



**Tutoriel 2g.01**

**Paroi de soutènement ancrée**

| Réf. : CESAR-TUT(2g.01)-v2025.0.1-FR

# 1. SITUATION DU PROBLEME

Version utilisée : v2025.0

## 1.1. Objectifs du tutoriel

Les travaux d'excavations en zones urbaines sont souvent nécessaires pour la fondation de bâtiments. Pendant ces travaux, on doit s'assurer de maintenir un état de sécurité suffisant et de limiter l'impact sur les ouvrages existants, bâti en surface ou ouvrages souterrains (égouts, tunnels, autres fondations profondes...).

Une analyse phasée est souvent nécessaire avec une modélisation correcte des structures, des interfaces sol/structure et du comportement des sols, afin de calculer les tassements différentiels et les efforts dans les structures.

Le présent tutoriel guide l'utilisateur à travers les différentes étapes de construction du modèle, en introduisant les outils pertinents proposés par CESAR 2D.

## 1.2. Spécifications du problème

### Étapes de construction

1. Champ de contrainte effective.
2. Installation de la paroi et rabattement de la nappe à -5 m
3. Première excavation à -5 m
4. Ancrage #1
5. Rabattement à -10 m
6. Excavation à -10 m
7. Ancrage #2
8. Rabattement à -15 m
9. Excavation à -15 m

Dans ce tutoriel, on se limite à la description des 6 premières étapes. L'utilisateur peut étendre l'analyse en enchaînant les phases 7 à 9 en se basant sur les étapes détaillées de 4 à 6.

### Géométrie

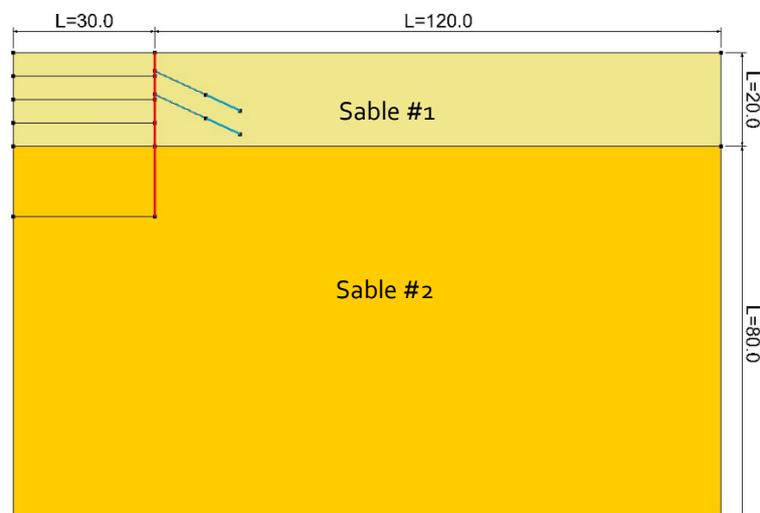


Figure 1: Modèle global (symétrie d'axe vertical en  $x = 0$ )

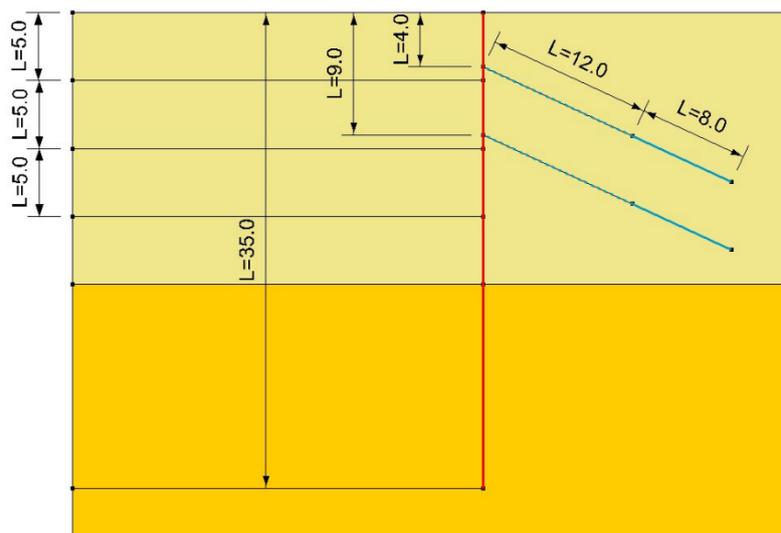


Figure 2: Zoom sur la paroi ancrée

### Matériaux

Le sol considéré est composé de 2 couches sableuses. La loi de comportement Hardening Soil Model est retenue avec les propriétés suivantes.

	Sable #1	Sable #2
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1900	1900
$\rho_{\text{sat}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	2 000	2 000
$E_{\text{Ur}}^{\text{ref}}$ (MN/m <sup>2</sup> )	180	300
$E_{50}^{\text{ref}}$ (MN/m <sup>2</sup> )	45	75
$\nu$	0,2	0,2
$c'$ (MN/m <sup>2</sup> )	0,015	0,025
$\varphi'$ (°)	35	38
$\psi$ (°)	5	6
$m$	0,55	0,55
$P^{\text{ref}}$ (MN/m <sup>2</sup> )	0,1	0,1
$R_f$	0,9	0,9

La paroi est en béton d'épaisseur de 80 cm.

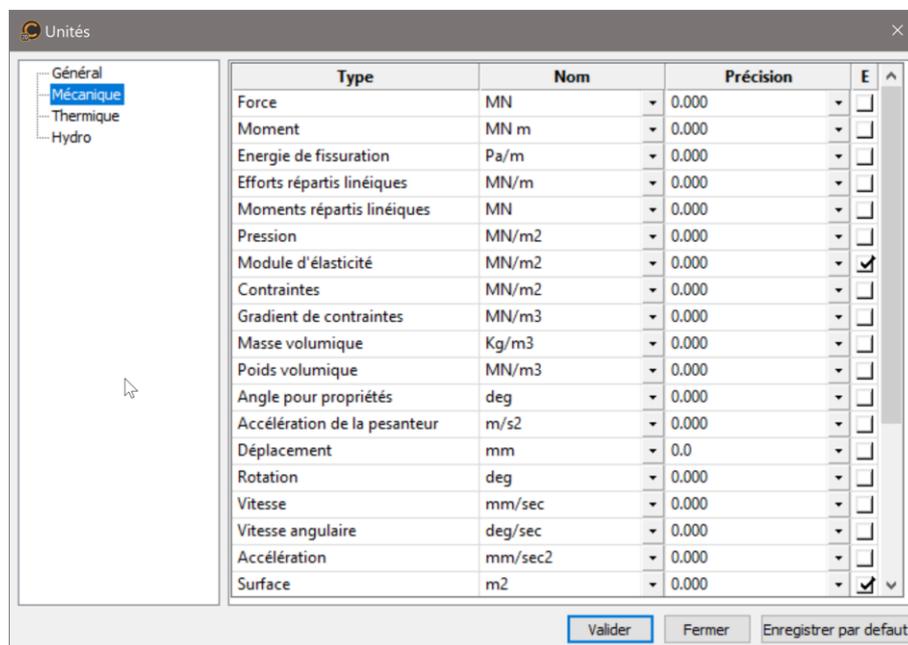
Les ancrages sont en aciers. Ils sont précontraints.

	Type	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E$ (MPa)	$\nu$	Dimension	Précontrainte (kN)
Paroi	Poutre	2 500	25 000	0,25	$e = 0,8$ m	-

## 2. GEOMETRIE ET MAILLAGE

### 2.1. Paramètres généraux

1. Démarrer CESAR 2D.
2. Définir les unités dans le menu  **Unités**.
  - Dans la fenêtre, sélectionner l'option **Général/Longueur** et choisir **m** comme unité dans le déroulé de la deuxième colonne du cadre à gauche.
  - Dans l'arborescence, sélectionner l'option **Mécanique/Force** et choisir **MN**.
  - Sélectionner, l'option **Mécanique/Déplacement** et choisir **mm** comme unité.
  - Sélectionner, l'option **Mécanique/Surface** et cocher la case (E).
  - Cliquer sur **Valider**.
3. Dans l'onglet  **Plan de travail**, définir la grille à 5 m (dX = dY = 5 m)



Utiliser "Enregistrer par défaut" afin de définir ce système d'unité comme environnement principal d'utilisation.

## 1.2. Géométrie

Dessiner la géométrie du projet :

Activer l'onglet **GEOMETRIE**. Utiliser le **Points**  et /ou les lignes  pour dessiner la géométrie en exploitant la grille. On définit le toit de la couche supérieure à  $y = 0$ .

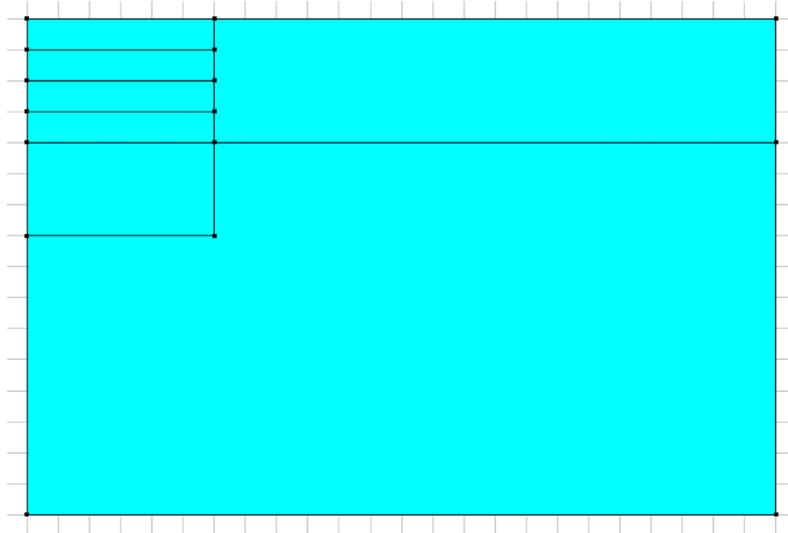


Figure 3: Géométrie globale

## 1.3. Blocs

### Mur

1. Sélectionner les extrémités de 0 à -35,  $x = 30$  m.
2. Activer l'outil **blocs 1D** .
  - Définition option : "Sélection"
  - Propriétés du bloc : "Générique"
3. **Appliquer**

### Ancrage

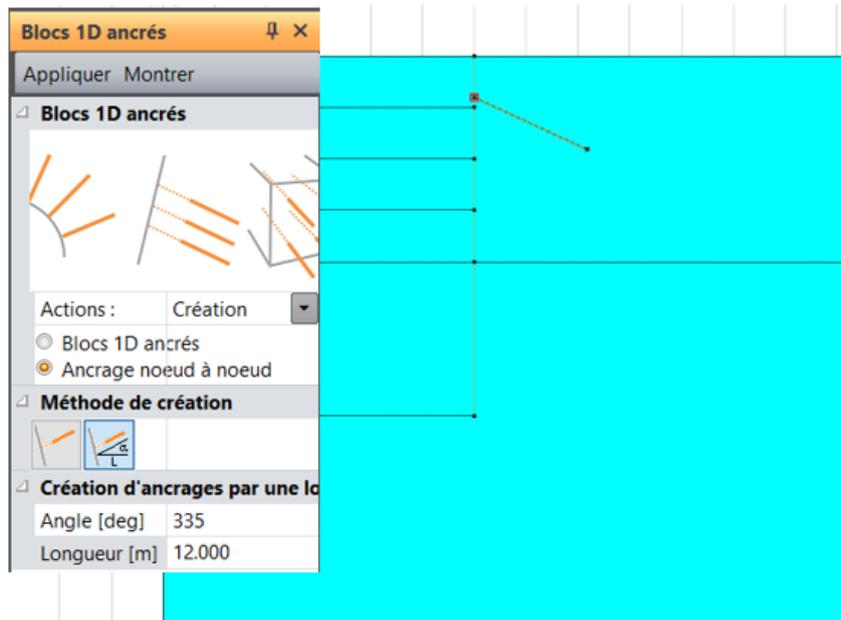
Pour commencer, définir le point de fixation de l'ancrage sur le mur

1. Utiliser l'outil **Points** .
2. Fixer le premier point avec les coordonnées :  $x = 30$  m ;  $y = -4$  m.
3. **Appliquer**.

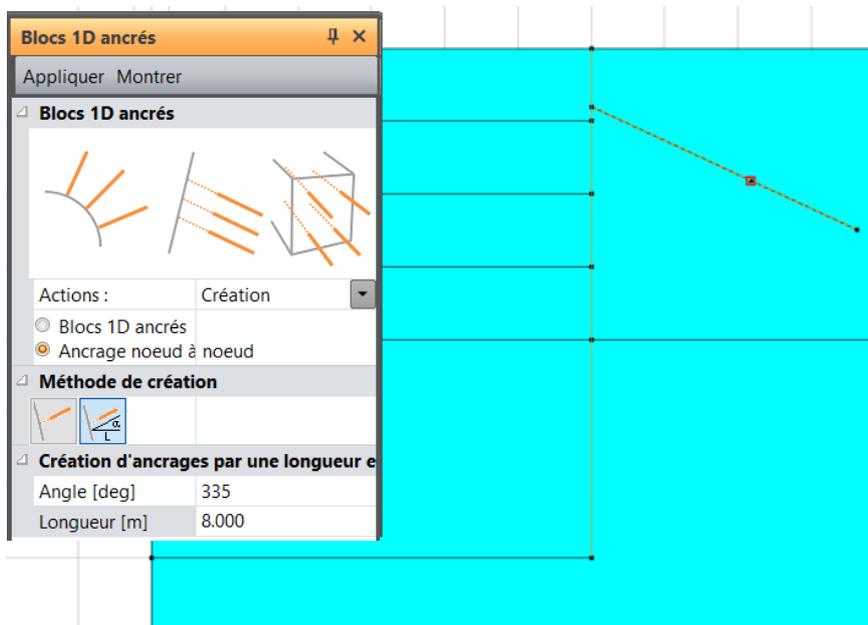
Maintenant, définir le premier ancrage : longueur libre (nœud à nœud) et zone scellés (blocs ancrés).

1. Activer l'outil **Blocs ancrés** .
2. Actions : "Création"
3. Propriétés des blocs : "Ancrage nœud à nœud"
4. Méthode de création :
  -  "Longueur/Angle"
  - Définir la longueur  $L = 12$  m et l'angle  $A = 335^\circ$

5. Cliquer sur le point d'attache (sur le mur).



6. Changer les propriétés des blocs : "Blocs ancrés"
7. Méthode de création :
  -  "Longueur/Angle"
  - Définir la longueur L = 8 m et l'angle A = 335 °
8. Cliquer sur le point d'attache qui est le dernier point de l'ancrage précédent.



Le deuxième ancrage est simplement généré en copiant le premier.

1. Activer l'onglet **Opérations sur blocs** 
  - Type d'opération : "Translation"
  - Nombre d'opérations : 1
  - Translation :  $V_x = 0$  ;  $V_y = -5$  m
2. Sélectionner les deux ancres.
3. **Appliquer.**

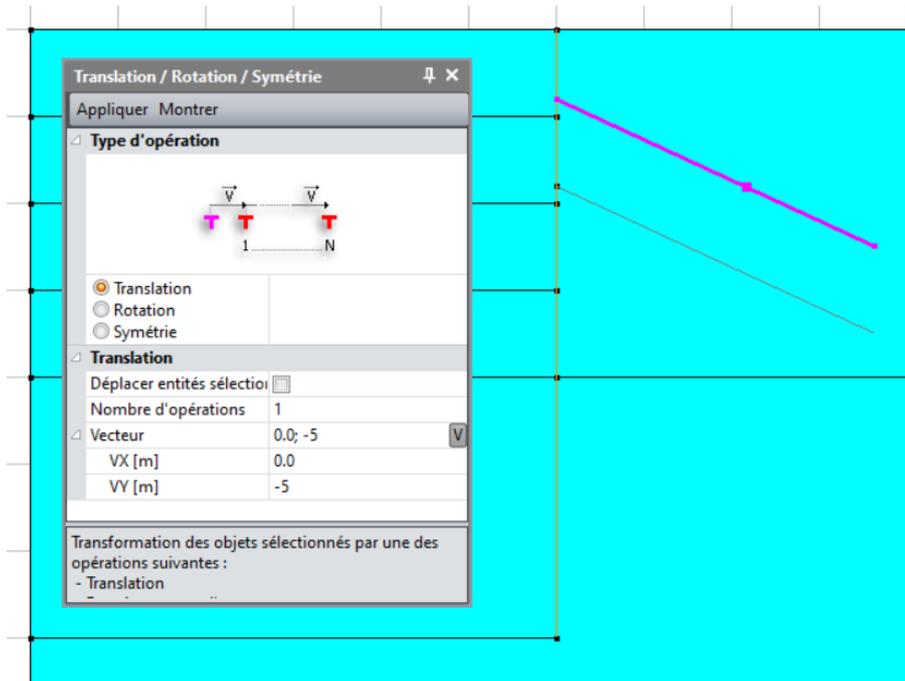


Figure 4: "Aperçu" du deuxième ancrage

Éléments d'interfaces :

1. Sélectionner la paroi du mur dans la couche #1 : **Sable**.
  - Activer l'onglet **Blocs d'interfaces** .
  - Nommer le "Nom du bloc" : **Contact Mur-Sable#1**
  - **Appliquer.**
2. Sélectionner la paroi du mur dans la couche **Sable #2**.
  - Activer **Blocs d'interfaces** .
  - Nommer le "Nom du bloc" : **Contact Mur-Sable#2**
  - **Appliquer.**

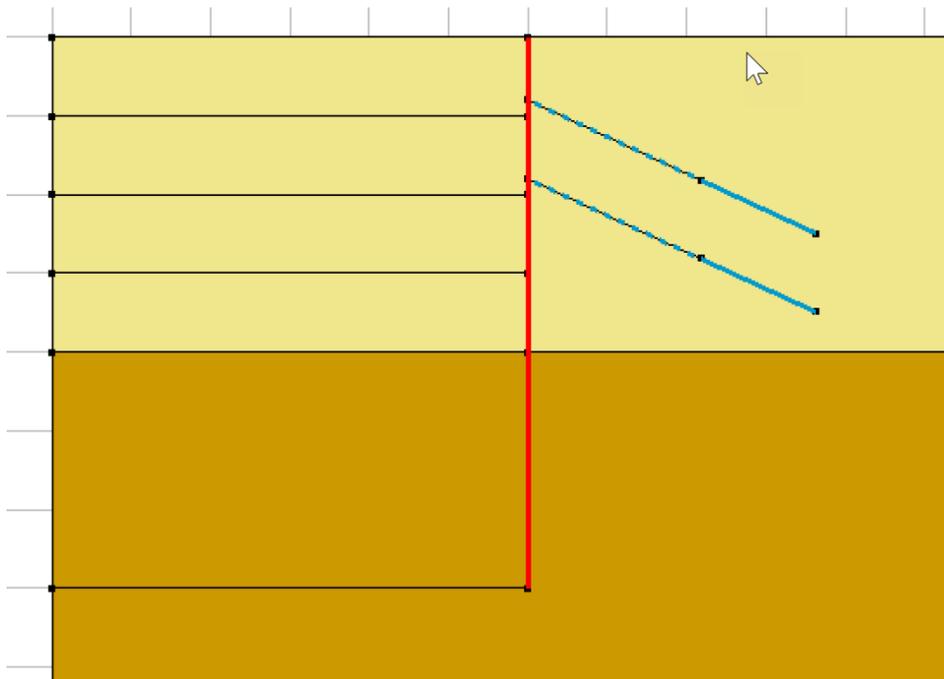


Figure 5: Vu du modèle après application des couleurs

## 2.2. Maillage

Définition de la densité :

💡 Définir une division dense dans la zone à forte contraintes, c-à-d à proximité du mur et des ancrages. Utiliser une définition progressive de la densité pour générer une évolution progressive des petits aux grands segments sur les extrémités.

1. Aller dans l'onglet MAILLAGE sur la barre de projet pour commencer à définir les intervalles le long des lignes.
2. Sélectionner tous les contours de (0 ; 0) à (60 ; -35).
3. Cliquer sur  **découpage par distance** pour fixer une longueur des intervalles du segments. Entrer **1 m** dans le cadran. Cliquer sur **Appliquer**.
4. Sélectionner les contours externes du modèle (segment x = 150 m et y = -100 m).
5. Cliquer sur  **découpage par distance** pour fixer une longueur des intervalles du segments. Entrer **10 m** dans le cadre. Cliquer sur **Appliquer**.
6. Cliquer sur **Découpage variable** pour découper le segment en longueur variable. Cocher **Premier intervalle** et **dernier intervalle** pour définir la méthode. Entrer la longueur **1 m** comme **premier intervalle** et **10 m** comme **dernier intervalle**. Cliquer sur les segments entre le cadre et les bordures extérieures

⚠ La position du clic indique où commence l'intervalle initial

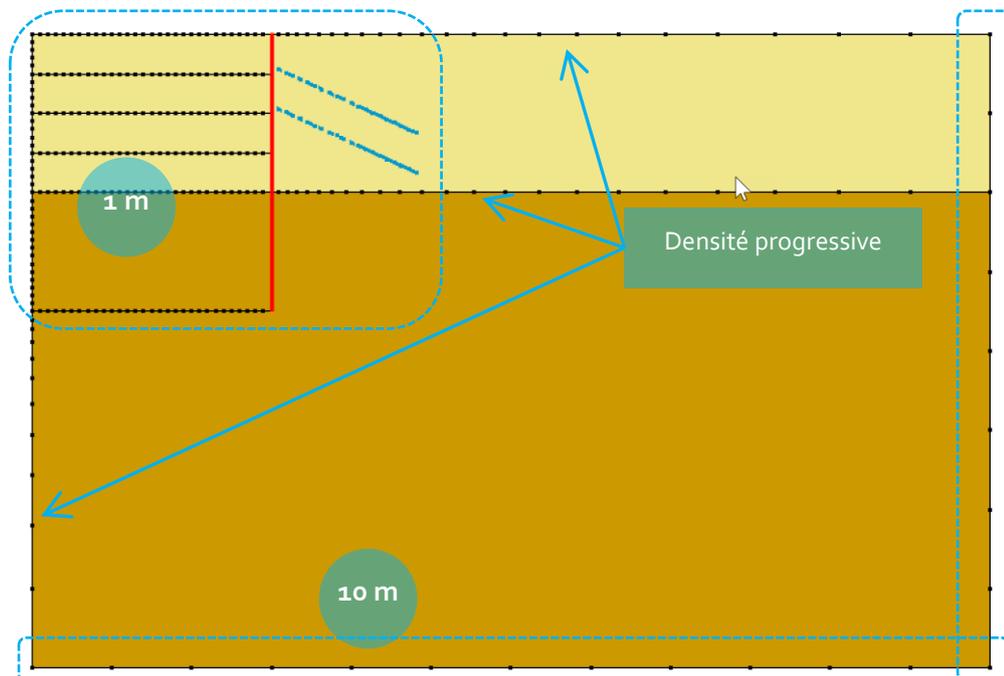


Figure 6: Zones de densités à appliquer

### Maillage blocs 1D

1. Sélectionner tous les blocs 1D.
2. Cliquer sur **Maillage blocs 1D** . Sélectionner **Interpolation quadratique**.
3. **Appliquer**.

 Noter que les blocs 1D définis « noeud à noeud » seront par défaut maillés en interpolation linéaire.

### Maillage des surfaces :

Le maillage des ancrages doit être réalisé avant celui des blocs surfaciques afin que le mailleur surfacique puisse ensuite les relier.

1. Sélectionner les blocs surfaciques.
2. Cliquer sur l'outil **Maillage surfacique** . Choisir **Interpolation quadratique, Triangle** pour la forme de l'élément et **Natif** comme mailleur surfacique.
3. Cliquer sur **Appliquer** pour générer le maillage.

 CESAR-LCPC propose 3 niveaux pour la procédure du maillage surfacique, donnant ainsi la possibilité de générer des maillages plus ou moins denses. On peut ajuster dans **Préférences>Paramètres du programme** : linéaire = lâche et cubique=dense.

 Depuis la version 2024.0, CESAR-LCPC propose aussi le mailleur quadrangle généralisé GMSH qui peut être une alternative au mailleur triangulaire.

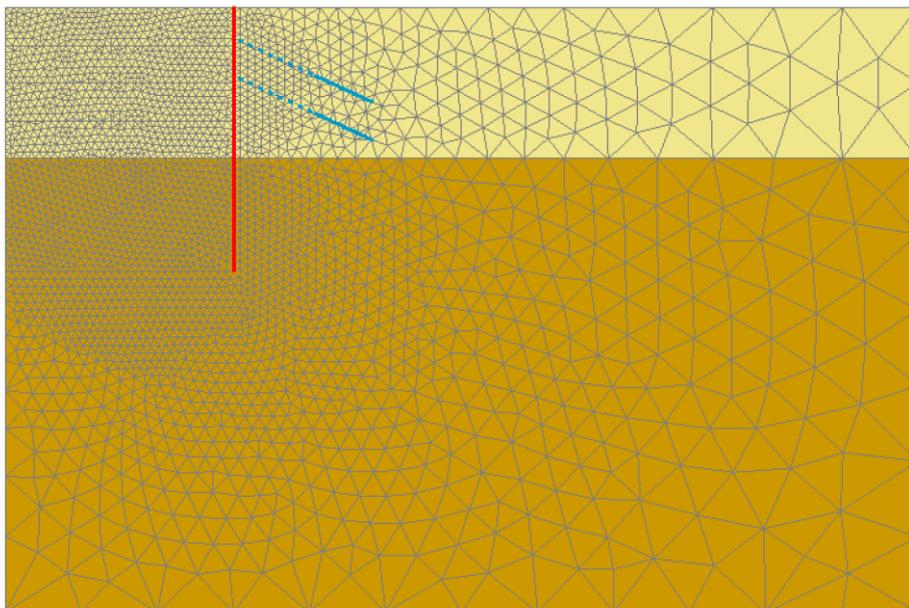


Figure 7: Vue du maillage final

### 3. PARAMETRES DE CALCUL

#### 3.1. Phase #1 : champ de contraintes initiales

Les étapes du phasage nécessitent de définir un champ de contraintes initiales avant application des charges. Pour cette étude, on suit une des procédures définies dans le "Manuel d'utilisateur", chapitre "Champ de contraintes initiales".

Les calculs seront réalisés en condition drainée. Les contraintes initiales sont considérées comme effectives.

##### Définition du modèle :

1. À droite de l'espace de travail, on présente l'arborescence des domaines physiques.
2. Faites un clic droit, sur STATIQUE. Cliquer sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle fenêtre de définition du modèle apparaît sur l'espace de travail.
3. Entrer **Champ de contraintes initiales** comme "Nom du modèle".
4. Sélectionner **MCNL** comme "Solveur".
5. Cocher "Déformations planes" comme modèle de configuration, puis "Phasage".
6. Cocher "Autre champ de contraintes initiales" comme type d'initialisation des paramètres.
7. **Valider**.

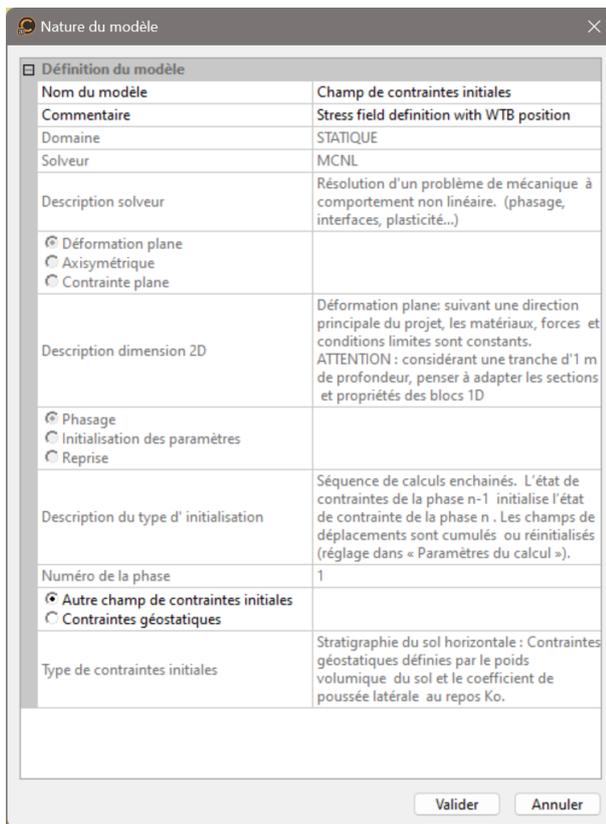


Figure 8: Fenêtre de définition du modèle

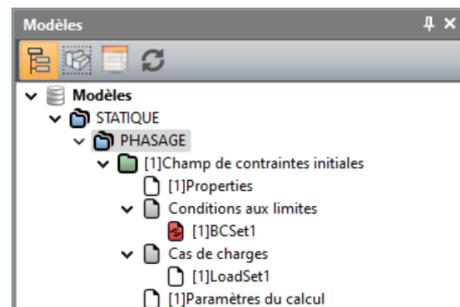
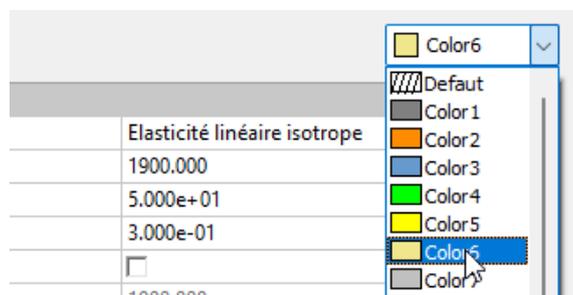


Figure 9: Vue de l'arborescence

### Propriétés des matériaux :

On commence par définir l'ensemble des jeux de propriétés des matériaux utilisés dans l'étude.

1. Aller dans l'onglet **PROPRIETES**
2. Cliquer sur  **Propriétés des blocs surfaciques.**
3. Nommer le jeu de propriétés (Exemple : **Sable #1**).
4. Dans les **Paramètres d'élasticité**, choisir "Élasticité Non linéaire (HSM) (+)" et entrer les paramètres (cf. tableau ci-dessous).
5. Dans les **Paramètres de plasticité**, choisir "Critères plastiques (pour composition)" puis "Hardening Soil Model (HSM) (+)" comme Critère #1. Définir les paramètres requis (cf. tableau ci-dessous).
6. Activer « Poreux » pour définir que le comportement du matériau est impacté par la présence d'eau. Renseigner alors la valeur de densité massique saturée  $\rho_{sat}$ .
7. Cliquer sur  pour créer d'autres jeux de propriétés. Répéter les opérations 3 à 5 pour définir un deuxième ensemble de propriétés de matériau pour **Sable #2**.
8. Sélectionner une couleur associée à chaque jeu de propriétés dans la liste déroulante proposée.



9. Cliquer sur **Valider** puis **Fermer**.

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{sat}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E_{ur}^{ref}$ (MN/m <sup>2</sup> )	$E_{50}^{ref}$ (MN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$c'$ (MN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$\psi$ (°)	$m$	$P^{ref}$ (MN/m <sup>2</sup> )	$R_f$
Sable #1	1900	2000	180	45	0,2	0,015	35	5	0,55	0,1	0,9
Sable #2	1900	2000	300	75	0,2	0,025	38	6	0,55	0,1	0,9

### Propriétés des blocs d'interfaces :

Les propriétés des interfaces dans CESAR-LCPC peuvent être adhérence, glissement ou frottement de Coulomb. Dans ce projet, elles seront d'abord adhérentes en phase initiale (en l'absence de paroi) puis frottantes avec des propriétés assurant une interaction de  $2/3$ .

1. Cliquer sur  **Propriétés des blocs d'interface.**
2. Donner un nom au jeu de propriétés ("Paroi/Sable #1-f" par exemple).
  - Comme **Type**, choisir "Joint",
  - Comme **Type de définition**, choisir "Auto"
  - Comme **Interface**, choisir "Frottement de Coulomb" et renseigner le coefficient d'interaction de  $\tan(2/3\phi) = 0,43$ .
3. Cliquer sur  pour copier le jeu de propriétés précédent. Renommer ("Paroi/Sable #2-f" par exemple). Modifier la valeur du coefficient d'interaction :  $\tan(2/3\phi) = 0,43$
4. Cliquer sur **Valider** et **Fermer**.



On notera que depuis la version 2025, les propriétés d'interfaces sont automatiquement définies si on sélectionne « Auto » en se basant sur les propriétés des matériaux en contact de sorte que :

- La valeur du module d'Young,  $E_i$ , est 100 fois la valeur du moins raide des matériaux en contact.
- La limite de traction,  $R_t$ , est la valeur limite de la contrainte normale dans l'interface au-delà de laquelle il y a décollement entre les deux matériaux en contact. Pour s'affranchir de tout décollement, on indiquera donc une valeur élevée de  $R_t$ .
- l'angle de frottement  $\varphi$  sera pondéré par le coefficient d'interaction renseigné.

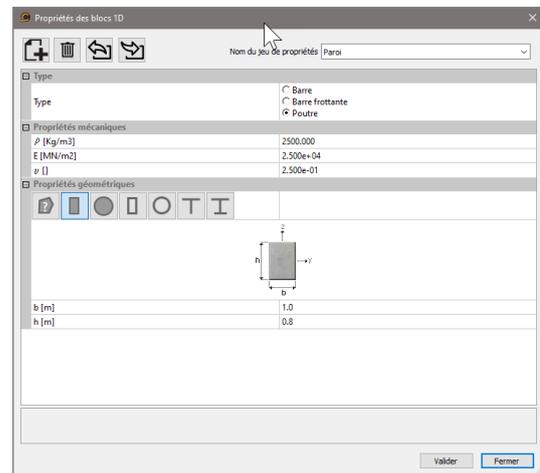
Nom du jeu	Type d'interface	$E_i$ (MPa)	$R_t$ (MPa)	$c$ (MPa)	$\varphi$ (°)	$\psi$ (°)
Paroi/Sable #1-f	Frottement de Coulomb	18000	1	0	23,3	0
Paroi/Sable #2-f	Frottement de Coulomb	30000	1	0	25,3	0

### Propriétés de la paroi

Le modèle étant construit en déformations planes, l'utilisateur doit se rappeler que l'on considère que le modèle a une épaisseur d'1 m dans la direction perpendiculaire au plan de travail (ici l'axe Oz). Les propriétés des parois doivent donc être adaptées à ces conditions.

La paroi est en béton d'épaisseur de 80 cm.

1. Cliquer sur **Propriétés des blocs 1D**.
2. Nommer chaque propriété (Exemple : **paroi**).
3. Sélectionner "Poutre" pour type.
4. Pour les "Propriétés mécaniques" entrer les propriétés du béton :  $\rho$ ,  $E$  et  $\nu$ .
5. Pour les "Propriétés géométriques" :
  - Sélectionner la section
  - Entrer  $b = 1$  m (1 m pour la base) et  $h = 0.8$  m.
6. Cliquer sur **Valider** puis **Fermer**.



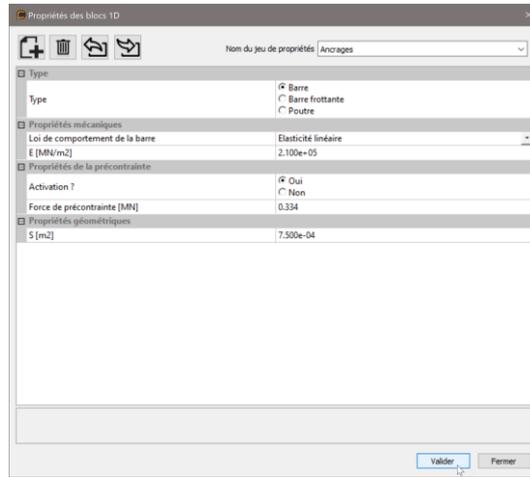
### Propriétés des ancrages

Pour soutenir la paroi durant l'excavation, 2 rangées d'ancrages précontraints sont installées. Le modèle étant construit en déformations planes, on doit ajuster les sections et la rigidité des ancrages afin de prendre en compte l'espace entre les ancrages. Dans cette étude, les ancrages (définis par un module  $E$  et une section  $S$ ) sont à 2 m ( $L$ ), aussi  $h(\text{équivalent}) = S / L$ ; et pour garder l'équivalence  $E \times A = E(\text{équivalent}) \times S(\text{équivalent})$  :

- $E(\text{équivalent}) = E$
- $S(\text{équivalent}) = b \times h_e$  avec  $b = 1$  m (hypothèse de déformations planes)

Sous la même hypothèse, la force précontrainte est  $F / L$ . Cette force précontrainte est activée lorsque l'ancrage est réalisé, avant l'excavation du niveau suivant.

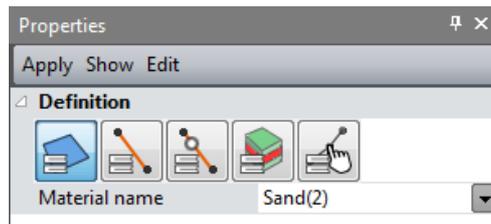
1. Cliquer sur Propriétés des blocs 1D.
2. Nommer chaque ancrage (Exemple : **Ancrage**).
3. Sélectionner "Barre" pour type.
4. Pour "Propriétés mécaniques" entrer :  $E = 210\ 000$  MPa
5. Pour "Force de précontrainte" :
  - Activation = Oui
  - Force = 0,334 MN
6. Pour "Propriétés géométriques" :
  - Saisir  $S = 7,5 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>
7. Cliquer sur **Valider** puis **Fermer**.



### Assignation des propriétés :

Après définition des jeux de propriétés, ils sont assignés aux différents blocs.

1. Cliquer sur  **Appliquer les propriétés.**
2. L'arborescence de gauche est actualisée. Cliquer sur  **Propriétés des blocs surfaciques.**
  - Sélectionner la première couche et les paramètres dans la liste déroulante : **Sable #1**. **Appliquer.**
  - Répéter l'opération pour le reste des couches avec la couche de **Sable#2**.



3. Cliquer sur  **Propriétés des blocs 1D.**
  - Sélectionner la paroi, sélectionner le jeu de propriétés **Paroi**. **Appliquer.**
  - Sélectionner les ancrages, sélectionner le jeu de propriétés **Ancre**. **Appliquer.**
4. Cliquer sur  **Propriétés des blocs d'interfaces.**
  - Sélectionner les blocs d'interface de la paroi en partie supérieur dans le **Sable #1**. Choisir le jeu de propriétés **Paroi/Sable #1-a** dans la liste déroulante. **Appliquer.**
  - Sélectionner les blocs d'interface de la paroi en partie inférieure dans le **Sable #2**. Choisir le jeu de propriétés **Paroi/Sable #2-a** dans la liste déroulante. **Appliquer.**



D'autres méthodes pour assigner les propriétés sont possibles avec l'outil  **Appliquer/voir les propriétés des blocs.**

### Blocs actifs/inactifs

1. Activer l'onglet **PROPRIETES**.
2. Sélectionner les deux lits d'ancrages et la paroi.
  - Cliquer sur  Activer/désactiver les blocs
  - Cocher "Inactif".
  - **Appliquer.** Le blocs ont désormais une couleur neutre (le gris est la couleur par défaut).

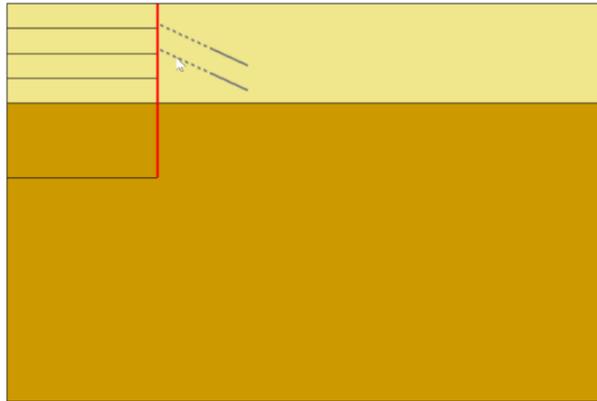


Figure 10: Affichage des blocs actifs

#### Conditions limites :

1. Le nom par défaut, BCSet1, est édité avec la touche : [F2]. Renommer en : **Blocages standards**.
2. Activer l'onglet **CONDITIONS LIMITES**.
3. Activer  pour définir les blocages latéraux et inférieurs.
4. **Appliquer**. Les supports sont automatiquement affectés aux limites du modèle.



Il est possible de définir plusieurs jeux de conditions limites. Faites un clic droit sur **Conditions limites** pour générer d'autres conditions limites.

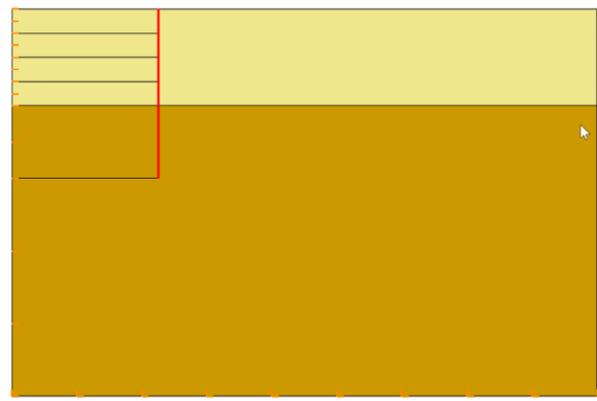


Figure 11: Affichage des conditions limites

#### Chargement :

Le principe d'initialisation du champ de contraintes effectives consiste à :

- définir le niveau de la nappe d'eau,
- affecter en fonction de ce niveau défini les poids volumiques secs et saturés aux blocs de sols. Ceux-ci sont déduits des valeurs  $\rho$  et  $\rho_{\text{sat}}$  entrées lors de la définition des sols à l'étape **PROPRIETES**.

1. Activer l'onglet **CHARGEMENT**.
2. Activer  **WTB – pression isotrope**
  - Charge hydraulique : Constant
  - Valeur : - 3 m
  - Poids volumique de l'eau : 0.010 MN/m<sup>3</sup> (10 kN/m<sup>3</sup>) (valeur par défaut)
  - **Valider**



Par défaut, tous les blocs sont considérés impactés par le chargement WTB. Aussi sous l'option  **WTB – Poids volumique**, ils sont tous activés.

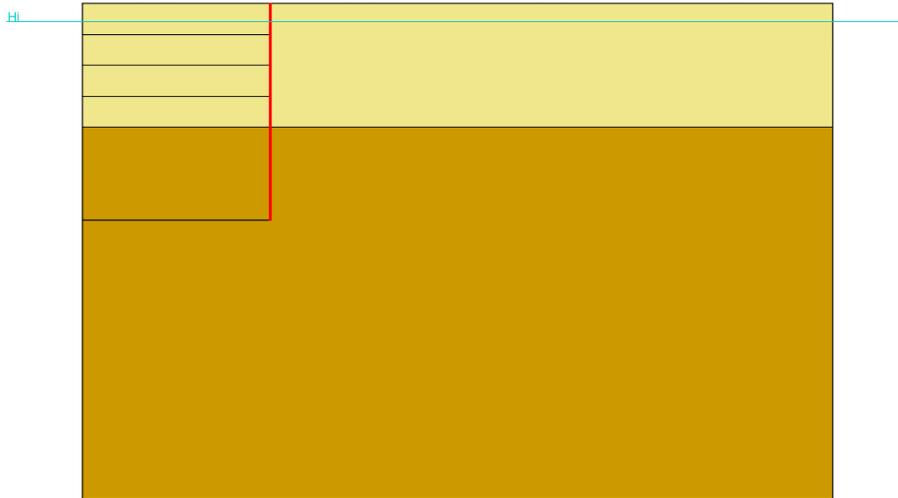
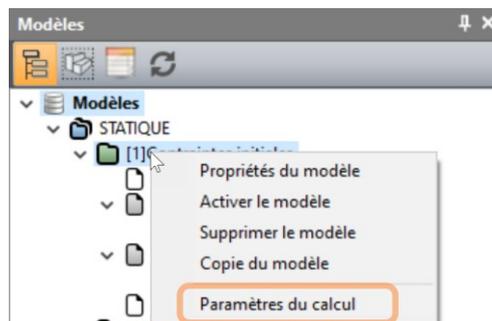


Figure 12: Affichage du niveau de la nappe d'eau

#### Paramètres d'analyses :

1. Activer l'onglet **GESTION DES CALCULS**.



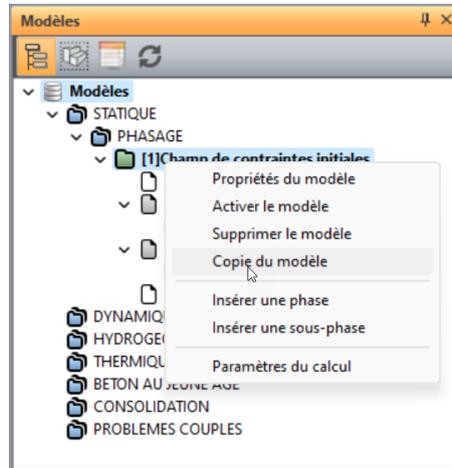
2. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le titre du calcul. Sélectionner dans la liste, **Paramètres du calcul**.
3. Dans **Paramètre généraux**, entrer les valeurs suivantes :
  - Processus itératif :
    - Nombre max d'incréments : 1
    - Nombres max d'itérations par incrément : 500
    - Tolérance : 0,01
  - Méthode de résolution : 1 – Méthode des contraintes initiales
  - Type d'algorithme de résolution : Pardiso
  - Type de calcul : Standard
4. **Valider**.

#### 1.4. Phase #2 : Mise en place de la paroi et baisse du niveau de la nappe à -5 m

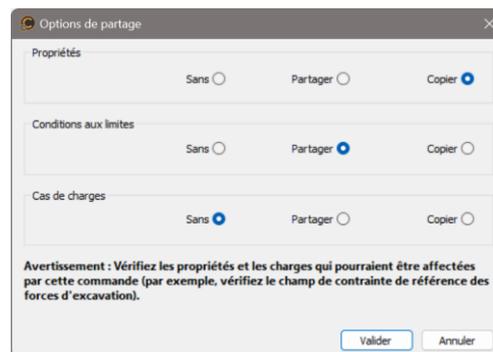
Dans cette phase, on modélise la paroi (supposée en place) et on rabat le niveau d'eau dans l'excavation de -3 m à -5 m.

##### Définition du modèle :

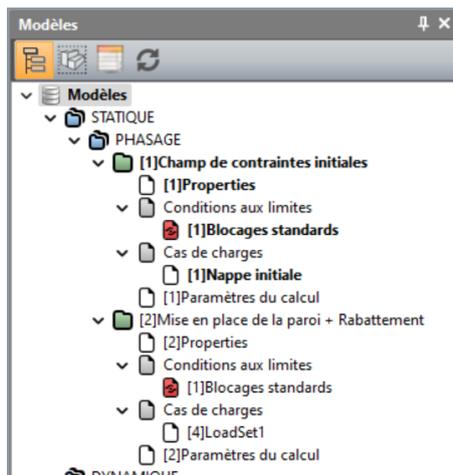
1. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le modèle **Champ de contraintes initiales**. Sélectionner **Copie du modèle**.



2. Une nouvelle fenêtre apparaît pour la définition des paramètres du nouveau modèle.
  - Changer le nom de modèle : **Mise en place de la paroi + Rabattement**.
  - Sélectionner "Phasage".
  - **Valider**.
3. Il est alors proposé une interface pour définir les actions de copie/partage des données précédemment définies : Propriétés, Conditions aux limites et Cas de charge.
  - On copie les Propriétés
  - On partage les Conditions aux limites. Ainsi toute modification de ces données sera répercutée sur les 2 modèles.
  - On ne copie pas le cas de charges.
  - **Valider**.



À présent, l'arborescence se présente ainsi :



### Activation des propriétés de la paroi et interfaces

1. Activer l'onglet **PROPRIETES**.
2. Sélectionner les deux lits d'ancrages.
  - Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Cocher "Inactif".
  - **Appliquer**. Le blocs ont désormais une couleur neutre.
3. Cliquer sur  **Propriétés des blocs d'interfaces**.
  - Sélectionner les blocs d'interface de la paroi en partie supérieur dans le **Sable #1**. Choisir le jeu de propriétés **Paroi/Sable #1-f** dans la liste déroulante. **Appliquer**.
  - Sélectionner les blocs d'interface de la paroi en partie inférieure dans le **Sable #2**. Choisir le jeu de propriétés **Paroi/Sable #2-f** dans la liste déroulante. **Appliquer**.

### Conditions limites :

Aucun changement.

### Chargement :

Maintenant, on modélise le rabattement de la nappe.

1. Dans l'arborescence, le nom par défaut du chargement, LoadSet1, peut être édité avec la touche [F2] + *Nom* + [Enter]. Renommer en **Rabattement à -5 m**.
2. Activer  **WTB – pression isotrope**.
  - Définir la charge hydraulique initiale :
    - o Charge hydraulique : Constant
    - o Valeur : -3 m
  - Définir la charge hydraulique actuelle :
    - o Données charge hydraulique : Variable
    - o Nombre de points : 4
    - o Points : (0 ; -5) (30 ; -5) (30 ; -3) (120 ; -3)
  - Poids volumique de l'eau : 0.010 MN/m<sup>3</sup> (par défaut)
  - **Valider**

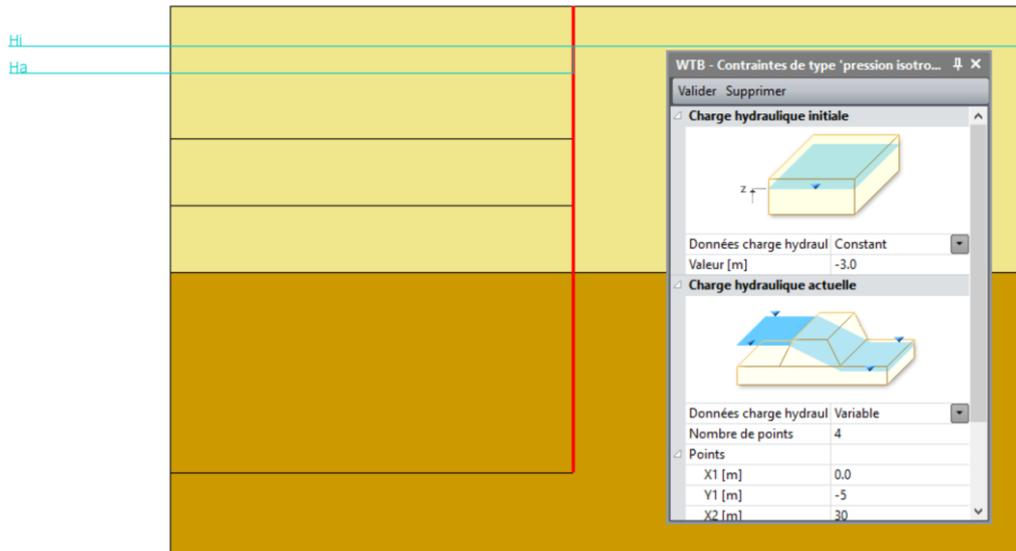


Figure 13: Rabattement de la nappe dans l'excavation

#### Paramètres d'analyses :

On souhaite réinitialiser les déplacements pour ne pas tenir compte des tassements associés à l'état de contraintes initiales.

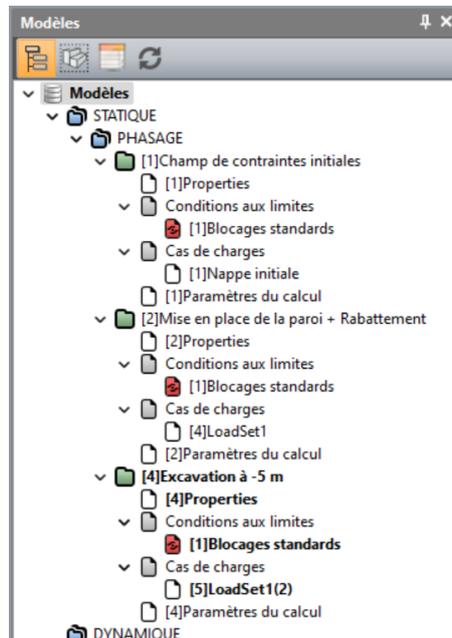
1. Activer l'onglet **GESTION DES CALCULS**.
2. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le titre du calcul. Sélectionner dans la liste, **Paramètres du calcul**.
3. Dans **Paramètre généraux**, cocher « Initialisation des déplacements ».
4. Tous les autres paramètres sont inchangés.
5. **Valider**.

### 1.5. Phase #3 : excavation à -5 m

#### Définition du modèle :

1. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le modèle **Mise en place de la paroi + Rabattement**. Sélectionner **Copie du modèle**.
2. Une nouvelle fenêtre apparait pour la définition des paramètres du nouveau modèle.
  - Editer le nom : **Excavation à -5 m**.
  - Sélectionner "Phasage". L'ordre par défaut est 3.
  - **Valider**.
3. Il est alors proposé une interface pour définir les actions de copie/partage des données précédemment définies : Propriétés, Conditions aux limites et Cas de charge.
  - On copie les Propriétés
  - On partage les Conditions aux limites. Ainsi toute modification de ces données sera répercutée sur les 2 modèles.
  - On ne copie pas le cas de charges.
  - **Valider**.

À présent, l'arborescence se présente ainsi :



#### Blocs actifs/inactifs

1. Activer l'onglet the **PROPRIETES**.
2. Sélectionner le sol à excaver.
  - Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**
  - Cocher "Inactif".
  - **Appliquer**. Les blocs ont désormais une couleur neutre.

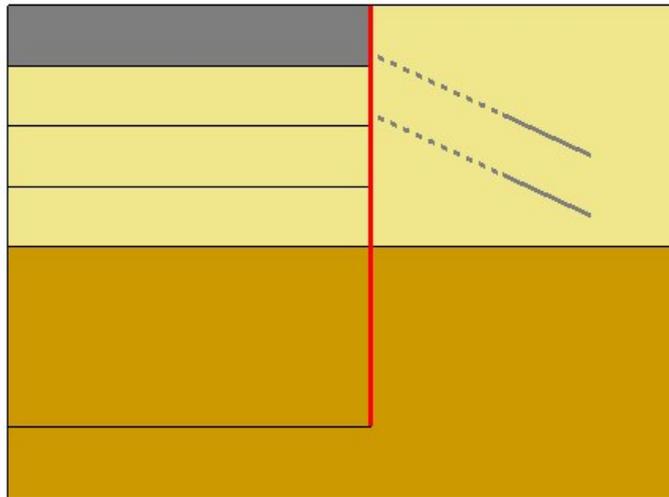


Figure 14: Statut du modèle en mode inactif en phase #3

Conditions limites :

Aucun changement.

Chargement :

1. Dans l'arborescence, le nom par défaut du chargement, LoadSet1, peut être édité avec la touche [F2] + Nom+ [Enter]. Renommer en **Forces d'excavation #1**
2. Activer l'onglet **CHARGEMENT**.
3. Activer  **Forces de déconfinement**.
  - Cocher "Actif"
  - Appliquer un "Coefficient de déconfinement" de 1.
  - Définir la "Contrainte avant excavation" : ici, la phase précédente, i.e. **Mise en place + Rabattement**
  - **Appliquer**.

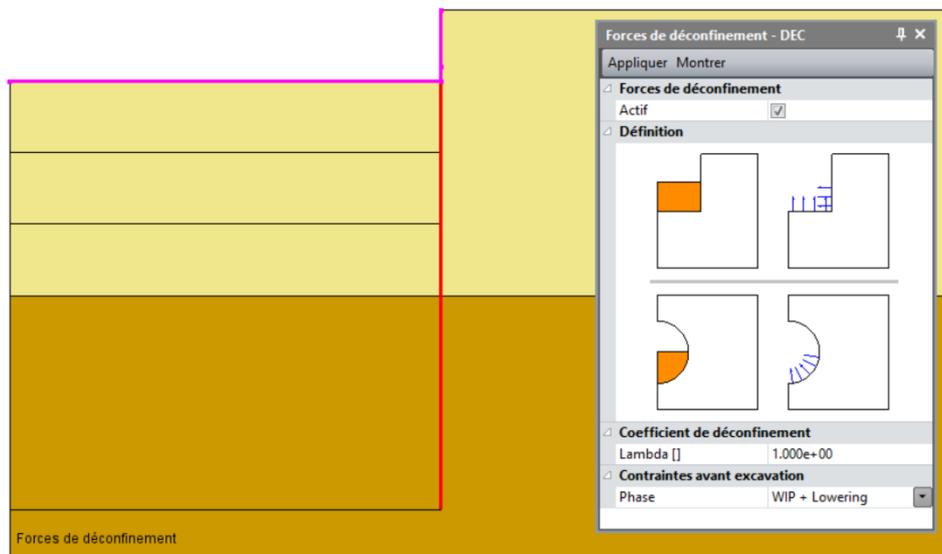


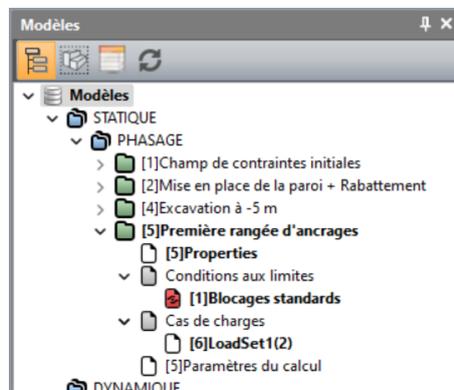
Figure 15: Définition des forces de déconfinement à -5 m

## 1.6. Phase #4 : installation de la première rangée d'ancrages

### Définition du modèle :

1. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le modèle **Excavation à -5 m**. Sélectionner **Copie du modèle**.
2. Une nouvelle fenêtre apparaît pour la définition des paramètres du nouveau modèle.
  - Editer le nom : **Première rangée d'ancrages**.
  - Sélectionner "Phasage". L'ordre par défaut est 4.
  - **Valider**.
3. On retrouve l'interface pour définir les actions de copie/partage des données.
  - On copie les Propriétés
  - On partage les Conditions aux limites. Ainsi toute modification de ces données sera répercutée sur les 2 modèles.
  - On ne copie pas le cas de charges.
  - **Valider**.

À présent, l'arborescence se présente ainsi :



### Blocs actifs/inactifs

1. Activer l'onglet **PROPRIETES**.
2. Sélectionner la première rangée d'ancrages
  - Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Cocher "Actif".
  - **Appliquer**. Les blocs ont désormais leur couleur initiale.

### Conditions limites :

Aucun changement

### Chargement :

Aucune autre charge n'est définie. Dans cette phase, les forces de précontrainte dans l'ancrage sont activées.

### Paramètres d'analyses :

Aucun changement.

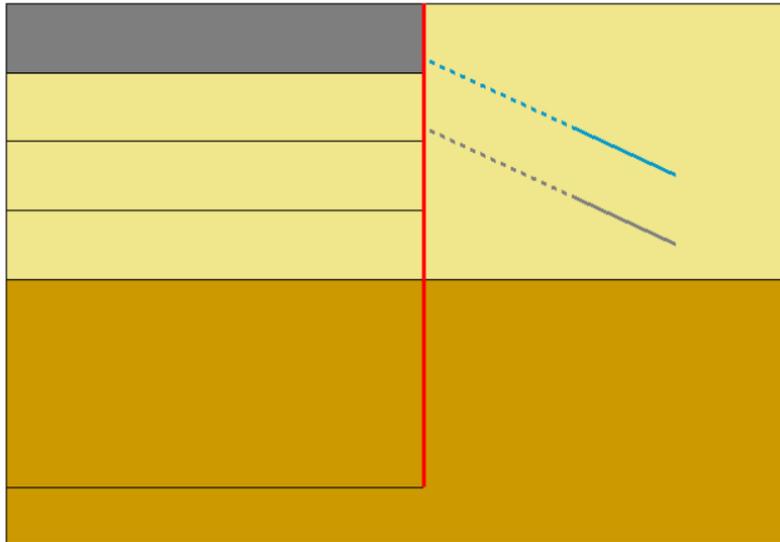


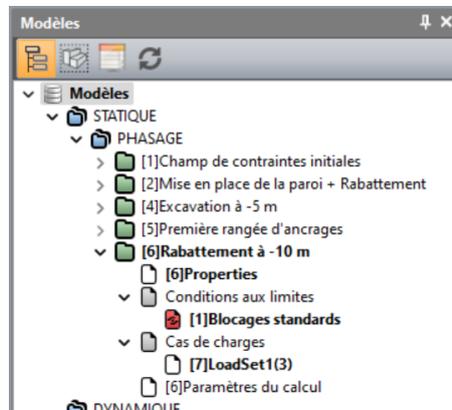
Figure 16: Statut du modèle en phase #4

### 3.2. Phase #5 : rabatement de la nappe à -10 m

#### Définition du modèle :

1. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le modèle **Première rangée d'ancrages**. Sélectionner **Copie du modèle**.
2. Une nouvelle fenêtre apparaît pour la définition des paramètres du nouveau modèle.
  - Editer le nom : **Rabatement à -10 m**.
  - Sélectionner "Phasage". L'ordre par défaut est 5.
  - **Valider**.
3. On retrouve l'interface pour définir les actions de copie/partage des données.
  - On copie les Propriétés
  - On partage les Conditions aux limites. Ainsi toute modification de ces données sera répercutée sur les 2 modèles.
  - On ne copie pas le cas de charges.
  - **Valider**.

À présent, l'arborescence se présente ainsi :



#### Propriétés :

Aucun changement

#### Conditions limites :

Aucun changement

#### Chargement :

1. Dans l'arborescence, le nom du chargement, est modifié : **Rabatement à -10 m**.
2. Activer l'onglet **CHARGEMENTS**.
3. Activer  **WTB - pression isotrope**.
  - Définir la Charge hydraulique initiale :
    - o Charge hydraulique : Variable
    - o Nombre de points : 4
    - o Points : (0 ; -5) (30 ; -5) (30 ; -3) (150 ; -3)
  - Définir la Charge hydraulique actuelle :
    - o Charge hydraulique : Variable
    - o Nombre de points : 4
    - o Points : (0 ; -10) (30 ; -10) (30 ; -3) (150 ; -3)
  - Poids volumique de l'eau : 0,010 MN/m<sup>3</sup> (par défaut)
  - **Valider**

Paramètres d'analyses :

Aucun changement.



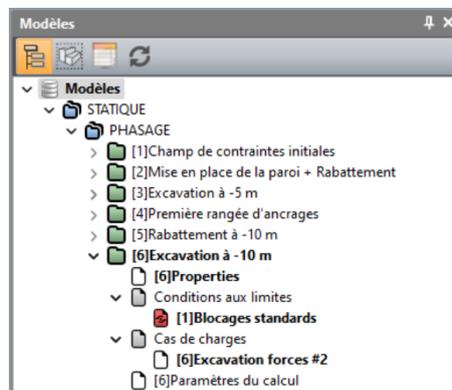
Figure 17: Rabattement de la nappe à -10 m dans l'excavation

## 1.7. Phase #6 : excavation à -10 m

### Définition du modèle :

1. Dans l'arborescence, faire un clic droit sur le modèle **Rabattement à -10 m**. Sélectionner **Copie du modèle**.
2. Une nouvelle fenêtre apparait pour la définition des paramètres du nouveau modèle.
  - Editer le nom : **Excavation à -10 m**.
  - Sélectionner "Phasage". L'ordre par défaut est 6.
  - **Valider**.
3. On retrouve l'interface pour définir les actions de copie/partage des données.
  - On copie les Propriétés
  - On partage les Conditions aux limites. Ainsi toute modification de ces données sera répercutée sur les 2 modèles.
  - On ne copie pas le cas de charges.
  - **Valider**.

À présent, l'arborescence se présente ainsi :



### Blocs actifs/inactifs

1. Activer l'onglet **PROPRIETES**.
2. Sélectionner le second bloc excavé. Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Cocher "Inactif".
  - **Appliquer**. Les blocs ont désormais une couleur neutre.

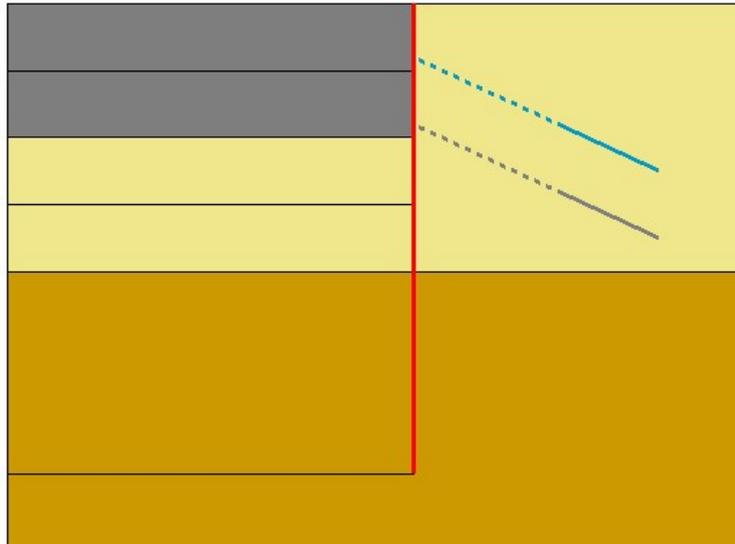


Figure 18: Statut du modèle avec les blocs en mode inactif en Phase #6

Conditions limites :

Aucun changement.

Chargement :

On utilise de nouveau l'outil  **Forces de déconfinement** et on reproduit les étapes détaillées pour l'excavation à -5m. La "Contrainte avant excavation" est maintenant celle de la phase précédente, i.e. **Rabattement #2**.

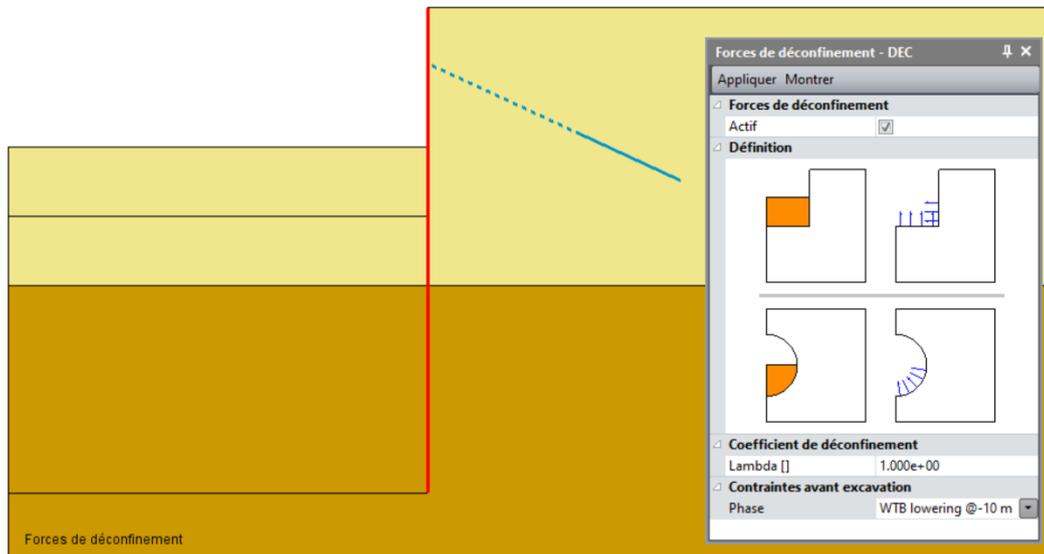


Figure 19: Définition des forces de déconfinement à -10m

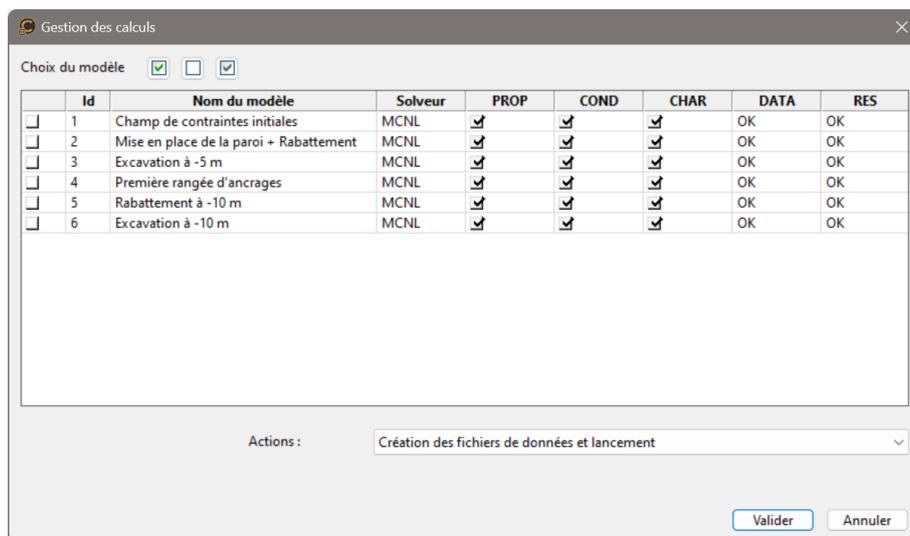
## 4. CALCULS

Les calculs se font simultanément. Il est également possible de lancer le calcul un à un.

1. Activer l'onglet **CALCUL**.
2. Cliquer l'icône .
3. Sélectionner toutes les phases .
4. Sélectionner **Création des fichiers de données et lancement**. Cliquer sur **Valider**.
5. Le processus d'itération s'affiche sur la **fenêtre de travail**. Le message "fin du calcul en mode EXEC" indique la fin du processus d'itération.



Le programme détecte si les modèles sont prêts pour l'analyse. Chacune des étapes doivent être validées par une case cochée.

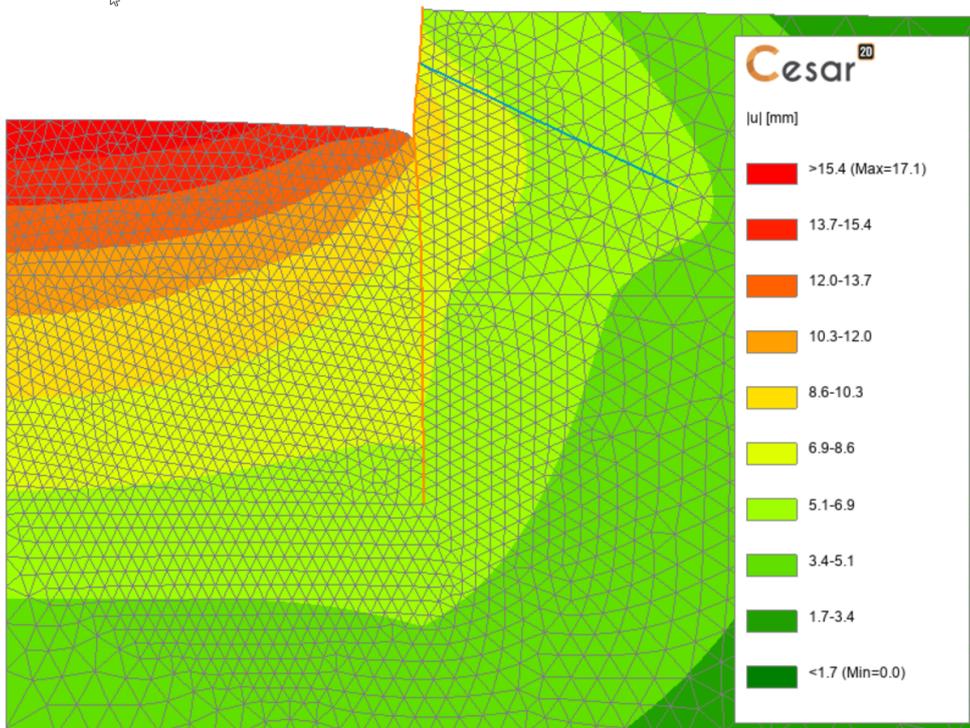


Toutes les informations sur le calcul s'affichent sur la fenêtre de travail durant l'analyse. Une prise en compte des messages d'erreurs est très importante, car ces messages peuvent indiquer que les résultats des analyses sont incorrects. Les résultats sont sauvegardés dans un fichier en format binaire (\*.RSV4) dans un dossier temporaire (.../TMP/), défini lors du paramétrage. Le détail d'information de l'analyse est également sauvegardé dans un fichier en format text (\*.LIST).

## 5. RESULTATS

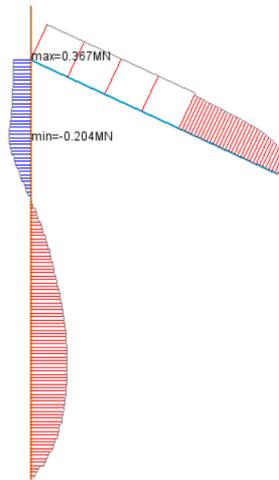
Les résultats types obtenus à la dernière phase sont dans un premier temps analysés sous formes de représentations graphiques.

1. Activer l'onglet **RESULTATS**.
2. Cliquer sur  **Types de résultats**
  - Sélectionner maillage **Déformé**,
  - Cocher **Isovaleurs**, puis sélectionner **Déplacement total**,
  - Cliquer sur **Appliquer**.
3. Cliquer sur  **Options isovaleurs**.
  - Cocher la case **Isovaleur**,
  - Cocher les **lignes de contours** et sélectionner la couleur **Grise**,
  - **Appliquer**.
4. Cliquer sur  **Options déplacement**.
  - Sélectionner **Manuel** comme échelle,
  - Définir la valeur à **10mm** qui représente **1m**,
  - **Valider**.
5. Cliquer sur  **Résultats affichés**.
  - Sélectionner la paroi et l'ancrage,
  - Désactiver « Isovaleurs »
  - **Appliquer sur sélection**.



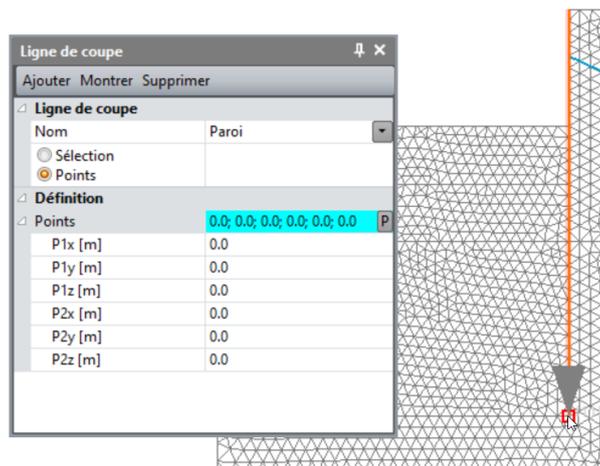
L'utilisateur peut afficher les forces dans les blocs 1D. Il est conseillé d'afficher les résultats sur le modèle non déformé.

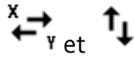
1. Cliquer sur  **Types de résultats**
  - Sélectionner Maillage non déformé,
  - Cocher **Actif**, pour **Résultats blocs 1D**,
  - Sélectionner **N** comme Paramètre.
  - Cliquer sur **Appliquer**.

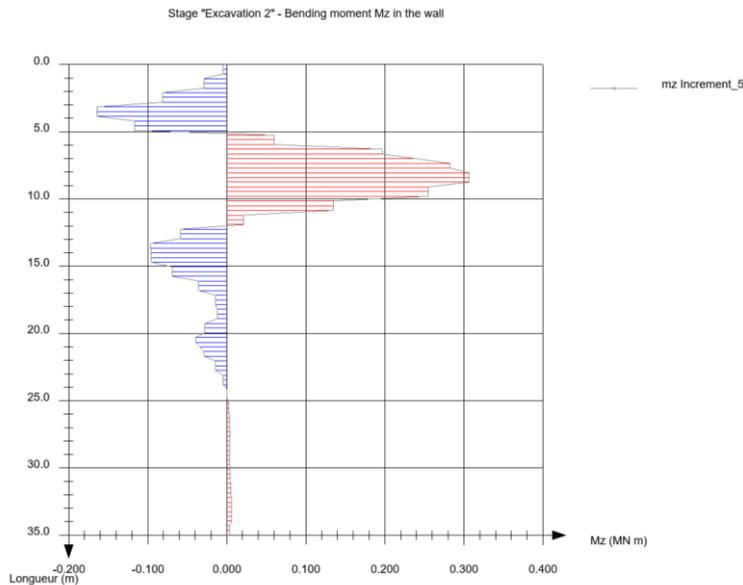


On peut également obtenir ces résultats sous forme d'une courbe.

1. Activer l'onglet **COURBES**.
2. Cliquer sur  **Lignes de coupes**.
  - Nommer cette ligne de coupe, **Paroi** par exemple.
  - Activer l'option « Points »
  - En utilisant l'outil « P » définir interactivement une ligne de coupe partant du sommet de la paroi jusqu'à son pied.
  - **Ajouter**.



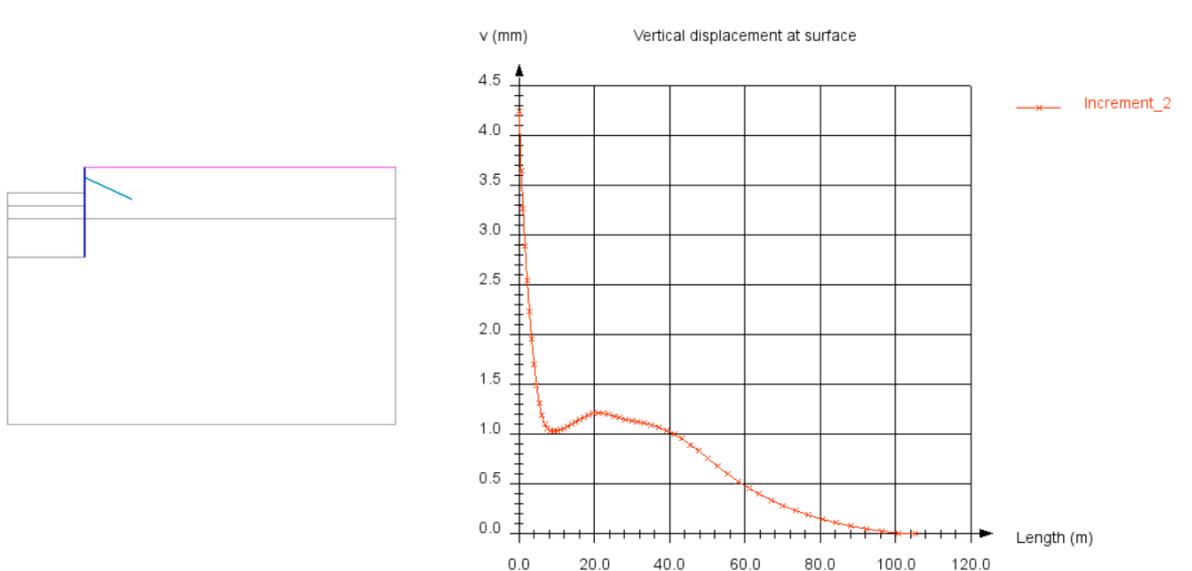
3. Activer  **Efforts N/V/M**.
  - Sélectionner **Mz** comme paramètre,
  - Sélectionner **Paroi** comme ligne de coupe.
  - **Appliquer**.
  - Utiliser les options d'inversions d'axes  pour finaliser le graphe.



Pour obtenir les déplacements en surface derrière la paroi, on génère une ligne de coupe définie par la procédure suivante :

1. Sélectionner les segments de la surface du sol.
2. Cliquer sur  **Lignes de coupes**.
  - Nommer cette ligne de coupe, **Surface** par exemple.
  - Activer l'option « Sélection »
  - **Ajouter**.
3. Activer  **Graphiques pour une ligne de coupe**.
  - Sélectionner **v** comme paramètre,
  - Sélectionner **Surface** comme ligne de coupe.
  - **Appliquer**.

La ligne de coupe a été créée. La ligne de coupe créée, s'affiche sur le maillage avec des flèches indiquant l'orientation. Elle peut être modifiée avec l'icône  **Inverser l'orientation**.



Édité par :



8 quai Bir Hakeim

F-94410 SAINT-MAURICE

Tél. : +33 1 49 76 12 59

[cesar-lcpc@itech-soft.com](mailto:cesar-lcpc@itech-soft.com)

[www.cesar-lcpc.com](http://www.cesar-lcpc.com)

© itech - 2024