.1.1. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier"

- renseigner le chemin du projet en cliquant sur le bouton **...** ;
- donner un nom au fichier et l'enregistrer.

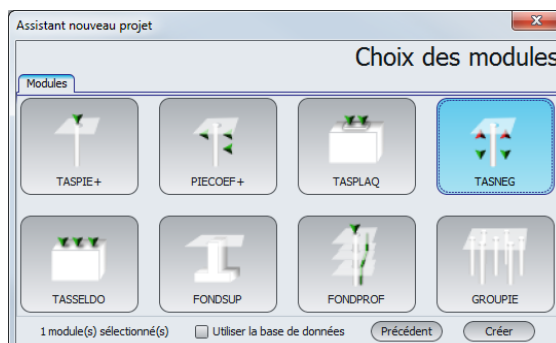
Cadre "Projet"

- donner un titre au projet ;
- saisir un numéro d'affaire ;
- compléter avec un commentaire si besoin ;
- laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton **Suivant**.



E.4.1.1.2. Assistant Nouveau projet : choix des modules

Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner le module Tasneg puis cliquer sur le bouton **Créer**.



La fenêtre Tasneg apparaît.

Il convient de compléter les différents onglets de données proposés.

E.4.1.1.3. Onglet "Paramètres"

Cet onglet contient trois cadres distincts :

Cadre "Paramètre généraux"

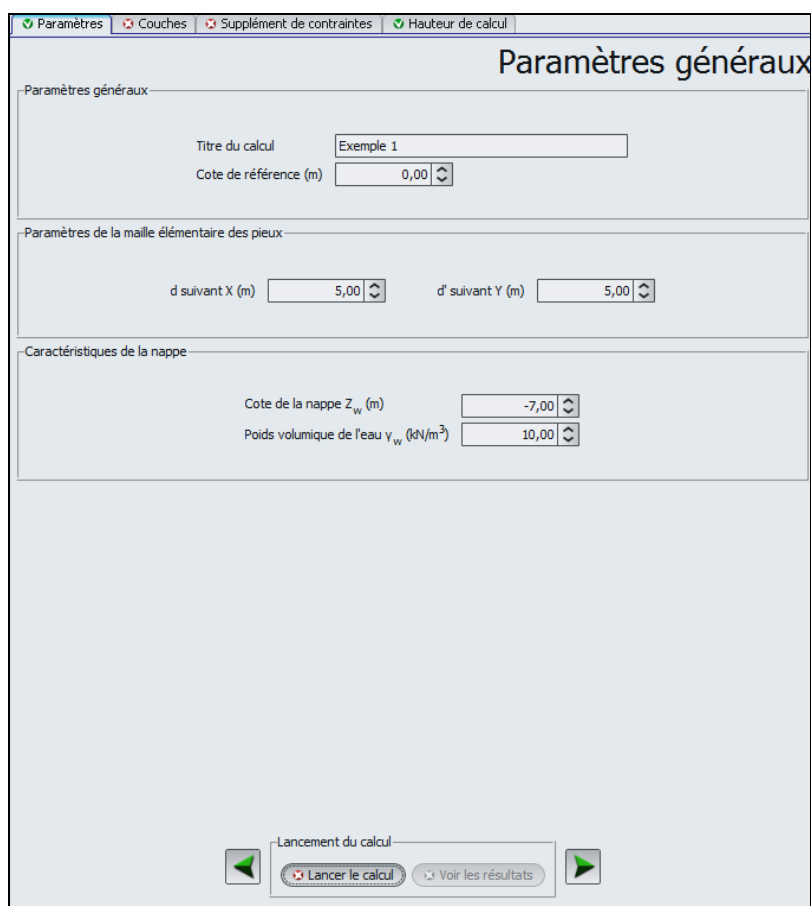
- titre du calcul Tasneg : pour cet exemple on notera simplement "Exemple 1" ;
- cote de référence : cote du toit de la couche de sol supérieure. Chacune des couches sera définie ensuite par la cote de sa base. Ici, la cote du toit de la couche supérieure (TN) est fixée à $z = 0,0$ m.

Cadres "Paramètres de la maille élémentaire des pieux"

- d suivant X : 5 m ;
- d' suivant Y : 5 m.

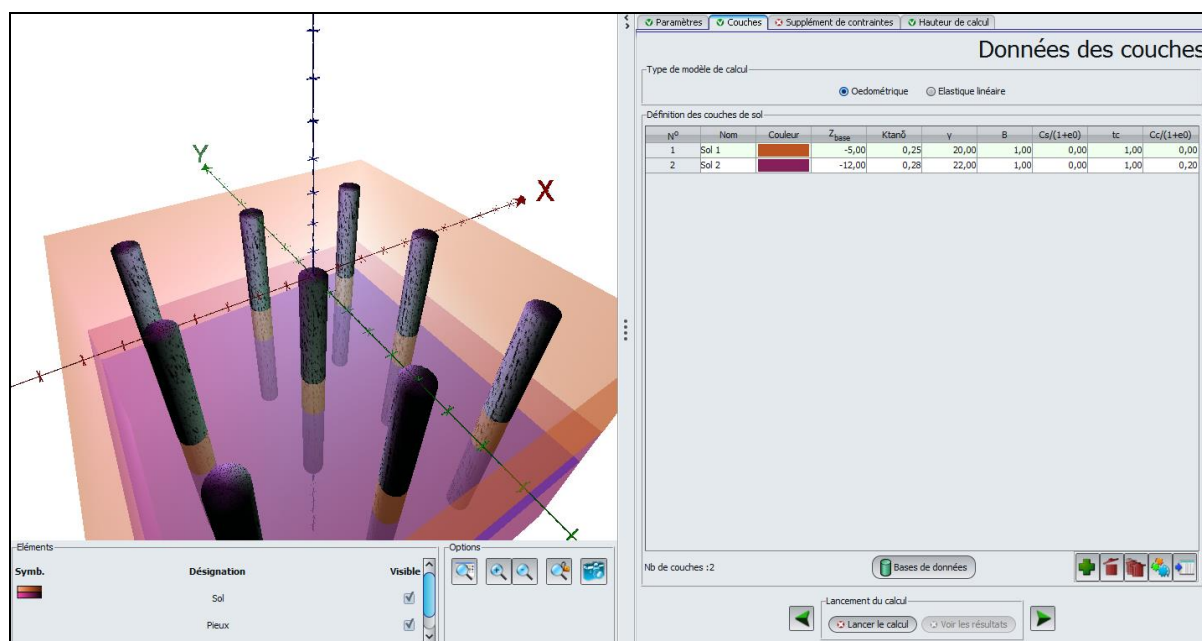
Cadre "Caractéristiques de la nappe"

- cote de la nappe $Z_w = -7,0$ m ;
- poids volumique de l'eau $\gamma_w : 10,0$ kN/m³.



E.4.1.1.4. Onglet "Couches"

Cet onglet permet la définition des couches de sols.



Cadre "Type de modèle de calcul"

- Sélectionner "Oedométrique" (choix par défaut) : les données de sol dont nous disposons sont des caractéristiques oedométriques.

Cadre "Définition des couches de sol"

- Créer ensuite 2 couches de sol en cliquant sur le bouton  pour ajouter chacune des couches.

Les données à saisir sont les suivantes :

Nom	Z _{base} (m)	Ktanδ	γ (kN/m ³)	B (m)	Cs/(1+e0)	tc	Cc/(1+e0)
Couche 1	-5,0	0,25	20,0	1,0	0,00	1,00	0,00
Couche 2	-12,0	0,28	22,0	1,0	0,00	1,00	0,20

E.4.1.1.5. Onglet "Supplément de contraintes"

Le troisième onglet permet la saisie des suppléments de contraintes à la base de chaque couche de sol. Dans notre exemple, on définit ici simplement le supplément de contrainte lié à la surcharge. On considère que la surcharge de 20 kPa est de dimensions infinies. Elle crée donc un supplément de contrainte uniforme de 20 kPa.

Cadre "Contrainte Q1 en tête de profil"

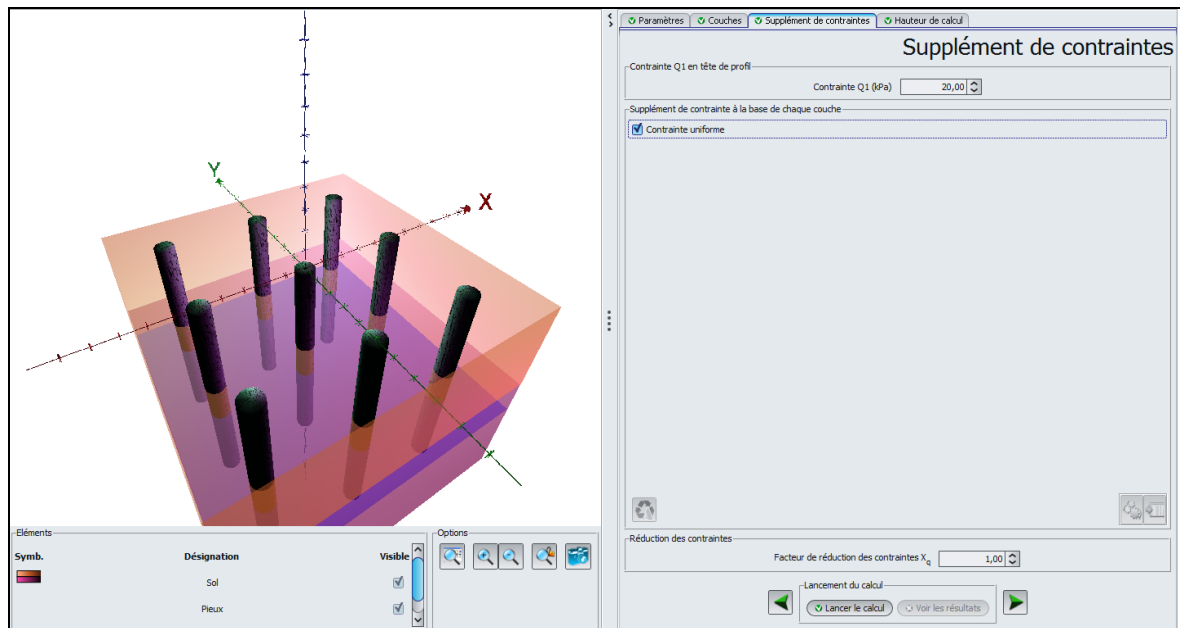
- contrainte Q1 : 20 kPa.

Cadre "Supplément de contrainte à la base de chaque couche"

- contrainte uniforme : cochée.

Cadre "Réduction des contraintes"

- facteur de réduction des contraintes X_q : 1,0.

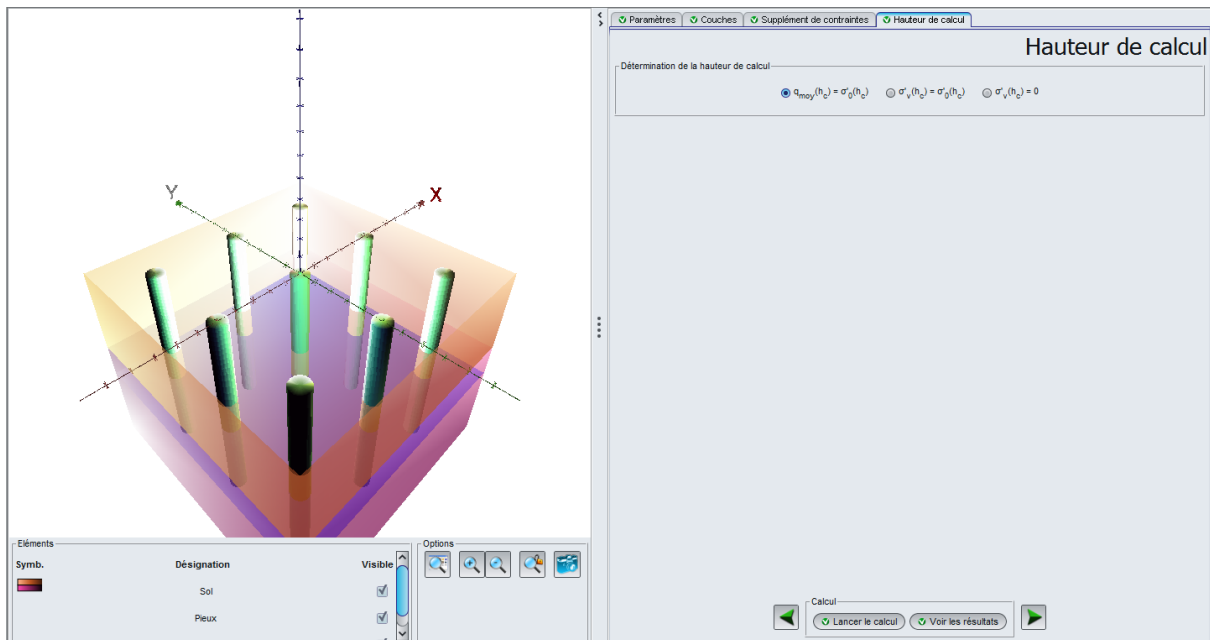


E.4.1.1.6. Onglet "Hauteur de calcul"

Dans le dernier onglet, il reste à préciser la méthode de détermination de la hauteur critique du frottement négatif.

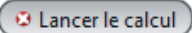
Cadre "Détermination de la hauteur de calcul"

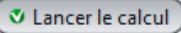
- $q_{\text{moy}}(h_c) = \sigma'_0(h_c)$: c'est le choix proposé par défaut, et on le conserve pour cet exemple.



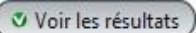
E.4.1.2. Calcul et résultats

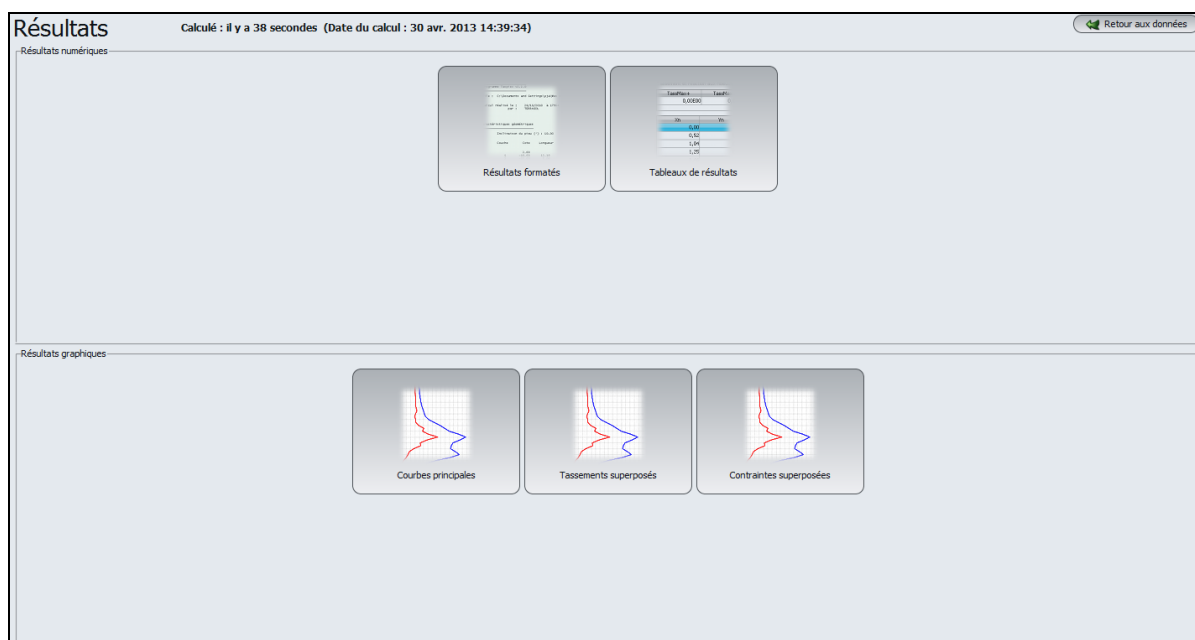
E.4.1.2.1. Calcul

Tant que les onglets ne sont pas tous correctement renseignés, le bouton permettant de lancer le calcul s'affiche marqué d'une croix rouge : .

Une fois que toutes les données sont correctement saisies, le bouton  (accessible depuis tous les onglets) est alors actif.

Un clic sur ce bouton lancera le calcul.

Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton .



E.4.1.2.2. Résultats

Les résultats formatés sont présentés ci-dessous (rappel des données et résultats).

Programme Tasneg v1.3.2

(c) TERRASOL 2011

File : R:\Logiciels\Foxta v3\Manuels et exemples\Manuels Foxta v3\E - Tasneg\WTO\GROUPE DE PIEUX\Groupe de pieux[TN].tsn

Calcul réalisé le : 30/04/2013 à 14h39

par : Terrasol

Exemple 1

Maille des pieux : 5.000 x 5.000

Rayon du cylindre équivalent : 2.8209

Cote de la nappe : -7.00

Poids volumique eau : 10.00

CARACTERISTIQUES DES COUCHES

N	Z	K.tand	Gamma	Rayon	m1	m2	T2
	0.000						
1	-5.000	0.250	20.000	0.500	0.0080	0.0471	0.6891
2	-12.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467

CHARGEMENT ET TASSEMENT SANS INCLUSIONS

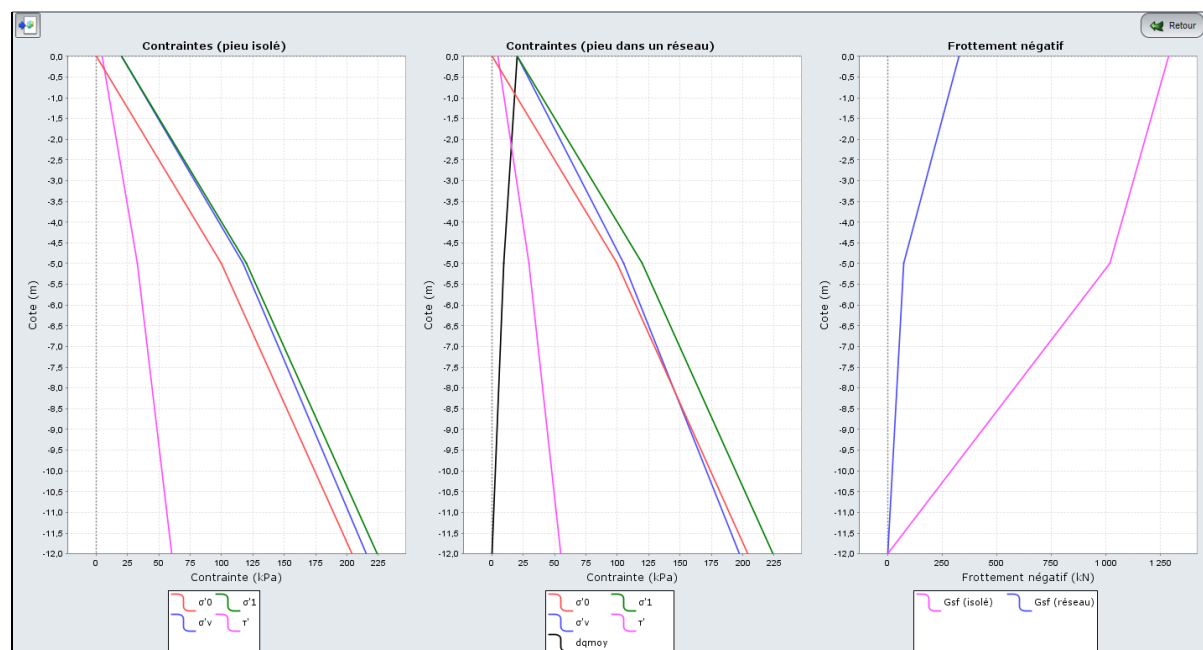
N	Z	sig0	sigmax	ds/dZ	cs/(1+e)	sigp	cc/(1+e)	tassement
1	0.000	0.000	20.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.075
2	-5.000	100.000	120.000	14.857	0.000	100.000	0.200	0.075
3	-12.000	204.000	224.000	14.857	0.000	204.000	0.200	0.000
								0.075

Pieu isolé						
Z	sig0	sigmax	q	tau	Gsf	
0.000	0.000	20.000	20.000	5.000	0.000	
-5.000	100.000	120.000	117.232	32.825	270.733	
-12.000	204.000	224.000	214.728	60.124	1023.985	
= Cote profondeuse critique : -12.000					1294.717	
Critère : q = sig0						
Pieu dans réseau infini						
Z	sig0	sigmax	q	tau	Gsf	dqmo
0.000	0.000	20.000	20.000	5.000	0.000	20.000
-5.000	100.000	120.000	104.911	29.375	251.795	9.602
-12.000	204.000	224.000	197.217*	55.221	75.250*	0.000
= Cote profondeuse critique : -5.787					327.045	0.0030
Critère : dqmo = sig0						
DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LE GROUPE						
				frottement négatif	frottement négatif + surcharge (20.00)	
Une file de pieux :						
pieu extérieur				972.160	987.868	
pieu intérieur				649.603	665.311	
Plusieurs files :						
pieu d'angle				730.242	745.950	
pieu extérieur				488.324	504.032	
pieu intérieur				327.045	342.753	
EFFORT TOTAL APPLIQUE EN TETE :				484.292	500.000	

Le tableau de résultats (ci-dessous) fournit les mêmes résultats sous forme tabulée.

Type	Z	σ'_0	σ'_1	σ'_v	Gsf	dqmo	Tassement	r
1	0.00	0.000E00	2.000E01	2.000E01	1.290E03	0.000E00	0.000E00	5.000E00
1	-5.00	1.000E02	1.200E02	1.170E02	1.020E03	0.000E00	0.000E00	3.280E01
1	-12.00	2.040E02	2.240E02	2.150E02	1.140E-13	0.000E00	0.000E00	6.010E01
2	0.00	0.000E00	2.000E01	2.000E01	3.270E02	2.000E01	2.960E-03	5.000E00
2	-5.00	1.000E02	1.200E02	1.050E02	7.530E01	9.600E00	2.960E-03	2.940E01
2	-12.00	2.040E02	2.240E02	1.970E02	1.420E-14	0.000E00	0.000E00	5.520E01

Ci-dessous l'affichage des résultats graphiques, sous la forme des courbes principales :

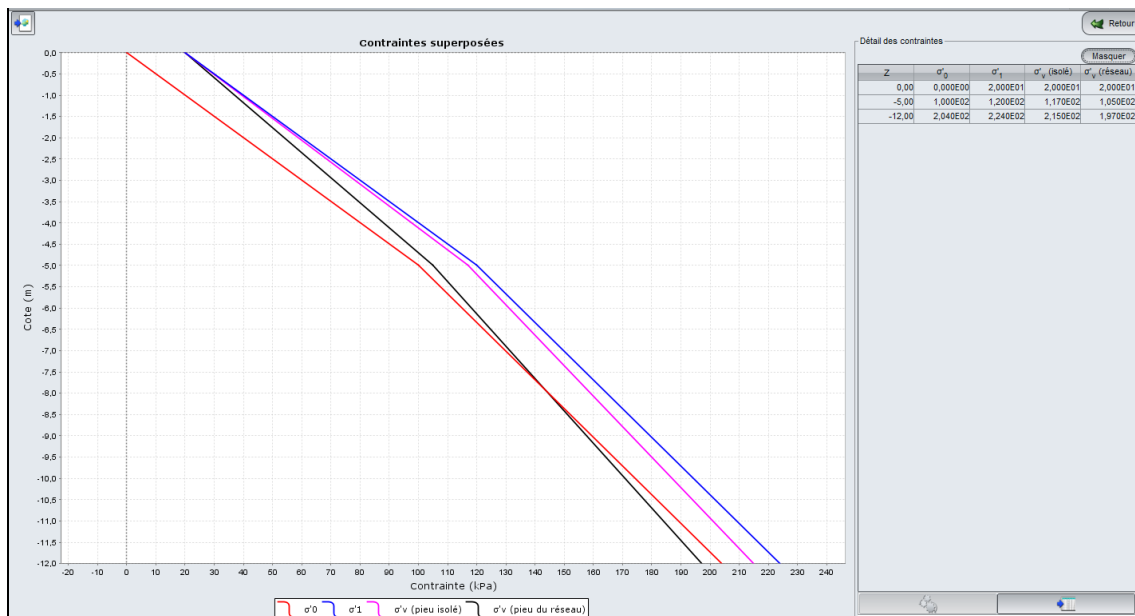
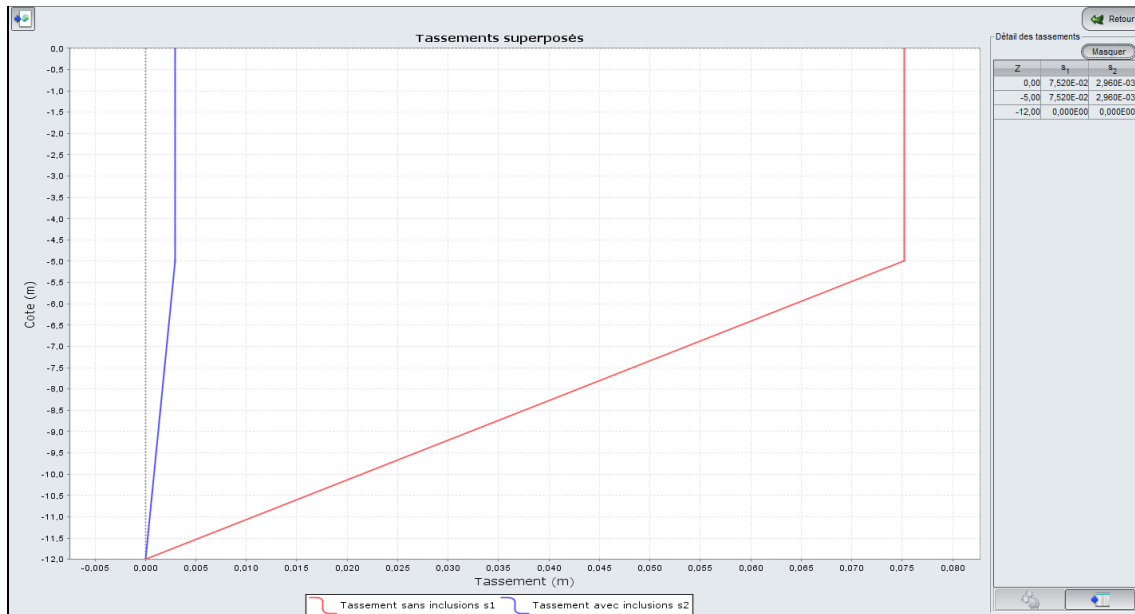


On observe notamment que :

- la contrainte totale verticale σ'_0 augmente avec la profondeur en fonction du poids propre de chaque couche et la contrainte maximale $\sigma_{\max}$ est égale dans le cas de cet exemple à $\sigma'_0 + 20$ kPa (surcharge uniforme appliquée en tête de modèle) ; ces 2 courbes sont les mêmes pour le pieu isolé et pour le pieu dans un réseau ;
- la contrainte σ'_v à l'interface sol/pieu diminue plus rapidement dans le cas du pieu dans un réseau et par conséquent, la contrainte de frottement τ (qui vaut $K \cdot \tan \delta \cdot \sigma'_v$) est également plus faible pour le pieu dans un réseau que pour le pieu isolé ;

- dans le cas du pieu dans un réseau, la courbe de dq_{moy} est donnée : elle est égale en tête à la charge uniforme appliquée en tête (20 kPa), et en pied à 0 ;
- le frottement négatif s'applique sur toute la hauteur du pieu isolé (profondeur critique à -12,0 m) tandis qu'il ne s'applique que sur 5,8 m pour le pieu dans un réseau (cf résultats formatés ci-dessus) ;
- le frottement négatif total intégré le long du fût du pieu isolé est de 1294 kN ; et il est beaucoup plus faible (327 kN) pour le pieu dans un réseau.

Enfin, on donne ci-dessous les 2 autres formes de résultats graphiques : les tassements superposés et les contraintes superposées.



Le tassement oedométrique sans inclusions est de 7,5 cm.

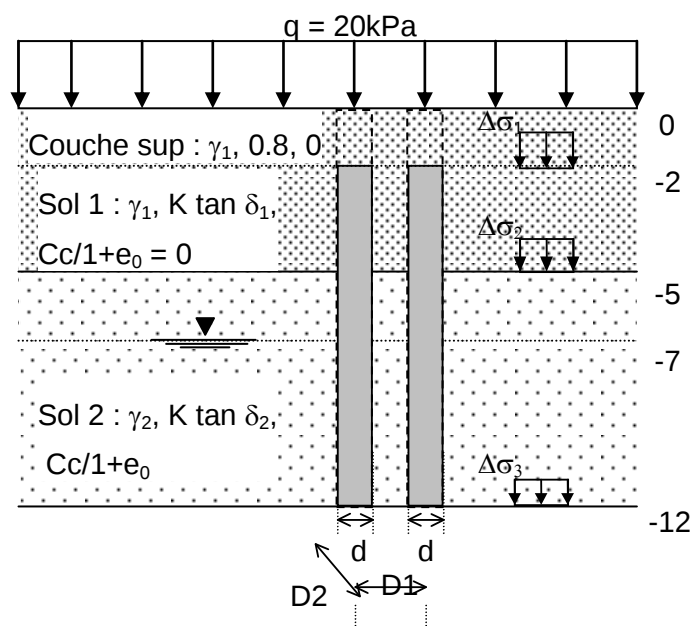
Il n'est plus que de 3 mm avec les inclusions (tassement moyen entre les inclusions).

Dans les 2 cas, le tassement se produit uniquement dans la couche 2 compte-tenu des caractéristiques de la couche 1.

E.4.1.3. Exemple1 : Variante

Sur la base de ce même exemple, on propose ici une variante : la tête du pieu est située à la cote -2,0 (au lieu de la cote 0,0 dans la première partie de l'exemple).

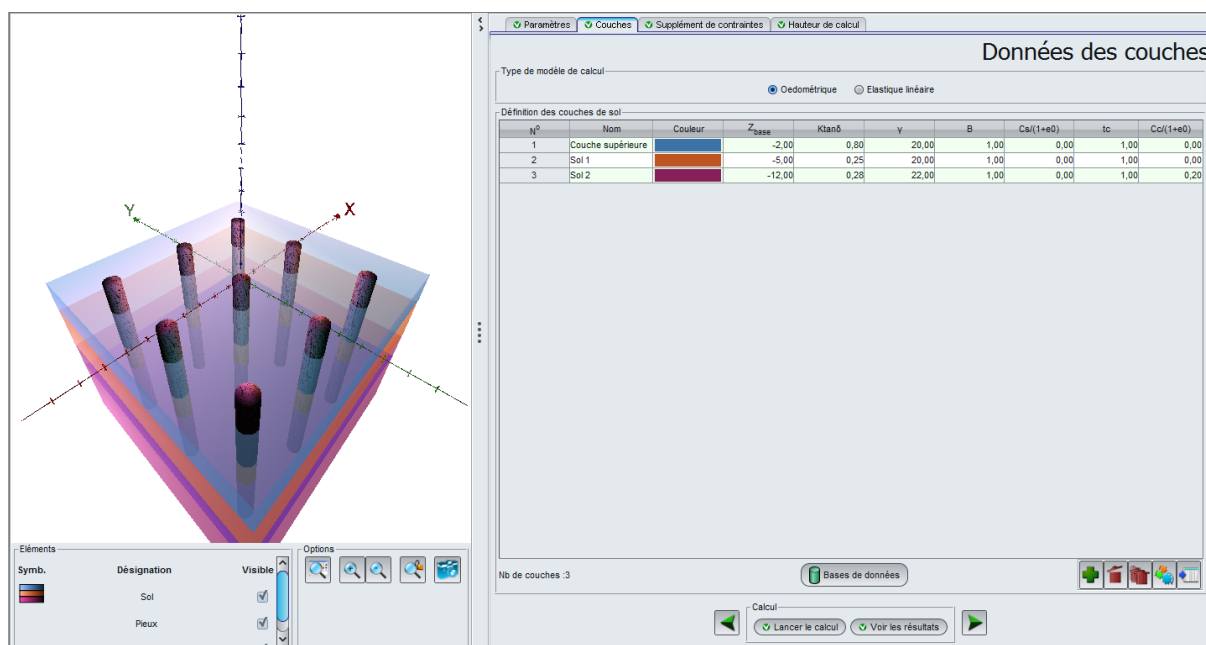
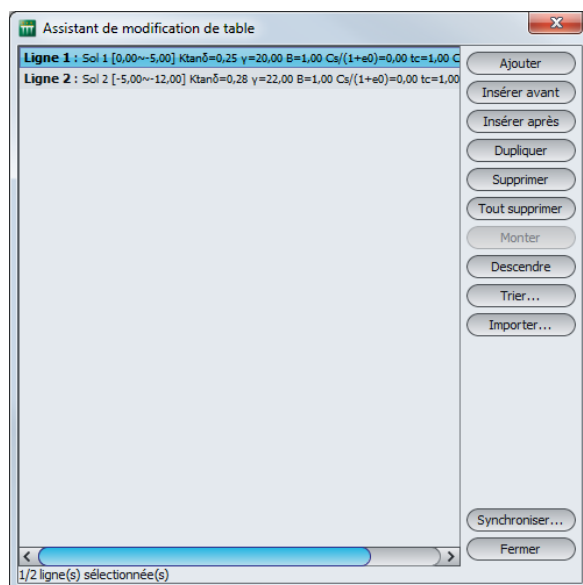
On considère alors qu'il existe un report de charge dans le remblai, que l'on évalue en appliquant un coefficient $K \tan \delta = 0.8$ le long de l'inclusion fictive qui prolonge l'inclusion dans le remblai (entre les cotes 0,0 et -2,0).



E.4.1.3.1. Modification des données

Le seul changement de données à réaliser concerne les caractéristiques des couches de sols. Il faut insérer une nouvelle couche entre les cotes 0,0 et -2,0 m. Procéder comme suit :

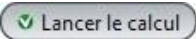
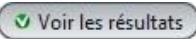
- ouvrir l' "Assistant avancé de modification de la table"  ;
- sélectionner la première ligne de sol, puis cliquer sur le bouton **Insérer avant** (insère une ligne vierge avant la ligne sélectionnée) ;
- quitter l'assistant en cliquant sur le bouton **Fermer** ;
- renseigner les caractéristiques de cette nouvelle couche.

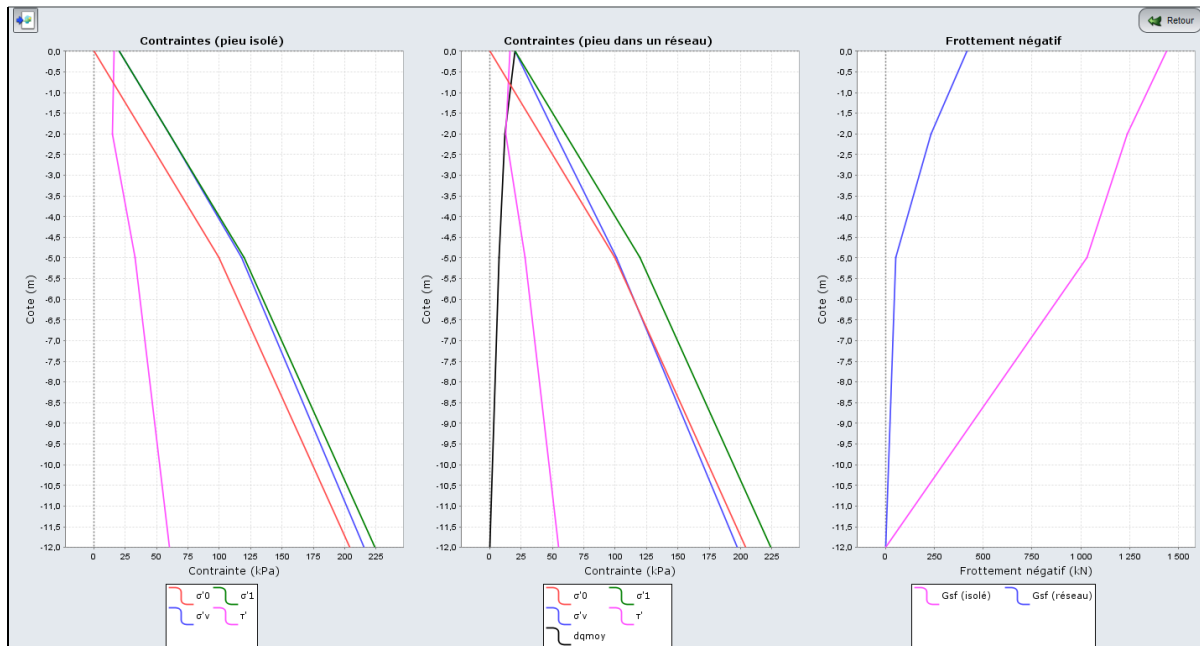


Les nouvelles données de sol sont donc à présent les suivantes :

Nom	Z _{base} (m)	Ktanδ	γ (kN/m ³)	B (m)	Cs/(1+e0)	tc	Cc/(1+e0)
Couche supérieure	-2,0	0,80	20,0	1,0	0,00	1,00	0,00
Couche 1	-5,0	0,25	20,0	1,0	0,00	1,00	0,00
Couche 2	-12,0	0,28	22,0	1,0	0,00	1,00	0,20

E.4.1.3.2. Calcul et résultats

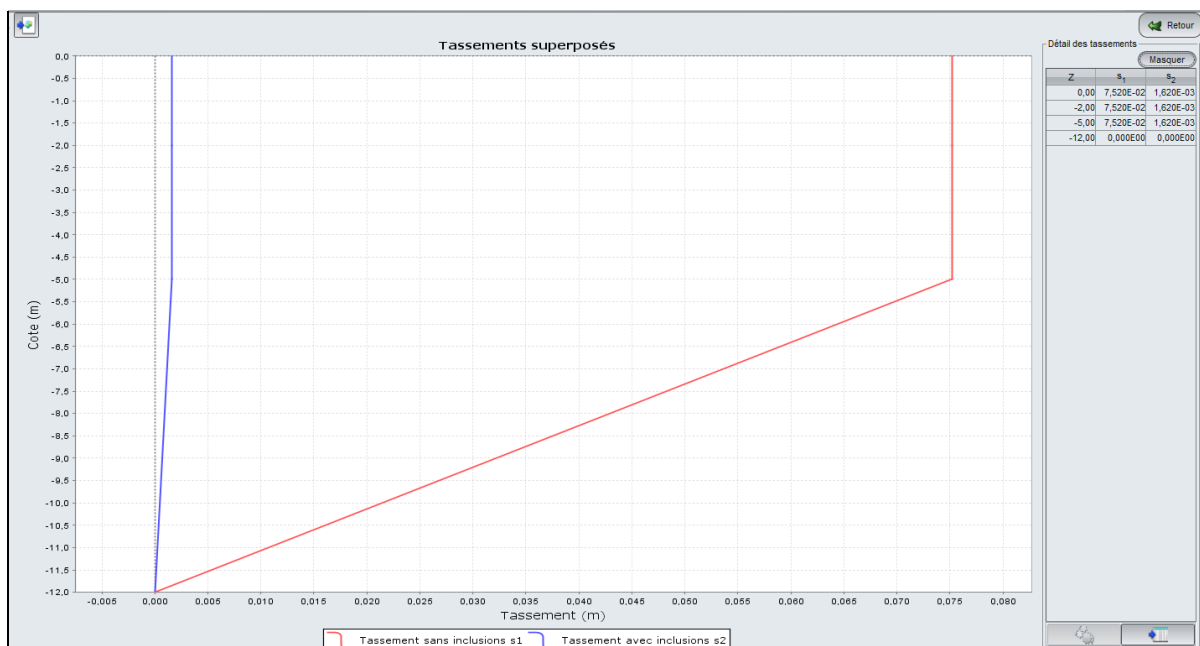
Relancer le calcul en cliquant à nouveau sur le bouton  puis sur  pour voir les résultats.

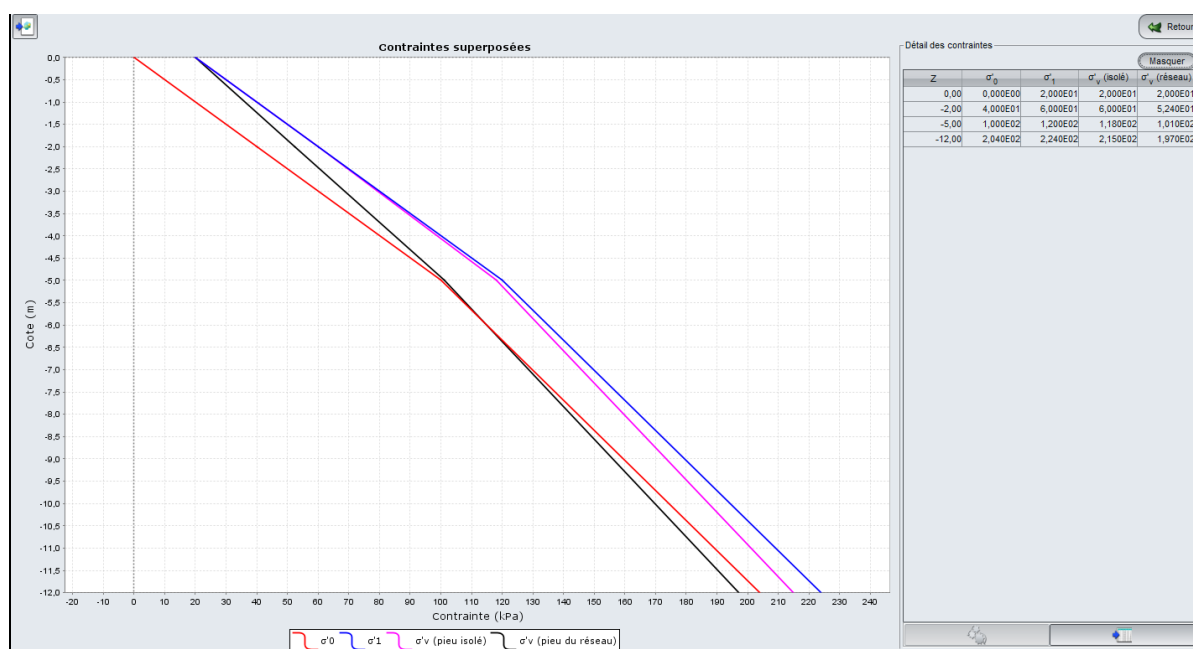


On visualise bien l'effet de la couche supérieure de 2 m sans inclusions.

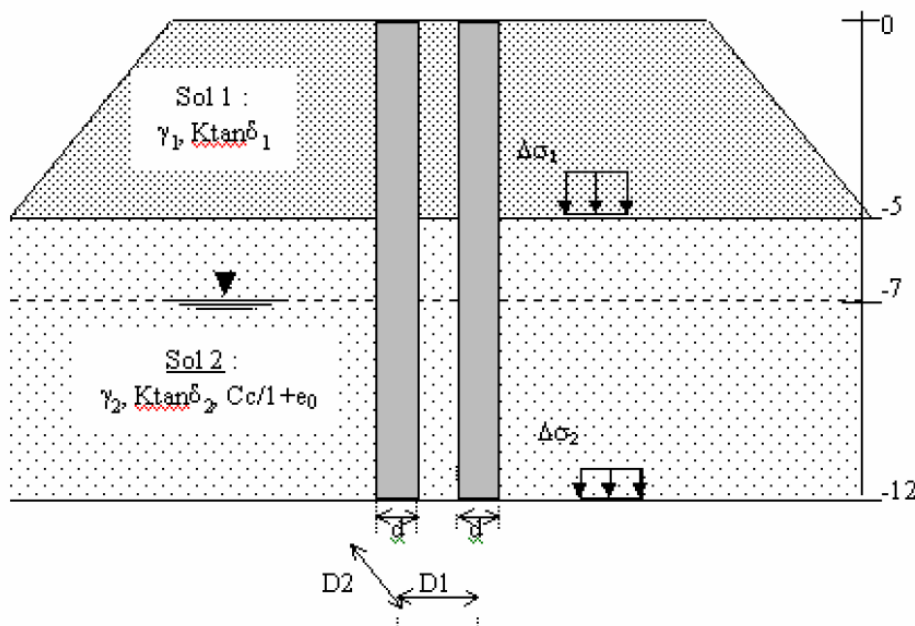
Le frottement négatif total est plus élevé, du fait de la forte valeur de $K \cdot \tan \delta$ sur les 2 premiers mètres en surface.

Le tassement entre les inclusions pour le pieu dans le réseau a diminué par rapport au calcul initial (1,6 mm au lieu de 3 mm), du fait du transfert de charge plus important sur le pieu (mobilisation du frottement négatif en surface plus importante).





E.4.2. Example 2



Dans ce deuxième exemple, on traite du cas d'un remblai rapporté de dimensions finies. Aucune surcharge supplémentaire n'est imposée en tête et on choisit un profil de sol similaire à celui du premier exemple.

D'une part, le remblai étant rapporté, il est nécessaire de traduire le fait que la situation considérée comme initiale ne comporte pas de remblai. C'est pourquoi, lors de la description des caractéristiques des couches de sol, le poids volumique du remblai sera pris nul et son poids sera déclaré en tant que surcharge.

D'autre part, les dimensions du remblai étant finies, l'incrément de contrainte induit dans le sol sous le remblai diminue avec la profondeur. Afin de connaître sa variation, nous allons effectuer un calcul Tasseldo préalable.

Nota : dans Tasseldo, afin d'obtenir des résultats plus précis, il est conseillé de discrétiser la couche. Il faut faire de même dans Tasneg.

Les caractéristiques des couches sont les mêmes que l'exemple précédent.

E.4.2.1. Création du projet

A l'ouverture de l'application, Foxta propose :

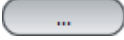
- de créer un nouveau projet ;
- d'ouvrir un projet existant ;
- d'ouvrir automatiquement le dernier projet utilisé.

Dans le cas de cet exemple :

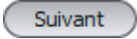
- choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton ☒ Nouveau projet ;
- cliquer sur le bouton .

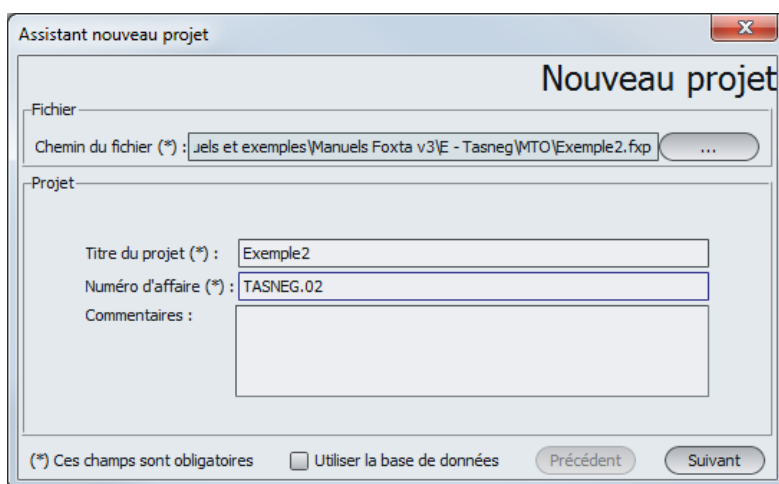
E.4.2.1.1. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier"

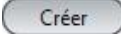
- renseigner le chemin du projet en cliquant sur le bouton  ;
- donner un nom au fichier et l'enregistrer.

Cadre "Projet"

- donner un titre au projet ;
- saisir un numéro d'affaire ;
- compléter avec un commentaire si besoin ;
- laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton .



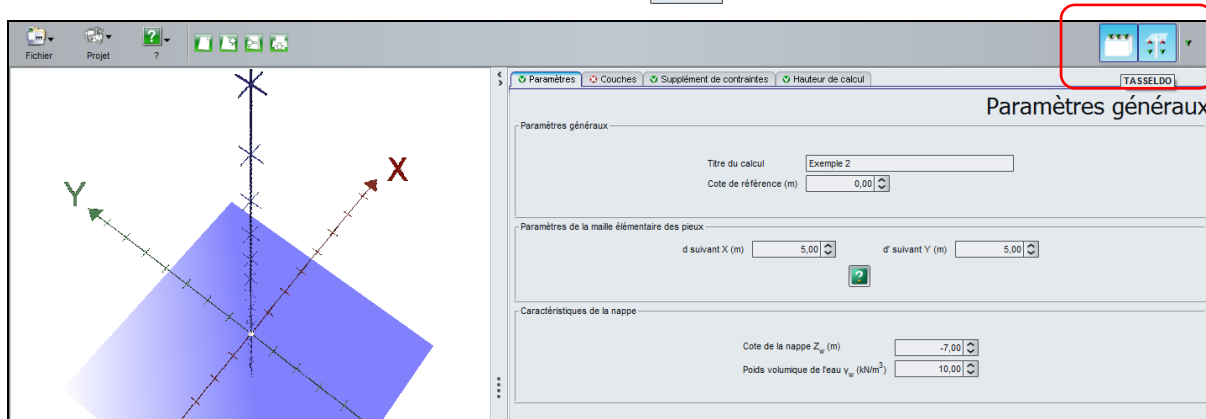
E.4.2.1.2. Assistant Nouveau projet : choix des modules

Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner les modules Tasseldo et Tasneg, puis cliquer sur le bouton .

La fenêtre principale de Tasneg apparaît.

E.4.2.2. Etape 1 : module Tasseldo

Afin de calculer la variation de la contrainte avec la profondeur, nous allons travailler d'abord dans le module Tasseldo : cliquer sur le bouton  en haut à droite de la fenêtre.



E.4.2.2.1. Onglet Paramètres

Cadre "Paramètres généraux"

- saisir le titre du calcul : Exemple 2 ;
- type d'impression : sélectionner "Impression normale".

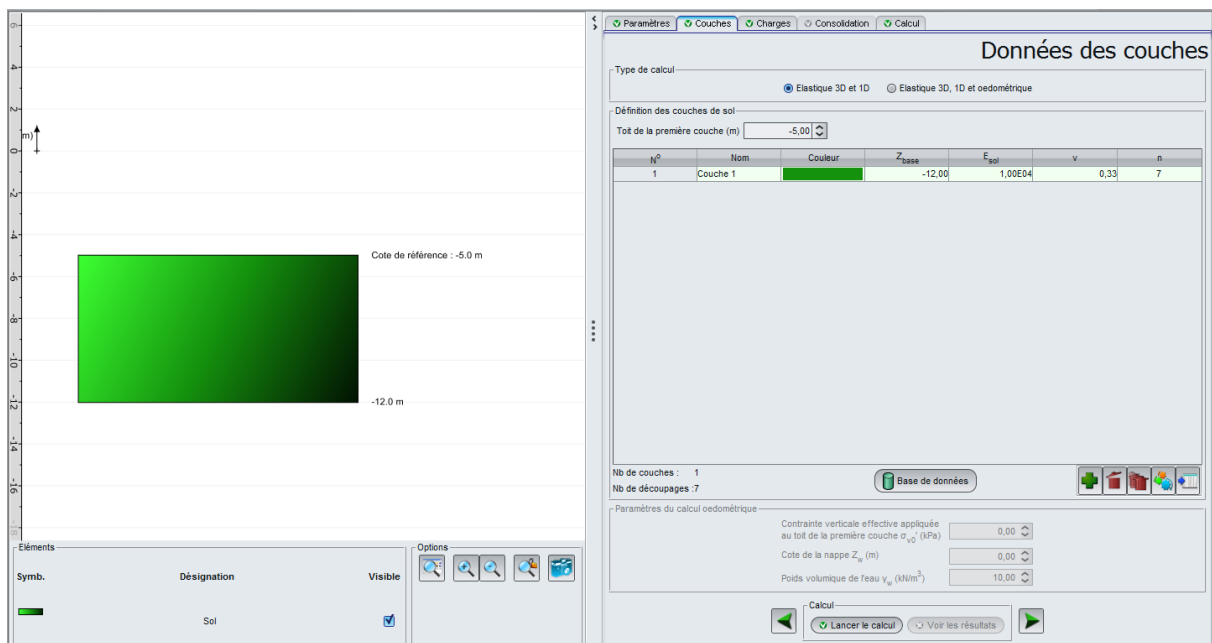
Cadre "Importation"

Nous n'importons pas de projet depuis Tasplaq dans ce projet.



E.4.2.2.2. Onglet "Couches"

Les données des couches se distinguent en trois cadres différents :



N°	Nom	Couleur	Z _{base}	E _{sol}	v	n
1	Couche 1		-12.00	1.00E04	0.33	7

Paramètres du calcul oedométrique

Contrainte verticale effective appliquée au toit de la première couche σ'_{v0} (kPa): 0.00

Cote de la nappe Z_w (m): 0.00

Poids volumique de l'eau γ_w (kN/m³): 10.00

Cadre "Type de calcul"

- sélectionner "Elastique 3D et 1D".

Cadre "Définition des couches de sol"

- toit de la première couche : $z = -5,0$ m.

Créer ensuite une couche de sol en cliquant sur le bouton .

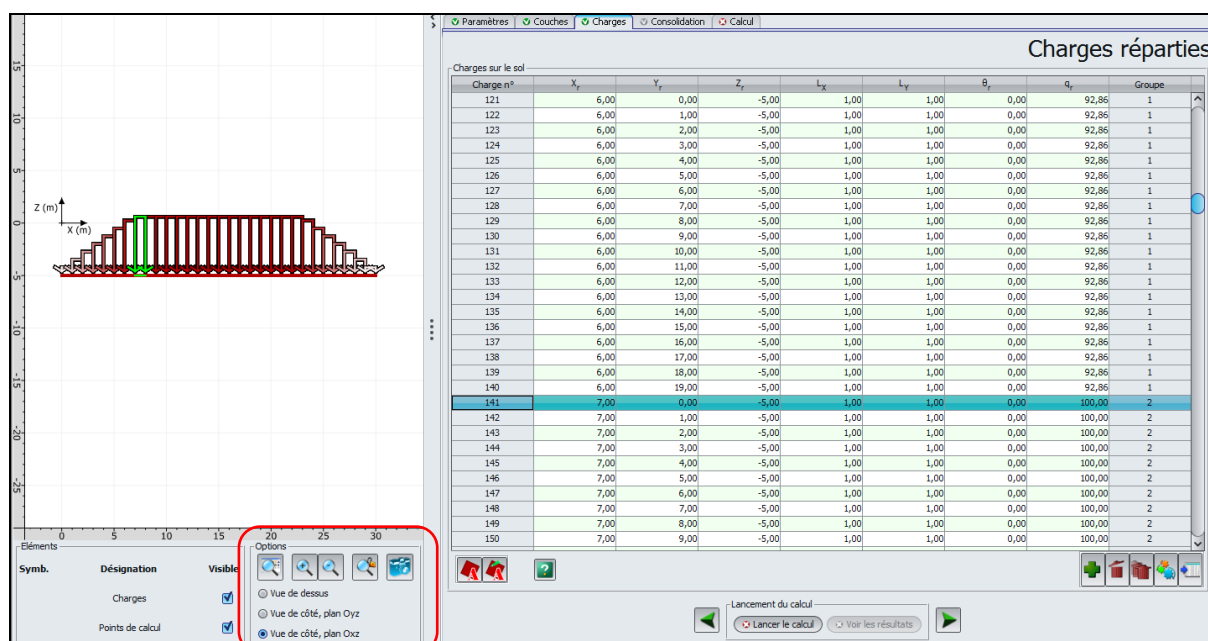
Tasseldo calcule un profil de contraintes verticales sur la base du modèle de Boussinesq. Celui-ci étant indépendant du module de déformation, on choisit donc une valeur quelconque pour le module du sol E (par exemple $E = 10000$ kPa).

Nom	Z _{base} (m)	E _{sol}	ν	N
Couche 2	-12,0	10000	0,33	7

E.4.2.2.3. Onglet "Charges"

Cet onglet permet de définir de nouvelles charges à géométrie circulaire, annulaire ou trapézoïdale à l'aide de l'assistant : .

Ci-dessous la représentation graphique de la charge totale, vue de côté, plan Oxz :



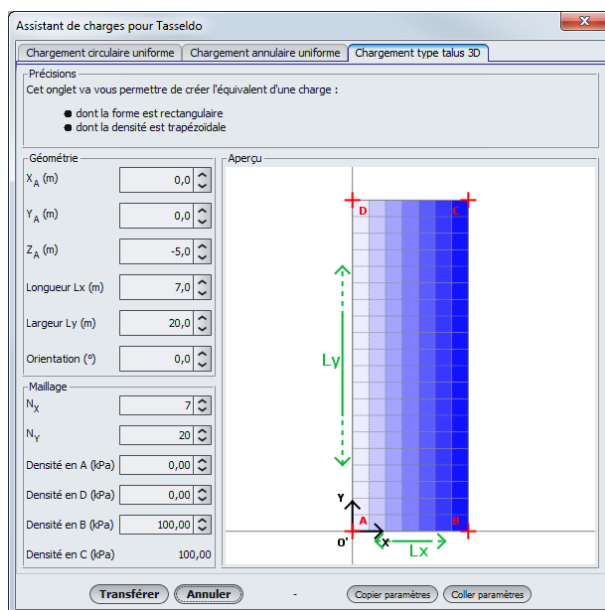
Afin de définir un talus de forme trapézoïdale, nous allons utiliser l'assistant de charge trois fois de suite.

Définir les chargements suivants (tous de type "Talus 3D") :

- 1^{er} chargement : de 0 à 100 kPa pour la partie "montante" gauche du remblai ;
- 2^{ème} chargement : uniforme de 100 kPa pour la partie centrale ;
- 3^{ème} chargement : de 100 à 0 kPa pour la partie "descendante" droite du remblai.

1^{er} chargement : partie trapézoïdale "gauche"

Cliquer sur le bouton Assistant  puis choisir l'onglet "Chargement type talus 3D", et renseigner les valeurs comme indiqué ci-dessous.



Les données à saisir sont les suivantes :

Géométrie						Maillage					
X _A (m)	Y _A (m)	Z _A (m)	L _x (m)	L _y (m)	Orient (°)	N _x	N _y	Densité A (kPa)	Densité D (kPa)	Densité B (kPa)	Densité C (kPa)
0,0	0,0	-5,0	7,0	20,0	0	7	20	0	0	100	100

Cliquer sur le bouton **Transférer** pour ramener les valeurs dans le projet. Un premier groupe de valeurs est alors intégré dans l'application.

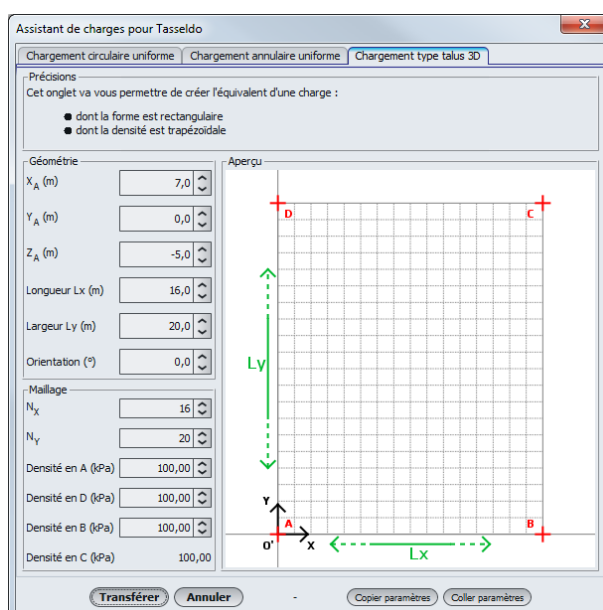
2^{ème} chargement : partie centrale uniforme

Cliquer sur le bouton Assistant  puis choisir à nouveau l'onglet "Chargement type talus 3D".

Les données à saisir sont les suivantes :

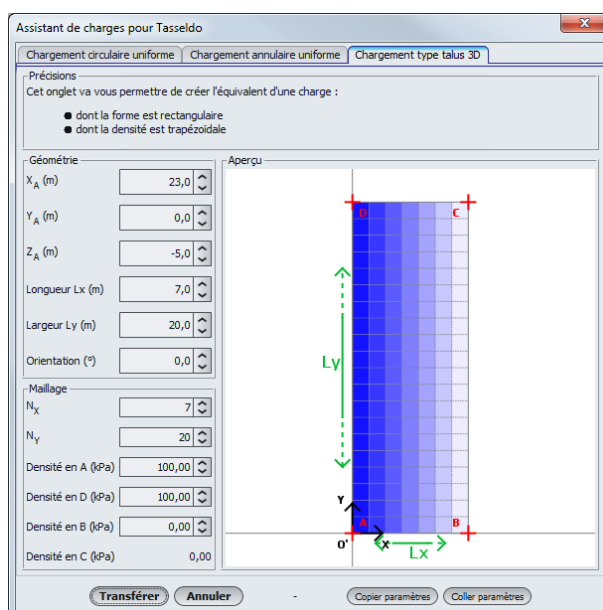
Géométrie						Maillage					
X _A (m)	Y _A (m)	Z _A (m)	L _x (m)	L _y (m)	Orient (°)	N _x	N _y	Densité A (kPa)	Densité D (kPa)	Densité B (kPa)	Densité C (kPa)
7,0	0,0	-5,0	16,0	20,0	0	16	20	100	100	100	100

Cliquer sur le bouton **Transférer** pour ramener les valeurs dans le projet. Le deuxième groupe de valeurs est alors intégré dans l'application.



3^{ème} chargement : partie trapézoïdale "droite"

Cliquer sur le bouton Assistant  puis choisir l'onglet "Chargement type talus 3D".

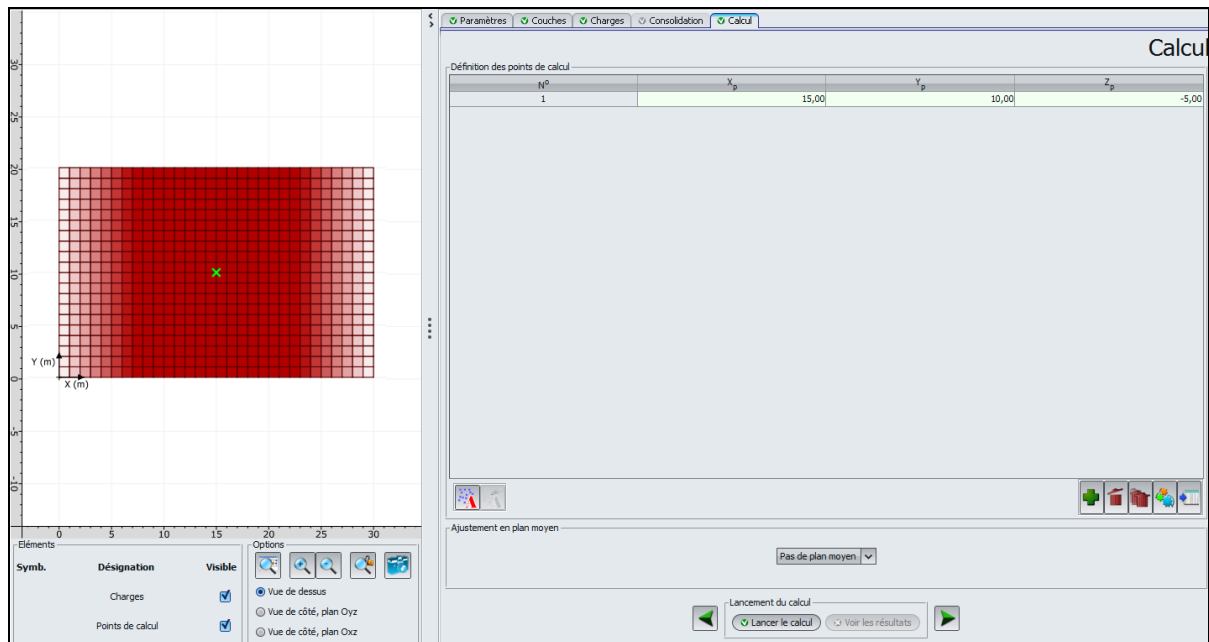


Les données à saisir sont les suivantes :

Géométrie						Maillage					
X_A (m)	Y_A (m)	Z_A (m)	L_x (m)	L_y (m)	Orient (°)	N_x	N_y	Densité A (kPa)	Densité D (kPa)	Densité B (kPa)	Densité C (kPa)
23,0	0,0	-5,0	7,0	20,0	0	7	20	100	100	0	0

Cliquer sur le bouton **Transférer** pour ramener les valeurs dans le projet. Le troisième groupe de valeurs, et donc la totalité des valeurs, est alors intégré dans l'application.

E.4.2.2.4. Onglet "Calcul"



Cadre "Définition des points de calcul"

Définir un seul point de calcul au centre du chargement et au niveau du TN.

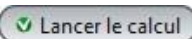
Les données à saisir sont les suivantes :

X_p (m)	Y_p (m)	Z_p (m)
15,0	10,0	-5,0

Cadre "Ajustement du plan moyen"

- sélectionner dans la liste déroulante : Pas de plan moyen.

E.4.2.2.5. Calcul

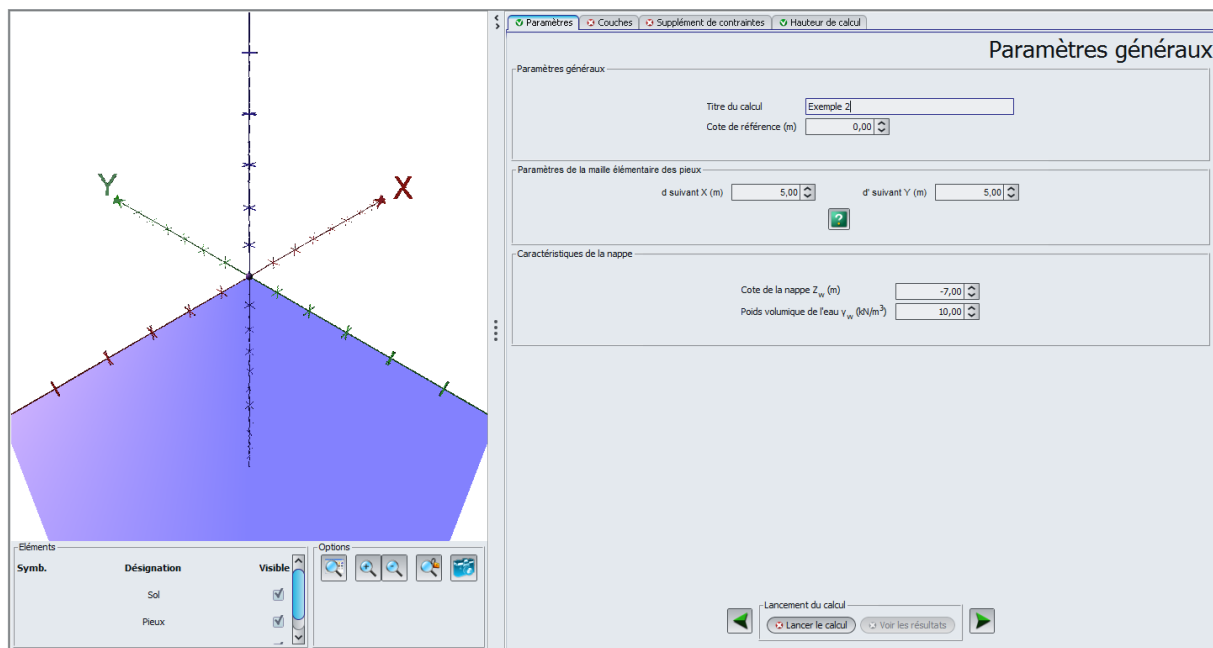
Lancer le calcul du projet Tasseldo en cliquant sur le bouton  afin de générer les résultats. Ceux-ci seront importés dans le module Tasneg à l'étape 2.

E.4.2.3. Etape 2 : module Tasneg

Cliquer sur le bouton  pour accéder au module Tasneg.

E.4.2.3.1. Onglet "Paramètres"

Nous allons définir les paramètres dans trois cadres distincts :



Cadre "Paramètres généraux"

- titre du calcul : exemple 2 ;
- cote de référence : 0,00 m.

Cadre "Paramètres de la maille élémentaire des pieux"

- d suivant X : 5,00 m ;
- d suivant Y : 5,00 m.

Cadre "Caractéristiques de la nappe"

- cote de la nappe $Z_w = -7,0$ m ;
- poids volumique de l'eau $\gamma_w = 10,0$ kN/m³.

E.4.2.3.2. Onglet "Couches"

Les données des couches seront renseignées dans les 2 cadres ci-dessous :

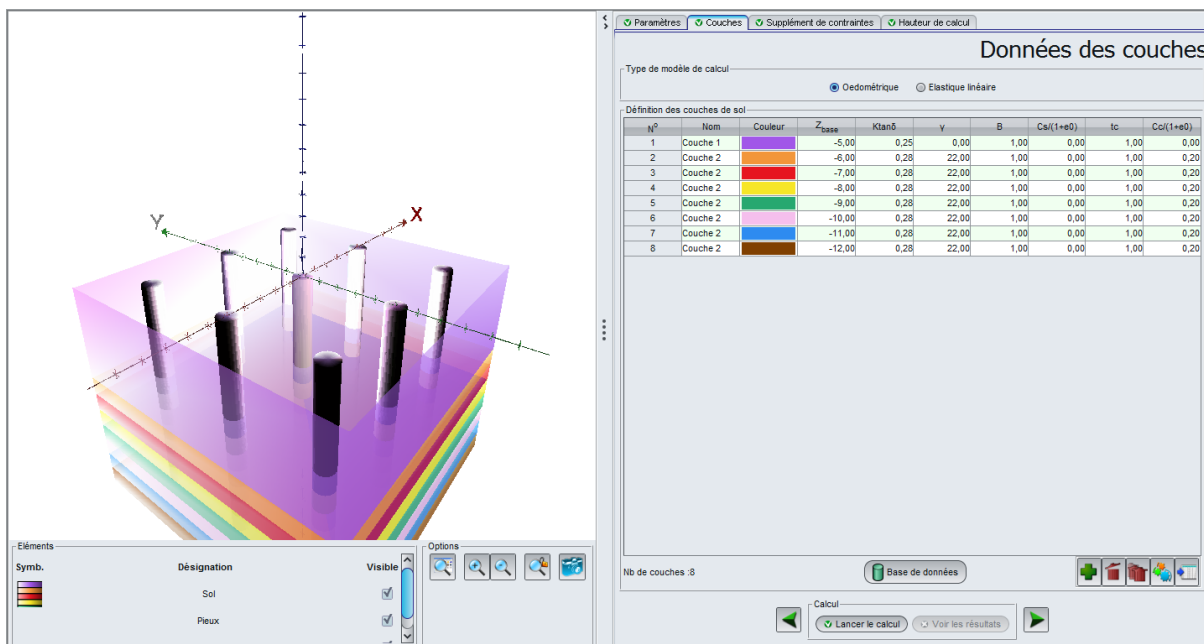
Cadre "Type de modèle de calcul"

- sélectionner le radio-bouton "Œdométrique".

Cadre "Définition des couches de sol"

- Les données à saisir sont données dans le tableau de la page suivante.

A noter : le sol étant normalement consolidé, le paramètre $C_s/(1+e_0)$ n'est pas pris en compte dans le calcul : $C_s/(1+e_0) = 0$.



Nom	Z _{base} (m)	Ktanδ	γ (kN/m ³)	B (m)	C _s /(1+e ₀)	t _c	C _c /(1+e ₀)
Couche 1	-5,0	0,25	0,00	1,0	0	1,00	0,00
Couche 2	-6,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20
Couche 2	-7,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20
Couche 2	-8,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20
Couche 2	-9,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20
Couche 2	-10,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20
Couche 2	-11,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20
Couche 2	-12,0	0,28	22,0	1,0	0	1,00	0,20

Important : on répète donc la couche 2 tous les mètres, car la discrétisation dans Tasseldo a été définie de manière à obtenir un point de calcul tous les mètres entre 5 et 12 m de profondeur. En effet, les valeurs de supplément de contrainte importées depuis Tasseldo (cf chapitre suivant) seront celles correspondant aux cotes de base de couche communes entre les résultats du calcul Tasseldo et la définition des couches de sol dans Tasneg.

E.4.2.3.3. Onglet "Supplément de contrainte"

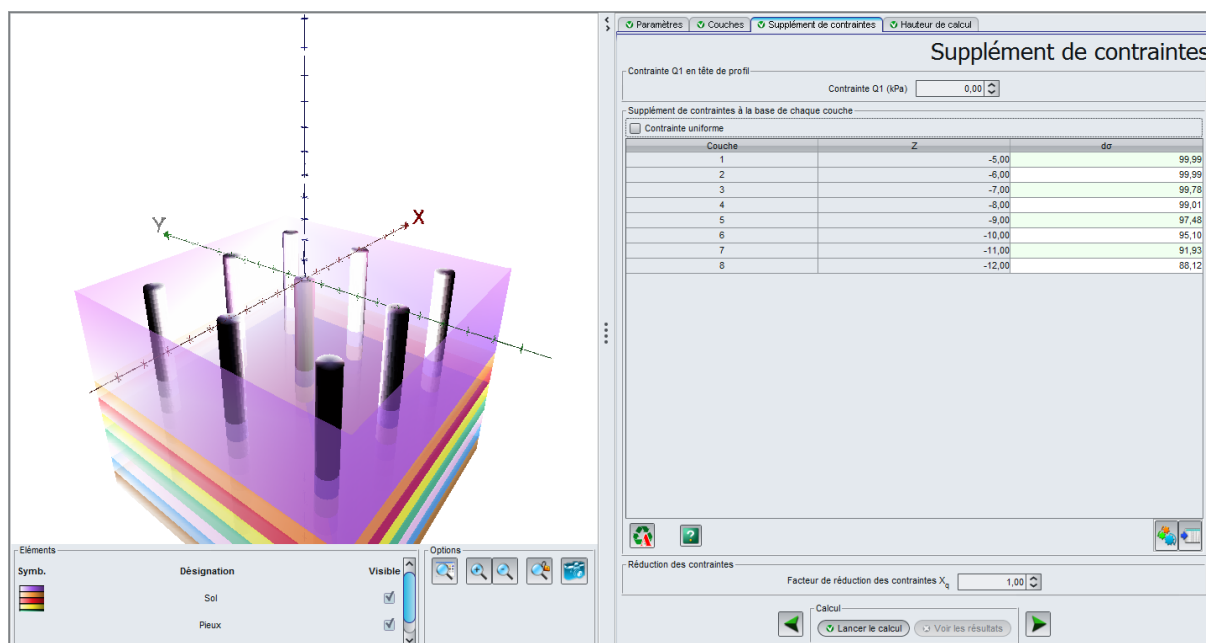
Cet onglet permet de définir la contrainte Q1 en tête de profil et le supplément de contrainte à la base de chaque couche. Dans cet exemple, nous allons importer les données du point de calcul défini précédemment dans le module Tasseldo (à l'étape 1).

Cadre "Contrainte Q1 en tête de profil"

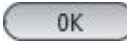
- contrainte Q1 : 0 kPa.

Cadre "Supplément de contrainte à la base de chaque couche"

- contrainte uniforme : décochée.

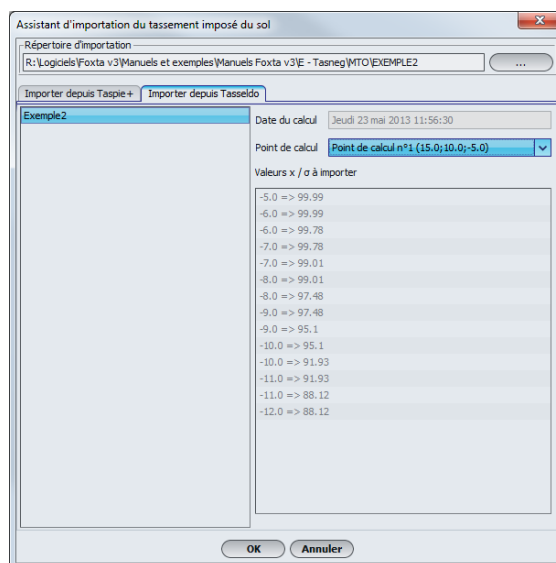


Afin d'importer les données du point de calcul défini dans Tasseldo, cliquer sur le bouton "Assistant d'importation"  :

- dans le cadre "Répertoire d'importation", indiquer le chemin du projet Tasseldo ;
- sélectionner l'onglet "Importer depuis Tasseldo" :
 - sélectionner le projet 'Exemple 2' dans la partie gauche ;
 - sélectionner le point de calcul dans la liste déroulante sur la partie droite : les valeurs x / σ à importer s'affichent dessous ;
 - puis cliquer sur le bouton  pour importer les valeurs dans Tasneg.

Nota : du fait que la couche 2 a été définie par pas successifs de 1 m, l'importation Tasseldo fournit bien une valeur de $d\sigma$ tous les mètres en profondeur.

On retrouve bien $d\sigma = 100$ kPa (contrainte apportée par le remblai) à la cote -5 m. L'incrément de contrainte diminue ensuite avec la profondeur (88 kPa à la cote -12 m).



Cadre "Réduction des contraintes"

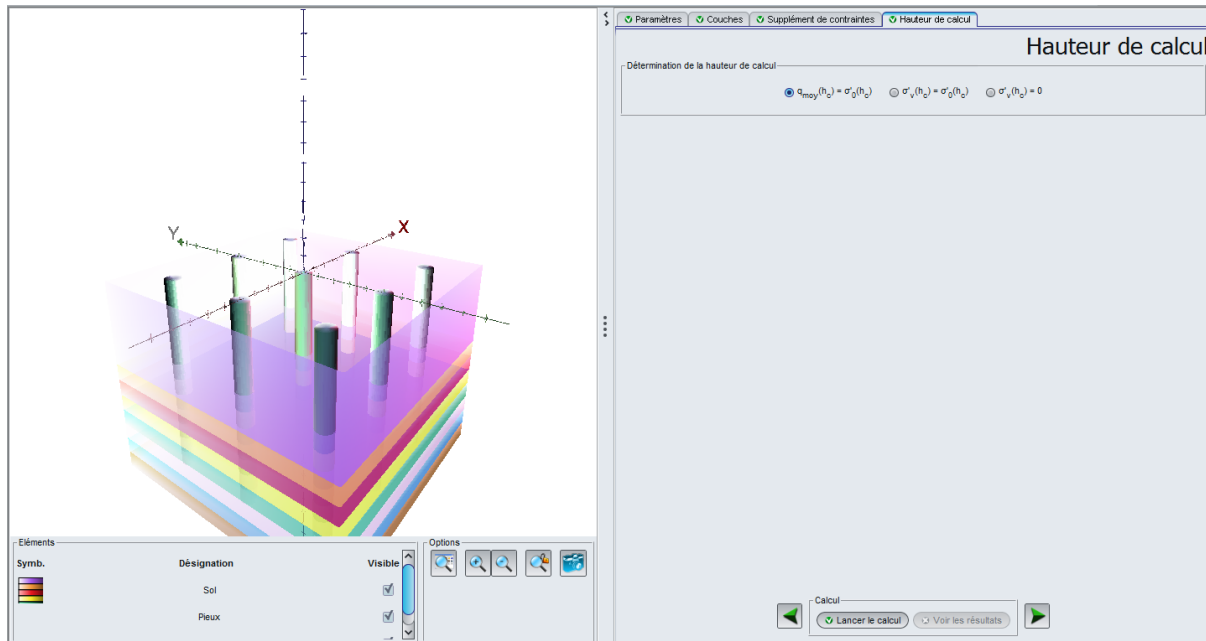
- Facteur de réduction des contraintes $X_q = 1,0$.

E.4.2.3.4. Onglet "Hauteur de calcul"

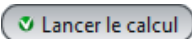
Dans le dernier onglet, il reste à préciser la méthode de détermination de la hauteur critique du frottement négatif.

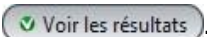
Cadre "Détermination de la hauteur de calcul"

- $q_{moy}(h_c) = \sigma'_0(h_c)$: c'est le choix proposé par défaut, et on le conserve pour cet exemple.



E.4.2.3.5. Calcul et résultats

Cliquer sur le bouton  (accessible depuis tous les onglets).

Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton .

Résultats numériques formatés :

Programme Tasneg v1.3.2 (c) TERRASOL 2011

File: R:\Logiciels\Foxta\Foxta v3\Manuels et exemples\Manuels Foxta v3\E - Tasneg\WTO\EXEMPLE2\Exemple2[TN].tsn

Calcul réalisé le : 03/03/2014 à 16h31
par : Terrasol

Exemple 2

Maille des pieux : 5.000 x 5.000
Rayon du cylindre équivalent : 2.8209

Cote de la nappe : -7.00
Poids volumique eau : 10.00

CARACTERISTIQUES DES COUCHES

N	Z	K.tand	Gamma	Rayon	m1	m2	T2
	0.000						
1	-5.000	0.250	0.000	0.500	0.0080	0.0471	0.6891
2	-6.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467
3	-7.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467
4	-8.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467
5	-9.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467
6	-10.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467
7	-11.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467
8	-12.000	0.280	22.000	0.500	0.0056	0.0486	0.7467

CHARGEMENT ET TASSEMENT SANS INCLUSIONS

N	Z	sig0	sigmax	ds/dz	cs/(1+e)	sigp	cc/(1+e)	tassement
1	0.000	0.000	0.000	19.998	0.000	0.000	0.000	0.692
2	-5.000	0.000	99.990	22.000	0.000	0.000	0.200	0.692
3	-6.000	22.000	121.990	21.790	0.000	22.000	0.200	0.491
4	-7.000	44.000	143.780	11.230	0.000	44.000	0.200	0.370
5	-8.000	56.000	155.010	10.470	0.000	56.000	0.200	0.275
6	-9.000	68.000	165.480	9.620	0.000	68.000	0.200	0.193
7	-10.000	80.000	175.100	8.830	0.000	80.000	0.200	0.121
8	-11.000	92.000	183.930	8.190	0.000	92.000	0.200	0.057
9	-12.000	104.000	192.120	8.190	0.000	104.000	0.200	0.000
0.692								

Pieu isolé

Z	sig0	sigmax	q	tau	Gsf
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-5.000	0.000	99.990	98.010	27.443	193.729
-6.000	22.000	121.990	119.402	33.433	95.631
-7.000	44.000	143.780	140.466	39.331	114.305
-8.000	56.000	155.010	150.882	42.247	128.146
-9.000	68.000	165.480	160.482	44.935	136.349
-10.000	80.000	175.100	169.181	47.371	144.397
-11.000	92.000	183.930	177.044	49.572	152.181
-12.000	104.000	192.120	184.225	51.583	158.897

* Cote profondeur critique : -12.000
Critère : q = sig0

1124.936

Pieu dans réseau infini

Z	sig0	sigmax	q	tau	Gsf	dqmq	tassement
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.5985
-5.000	0.000	99.990	89.096	24.947	181.794	92.482	0.5985
-6.000	22.000	121.990	106.339	29.775	86.018	88.303	0.4055
-7.000	44.000	143.780	122.558	34.316	100.732	83.933	0.2940
-8.000	56.000	155.010	127.700	35.756	110.087	78.616	0.2102
-9.000	68.000	165.480	131.656	36.920	114.173	72.371	0.1410
-10.000	80.000	175.100	134.885	37.796	117.374	65.144	0.0839
-11.000	92.000	183.930	137.194	38.414	119.718	57.030	0.0373
-12.000	104.000	192.120	138.673	38.829	121.338	48.209	0.0000

* Cote profondeur critique : -12.000
Critère : dqmq = sig0

951.235

0.5985

DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LE GROUPE

		frottement négatif	frottement négatif + surcharge (0.00)
Une file de pieux :			
pieu extérieur		1067.036	1067.036
pieu intérieur		1009.135	1009.135
Plusieurs files :			
pieu d'angle		1023.610	1023.610
pieu extérieur		980.185	980.185
pieu intérieur		951.235	951.235

EFFORT TOTAL APPLIQUE EN TETE :

0.000

0.000

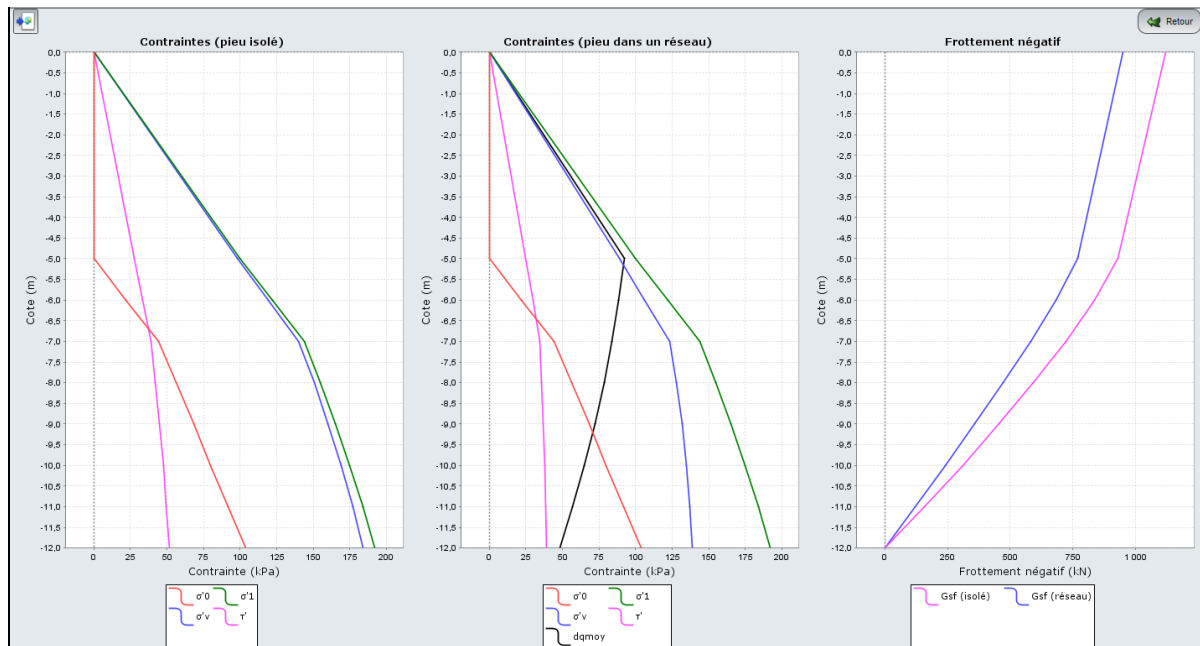
On obtient un tassement œdométrique sans inclusions de 69 cm, et un tassement œdométrique moyen entre les inclusions de 60 cm.

La profondeur critique pour le pieu isolé et pour le pieu dans le réseau est égale à -12,0 m : le frottement négatif se produit sur toute l'épaisseur de la couche compressible.

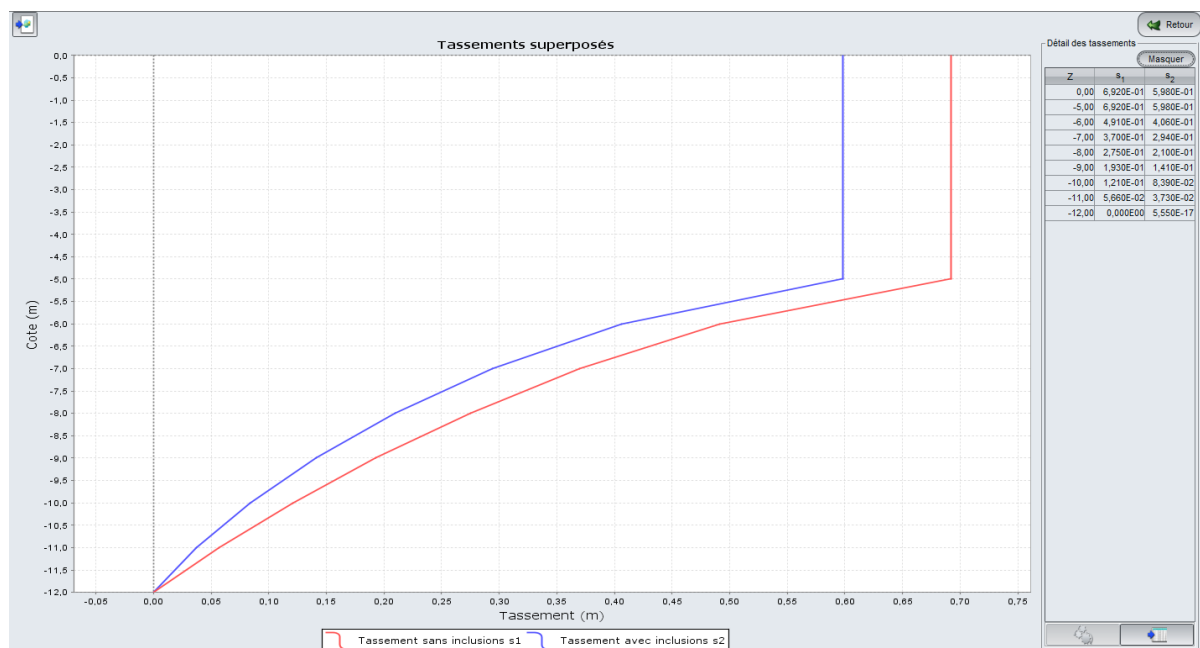
Le frottement négatif total dans le cas du pieu dans le réseau est de 951 kN.

Résultats graphiques

Courbes principales :



Tassements superposés :



Contraintes superposées :

