



**Tutoriel 2g.03**  
**Construction d'un mur de**  
**soutènement**



## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Objectifs du didacticiel

Pour l'analyse d'un mur de soutènement, il est important d'avoir un aperçu précis des conditions du site de construction. Chaque mur de soutènement doit être conçu pour supporter les pressions du massif de sol et les charges autres appliquées. Une conception classique considère le glissement, la capacité portante et le renversement. Généralement, une vérification globale du projet est réalisée en considérant l'ouvrage dans le site.

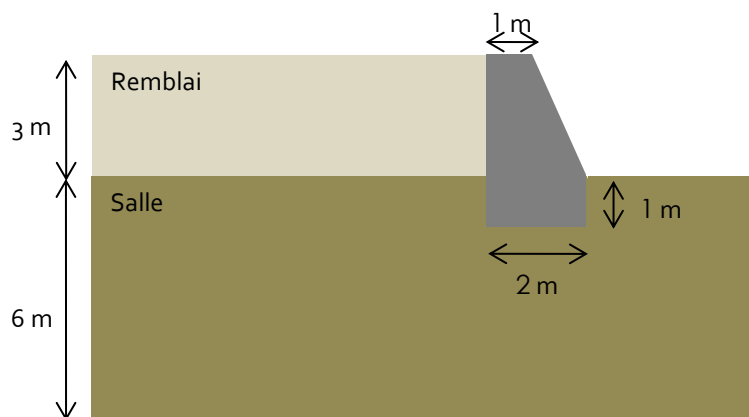
Avec CESAR 2D, on modélise facilement le mur poids et ses phases de construction. L'utilisation de blocs d'interfaces pour modéliser l'interaction sol-structure est présentée. L'ensemble aide à l'obtention de valeurs précises des efforts appliqués sur le mur.

### 1.2. Spécification du problème

#### Hypothèses générales

- Analyse en déformations planes,
- Analyse statique,
- Pas d'eau souterraine.

#### Géométrie :



#### Conditions aux limites :

Un substratum est identifié comme limite inférieure du modèle.

Aussi les conditions limites en déplacement sont :

- Déplacement horizontal,  $u$ , bloqué sur les faces verticales.
- Déplacement vertical,  $v$ , bloqué sur la base du modèle.

Les dimensions du modèle sont établies pour correspondre aux recommandations usuelles suivantes.

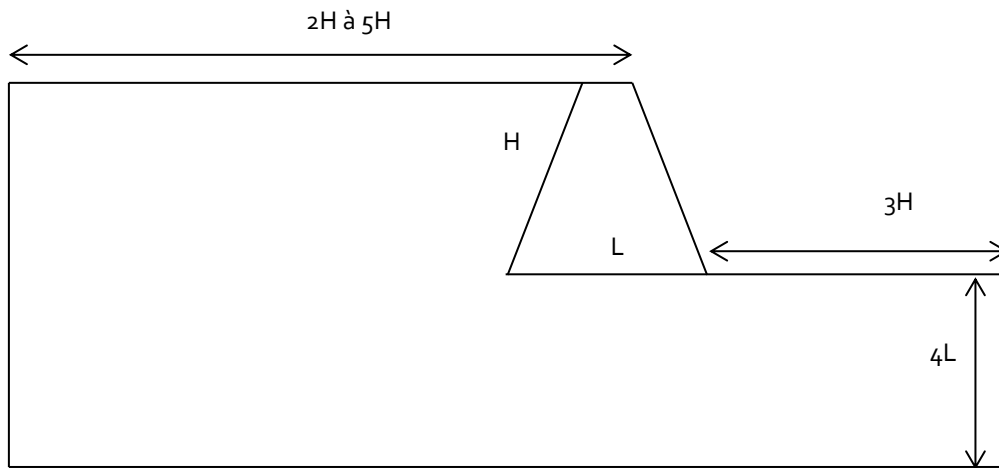


Figure 1 : Dimensions recommandées pour la modélisation d'un mur de soutènement

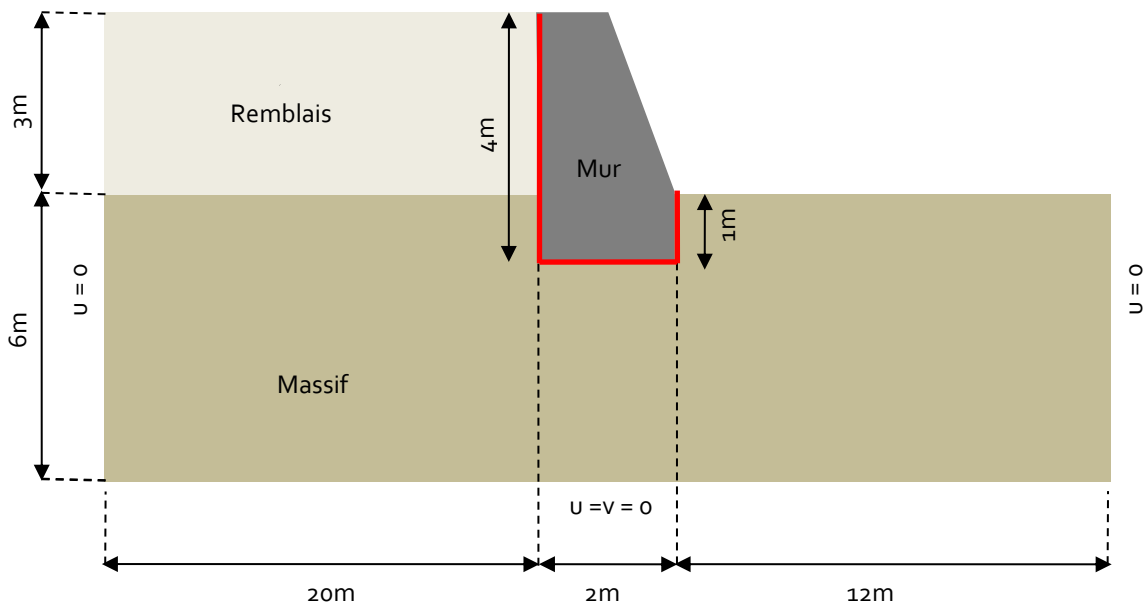


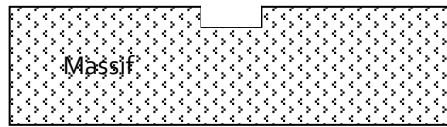
Figure 2 : Dimensions finales du modèle

Propriétés des matériaux :

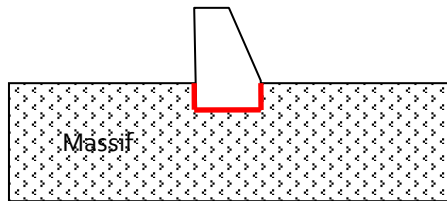
	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	$\nu$	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Sable	19	50	0.3	0	36
Béton	25	35000	0.2	-	-

Processus de construction :

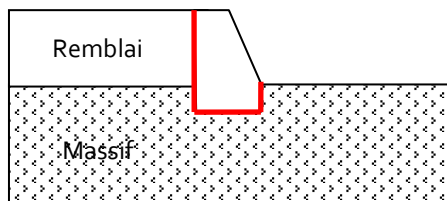
- Phase 0 : Champ de contraintes initiales
- Phase 1 : Excavation du sol pour fondation du mur.



- Phase 2 : Construction du mur en béton avec introduction de joints à l'interface sol-fondation (marqué en rouge dans la figure ci-dessous)




- Phase 3 : Remblai derrière le mur avec introduction de joints à l'interface avec le mur



- Phase 4 : Analyse de la stabilité globale, recherche du coefficient de sécurité en utilisation le processus de réduction c-phi

## 2. GÉOMÉTRIE ET MAILLAGE

### 2.1. Réglages généraux

1. Lancer CLEO2D.
2. Régler les unités dans le menu **Préférences > Unités**.
3. Dans l'arborescence, sélectionner l'onglet **Général/Longueur** et régler l'unité sur **m**.
4. Dans l'arborescence, sélectionner l'onglet **Mécanique/Force** et régler l'unité sur **kN**.
5. Dans l'arborescence, sélectionner l'onglet **Mécanique /Déplacement** et régler l'unité sur **mm**.
6. Cliquer sur **Appliquer** et fermer.
7. Dans  **Plan de travail**, régler l'affichage de la grille sur visible et à 1 m (dX = dY = 1m)





Utiliser "Sauver par défaut" pour définir ces réglages comme environnement par défaut des prochaines études.

### 2.2. Edition de la géométrie

Un nouveau projet commence dans l'onglet **GÉOMÉTRIE**.

Tracé de la géométrie :

Utiliser les outils **Points**  ou **Lignes**  et l'accroche à la grille, l'utilisateur pourra facilement compléter la géométrie, comme détaillée ci-dessous.

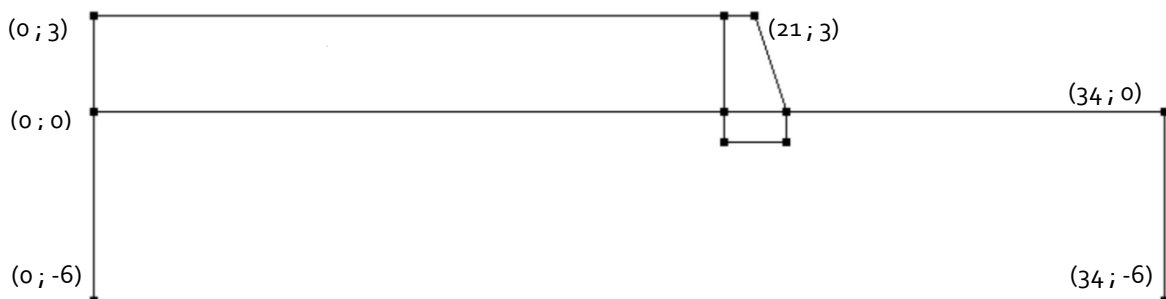




Figure 3: Edition de la géométrie

Blocs d'interface :

Notons ici que 2 blocs d'interface sont générés afin de distinguer leur comportement.

1. Sélectionner les segments de la partie inférieure du mur dans le massif de sable.
2. Activer **Bloc d'interface**  .
  - Sélectionner **Bloc d'interface**
  - Définir "Interface mur/sable" comme nom de bloc.
  - **Appliquer**.
3. Sélectionner les segments à l'interface entre le mur et le remblai.
4. Activer **Bloc d'interface**  .
  - Définir "Interface mur/remblai" comme nom de bloc.
  - **Appliquer**.

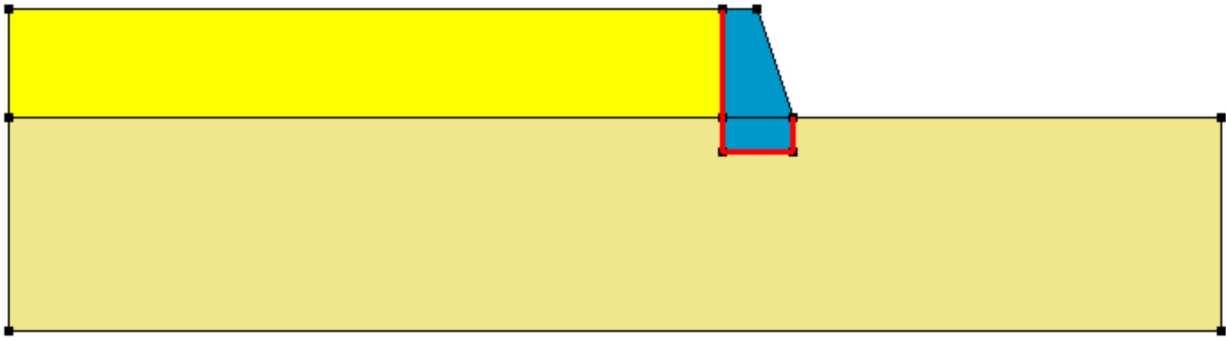





Figure 4 : Géométrie finale

#### Définition des blocs :


Cette étape est facultative, mais simplifie la reconnaissance des différents éléments si plusieurs blocs ont été générés.

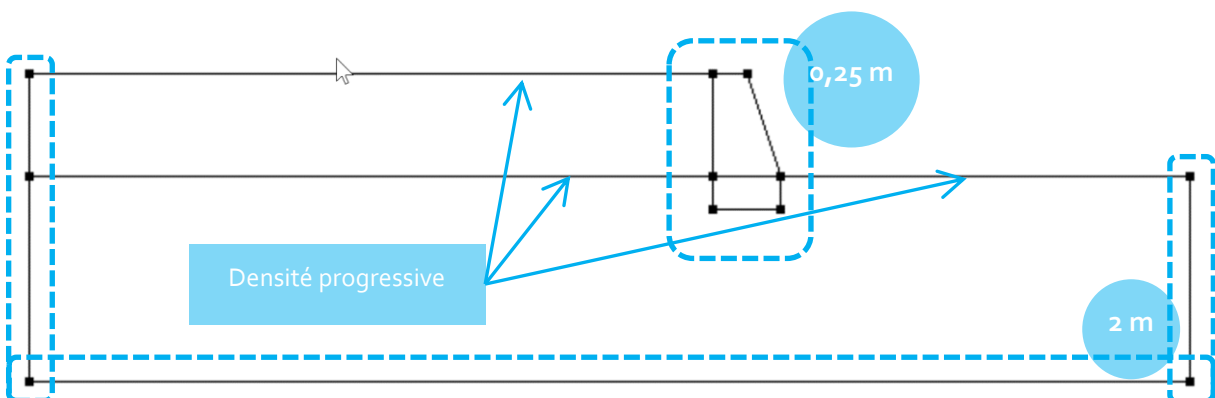
1. Cliquez sur  **Propriétés du bloc**.
2. Faites un "clic droit" sur la zone correspondant du massif. Entrez **Sol** comme nom. **Appliquer**.
3. Répéter l'opération pour tous les blocs


 L'utilisateur peut afficher les noms des blocs sur la géométrie. Activer l'option  **Nom du bloc** sur la barre d'outils. Ceci peut aussi être paramétré dans les Préférences > Affichage de la géométrie. Cochez "Nom du bloc".



### 2.3. Maillage 2D


#### Définition de la densité :

 On définit une densité de maillage importante dans les régions de forts gradients de déformations (par exemple sous la fondation du mur).  
On utilise une densité progressive pour générer un maillage évolutif vers les contours limites du modèle.





1. Aller à l'onglet **MAILLAGE** sur pour commencer la définition des divisions sur les contours.
2. Sélectionner les segments du mur. Cliquez sur  **Découpage par distance** pour imposer une longueur pour la division de ces segments. Entrez **0,25 m** dans la boîte de dialogue. Cliquez sur **Appliquer**.

3. Sélectionner les contours externes du modèle. Cliquer sur  **Découpage par distance** Entrer **2 m** dans la boîte de dialogue. Cliquer sur **Appliquer**.
4. Cliquer sur  **Découpage variable** pour diviser les segments avec une variation de longueurs. Cocher **Premier/dernier intervalle** pour définir la méthode. Entrer **0,25 m** comme **Premier intervalle** et **2 m** comme **Dernier intervalle**. Cliquer sur les segments horizontaux qui relient le mur aux limites extérieures.

 La position du clic définit l'emplacement du découpage initial pour l'option **Découpage variable**.

#### Maillage surfacique :

1. Sélectionner les surfaces correspondant aux blocs *Mur*, *Sable* et *Remblai*.
2. Activer l'outil  **Maillage surfacique**. Sélectionner **Quadratique** comme type d'interpolation. Choisir **Triangle** comme forme d'éléments.
3. Cliquer **Appliquer** pour générer le maillage.

 CESAR-LCPC propose 3 niveaux de réglage pour la procédure de maillage surfacique, donnant à l'utilisateur la possibilité de générer un maillage plus ou moins dense. L'ajustement se fait dans **Préférences d'étude > Préférences** : linéaire = lâche, cubique = dense.

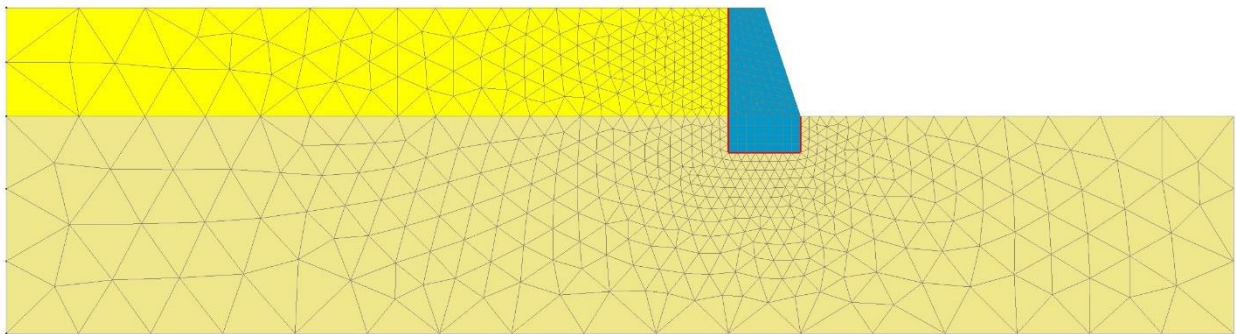


Figure 5 : Exemple de maillage

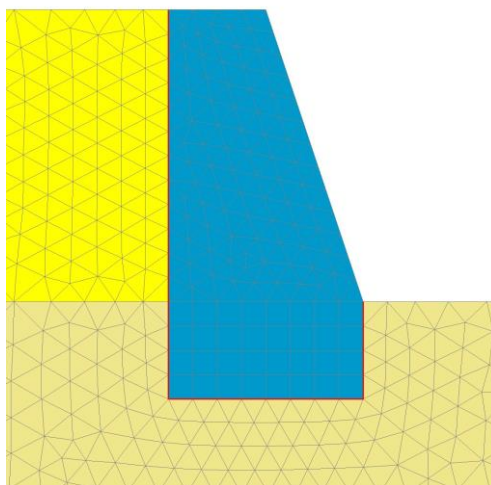


Figure 6 : Zoom sur le mur



### 3. DONNÉES DES CALCULS

#### 3.1. Champs de contraintes initiales

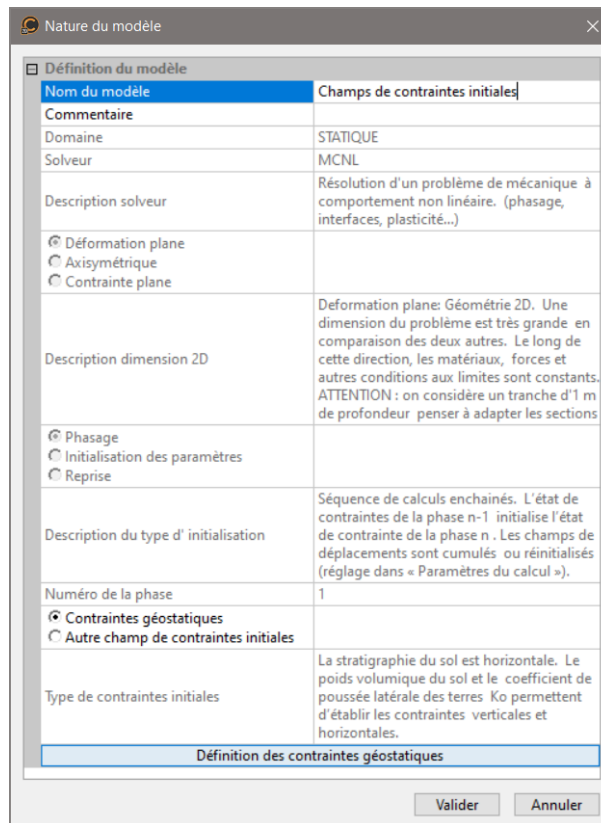
Le processus de construction phasée requiert la définition d'un état de contraintes initiales avant d'appliquer des chargements. Dans ce projet, nous suivons la procédure de définition par contraintes géostatiques, nécessitant la définition du coefficient de poussée des terres  $K_0$  (cf. Manuel d'utilisation).

##### Définition du modèle :

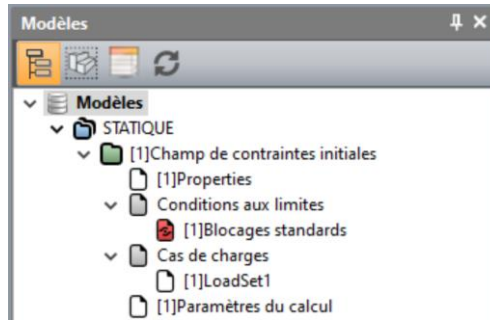
Dans l'arborescence des modèles (à gauche de l'espace de travail) est affichée la liste des domaines de calcul.

1. Cliquer droit sur STATIQUE. Cliquer sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle boîte de dialogue est ouverte pour définir le modèle.
2. Entrer "Champ de contraintes initiales" comme *Nom du modèle*.
3. Sélectionner **MCNL** comme *Solveur*.
4. Cocher **Déformations planes** comme configuration du modèle, avec **Phasage**.
5. Cocher **Contraintes géostatiques** comme type d'initialisation. Cliquer sur **Définition des contraintes géostatiques**.
  - Cliquer sur **Insérer** pour définir une nouvelle couche.
  - Entrer les valeurs suivantes :

Hauteur (m)	Poids volumique (MN/m <sup>3</sup> )	Ko_x (-)	Ko_z (-)
0	0,019	0,5	0,5
  - Cliquer sur **Valider**.
6. Cliquer sur **Valider**.





L'arborescence est maintenant la suivante :



Définitions des propriétés des sols :


On définit dans un premier temps une bibliothèque de jeux de propriétés.

1. Aller à l'onglet **PROPRIÉTÉS**.
2. Activer  **Propriétés des blocs surfaciques**.
3. Donner un nom au jeu de propriétés ("Béton" par exemple).
  - Sous **Paramètres élastiques**, choisir "Elasticité linéaire isotrope"
  - Renseigner les valeurs de  $\rho$ , E et  $\nu$ .
4. Cliquer sur  pour créer un autre jeu de propriétés.
  - Donner un nom au jeu de propriétés ("Sable" par exemple).
  - Sous **Paramètres élastiques**, choisir "Elasticité linéaire isotrope" et renseigner les valeurs de  $\rho$ , E et  $\nu$ .
  - Sous **Paramètres de plasticité**, choisir "Mohr-Coulomb sans écrouissage" et renseigner  $c$ ,  $\phi$  et  $\psi$ .
5. Cliquer sur **Valider** et **Fermer**.

Nom du bloc	Loi élastique	Critère de plasticité	$\gamma_h$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	$\nu$	$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)	$\psi$ (°)
Béton	Linéaire isotrope	-	2500	35000	0,2	-	-	
Sable	Linéaire isotrope	Mohr-Coulomb	1900	50	0,3	0,005	36	0

Définition des propriétés d'interfaces :

Les propriétés d'interfaces peuvent être adhérentes, glissantes ou frottantes.

1. Cliquer sur  **Propriétés des blocs d'interface**.
2. Donner un nom au jeu de propriétés ("Frottement" par exemple).
  - Comme **Type** d'interface choisir "Joint",
  - Choisir "Frottement de Coulomb" et renseigner  $E_i$ ,  $R_t$ ,  $c$ ,  $\phi$  et  $\psi$ .
3. Cliquer sur Valider et Fermer.

Nom du bloc	Type d'interface	$E_i$ (MPa)	$R_t$ (MPa)	$c$ (MPa)	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)
Frottement	Frottement de Coulomb	5000	1	0	24	0






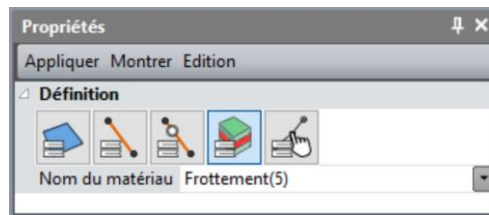
Recommandation pour les propriétés des blocs d'interface :

- 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  $R_t$ .


#### Affectation des propriétés :

Les jeux de données étant créés, nous les affectons maintenant aux blocs du modèle.

1. Cliquer sur l'outil  **Appliquer les propriétés**. La grille de dialogue est actualisée.
2. Cliquer sur  **Propriétés des blocs surfaciques**.
  - Sélectionner le jeu de propriétés "Sable".
  - Sélectionner les blocs surfaciques du sol, du remblai ainsi que de la base du mur,
  - **Appliquer**.
3. Cliquer sur  **Propriétés des blocs d'interface**.
  - Sélectionner le jeu de propriétés "Frottement".
  - Sélectionner tous les blocs d'interface du modèle.
  - **Appliquer**.



#### Blocs actifs/inactifs :


1. Sélectionner les blocs au-dessus du massif de sol initial.
2. Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Dans la grille, cocher "Inactif".
  - **Appliquer**.

Les blocs sont maintenant affichés en couleur neutre (gris étant la couleur par défaut).



Figure 7: Etat du modèle quand les blocs sont inactivés

### Conditions aux limites :

1. Activer l'onglet **CONDITIONS LIMITES**.
2. Sur la barre d'outils, activer  pour bloquer les déplacements horizontaux et verticaux.
3. **Appliquer**.

Les blocages sont affectés automatiquement aux limites géométriques du modèle.

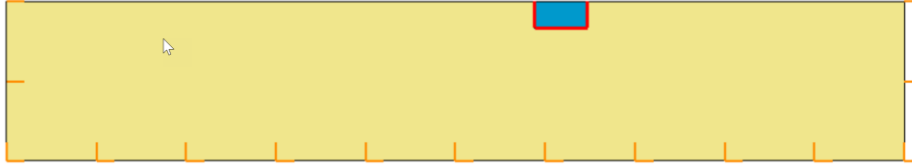


Figure 8: Affichage des conditions limites





Le nom par défaut du jeu de conditions limites, BCSet1, peut être édité en utilisant la touche [F2].

### Chargement :

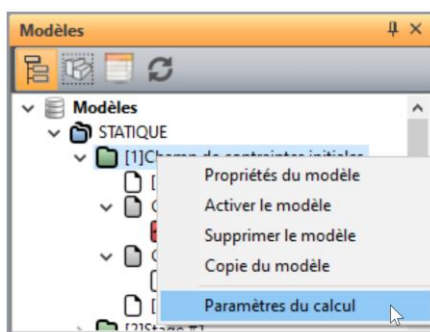
Aucune charge n'est à définir à cette étape car on initialise l'état de contraintes dans le massif (pour rappel, contraintes géostatiques).

### Paramètres du calcul :

1. Activer l'onglet **CALCULS**.
2. Cliquer sur  **Options**. Régler l'option de renumérotation sur "Aucune".
3. Cliquer sur  **Paramètres du calcul**. Dans la section **Paramètres généraux**, renseigner les valeurs suivantes :
  - Processus itératif :
    - Nombre max d'incréments : 1
    - Nombre max d'itérations par incrément : 1000
    - Tolérance : 0,01
  - Méthode et algorithme de résolution :
    - Méthode de résolution : 1-Méthode des contraintes initiales
    - Type d'algorithme : Pardiso
  - Type de calcul : Standard
4. **Valider** pour fermer.



L'utilisateur peut aussi utiliser l'arborescence pour accéder à ces réglages : cliquer droit sur le nom du modèle. Dans la liste d'options affichée, sélectionner **Paramètres du calcul**.

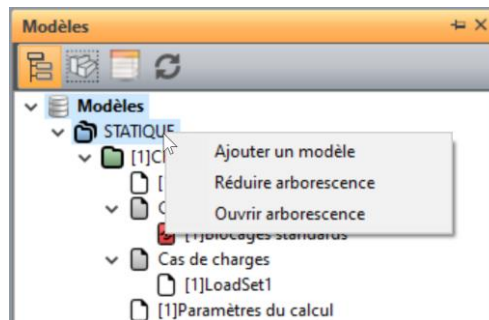


### 3.2. Phase #1, excavation pour la fondation du mur

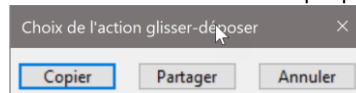
Dans cette phase, on retire le sol où le mur va être construit.

Définition du modèle :

1. Cliquer droit sur STATIQUE. Cliquer sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle boîte de dialogue est ouverte pour définir le modèle.
  - Entrer "Phase #1" comme *Nom du modèle*.
  - Sélectionner **MCNL** comme *Solveur*.
  - Cocher **Déformations planes** comme configuration du modèle, avec **Phasage**. L'ordre de la phase est automatiquement défini à 2.
  - Cliquer sur **Valider**.



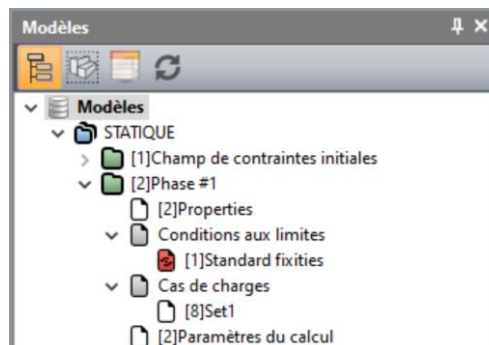
2. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les jeux de propriétés du modèle **Initialisation des contraintes** sur ce modèle **Phase #1**.
  - Sélectionner "Propriétés" du modèle **Initialisation des contraintes**,
  - Placer le sur "Propriétés" du modèle **Phase #1**
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options :




Sélectionner **Copier**.

3. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les conditions limites du modèle **Initialisation des contraintes** sur ce modèle **Phase #1**.
  - Sélectionner "Blocages standards" du modèle **Initialisation des contraintes**,
  - Placer le sur "BCSet1" du modèle **Phase #1**
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options.  
Sélectionner **Partager**. Car les conditions aux limites ne varieront pas durant toutes les phases de calcul.

L'arborescence est maintenant la suivante :



### Blocs actifs/inactifs :

1. Aller à l'onglet **PROPRIÉTÉS**.
2. Sélectionner le bloc de la partie inférieure du mur.
3. Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Dans la grille de dialogue, cocher "Inactif".
  - **Appliquer**.

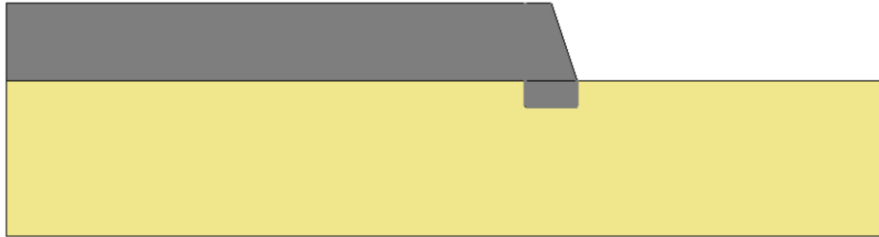



Figure 9: Etat du modèle quand les blocs sont inactivés en phase #1

### Conditions aux limites :

Pas de changement.

### Chargement :

1. Activer l'onglet **CHARGEMENTS**.
2. Activer  **Forces d'excavation**. Voir le manuel d'utilisation pour la description de ce chargement.
  - Activer,
  - Renseigner la valeur de lambda à 1,
  - Sélectionner **Champ de contraintes initiales** comme champs de contraintes d'origine.
3. **Appliquer**.

L'activation des forces d'excavation est matérialisée par un affichage en bas à gauche de l'espace de travail.

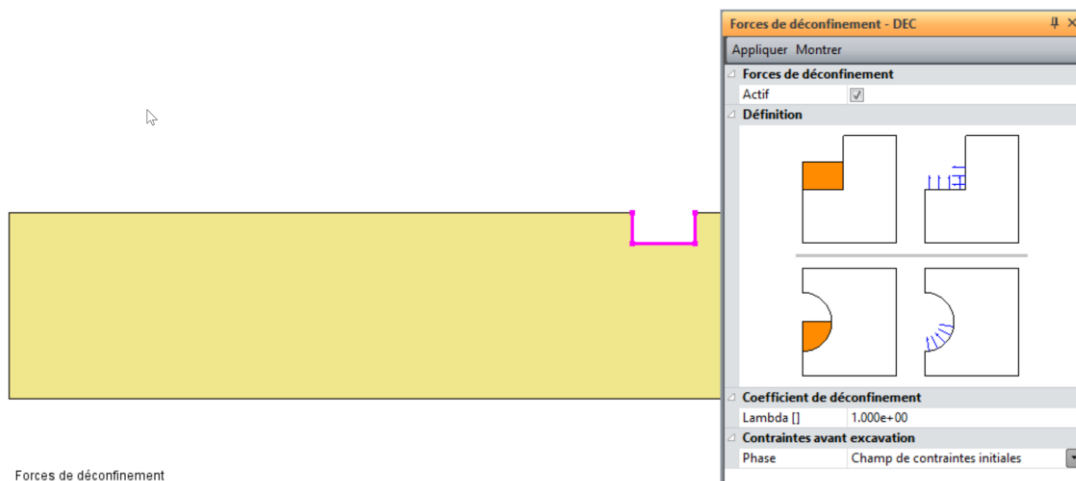


Figure 10: Affichage des forces d'excavation

### Paramètres de calcul :

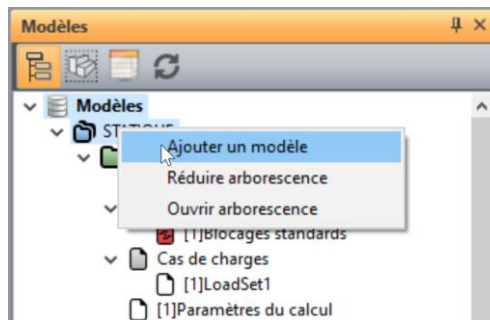
Pas de changement.


### 3.3. Phase #2, construction du mur

Dans cette phase, on active le mur. Son poids propre est appliqué.

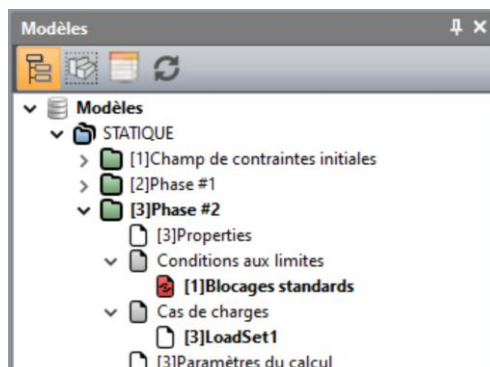
Définition du modèle :

1. Cliquer droit sur STATIQUE. Cliquer sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle boîte de dialogue est ouverte pour définir le modèle.
  - Entrer "Phase #2" comme *Nom du modèle*.
  - Sélectionner **MCNL** comme *Solveur*.
  - Cocher **Déformations planes** comme configuration du modèle, avec **Phasage**. L'ordre de la phase est automatiquement défini à 3.
  - Cliquer sur **Valider**.




2. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les jeux de propriétés du modèle **Phase #1** sur ce modèle **Phase #2**.
  - Sélectionner "Propriétés" de **Phase #1**,
  - Placer le sur "Propriétés" de **Phase #2**,
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options :  
  
Sélectionner **Copier**.
3. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les conditions limites du modèle **Phase #1** sur ce modèle **Phase #2**.
  - Sélectionner "Blocages standards" de **Phase #1**,
  - Placer le sur "BCSet1" de **Phase #2**,
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options.  
Sélectionner **Partager**. Car les conditions aux limites ne varieront pas durant toutes les phases de calcul.

L'arborescence est maintenant la suivante :



### Blocs actifs/inactifs :

1. Aller à l'onglet **PROPRIÉTÉS**.
2. Sélectionner les 2 blocs surfaciques constituant le mur ainsi que le bloc d'interface sol/mur.
3. Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Dans la grille de dialogue, cocher "Actif".
  - **Appliquer**.

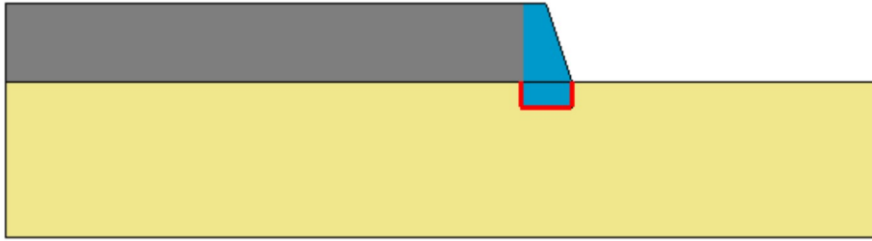




Figure 11: Etat du modèle quand le mur est activé en phase #2


### Affectations de propriétés

1. Cliquer sur l'outil  **Appliquer les propriétés**.
2. Cliquer sur  **Propriétés des blocs surfaciques**.
  - Sélectionner le jeu de propriétés "Béton".
  - Sélectionner les 2 blocs constituant le mur,
  - **Appliquer**.

### Conditions aux limites :

Pas de changement.

### Chargement :

1. Activer l'onglet **CHARGEMENTS**.
2. Activer  **Forces de pesanteur**.
  - Cliquer sur **Sélection automatique**. Cet outil détecte automatiquement les blocs activés à cette étape.
  - **Appliquer**.

L'activation des forces de pesanteur est matérialisée par un affichage en bas à gauche de l'espace de travail.

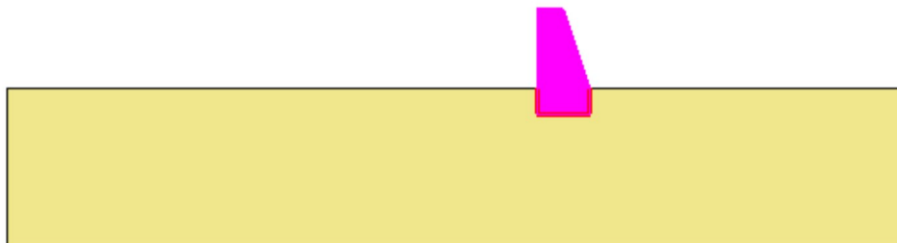


Figure 12: Forces de pesanteur appliquées au mur

### Paramètres de calcul :

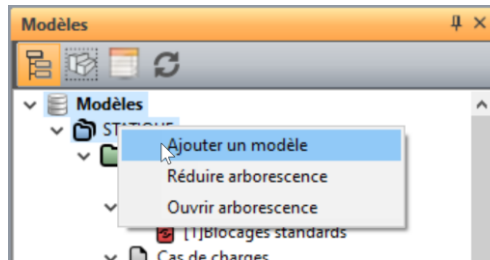
Pas de changement.

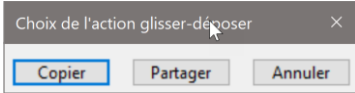


### 3.4. Phase #3, remblaiement

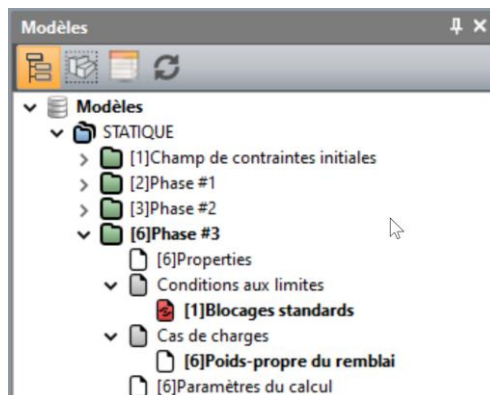
Définition du modèle :

1. Cliquer droit sur STATIQUE. Cliquer sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle boîte de dialogue est ouverte pour définir le modèle.
  - Entrer "Phase #3" comme *Nom du modèle*.
  - Sélectionner **MCNL** comme *Solveur*.
  - Cocher **Déformations planes** comme configuration du modèle, avec **Phasage**. L'ordre de la phase est automatiquement défini à 4.
  - Cliquer sur **Valider**.




2. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les jeux de propriétés du modèle **Phase #2** sur ce modèle **Phase #3**.
  - Sélectionner "Propriétés" de **Phase #2**,
  - Placer le sur "Propriétés" de **Phase #3**,
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options :  
  
Sélectionner **Copier**.
3. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les conditions limites du **Phase #2** sur ce modèle **Phase #3**.
  - Sélectionner "Blocages standards" de **Phase #2**,
  - Placer le sur "BCSet1" de **Phase #3**,
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options.  
Sélectionner **Partager**. Car les conditions aux limites ne varieront pas durant toutes les phases de calcul.

L'arborescence est maintenant la suivante :



### Blocs actifs/inactifs :

1. Aller à l'onglet **PROPRIÉTÉS**.
2. Sélectionner le bloc surfacique du remblai derrière le mur
3. Cliquer sur  **Activer/désactiver les blocs**.
  - Dans la grille de dialogue, cocher "Actif".
  - **Appliquer**.

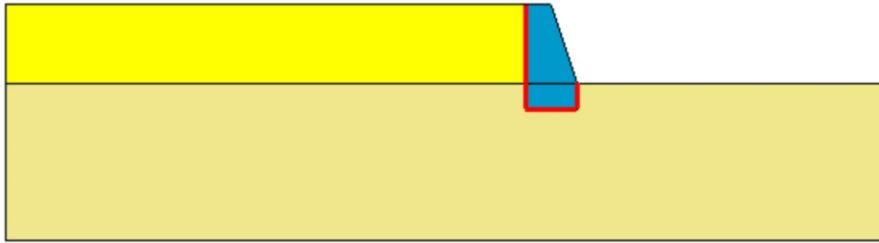



Figure 13: Etat du modèle quand le mur est activé en phase #3

### Conditions aux limites :

En activant le bloc du remblai, on modifie les limites actives du modèle. On doit donc adapter les conditions aux limites.

1. Activer l'onglet **CONDITIONS LIMITES**.
2. Sur la barre d'outils, activer  pour bloquer les déplacements horizontaux et verticaux.
3. **Appliquer**.

Les blocages sont affectés automatiquement aux limites géométriques du modèle.

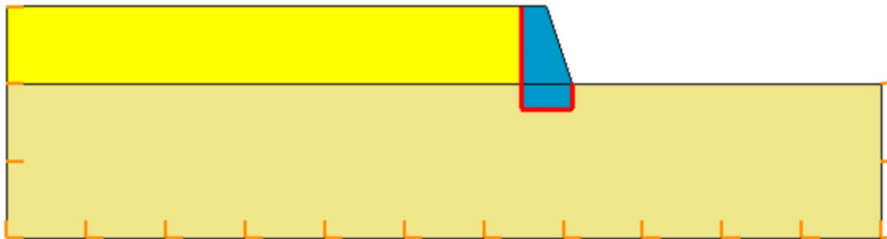



Figure 14: Affichage des conditions limites en phase #3

### Chargement :

1. Activer l'onglet **CHARGEMENTS**.
2. Activer  **Forces de pesanteur**.
  - Cliquer sur **Sélection automatique**. Cet outil détecte automatiquement les blocs activés à cette étape.
  - **Appliquer**.

L'activation des forces de pesanteur est matérialisée par un affichage en bas à gauche de l'espace de travail.

### Paramètres de calcul :

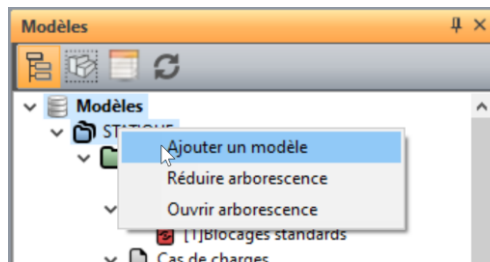
Pas de changement.

### 3.5. Analyse c-phi réduction

Le procédé de réduction c-phi est basé sur le dernier état de contraintes calculé (celui de la Phase #3). L'édition de cette étape ne consiste qu'en la modification des chargements (aucun chargement) et des paramètres de calcul par rapport à la Phase #3.

#### Définition du modèle :

1. Cliquer droit sur STATIQUE. Cliquer sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle boîte de dialogue est ouverte pour définir le modèle.
  - Entrer "Réduction c-phi" comme *Nom du modèle*.
  - Sélectionner **MCNL** comme *Solveur*.
  - Cocher **Déformations planes** comme configuration du modèle, avec **Phasage**. L'ordre de la phase est automatiquement défini à 4.
  - Cliquer sur **Valider**.



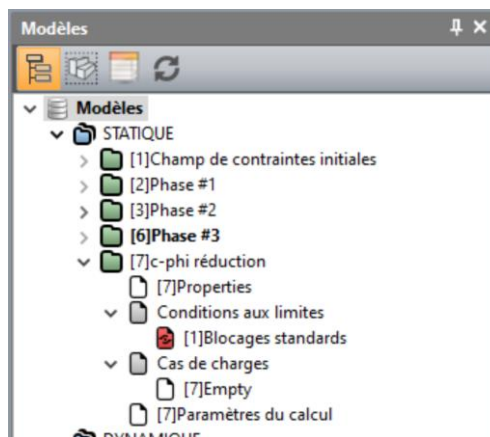
2. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les jeux de propriétés du modèle **Phase #3** sur ce modèle **Réduction c-phi**.
  - Sélectionner "Propriétés" de **Phase #3**,
  - Placer le sur "Propriétés" de **Réduction c-phi**,
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options :





Sélectionner **Copier**.

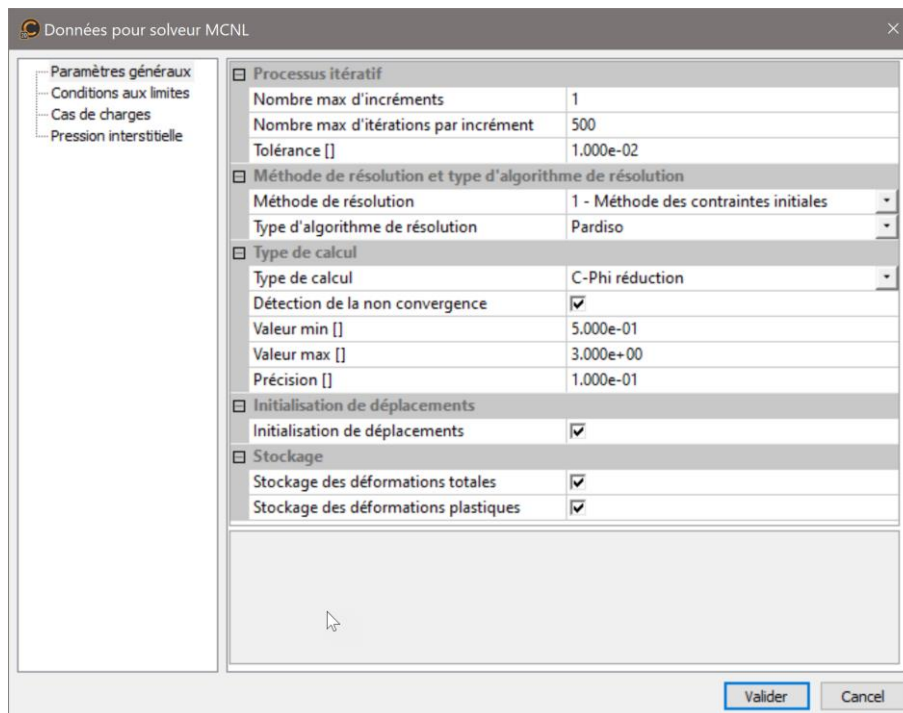
3. En utilisant l'action "glisser-déposer", on copie les conditions limites du **Phase #3** sur ce modèle **Réduction c-phi**.
  - Sélectionner "Blocages standards" de **Phase #3**,
  - Placer le sur "BCSet1" de **Réduction c-phi**,
  - Une boîte à outils s'affiche proposant plusieurs options.  
Sélectionner **Partager**. Car les conditions aux limites ne varieront pas durant toutes les phases de calcul.

L'arborescence est maintenant la suivante :




Paramètres du calcul :


1. Activer l'onglet **CALCULS**.
2. Cliquer sur  **Options**. Régler l'option de renumérotation sur "Aucune".
3. Cliquer sur  **Paramètres du calcul**. Dans la section **Paramètres généraux**, renseigner les valeurs suivantes :
  - Processus itératif :
    - Nombre max d'incrément : 1
    - Nombre max d'itérations par incrément : 1000
    - Tolérance : 0,01
  - Méthode et algorithme de résolution :
    - Méthode de résolution : 1-Méthode des contraintes initiales
    - Type d'algorithme : Pardiso
  - Type de calcul :
    - réduction c-phi
  - Détection de non convergence:
  - Valeur Min. : 0,5
  - Valeur Max. : 3
  - Précision : 0,1
4. **Valider** pour fermer.

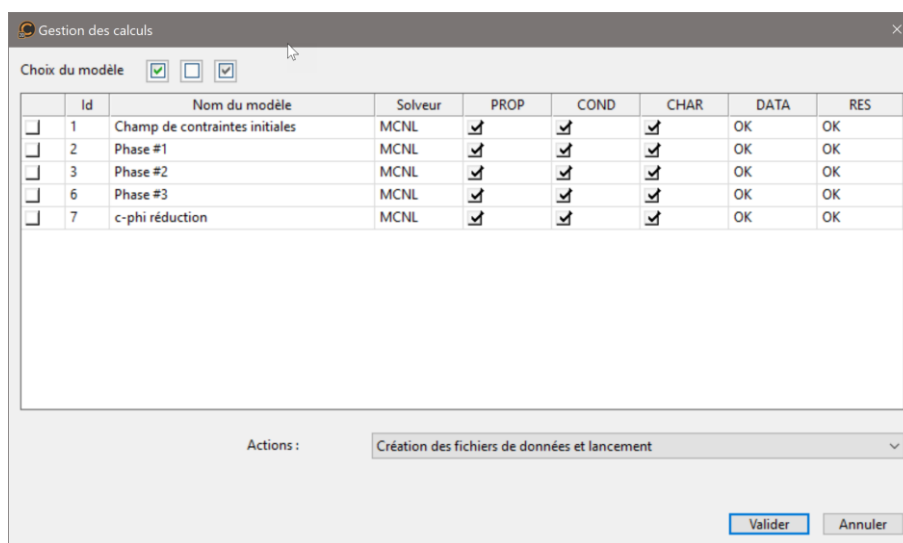



## 4. CALCUL

On lance tous les calculs simultanément. Chaque calcul peut bien sûr être lancé individuellement, si la phase précédente a été calculée.

1. Activer l'onglet **CALCULS**.
2. Cliquer sur  **Gestion des calculs**.
3. Sélectionner tous les calculs.
4. Sélectionner **Création des fichiers de données et lancement**. Cliquer sur **Valider**.
5. Le processus itératif est affiché dans l'espace de travail. Il finit avec le message "Fin du calcul en mode EXEC".

 On détecte si les modèles sont prêts au calcul. Toutes les étapes (PROP, COND, CHAR) doivent être cochées.






 Tous les messages pendant l'analyse sont affichés sur l'espace de travail. On sera vigilant aux éventuels messages d'alertes ou d'erreur qui pourraient alerter sur une mauvaise analyse d'un modèle.

## 5. RÉSULTATS

Le facteur de sécurité obtenu après l'analyse de réduction c-phi est de 2,45. Pour information, lorsqu'on choisit un comportement d'interface glissant, alors le facteur de sécurité est de 1,87.

Les résultats principaux obtenus à l'issue de la dernière phase sont décrits à suivre.

1. Activer l'onglet **RÉSULTATS**.
2. Cliquer sur  **Types de résultats à afficher**
  - Sélectionner **Déformé** comme Maillage,
  - Activer **Isovaleurs**, dans la liste proposée, sélectionner **|u|** (déplacement total),
  - Cliquer sur **Appliquer**.
3. Cliquer sur  **Options isovaleurs**.
  - Sélectionner **Zones** comme style d'isovaleurs,
  - Cocher **Lignes de contour** et sélectionner **Gris** comme couleur,
  - **Appliquer**.
4. Cliquer sur  **Options déplacement**.
  - Sélectionner **Manuel** comme type d'échelle,
  - Renseigner qu'une valeur de **100mm** est représenté par **2m**,
  - **Valider**.

La figure ci-dessous illustre clairement les mécanismes de rupture à l'avant (butée) et à l'arrière du mur (poussée).

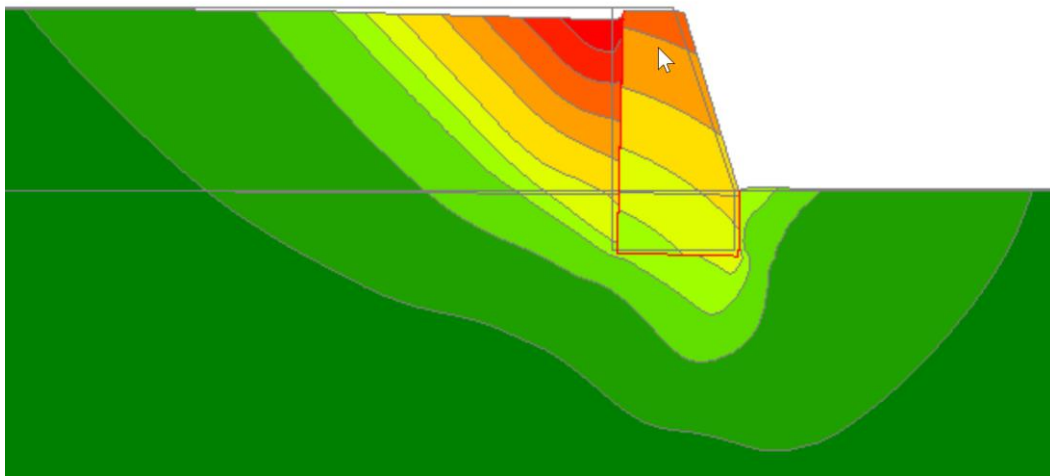



Figure 15: Déformée du modèle et isovaleurs de déplacement total  $|u|$ .

Afin de mieux mettre en valeur ces mécanismes de rupture, on affiche les déformations.

5. Cliquer sur  **Types de résultats à afficher**
  - Sélectionner **Non déformé** comme Maillage,
  - Activer **Isovaleurs**, dans la liste proposée, sélectionner  **$\epsilon_{1t}$** ,
  - Cliquer sur **Appliquer**.

L'affichage d'isovaleurs peut également être rendu inactive dans des blocs sans intérêt (par exemple ici le

mur) en utilisant l'outil  **Résultats affichés**.

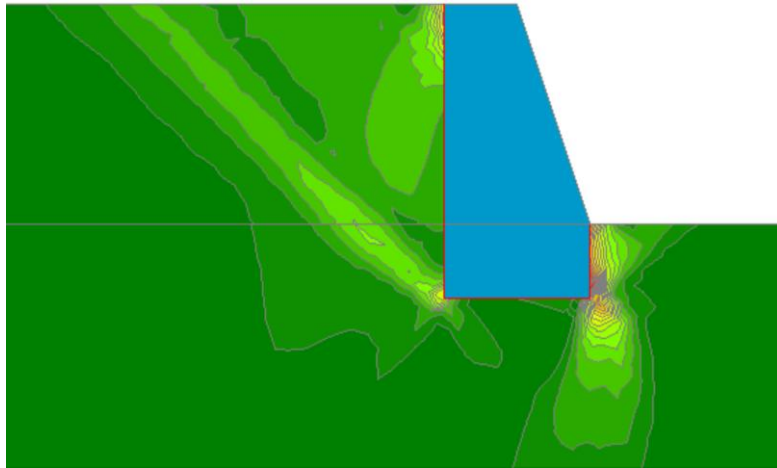





Figure 16: Affichages des déformations  $\epsilon_{1t}$

La rotation du mur en fin de construction est dérivée du déplacement horizontal relevé au dos du mur.

Pour obtenir ce déplacement, on génère une ligne de coupe :

1. Sous l'onglet **RÉSULTATS**, on sélectionne les blocs du mur (partie supérieure et inférieure) pour n'afficher qu'eux.
2. Activer l'onglet **COURBES**.
3. Sélectionner les contours à l'extrados du mur.
4. Cliquer sur  **.Ligne de coupe**.
  - Donner un nom, **Extrados** par exemple.
  - **Ajouter**.
5. Activer  **Graphiques pour une ligne de coupe**.
  - Sélectionner **u** comme paramètre,
  - Sélectionner **Extrados** comme ligne de coupe.
  - Cocher "Incrément\_1"
  - **Appliquer**.



La ligne créée est affichée sur le modèle avec des flèches indiquant son orientation. Cette orientation peut être modifiée en utilisant l'outil  **Inverser l'orientation**.

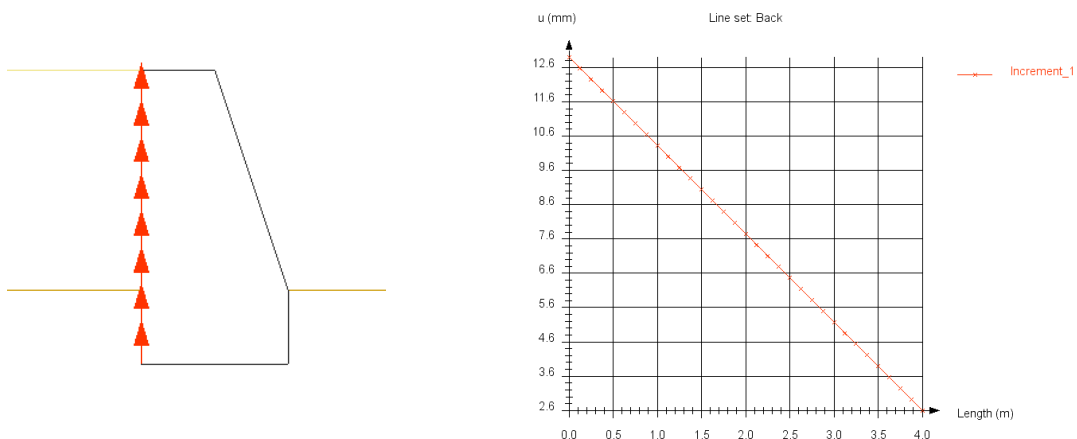


Figure 17: Plot of horizontal displacement at the back of the wall

Edité 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 - 2020