



SCIA
BY ALLPLAN



\ SCIA ENGINEER
FORMATION AVANCÉE
Fondations

Toutes les informations contenues dans ce document sont sujettes à modification sans préavis. Aucune partie de ce manuel ne peut être reproduite, stockée dans une base de données ou un système d'extraction ou publiée, sous quelque forme ou de quelque manière que ce soit, électroniquement, mécaniquement, par impression, impression photo, microfilm ou tout autre moyen sans l'autorisation écrite préalable de l'éditeur. SCIA n'est pas responsable des dommages directs ou indirects dus à des imperfections de la documentation et / ou du logiciel.

© Copyright 2025 SCIA nv. Tous les droits sont réservés.

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| SOMMAIRE | 3 |
| INTRODUCTION | 4 |
| CHAPITRE 1 : SOUS-SOL | 5 |
| 1.1 Paramètres de sol | 5 |
| 1.2 Fondation élastique | 6 |
| CHAPITRE 2 : BLOCS DE FONDATION | 9 |
| 2.1 Exigences | 9 |
| 2.2 Approches de calcul | 10 |
| 2.3 Propriétés du sol | 15 |
| 2.4 Propriétés du bloc de fondation | 16 |
| 2.5 Contrôle du bloc de fondation | 22 |
| 2.6 Optimisation (« Autodesign ») du bloc de fondation | 29 |
| CHAPITRE 3 : SEMELLE DE FONDATION (LONGRINE) | 31 |
| CHAPITRE 4 : PROFILS GÉOLOGIQUES, ZONES GÉOLOGIQUES ET FORAGES | 32 |
| 4.1 Profil géologique | 32 |
| 4.2 Zones géologiques | 34 |
| 4.3 Forages | 35 |
| 4.4 Poussée des terres / d'eau | 38 |
| CHAPITRE 5 : SOIL-IN | 41 |
| 5.1 Calcul « Soil-In » | 42 |
| 5.2 Résultats « Soil-In » | 46 |
| 5.3 Plaques supplémentaires | 52 |
| 5.4 Trucs et astuces | 60 |
| ANNEXE 1 : RIGIDITÉ DU BLOC DE FONDATION | 65 |
| ANNEXE 2 : DONNÉES GÉOTECHNIQUES RECOMMANDÉES | 67 |

INTRODUCTION

Ce tutoriel explique les principes de l'utilisation des fondations et de « Soil-In » dans SCIA Engineer. La plupart des modules nécessaires à ces calculs sont inclus dans l'Édition Concept.

Pour quelques options, une Edition Concept n'est pas suffisante. Ces modules spécifiques ont inclus dans l'Édition Expert ou même quelques extra-modules sont nécessaires.

Les méthodes décrites dans ce manuel sont basées sur l'Eurocode 7. L'EN 1997-1 est destiné à être appliqué aux aspects géotechniques dans la conception de bâtiments et travaux d'ingénierie civil. Il s'agit d'exigences en matière de résistance, de stabilité, d'aptitude au service et de durabilité des structures.

Liste des modules disponibles :

- | | |
|-----------------------------|---|
| - senfd.01.en (esafd.02.01) | Bloc de fondations Eurocode (intégré à l'Édition Concept) |
| - sens.04 (esas.06) | Interaction du sol (intégré à l'Édition Expert) |
| - esas.08 | Sol (intégré au module basique sens.00) |

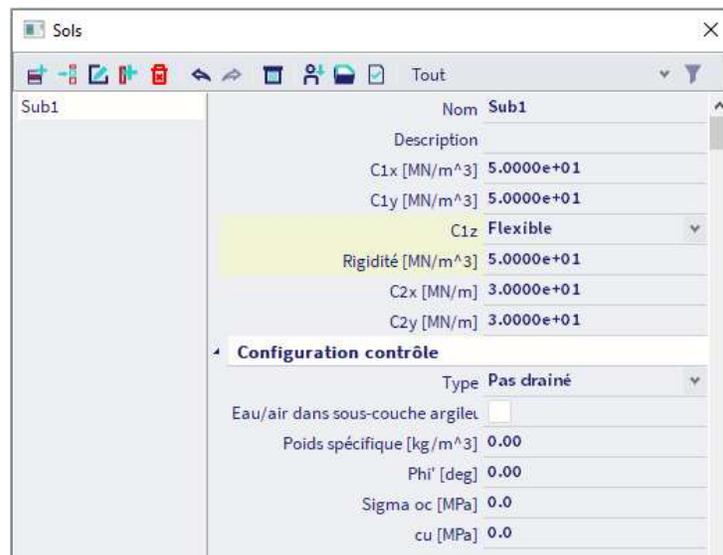
CHAPITRE 1 : SOUS-SOL

Dans SCIA Engineer, le sol sous la fondation est appelé « Sous-sol » et peut être défini par les fonctions du menu « Bibliothèque » / « Sous-sol et fondation ».

Aucune fonctionnalité des « Paramètres du projet » n'ont besoin d'être cochée.

1.1 Paramètres de sol

La définition des paramètres de sol peut être faite dans la fenêtre du Sous-sol. Cette fenêtre est accessible par le menu « Bibliothèque » / « Sous-sol et fondation » / « Sols ».



Les constantes C1 et C2 pour les directions X, Y et Z sont des paramètres représentant les propriétés du sous-sol.

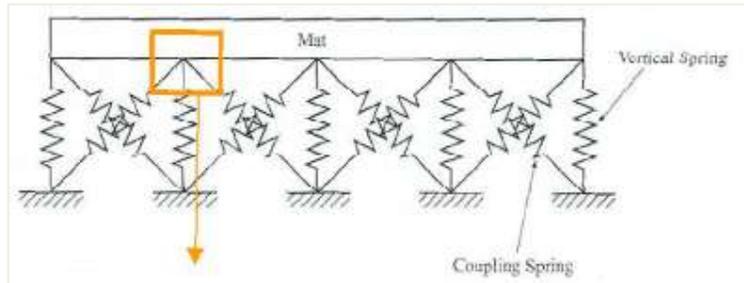
NB : Généralement, C2x est pris égal à C2y et C1x est pris égal à C1y.

Les données ci-dessous sont utilisées uniquement pour le contrôle de stabilité du bloc de fondation :

- Type : le sol peut être drainé ou non drainé.
- Poids spécifique : la densité du sol.
- Phi' : la valeur de l'angle de la résistance de cisaillement en termes de contrainte effective.
- Sigma oc : la contrainte admissible du sol (en option).
- Cu : la valeur de la résistance de cisaillement en non drainé.

1.2 Fondation élastique

Dans SCIA Engineer, le sol peut être modélisé comme une fondation élastique, où le sol sous la plaque est représentée par des ressorts.



Les paramètres de sol C_1 et C_2 représentent les raideurs de ces ressorts.

Modèle de WINKLER

La méthode WINKLER est la plus commune et la plus simple. Cette méthode est basée sur un tassement uniforme de la plaque. Une charge F_{1z} donnera une certaine déformation Δz_1 , le paramètre C_{1z} pourra alors être déterminé.

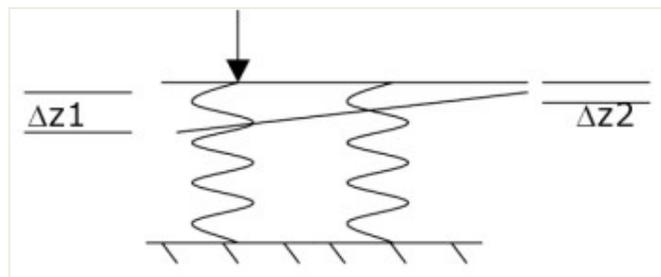
Les paramètres C_{1x} , C_{1y} et C_{1z} représentera une rigidité linéaire.



Les paramètres de sol horizontal C_{1x} et C_{1y} indiqueront un frottement entre la plaque et le sol. Davantage d'informations peuvent être récupérées dans la littérature pour le calcul de ces paramètres. Pour les sols normaux (sans roche, tourbe ...), une valeur type de 10% de la rigidité verticale C_{1z} peut être prise.

Modèle de PASTERNAK

Le modèle de WINKLER peut être étendu au modèle de PASTERNAK (constantes C_2). Les ressorts entre les points du sol sont maintenant reliés à cette valeur. Ainsi, une charge ponctuelle en un certain point donnera également une déformation un peu plus loin dans les directions X et Y.



Le calcul de ces paramètres n'est pas facile, mais il peut être effectué avec le module « Soil-In » de SCIA Engineer. Si « Soil-In » n'est pas utilisé dans SCIA Engineer, il est recommandé d'avoir 0 comme valeurs pour ces paramètres C_2 .

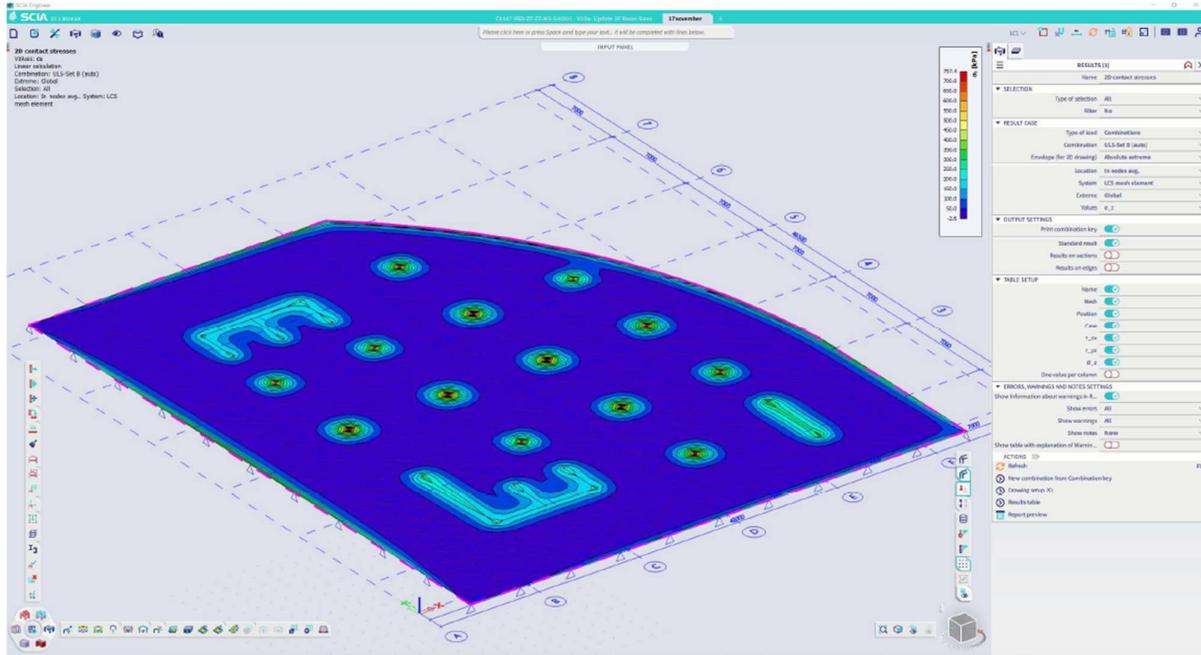
Après avoir modélisé un élément 2D, vous pouvez cliquer dans le panneau de saisie, catégorie « Conditions aux limites » et « Appui surfacique sur 2D » :



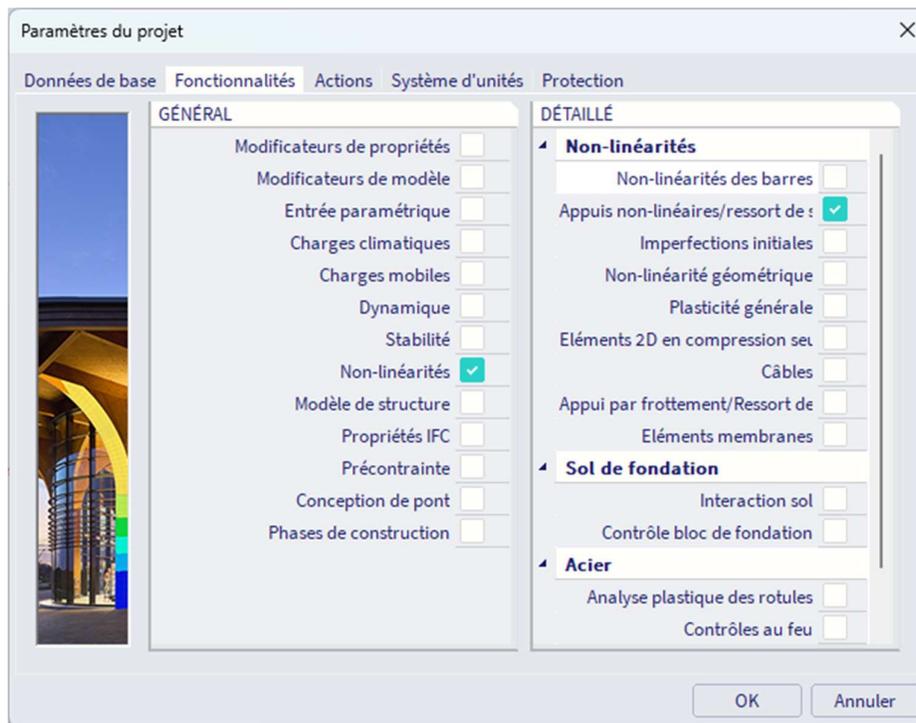
Pour voir les résultats du sol élastique, vous pouvez cliquer sur le poste de travail « Résultats » dans les outils du processus et « Contraintes de contact 2D ».

La convention pour les contraintes de sol est :

- Valeur positive = contrainte de compression
- Valeur négative = contrainte de traction



Pour éliminer la traction dans le sol, il faut lancer un calcul non-linéaire. La fonctionnalité « Appuis non-linéaires / ressort de sol » doit également être activée.



CHAPITRE 2 : BLOCS DE FONDATION

Dans ce chapitre, les différentes étapes de vérification des fondations sont spécifiées.

Tout d'abord, la sécurité demandée et les coefficients de résistance doivent être déterminés en fonction de l'approche de calcul choisie.

En utilisant ces coefficients de sécurité, la charge verticale V_d , la charge horizontale H_d et la géométrie effective du bloc de fondation sont déterminées.

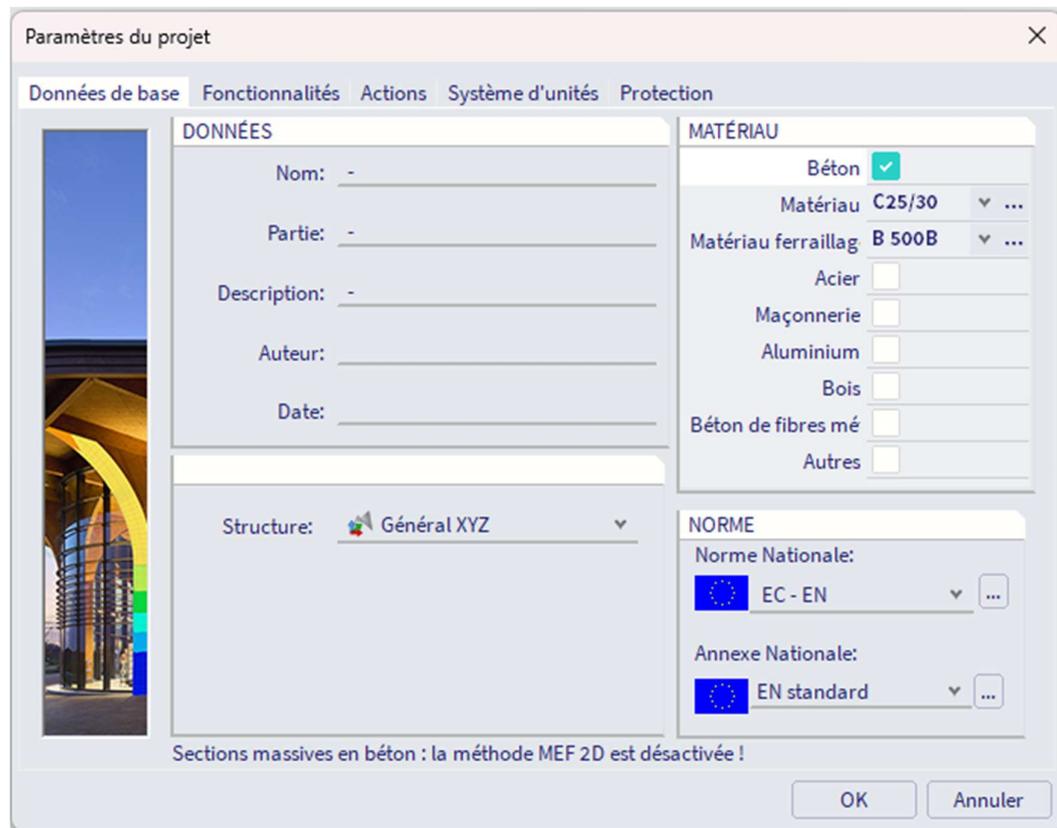
A partir de cette géométrie effective, les différents contrôles sont effectués.

Les étapes ci-dessus sont expliquées en détail dans les paragraphes suivants.

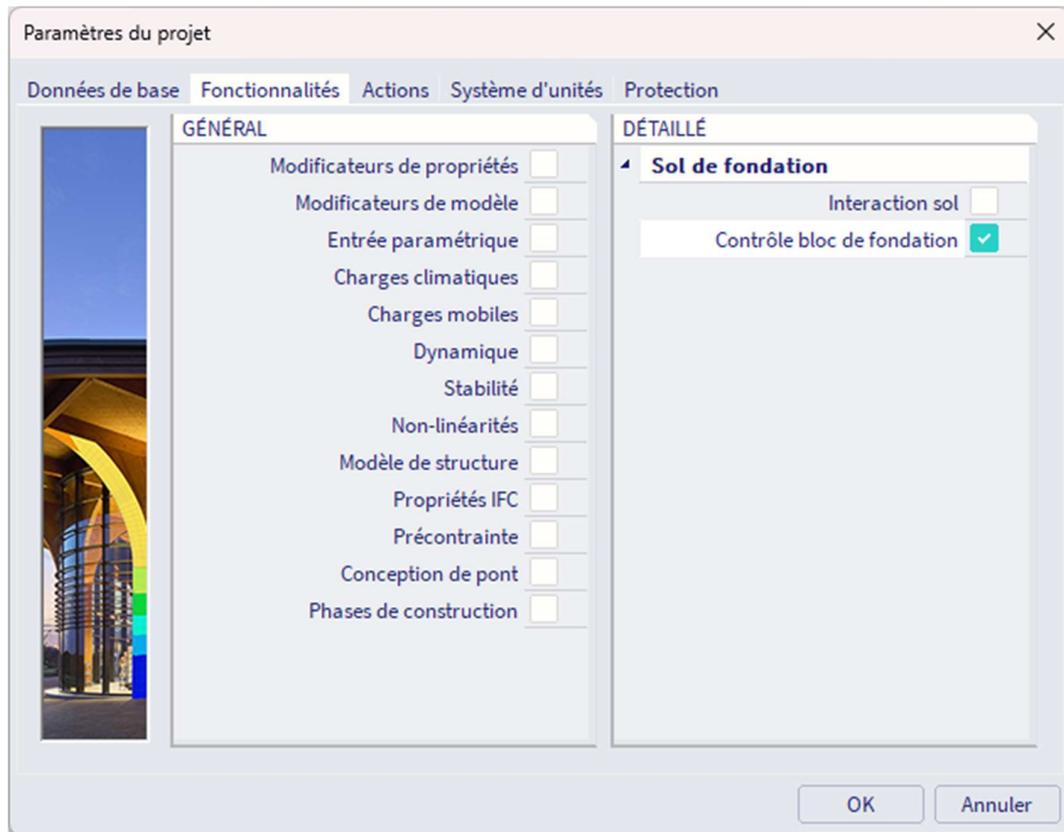
2.1 Exigences

Pour calculer un bloc de fondation, les fonctionnalités suivantes doivent être activées dans la boîte de dialogue :

- Matériau béton :



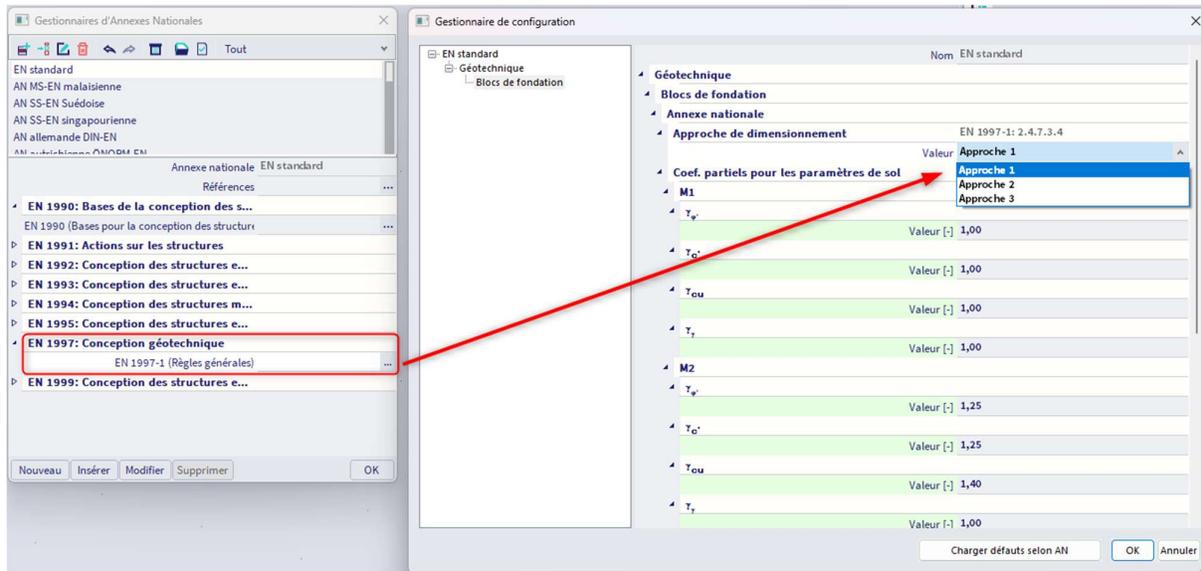
- Fonctionnalité « Contrôle bloc de béton » :



2.2 Approches de calcul

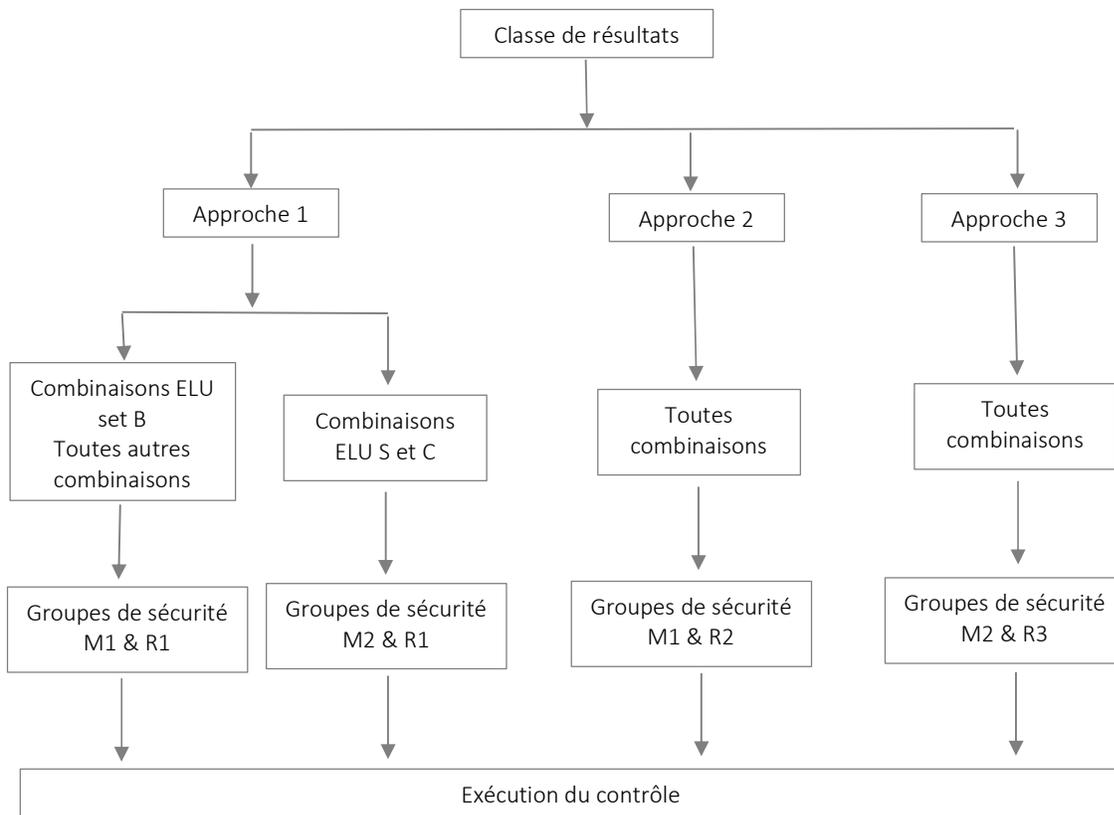
Le contrôle du bloc de fondation est effectué pour une classe de résultats.

La manière à partir de laquelle les effets de calcul des actions et des résistances sont appliqués doivent être déterminés en utilisant l'une des trois approches de calcul. L'approche de calcul peut être définie dans la configuration de l'annexe nationale :



En fonction de l'approche de calcul définie dans la configuration de l'annexe nationale, les coefficients de sécurité sont lus comme suit :

| | |
|----------------------|--|
| Approche de calcul 1 | Combinaison 1 : A1 « + » M1 « + » R1 Combinaison 2 : A2 « + » M2 « + » R1 |
| Approche de calcul 2 | Combinaison : A1 « + » M1 « + » R2 |
| Approche de calcul 3 | Combinaison : (A1* ou A2**) « + » M2 « + » R3 * Sur actions structurelles ** sur actions géotechniques |



Pour l'approche de calcul n°1, le groupe de sécurité dépend du type de combinaisons.
 Pour les combinaisons de type EN-ELU (STR/GEO) Set B, les groupes M1 & R1 sont utilisés.
 Pour les combinaisons de type EN-ELU (STR/GEO) Set C, les groupes M2 & R1 sont utilisés.
 Pour toutes les autres combinaisons, les groupes M1 & R1 sont utilisés.

Pour l'approche de calcul n°2, dans tous les cas, les groupes M1 & R2 sont utilisés.

Pour l'approche de calcul n°3, dans tous les cas, les groupes M2 & R3 sont utilisés.

Les coefficients de sécurité correspondant à une certaine approche de calcul se trouvent dans l'annexe A de l'EN 1997-1 :

- Coefficients partiels sur les actions ou les effets des actions (groupe A1-A2)

γ_G : sur actions permanentes défavorables ou favorables

γ_Q : sur actions variables défavorables ou favorables

| Action | | Symbole | Set | |
|-----------|-------------|------------|------|-----|
| | | | A1 | A2 |
| Permanent | Défavorable | γ_G | 1,35 | 1,0 |
| | Favorable | | 1,0 | 1,0 |
| Variable | Défavorable | γ_Q | 1,5 | 1,3 |
| | Favorable | | 0 | 0 |

- Coefficients partiels sur les paramètres de sol (groupe M1-M2)

$\gamma_{\varphi'}$: sur la tangente de l'angle de résistance en cisaillement

$\gamma_{c'}$: sur la cohésion effective

γ_{cu} : sur la résistance en cisaillement non drainée

γ_{qu} : sur la résistance non confinée

γ_{γ} : sur la densité

| Paramètre de sol | Symbole | Set | |
|---|---------------------|-----|------|
| | | M1 | M2 |
| Angle de résistance en cisaillement* | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Cohésion effective | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Résistance en cisaillement non drainée | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Résistance non confinée | γ_{qu} | 1,0 | 1,4 |
| Densité | γ_{γ} | 1,0 | 1,0 |
| * Ce coefficient est appliqué à $\tan \varphi'$ | | | |

- Coefficients partiels sur les blocs de fondation (groupe R1-R3)

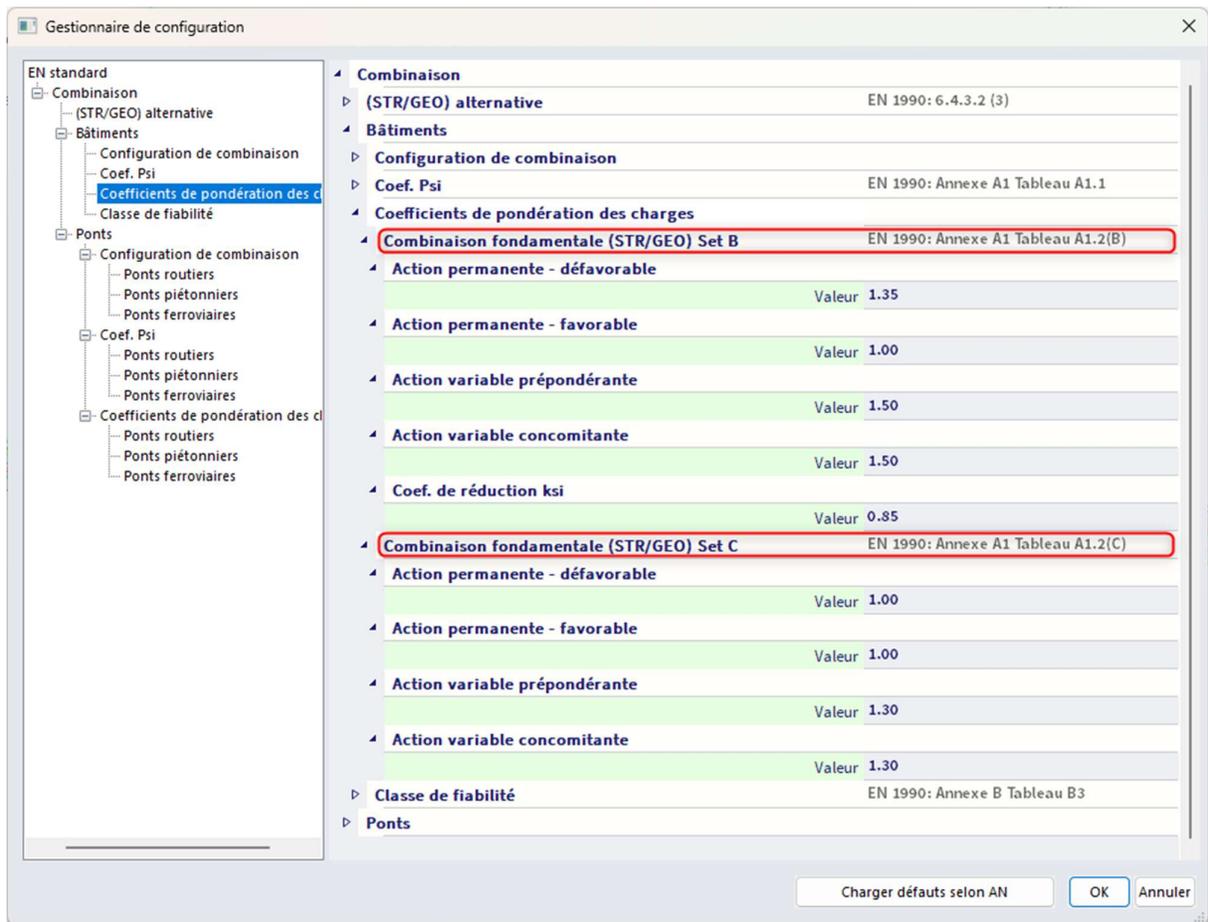
$\gamma_{R,v}$: sur la résistance en portance

$\gamma_{R,h}$: sur la résistance au glissement

| Résistance | Symbole | Set | | |
|------------|----------------|-----|-----|-----|
| | | R1 | R2 | R3 |
| Portance | $\gamma_{R,v}$ | 1,0 | 1,4 | 1,0 |
| Glissement | $\gamma_{R,h}$ | 1,0 | 1,1 | 1,0 |

Les coefficients partiels de sécurité pour les combinaisons sont définis dans le gestionnaire de la norme et de ses annexes nationales. Le gestionnaire peut s'ouvrir depuis les « Paramètres du projet » ou depuis l'icône du drapeau en haut à droite de la fenêtre.

Sont disponibles les coefficients pour le Set B de la combinaison enveloppe EN-ELU (STR/GEO) définis dans l'EN 1990. De plus, pour l'analyse géotechnique, le Set C est également nécessaire, ces coefficients sont également disponibles dans le gestionnaire :



Aussi, les coefficients partiels pour les paramètres de sol et les coefficients partiels de résistance pour les blocs de fondations, définis dans l'EN 1997, sont implémentées dans le gestionnaire de la norme et des annexes nationales.



| Coef. partiels de résistance pour les blocs de fondation | | EN 1997-1: Annexe A Tableau A.5 |
|--|------------|---------------------------------|
| R1 | | |
| γR;v | Valeur [-] | 1,00 |
| γR;h | Valeur [-] | 1,00 |
| R2 | | |
| γR;v | Valeur [-] | 1,40 |
| γR;h | Valeur [-] | 1,10 |
| R3 | | |
| γR;v | Valeur [-] | 1,00 |
| γR;h | Valeur [-] | 1,00 |

Pour effectuer un contrôle de bloc de fondation, il faut définir 2 types de combinaisons :

- EN-ELU (STR/GEO) Set B
- EN-ELU (STR/GEO) Set C

Après calcul, une nouvelle classe GEO, qui contient toutes les combinaisons de ces deux types, sera automatiquement générée.

NB : La classe de résultats pourrait aussi contenir bien sûr des cas de charges ou des combinaisons non-linéaires. Elles sont vues comme « Toutes les combinaisons » pour le contrôle.

2.3 Propriétés du sol

A partir de la bonne approche, les valeurs de calcul pour les propriétés du sol sont déterminées :

$$\varphi'_d = \text{atan} \left[\frac{\tan(\varphi')}{\gamma_{\varphi'}} \right]$$

$$c'_d = \frac{c'}{\gamma_{c'}}$$

$$c_{ud} = \frac{c_u}{\gamma_{c_u}}$$

$$\gamma'_d = \frac{\gamma'}{\gamma_{\gamma}}$$

$$\gamma_{\text{Remblai},d} = \frac{\gamma_{\text{Remblai}}}{\gamma_{\gamma}}$$

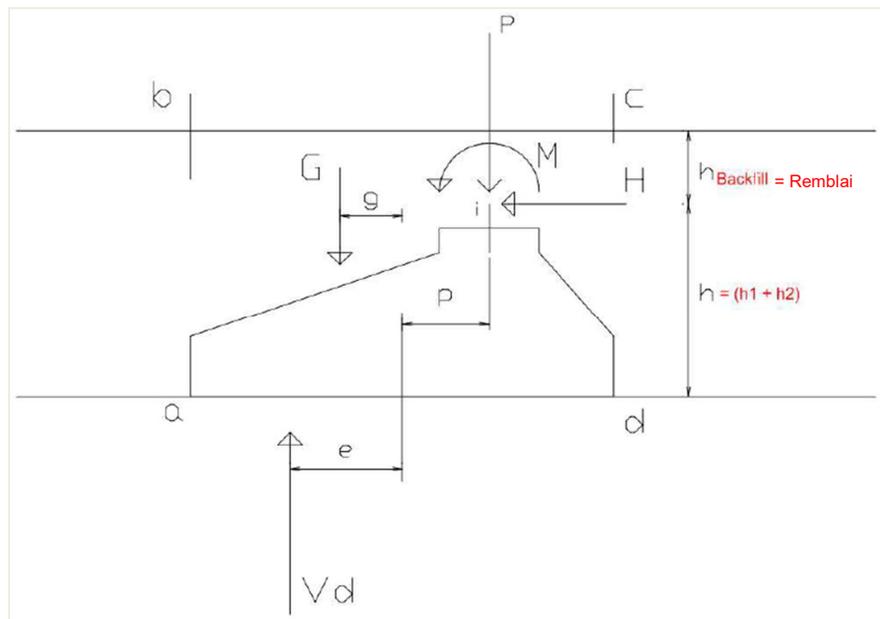
Avec :

- φ' lu depuis la bibliothèque de sol
- c'_d lu depuis la bibliothèque de sol
- c_u lu depuis la bibliothèque de sol
- γ' lu depuis le gestionnaire de norme et d'annexe nationale
- $\gamma_{\varphi'}$ lu depuis le gestionnaire de norme et d'annexe nationale
- γ_c lu depuis le gestionnaire de norme et d'annexe nationale
- γ_{cu} lu depuis le gestionnaire de norme et d'annexe nationale
- γ_y lu depuis le gestionnaire de norme et d'annexe nationale
- $\gamma_{Remblai}$ poids lu depuis les hypothèses du bloc de fondation

Enfin, γ_G est le coefficient final de sécurité qui doit être déterminé et qui concerne le poids du bloc de fondation et le matériau de remblai. Ce coefficient de sécurité est pris égal au coefficient de sécurité pour le premier cas de charges permanent pour la combinaison en question, par exemple γ_G . Dans le cas d'une combinaison qui n'a pas de cas de charges permanent, γ_G est pris égal à 1,00.

2.4 Propriétés du bloc de fondation

La prochaine étape est la détermination de la géométrie efficace du bloc de fondation. L'image ci-dessous illustre les différentes actions s'appliquant sur la fondation :



Dans le schéma ci-dessus, les notations suivantes sont utilisées :

- G Poids de la fondation et de tout remblai à l'intérieur de la zone « abcd ».
- g Point d'application de la charge pour la charge G référencée au centre de la base de fondation.
- P Réaction verticale R_z de l'appui
- p Point d'application de la charge pour la charge P référencée au centre de la base de fondation.
Cela est noté comme l'excentricités de la charge e_x et e_y dans la bibliothèque des blocs de fondation.

| | |
|-------|--|
| H | Réactions horizontales R_x et R_y de l'appui |
| h | $= (h_1 + h_2)$ Point d'application de la charge horizontale H référencée à la base de la fondation. h_1 et h_2 sont notées dans la bibliothèque des blocs de fondation. |
| M | Réactions de moment M_x et M_y de l'appui |
| V_d | $= G + P$ Charge ultime verticale à la base de la fondation, incluant le poids de la fondation et le remblai. |
| e | Point d'application pour la charge V_d référencée au centre de la base de fondation. |

Excentricité e

L'excentricité e est calculée comme suit :

$$e = \frac{M + G * g + H * h - P * p}{V_d}$$

Pour un cas général 3D, cette formule s'écrit comme suit :

$$e_x = \frac{M_y + G * g_x + H_x * h - P * p_x}{V_d}$$

$$e_y = \frac{M_x + G * g_y + H_y * h - P * p_y}{V_d}$$

Poids G

Le poids G est composé de trois parties :

- Le poids du bloc de fondation : G_{bloc}

Cela dépend de la forme du bloc (prismatique ou pyramidal), des dimensions et aussi de la densité γ_{bloc} du matériau du bloc.

La densité du bloc dépend du niveau de l'eau :

- Pas d'influence : γ_{bloc}
- A la base de la fondation : γ_{bloc}
- Au niveau du sol : $(\gamma_{\text{bloc}} - \gamma_w)$

La densité de l'eau γ_w est prise égale à **9,81kN/m³**.

- Le poids du remblai autour de h_2 : $G_{\text{remblai,autour}}$

Cela dépend de la forme du bloc (prismatique ou pyramidal), des dimensions et aussi de la densité $\gamma_{\text{remblai,d}}$ du matériau du remblai.

La densité du remblai $\gamma_{\text{remblai,d}}$ est spécifiée dans les propriétés du sol.

La densité du remblai dépend du niveau de l'eau :

- Pas d'influence : $\gamma_{\text{remblai,d}}$
- A la base de la fondation : $\gamma_{\text{remblai,d}}$
- Au niveau du sol : $(\gamma_{\text{remblai,d}} - \gamma_w)$

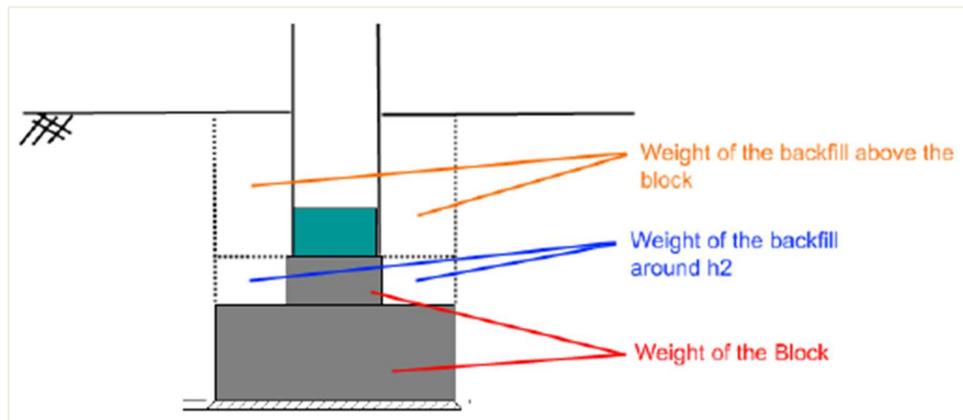
La densité de l'eau γ_w est prise égale à **9,81kN/m³**.

- Le poids du remblai au-dessus du bloc de fondation : $G_{\text{remblai,dessus}}$

Cela dépend de la hauteur et de la densité du remblai, comme spécifié dans la saisie du bloc de fondation.

NB : Dans SCIA Engineer, il est aussi possible de définir une hauteur négative pour le remblai. Une valeur négative est utilisée pour indiquer que le sol est plus bas que le bloc de fondation.

Les trois parties sont illustrées dans l'image ci-dessous :



La valeur de calcul du poids G total peut alors être calculée comme suit :

$$G_d = \gamma_G * [G_{\text{Bloc}} + G_{\text{Remblai,autour}} + G_{\text{Remblai,dessus}}]$$

Avec γ_G le coefficient de sécurité de la charge permanente pour la combinaison considérée, comme définie dans les « propriétés du sol ».

✚ Distances g_x & g_y

En utilisant le poids et le volume, le centre de gravité du bloc et du remblai sont déterminés. Les distances g_x et g_y sont alors calculées depuis ce centre au point central de la base de la fondation.

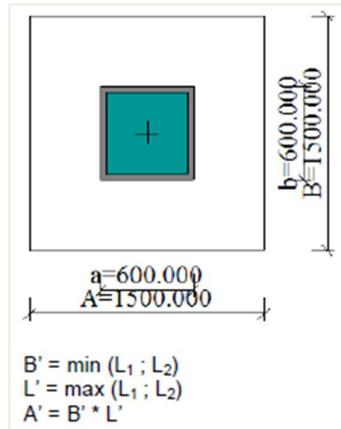
✚ Géométrie efficace

En dernière étape, en utilisant les excentricités e_x et e_y , la géométrie efficace de la base de la fondation est calculée comme suit :

$$L_1 = A - 2 * |e_x|$$

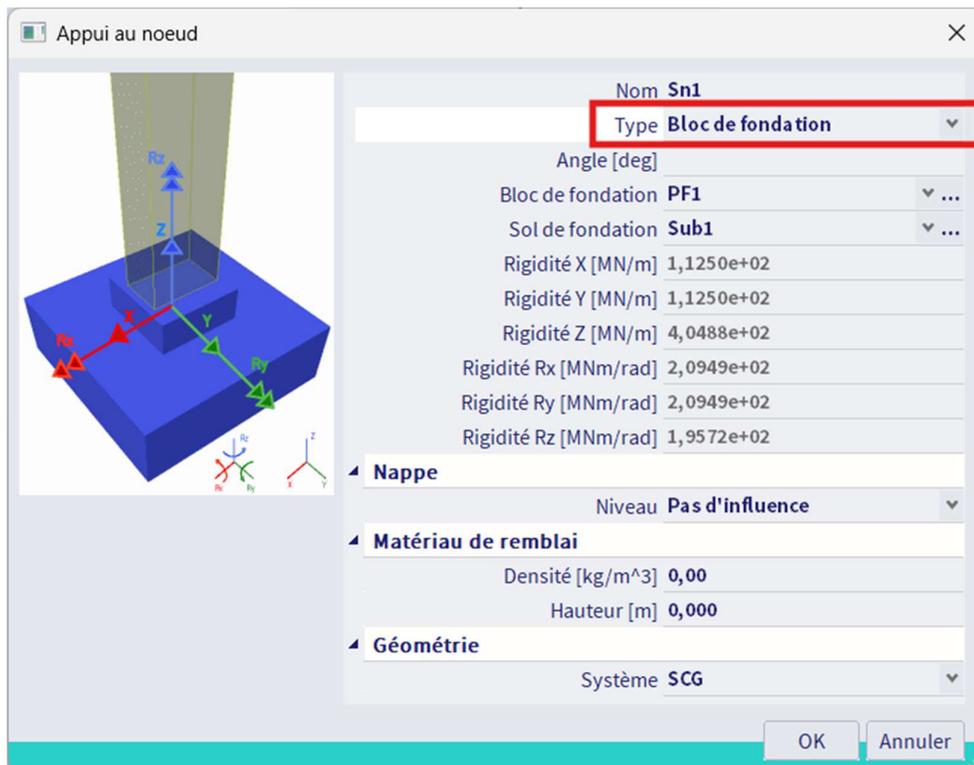
$$L_2 = B - 2 * |e_y|$$

Avec A et B notifiées dans la bibliothèque du bloc de fondation :



NB : Dans le cas où SCIA Engineer trouve une valeur $B' < 0$ ou $L' < 0$, la géométrie est incorrecte, alors le contrôle n'est pas effectué et un avertissement s'affiche dans la sortie.

L'option « Bloc de fondation » peut être choisie dans la fenêtre de propriétés des appuis :

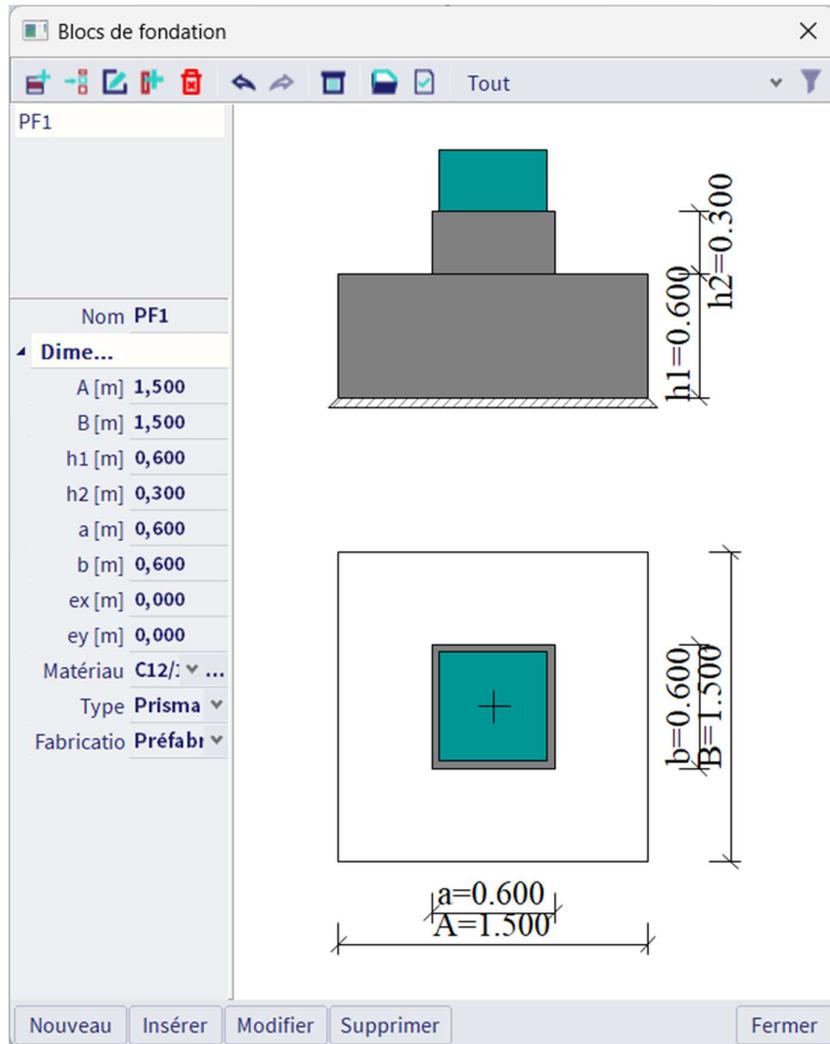


Ici, l'utilisateur peut saisir l'influence de l'eau et les propriétés du matériau de remblai.

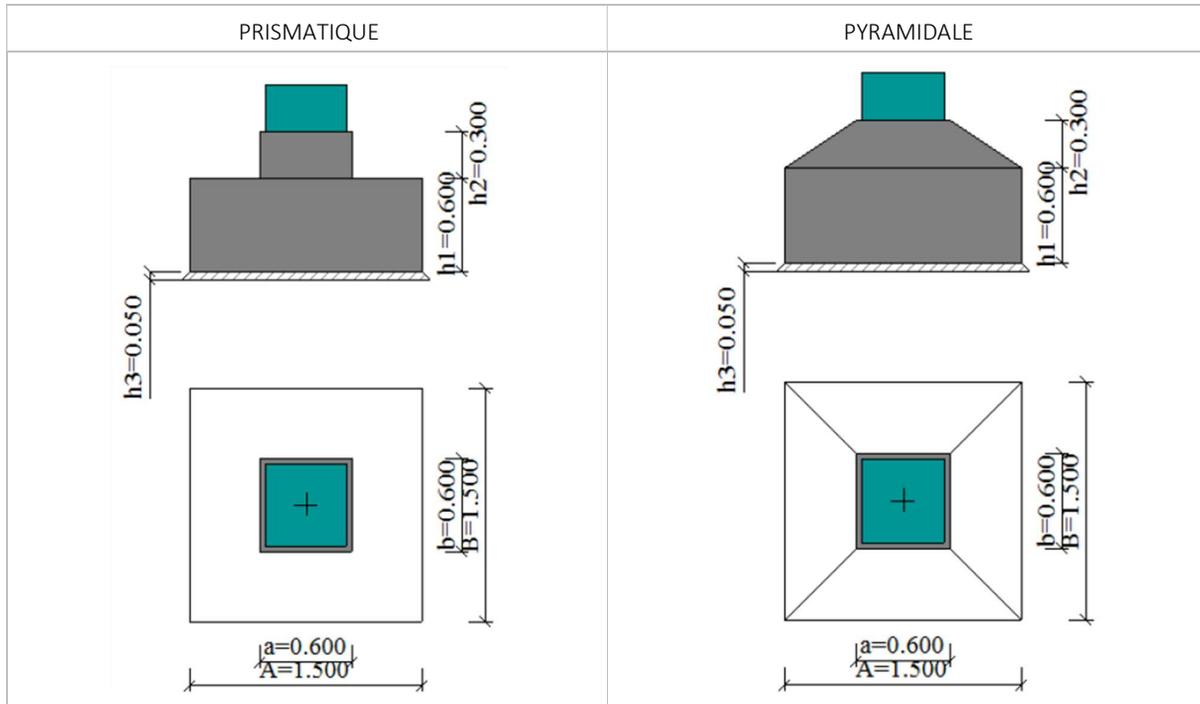
Aussi, le type de sous-sol peut être choisi dans les trois points en face de « Sol de fondation ».

Les rigidités données du bloc de fondation sont automatiquement calculées par le programme par des formules (cf Annexe 1).

Les dimensions des blocs de fondations peuvent être saisies dans les trois points en face de « Bloc de fondations » (ou alors vous pouvez ouvrir la bibliothèque des blocs de fondations par le menu Bibliothèques / Sol et fondation / Blocs de fondation :

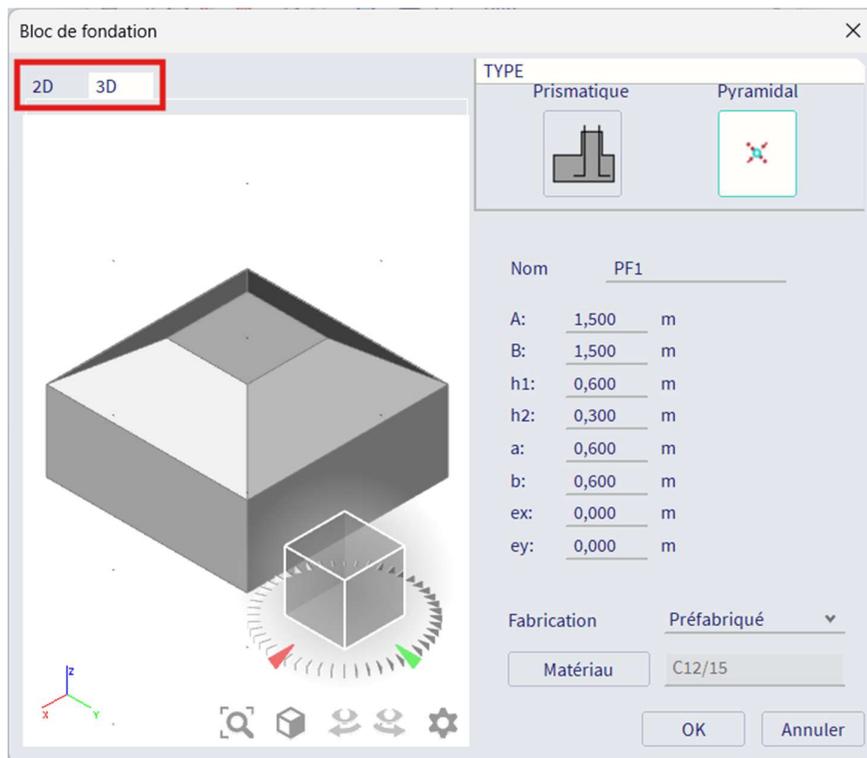


L'utilisateur peut choisir parmi deux variantes de blocs de fondation :



En cliquant sur « Modifier », le bloc de fondation peut s'afficher en mode 2D ou 3D :

- Le mode 2D montre la vue de côté, la vue en plan et les cotations pour toutes les valeurs saisies.
- Le mode 3D permet à l'utilisateur une bonne visualisation du bloc de fondation défini.



2.5 Contrôle du bloc de fondation

En général, trois contrôles séparés sont effectués :

- Capacité portante
- Glissement
- Excentricité

Dans un cas particulier, plutôt que les trois contrôles ci-dessus, un contrôle appelé « Soulèvement » est effectué.

Pour l'approche de calcul n°1, la classe pour laquelle le contrôle est effectué doit contenir au moins une combinaison de chacun des types suivants :

- EN-ELU (STR/GEO) Set B
- EN-ELU (STR/GEO) Set C

Dans le cas où la classe pour laquelle l'utilisateur souhaite exécuter le contrôle ne remplit pas cette condition, le contrôle n'est pas effectué et un avertissement s'affiche.

Pour les approches de calcul n°2 et 3, il n'y a pas d'exigences pour le contenu de la classe.

▪ Capacité portante

La capacité portante est effectuée conformément à l'EN 1997-1 art. 6.5.2 et l'Annexe D.

$$V_d \leq R_d$$

La résistance en portance R_d dépend si le sol est en condition drainée ou non drainée.

- Condition non drainée

Les formules dans ce paragraphe sont utilisées dans le cas où le « Type » dans la bibliothèque de sous-sols et définie sur « Non drainée ».

La valeur de calcul de la résistance de portance non drainée est calculée comme suit :

$$R_d = \frac{[(\pi + 2) * c_{ud} * b_c * s_c * i_c + q] * A'}{\gamma_{R,v}}$$

Avec :

c_{ud} Comme spécifié dans la configuration de l'annexe nationale

b_c Inclinaison de la base de la fondation
Dans SCIA Engineer, la base de la fondation est toujours horizontal, ainsi $b_c = 1,00$.

s_c Forme de la fondation
Dans SCIA Engineer, le bloc de fondation a une forme rectangulaire

$$s_c = 1 + 0,2 * \frac{B'}{L'}$$

i_c Inclinaison de la charge, causée par la charge horizontale H_d

$$= \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \frac{H_d}{A' * c_{ud}}} \right]$$

Et :

$$H_d \leq A' * c_{ud}$$

Dans le cas où $H_d > A' * c_{ud}$, la valeur de i_c est de 0,5.

H_d Charge horizontale résultante

$$= \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$

H_x Réaction d'appui horizontale R_x comme définie en « Général »

H_y Réaction d'appui horizontale R_y comme définie en « Général »

B' Largeur efficace comme définie en « Général »

L' Largeur efficace comme définie en « Général »

A' Surface efficace comme définie en « Général »

q Surcharge à la base de la fondation

$$= (h_1 + h_2 + h_{remblai}) * \gamma_{remblai,d}$$

Avec :

h_1 et h_2 notifiées dans la bibliothèque des blocs de fondation

$h_{remblai}$ depuis la saisie du bloc de fondation

$\gamma_{remblai,d}$ comme défini dans les propriétés du sol

$\gamma_{R,v}$ Coefficient de résistance décrit dans la configuration de l'annexe nationale

- Condition drainée

Les formules dans ce paragraphe sont utilisées dans le cas où le « Type » dans la bibliothèque de sous-sols et définie sur « Drainée ».

La valeur de calcul de la résistance de portance non drainée est calculée comme suit :

$$R_d = \frac{[c'_d * N_c * b_c * s_c * i_c + q'_d * N_q * b_q * s_q * i_q + 0,5 * \gamma'_d * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma] * A'}{\gamma_{R,v}}$$

Avec :

c'_d Comme spécifié dans la configuration de l'annexe nationale

N_c Coefficient de résistance en portance

$$= (N_q - 1) * \cot(\varphi'_d)$$

N_q Coefficient de résistance en portance

$$= e^{\pi * \tan(\varphi'_d)} * \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'_d}{2}\right)$$

N_γ Coefficient de résistance en portance

$$= 2 * (N_q - 1) * \tan(\varphi'_d)$$

b_c Inclinaison de la base de la fondation

Dans SCIA Engineer, la base de la fondation est toujours horizontal, ainsi $b_c = 1,00$.

b_q Inclinaison de la base de la fondation

Dans SCIA Engineer, la base de la fondation est toujours horizontal, ainsi $b_q = 1,00$.

b_γ Inclinaison de la base de la fondation

Dans SCIA Engineer, la base de la fondation est toujours horizontal, ainsi $b_\gamma = 1,00$.

| | |
|--------------|--|
| s_c | <p>Forme de la fondation Dans SCIA Engineer, le bloc de fondation a une forme rectangulaire</p> $s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1}$ |
| s_q | <p>Forme de la fondation Dans SCIA Engineer, le bloc de fondation a une forme rectangulaire</p> $s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) * \sin(\varphi'_d)$ |
| s_y | <p>Forme de la fondation Dans SCIA Engineer, le bloc de fondation a une forme rectangulaire</p> $s_c = 1 + 0,3 * \frac{B'}{L'}$ |
| i_c | <p>Inclinaison de la charge, causée par la charge horizontale H_d</p> $= i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c * \tan(\varphi'_d)}$ |
| i_q | <p>Inclinaison de la charge, causée par la charge horizontale H_d</p> $= \left[1 - \frac{H_d}{V_d + A' * c'_d * \cot(\varphi'_d)}\right]^m$ |
| i_y | <p>Inclinaison de la charge, causée par la charge horizontale H_d</p> $= \left[1 - \frac{H_d}{V_d + A' * c'_d * \cot(\varphi'_d)}\right]^{m+1}$ |
| m | <p>$= m_L * \cos^2(\theta) + m_B * \sin^2(\theta)$</p> $m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'}\right)\right]}$ $m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'}\right)\right]}$ |
| θ | Angle de la charge horizontale H_d avec la direction L' |
| φ'_d | Comme spécifié dans les propriétés du sol |
| B' | Largeur efficace comme définie en « Général » |
| L' | Largeur efficace comme définie en « Général » |
| A' | Surface efficace comme définie en « Général » |
| H_d | <p>Charge horizontale résultante</p> $= \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ |
| H_x | Réaction d'appui horizontale R_x |
| H_y | Réaction d'appui horizontale R_y |
| V_d | Réaction verticale comme spécifiée en « Général » |
| q'_d | <p>Surcharge efficace à la base de la fondation</p> $= (h_1 + h_2 + h_{remblai}) * \gamma_t$ <p>Avec :</p> <p>h_1 et h_2 notifiées dans la bibliothèque des blocs de fondation</p> <p>$h_{remblai}$ depuis la saisie du bloc de fondation</p> <p>γ_t dépend du niveau de l'eau comme suit :</p> |

- Pas d'influence : $\gamma_{remblai,d}$
- A la base de la fondation : $\gamma_{remblai,d}$
- Au niveau du sol : $(\gamma_{remblai,d} - \gamma_w)$

La densité du remblai $\gamma_{remblai,d}$ est définie dans les propriétés du sol.
 La densité de l'eau γ_w est prise égale à **9,81kN/m³**.

- γ'_d Densité efficace du sol sous le niveau de fondation, qui dépend du niveau de l'eau :
- Pas d'influence : γ'_d
 - A la base de la fondation : $(\gamma'_d - \gamma_w)$
 - Au niveau du sol : $(\gamma'_d - \gamma_w)$

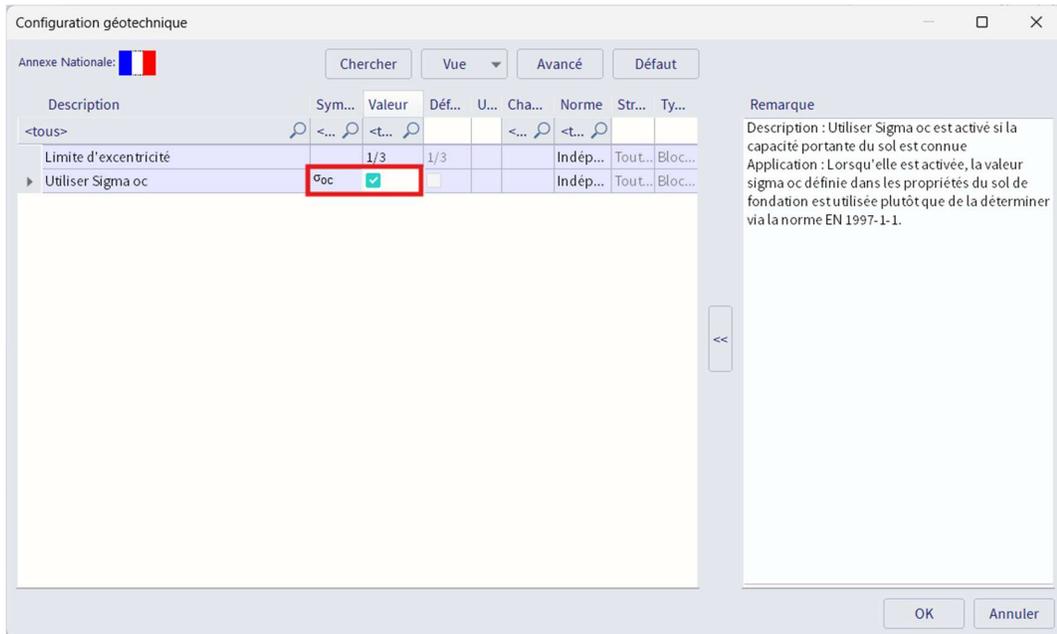
La densité γ'_d est définie dans les propriétés du sol.
 La densité de l'eau γ_w est prise égale à **9,81kN/m³**.

$\gamma_{R,v}$ Coefficient de résistance décrit dans la configuration de l'annexe nationale

- Résistance en capacité du sol connue (portance)

Dans le cas où la capacité du sol est connue, cette valeur peut être utilisée directement plutôt que d'utiliser le calcul de la portance selon l'EN 1997-1.

Cette procédure est appliquée dans le cas où la case « Sigma oc » est cochée dans la boîte de dialogue « Configuration Géotechnique » :



La valeur de calcul de la résistance en portance est calculée comme suit :

$$R_d = A' * \sigma_{od}$$

Avec :

- A' Section efficace comme définie en « Général »
- σ_{od} Valeur de calcul de la capacité du sol admissible, pris égal à σ_{oc}
- σ_{oc} Notifiée dans la bibliothèque de sous-sols

▪ **Glissement**

La résistance au glissement R_d est effectuée conformément à l'EN 1997-1 art. 6.5.3 [Réf. 1].

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

La valeur $R_{p,d}$ spécifie l'effet positif de la poussée des terres sur le côté de la fondation. Puisque cet effet n'est pas garanti, cette valeur est prise égale à 0 dans SCIA Engineer. La résistance au glissement est fonction des conditions du sol.

- Condition non drainée

$$R_d = \frac{A' * c_{ud}}{\gamma_{R,h}}$$

- c_{ud} comme spécifié dans les propriétés du sol
- A' Section efficace comme définie en « Général »
- $\gamma_{R,h}$ Coefficient de résistance décrit dans la configuration de l'annexe nationale

Dans le cas où l'option « Eau/Air dans sous-couche argileuse » est cochée dans la bibliothèque de sols, cela signifie qu'il est possible pour l'eau ou l'air d'atteindre l'interface entre une fondation et une couche de sol argileuse non drainée. Conformément à l'EN 1997-1, art. 6.5.3(12), la valeur de R_d est limitée comme suit :

$$R_d \leq 0,4 * V_d$$

- V_d Réaction verticale comme définie en « Général »

- Condition drainée

$$R_d = \frac{V_d * \tan(\delta_d)}{\gamma_{R,h}}$$

- V_d Réaction verticale comme définie en « Général »
- δ_d Angle de frottement de calcul à la base de la fondation
Fonction des conditions de coulage spécifiés dans la bibliothèque des blocs :

Préfabriqué :

$$\frac{2}{3} * \varphi'_d$$

En place :

$$\varphi'_d$$

- φ'_d Comme spécifiée dans les propriétés du sol
- $\gamma_{R,h}$ Coefficient de résistance décrit dans la configuration de l'annexe nationale

▪ **Excentricité**

L'article 6.5.4 de l'EN 1997-1 spécifie que des précautions spéciales doivent être prises en compte pour des charges avec grandes excentricités :

6.5.4 Charges fortement excentrées

(1) Des précautions spéciales doivent être prises lorsque l'excentricité de la charge dépasse un tiers de la largeur d'une semelle rectangulaire ou 60 % du rayon d'une semelle circulaire.

Ces précautions portent notamment sur :

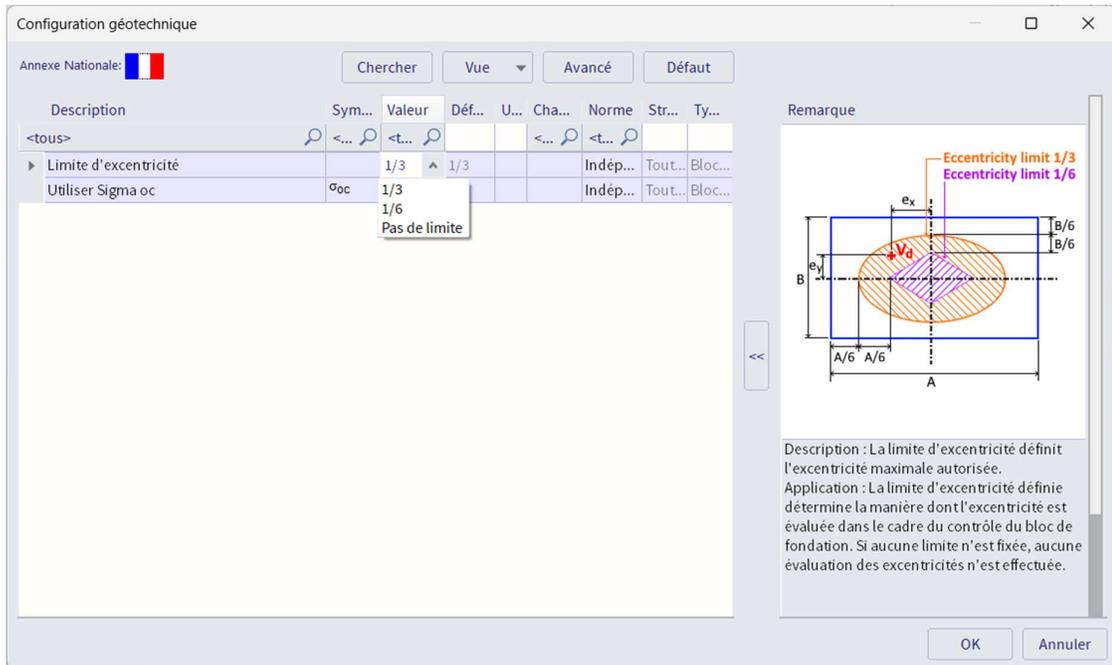
- la vérification détaillée des valeurs de calcul des actions, suivant les indications du 2.4.2 ;
- la définition de la position du bord de la fondation en tenant compte des tolérances de construction.

(2) À moins que des précautions spéciales ne soient prises pendant la construction, il convient de prendre en compte des tolérances atteignant 0,10 m.

Il est usuel (bien que non requis par l'EN 1997-1) de prendre des limites sur l'excentricité dans les valeurs caractéristiques des actions.

Cela peut être fait en vérifiant si la charge de calcul est dans l'ellipse critique ou le diamant critique. Plus spécifiquement, l'excentricité de la charge ne doit pas excéder 1/3 ou 1/6 de la largeur.

La valeur maximale de l'excentricité est définie dans la « Configuration Géotechnique » :



A partir de la valeur maximale, un contrôle d'excentricité est effectué comme suit :

- Cas où l'excentricité maximale est définie comme 1/3

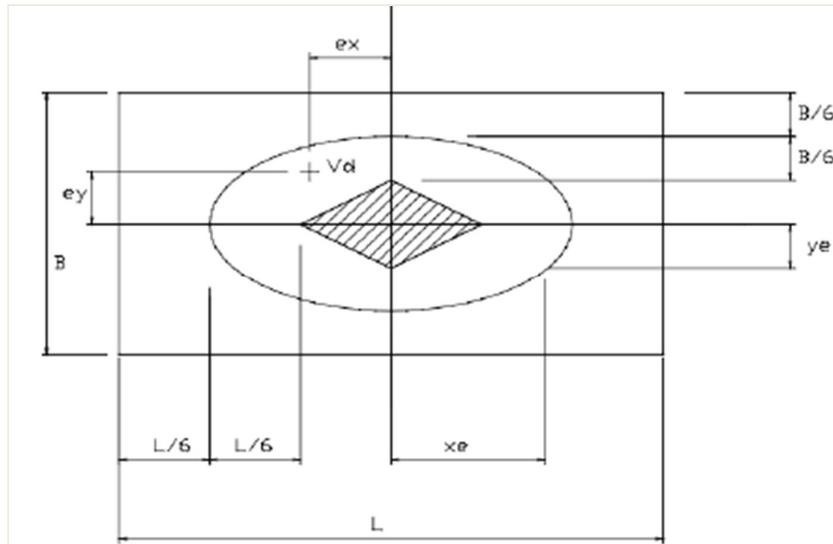
$$\left(\frac{e_x}{A}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{B}\right)^2 \leq \frac{1}{9}$$

Le contrôle d'excentricité de 1/3 tient compte du fait que le bloc de fondation ne perde par contact avec le sol sur plus de la moitié de sa largeur sous les charges de service.

- Cas où l'excentricité maximale est définie comme 1/6

$$\frac{e_x}{A} + \frac{e_y}{B} \leq \frac{1}{6}$$

- e_x Comme spécifié en « Général »
- e_y Comme spécifié en « Général »
- A Décrit dans la bibliothèque de blocs de fondation
- B Décrit dans la bibliothèque de blocs de fondation



Le contrôle d'excentricité de 1/6 tient compte du fait que la totalité du bloc de fondation ne perde par contact avec le sol (sur toute sa surface), donc qu'il soit en compression.

- Cas où l'excentricité maximale est définie comme « Sans limite »

Dans ce cas, il n'y a aucune limite donc aucune excentricité n'est autorisée. Le contrôle unité est alors de 0,0. Conformément à l'EN 1997-1, il n'est pas demandé de mettre des limites dans le calcul d'excentricité.

▪ *Soulèvement*

En cas de chargement vertical de calcul V_d négatif, cela signifie que le bloc de fondation est en traction et peut être « soulevé » depuis le sol.

Le contrôle au soulèvement s'écrit comme suit et est effectué à la place des contrôles en portance, au glissement et de l'excentricité :

$$|P| \leq G_d$$

Avec :

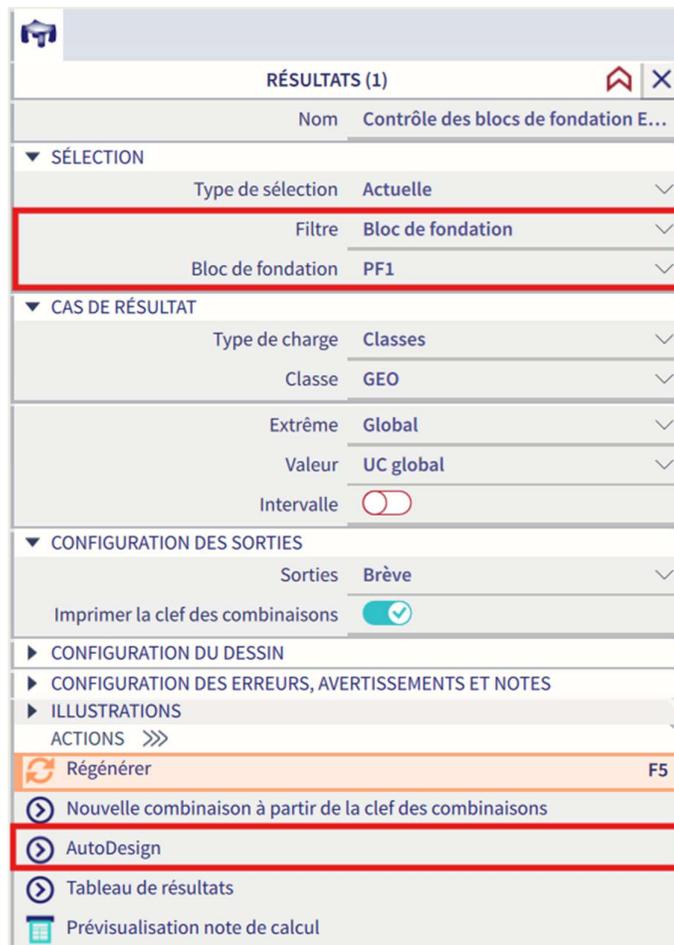
- P Réaction verticale R_z comme spécifié en « Général »
- G_d Poids de la fondation et de tout remblai comme spécifié en « Général »

2.6 Optimisation (« Autodesign ») du bloc de fondation

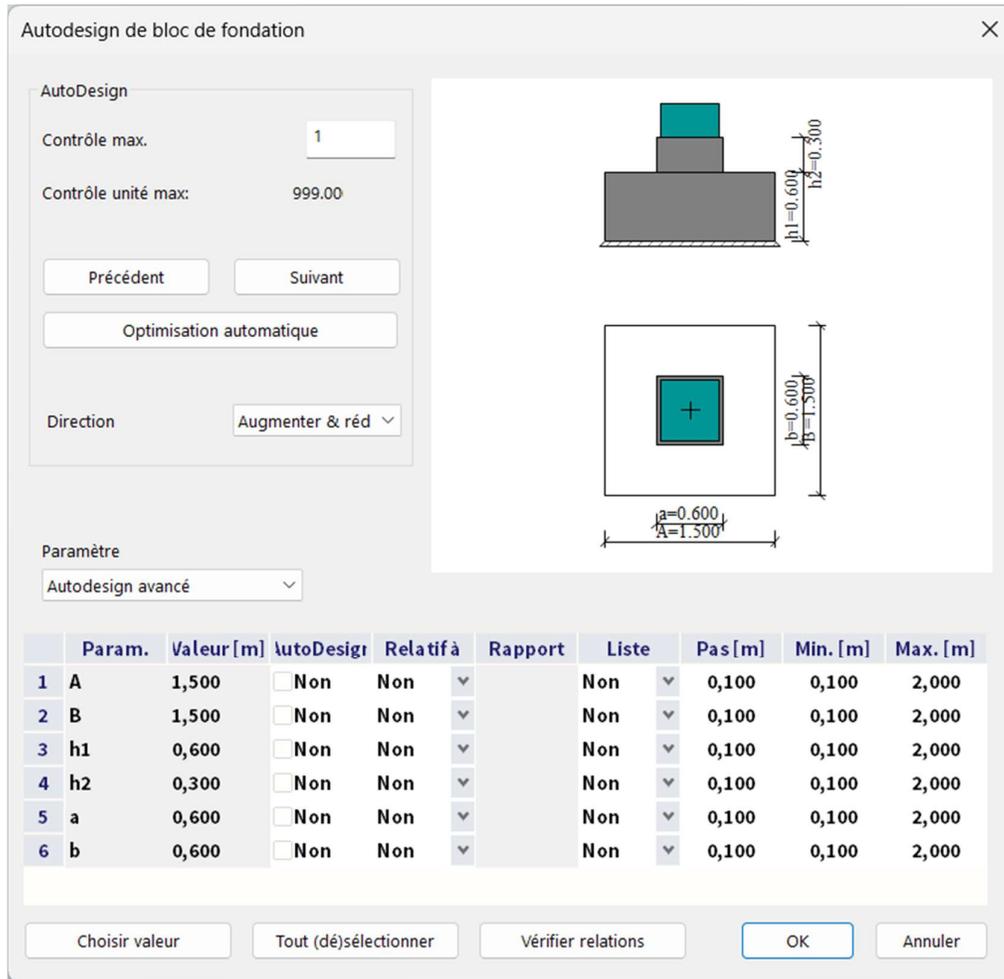
L'optimisation (« Autodesign ») d'un bloc de fondation en béton se trouve dans les « Actions » du « Contrôle du bloc » (menu principal « Dimensionnement / Géotechnique / Contrôle du bloc de fondation »).

L'optimisation peut être lancée après calcul.

Le filtre passe automatiquement sur « Bloc de fondation » lorsque l'« Autodesign » est cliqué.



Lorsque l'« Autodesign » est lancé, la boîte de dialogue suivante s'ouvre :



L'utilisateur peut alors choisir quel paramètre considérer dans l'optimisation. Si le paramètre « Autodesign avancé » est choisi, plusieurs dimensions peuvent être sélectionnées pour être optimisées.

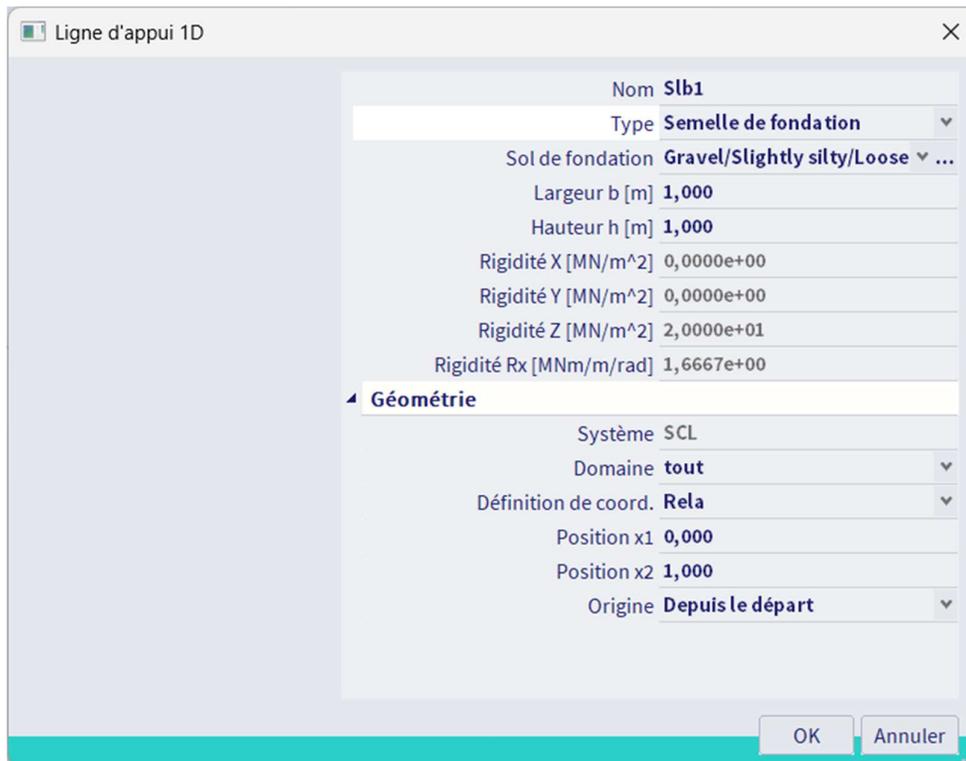
L'option « Optimisation automatique » permet de trouver les dimensions optimales pour le bloc de fondation sélectionné. Cela signifie que le contrôle unité maximal doit être inférieur à 1.

Après avoir cliqué sur « OK », le bloc de fondation est automatiquement redimensionné avec les nouvelles côtes.

CHAPITRE 3 : SEMELLE DE FONDATION (LONGRINE)

Un appui linéaire peut se définir sous la forme d'une « Semelle de fondation ». L'appui est alors spécifié par les propriétés et les dimensions de la bande ensemble avec les propriétés du sol sous la surface de la fondation.

Il est possible d'insérer un appui linéaire sur une poutre et choisir le « Type » comme « Semelle de fondation » :



The screenshot shows a software dialog box titled "Ligne d'appui 1D". It contains a list of properties for a foundation slab. The "Type" is set to "Semelle de fondation". The "Sol de fondation" is "Gravel/Slightly silty/Loose". The width "b" and height "h" are both 1,000 meters. The rigidities are: X (0,0000e+00), Y (0,0000e+00), Z (2,0000e+01), and Rx (1,6667e+00). The "Géométrie" section shows the system is "SCL", domain is "tout", coordinate definition is "Rela", position x1 is 0,000, position x2 is 1,000, and the origin is "Depuis le départ".

| Propriété | Valeur |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Nom | Slb1 |
| Type | Semelle de fondation |
| Sol de fondation | Gravel/Slightly silty/Loose |
| Largeur b [m] | 1,000 |
| Hauteur h [m] | 1,000 |
| Rigidité X [MN/m ²] | 0,0000e+00 |
| Rigidité Y [MN/m ²] | 0,0000e+00 |
| Rigidité Z [MN/m ²] | 2,0000e+01 |
| Rigidité Rx [MNm/m/rad] | 1,6667e+00 |
| Géométrie | |
| Système | SCL |
| Domaine | tout |
| Définition de coord. | Rela |
| Position x1 | 0,000 |
| Position x2 | 1,000 |
| Origine | Depuis le départ |

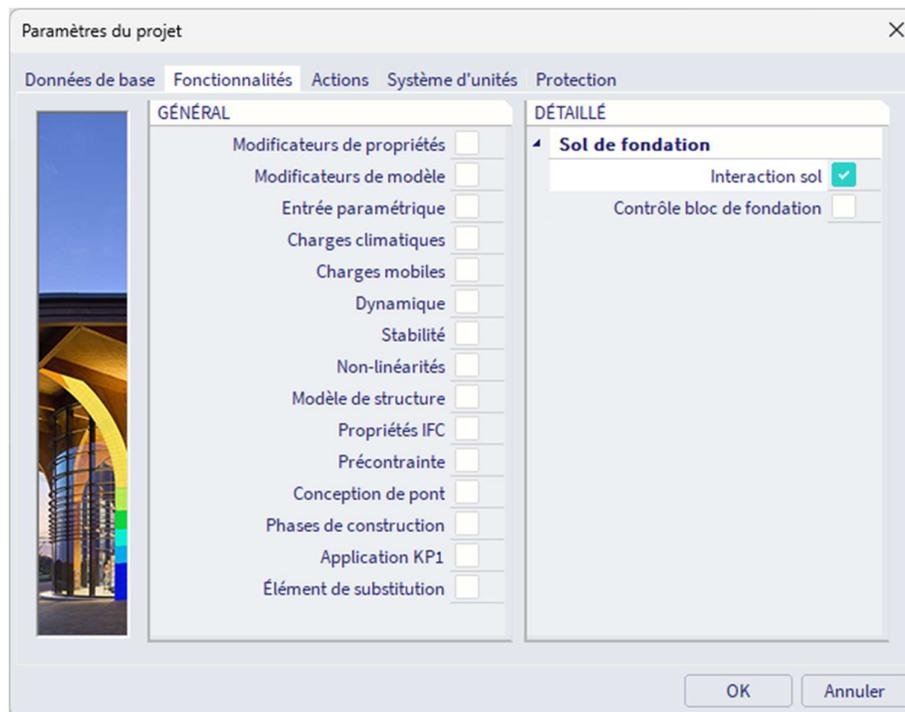
La rigidité de la semelle de fondation est définie par sa largeur, hauteur et son sol.

CHAPITRE 4 : PROFILS GÉOLOGIQUES, ZONES GÉOLOGIQUES ET FORAGES

Le modèle 3D avec le sous-sol défini et les profils géologiques permet d'afficher la surface de sol. Cette surface définit la zone où les propriétés du sol entre les forages sont inter et extrapolées.

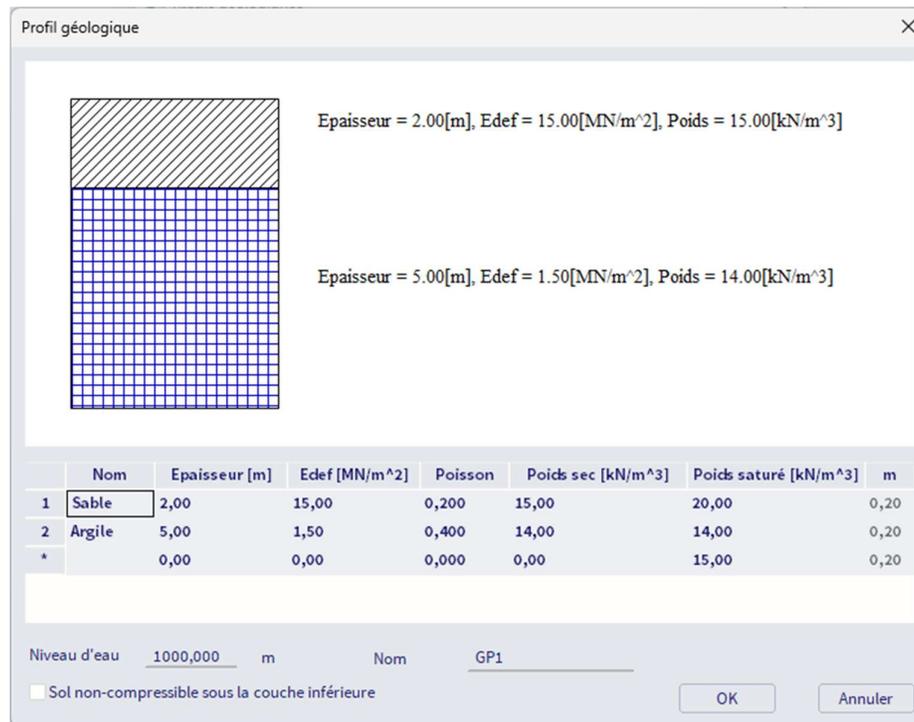
Les forages, ensembles avec les profils géologiques, fournissent les informations concernant la composition du sous-sol. Les données sont nécessaires pour calculer l'interaction entre la structure et le sol.

Pour insérer des profils géologiques, des zones géologiques et des forages dans SCIA Engineer, il faut cocher la fonctionnalité « Interaction sol » :



4.1 Profil géologique

L'utilisateur peut définir un nouveau profil géologique depuis le menu « Bibliothèques / Sol et fondation / Profils géologiques ».



- **Paramètres généraux des profils géologiques**

« Niveau d'eau » : cette option définit le niveau de la nappe dans le sous-sol. Le niveau d'eau influence les paramètres du sol.

« Nom » : l'utilisateur peut ici préciser le nom du profil géologique.

« Sol non-compressible sous la couche inférieure » : si cette option est cochée, le programme applique un coefficient de réduction de la profondeur k_2 conformément à la norme CSN 73 1001, art. 80. Numériquement, cela signifie que l'amortissement de la composante de contrainte s_z dans le demi-espace ralentit. Toutes les composantes du tenseur de contraintes du demi-espace sont calculées dans cette profondeur réduite. C'est simplement un calcul approximatif, pas une solution exacte de la couche élastique. La différence est toutefois négligeable en comparaison avec d'autres imprécisions.

- **Paramètres liés aux couches**

« Nom » : nom de la couche

« Épaisseur » : épaisseur de la couche

« Edef » : module de déformation (cf annexe 3).

Pour les catégories géotechniques 1 et 2, la valeur indicative de la norme CSN 73 1001 par exemple peut être utilisée, pour la catégorie 3 une étude doit être effectuée pour fournir la valeur.

« Poisson » : coefficient de déformation transversale (entre 0 et 0,5).

Une valeur indicative ou trouvée de manière expérimentale peut être utilisée.

« Poids sec » : poids du sol spécifique pour sol sec, généralement entre 18 et 23kN/m³.

« Poids mouillé » : poids du sol spécifique pour le sol mouillé.

« m » : coefficient de résistance structurale.

Valeur sans dimension dans la formule pour le tassement conformément à la norme CSN 73-1001 :

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z,i} - m_i \sigma_{or,i}}{E_{oed,i}} \cdot h_i$$

Le tableau 10 dans les états standards indique des valeurs pour des sols variés allant de 0,1 à 0,5. Pour la catégorie 3, il est conseillé de consulter un ingénieur qui devra effectuer une étude de la localité en question. Pour les autres normes (autre que CSN), ce coefficient est égal à 0,2.

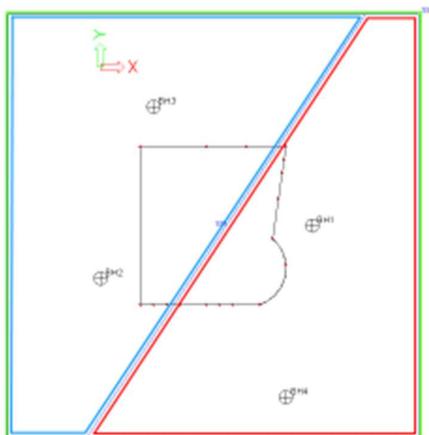
Pour éditer le contenu du tableau, il est possible de copier et coller le contenu depuis le presse papier.

NB : Le profil géologique doit être défini jusqu'à une profondeur où la contrainte effective est encore active, sinon le programme n'a pas assez d'information.

4.2 Zones géologiques

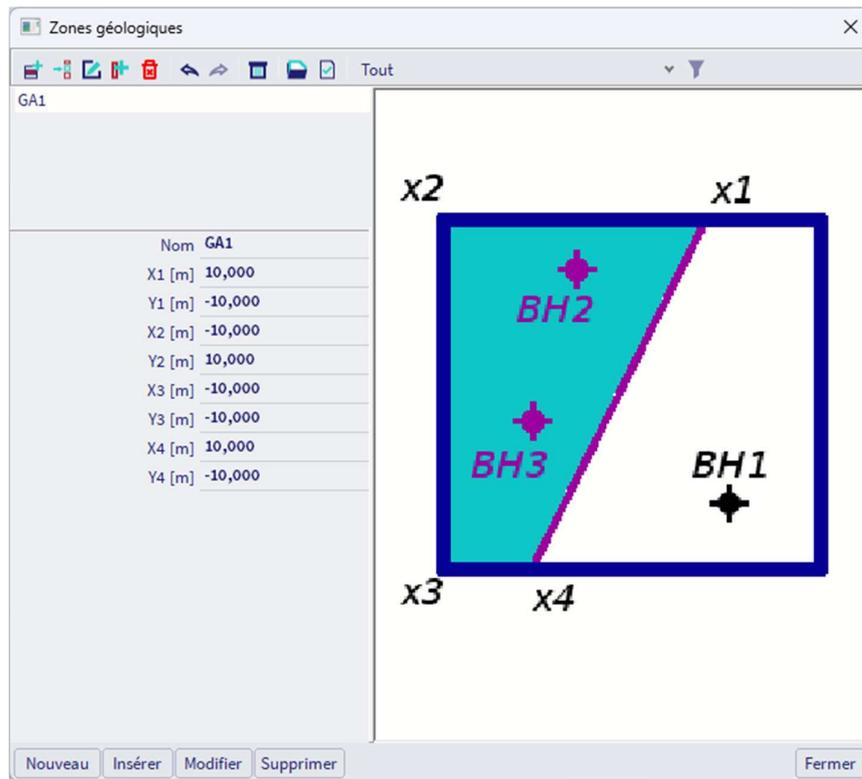
Le polygone de base a été divisé en zones bien distinctes, qui sont inter- et extrapolées, mais la première zone n'affecte pas la suivante. Un nombre différent de couches de sol dans le profil géologique peut être utilisés dans différentes zones. Par exemple : 5 couches dans tous les forages de la zone 1, et 8 couches pour tous les forages de la zone 2.

La ligne entre 2 zones géologiques est une faille géologique.



- Vert : contour de base du sous-sol
- Rouge (côté droit) : zone géologique 1
- Bleu (côté gauche) : zone géologique 2
- Ligne rouge – bleue : faille géologique

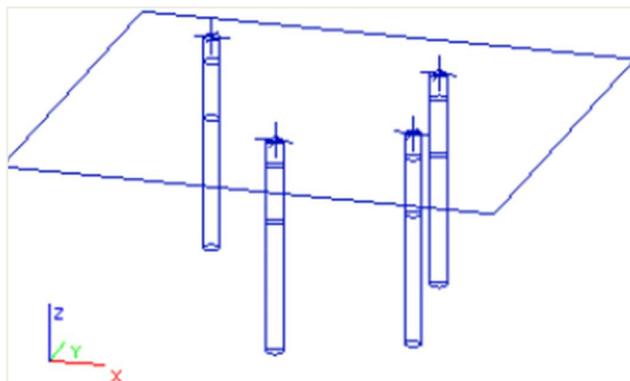
Une nouvelle zone géologique peut être définie dans la bibliothèque de zones géologiques qui contient la géométrie (4 points) et peut être ouverte via le menu principal « Bibliothèques » / « Sols et fondations » / « zones géologiques » :



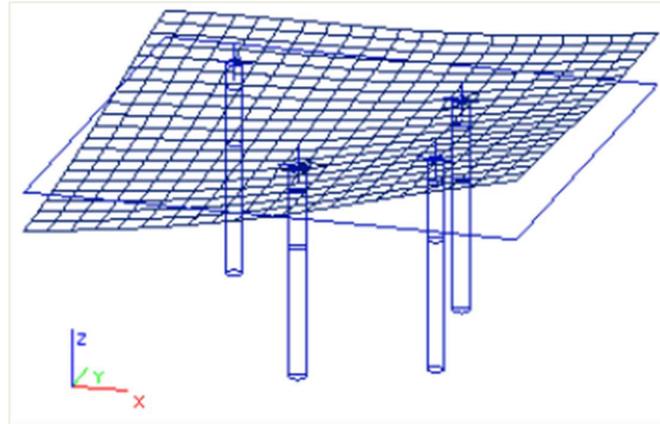
4.3 Forages

Un forage est entièrement défini par le profil géologique correspondant (i), la localisation (ii) et l'altitude (iii). Généralement, un ensemble de forages sera défini et pourront ainsi être utilisés pour calculer et afficher les niveaux des couches de sol dans leur environnement. Cette surface peut être utilisée pour réaliser d'impressionnantes présentations de projets. La surface elle-même n'est pas prise en compte lors du calcul.

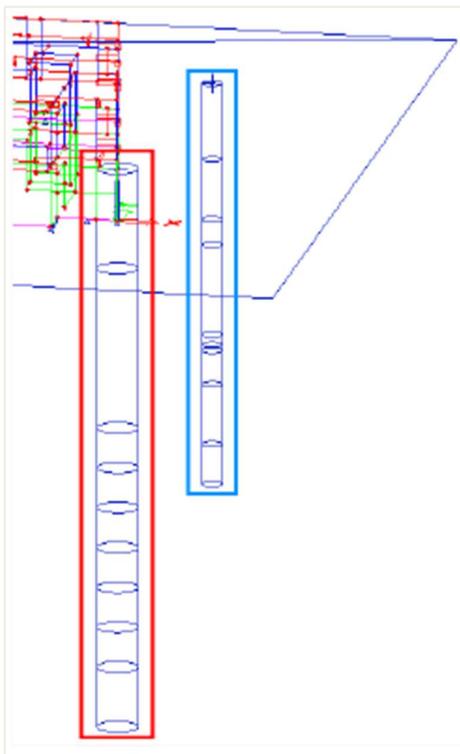
L'image suivante montre un exemple de forages définis. Le rectangle représente la tache sur lequel les propriétés du sol peuvent être inter- et extrapolées.



L'image ci-dessous présente la surface calculée :



Il est possible d'utiliser le forage comme un pieu rempli de sable-gravier (colonne ballastée). La colonne ballastée se compose d'un profilé géologique et d'une géométrie qui en définit le contour. Le contour de la colonne ballastée a le même comportement qu'une faille géologique. On peut définir un forage avec les couches de sol de cette colonne et activer l'option de colonne ballastée. On peut ensuite faire une copie multiple de ce forage aux positions réels, et dans cette analyse, ces forages seront pris en compte comme des pieux locaux sous la dalle de fondation. De plus, il faut définir un forage standard avec les couches de sol entre les colonnes. Cela peut être combiné avec un calcul « Soil-In ».



Rouge (côté gauche) : colonne ballastée de diamètre 1m

Bleu (côté droit) : forage classique

Les deux sont affichés à l'intérieur du contour du sous-sol

Un nouveau forage peut se définir dans le panneau de saisie, via la catégorie « Conditions aux limites » :



Paramètres d'un forage :

- Nom : Identification du forage.
- Coord X, Y, Z : Coordonnées du point d'insertion du forage.
- Résultats uniquement :
Lorsqu'un calcul est effectué, on peut obtenir un tableau de tassements. Les valeurs de tassement sont calculées au niveau des forages. Le forage lui-même (le profil géologique correspondant) est également utilisé comme une hypothèse pour le calcul de l'interaction entre la structure et le sol.

Cela dit, il est possible d'exclure des forages des hypothèses et les utiliser uniquement comme localisation pour le calcul des résultats de tassement.

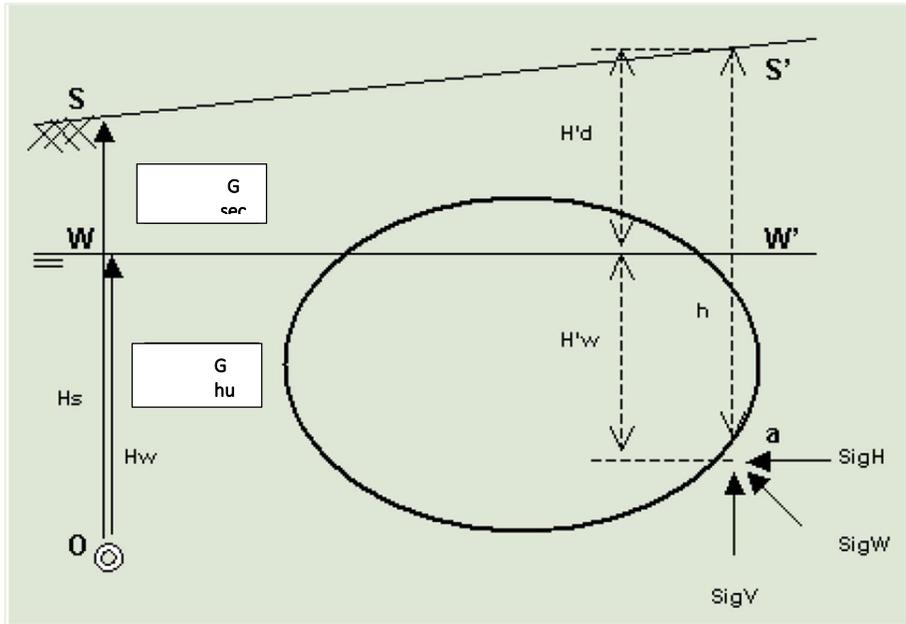
Si ce paramètre est activé, le profil géologique défini dans le forage est ignoré, les conditions à cet endroit sont interpolées à partir des environs des forages, mais le tassement est calculé à cet endroit précis.
- Profil géologique : Spécifie le profil géologique qui correspond à la localisation du forage.
- Colonne ballastée : Définit si le forage est utilisé comme une colonne ballastée.
- Rayon : Spécifie le rayon de la colonne ballastée.

NB : après des modifications (en particulier sur la position) du forage, il peut être nécessaire de régénérer la surface.

4.4 Poussée des terres / d'eau

Plusieurs types de charges (ponctuelles, linéaires et surfaciques) peuvent être définies comme « poussée de terre » ou « poussée d'eau ».

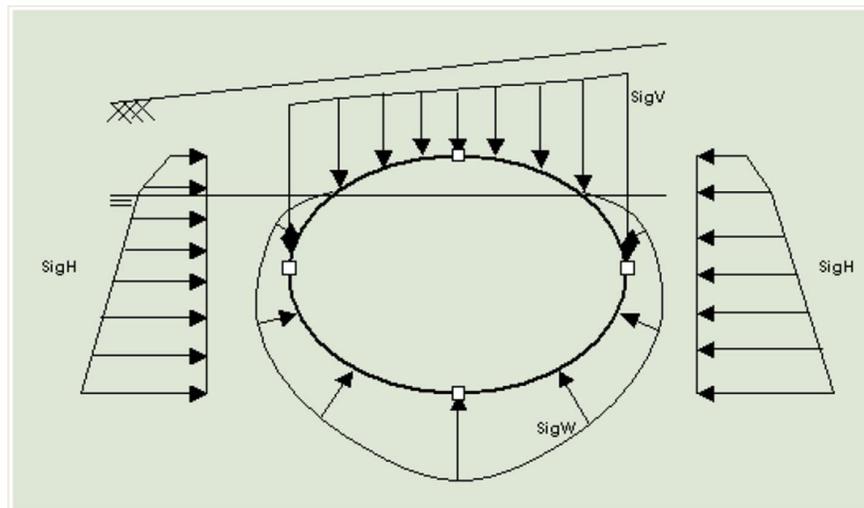
Ces types de charges apparaissent uniquement si une structure est située en sous-sol. En fonction du sol environnant, du niveau des nappes et de la profondeur sous la surface du sol, le programme calcule automatiquement la poussée d'eau et de terre.



A la profondeur h (point a), les intensités des charges générées sont :

| | |
|--------|---|
| SigV,a | <p>Si « a » se trouve au-dessus du niveau d'eau : $(h \leq H'_d)$, alors $(h * G_{sec})$</p> <p>Si « a » se trouve en-dessous du niveau d'eau : $(h > H'_d)$, alors $(H'_d * G_{sec} + H'_w * G_{humide})$</p> <p>Cela travaille UNIQUEMENT dans la direction négative de l'axe global Z !</p> |
| SigH,a | $SigH,a = SigV,a * k_0$ |
| SigW,a | <p>Si « a » se trouve au-dessus du niveau d'eau : $(h \leq H'_d)$, alors (0)</p> <p>Si « a » se trouve en-dessous du niveau d'eau : $(h > H'_d)$, alors $(H'_w * G_{eau})$</p> |

Cela entrainerait une charge répartie comme dans l'image ci-dessous :



Les charges d'eau et de sol peuvent être saisies pour les cas de charges suivants :

- « Type d'actions » = « Permanent » et « Type de charges » = « Standard »
- « Type d'actions » = « Variable » et « Type de charges » = « Statique »

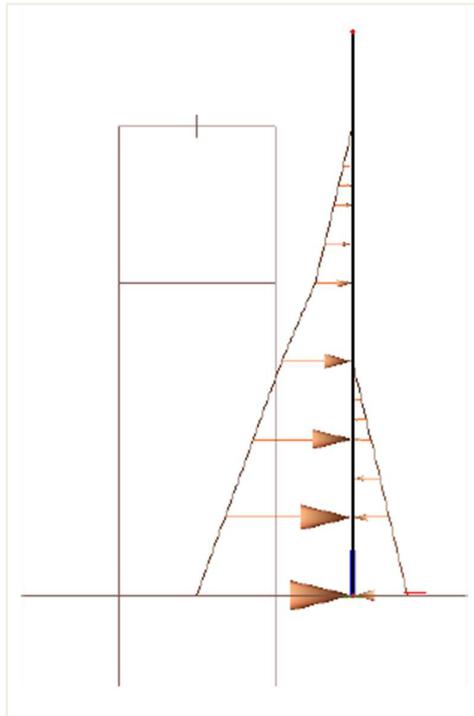
La procédure pour définir une poussée de terres / d'eau :

- Dans le panneau de saisie, cliquer sur la charge ponctuelle, linéaire ou surfacique.
- Ajuster les paramètres, cf ci-dessous.
- Confirmer par « OK ».
- Appliquer les charges sur les éléments nécessaires.

En plus des paramètres classiques pour les charges ponctuelles, linéaires ou surfaciques, ce type de charges nécessite la saisie des données suivantes :

| | |
|-------------------|--|
| Type | Doit être défini pour la poussée de terres / d'eau. |
| Distribution | Uniquement pour les charges linéaires. La charge linéaire peut être uniforme ou trapézoïdale. |
| Zone agissante | Uniquement pour les charges ponctuelles. Définit la zone agissante pour la charge. |
| Largeur agissante | Uniquement pour les charges linéaires. Définit la largeur agissante pour la charge. |
| Coefficient | Uniquement pour la poussée de terres. Ce coefficient doit être défini pour la poussée de terres horizontale. Il spécifie le ratio entre la poussée de terres verticales et horizontales. (c'est-à-dire pour une pression verticale, il devrait être égal à 1). |
| Forage | Spécifie le forage utilisé pour la génération de la pression. |

La poussée des terres / d'eau s'affiche comme présenté dans la figure ci-dessous :



Les deux sont des charges générées (orange). La poussée des terres générée (partie gauche) atteint la tête du forage (qui était utilisé comme le forage de référence). La poussée d'eau générée (partie droite) est définie uniquement sous le niveau de la nappe. Donc si la totalité du modèle est au-dessus du niveau de la nappe, aucune pression ne sera générée du tout.

Le calcul considère ces charges générées.

CHAPITRE 5 : SOIL-IN

L'analyse des fondations de structures est remise en question par le problème de modélisation du contact semelle / sol. La meilleure solution est d'utiliser un modèle 2D du sous-sol qui représente correctement les propriétés de déformation du sol sous la fondation au moyen d'un élément surfacique. Les propriétés de cette modélisation surfacique sont exprimées par ce qu'on appelle les paramètres d'interaction notés C. Ces paramètres sont assignés directement aux éléments de la structure qui sont en contact avec le sous-sol et influencent la matrice de rigidité.

Les paramètres d'interaction entre la fondation et le sous-sol dépendent de la répartition et du niveau de chargement, de la contrainte de contact entre la surface de la structure et le sous-sol environnant, de la géométrie de la face inférieure de la semelle, et des propriétés mécaniques du sol.

Le module de calcul « Soil-In » prend en compte toutes ces notions.

Comme les paramètres C influencent la contrainte de contact et vice versa – la répartition de la contrainte de contact a un impact sur le tassement de la surface de la semelle et donc sur les paramètres C - il est donc nécessaire d'utiliser une solution itérative.

Les résultats de l'itération « Soil-In » sont les paramètres C : C1z, C2x et C2y. Les paramètres C1x et C1y sont toujours définis par l'utilisateur.

C1z : résistance de l'environnement contre w_P (mm) [C1z en MN/m³]

C2x : résistance de l'environnement contre w_P/x_P (mm/m) [C2x en MN/m]

C2y : résistance de l'environnement contre w_P/y_P (mm/m) [C2y en MN/m]

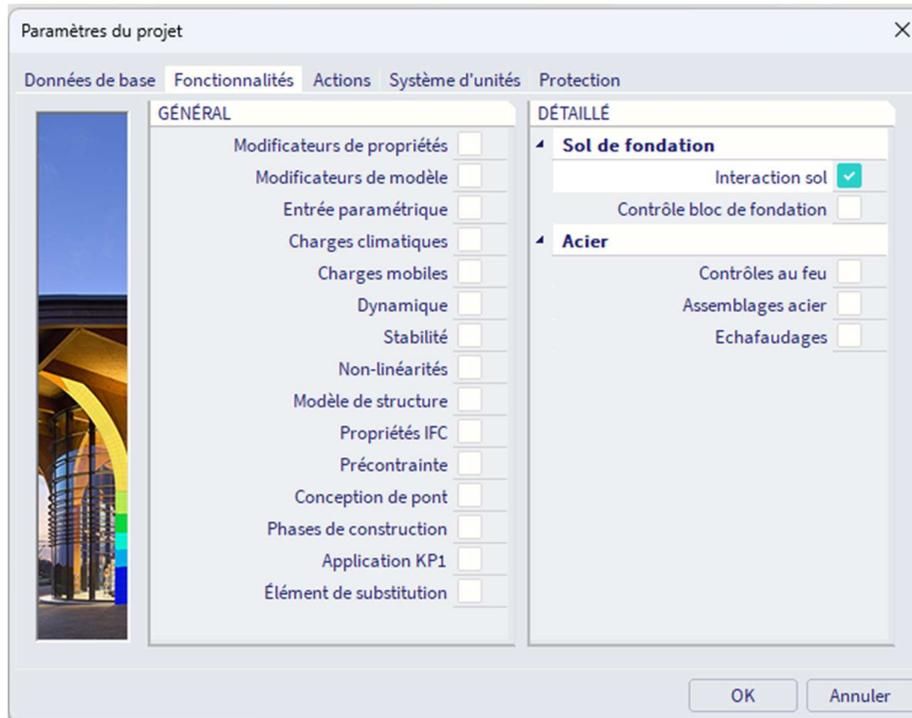
C1x : résistance de l'environnement contre u_P (mm) [C1x en MN/m³]

C1y : résistance de l'environnement contre v_P (mm) [C1y en MN/m³]

NB : Généralement C2x est pris égal à C2y et C1x est pris égal à C1y, car le calcul est fait par variante isotrope du calcul du paramètre C2.

5.1 Calcul « Soil-In »

Le calcul Soil-In est disponible lorsque la fonctionnalité « Interaction Sol » est activée :



NB : L'interaction du sol n'est disponible que pour les structures de type « Plaque XY » et Général XYZ ».

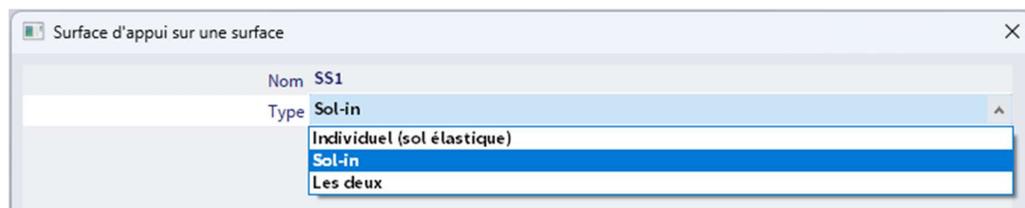
❖ *Sous-sol dans une modélisation 3D*

Le sous-sol dans une modélisation 3D est défini par une surface de sol et un forage. Le profil géologique est défini pour chaque forage. La position et la composition du profil géologique fournit les informations concernant le sous-sol.

Le niveau de base de la fondation est considérée en bas de la surface de la plaque. Les excentricités sont aussi prises en compte.

- Appui surfacique

L'interaction entre la structure et le sous-sol est calculée si la structure est sur un appui de type « Soil-In » :



« Nom » : spécifie le nom de l'appui.

« Type » : définit le type d'appui, cf ci-après.

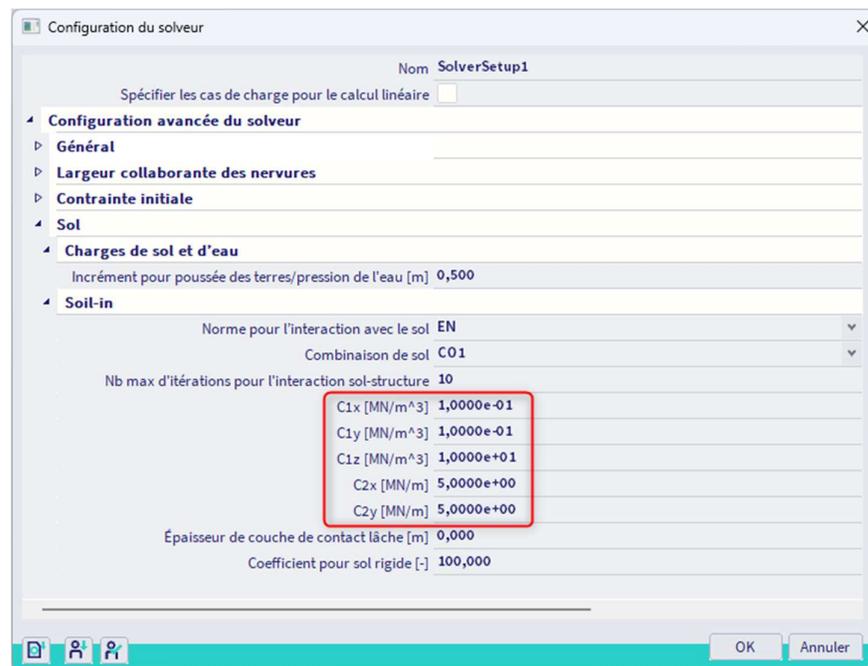
« Sol de fondation » : dans le cas « Individuel » ou « Les deux », il est nécessaire de spécifier les paramètres du sous-sol.

« Individuel » : un sous-sol spécifique est assigné à la dalle.

Le sous-sol est défini via les paramètres C. Ces paramètres C définis par l'utilisateur sont utilisés pour le calcul (notamment pour la contrainte de contact de la surface de la fondation).

« Soil-In » : pour un tel appui, l'interaction de la structure avec le sous-sol est effectuée par le biais du module « Soil-In ».

Toutes les valeurs initiales des paramètres C sont définies dans la « Configuration du solveur » :



Les paramètres C1z, C2x, C2y sont calculés par le module « Soil-In ».

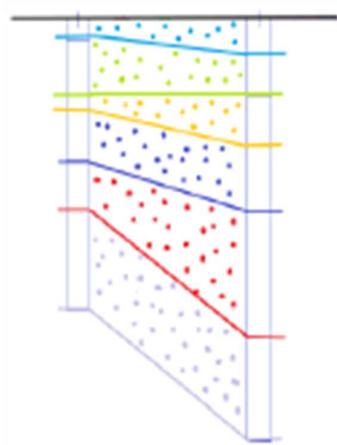
Les paramètres C1x et C1y proviennent de la « Configuration du solveur ».

« Les deux » : les deux types mentionnés ci-dessus sont combinés pour la même plaque.

L'utilisateur définit quels paramètres C seront définis par l'utilisateur et quels paramètres C seront calculés par le module « Soil-In ». Les paramètres C1z, C2x et/ou C2y qui sont définis dans la boîte de dialogue sur 0 seront calculés par le module « Soil-In ». Les paramètres non nuls seront pris comme définis dans le sous-sol. Les paramètres C1x et C1y sont toujours définis par l'utilisateur.

- Approximation des couches de sol

Lorsque plusieurs forages sont utilisés dans le projet, alors ils doivent satisfaire une condition importante : le même nombre de couches de sol. C'est indispensable pour l'approximation de « Soil-In ».



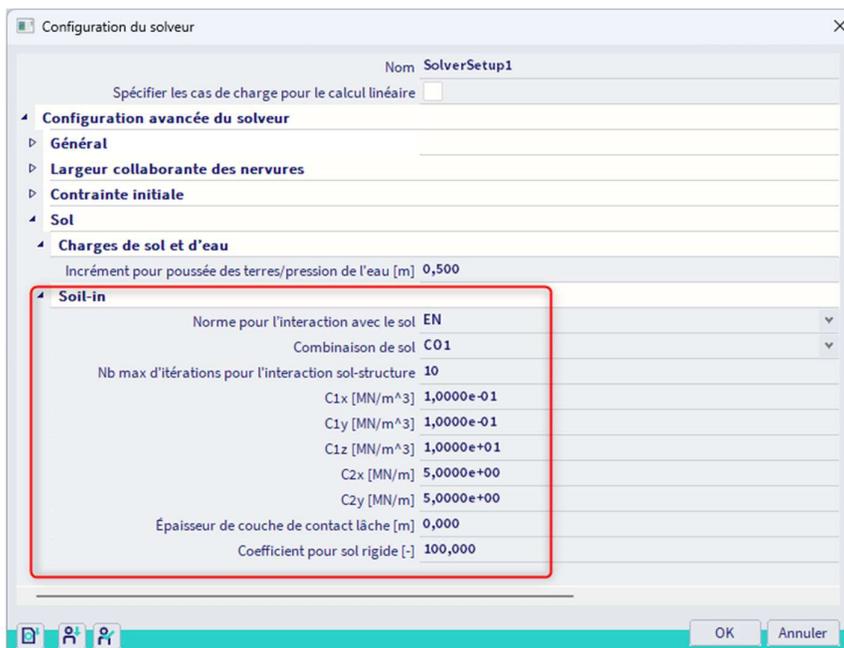
S'il manque des couches de sol dans un forage, alors il est possible de mettre une couche avec une toute petite épaisseur, 1mm par exemple, pour que « Soil-In » ait le bon nombre de couches de sol et puisse effectuer l'approximation.

❖ Paramètres

Quelques paramètres sont nécessaires dans un projet pour effectuer un calcul « Soil-In » :

- Au moins un forage doit être défini avec un profil géologique
- Une structure avec appui surfacique de type « Soil-In » ou « Les deux »
- Un chargement
- Une combinaison de type linéaire (ELU ou ELS)

Il y a aussi plusieurs paramètres pour « Soil-In » dans la « Configuration du solveur » :



« Combinaison de sol » : il s'agit de la combinaison utilisée dans le calcul « Soil-In ».

Même si ce n'est pas une solution exacte, pour des raisons pratiques, les paramètres C ne sont pas calculés séparément pour chaque cas de charges ou pour chaque combinaison. L'utilisateur doit spécifier une combinaison de référence particulière qui est utilisée pour calculer les paramètres C. Les paramètres C calculés sont alors appliqués pour tous les autres cas de charges et pour toutes les autres combinaisons.

« Nb max d'itérations pour l'interaction sol-structure » : il s'agit du nombre de cycles itératifs (lorsque le programme arrête les itérations s'il n'y a pas de paramètres C calculés convenablement, dans ce cas ces résultats divergent), la limite maximale est de 99 étapes.

« C1x, C1y » : paramètres définis par l'utilisateur.

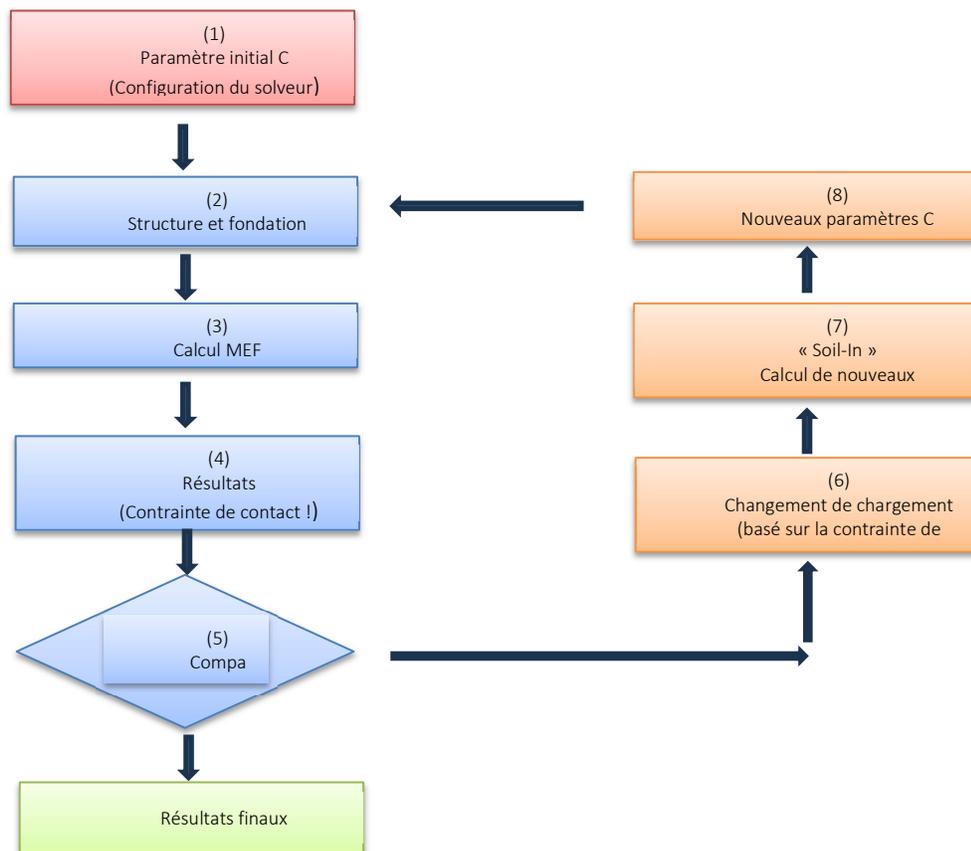
« C1z, C2x, C2y » : valeurs initiales pour « Soil-In » (si le type d'appui est « Soil-In »).

❖ Cycle itératif de Soil-In

Les valeurs depuis le haut de la structure et la fondation sont calculées par MEF. Les valeurs sont utilisées comme données sources pour « Soil-In ».

Le processus itératif est terminé lorsque la contrainte de contact σ_z et le déplacement u_z ne change plus significativement dans deux itérations qui se suivent. Les normes quadratiques spéciales sont évaluées dans chaque cycle itératif pour vérifier que la condition soit remplie.

Diagramme du cycle itératif :



- 1) Les valeurs proviennent de la « Configuration du solveur », prédéfinie par l'utilisateur.
- 2) Données de la structure et sa fondation.
- 3) Calcul MEF – résultats importants pour « Soil-In » pour la contrainte de contact σ_z et les déplacements u_z .
- 4) Résultats de l'itération.
- 5) Comparaison de la contrainte de contact σ_z avec les déplacements u_z . Cela est basé sur les normes quadratiques. Lorsqu'il n'y a pas de changement significatif, alors le calcul est terminé et SCIA Engineer affiche les résultats.
- 6) 1^{ère} étape de « Soil-In » : la contrainte de contact est recalculée avec le nouveau chargement.
- 7) 2^{ème} étape de « Soil-In » : les paramètres C sont recalculés, le nouveau chargement est pris de l'étape précédente.
- 8) 3^{ème} étape de « Soil-In » : paramètres C finaux de « Soil-In », les nouvelles hypothèses.
- 9) Les nouveaux paramètres C sont utilisés pour le prochain calcul MEF.

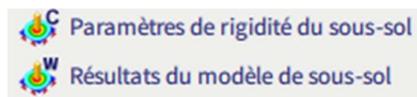
Un message s'affiche lorsque la dernière itération est effectuée :



5.2 Résultats « Soil-In »

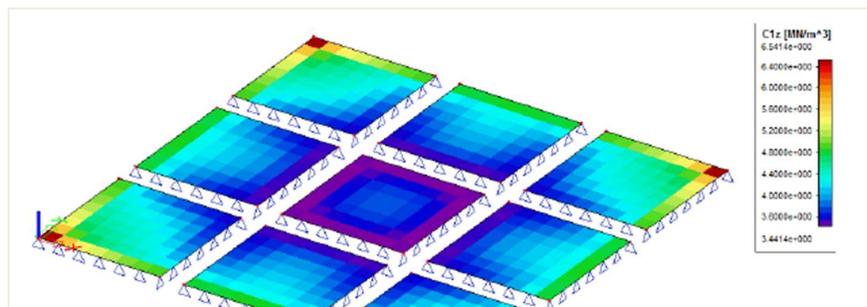
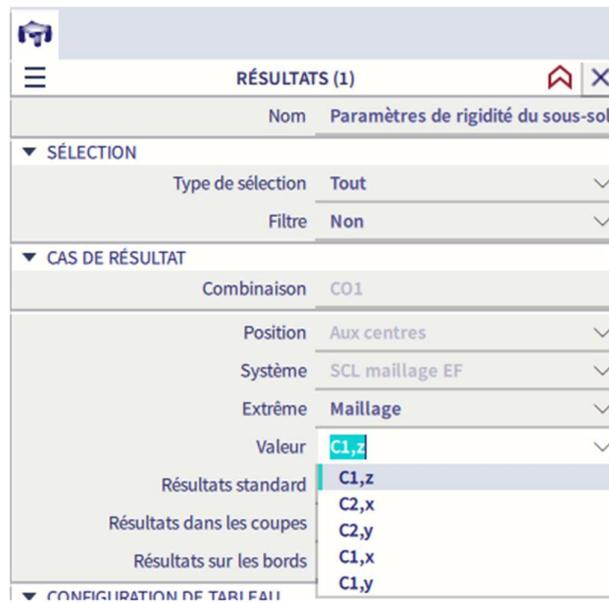
Les résultats pour le sous-sol sont disponibles :

- Dans le menu principal « Résultats / Éléments 2D »
- Ou bien dans le poste de travail « Résultats » des outils de processus



❖ Paramètres de rigidité du sous-sol

Les paramètres C sont calculés pour chaque maille sur l'élément 2D. Ils sont affichés par plans de couleur. Les résultats peuvent être affichés pour chaque paramètre C :

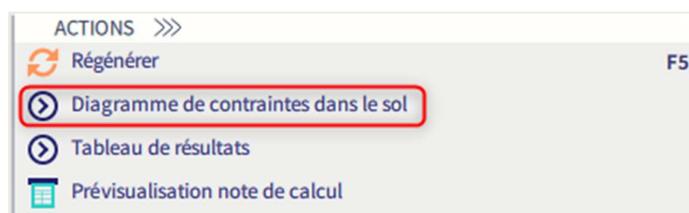


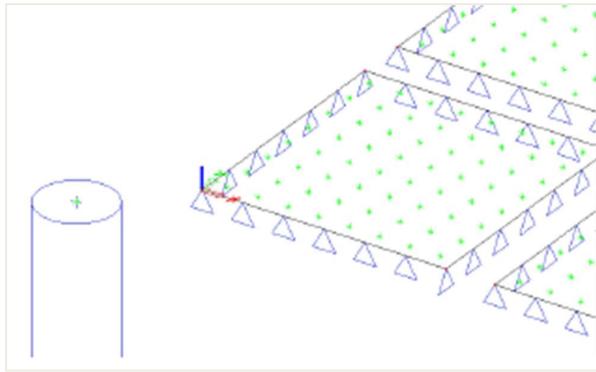
❖ *Résultats du modèle du sous-sol*

- Diagramme de contraintes du sol

Le tassement est calculé pour chaque élément de maillage (en son centre de gravité) et pour chaque forage. Les résultats excluent uniquement un forage des données. Cela signifie que le point est utilisé pour le calcul du tassement mais le profil géologique n'est pas pris en compte pour l'approximation des couches de sol.

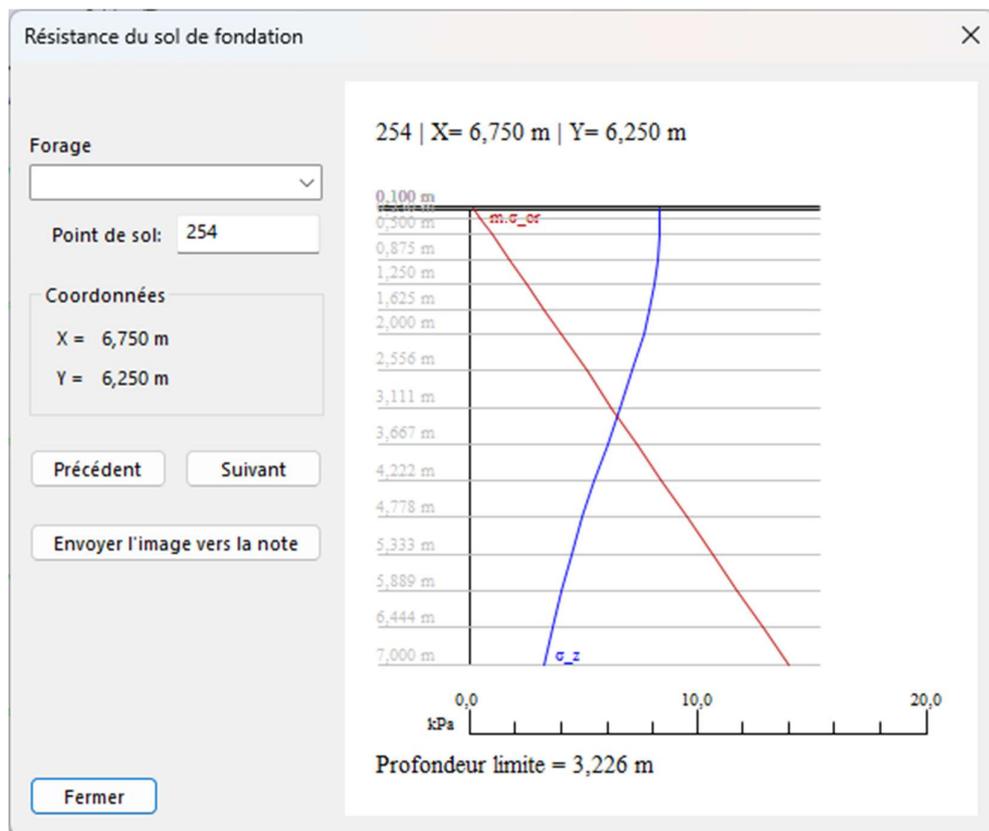
Les points pour le calcul du tassement sont montrés lorsque le diagramme de contraintes de sol est demandé dans les actions :





Les points verts affichés sur la plaque sont le centre des éléments de maillage 2D, et à l'extérieur de la plaque il s'agit du point d'insertion du forage.

Les composantes axiales verticales de la contrainte et l'effort (par conséquent la profondeur de la zone de sol déformée) peuvent être affichés pour tous les points des mailles 2D et du forage. L'utilisateur n'a qu'à sélectionner un point vert et le diagramme s'affiche.



« Précédent » : affiche la résistance du sol pour le nœud précédent.

« Suivant » : affiche la résistance du sol pour le nœud suivant.

« Forage » : affiche la résistance du sol pour le point d'insertion du forage sélectionné.

« Point de sol » : numéro du nœud.

« $m \cdot \sigma_{or}$ » : contrainte de sol d'origine.

« σ_z » : contrainte en charge.

Le module « Soil-In » calcule deux contraintes : la contrainte en charge σ_z , et la contrainte de sol d'origine σ_{or} . Selon la théorie, le tassement se produit si $\sigma_z > m \cdot \sigma_{or}$.

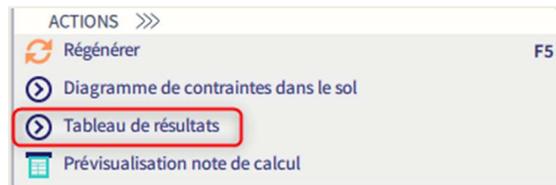
La valeur « m » est fonction de la norme : pour la norme CSN elle peut varier, pour l'EC & DIN elle est de 0,2. Cela signifie que le tassement se produit dans le cas où la contrainte en charge est plus grande que 20% de la contrainte de sol d'origine.

L'image montre ces deux lignes : σ_z en bleu, et σ_{or} en rouge. Le programme cherche l'intersection de ces deux lignes : toutes les couches au-dessus ont $\sigma_z > m \cdot \sigma_{or}$ et se tassent, et toutes les couches en-dessous ont $\sigma_z < m \cdot \sigma_{or}$, ce qui signifie qu'aucun tassement ne se produit. La profondeur à laquelle les deux lignes se croisent est appelée « profondeur limite ».

Dans le cas où l'utilisateur n'a pas saisi un profil géologique suffisant, c'est-à-dire une profondeur suffisante, le point d'intersection ne peut pas être déterminé. Cela veut dire que le tassement calculé sera trop petit puisqu'il y a d'autres couches de sol plus profondes qui seraient aussi compressées et qui tasseraient. C'est pourquoi le programme affiche un avertissement précisant que la géologie est « insuffisante ».

o Tableau de tassements

Il est également possible d'avoir les résultats de tassement w pour chaque nœud sous forme de tableaux :



Le tassement w est différent du déplacement u_z de la plaque de fondation car w est calculé sans la raideur de la structure et à partir de l'avant-dernière itération. C'est pourquoi il est utile de regarder les valeurs w uniquement à l'extérieur de la fondation (cf le chapitre sur les plaques supplémentaires pour vérifier le tassement autour d'un appui surfacique).

| TABLEAU DE RÉSULTATS | | | | | |
|----------------------|-----|-------|-------|--------|------------------|
| | Nom | X [m] | Y [m] | w [mm] | Profondeur li... |
| 1 | 1 | 0,250 | 0,250 | 0,3 | 1,494 |
| 2 | 2 | 0,750 | 0,250 | 0,4 | 1,773 |
| 3 | 3 | 1,250 | 0,250 | 0,4 | 1,936 |
| 4 | 4 | 1,750 | 0,250 | 0,4 | 2,038 |
| 5 | 5 | 2,250 | 0,250 | 0,4 | 2,101 |
| 6 | 6 | 2,750 | 0,250 | 0,4 | 2,143 |
| 7 | 7 | 3,250 | 0,250 | 0,4 | 2,169 |
| 8 | 8 | 3,750 | 0,250 | 0,4 | 2,185 |
| 9 | 9 | 4,250 | 0,250 | 0,4 | 2,194 |
| 10 | 10 | 4,750 | 0,250 | 0,4 | 2,198 |
| 11 | 11 | 5,250 | 0,250 | 0,4 | 2,198 |
| 12 | 12 | 5,750 | 0,250 | 0,4 | 2,194 |
| 13 | 13 | 6,250 | 0,250 | 0,4 | 2,185 |
| 14 | 14 | 6,750 | 0,250 | 0,4 | 2,169 |
| 15 | 15 | 7,250 | 0,250 | 0,4 | 2,143 |
| 16 | 16 | 7,750 | 0,250 | 0,4 | 2,101 |
| 17 | 17 | 8,250 | 0,250 | 0,4 | 2,038 |
| 18 | 18 | 8,750 | 0,250 | 0,4 | 1,936 |
| 19 | 19 | 9,250 | 0,250 | 0,4 | 1,773 |
| 20 | 20 | 9,750 | 0,250 | 0,3 | 1,494 |
| 21 | 21 | 0,250 | 0,750 | 0,4 | 1,773 |
| 22 | 22 | 0,750 | 0,750 | 0,5 | 2,061 |

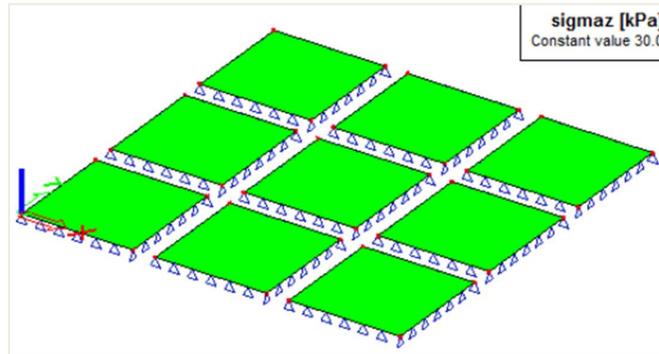
○ Résultats pour chaque itération

Lorsque « Soil-In » ne finit pas le processus itératif de manière classique, le calcul se termine alors après le nombre prédéfini de cycles (dans la « Configuration du solveur »). L'utilisateur peut afficher les contraintes de contact sur la plaque pour chaque cycle séparément, il pourra alors trouver le problème.

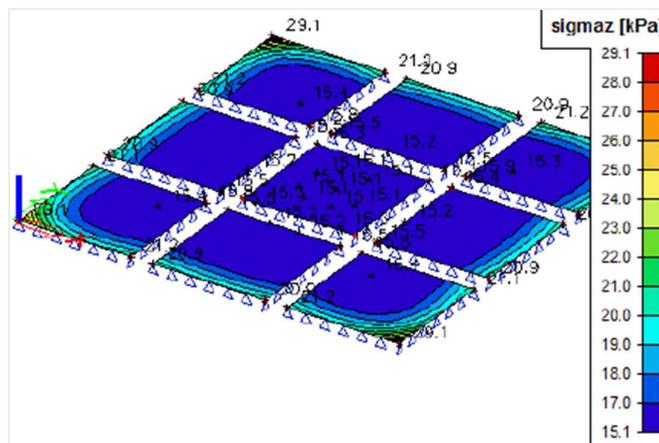
La contraintes de contact calculées pour chaque cycle itératif peuvent être trouvées dans les résultats :



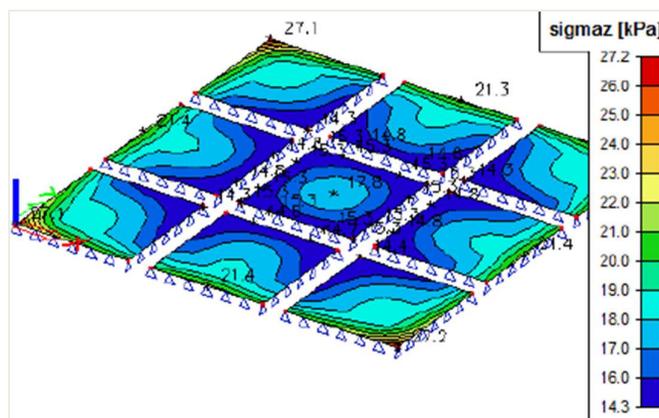
Premier cycle itératif :



Second cycle itératif :



Troisième cycle itératif :

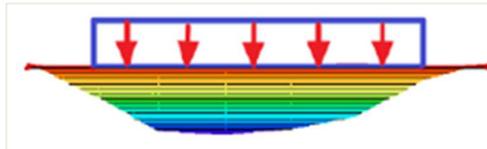


5.3 Plaques supplémentaires

« Soil-In » est un outil qui calcule les paramètres C du sous-sol sous l'appui surfacique. Utiliser des plaques supplémentaires autour de l'appui donne des résultats plus réalistes.

A propos des paramètres C :

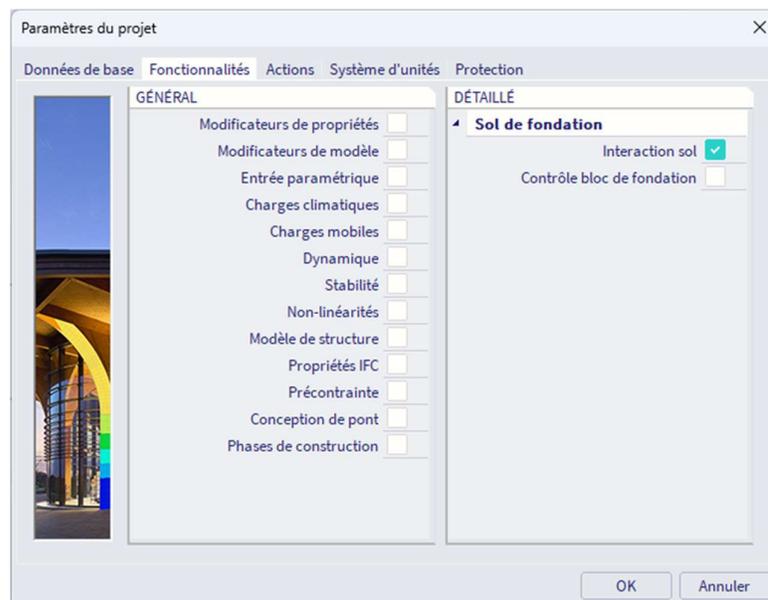
- Les paramètres C sont les paramètres d'interaction, donc leurs valeurs dépendent de la structure, du chargement, de la raideur et sous-sol. Les modifications dans n'importe quelle partie entraînent des paramètres C différents.
- La plaque entière est supportée verticalement par la rigidité du sol : le paramètre C1 (Winkler) et aussi dans la direction de cisaillement le paramètre C2 (Pasternak).
- Les bords de la plaque sont davantage supportés par les paramètres C2 car ils ont affectés par négligence.
- La zone autour de l'appui est affectée par la rigidité en cisaillement du sol et le bassin de dégraissage est créé :



- Le bassin de dégraissage peut être remplacé par des appuis ressorts autour de la plaque. Cela est fait automatiquement sans SCIA Engineer lorsque l'utilisateur n'ajoute pas de plaques autour.
- Lorsque l'utilisateur utilise des plaques autour de l'appui, les ressorts ne sont pas ajoutés, et les paramètres C sont calculés sur toute la zone.

❖ Paramètres pour le calcul « Soil-In »

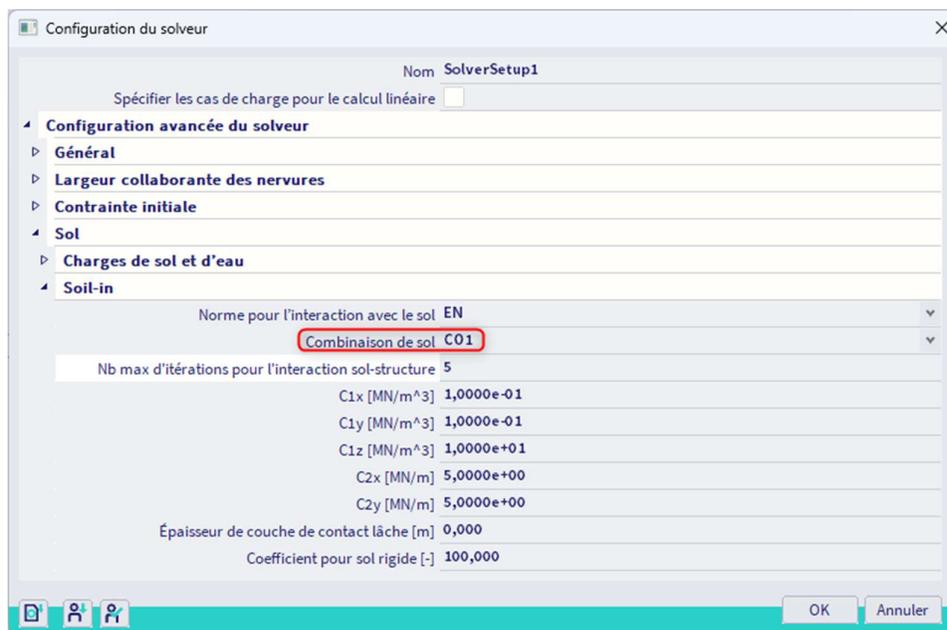
La fonctionnalité « Interaction sol » doit être cochée :



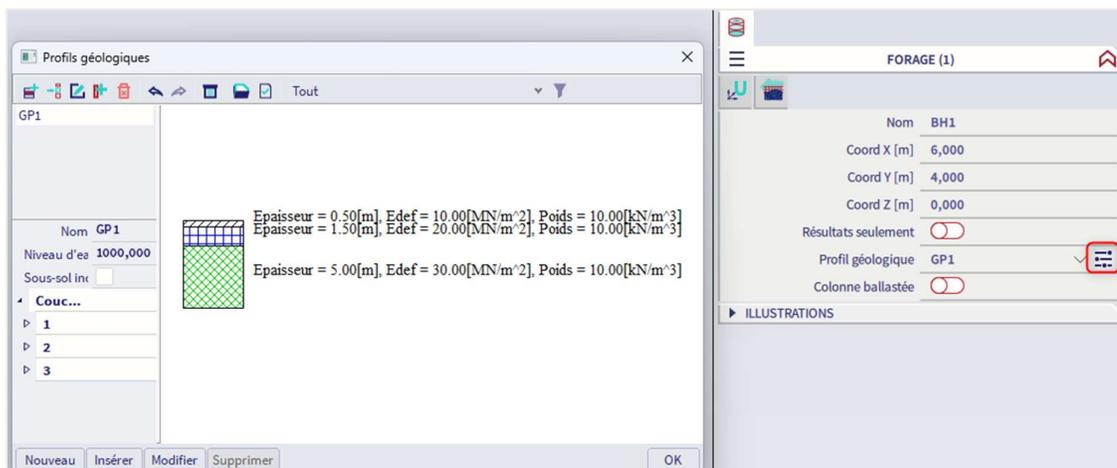
Une combinaison doit être de type « linéaire », cette combinaison sera utilisée pour le calcul « Soil-In » :



Cette combinaison linéaire doit être sélectionnée dans la « Configuration du solveur » pour lancer « Soil-In » :



Le projet doit contenir un forage avec un profil géologique.



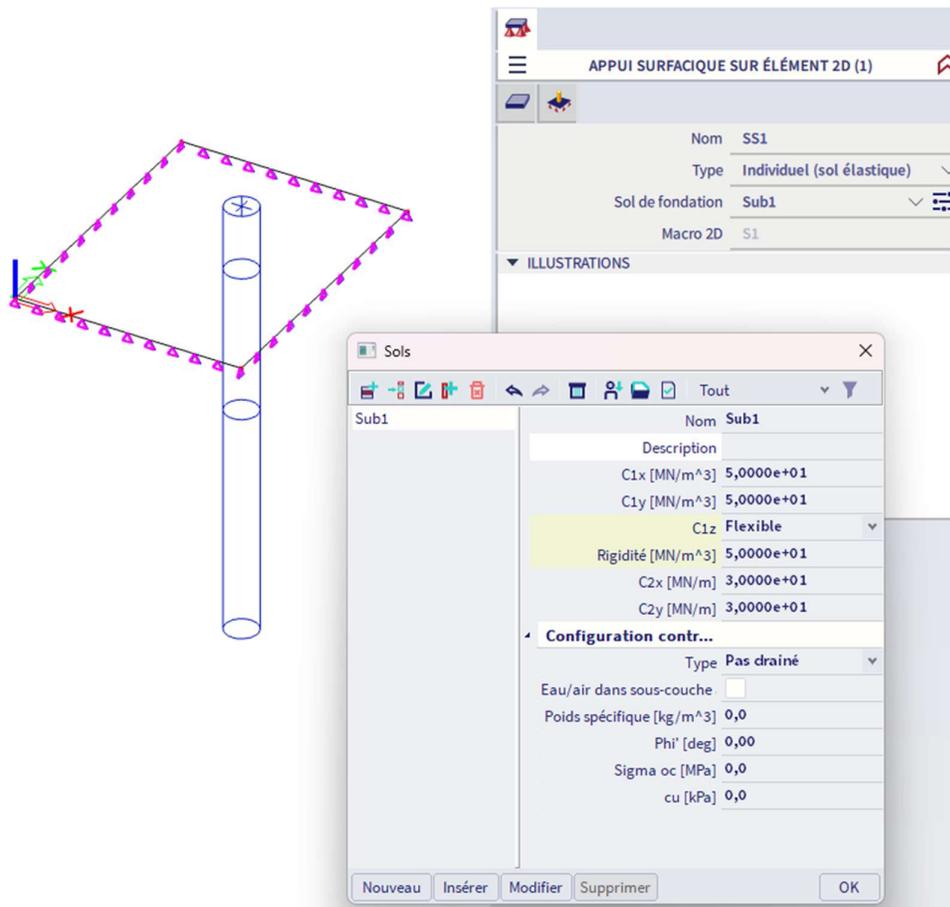
Le projet doit contenir un appui surfacique de type « Soil-In » :



❖ **Comment calculer la plaque sans « Soil-In »**

Ouvrir le projet « Soil-In_Start.esa ».

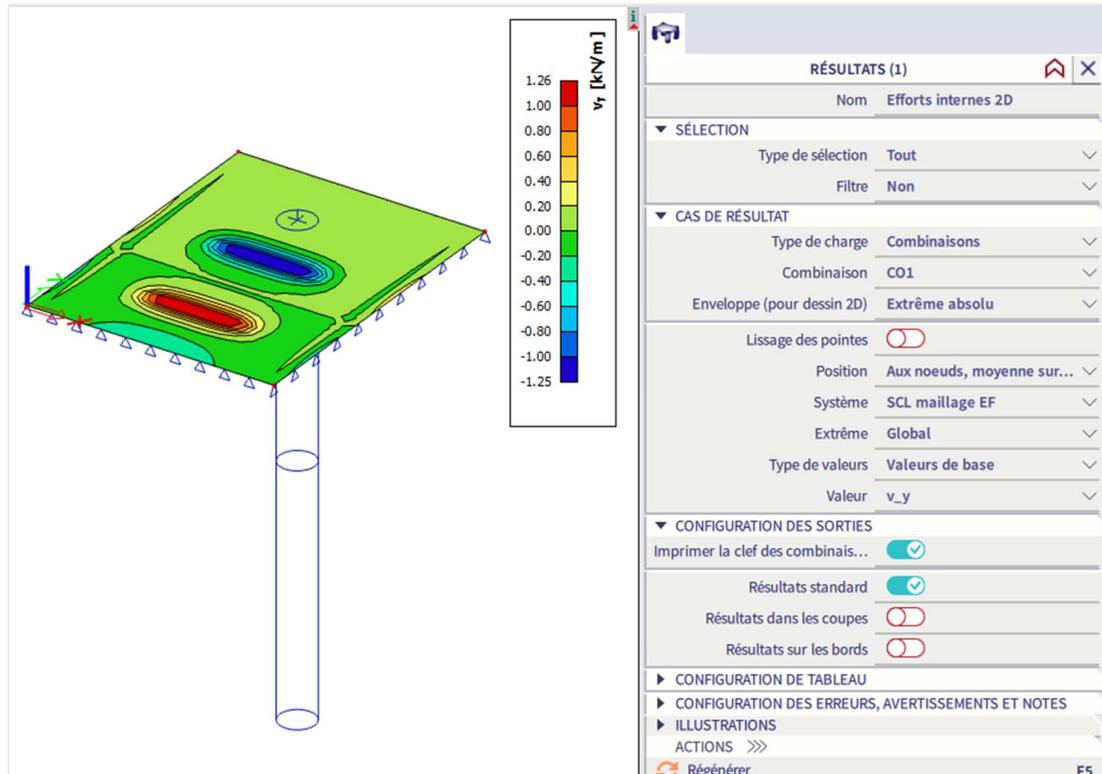
Il y a une plaque avec un appui surfacique de type « Individuel ». Ce type d'appuis a des paramètres C1 et C2 constants.



Lancer le calcul linéaire avec les paramétrages par défaut.

Afficher les résultats d'efforts internes 2D. Il n'y a pas de résultats pour le paramètre C.

Par exemple l'effort interne v_y :



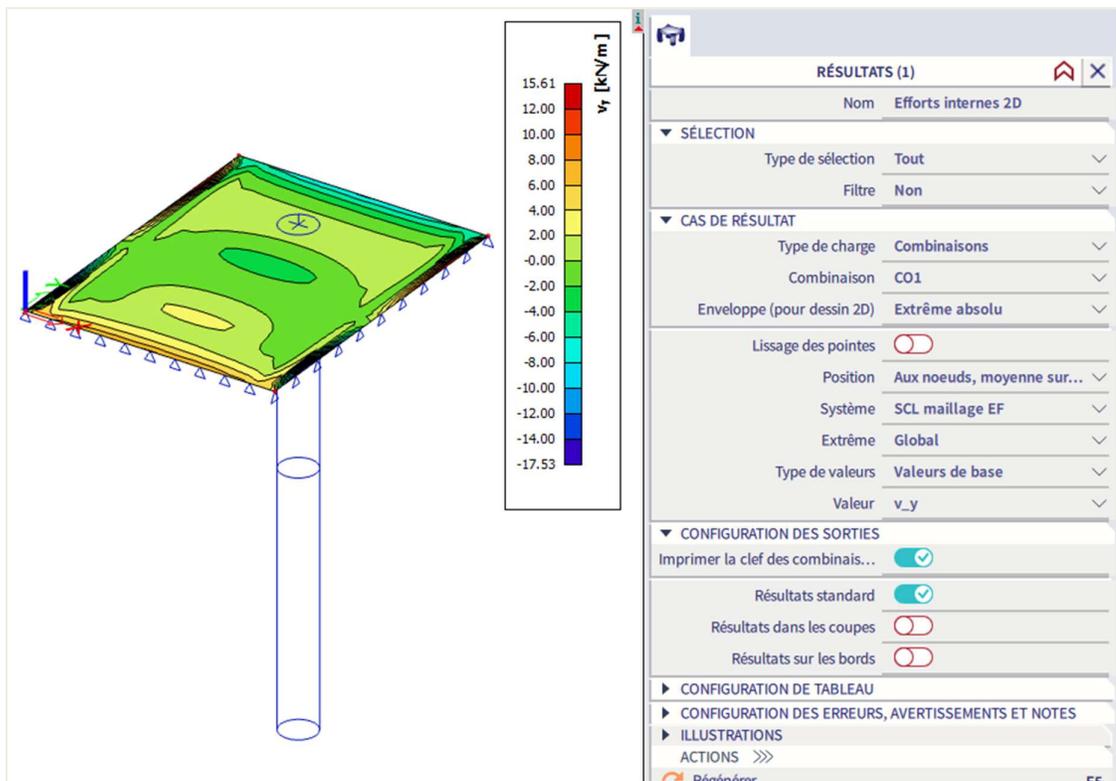
❖ **Comment calculer la plaque avec « Soil-In »**

Changer le type d'appui en « Soil-In ».

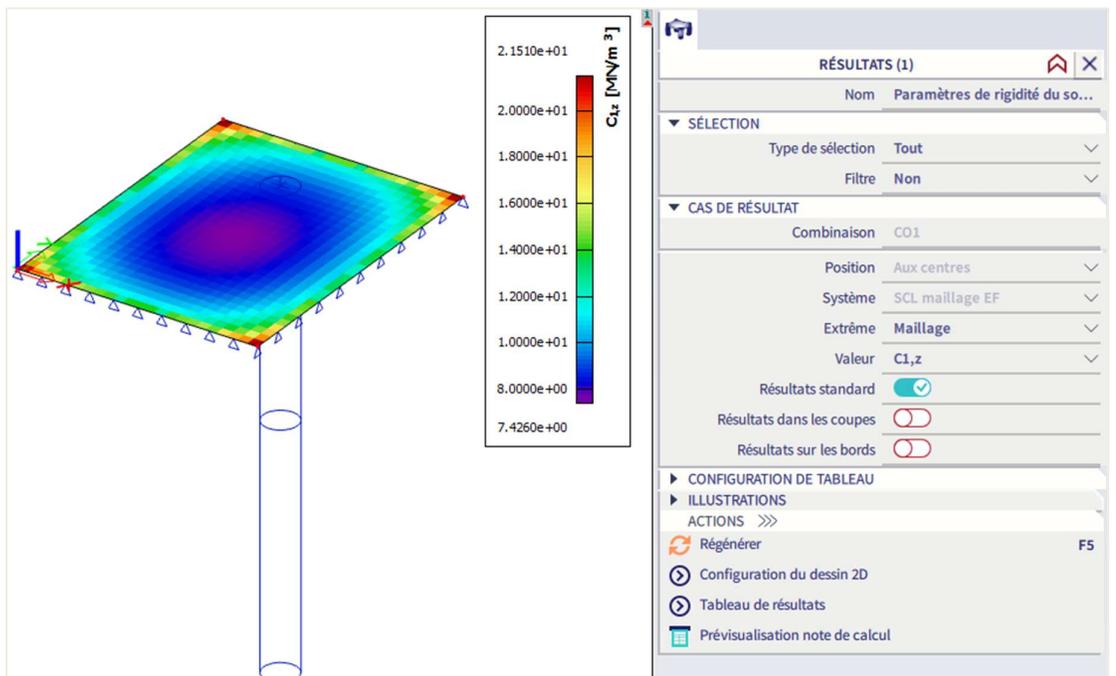
Lancer l'analyse linéaire à nouveau.

Afficher les résultats d'efforts internes 2D et « Soil-In » pour la combinaison CO1.

Par exemple l'effort interne v_y :



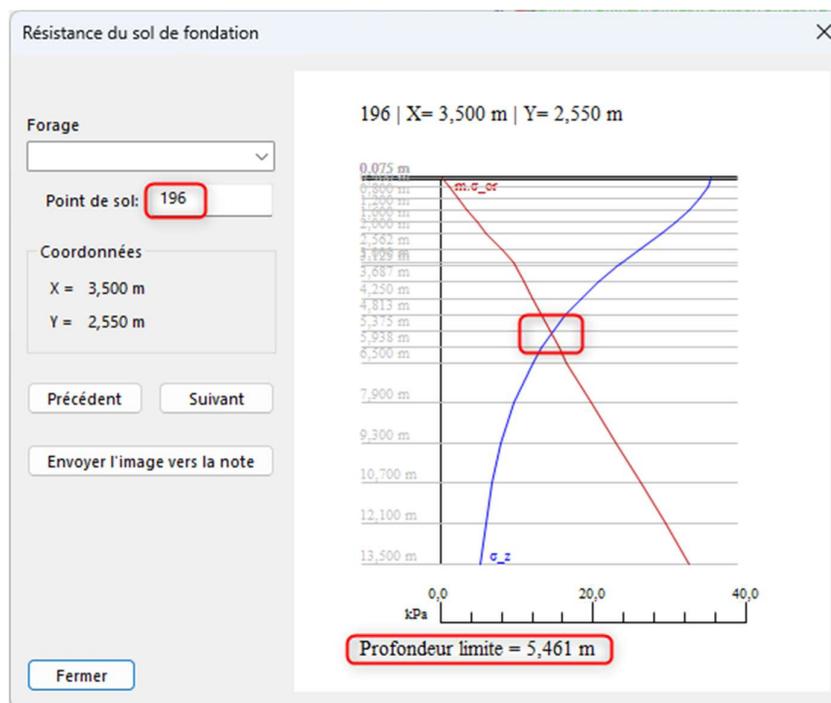
Paramètres C1z :



Les tableaux de résultats permettent de visualiser les résultats de tassement :

| TABLEAU DE RÉSULTATS | | | | | |
|----------------------|-----|-------|-------|--------|------------------|
| | Nom | X [m] | Y [m] | w [mm] | Profondeur li... |
| 1 | 1 | 0,152 | 0,150 | 0,8 | 2,515 |
| 2 | 2 | 0,457 | 0,150 | 1,1 | 2,759 |
| 3 | 3 | 0,761 | 0,150 | 1,2 | 2,954 |
| 4 | 4 | 1,065 | 0,150 | 1,4 | 3,169 |
| 5 | 5 | 1,370 | 0,150 | 1,5 | 3,363 |
| 6 | 6 | 1,674 | 0,150 | 1,5 | 3,526 |
| 7 | 7 | 1,978 | 0,150 | 1,6 | 3,661 |
| 8 | 8 | 2,283 | 0,150 | 1,7 | 3,770 |
| 9 | 9 | 2,587 | 0,150 | 1,7 | 3,851 |
| 10 | 10 | 2,891 | 0,150 | 1,7 | 3,907 |
| 11 | 11 | 3,196 | 0,150 | 1,7 | 3,939 |

Le diagramme de contraintes du sol peut également être affiché en sélectionnant un point vert :



Fermer la fenêtre.

Et cliquer sur la touche « Échap » pour finir l'action.

NB : Les bords de la plaque sont automatiquement supportés par des ressorts.

❖ **Comment créer des plaques supplémentaires ?**

Utiliser le même projet.

Dans le panneau de saisie, dans la catégorie « Éléments 2D », cliquer sur « Plaque » pour créer une nouvelle plaque.

Définir l'épaisseur à 1mm.

Créer 4 plaques autour de l'appui surfacique comme sur l'image ci-dessous. La largeur par rapport à la plaque d'origine est de 3m.

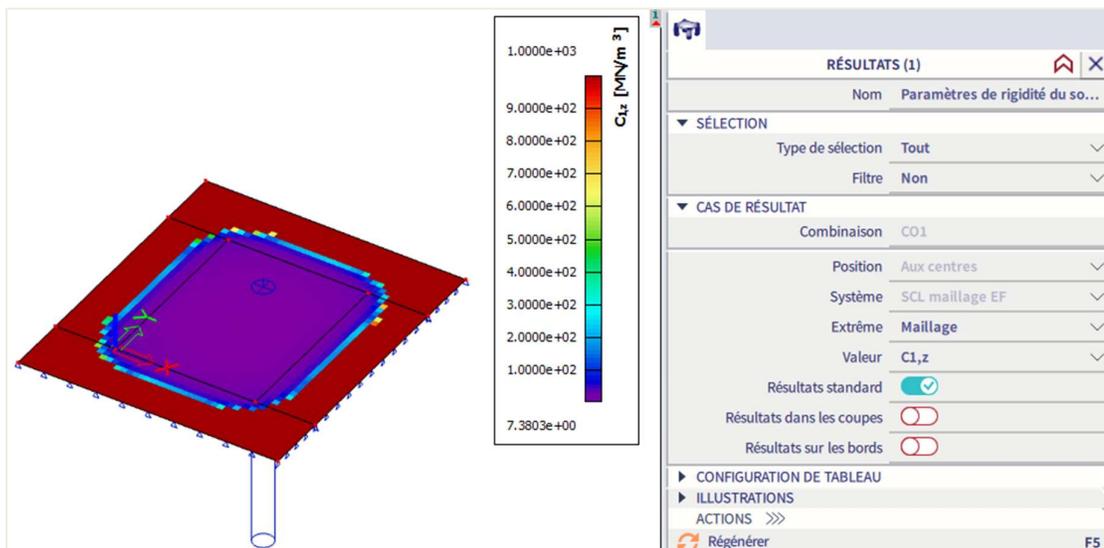


Ajouter le type d'appui surfacique « Soil-In » sous ces plaques.

Lancer à nouveau le calcul linéaire avec les mêmes paramètres.

Afficher les résultats pour « Soil-In ».

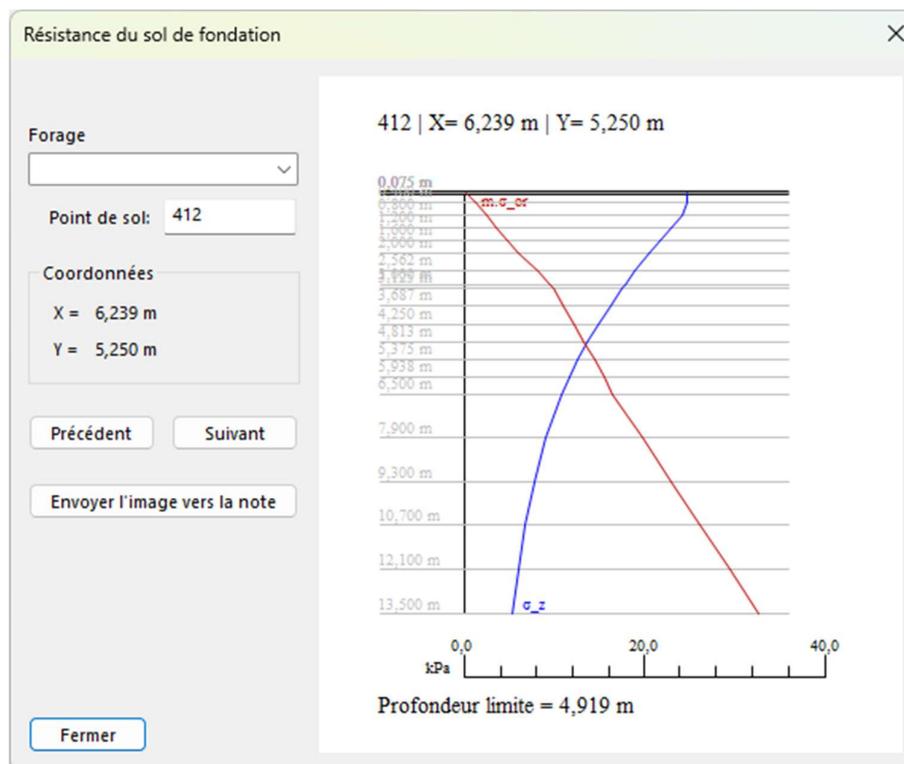
Paramètres C1z :



Les tableaux de résultats permettent de visualiser les résultats de tassement :

| TABLEAU DE RÉSULTATS | | | | | |
|----------------------|-----|-------|-------|--------|------------------|
| | Nom | X [m] | Y [m] | w [mm] | Profondeur li... |
| 1 | 1 | 0,152 | 0,150 | 0,6 | 2,584 |
| 2 | 2 | 0,457 | 0,150 | 0,8 | 2,827 |
| 3 | 3 | 0,761 | 0,150 | 1,1 | 3,047 |
| 4 | 4 | 1,065 | 0,150 | 1,2 | 3,303 |
| 5 | 5 | 1,370 | 0,150 | 1,4 | 3,511 |
| 6 | 6 | 1,674 | 0,150 | 1,5 | 3,679 |
| 7 | 7 | 1,978 | 0,150 | 1,6 | 3,819 |
| 8 | 8 | 2,283 | 0,150 | 1,7 | 3,930 |
| 9 | 9 | 2,587 | 0,150 | 1,7 | 4,014 |
| 10 | 10 | 2,891 | 0,150 | 1,8 | 4,071 |
| 11 | 11 | 3,196 | 0,150 | 1,8 | 4,106 |

Le diagramme de contraintes du sol peut également être affiché en sélectionnant un point vert :

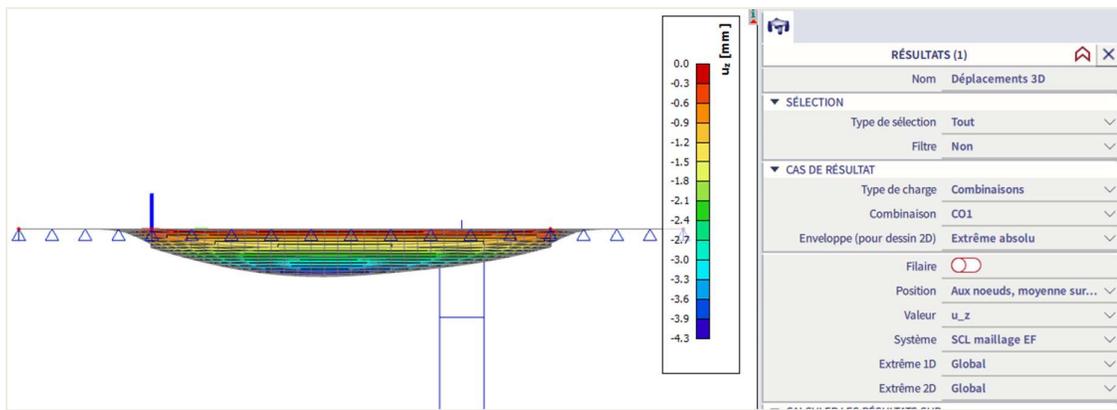


Fermer la fenêtre.

Et cliquer sur la touche « Échap » pour finir l'action.

L'un des résultats les plus intéressants concernent les déformations.

Afficher le résultat « Déplacement des nœuds », valeur u_z sur la structure déformée :

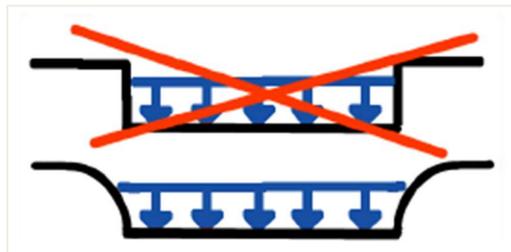


NB : La structure déformée montre le bassin de dégraissage.

5.4 Trucs et astuces

❖ *L'effet du sous-sol en dehors de la structure*

Le sous-sol autour de la structure chargée est aussi impacté par ce tassement. L'image réaliste ci-dessous montre comment cela fonctionne dans la réalité :

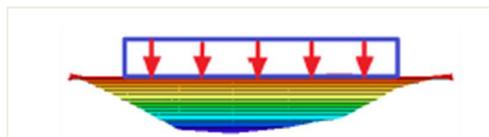


Le calcul de l'environnement de la structure est un cas spécifique. Il est recommandé d'ajouter une plaque supplémentaire à la structure dans ce but – un élément de sous-sol additionnel.

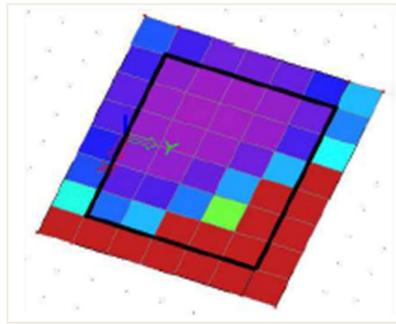
La nouvelle plaque doit être insérée avec une épaisseur minimale (0,01mm par exemple) et placée à côté de la fondation.

Les paramètres C pour ce sous-sol impacté autour de la fondation seront alors également calculés.

Le sous-sol déformé calculé par SCIA Engineer :



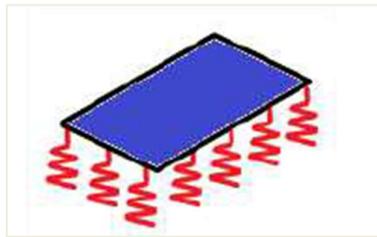
Paramètres C calculés :



La structure est marquée par un rectangle noir et on visualise autour la plaque supplémentaire d'une épaisseur 0,001mm.

❖ *Calcul automatique des appuis de bord*

Lorsque l'utilisateur n'utilise pas de sous-sol, alors le programme élimine la négligence de sous-sol sur bords en insérant automatiquement des appuis verticaux sur les bords de la fondation.



Le calcul de ces appuis est basé sur des paramètres C déjà connus. Le programme essaye de supporter la plaque comme si c'était un sol. Cela amène à un modèle approximatif où la somme des réactions est la contrainte de contact avec les réactions dans ces nœuds.

Cette solution peut être parfois indésirable, notamment dans le cas où il y aurait une deuxième fondation proche de celle calculée ou bien d'autres appuis sous ou près des bords de la fondation.

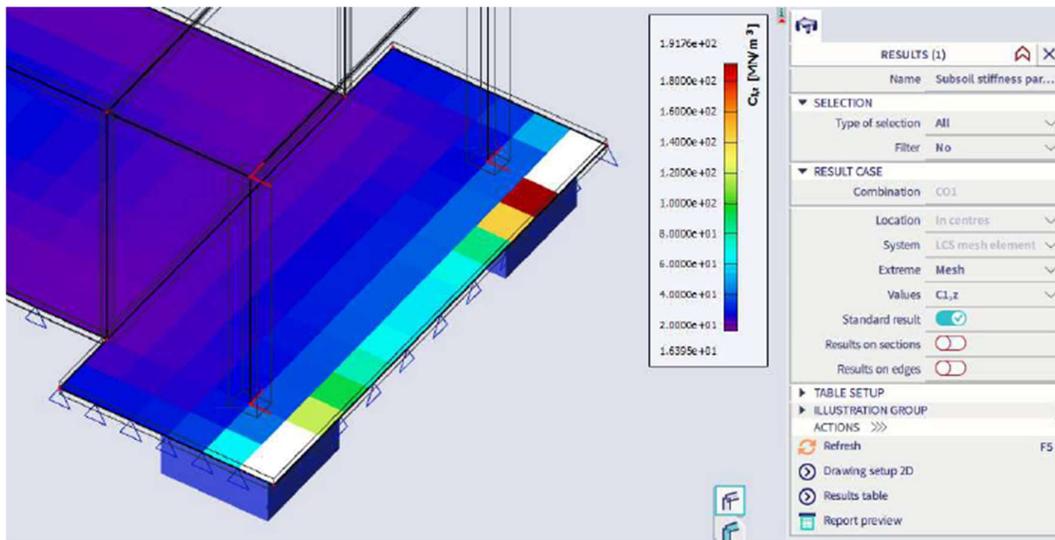
Cette saisie automatique peut être évité manuellement. L'utilisateur peut insérer un ressort avec une petite rigidité sur les bords de la plaque, le système n'utilisera alors pas la saisie automatique des appuis verticaux. Cela pourrait être les éléments du sol supplémentaires.

❖ *Bloc de fondation et « Soil-In »*

Le bloc de fondation n'est pas connecté au calcul « Soil-In ».

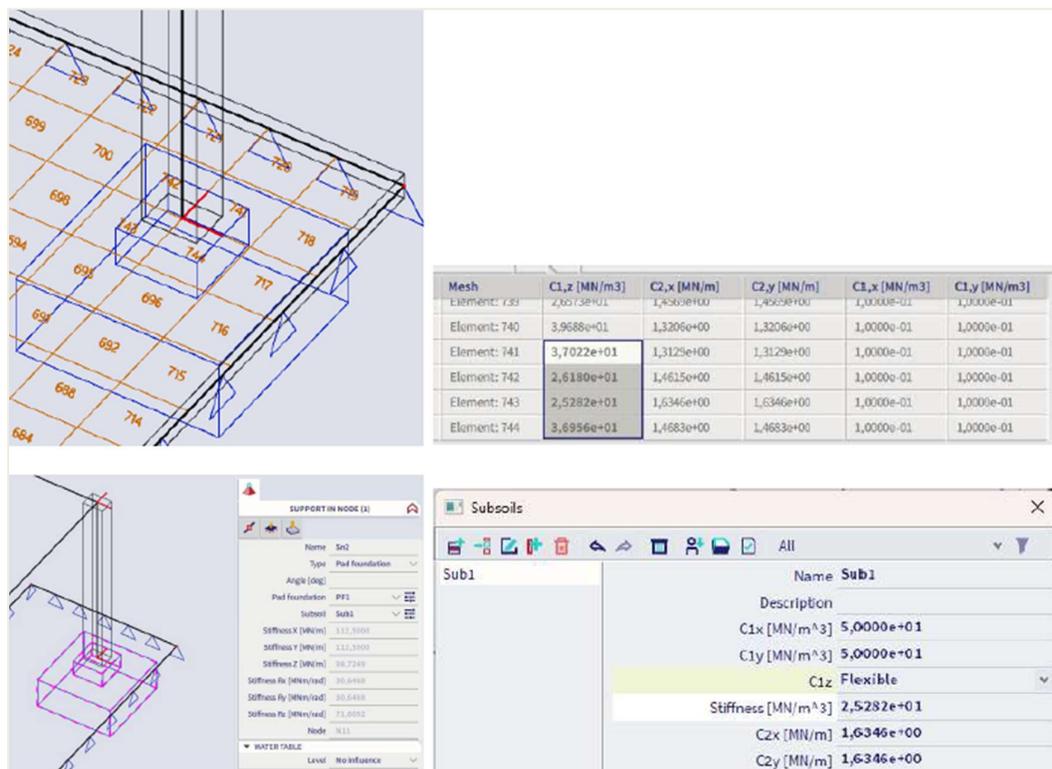
Comment utiliser « Soil-In » pour la vérification du bloc de fondation :

- Créer une structure additionnel pour calculer les paramètres C



NB : Paramètres C calculés sur les environs de la plaque => paramètres C pour le bloc de fondation.

- Les paramètres C calculés peuvent être utilisés dans la bibliothèque de sol. On peut utiliser ces valeurs de la bibliothèque de sol.



- Lancer le calcul linéaire à nouveau.
- Contrôler le bloc de fondation comme classiquement.

❖ Que faire si le modèle est correct mais que l'itération n'est pas terminée ?

Parfois le modèle est correct mais certaines circonstances peuvent entraîner un processus itératif qui ne se termine pas. Les résultats dans les cycles n'amènent pas à un set de paramètres C, mais au contraire, les résultats sont de plus en plus différents.

Cela peut être dû à des tensions dans la plaque de fondation, dans les éléments spécifiques de fondation et problèmes similaires.

Comment résoudre ces problèmes :

- Il faut vérifier le modèle. Il doit être correct : les éléments de maillage ne sont pas triangulaires, l'axe Z de l'élément et vers le haut, la plaque de fondation doit être sous la surface du sol, etc.
- Vérifier les cycles itératifs dans les résultats (contraintes de contact, types de charges) de l'itération « Soil-In ». Les premiers cycles itératifs seront sans doute OK, et après quelques temps, les résultats deviendront désordonnés. Trouver un cycle (entre ceux qui sont corrects) où les résultats semblent proches de la réalité, par exemple le 3^{ème} cycle. Utiliser cette valeur dans la « Configuration du solveur pour le nombre de cycles itératifs.

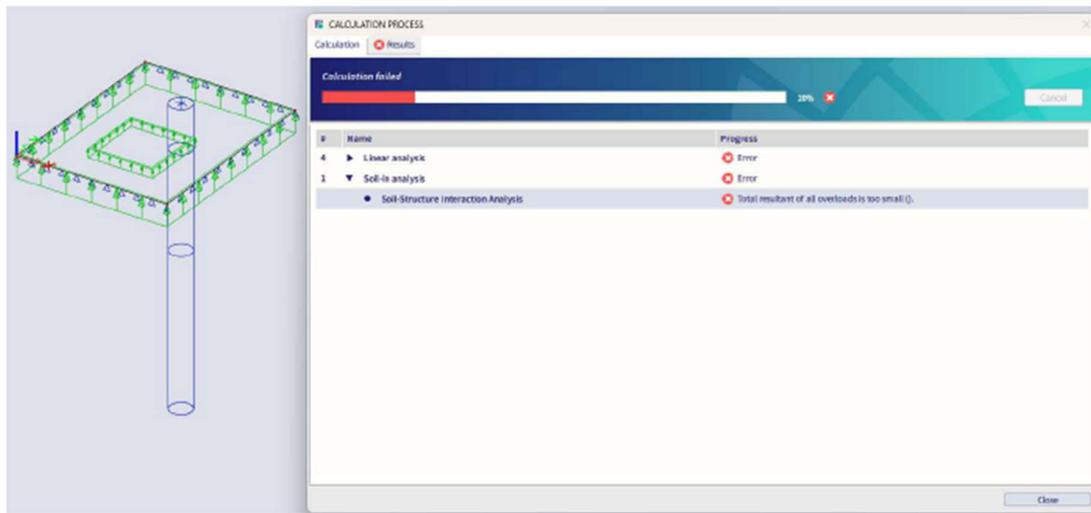
The image shows two screenshots from a software application. The left screenshot displays the 'RÉSULTATS (1)' window with a tree view under 'CAS DE RÉSULTAT'. The 'Itération' field is highlighted with a red box and set to 'Itération 3'. The right screenshot shows the 'Soil-in' configuration panel, where the 'Nb max d'itérations pour l'interaction sol-structure' field is highlighted with a red box and set to '10'.

- Lancer le calcul linéaire à nouveau, il se terminera après le 3^{ème} cycle itératif avec des résultats les plus proches de la réalité. Le cycle correct se trouve entre le 2^{ème} et le 5^{ème} cycle dans la plupart des cas.

❖ Que faire si la charge est mal insérée ?

Lorsque la plaque n'est pas comprimée, alors « Soil-In » ne peut pas être calculée convenablement.

Il se peut qu'un message s'affiche révélant une résultante totale fautive :

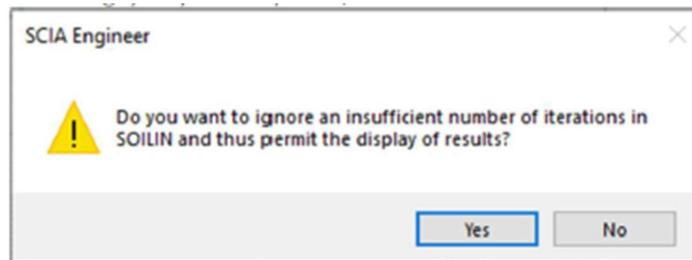


Cela peut arriver lorsque les charges sont du bas vers le haut (soulèvement), ou lorsqu'il y a des modifications dans le repère local de la plaque (SCL).

❖ **Que faire si une structure symétrique donne des résultats non-symétriques ?**

Cela peut arriver lorsqu'aucun sous-sol additionnel n'a été ajouté autour de la structure.

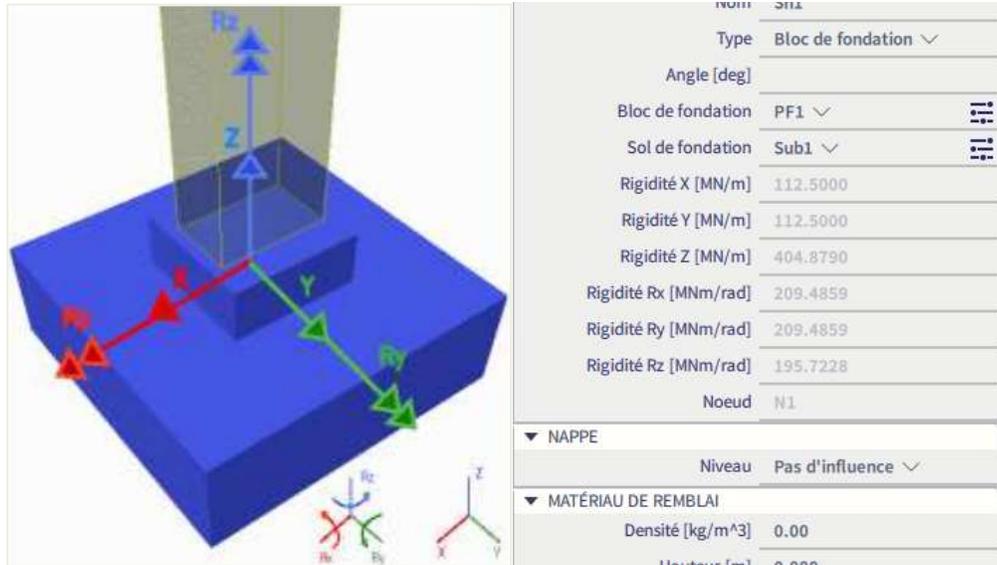
Cela arrive aussi lorsque « Soil-In » ne trouve pas de résultats corrects et que le calcul se termine trop tôt (par exemple lorsque la « Configuration du solveur » est défini avec trop peu de cycles itératifs). Lorsque le nombre d'itérations défini dans la « Configuration du solveur » est insuffisante, le message ci-dessous s'affichera (« *Souhaitez-vous ignorer le nombre insuffisant d'itérations dans « Soil-In » et permettre ainsi l'affichage des résultats ?* »). Si vous répondez « Oui », alors les résultats seront sauvegardés.



ANNEXE 1 : RIGIDITÉ DU BLOC DE FONDATION

Cette annexe spécifie le calcul des coefficients de rigidité d'un bloc de fondation.

Il est supposé que $C_{2x} = C_{2y}$ dans le calcul de rigidité.



| Rigidité | Formules |
|-------------|---|
| Rigidité X | $A \cdot B \cdot C_{1x}$ |
| Rigidité Y | $A \cdot B \cdot C_{1y}$ |
| Rigidité Z | $A \cdot B \cdot C_{1z} + 2 \cdot (A + B) \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}} + 2 \cdot C_{2x}$ |
| Rigidité Rx | $B^3 \cdot \frac{A \cdot C_{1z} + 2 \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}}}{6} + \frac{A \cdot B^2 \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}}}{2} + \frac{B^2 \cdot C_{2x}}{2} + A \cdot B \cdot C_{2x}$ |
| Rigidité Ry | $A^3 \cdot \frac{B \cdot C_{1z} + 2 \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}}}{6} + \frac{B \cdot A^2 \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}}}{2} + \frac{A^2 \cdot C_{2x}}{2} + A \cdot B \cdot C_{2x}$ |
| Rigidité Rz | $C_{1y} \cdot I_x + C_{1x} \cdot I_y + \frac{h_1 \cdot A^3 \cdot C_{1z}}{6} + \frac{h_1 \cdot B^3 \cdot C_{1z}}{6} + \frac{2 \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}} \cdot A^2 \cdot h_1}{4} + \frac{2 \cdot \sqrt{C_{1z} \cdot C_{2x}} \cdot B^2 \cdot h_1}{4} + \frac{C_{2x} \cdot A^2}{2} + \frac{C_{2x} \cdot B^2}{2}$ |

| Paramètres | |
|-----------------|--|
| A | Dimension lue dans la bibliothèque de blocs de fondation |
| B | Dimension lue dans la bibliothèque de blocs de fondation |
| C _{1x} | Raideur du sol lue dans la bibliothèque de sols |
| C _{1y} | Raideur du sol lue dans la bibliothèque de sols |
| C _{1z} | Raideur du sol lue dans la bibliothèque de sols |
| C _{2x} | Raideur du sol lue dans la bibliothèque de sols |
| I _x | $\frac{A \cdot B^3}{12}$ |
| I _y | $\frac{B \cdot A^3}{12}$ |

ANNEXE 2 : DONNÉES GÉOTECHNIQUES RECOMMANDÉES

Toutes les couches géologiques d'un sous-sol sont représentées par leurs propriétés géotechniques 3D définies conformément aux normes nationales. L'exactitude de ces données dépend en premier lieu de la catégorie géotechnique du problème de fondation, définie dans l'EC7. En bref : la 1ère et la 2ème catégorie concernent des bâtiments communs fondés sur un sous-sol commun, de conception tant antérieure que définitive, sans complications extraordinaires. La 3ème catégorie comprend des bâtiments très importants dans des conditions de fondation compliquées dont les propriétés géotechniques doivent être étudiées in situ, en tout cas séparément, à l'aide d'un nombre suffisant de puits profonds ou d'autres méthodes sûres. Le comportement non linéaire et fonction du temps doit être pris en compte, ce qui implique une procédure itérative « Soil-In » respectant l'augmentation et la diminution de la surcharge.

Une analyse aussi rigoureuse ne représente que quelques pourcents de la pratique courante de conception. Par conséquent, une recommandation de certaines valeurs moyennes européennes pour les premiers calculs utilisant « Soil-In » peut être utile.

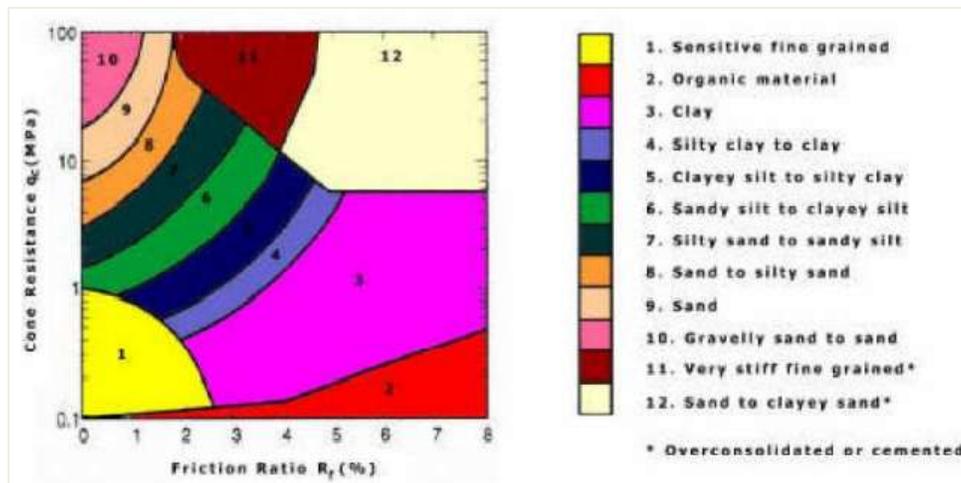
Robertson

Là où un bâtiment sera implanté, nous devons connaître le profil du sol. Une connaissance approfondie du sol sous la base des fondations est importante, car les couches situées sous la base déterminent la capacité portante. Afin d'avoir un aperçu du profil du sol, de nombreuses propriétés telles que l'épaisseur et la composition doivent être connues. Nous pouvons obtenir ces données à partir d'un atlas géotechnique ou d'expériences, mais nous les obtiendrons principalement à partir de données in situ ou d'essais en laboratoire.

Afin de pouvoir identifier un sol, l'existence d'une classification des sols est nécessaire. Pour l'interprétation des données CPT, il existe plusieurs méthodes d'identification. Par exemple, la méthode Robertson est une méthode bien connue pour les CPT électriques et elle semble donner les résultats les plus fiables en Belgique.

Dans le schéma suivant, la résistance du cône q_c et le rapport de frottement R_f sont utilisés pour déterminer un type de sol, où le rapport de frottement est le rapport entre la résistance de frottement et la résistance du cône.

$$R_f = \frac{f_s}{q_c}$$



Une identification du sol signifie que nous connaissons maintenant les caractéristiques du sol à toute profondeur. Dans des tableaux, on peut lire ces caractéristiques (angle de frottement, cohésion, module E...) par type de sol. La recherche de ce module E est nécessaire pour la détermination de la constante C. On cherche plutôt à distraire le module E à partir des résultats du CPT via l'identification du sol puisqu'une investigation supplémentaire du sol implique un coût supplémentaire.

Dans SCIA Engineer, il est nécessaire d'insérer le paramètre E_{def} . Comme indiqué précédemment, il est préférable d'entrer une valeur définie directement par un géologue à partir d'un profil géologique réel. Si cette valeur n'est pas disponible, vous devez utiliser des valeurs standard (chaque pays a ses propres normes pour la classification des sols). Pour chaque sol, il existe une fourchette de valeurs E_{def} (les valeurs les plus petites sont les plus sûres).

Tableau 1 : Valeurs recommandées pour un sol à grains fins

| N° | Nom du sol | Quantité | Consistance | | | |
|----|---|-------------------|-------------|-----------------|---------------------|--|
| | | | doux | rigide flexible | rigide non flexible | dur |
| F1 | Argile graveleuse $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 5-15 | 10-20 | 12-30 | Une investigation doit être menée séparément |
| | | c_u (kPa) | 40 | 70 | 70-80 | |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 10-15 | |
| F2 | Limon argileux graveleux $\gamma = 19,5\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 4-8 | 7-15 | 10-25 | |
| | | c_u (kPa) | 30 | 60 | 60-70 | |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 10-15 | |
| F3 | Argile sableuse $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 3-6 | 5-8 | 8-15 | |
| | | c_u (kPa) | 30 | 60 | 60-70 | |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 10-15 | |
| F4 | Limon argileux sableux $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 2,5-4 | 4-6 | 5-12 | |
| | | c_u (kPa) | 30 | 50 | 70-80 | |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 5-14 | |
| F5 | Argile $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 1,5-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 |
| | | c_u (kPa) | 30 | 60 | 70-80 | 80-200 |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 5-14 | 0-20 |
| F6 | Limon argileux $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 1-3 | 3-5 | 5-10 | 10-20 |
| | | c_u (kPa) | 25 | 50 | 80-90 | 80-170 |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 0-12 | 0-18 |
| F7 | Argile plastique $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 1,5-3 | 3-6 | 6-12 | 10-20 |
| | | c_u (kPa) | 25 | 50 | 80-90 | 80-170 |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 0-12 | 0-18 |
| F8 | Plastique élevé $\gamma = 19\text{kN.m}^{-3}$ $\nu = 0,35$ | E_0 (MPa) | 1-2 | 2-4 | 4-8 | 8-15 |
| | | c_u (kPa) | 20 | 40 | 80-90 | 80-150 |
| | | φ_u (deg) | 0 | 0 | 0-10 | 0-16 |

c_u et φ_u : cohésion non drainée et angle de frottement interne du sol pour le premier état limite (effondrement du sol).

$E_0 = E_{def}$: module de déformation sécante moyen à un niveau de pression commun.

m : coefficient de résistance du sol :

F1-F8 à $E_0 = 1-4$: $m = 0,1$
 F1-F8 à $E_0 = 4-30$: $m = 0,2$ sauf :
 F5-F7 à $E_0 = 1-10$: $m = 0,5$ (maximum)

$\gamma = 10\text{kN.m}^{-3}$: poids propre sous le niveau de l'eau.

Tableau 1a : Valeurs recommandées pour un sol à grains fins

La première estimation (sans investigation géotechnique) du classement du sol peut être fait aux valeurs moyennes suivantes :

| N° sol à grains fins | E_0 [MPa] | ν [1] | γ [kN.m^{-3}] | m [1] |
|-----------------------------------|-------------|-----------|---------------------------------|---------|
| F1 – 4 doux / rigide flexible | 3-20 | 0,35 | 18-20 | 0,2 |
| Moyenne | 10 | 0,35 | 19 | 0,2 |
| F1 – 4 rigide non flexible | 5-30 | 0,35 | 18-20 | 0,2 |
| Moyenne | 15 | 0,35 | 19 | 0,2 |
| F5 – 8 doux / rigide flexible (*) | 1-6 | 0,4 | 20-21 | 0,1 |
| Moyenne | 3 | 0,4 | 20,5 | 0,1 |
| F5 – 8 rigide | 4-12 | 0,4 | 20-21 | -0,2 |
| Moyenne | 8 | 0,4 | 20,5 | 0,15 |
| F5 – 8 dur | 8-20 | 0,4 | 20-21 | 0,2 |
| Moyenne | 15 | 0,4 | 20,5 | 0,2 |

* : sol type ML, MI, MH, MV au-dessus du niveau de l'eau, si l'eau ne monte jamais et le sol reste toujours sec : $m = 0,5$.

Tableau 2 : Valeurs recommandées pour du sable (S1 à S5) et des graviers (G1 à G5)

| N° et nom du sol | γ [kN.m^{-3}] | ν [1] | E_0 [MPa] | C_{ef} [kPa] | φ_{ef} [deg] |
|-----------------------|---------------------------------|-----------|-------------|----------------|----------------------|
| S1 – Sable en surface | 20,0 | 0,28 | 30-100 | 0 | 34-42 |
| S2 – Sable | 18,5 | 0,28 | 15-50 | 0 | 32-37 |
| S3 – Sable fin | 17,5 | 0,30 | 15-25 | 0 | 28-33 |

| | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|-------|
| S4 – Sable argileux | 18,0 | 0,30 | 5-15 | 0-10 | 28-30 |
| S5 – Sable limoneux | 18,5 | 0,35 | 4-12 | 4-12 | 26-28 |

| N° et nom du sol | γ [kN.m ⁻³] | ν [1] | E_0 [MPa] | C_{ef} [kPa] | φ_{ef} [deg] |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------|-------------------|-------------------------|
| G1 – Gravier bien granulé | 21,0 | 0,20 | 250-150 | 0 | 36-44 |
| G2 – Gravier peu granulé | 20,0 | 0,20 | 100-250 | 0 | 33-41 |
| G3 – Gravier avec sol fin | 19,0 | 0,25 | 80-100 | 0 | 30-38 |
| G4 – Gravier argileux | 19,0 | 0,30 | 60-80 | 0-8 | 30-35 |
| G5 – Gravier limoneux | 19,5 | 0,30 | 40-60 | 2-10 | 28-32 |

C_{ef} , φ_{ef} , ... correspondent à la cohésion effective (drainée) et à l'angle de frottement interne pour le premier état limite (effondrement du sol).

m correspond au coefficient de résistance du sol :

S1, S2, G1, G2 m = 0,2 à 0,3

S3 – 5, G3 – 5 m = 0,3

Tableau 2a : Valeurs recommandées pour la première estimation d'un sol commun

| Sous-sol | E_0 [MPa] | ν [1] | γ [kN.m ⁻³] | m [1] |
|----------|----------------|--------------|-----------------------------------|------------|
| Sable | 5-40 | 0,3 | 17,5-20,0 | -0,3 |
| Moyenne | 20 | 0,3 | 18,5 | 0,25 |
| Gravier | 50-200 | 0,2-0,3 | 19,0-21,0 | 0,3 |
| Moyenne | 100 | 0,25 | 20,0 | 0,3 |

Tableau 3 : Valeurs recommandées pour un sol comportant quelques roches

| Roche | E_0 [MPa] | ν [1] | γ [kN.m ⁻³] | m [1] |
|-------------------|----------------|--------------|-----------------------------------|------------|
| R1, 2, 4, 5 (II.) | 20-25000 | 0,1-0,3 | 18-31 | 0,1 |
| R3 | 15-10000 | 0,1-0,35 | 18,5-26 | 0,2 |
| R4, 5 (IX.) | 20-3000 | 0,2-0,3 | 18-31 | 0,3 |
| R6 | 10-300 | 0,25-0,4 | 21-26 | 0,4 |

NB : La roche desséchée en sous-sol a de petites valeurs efficaces E_0 jusqu'à 100 – 300MPa. La roche sonore « Sound rock » est généralement supposée comme étant une couche indéformable avec E_0 supérieur aux autres couches de sol sans influence sur le tassement en surface. Cf aussi tableau 4.

Tableau 4 : Sols classés par leur coefficient de résistance de sol « m »

| N° | Tri EC7 | E_0 [MPa] | ν [1] | γ [kN.m ⁻³] | m [1] |
|--------|----------------------------|----------------|--------------|-----------------------------------|------------|
| I. | F1-F8 | 1-4 | 0,35-0,42 | 18-21 | 0,1 |
| II. | R1, 2, 4, 5 | 20-25000 | 0,10-0,30 | 18-31 | 0,1 |
| III. | F1-F8 | 4-30 | 0,35-0,42 | 18-21 | 0,2 |
| IV. | S1, 2 G1, 2, R3 | 15-10000 | 0,10-0,35 | 18,5-26 | 0,2 |
| V. | S1, 2 | 15-100 | 0,28 | 18,5-20 | 0,3 |
| VI. | G1, 2 | 100-500 | 0,20 | 20-21 | 0,3 |
| VII. | S3, 4, 5 | 4-25 | 0,30-0,35 | 17,5-18,5 | 0,3 |
| VIII. | G3, 4, 5 | 40-100 | 0,25-0,30 | 19-19,5 | 0,3 |
| IX. | R4, 5 | 20-3000 | 0,20-0,30 | 18-31 | 0,3 |
| X. | R6 | 10-300 | 0,25-0,40 | 21-26 | 0,4 |
| XI. | F5 (ML, MI) F7 (MH, MV) | 1-10 | 0,40 | 20-21 | 0,5 |
| I.-XI. | Sous le niveau d'eau | | | $\gamma - 10$ | |

I. Sols à grains fins F1-F8 facilement compressible sans améliorations au préalable du compactage, doux à raide, $E_0 = 1 - 4$ MPa. Le sous-sol n'a pas été surchargé jusqu'à présent, il s'est dispersé en vrac et a été rempli de matériaux de remplissage.

II. Roches R1 – R2. Sédiments inchangés R4 depuis la 2nde and 3^{ème} ère géologique, la plupart de R5.

III. Tous les sols à grains fins sauf I., X., XI.

IV. Sable et gravier S1 (2, G1 – 2 sous le niveau de l'eau et roches R3.

V. Sable S1 – 2 au-dessus du niveau d'eau.

VI. Gravier G1 – 2 au-dessus du niveau d'eau.

VII. Sables fins, argileux et limoneux S3 – S5 avec un contenu d'argile substantiel.

VIII. Gravier argileux et limoneux avec un contenu de sol fins substantiels G3 – G5.

IX. Roches R4-R5 avec exception du II

X. Roches R6 (eluvium).

XI. Argile sèche F5 (ML, MI), F7 (MH, MV) en permanence au-dessus du niveau d'eau.