



Tutoriel 2g.06

Analyse en stabilité  
d'un talus

| Ref: CESAR-TUT(2g-06)-v2025.0.1-FR



# 1. INTRODUCTION

Version: v2025.0.

## 1.1. Contexte

Ce modèle est issu de l'article "Analyse de la stabilité des pentes par la méthode des éléments finis", par Griffiths et Lane (Géotechnique 49, n°3, pp. 387-403, 1999). Cette étude décrit une procédure qui réduit les paramètres de la force de cisaillement dans une pente. Cette procédure est aussi appelée méthode de réduction "c-phi".

Une pente composée d'un sol argileux composé d'une couche fine sensible est analysée en condition non drainée. Cette couche fine issue de matériau de mauvaise qualité est positionnée de façon particulière dans la pente (voir figure ci-dessous). Dans ce tutoriel, nous analyserons la stabilité de la pente sous son propre poids. On déterminera le facteur de sécurité de la résistance.

Le facteur de sécurité est défini comme suit :

$$c' = c/SRF \qquad \varphi' = \text{Arctan}(\tan\varphi/SRF)$$

Ce facteur est obtenu lorsque le calcul aux éléments finis atteint la dernière solution de convergence, juste avant la rupture.

Aussi cette procédure « c-phi réduction » est-elle bien adaptée pour les états ELU demandés par de nombreux cadres normatifs, comme les EC7.

## 1.2. Spécifications du problème

### Hypothèses Générales

- Déformations planes,
- Analyse statique non drainée,
- Comportement non linéaire du sol.

### Géométrie

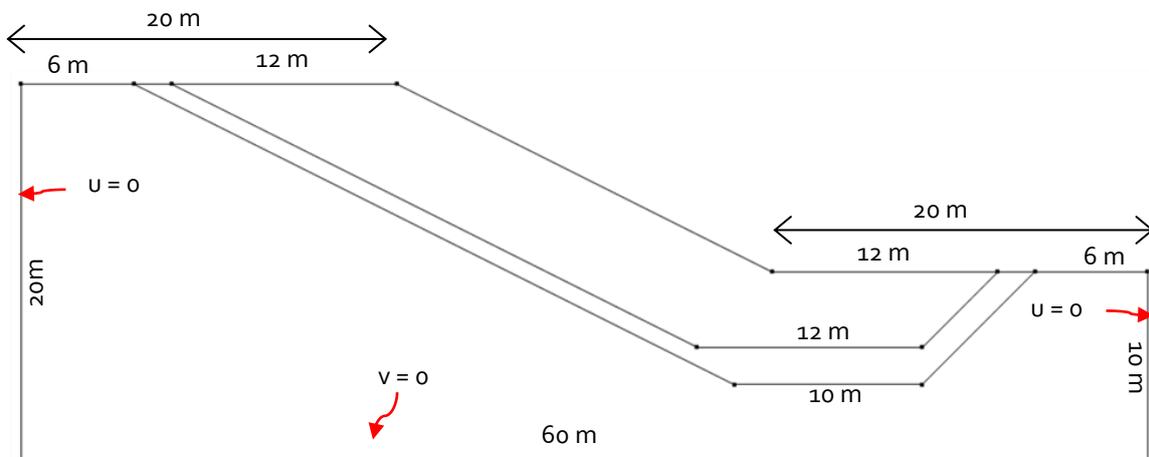


Figure 1: Géométrie du problème

### Propriété des matériaux

Le modèle de Tresca sera utilisé comme critère de plasticité ( $\varphi_u = \psi_u = 0$ ).

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E_u$ (MPa)	$\nu$	$c_u$ (kPa)	$\varphi_u$ (°)
Talus	2000	100	0,3	50	0
Couche médiocre	2000	10	0,3	10	0

## 2. DONNEES D'ANALYSE POUR LA METHODE DE REDUCTION C/PHI

### 2.1. Paramètres généraux

1. Lancer CESAR 2D.
2. Définir les unités dans le menu **Préférences > Unités**.
3. Dans l'arborescence, sélectionner l'option **Général/Longueur** et choisir **m** comme unité dans le déroulé de la deuxième colonne du cadre à gauche.
4. Dans l'arborescence, sélectionner l'option **Mécanique/Force** et choisir **kN** comme unité.
5. Dans l'arborescence, sélectionner l'option **Mécanique/Déplacement** et choisir **mm** unité.
6. Cliquer ensuite sur **Valider**.
7. Dans le **Plan de travail**, définir la grille à 1m (dX = dY = 2m)



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

### 2.2. Géométrie

Un nouveau projet, commence toujours dans l'onglet **GEOMETRIE**.

Dessiner la géométrie :

Nous commençons par définir les limites extérieures de la pente.

1. Cliquer sur . La fenêtre de dialogue **Points** apparaît.
2. Entrer les coordonnées (**0 ; 0**) pour X et Y, et cliquer sur **Appliquer**.
3. Cocher la case "Points liés" pour générer automatiquement un segment entre les points.
4. Entrer les coordonnées (**60 ; 0**), puis **Appliquer**. Le Segment A est alors créé.
5. Entrer les coordonnées (**60 ; 10**), puis **Appliquer**. Le Segment B est alors créé.
6. Entrer les coordonnées (**40 ; 10**), puis **Appliquer**. Le Segment C est alors créé.
7. Entrer les coordonnées (**20 ; 20**), puis **Appliquer**. Le Segment D est alors créé.
8. Entrer les coordonnées (**0 ; 20**), puis **Appliquer**. Le Segment E est alors créé.
9. Entrer les coordonnées (**0 ; 0**), puis **Appliquer**. Le Segment F est alors créé.

Dessiner à présent les limites inférieures de la couche fragile :

1. Cliquer sur . La fenêtre de dialogue **Points** apparaît.
2. Entrer les coordonnées (**6 ; 20**) pour X et Y, et appuyer sur **Appliquer**.
3. Cocher la case "Points liés" pour générer automatiquement un segment entre les points.
4. Entrer les coordonnées (**38 ; 4**), puis **Appliquer**. Le Segment G est alors créé.
5. Entrer les coordonnées (**48 ; 4**), puis **Appliquer**. Le Segment H est alors créé.
6. Entrer les coordonnées (**54 ; 10**), puis **Appliquer**. Le Segment I est alors créé.

Enfin, nous dessinons les limites supérieures de la couche fragile.

1. Cliquer sur . La fenêtre de dialogue **Points** apparaît.
2. Entrer les coordonnées (**8 ; 20**) pour X et Y, et appuyer sur **Appliquer**.
3. Cocher la case "Points liés" pour générer automatiquement un segment entre les points.
4. Entrer les coordonnées (**36 ; 6**), puis **Appliquer**. Le Segment J est alors créé.
5. Entrer les coordonnées (**48 ; 6**) puis **Appliquer**. Le Segment K est alors créé.
6. Entrer les coordonnées (**52 ; 10**), puis **Appliquer**. Le Segment L est alors créé.

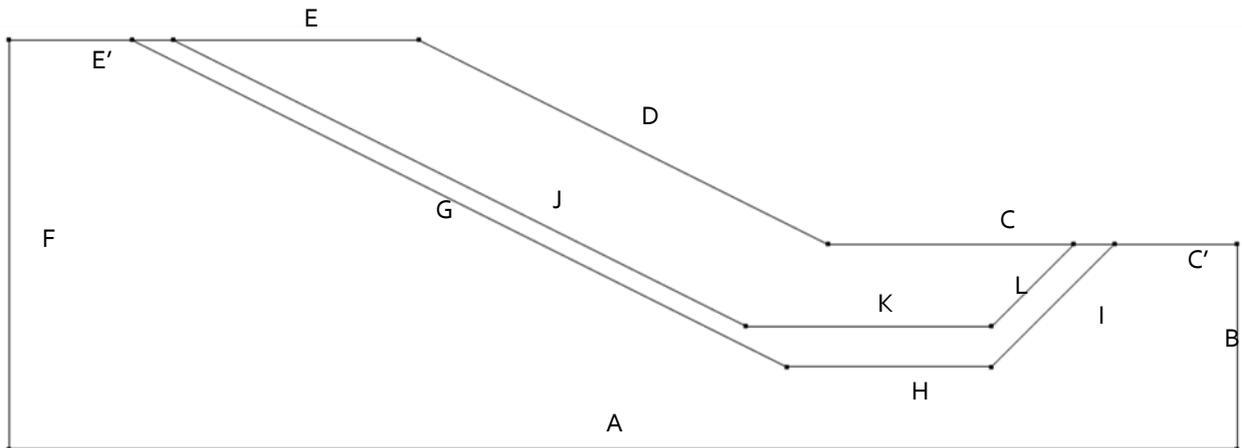


Figure 2: Construction de la Géométrie



D'autres méthodes peuvent être utilisées :

1. Définir les dimensions de la grille de 2m x 2m et tracer ensuite les lignes avec la souris.
2. Faites un "clic droit" pour obtenir des informations sur des points existants et modifier leurs coordonnées.

#### Définition des blocs :

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

1. Cliquer sur  **Propriétés du bloc**.
2. Faites un "clic droit" sur la zone correspondante sur la pente. Entrer **Sol** comme nom. **Appliquer**.
3. Faites un "clic droit" sur la zone correspondante à la couche fragile. Entrer **Couche fragile** comme nom. **Appliquer**



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**. Cocher "Nom du bloc".

### 2.3. Maillage 2D

L'utilisateur remarquera que cette étape est nécessaire mais peut être réalisée à n'importe quel stade du processus de la construction avant le calcul. Si l'utilisateur n'utilise pas le maillage comme support aux conditions limites et aux chargement (Mode M).

#### Définition de la densité :

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 segments. Cliquer sur  **Découpage par distance**. Pour découper le segment en longueur d'intervalle fixe. Entrer la longueur **1 m** dans le cadrant **Découpage par distance**. Cliquer sur **Appliquer**.



L'algorithme du logiciel ajuste la longueur modélisée pour une meilleur synchronisation avec la valeur de la longueur rentrée

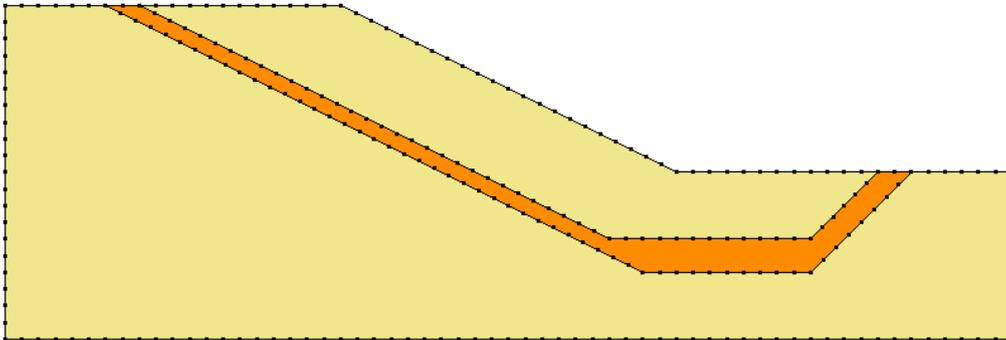


Figure 3: Exemple de la densité du maillage

#### Maillage :

1. Sélectionner la zone correspondante à chaque couche.
2. Cliquer sur l'onglet  **Maillage régions surfaciques**. Choisir **Quadratique** comme type d'interpolation. Choisir **Triangle** pour la forme d'élément.
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 mailles plus ou moins denses. Ce réglage est à faire dans les **Préférences>Paramètres du programme** : linéaire = lâche et cubique=dense.

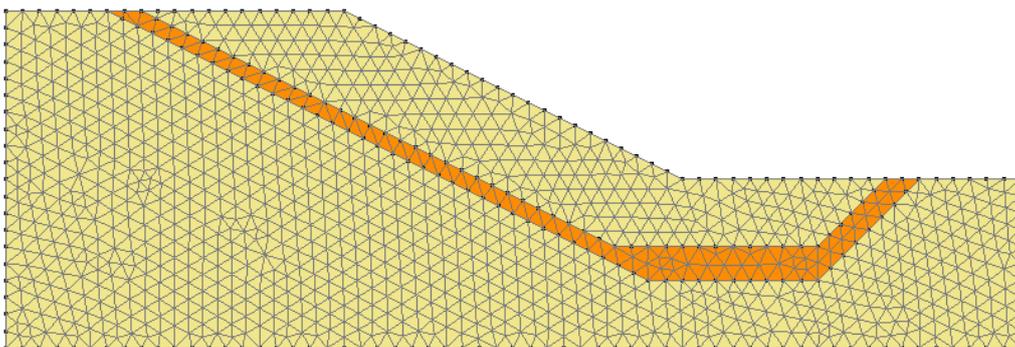
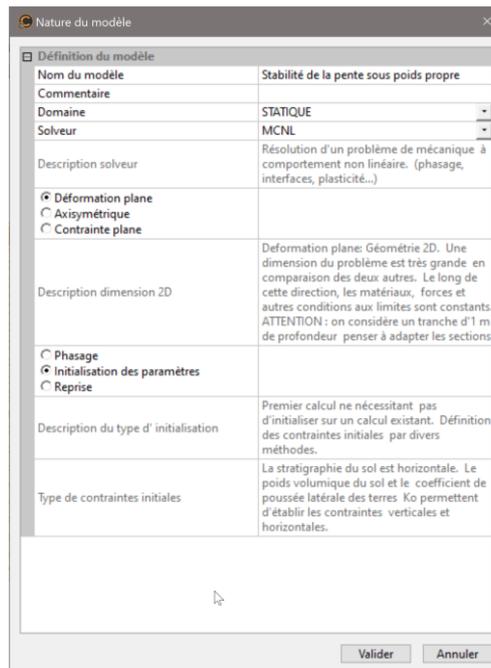


Figure 4: Exemple de maillage

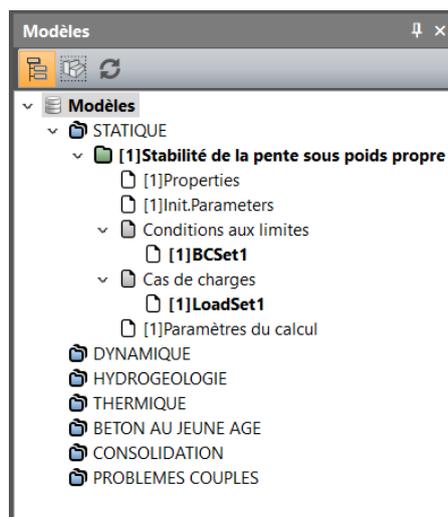
## 2.4. Propriété de calcul pour l'analyse de réduction avec $c/\phi$

### Définition du modèle :

1. Dans le cadre à droite de l'espace de travail, la fenêtre présente l'arborescence des domaines physiques à analyser. Faites un clic droit, sur STATIQUE. Cliquez sur **Ajouter un modèle**. Une nouvelle fenêtre de définition du modèle apparaît sur l'espace de travail.
2. Entrer **Stabilité de la pente sous poids propre** comme "Nom du Modèle".
3. Sélectionner **MCNL** comme "Solveur".
4. Cocher **Déformation plane** comme configuration du modèle, ainsi que la case **Initialisation des paramètres**.
5. Cliquez sur **Valider**.



À présent, l'arborescence est illustrée comme ceci :



## Propriétés des matériaux :

Nous commençons par définir le matériau pour l'étude dans l'onglet **PROPRIETES**.

1. Cliquer sur  **Propriétés des blocs surfaciques**.
2. Nommer chaque propriété choisie (exemple "Talus").
3. Dans les **Paramètres d'élasticité**, choisir "Elasticité linéaire isotrope" et définir  $\rho$ , E and  $\nu$ .
4. Dans les **Paramètres de plasticité**, choisir "Mohr-Coulomb sans écrouissage" et définir  $c$ ,  $\phi$  and  $\psi$ .
5. Cliquer sur  pour créer d'autres propriétés. Répéter l'étape 2 à 4 pour la définition des propriétés de tous les matériaux comme listé dans le tableau ci-dessous.
6. Cliquer sur **Valider** puis **Fermer**.

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (MN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	c (MN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)
Talus	2000	100	0,3	0,05	0	0
Couche médiocre	2000	10	0,3	0,01	0	0



Figure 5: Fenêtre de définition des propriétés

## Assignment des données :

Après définition des données, nous les assignons aux différents modèles des blocs.

1. Cliquer sur l'onglet  **Appliquer les propriétés**.
2. A gauche, une nouvelle fenêtre est affichée. Cliquer sur  **Propriétés des blocs surfaciques**.
3. Sélectionner un bloc sur le modèle et les paramètres dans le déroulé.
4. **Appliquer**.
5. Recommencer les opérations pour tous les blocs du modèles.

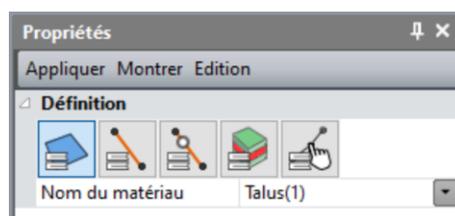


Figure 6: Fenêtre pour assignation des propriétés

### Conditions limites :

1. Aller à l'onglet **CONDITIONS LIMITES**.
2. Activer l'icône  pour définir les supports inférieurs et latéraux. Les supports sont automatiquement affectés aux limites du modèle.
3. Facultatif : Il est possible de modifier le nom assigné par défaut aux conditions limites. Appuyer [F2] ; entrer par exemple **Supports standard**.

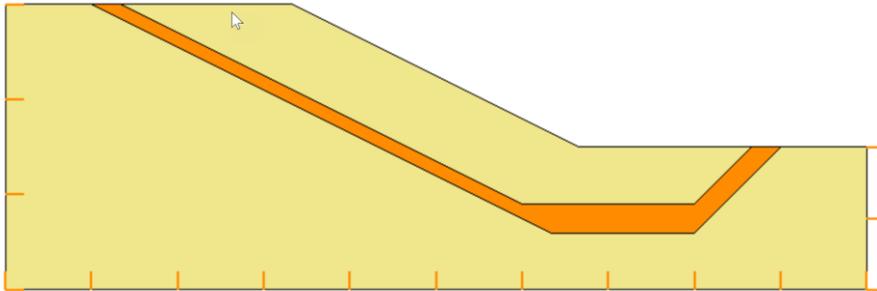


Figure 7: visualisation des conditions aux limites

### Chargement :

1. Aller dans l'onglet **CHARGEMENT**.
2. Activer **Forces de pesanteur** .
3. Sélectionner tous les blocs.
4. Cliquer sur **Appliquer**.
5. Facultatif : Il est possible de modifier le nom assigné par défaut aux données de chargement. Utiliser la touche [F2] ; entrer par exemple **Poids propre**.

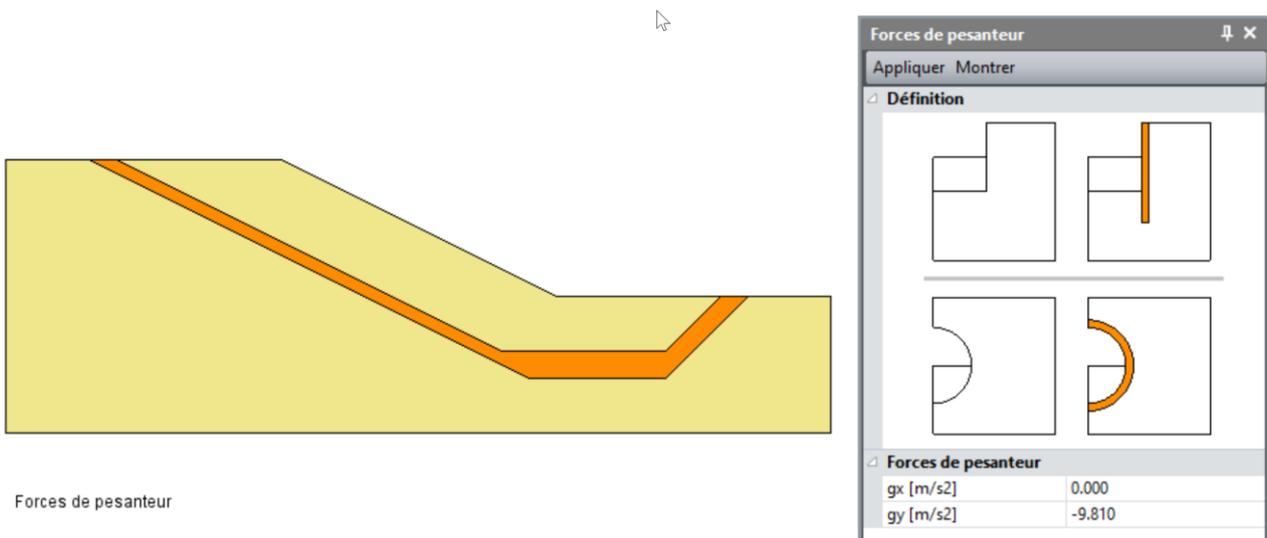


Figure 8: affectation des forces de pesanteur sur le modèle

## Paramètres des calculs :

1. Dans l'onglet **CALCULS**, activer l'icône  **Paramètres du calcul**.
2. Dans la section des **Paramètres généraux**, entrer les valeurs suivantes (plusieurs valeurs de paramètres ne sont pas éditables car dépendantes de choix) :
  - Type de calcul : c/phi réduction
  - Détection de la non convergence
  - Valeur min : 0,01
  - Valeur max : 5
  - Précision : 0,01
  - Options pour la c-phi réduction : Accéléré
  - Processus itératif :
    - Nombre max d'incrément : 1
    - Nombre max d'itérations par incrément : 200
    - Tolérance : 0,001
  - Méthode de résolution : 12- initial stresses
  - Type d'algorithme de résolution : Pardiso
  - Stockage
    - Stockage des déformation totales
    - Stockage des déformations plastiques :
3. Cliquer sur **Valider** pour fermer.

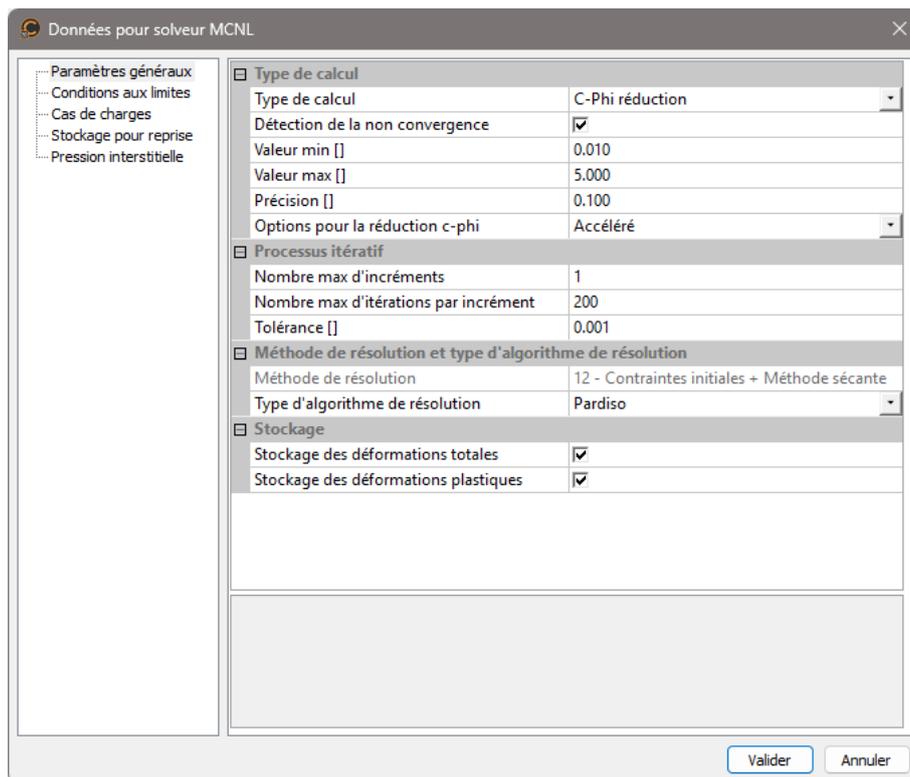
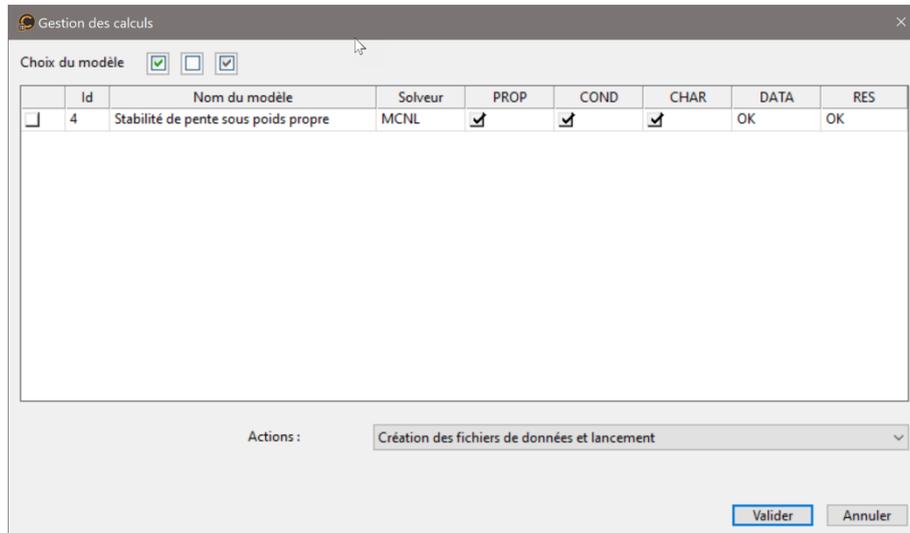


Figure 9: Fenêtre d'entrée des paramètres de calcul

### 3. ANALYSE

1. Aller dans l'onglet **CALCULS**.
2. Cliquer sur  **Gestion des calculs**.
3. Sélectionner le modèle "Stabilité de la pente sous propre poids".
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.



 CESAR-LCPC détecte si les modèles sont prêts pour l'analyse. Chacune des étapes doit être validée 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).

## 4. RESULTATS

Le résultat est le facteur de sécurité obtenu. Il est représenté :

- Dans la **fenêtre du projet**
- A la fin du listing du calcul.

Le facteur de sécurité calculé est 0,52.

Dernière convergence

1. Cliquer sur **RESULTATS**.
2. Cliquer sur  pour activer la **Déformée du modèle** et sur  pour activer l'affichage des **Isovaleurs**.
3. Cliquer sur  **Paramètres**.
  - Sélectionner  $\epsilon_{1,t}$ ,
  - Cliquer sur **Appliquer**.
4. Cliquer sur  **Legend**.
  - Sélectionner **Isovaleur** comme *Légende*
  - Cliquer sur **Appliquer**.

La figure montre le mécanisme de rupture classique sur la maille déformée. Il se concentre bien sûr dans la couche de faible cohésion.

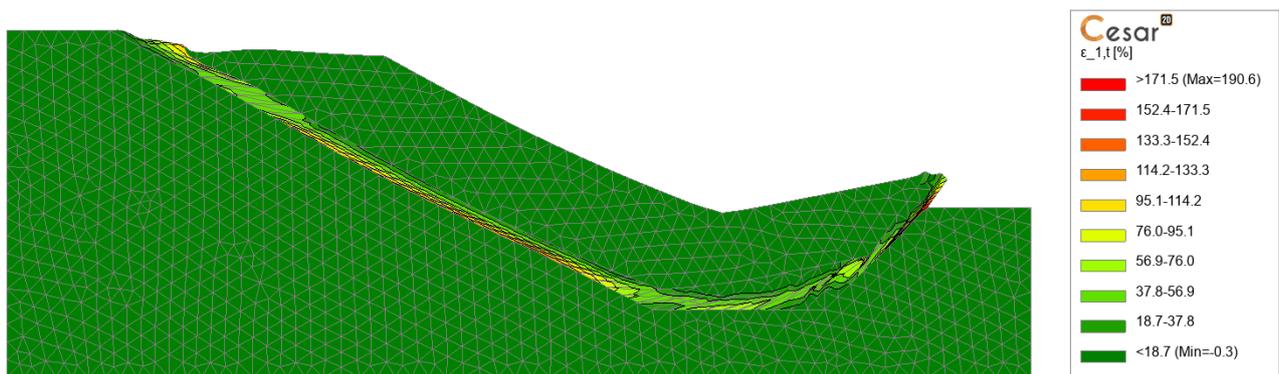


Figure 10: Plasticité et maillage déformé

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 - 2025