



Tutoriel 2.06

Analyse en stabilité
d'un talus

1. PRÉFACE

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 :

$$c' = c/SRF$$

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

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

2. SPÉCIFICATIONS DU PROBLÈME

Hypothèses Générales

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

Géométrie

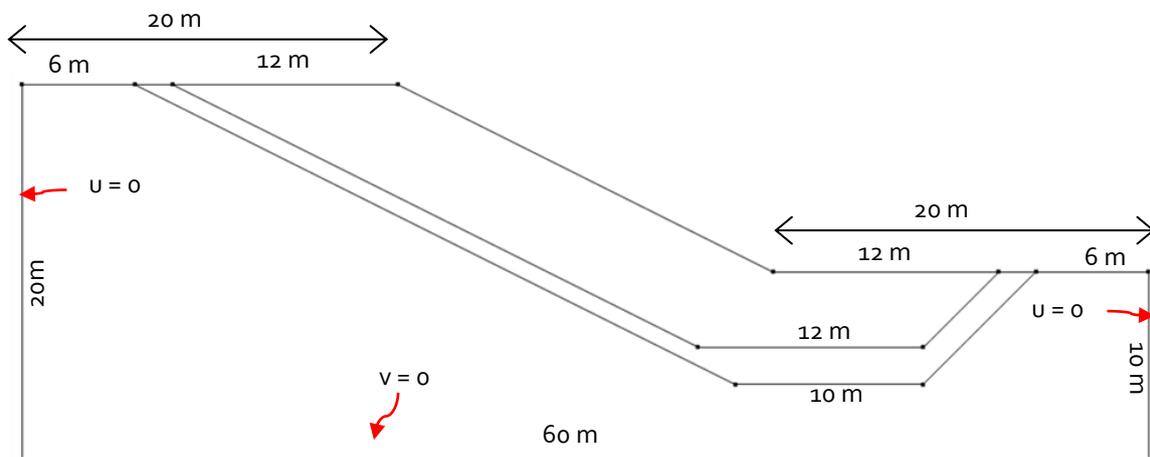


Figure 1: Géométrie du problème

Propriété des matériaux

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

	ρ (kg/m ³)	E_u (MPa)	ν	c_u (kPa)	φ_u (°)
Talus	2000	100	0,3	50	0
Couche médiocre	2000	10	0,3	10	0

3. DONNÉES D'ANALYSE POUR LA MÉTHODE DE RÉDUCTION C/PHI

3.1. Paramètres généraux

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



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

3.2. Géométrie

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

Dessiner la géométrie :

Nous commençons par définir les limites extérieures de la pente.

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

Dessinez à présent les limites inférieures de la couche fragile :

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

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

1. Cliquez sur . La fenêtre de dialogue **Points** apparait.

2. Entrez les coordonnées (8 ; 20) pour X et Y, et appuyez sur **Appliquer**.
3. Cochez la case "Points liés" pour générer automatiquement un segment entre les points.
4. Entrez les coordonnées (36 ; 6), et appuyez sur **Appliquer**. Le Segment J est alors créé.
5. Entrez les coordonnées (48 ; 6), et appuyez sur **Appliquer**. Le Segment K est alors créé.
6. Entrez les coordonnées (52 ; 10), et appuyez sur **Appliquer**. Le Segment L est alors créé.

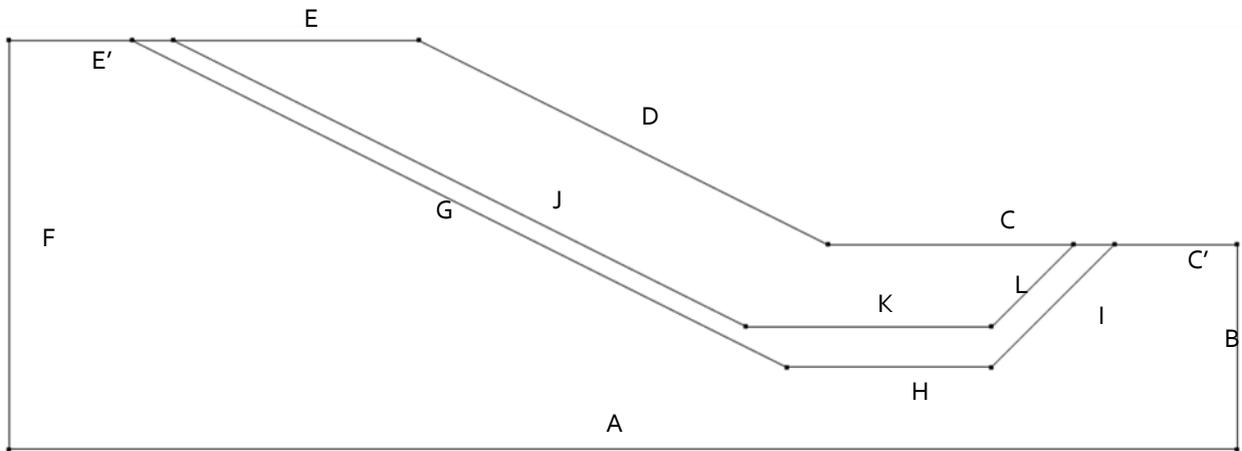


Figure 2: Construction de la Géométrie



D'autres méthodes peuvent être utilisées :

1. Définissez les dimensions de la grille de 2m x 2m et tracez 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. Cliquez sur  **Propriétés du bloc**.
2. Faites un "clic droit" sur la zone correspondante sur la pente. Entrez **Sol** comme nom. **Appliquer**.
3. Faites un "clic droit" sur la zone correspondante à la couche fragile. Entrez **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. Cochez "Nom du bloc".

3.3. Maillage 2D

L'utilisateur remarquera que cette étape est nécessaire mais peut être réalisé 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. Allez dans l'onglet **MAILLAGE** sur la barre de projet pour commencer à définir les intervalles le long des lignes.
2. Sélectionnez toutes limites. Cliquez sur  **Découpage par distance**. Pour découper le segment en longueur d'intervalle fixe. Entrez la longueur **1 m** dans le cadrant **Découpage par distance**. Cliquez sur Appliquer.



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

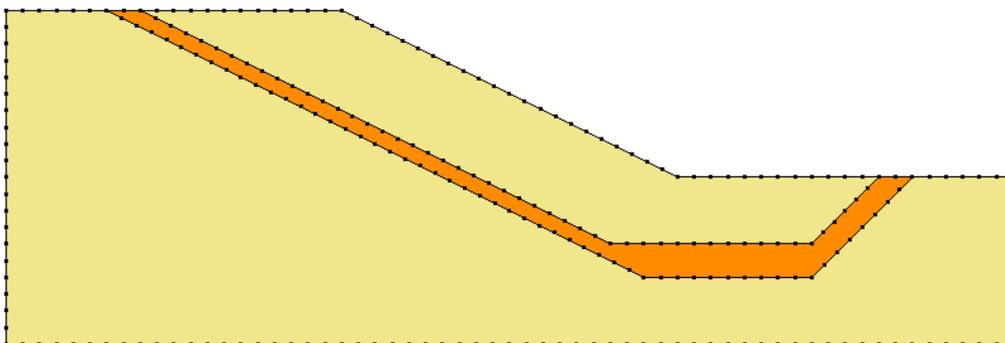


Figure 3: Exemple de la densité du maillage

Meshing:

1. Sélectionnez la zone correspondante à chaque couche.
2. Cliquez sur l'onglet  **Maillage régions surfaciques**. Choisissez **Quadratique** comme type d'interpolation. Choisissez **Triangle** pour la forme d'élément.
3. Cliquez 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 denses. Vous pouvez ajuster cela dans les **Préférences>Paramètres du programme** : linéaire = lâche et cubique=dense.

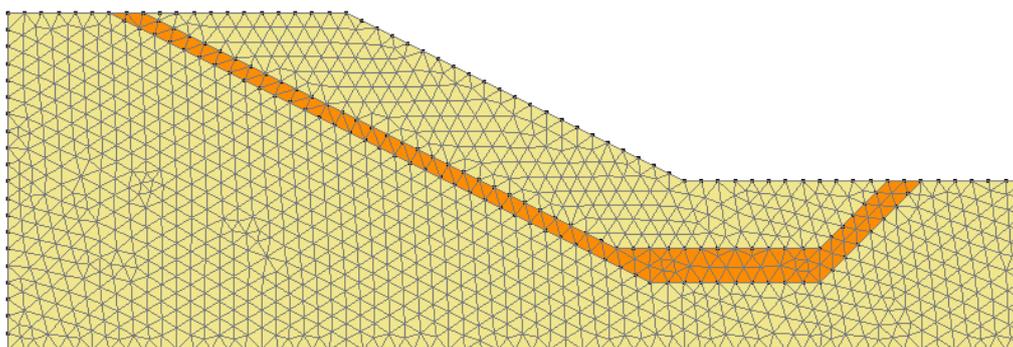
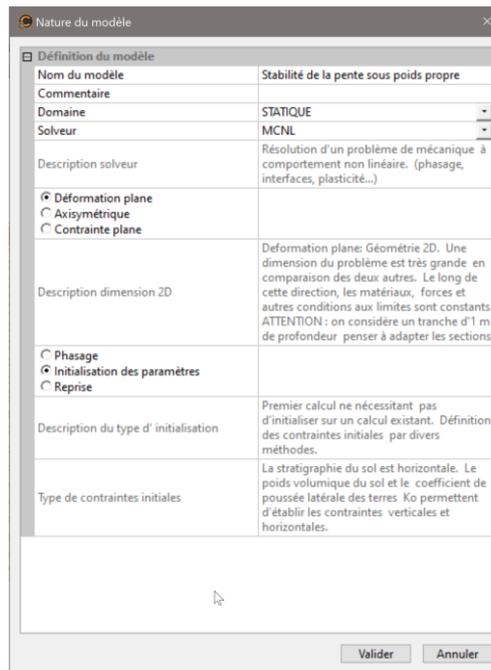


Figure 4: Exemple de maillage

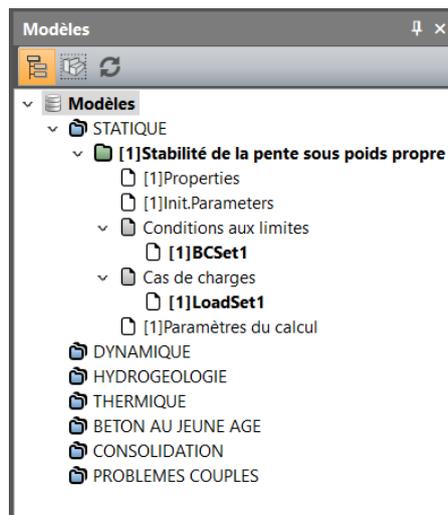
3.4. Propriété de calcul pour l'analyse de réduction avec c/ϕ

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. Entrez **Stabilité de la pente sous poids propre** comme "Nom du Modèle".
3. Sélectionnez **MCNL** comme "Solveur".
4. Cochez **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 **PROPRIÉTÉS**.

1. Cliquez sur  **Propriétés des blocs surfaciques**.
2. Nommez chaque propriété choisie (exemple "Talus").
3. Dans les **Paramètres d'élasticité**, choisissez "Elasticité linéaire isotrope" et définissez ρ , E and ν .
4. Dans les **Paramètres de plasticité**, choisissez "Mohr-Coulomb sans écrouissage" et définissez c , ϕ and ψ .
5. Cliquez 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. Cliquez sur **Valider** puis **Fermer**.

	ρ (kg/m ³)	E (MN/m ²)	ν	c (MN/m ²)	ϕ (°)	ψ (°)
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. Cliquez sur l'onglet  **Appliquer les propriétés**.
2. A gauche, une nouvelle fenêtre est affichée. Cliquez sur  **Propriétés des blocs surfaciques**.
3. Sélectionnez un bloc sur le modèle et les paramètres dans le déroulé.
4. **Appliquer**.
5. Recommencez les opérations pour tous les blocs du modèles.

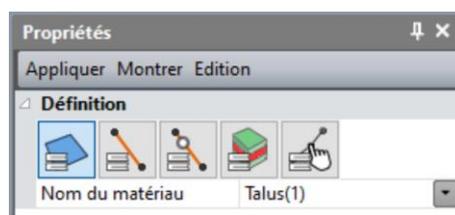


Figure 6: Fenêtre pour assignation des propriétés

Conditions limites :

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

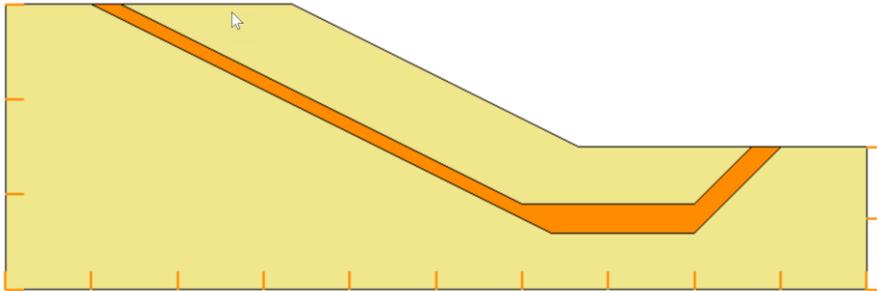


Figure 7: visualisation des conditions aux limites

Chargement :

1. Allez dans l'onglet **CHARGEMENT**.
2. Activez **Forces de pesanteur** .
3. Sélectionnez tous les blocs.
4. Cliquez sur **Appliquer**.
5. Facultative : Il est possible de modifier le nom assigné par défaut aux données de chargement. Utilisez la touche [F2] ; entrez par exemple **Poids propre**.

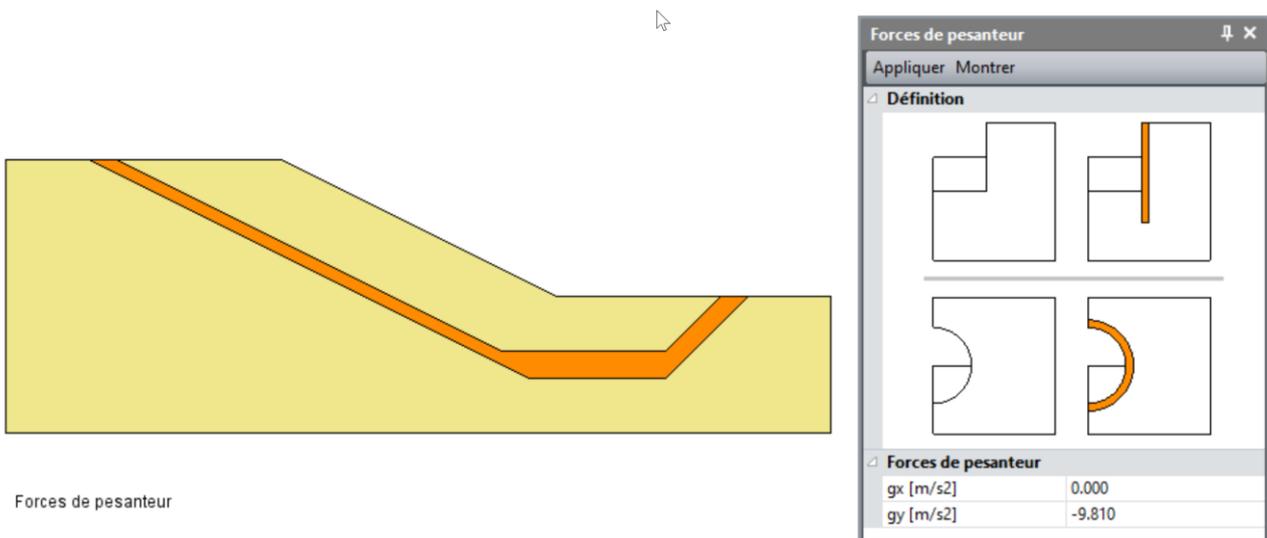


Figure 8: affectation des forces de pesanteur sur le modèle

Paramètres des calculs :

1. Dans l'onglet **CALCULS**, activez l'icône  **Paramètres du calcul**.
2. Dans la section des **Paramètres généraux**, entrer les valeurs suivantes :
 - Processus itératif :
 - Nombre max d'incréments : 1
 - Nombre max d'itérations par incrément : 1000
 - Tolérance : 0,001
 - Méthode de résolution : 1- initial stresses
 - Type d'algorithme de résolution : Multi frontal
 - Type de calcul : c/phi réduction
 - Détection de la non convergence
 - Valeur min 0,01
 - Valeur max 5
 - Précision 0,01
 - Stockage
 - Stockage des déformation totales
 - Stockage des déformations plastiques :
3. Cliquez sur **Valider**.

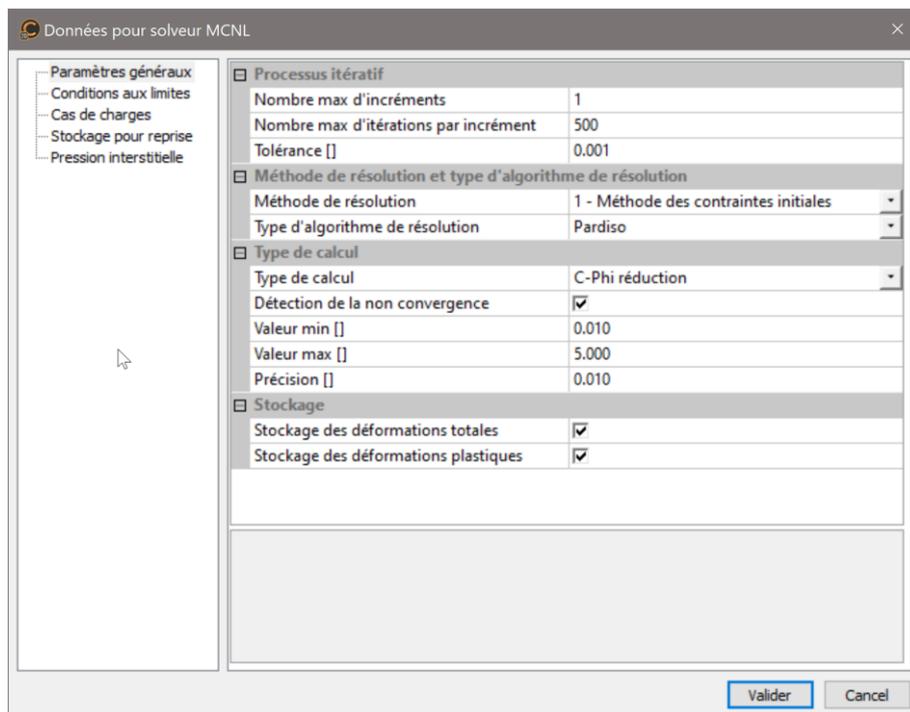
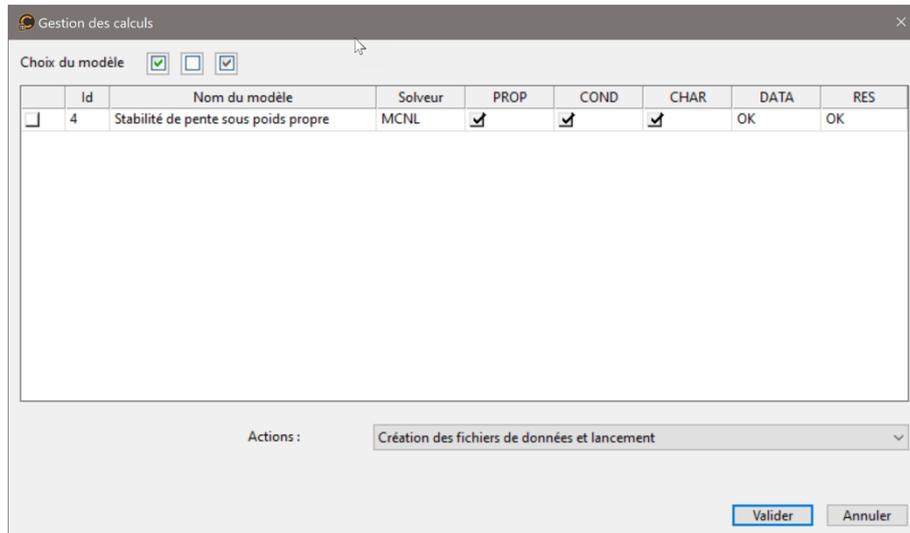


Figure 9: Fenêtre d'entrée des paramètres de calcul

4. ANALYSE

1. Allez dans l'onglet **CALCULS**.
2. Cliquez sur  **Gestion des calculs**.
3. Sélectionnez le modèle "Stabilité de la pente sous propre poids".
4. Sélectionnez **Création des fichiers de données et lancement**. Cliquez 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).

5. RÉSULTATS

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 0.495.

5.1. Affichage des résultats

Dernière convergence

1. Cliquez sur **RÉSULTATS**.
2. Cliquez sur  **Types de résultats**.
 - Sélectionnez le maillage **Déformé** dans le modèle
 - **Isovaleurs**
 - Activez la case
 - Sélectionnez $\epsilon_{1,p}$,
 - Cliquez sur **Appliquer**.
3. Cliquez sur  **Options isovaleurs**.
 - **Options isovaleurs**
 - Activez
 - Style : Zone
 - Cliquez sur **Appliquer**.
4. Cliquez sur  **Légende**.
 - Sélectionnez **Isovaleur** comme *Légende*
 - Cliquez sur **Appliquer**.

La figure montre le mécanisme de rupture classique sur la maille déformée. Elles se concentrent bien sûr dans la couche médiocre.

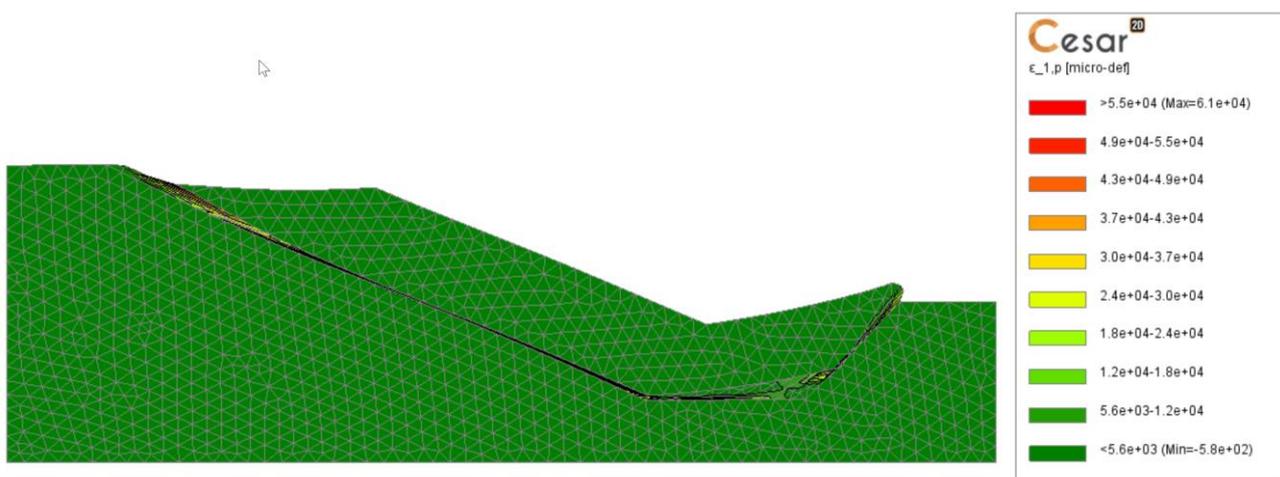


Figure 10: Plasticité et maillage déformé

Edité par :



8 quai Bir Hakeim

F-94410 SAINT-MAURICE

Tél. : +33 1 49 76 12 59

cesar-lcpc@itech-soft.com

www.cesar-lcpc.com

© itech - 2020