



D. TUTORIELS ET EXEMPLES

INTRODUCTION	3
PARTIE 1 : TUTORIELS	4
D.1 Tutoriel 1 : Mur cloué	5
D.1.1 Etape 1 : propriétés du projet.....	6
D.1.2 Etape 2 : définition de la géométrie	9
D.1.3 Etape 3 : définition des caractéristiques de sol.....	13
D.1.4 Etape 4 : définition des surcharges.....	15
D.1.5 Etape 5 : définition des clous.....	17
D.1.6 Etape 6 : définition des niveaux de terrassement intermédiaires.....	20
D.1.7 Etape 7 : définition de la phase 1.....	21
D.1.8 Etape 8 : définition de la phase 2.....	30
D.1.9 Etape 9 : définition de la phase 3.....	32
D.1.10 Etape 10 : définition de la phase 4 (phase définitive)	34
D.2 Tutoriel 2 : Stabilité de pente sous nappe	38
D.2.1 Importation des données du fichier Plaxis 2D.....	39
D.2.2 Variante : définition du modèle dans Talren v5.....	39
D.2.3 Définition de la 1 ^{ère} phase (nappe au repos).....	42
D.2.4 Définition de la 2 ^{ème} phase (vidange rapide).....	44
D.2.5 Définition de la 3 ^{ème} phase (vidange lente).....	48
D.2.6 Synthèse des résultats obtenus.....	49
D.3 Reprise des 2 premiers tutoriels avec la méthode du calcul à la rupture	50
D.3.1 Tutoriel 1 : Mur cloué (calcul à la rupture)	50
D.3.2 Tutoriel 2 : Stabilité de pente sous nappe (calcul à la rupture)	52
D.3.3 Remarques sur la comparaison calcul à la rupture / calcul Bishop.....	55
D.4 Tutoriel 3 : Stabilité d'une pente naturelle avec des pieux - Surfaces de rupture polygonales (non circulaires)	56
D.4.1 Définition des propriétés du projet	56
D.4.2 Définition de la géométrie du projet	58
D.4.3 Définition des caractéristiques de sol	59
D.4.4 Définition des renforcements	60
D.4.5 Définition de la phase 1	61
D.4.6 Définition de la phase 2	67
D.5 Tutoriel 4 : Estimation des diagrammes de poussée/butée limite par la méthode du calcul à la rupture	68
D.5.1 Présentation de l'étude et du principe de calcul.....	68
D.5.2 Définition des propriétés du projet	69
D.5.3 Définition de la géométrie	70
D.5.4 Définition des caractéristiques du sol	70
D.5.5 Etape 1 : recherche de la poussée limite (p_a)	71
D.5.6 Etape 2 : Recherche de la butée limite (p_b)	78
D.6 Tutoriel 5 : Etude d'un gabion cellulaire par la méthode du calcul à la rupture (spirales à concavité vers le haut ou vers le bas)	86
D.6.1 Présentation de l'étude	86
D.6.2 Définition de la géométrie	87
D.6.3 Définition des surcharges	88
D.6.4 Définition des caractéristiques de sol	90
D.6.5 Définition de la phase 1	91

PARTIE 2 : EXEMPLES D'APPLICATION DE TALREN.....	96
D.7 Exemple 1 : reprise en sous-œuvre d'un bâtiment.....	97
D.8 Exemple 2 : stabilité d'un talus provisoire	98
D.9 Exemple 3 : stabilité d'un soutènement par géogrilles.....	99
D.10 Exemple 4 : réfection d'une chaussée après glissement	101
D.11 Exemple 5 : soutènement (microberlinoise)	102
D.12 Exemple 6 : stabilisation superficielle d'un talus	103
D.13 Exemple 7 : géotextile à la base d'un remblai sur sol mou	104
D.14 Exemple 8 : anisotropie de cohésion.....	105
D.15 Exemple 9 : courbe intrinsèque non linéaire	106
D.16 Exemple 10 : fouille butonnée en zone sensible	107
D.17 Exemple 11 : barrage avec approche de l'écoulement	108
D.18 Exemple 12 : stabilité d'une culée en terre armée.....	110
D.19 Exemple 13 : calage des caractéristiques sur une surface de rupture	111
D.20 Exemple 14 : paroi moulée avec 2 nappes d'eau.....	112
D.21 Exemple 15 : soutènement cloué	114
D.22 Exemple 16 : stabilité d'un quai en cylindres de béton	116
D.23 Exemple 17 : stabilisation d'un glissement par pieux.....	118
D.24 Exemple 18 : stabilisation d'un remblai sur sol mou par micropieux	120
D.25 Exemple 19 : soutènement sur pente	121
D.26 Exemple 20 : ouvrage tiranté	122
D.27 Exemple 21 : remblai sur sol de cohésion variable avec la profondeur	123
D.28 Exemple 22 : stabilisation par pieux avec cisaillement variable	124
D.29 Exemple 23 : coefficient ru	126
D.30 Exemple 24 : construction d'un mur d'autoroute	127

INTRODUCTION

Cette partie du manuel a pour vocation de présenter plusieurs tutoriels et exemples d'application de Talren pour des projets que l'on rencontre habituellement.

Les **tutoriels** sont issus de cas d'études. Le but étant de montrer la manière par laquelle il convient de les aborder sur Talren, nous préciserons toutes les manipulations à réaliser ainsi que les réflexions à mener afin de garder un œil critique lors de l'analyse des résultats obtenus.

Les autres **exemples d'application** présentés ensuite permettent de montrer et d'apprécier le champ d'application de Talren et en particulier des méthodes de calcul qui sont proposées.

PARTIE 1 : TUTORIELS

Ce chapitre présente 5 tutoriels différents portant sur des cas d'étude courants :

- **Tutoriel 1** : mur cloué
- **Tutoriel 2** : stabilité de pente sous nappe
- **Tutoriel 3** : stabilité d'une pente naturelle avec des pieux
- **Tutoriel 4** : estimation des diagrammes de poussé/butée limites d'un sol
- **Tutoriel 5** : étude d'un gabion cellulaire

Le 1^{er} tutoriel explicite toutes les manipulations de l'interface nécessaires pour définir le projet. Dans l'optique d'alléger l'ensemble des explications, les autres tutoriels ne seront pas aussi explicites que le 1^{er} tutoriel, mais ils fournissent bien-sûr toutes les indications nécessaires.

Les tutoriels 1 et 2 font intervenir la méthode de Bishop (méthode des tranches). Une approche différente est présentée ensuite en abordant les mêmes tutoriels avec la méthode de calcul à la rupture (plus exhaustive).

Le tutoriel 3 est abordé avec la méthode de calcul des perturbations.

Les tutoriels 4 et 5 sont abordés exclusivement avec la méthode de calcul à la rupture.

D.1 Tutoriel 1 : Mur cloué

L'objet de ce premier tutoriel est de détailler les manipulations permettant la vérification de la stabilité d'un projet de mur cloué illustré sur la figure suivante. La géométrie du projet est définie sur la Figure 2

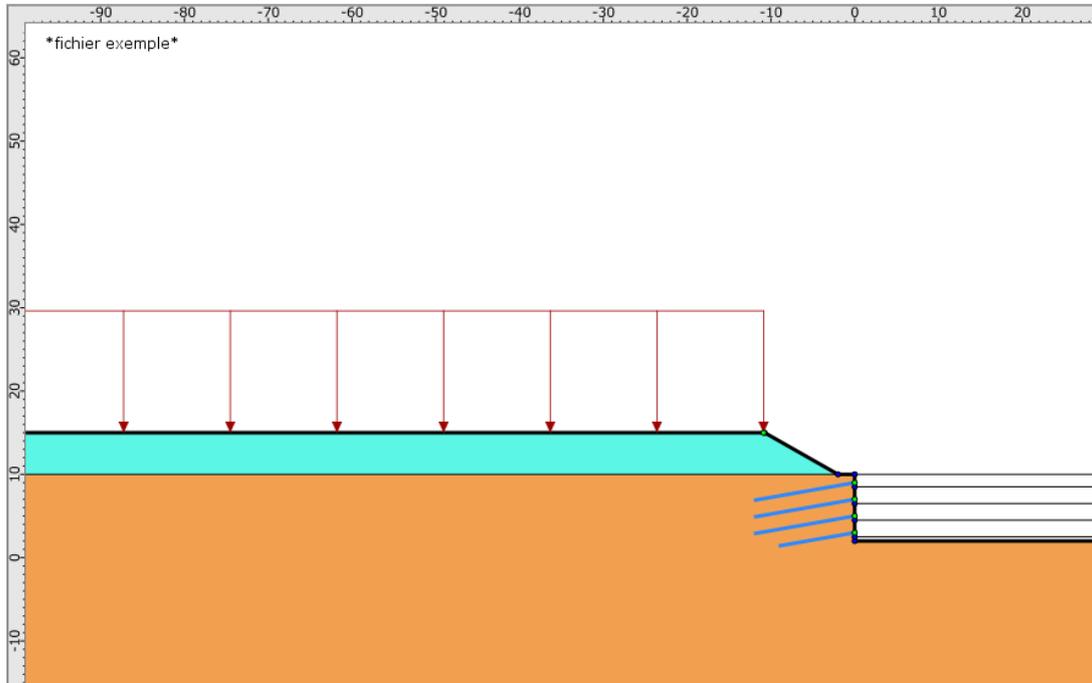


Figure 1. Projet de mur cloué

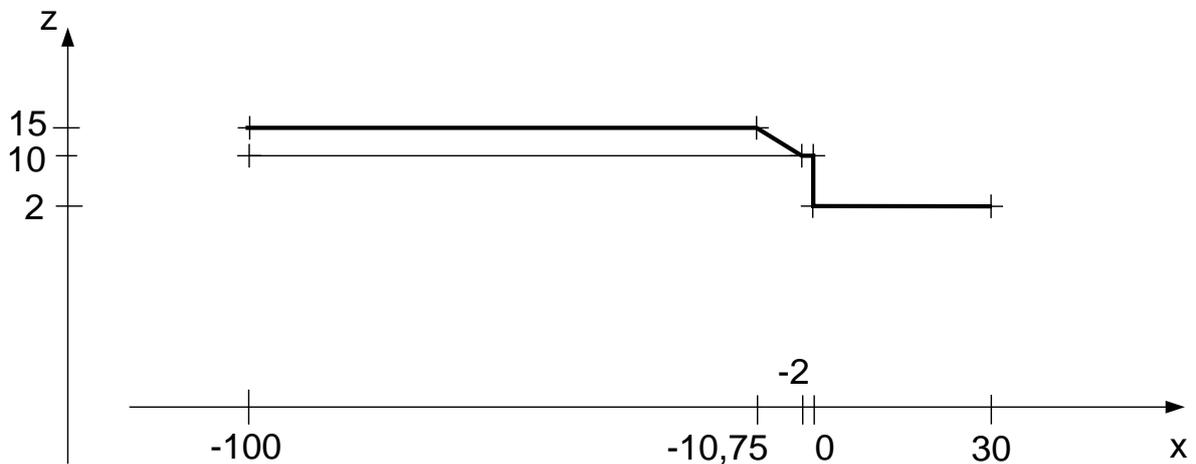
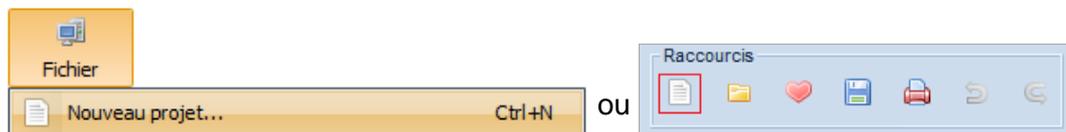


Figure 2. Géométrie du projet

D.1.1 Etape 1 : propriétés du projet

- Lancer Talren en utilisant le menu « Démarrer » de Windows ou en cliquant sur l'icône située sur le bureau Windows® ;
- Sélectionner le menu « **Fichier** » puis l'option « **Nouveau projet ...** » ou cliquer sur l'icône  de la barre de boutons des « **Raccourcis** ».



- Sélectionner un répertoire d'enregistrement du projet et donner un nom au fichier du projet (d'extension .t5p).
- L'interface suivante est alors affichée. Elle est bien sûr encore "vide" puisqu'aucune donnée n'a été saisie.

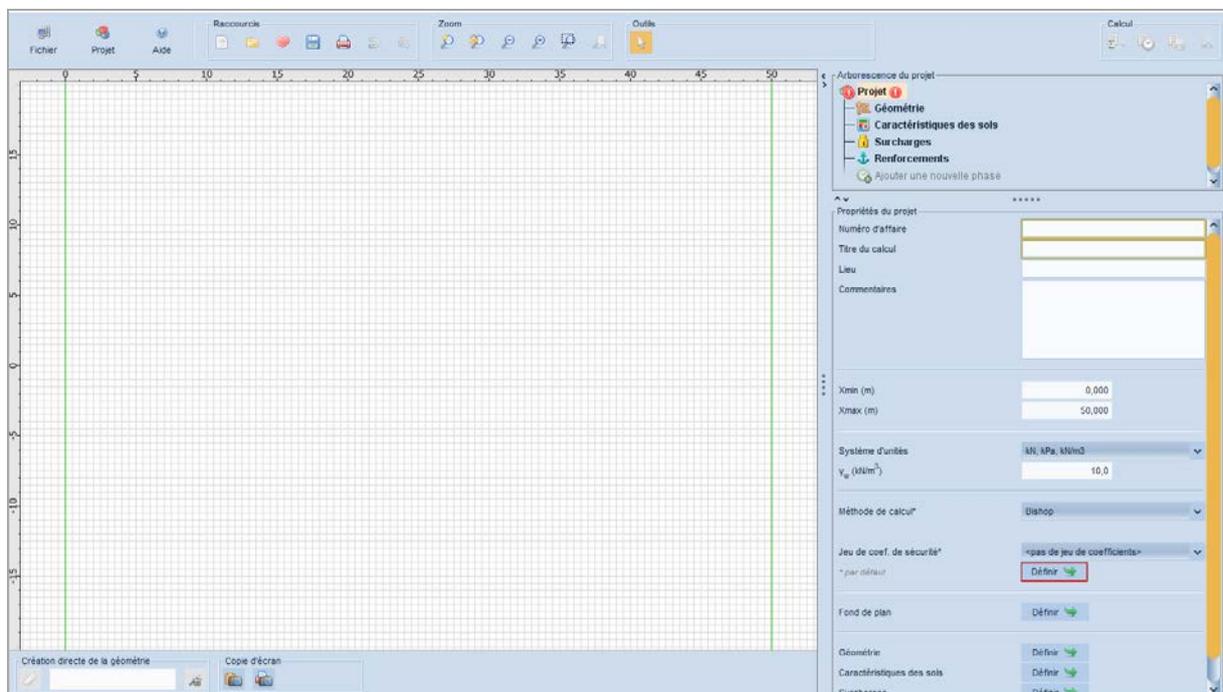
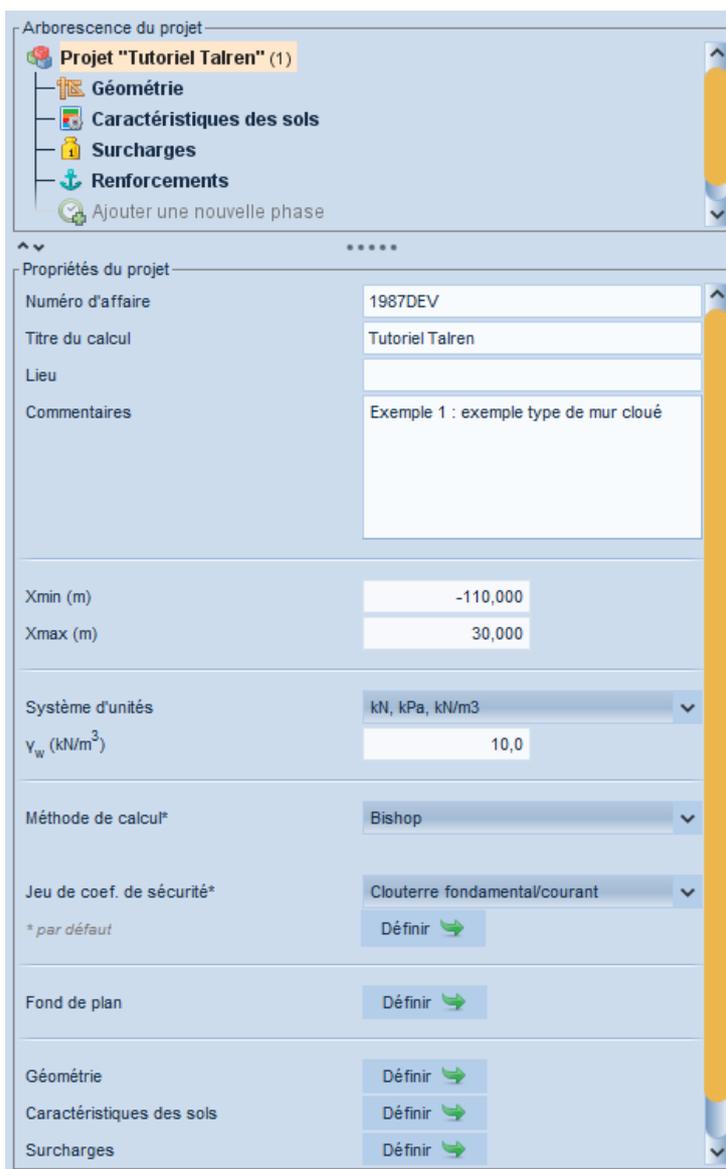


Figure 3. Création d'un nouveau projet – fenêtre principale

- Compléter la partie **Propriétés du projet**  dans le volet à droite de la fenêtre principale avec les informations demandées (cf. Figure 4) :
 - Concernant X_{\min} et X_{\max} : il ne s'agit pas que d'une configuration de l'affichage graphique. **X_{\min} et X_{\max} définissent la largeur sur laquelle le projet doit être impérativement défini.** L'enveloppe sera automatiquement reconnue entre X_{\min} et X_{\max} : si les segments du projet n'atteignent pas ces bornes, l'enveloppe ne sera pas reconnue et le calcul sera impossible.
 - Système d'unités : il sera valable pour tout le projet.



Arborescence du projet	
Projet "Tutoriel Talren" (1)	
Géométrie	
Caractéristiques des sols	
Surcharges	
Renforcements	
Ajouter une nouvelle phase	

Propriétés du projet	
Numéro d'affaire	1987DEV
Titre du calcul	Tutoriel Talren
Lieu	
Commentaires	Exemple 1 : exemple type de mur cloué
Xmin (m)	-110,000
Xmax (m)	30,000
Système d'unités	kN, kPa, kN/m3
Y_w (kN/m ³)	10,0
Méthode de calcul*	Bishop
Jeu de coef. de sécurité*	Clouterre fondamentale/courant
* par défaut	Définir →
Fond de plan	Définir →
Géométrie	Définir →
Caractéristiques des sols	Définir →
Surcharges	Définir →

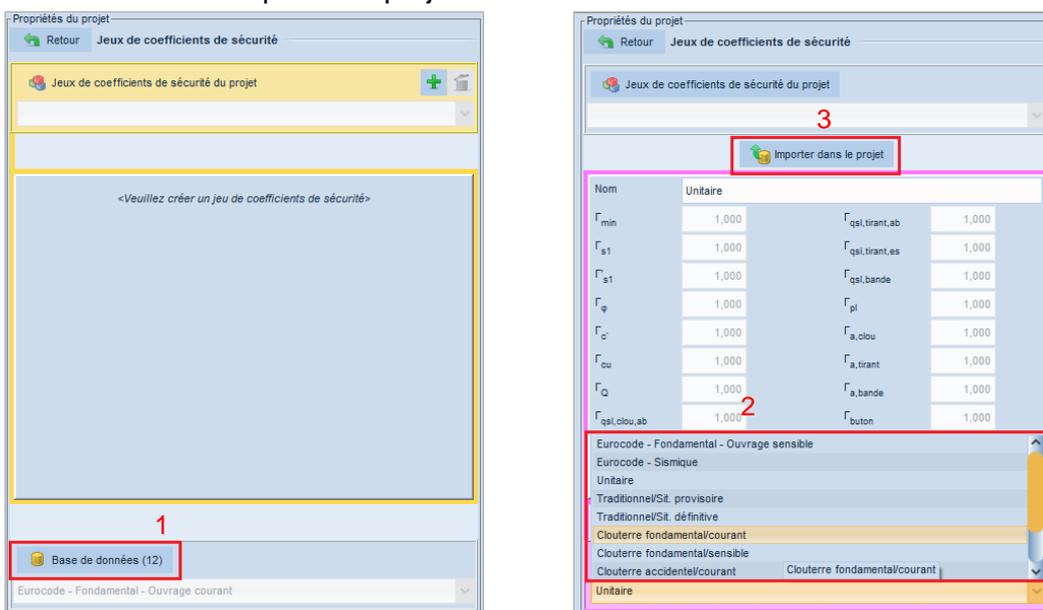
Figure 4. Description générale

- Méthode de calcul et pondérations par défaut : il s'agit des choix qui seront ensuite retenus comme valeurs par défaut lors de la définition des situations (mais toujours modifiables pour chaque situation individuellement).

Par exemple, si vous définissez un projet avec plusieurs phases et plusieurs situations, et que vous souhaitez effectuer tous les calculs avec la même méthode de calcul et le même jeu de pondérations, définissez ces paramètres comme valeurs par défaut dans les **Propriétés du projet** : ils seront ensuite repris par défaut pour toutes les situations définies. Sinon, il conviendra de redéfinir ces paramètres pour chaque situation.

- Pondérations par défaut (cf. Figure 5) : cliquer sur le bouton **Définir** puis cliquer sur le bouton **Base de données (12)** (1) en bas du volet de propriétés. Sélectionner le jeu de pondérations souhaité dans la liste déroulante (2) et cliquer sur le bouton **Importer dans le projet** (3). Compléter/modifier si nécessaire le jeu de pondérations choisis (4). Puis valider par le bouton **Retour** (5).

Nota important : dans le cas de ce tutoriel, les coefficients de sécurité partiels relatifs aux tirants, bandes et butons ont été complétés pour pouvoir valider l'écran, mais ne seront pas utilisés lors du calcul (seuls ceux des clous seront utilisés). Les valeurs définies ne constituent donc en aucun cas un exemple ou une référence à réutiliser : il faut définir pour chaque étude des valeurs issues des normes ou recommandations adaptées au projet traité.



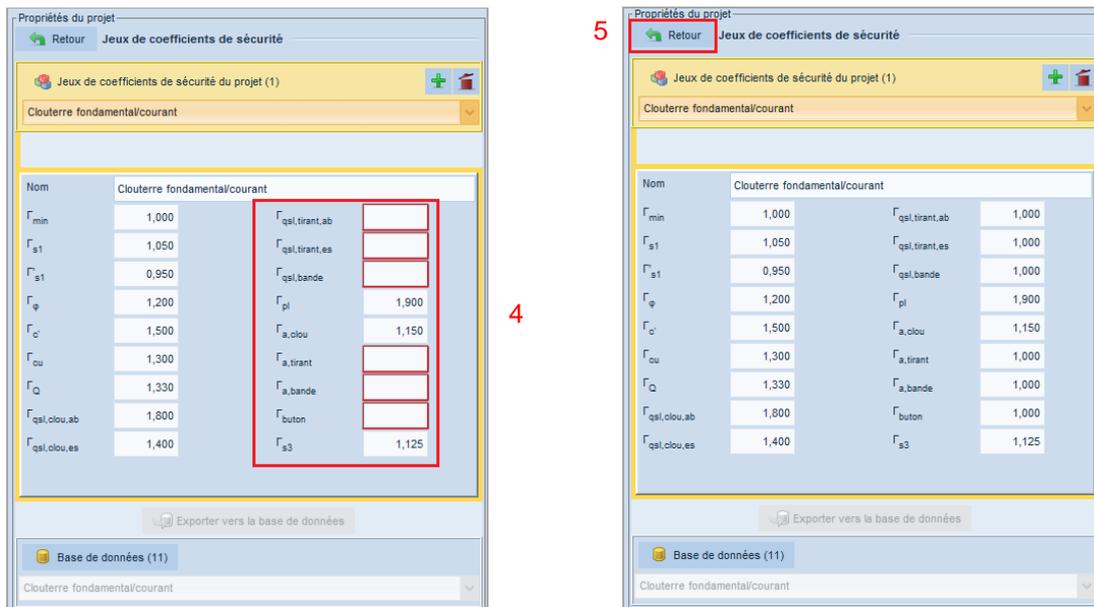


Figure 5. Choix d'un jeu de coefficients partiels de pondération/sécurité

D.1.2 Etape 2 : définition de la géométrie

Cliquer sur l'item **Géométrie**  du volet de l'arborescence (en haut à droite).

Les coordonnées des points définissant la géométrie du talus ainsi que les limites de couches sont définies sur la Figure 2.

Important : il faut également définir à ce stade tous les niveaux de terrassement qui seront utilisés lors de la définition du phasage.

Pour représenter cette géométrie, vous avez plusieurs possibilités :

1. Dessin à la souris ;
2. Saisie des coordonnées directement sur l'écran principal ;
3. Utilisation du volet des propriétés.

Nous allons utiliser dans cet exemple successivement les 3 méthodes possibles.

1. Dessin à la souris :

- Tout d'abord, pour faciliter le dessin à la souris, il est recommandé d'activer l'affichage d'une grille et l'accrochage à cette grille. Pour cela, cliquer sur le menu **Projet**  puis sur l'option **Paramètres avancés...** . Vous pourrez alors paramétrer l'espacement des points de la grille : choisir ici une **Taille de grille** égale à 0,25 m par exemple et laisser cochée la case **Afficher la grille** puis fermer la fenêtre en cliquant sur le bouton **Fermer**. Les incréments de 0,25 m seront utilisés lors des clics sur le dessin pour définir la position des points. Plus la grille est fine, plus le tracé sera précis.
- Pour dessiner la géométrie à la souris, cliquer sur le bouton **Créer des points et des segments**  de la barre des **Outils**. Cliquer ensuite sur le premier point de la géométrie à représenter, puis déplacer la souris et cliquer au 2^{ème} point : un segment entre les 2 points est créé. Si vous voulez définir des points sans les relier par des segments, appuyez tout simplement sur la touche *Echap* entre 2 clics. L'objectif est d'obtenir le même dessin que celui de la Figure 6.

Astuces de dessin :

- Pour supprimer un point : cliquer dessus, puis appuyer sur la touche « Suppr » du clavier. La suppression fonctionne de façon analogue pour les segments et de façon plus générale pour les autres éléments dessinés.
- Si vous avez placé un point à côté de la position souhaitée, cliquer sur le bouton **Modifier des points**  de la barre des **Outils**, puis cliquer sur le point à déplacer : vous pourrez alors le faire glisser à l'aide de la souris ou corriger ses coordonnées dans le tableau. Cliquer sur **Créer des points et des segments**  afin de poursuivre la définition de la géométrie.
- Vous pouvez à tout moment annuler/rétablir les dernières actions dans la construction de la géométrie en cliquant sur le bouton **Annuler**  ou sur le bouton **Refaire**  dans la barre des « Raccourcis ».
- Les coordonnées de la souris sont affichées en permanence en bas à droite de l'écran de dessin. De plus, les coordonnées des points créés apparaissent automatiquement dans le tableau du volet des propriétés à droite.
- Par défaut, les numéros des points et segments sont affichés sur le dessin. Si vous souhaitez retirer cet affichage, utiliser le menu **Projet** , **Paramètres avancés...**  et décocher les cases **Afficher les noms des points** et/ou **Afficher les noms des segments**.
- Plusieurs outils vous permettent de zoomer/dézoomer dans l'affichage graphique à l'aide de la barre d'options **Zoom**, boutons , , ,  et .

Lorsque vous avez terminé de tracer le terrain naturel (TN), celui-ci apparaît en traits épais : l'enveloppe du terrain est reconnue automatiquement.

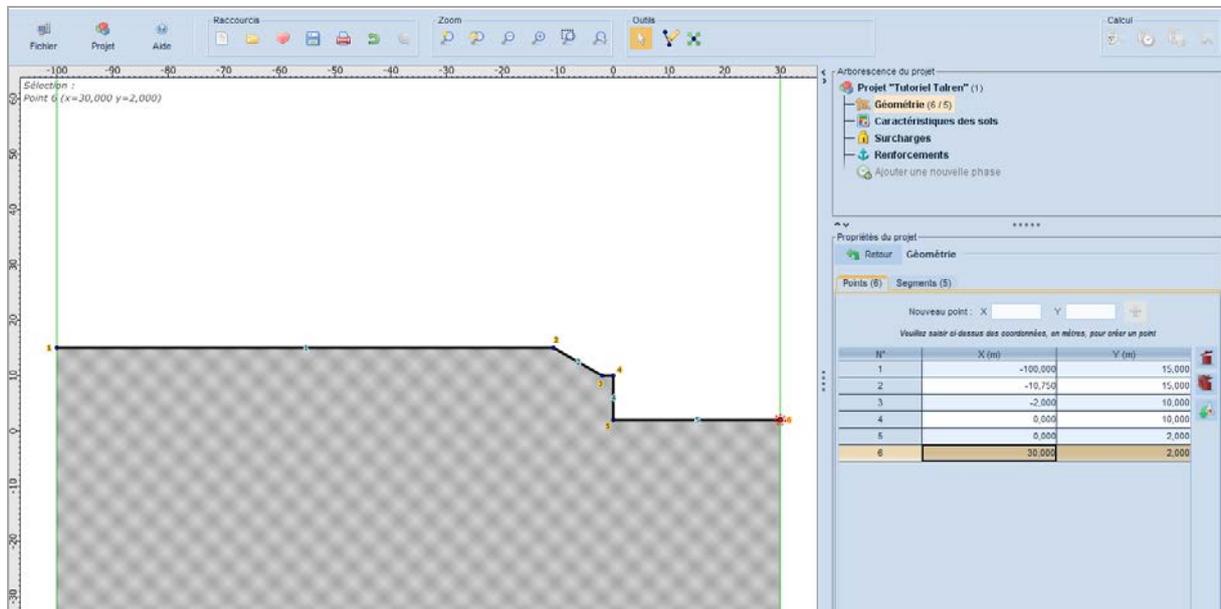
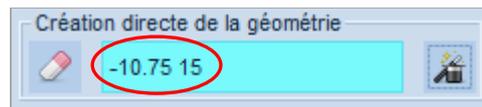


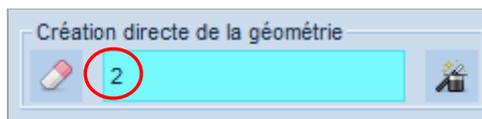
Figure 6. Reconnaissance automatique de l'enveloppe du terrain

2. Saisie des coordonnées directement sur l'écran principal :

- Cliquer dans la zone de saisie dans la barre d'état en bas à gauche de l'écran : saisir les coordonnées X et Y du point à représenter en les séparant par un espace. Ecrire par exemple pour le point 2 : -10.75_15. Puis appuyer sur la touche *Entrée* du clavier. Le fond de la zone de saisie devient alors bleu, cela signifie que le prochain point saisi sera relié au précédent par un segment. Pour "lever le crayon", appuyer sur la touche *Echap* du clavier. Le fond de la case de saisie redevient alors blanc. Le prochain point saisi ne sera pas relié au précédent par un segment. Vous pouvez à tout moment passer du mode dessin à la souris au mode de saisie des coordonnées.



- Cette même zone de saisie peut être utilisée pour relier des points déjà créés. Par exemple, pour relier le point 2 au point 3 : saisir 2, appuyer sur la touche *Entrée* du clavier puis saisir 3 et la touche *Entrée* de nouveau : il est donc possible de saisir indifféremment soit des couples de coordonnées, soit des numéros de points existants. De même que précédemment, pour "lever le crayon", appuyer sur la touche *Echap* du clavier.



3. Pour saisir ou vérifier la géométrie via le tableau du volet des propriétés :

- Choisir l'item **Géométrie**  de l'arborescence du projet. Les propriétés du projet de la Figure 7 apparaissent (onglets **Points** et **Segments**). Si vous avez déjà saisi des points à la souris, ceux-ci figurent dans le tableau.
- Pour corriger des coordonnées, cliquer simplement dans les cases correspondantes. Pour saisir de nouveaux points, compléter les 2 cases correspondantes aux coordonnées X et Y puis cliquer sur le bouton **Ajouter nouveau point** .

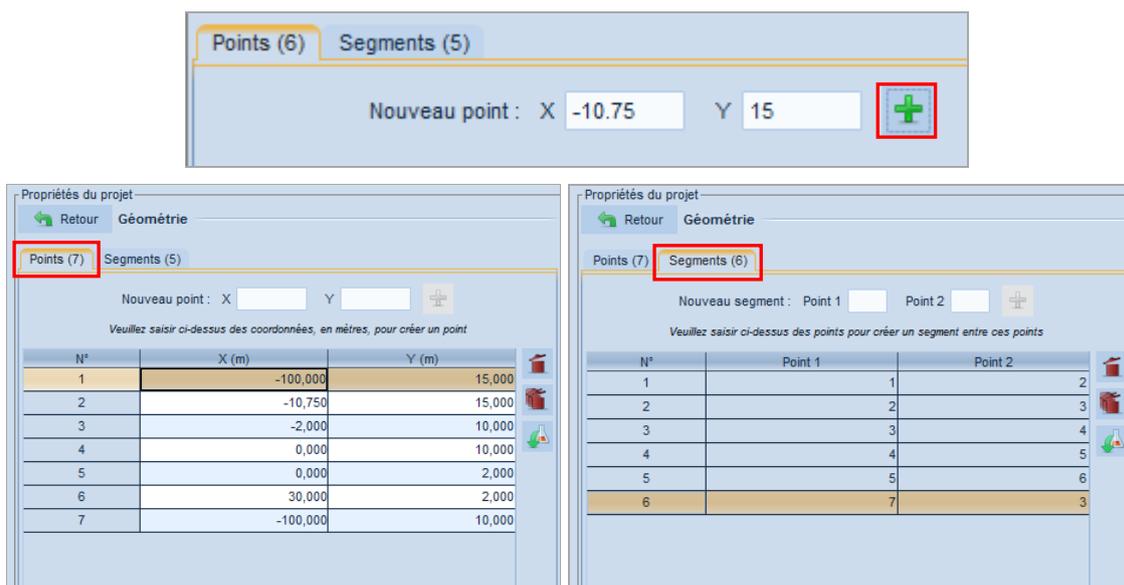


Figure 7. Volet des propriétés "Géométrie du projet", onglets "Points" et "Segments"

Astuce : pour passer d'une case à l'autre (de gauche à droite sur la même ligne, ou à la ligne suivante en fin de ligne), l'utilisateur peut utiliser la touche *Tab* du clavier. La combinaison des touches *Shift + Tab* permet de se déplacer d'une case à l'autre dans l'autre sens.

Les points créés via ce tableau ne sont pas automatiquement reliés par des segments. Il convient donc de renseigner les segments via le deuxième onglet.

Lorsque tous les points sont définis, cliquer sur l'onglet **Segments** (Figure 7) : le tableau de l'ensemble des segments déjà définis apparaît alors. Il est possible de modifier ou ajouter des segments, comme pour les points.

Si nécessaire, il est possible de gérer l'enveloppe manuellement dans les propriétés de la phase (en modifiant la liste des segments qui la constitue). Mais il est recommandé, si possible, de conserver le mode automatique (pour que l'enveloppe puisse être modifiée automatiquement).

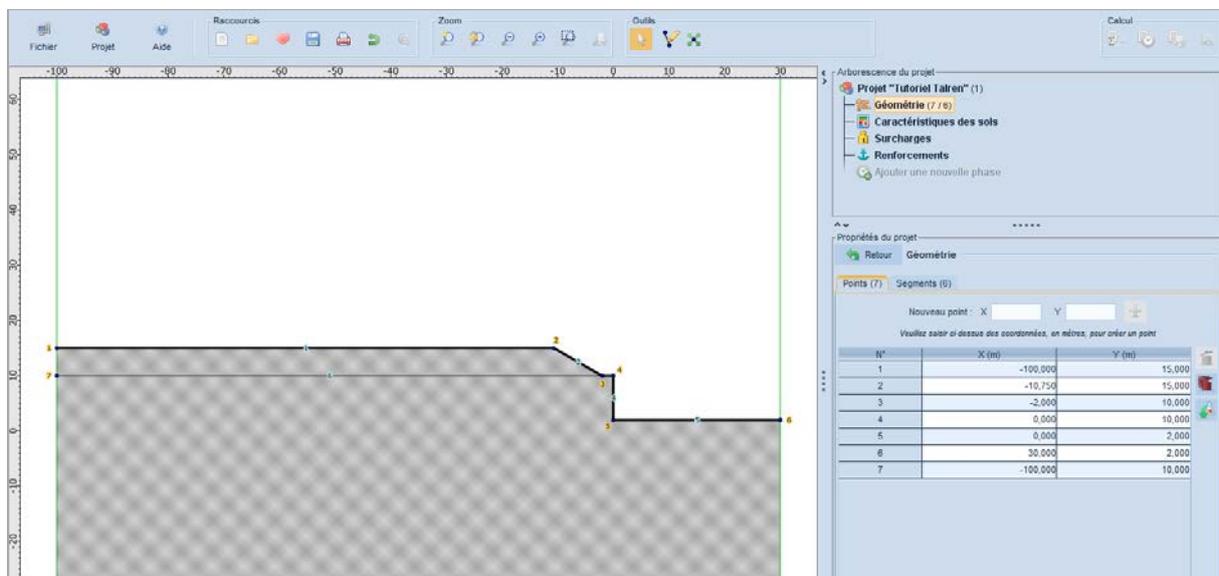


Figure 8. Projet après définition de la géométrie

Remarque importante :

Le projet doit toujours être défini avec l'amont à gauche et l'aval à droite (le sens du glissement doit être de la gauche vers la droite).

Si vous avez défini votre projet dans l'autre sens, vous avez la possibilité de le « retourner » automatiquement avec le menu **Projet**  puis l'option **Retourner la coupe de sol** .

D.1.3 Etape 3 : définition des caractéristiques de sol

Deux couches de sol sont à définir. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous.

Couche de sol	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)	q_s (kPa)
1	20	35	5	-
2	20	30	10	130

Tableau 1. Caractéristiques des sols

1. Sélectionner l'item **Caractéristiques des sols**  de l'arborescence du projet. Cliquer sur le bouton **Créer nouvelle couche de sol**  (1), puis compléter les données pour la première couche (Figure 9). Les unités à utiliser sont celles définies au début du projet. Elles sont rappelées dans tous les écrans de saisie (en l'occurrence, kN, m et degrés).
2. Cliquer à nouveau sur **Créer nouvelle couche de sol**  puis définir les données pour la 2^{ème} couche de sol.
3. Pour passer d'une couche de sol à l'autre, cliquer sur le libellé de la couche dans la liste à gauche de la boîte de dialogue.

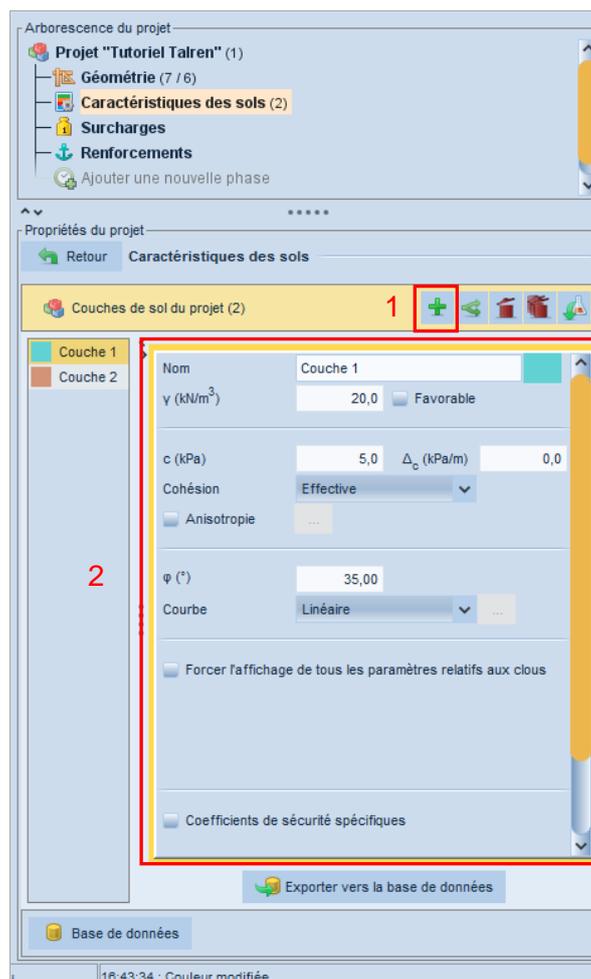


Figure 9. Volet des propriétés des caractéristiques de sols (couche 1)

Il est possible de modifier le nom de la couche dans la case correspondante.

Il est également possible de modifier la couleur de chaque couche en cliquant sur la zone de couleur à côté du nom de la couche.

Pour affecter les couches définies aux différents volumes de sol, effectuer un « cliquer-glisser » depuis la couche de sol des propriétés vers la zone de sol souhaitée : la zone de sol doit prendre la couleur de la couche de sol attribuée. Répéter l'opération pour attribuer des caractéristiques à toutes les zones de sol. Vous devez alors obtenir l'écran illustré sur la Figure 10.

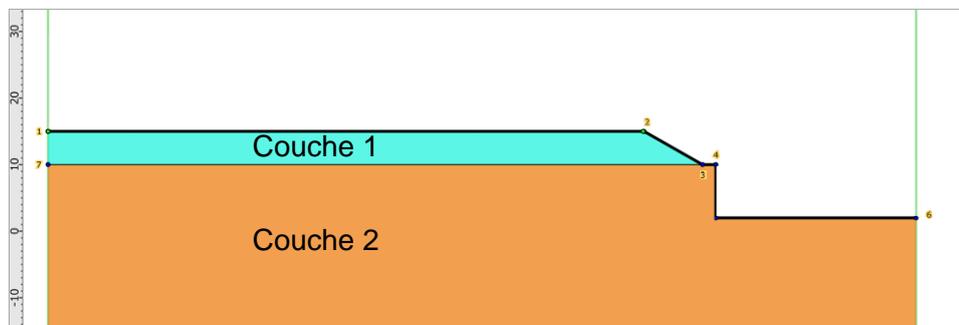


Figure 10. Coupe du projet après attribution des caractéristiques de sol

Pour modifier l'attribution d'une couche de sol, une autre solution consiste à cliquer dans la zone de sol et à choisir dans le menu contextuel la couche de sol voulue.



IMPORTANT

Talren n'affiche que les données strictement nécessaires. Or les clous ne sont pas encore définis, et Talren ne « sait » donc pas encore que les clous traversent la couche 2. La donnée q_s n'est donc pas visible sur la Figure 9, sauf si l'on coche l'option **Forcer l'affichage de tous les paramètres relatifs aux clous** au préalable.

Nous définirons donc cette donnée après avoir défini les clous.

A tout moment, vous avez accès à des tableaux récapitulatifs des caractéristiques des couches de sol, des renforcements et des surcharges, par le menu **Projet** et l'une des 3 options **Tableau récapitulatif...** (exemple ci-dessous). Attention : ces tableaux récapitulatifs permettent la visualisation et l'export des données, mais pas leur modification.

	Nom	Couleur	γ	ϕ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotro...	Favorable	Coefficients de sécurit...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{tan(\phi)}$	Type de c...	Courbe
1	Couche 1		20,0	35,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		20,0	30,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Figure 11. Tableau récapitulatif des caractéristiques des couches de sol

D.1.4 Etape 4 : définition des surcharges

Il s'agit de définir une surcharge répartie sur le segment à la cote +15.0, entre $x = -100$ m et $x = -10,75$ m. Cliquer sur l'item **Surcharges**  dans l'arborescence du projet.

Nous allons utiliser dans cet exemple successivement les 2 méthodes disponibles :

1. Dessin à la souris : cliquer sur le bouton **Créer des charges réparties**  de la barre des **Outils**. Effectuer un « cliquer glisser » de la souris, de la gauche vers la droite afin de déterminer le point gauche puis le point droit de la surcharge. Zoomer puis rectifier manuellement si nécessaire dans les propriétés de la surcharge. La surcharge apparaît alors sur le dessin (par défaut, elle est verticale orientée vers le bas). Il faut ensuite compléter le volet **Propriétés du projet** pour renseigner les propriétés de la surcharge (au moins sa valeur à chaque extrémité).
2. Utilisation du volet des propriétés des surcharges : pour saisir la géométrie d'une surcharge manuellement, ou compléter la définition de surcharges déjà dessinées à la souris, utiliser le volet des propriétés du projet. Si vous avez déjà défini une surcharge à la souris, celle-ci apparaît.

Pour modifier des données, cliquer simplement dans les cases correspondantes. Vous pouvez afficher/masquer les libellés des surcharges sur le dessin grâce au menu **Projet** : option **Paramètres avancés...**  (case à cocher **Afficher les noms des surcharges**).

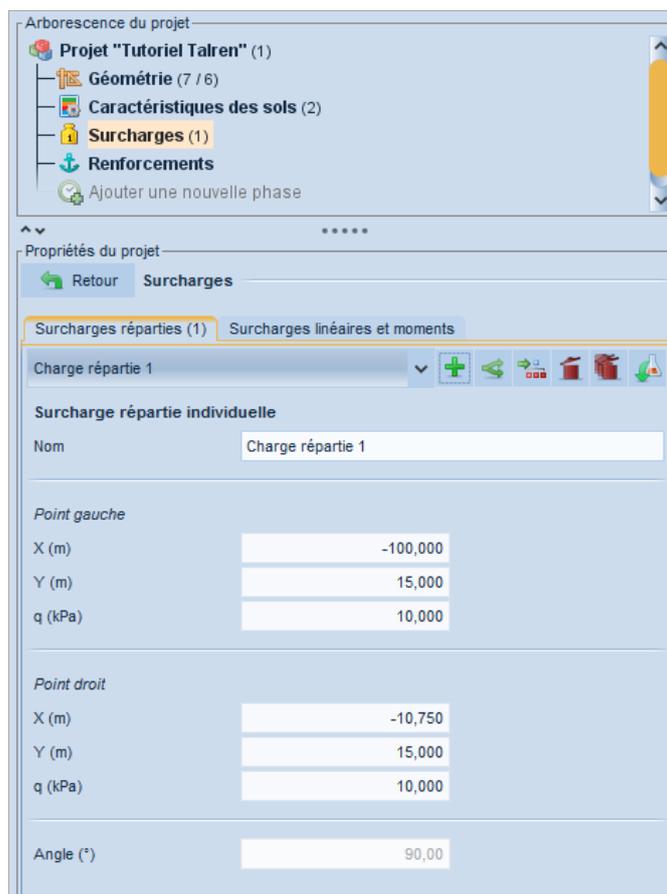


Figure 12. Volet des propriétés « Surcharges », onglet « Surcharges réparties »

Pour modifier une surcharge à la souris, cliquer sur le bouton **Modifier des charges réparties**  de la barre des **Outils** :

- Pour déplacer une extrémité de la zone d'application de la surcharge : cliquer sur le point extrémité de la surcharge à gauche ou à droite. Puis, sans lâcher le bouton gauche de la souris, déplacer le point au nouvel emplacement choisi (si besoin affiner ensuite manuellement dans les propriétés de la surcharge les coordonnées du ou des points déplacés).
- Pour augmenter ou diminuer la valeur de la surcharge à gauche ou à droite : cliquer sur le « coin » haut de la surcharge, à gauche ou à droite, puis, sans lâcher le bouton gauche de la souris, déplacer ce « coin » vers le haut ou vers le bas afin d'augmenter ou de réduire la valeur de cette surcharge.
- Pour déplacer l'ensemble de la surcharge sans autre modification : cliquer sur la surcharge, puis, sans lâcher le bouton gauche de la souris, déplacer l'ensemble.

Pour supprimer une surcharge, il y a 2 possibilités : soit par le volet graphique à gauche en sélectionnant la surcharge et en tapant sur la touche « Suppr », soit par le volet des propriétés en sélectionnant la surcharge dans le menu déroulant et en cliquant sur le bouton **Supprimer la surcharge répartie** .

Nota : La valeur de l'orientation de la surcharge n'est accessible que lorsqu'on sélectionne la méthode **Calcul à la rupture**, sinon celle-ci reste fixée à 90°.

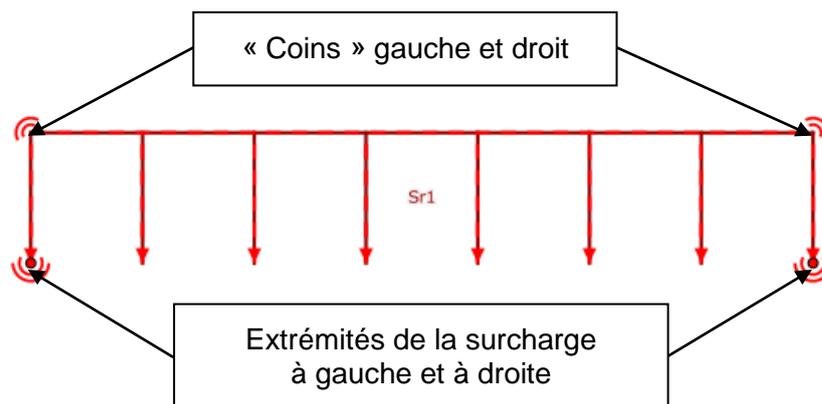


Figure 13. Géométrie des surcharges réparties

D.1.5 Etape 5 : définition des clous

Nous devons définir 4 lits de clous. Il convient de les définir tous dans les propriétés du projet. Ensuite, ils seront activés au fur et à mesure de l'avancement du phasage.

Il existe différents modes de travail des clous (cf. Partie C du manuel). Dans cet exemple, nous souhaitons calculer la traction et imposer un cisaillement nul.

Ils sont tous identiques sauf pour leur longueur et la cote de leur tête. Leurs caractéristiques sont données dans le Tableau 2

Clou	$\varnothing_{\text{barre}}$ (m)	σ_e (MPa)	Esp (m)	X (m)	Y (m)	L (m)	Angle (°)	L_B (m)	A_{LB} (°)	R_e (m)
1	0.04	500	2	0	9	12	10	2	10	0.065
2	0.04	500	2	0	7	12	10	2	10	0.065
3	0.04	500	2	0	5	12	10	2	10	0.065
4	0.04	500	2	0	3	9	10	2	10	0.065

Tableau 2. Caractéristiques des clous

Pour l'ensemble de 4 lits de clous, on choisira également :

- R_{sc} ou q_s issus des Abaques : cela a une incidence sur le coefficient de sécurité partiel pris en compte sur la valeur de q_s ;
- R_{sc} (résistance du scellement) calculée à partir de q_s ;
- Règle de calcul : Traction calculée et cisaillement imposé
- Cisaillement non variable le long du clou ;
- Calcul de la traction seulement sur la partie externe à la surface de rupture.

Cliquer sur l'item **Renforcements**  dans l'arborescence du projet. Il y a deux 2 possibilités pour définir les renforcements : dessin à la souris ou utilisation du volet des propriétés des renforcements dans le volet droit. Nous allons utiliser dans cet exemple successivement les 2 méthodes.

1. Pour dessiner le premier clou, cliquer sur le bouton **Créer des clous**  de la barre des boutons **Outils**. Cliquer ensuite sur la position de la tête du clou à représenter, puis, sans lâcher le bouton gauche de la souris, sur son autre extrémité. Le clou apparaît alors sur le dessin.
2. Pour compléter les données relatives à ce clou (ou le définir complètement si vous ne souhaitez pas effectuer l'étape précédente à la souris), utiliser le volet des propriétés. Si vous avez déjà défini le 1^{er} clou à la souris, l'onglet **Clous** apparaît dans le volet **Renforcements**. Compléter alors ses données (en cliquant simplement dans les cases correspondantes).

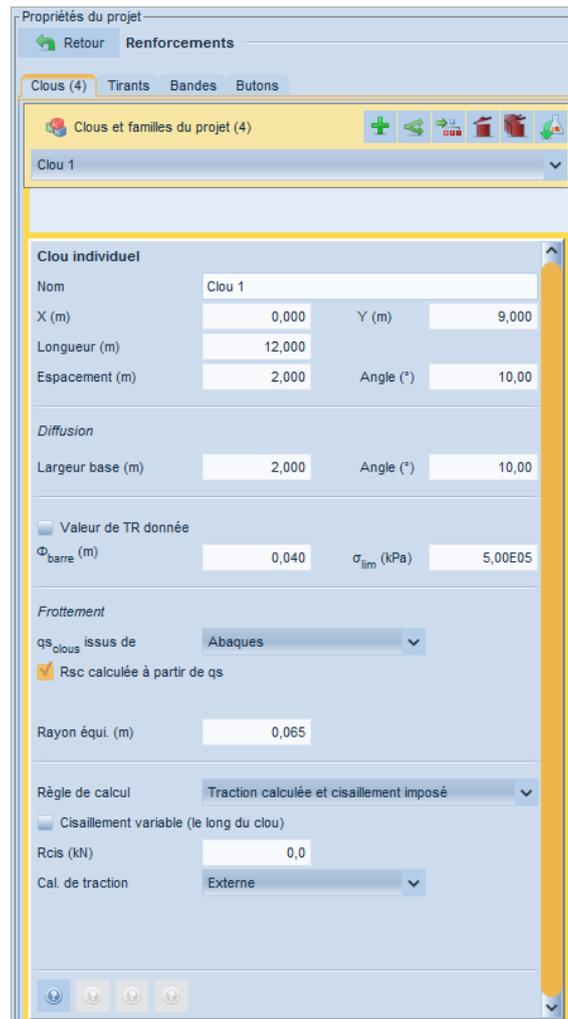


Figure 14. Volet « Renforcements », onglet « Clous »

Il existe une figure d'aide concernant la diffusion des contraintes d'un renforcement en cliquant sur le bouton .

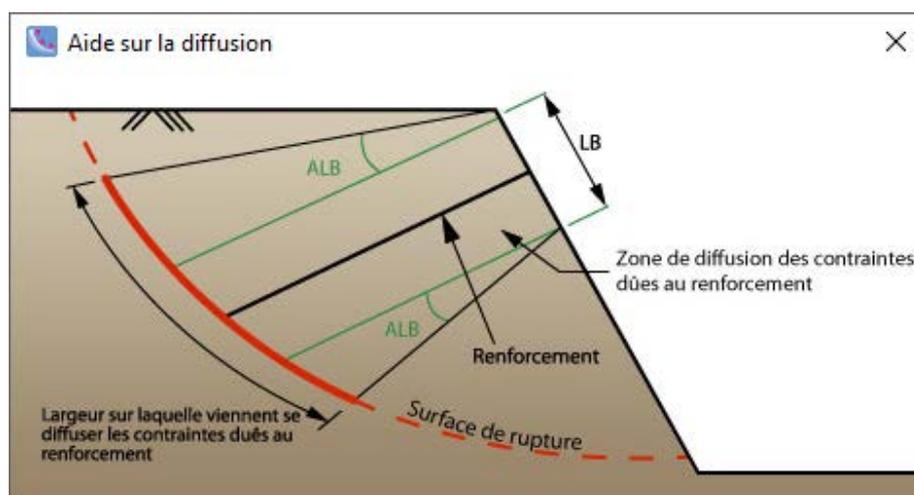


Figure 15. Schéma sur le principe de diffusion de contraintes d'un renforcement

Comme les autres niveaux de clous ont quasiment les mêmes caractéristiques, cliquer sur le bouton **Dupliquer**  3 fois. Sélectionner ensuite chacun des nouveaux clous ainsi créés

(en cliquant dans la liste déroulante) et modifier uniquement ce qui est nécessaire, à savoir : cote de la tête du clou et longueur du clou.

Vous pouvez afficher ou masquer les libellés des clous sur le dessin grâce au menu **Projet**, option **Paramètres avancés...**  (case à cocher « Afficher les noms des renforcements »).

Après définition de tous les clous, vous devez obtenir maintenant le modèle illustré sur la Figure 16.

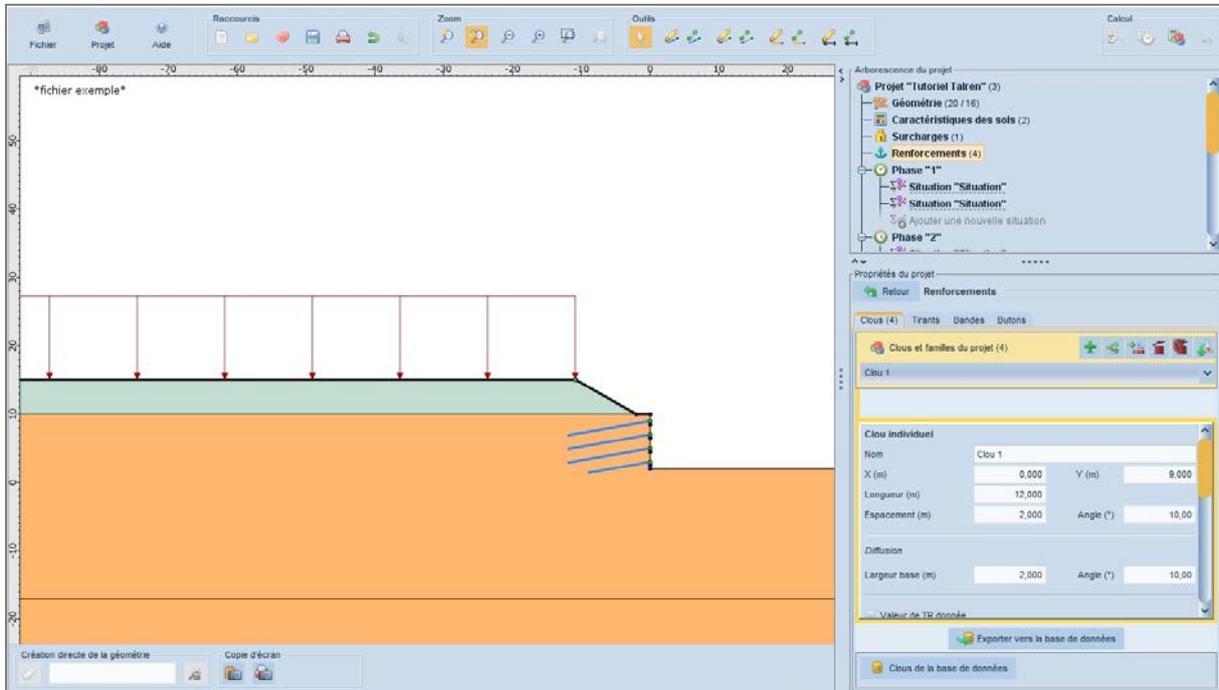


Figure 16. Modèle après définition des clous

Maintenant que les clous ont été définis, il faut retourner dans les **Caractéristiques des sols**  pour définir la valeur de q_s pour la couche 2. Cette fois, la case q_s pour la couche 2 est visible (Figure 17), alors qu'elle ne l'est pas pour la couche 1 : q_s n'est visible pour une couche que si des clous traversent la couche.

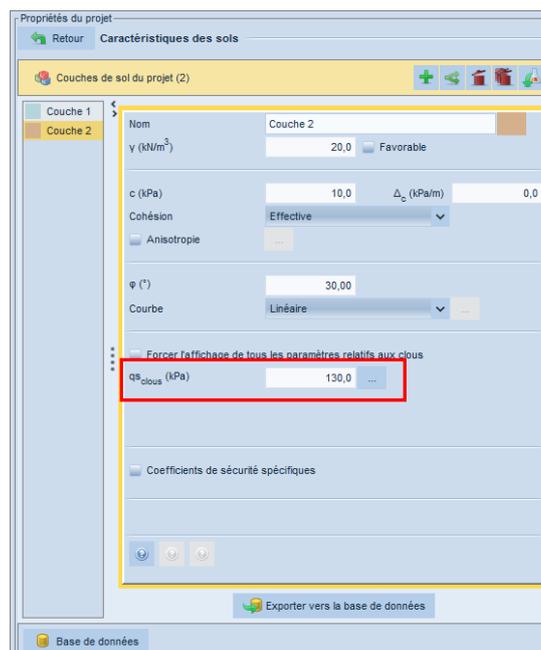


Figure 17. Volet des propriétés des caractéristiques de sols (couche 2)

D.1.6 Etape 6 : définition des niveaux de terrassement intermédiaires

Nous avons défini jusqu'à présent la géométrie de la situation définitive. Mais nous souhaitons également effectuer une vérification des phases provisoires d'exécution. Il faut donc définir des points et segments supplémentaires nécessaires pour les phases de terrassement intermédiaires : cotes +10.0, +8.5, +6.5, +4.5 et +2.5 m (Figure 18). Nous aurions d'ailleurs tout-à-fait pu définir tout de suite (étape 2) l'ensemble de la géométrie.

Le dessin de ces points et segments supplémentaires se fait de façon analogue à la définition de la géométrie initiale (voir étape 2 pour les 3 méthodes possibles). Ensuite, il faut attribuer les caractéristiques de la couche 2 aux nouvelles zones de sol créées.

L'enveloppe est modifiée automatiquement pour correspondre au terrain naturel initial.

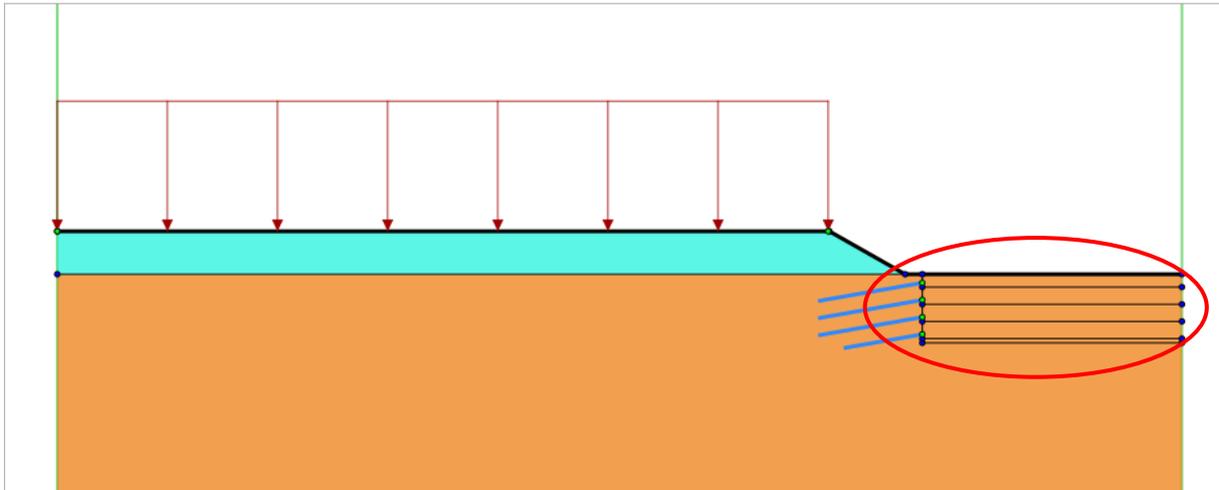


Figure 18. Modèle après définition des terrassements intermédiaires

Toutes les données définissant le projet sont maintenant saisies.

Il faut donc passer à la définition du phasage en cliquant sur **Ajouter une nouvelle phase**  de l'arborescence du projet ou en cliquant sur le bouton  Ajouter une nouvelle phase (2) des propriétés de la phase :

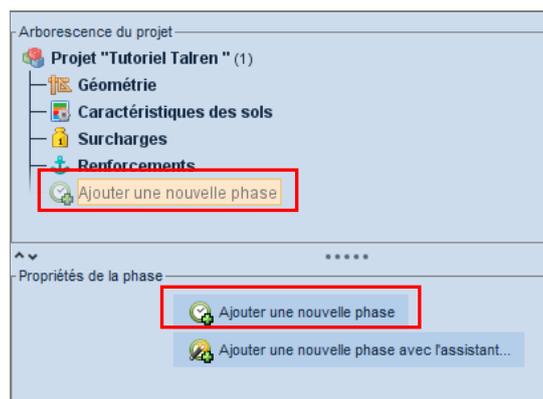


Figure 19. Définition de la 1^{ère} phase

Lors de la création de la 1^{ère} phase, Talren lui attribue par défaut la géométrie et les couches de sol déjà définies à ce moment dans le projet. Les surcharges et les renforcements sont désactivés par défaut. Leur gestion en revient à l'utilisateur.

D.1.7 Etape 7 : définition de la phase 1

La 1^{ère} phase correspond aux opérations suivantes :

- Terrassement à la cote +8,50 (qui permettra d'exécuter le 1^{er} lit de clous).
- Mise en place du 1^{er} lit de de clous.
- Terrassement à la cote +6,50 m.

Par défaut, la 1^{ère} phase est générée automatiquement avec l'activation de toutes les zones de sol et la désactivation de tous les renforcements et des surcharges.

Pour modifier la géométrie du projet dans une phase, il suffit d'activer ou désactiver des zones de sol en cliquant dessus. Il en va de même pour les surcharges et les renforcements.

- Pour créer le 1^{er} niveau de terrassement, il suffit donc de cliquer à l'intérieur des 2 zones de sol figurées comme désactivées (non colorées) sur la Figure 20. Pour activer ou désactiver un élément, il convient de sélectionner une **Phase**  dans l'arborescence du projet, et d'utiliser le bouton  « **Activer des polygones, des charges et des renforcements** » dans la barre d'outils, activé par défaut.
- Pour activer le lit de clous, il suffit de cliquer dessus ou bien d'utiliser le bouton **Activer des renforcements**  pour sélectionner uniquement les éléments de renforcement et de cliquer sur le lit de clou à activer.

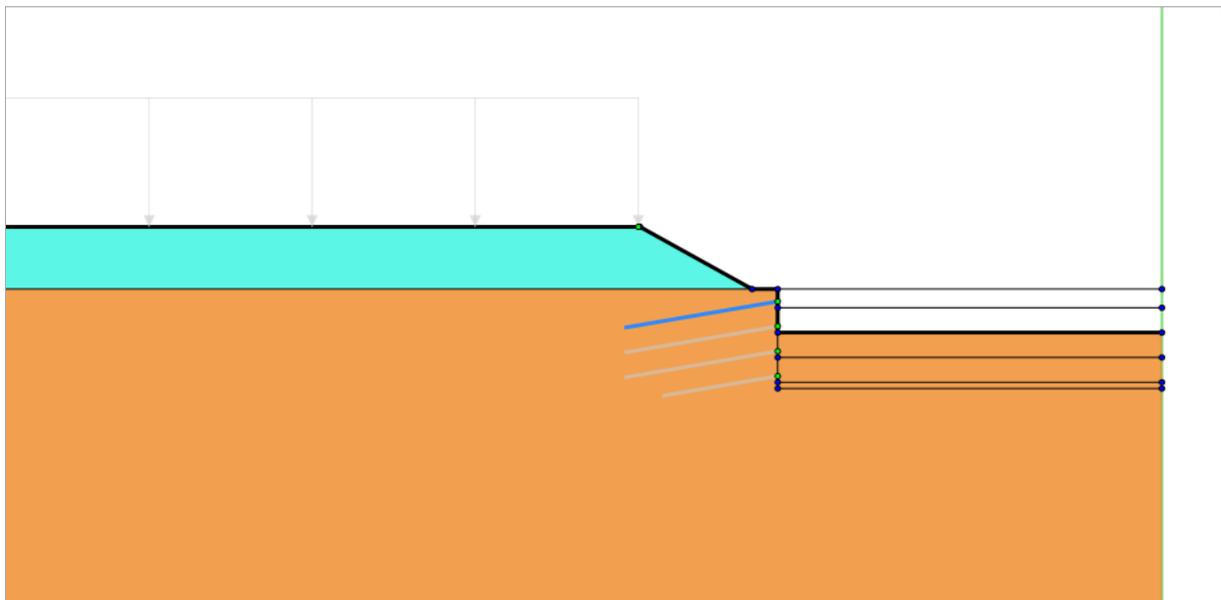


Figure 20. Définition de la phase 1

Le volet des propriétés à droite permet de modifier les propriétés de la phase en cours (cf. Figure 21).

Dans cet exemple, il n'y a pas de conditions hydrauliques à définir.

L'enveloppe est déterminée automatiquement. Laisser la case « enveloppe manuelle » décochée.

Cette manipulation n'est pas nécessaire pour notre exemple, mais il serait également possible de modifier les caractéristiques de sol attribuées à une zone de sol (simulation d'une amélioration de sol par exemple) : pour cela, cliquer avec le bouton droit de la souris puis choisir la couche de sol souhaitée (elle doit avoir été définie au préalable dans les **Caractéristiques des sols** .

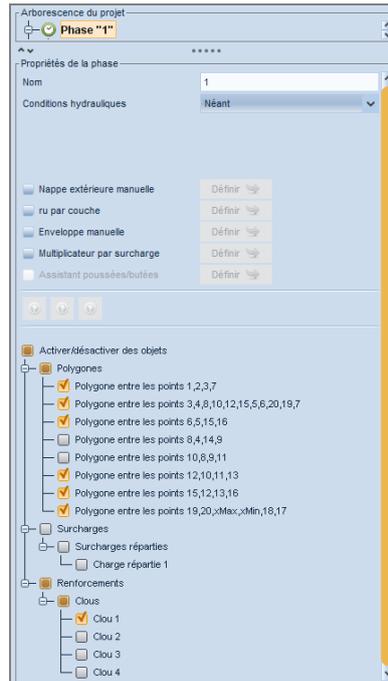


Figure 21. Volet des propriétés pour la 1^{ère} phase

Il reste donc ensuite à définir les **situations de calcul**. Pour cette phase, on étudiera 2 situations.

D.1.7.1 Définition et calcul de la situation 1

Il convient maintenant de créer la 1^{ère} situation :

- en sélectionnant l'item **Ajouter une nouvelle situation** de l'arborescence du projet (1) (Figure 22) ou en cliquant sur l'item **Ajouter une nouvelle situation** dans le menu contextuel de la phase 
- et en double-cliquant sur le bouton  (2).

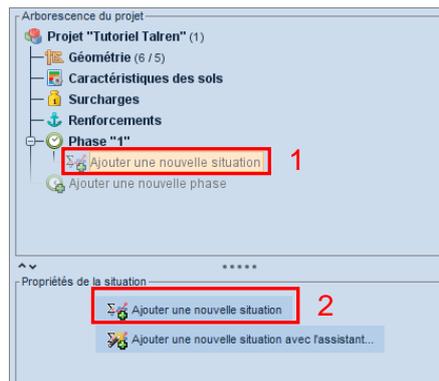
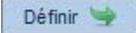
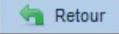


Figure 22. Création de la 1^{ère} situation

Il faut ensuite définir les propriétés de cette situation dans le volet de propriétés, et notamment : pondérations partielles et surfaces de rupture :

- Méthode de calcul : **Bishop** (option choisie par défaut dans la description générale).
- Pondérations partielles : **Clouterre Fondamental / Ouvrage courant** (option choisie par défaut dans la description générale).
- Surfaces de rupture : nous allons choisir par exemple pour cette 1^{ère} situation des surfaces de rupture circulaires passant en pied d'excavation, en mode **recherche**

automatique. Les données correspondantes apparaissent sur la Figure 23 et la Figure 24. (on accède à l'écran de la Figure 24 après avoir sélectionné **Circulaire automatique**, puis cliquer sur le bouton ).

La valeur **abscisse émergence limite** (aval) égale à -1.0 garantit que Talren ne retiendra pas les cercles dont le point d'émergence « à droite » a une abscisse inférieure à -1.0. En l'occurrence, on veut éviter de vérifier la stabilité du talus supérieur dans la couche 1 : on veut vérifier la stabilité de l'ensemble du projet. Valider en cliquant sur le bouton .

Le bouton  permet de définir l'abscisse d'émergence limite en cliquant sur le dessin. De façon analogue, le bouton  permet de définir le point de passage imposé en cliquant sur le dessin.

- Nombre de tranches : il est par défaut égale à **100**.
- Séisme : il n'y a pas de conditions sismiques à définir pour cette situation.

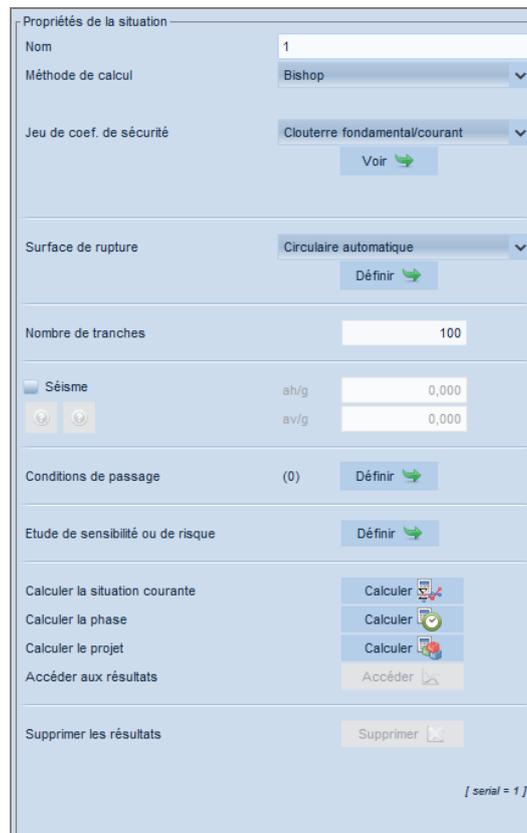


Figure 23. Définition de la situation 1 de la phase 1

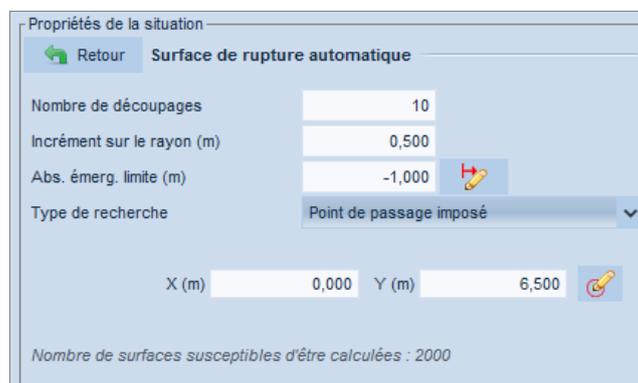


Figure 24. Définition des surfaces de rupture à générer automatiquement pour la situation 1 de la phase 1

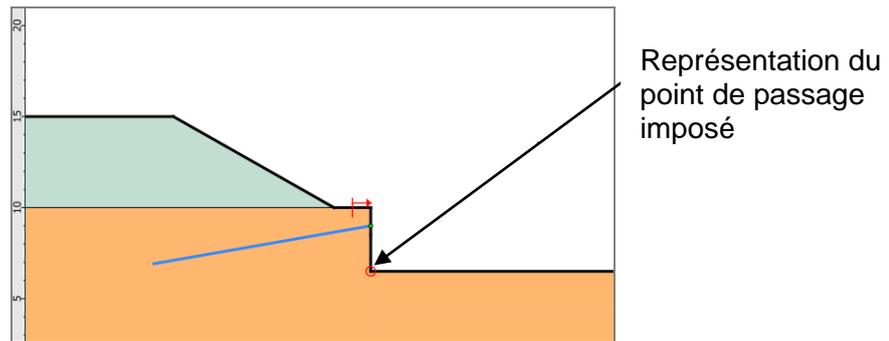
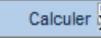


Figure 25. Modèle après définition de la situation 1 de la phase 1

Calcul et résultats

Pour effectuer le calcul de cette situation, cliquer sur le bouton **Calculer la situation courante**  dans les **Propriétés de la situation** ou bien cliquer sur le bouton **Calculer la situation courante**  de la barre de boutons **Calcul**. Le calcul s'effectue puis le résultat s'affiche (Figure 26) : le cercle affiché par défaut est celui qui correspond au coefficient de sécurité minimal.

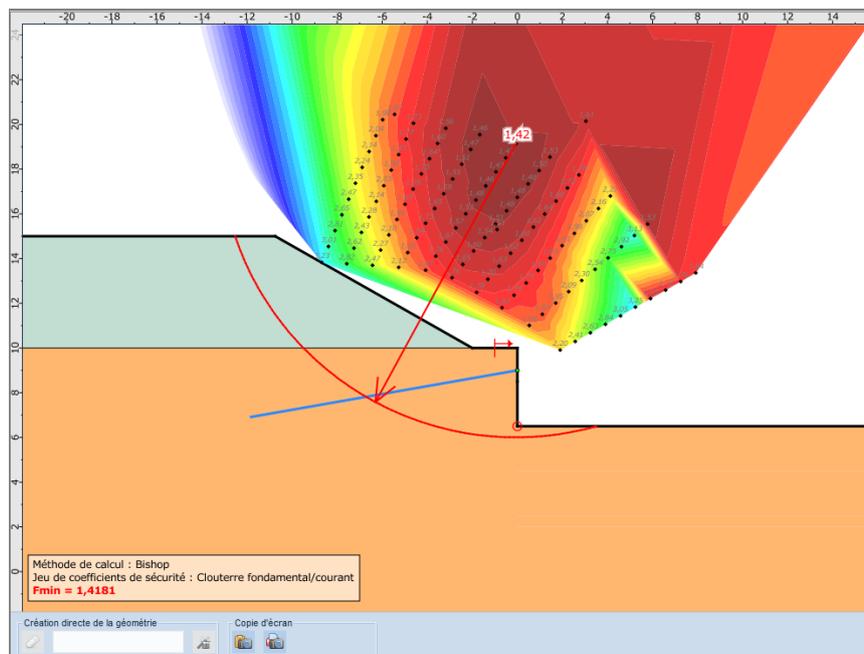
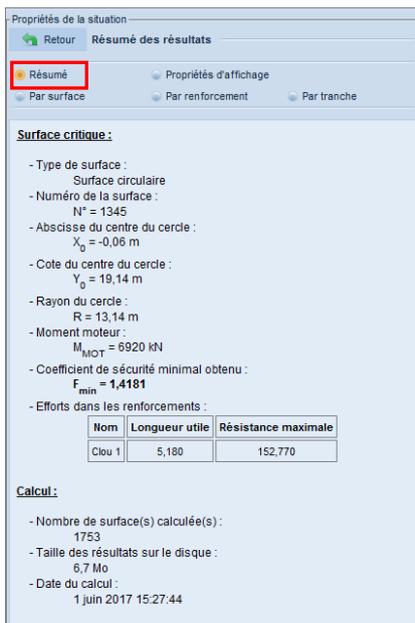


Figure 26. Résultat affiché par défaut pour la situation 1 de la phase 1

La valeur du coefficient de sécurité affichée à côté de chaque centre est la valeur minimale obtenue pour tous les cercles calculés à partir de ce centre (si vous avez défini un incrément sur le rayon non nul). Cliquer sur un centre pour afficher le cercle correspondant à cette valeur minimale du coefficient de sécurité.

Le bouton  permet de copier la zone graphique dans le presse-papiers pour ensuite la coller dans une autre application (pour rédiger un rapport par exemple).

Le résumé des résultats est également disponible dans le volet des propriétés à droite :



Propriétés de la situation

Retour **Résumé des résultats**

Résumé Propriétés d'affichage

Par surface Par renforcement Par tranche

Surface critique :

- Type de surface : Surface circulaire
- Numéro de la surface : N° = 1345
- Abscisse du centre du cercle : $X_0 = -0,06$ m
- Cote du centre du cercle : $Y_0 = 19,14$ m
- Rayon du cercle : R = 13,14 m
- Moment moteur : $M_{MOT} = 6920$ kN
- Coefficient de sécurité minimal obtenu : $F_{min} = 1,4181$
- Efforts dans les renforcements :

Nom	Longueur utile	Résistance maximale
Clou 1	5,180	152,770

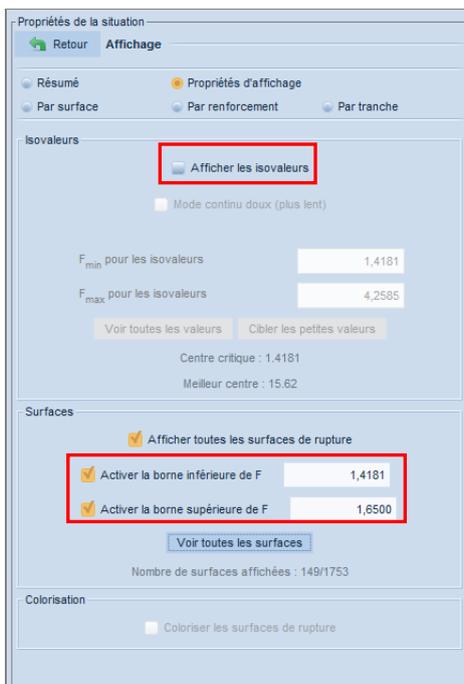
Calcul :

- Nombre de surface(s) calculée(s) : 1753
- Taille des résultats sur le disque : 6,7 Mo
- Date du calcul : 1 juin 2017 15:27:44

Figure 27. Volet des propriétés – Résumé des résultats du calcul

Pour modifier l'affichage graphique des résultats, sélectionner l'option **Propriétés d'affichage** dans les **Propriétés de la situation**. Le volet illustré sur la Figure 28 apparaît alors. Il permet notamment d'afficher :

- Les valeurs du coefficient de sécurité sous forme d'isovaleurs (dégradés de couleurs) ;
- Les valeurs du coefficient de sécurité appartenant à une fourchette définie par une borne inférieure et une borne supérieure.



Propriétés de la situation

Retour **Affichage**

Résumé Propriétés d'affichage

Par surface Par renforcement Par tranche

Isovaleurs

Afficher les isovaleurs

Mode continu doux (plus lent)

F_{min} pour les isovaleurs : 1,4181

F_{max} pour les isovaleurs : 4,2505

Voir toutes les valeurs Cibler les petites valeurs

Centre critique : 1,4181
Meilleur centre : 15,62

Surfaces

Afficher toutes les surfaces de rupture

Activer la borne inférieure de F : 1,4181

Activer la borne supérieure de F : 1,6500

Voir toutes les surfaces

Nombre de surfaces affichées : 149/1753

Colorisation

Coloriser les surfaces de rupture

Figure 28. Volet de paramétrage de l'affichage graphique

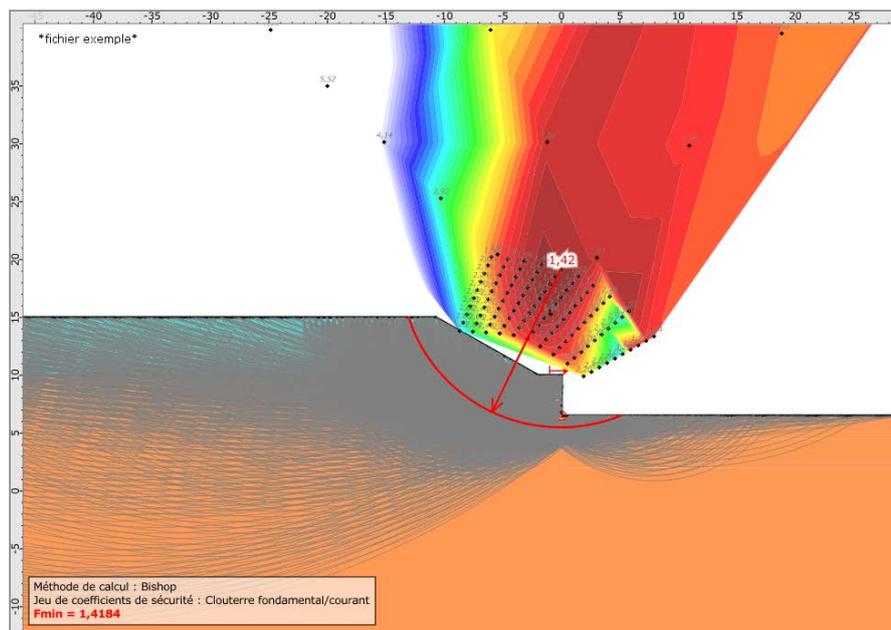


Figure 29. Exemple de représentation de tous les cercles calculés

Il est possible d'accéder à des résultats plus détaillés, notamment sous forme de tableaux :



1. **Par surface** : tableau des résultats détaillés par surface de rupture (cf. Figure 30). La ligne surlignée en rouge correspond à la surface de rupture critique. Lors d'un clic sur une ligne du tableau, le cercle correspondant apparaît sur le dessin.
2. **Par renforcement** : tableau des efforts mobilisés dans les renforcements (ici le 1^{er} lit de clous) (cf. Figure 31). Pour visualiser la signification des différentes colonnes du tableau, positionner le curseur de la souris dans l'entête de colonne du paramètre qui vous intéresse et visualiser l'info-bulle. Par défaut, les résultats s'affichent pour la surface de rupture critique. Il est possible de changer la surface de rupture sélectionnée (via la liste déroulante) pour visualiser ces résultats pour toute autre surface de rupture calculée.
3. **Par tranche** : tableau des résultats détaillés par tranche. Ce volet de propriétés permet de visualiser, pour le cercle critique par défaut, le tableau détaillé des tranches et un graphique illustrant les courbes des efforts normaux, efforts de cisaillement et pressions interstitielles le long de la surface de rupture. Il est possible de changer de surface de rupture (via la liste déroulante) pour visualiser ces résultats pour toute autre surface de rupture calculée.

Résumé Propriétés d'affichage
 Par surface Par renforcement Par tranche

N°	X ₀	Y ₀	R	M _{MOT}	F-SOL	F-SURCH	F-TOTAL
1328	-0,950	17,880	13,420	10200,9...	1,4348	1,4348	1,5081
1329	-0,950	17,880	10,920	4136,95...	1,2388	1,2388	1,6768
1330	-0,950	17,880	10,420	3161,16...	1,2882	1,2882	2,0532
1331	-0,950	17,880	9,920	2298,90...	1,3603	1,3603	3,0488
1332	-0,950	17,880	9,420	1575,27...	1,4609	1,4609	13,4403
1333	-0,950	17,880	8,920	986,6941	1,6151	1,6151	1,6151
1334	-0,510	18,510	12,020	5425,55...	1,1666	1,1666	1,4600
1335	-0,510	18,510	12,520	6660,25...	1,2129	1,2129	1,4186
1336	-0,510	18,510	13,020	7938,13...	1,2778	1,2778	1,4281
1337	-0,510	18,510	13,520	9274,32...	1,3336	1,3336	1,4432
1338	-0,510	18,510	14,020	10650,7...	1,4131	1,4131	1,4931
1339	-0,510	18,510	11,520	4279,34...	1,2030	1,2030	1,6698
1340	-0,510	18,510	11,020	3248,40...	1,2544	1,2544	2,0885
1341	-0,510	18,510	10,520	2336,10...	1,3310	1,3310	3,3015
1342	-0,510	18,510	10,020	1571,10...	1,4425	1,4425	47,8275
1343	-0,510	18,510	9,520	950,2394	1,6221	1,6221	1,6221
1344	-0,060	19,140	12,640	5626,55...	1,1367	1,1367	1,4451
1345	-0,060	19,140	13,140	6920,27...	1,1996	1,1996	1,4181
1346	-0,060	19,140	13,640	8263,75...	1,2643	1,2643	1,4241
1347	-0,060	19,140	14,140	9656,66...	1,3372	1,3372	1,4556
1348	-0,060	19,140	14,640	11102,2...	1,4013	1,4013	1,4877
1349	-0,060	19,140	12,140	4419,92...	1,1728	1,1728	1,6678
1350	-0,060	19,140	11,640	3332,40...	1,2281	1,2281	2,1355
1351	-0,060	19,140	11,140	2369,03...	1,3095	1,3095	3,6252
1352	-0,060	19,140	10,640	1562,43...	1,4318	1,4318	996,0000
1353	-0,060	19,140	10,140	909,9296	1,6399	1,6399	1,6399

11:35:13 : Toutes les tâches sont terminées.

Figure 30. Résultats détaillés par surface de rupture

Propriétés de la situation

Efforts dans les renforcements

Résumé Propriétés d'affichage
 Par surface Par renforcement Par tranche

Surface: N°= 1345; X0= -0,06; Y0= 19,14; R= 13,14

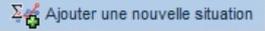
Clou Exportation

Nom	LU	TR	ITR	IPTR	Tc	ICIS	IPCI
Clou 1	5,180	152,770	2	1	0,000	0	0

Figure 31. Efforts dans les renforcements

D.1.7.2 Définition et calcul de la situation 2

Il faut tout d'abord créer une nouvelle situation. Plusieurs méthodes sont possibles :

- soit en cliquant sur l'item **Ajouter une nouvelle situation** de l'arborescence du projet puis en cliquant sur le bouton  ;
- soit dans les **Propriétés de la phase** en cliquant sur l'item **Ajouter une nouvelle situation** ;
- soit en cliquant droit sur la situation 1 puis dans le menu contextuel sélectionner **Insérer une nouvelle situation après** .

Il aurait été également possible, de la même manière, de dupliquer la situation 1 en cliquant sur le bouton . Il est ensuite possible de modifier le nom de cette situation ou de définir ses propriétés, comme pour la situation 1.

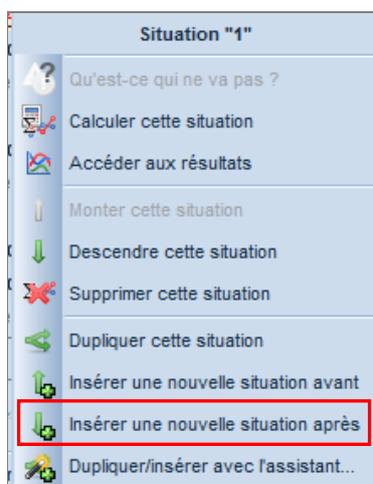


Figure 32. Menu contextuel (clic droit sur une situation)

La duplication de situations fonctionne uniquement à l'intérieur d'une même phase. Par contre, la copie de situations fonctionne d'une phase à l'autre : il est possible de copier une situation dans une phase et de la coller dans une autre phase.

Nous allons définir les mêmes propriétés que pour la situation 1, avec les modifications suivantes :

- pour les surfaces de rupture : nous allons choisir cette fois-ci des surfaces circulaires, mais en recherche manuelle,
- le nombre de tranches passe à 150.

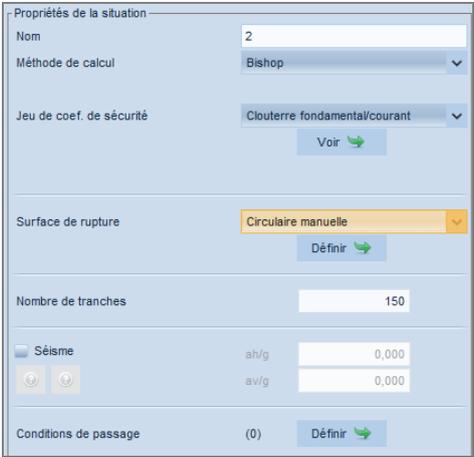

 A screenshot of the 'Propriétés de la situation' dialog box. The fields are: 'Nom' (2), 'Méthode de calcul' (Bishop), 'Jeu de coef. de sécurité' (Clouterre fondamentale/courant), 'Surface de rupture' (Circulaire manuelle), 'Nombre de tranches' (150), 'Séisme' (ah/g: 0,000, av/g: 0,000), and 'Conditions de passage' (0).

Figure 33. Définition de la situation 2 de la phase 1

Un clic sur le bouton **Définir** affiche l'écran de la Figure 34. Saisir les paramètres indiqués sur cette figure (cela va permettre une étude plus approfondie des cercles autour du minimum repéré par la recherche automatique de la situation 1).

Propriétés de la situation

[Retour](#) Surface de rupture manuelle

Coin inférieur gauche de la zone de recherche
 X (m) Y (m)

Incrément en X / Incrément en Y
 X (m) Y (m)

Angle par rapport à l'horizontale / à la verticale
 H (°) V (°)

Nombre de centres en X / en Y
 X Y

Incrément sur le rayon (m)

Nombre d'incrémentes

Abs. émerg. limite (m)

Type de recherche **Point de passage imposé**

X (m) Y (m)

Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 640

Figure 34. Définition des surfaces de rupture à examiner pour la situation 2 de la phase 1

Calcul et résultats

Procéder de la même façon que pour la situation 1. Le résultat obtenu est affiché sur la Figure 35.

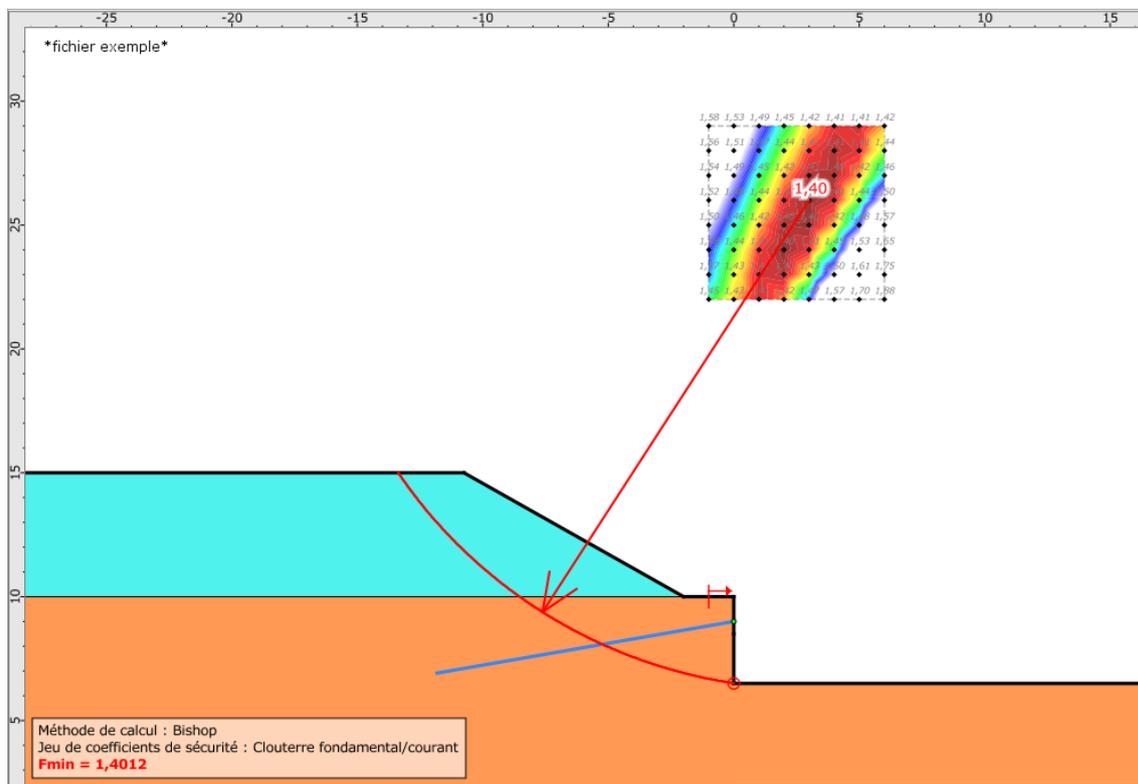
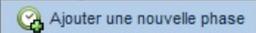


Figure 35. Résultat obtenu pour la situation 2 de la phase 1

D.1.8 Etape 8 : définition de la phase 2

Cette phase de vérification correspond aux opérations suivantes :

- Mise en place du 2^{ème} lit de clous ;
- Terrassement à la cote +4,50 m.

Pour ajouter une phase : sélectionner le menu **Ajouter une nouvelle phase** de l'arborescence du projet, puis cliquer sur le bouton  ou en double cliquant sur le menu **Ajouter une nouvelle phase**. Par défaut, la phase ajoutée reprend le paramétrage de la phase précédente.

La définition de cette phase se fait de façon analogue à celle de la phase 1, par activation/désactivation des éléments de sol et de clous. La coupe obtenue est représentée sur la Figure 36.

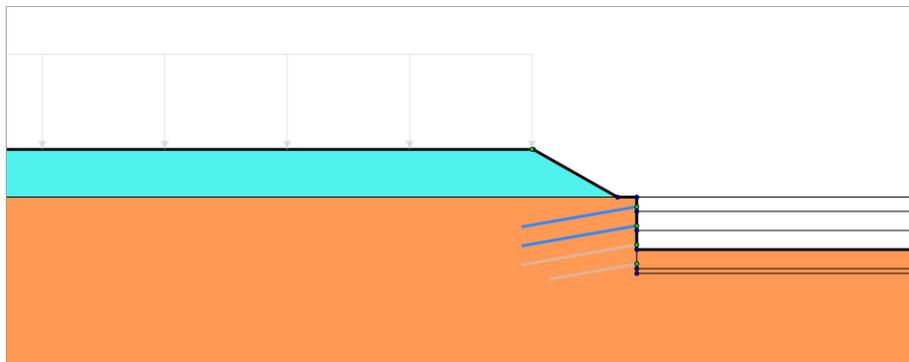


Figure 36. Définition de la phase 2 de calcul

On étudiera cette fois une seule situation de calcul.

Il suffit donc de définir les propriétés de la situation générée par défaut :

- Méthode de calcul : **Bishop** ;
- Pondérations partielles : **Clouterre Fondamental / Ouvrage courant** ;
- Sismique : pas de conditions sismiques pour cette situation ;
- Définition des surfaces de rupture : **surfaces circulaires** passant en pied d'excavation (la cote du point de passage est égale à +4,50 m au lieu de +6,50 m), en **recherche automatique**. Les données correspondantes sont indiquées sur la Figure 37 :

Propriétés de la situation	
	Surface de rupture automatique
Nombre de découpages	10
Incrément sur le rayon (m)	0,500
Abs. émerg. limite (m)	-1,000 
Type de recherche	Point de passage imposé
X (m)	0,000
Y (m)	4,500 
Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 2000	

Figure 37. Définition de la situation 1 de la phase 2

Calcul et résultats

Procéder de la même façon que pour la situation 1 de la phase 1. Le résultat obtenu est affiché ci-dessous.

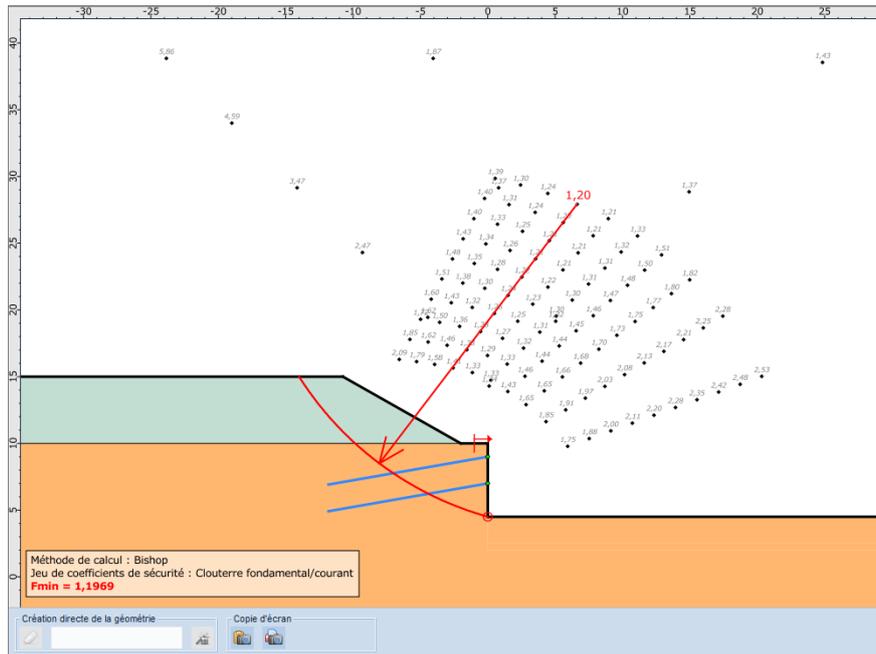


Figure 38. Résultat obtenu pour la situation 1 de la phase 2

Nous constatons que le centre pour lequel le coefficient F_{\min} est atteint se situe sur le périmètre du 2^{ème} balayage. A ce stade, il conviendrait de réaliser une situation supplémentaire avec une recherche manuelle autour de ce point pour le valider ou pour retrouver un point pour lequel on retrouve un coefficient F_{\min} encore plus petit.

Compte tenu du fait que nous allons retrouver des valeurs F_{\min} inférieures dans les phases postérieures, nous décidons de ne pas examiner cette situation à ce stade.

D.1.9 Etape 9 : définition de la phase 3

Cette phase de vérification correspond aux opérations suivantes :

- Mise en place du 3^{ème} lit de clous ;
- Terrassement à la cote +2,50 m.

La définition de cette phase se fait de façon analogue à celle des phases précédentes, par activation/désactivation d'éléments de sol et de clous. La coupe obtenue est représentée sur la Figure 39.

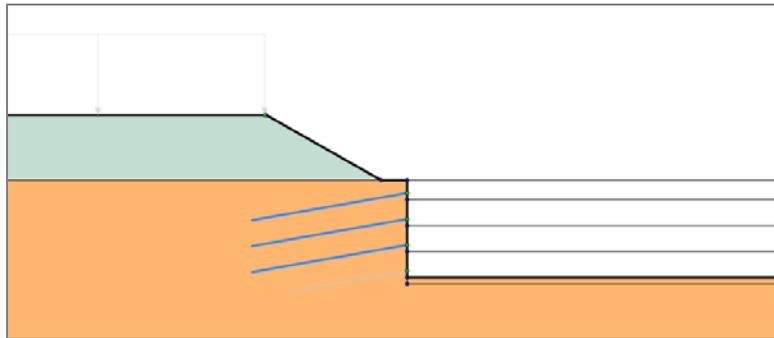


Figure 39. Définition de la phase 3

On étudie d'abord une 1^{ère} situation de calcul, en **recherche automatique**.

Il suffira de définir les propriétés de la situation générée par défaut, avec les mêmes paramètres que pour la situation 1 de la phase 2, excepté pour la cote du point de passage imposée égale cette fois-ci à +2,50 m.

Calcul et résultats

Procéder toujours de la même manière que pour les phases précédentes. Le résultat obtenu est affiché ci-dessous.

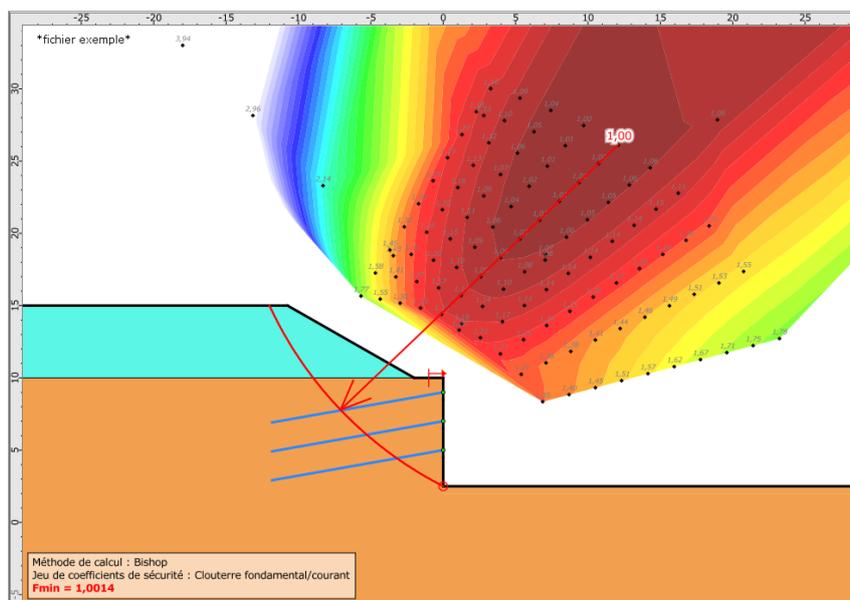


Figure 40. Résultat obtenu pour la situation 1 de la phase 3

Le coefficient de sécurité ne semble pas être encadré « de près ». Nous décidons à ce moment-là d'étudier une 2^{ème} situation en **recherche manuelle**, en définissant un

quadrillage de centres autour du minimum trouvé lors de la recherche automatique de la 1^{ère} situation.

Les paramètres de la recherche manuelle de la 2^{ème} situation sont les suivants :

Propriétés de la situation

[Retour](#) Surface de rupture manuelle

Coin inférieur gauche de la zone de recherche

X (m) Y (m)

Incrément en X / Incrément en Y

X (m) Y (m)

Angle par rapport à l'horizontale / à la verticale

H (°) V (°)

Nombre de centres en X / en Y

X Y

Incrément sur le rayon (m)

Nombre d'incrémentes

Abs. émerg. limite (m)

Type de recherche Point de passage imposé

X (m) Y (m)

Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 320

Figure 41. Paramètres de recherche manuelle de la 2^{ème} situation de la 2^{ème} phase

Le résultat de cette 2^{ème} situation est donné sur la Figure 42 : le coefficient de sécurité est cette fois encadré, mais inférieur à 1,00.

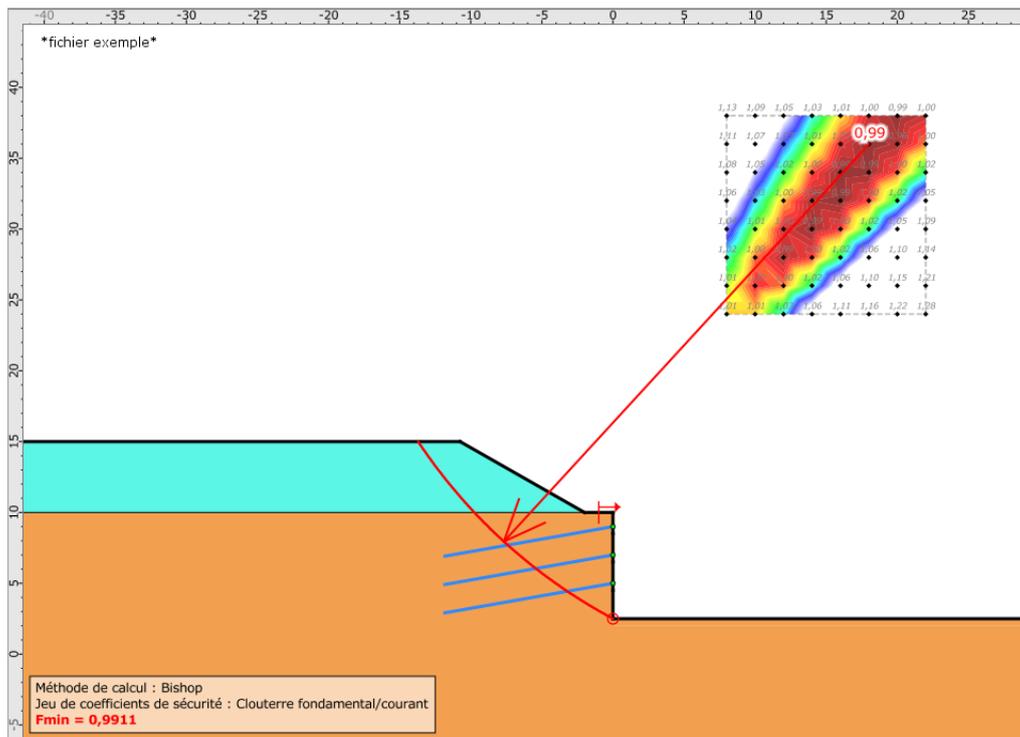


Figure 42. Résultat obtenu pour la situation 2 de la phase 3

D.1.10 Etape 10 : définition de la phase 4 (phase définitive)

Cette phase de vérification correspond aux opérations suivantes :

- Mise en place du 4^{ème} lit de clous ;
- Terrassement à la cote +2,00 m ;
- Activation de la surcharge en tête de talus.

La définition de cette phase se fait de manière analogue à celle des phases précédentes, par activation du dernier lit de clous. La coupe obtenue est représentée sur la Figure 43.

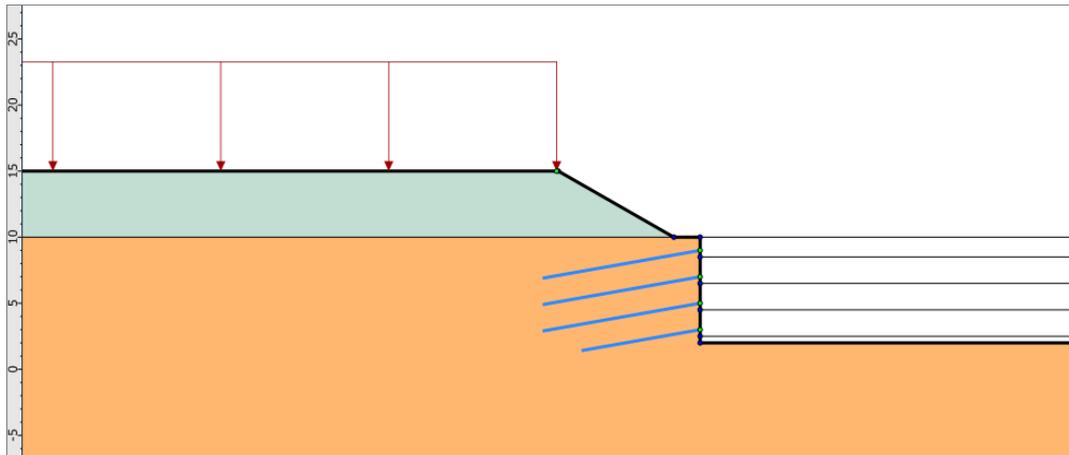


Figure 43. Définition de la phase 4 de calcul (phase définitive)

D.1.10.1 Définition de la situation 1

On étudie d'abord une 1^{ère} situation de calcul, en **recherche automatique**.

Il suffit donc de définir les propriétés de la situation avec les mêmes paramètres que pour la situation 1 de la phase 3, excepté pour la cote du point de passage imposée égale à +2,00 m.

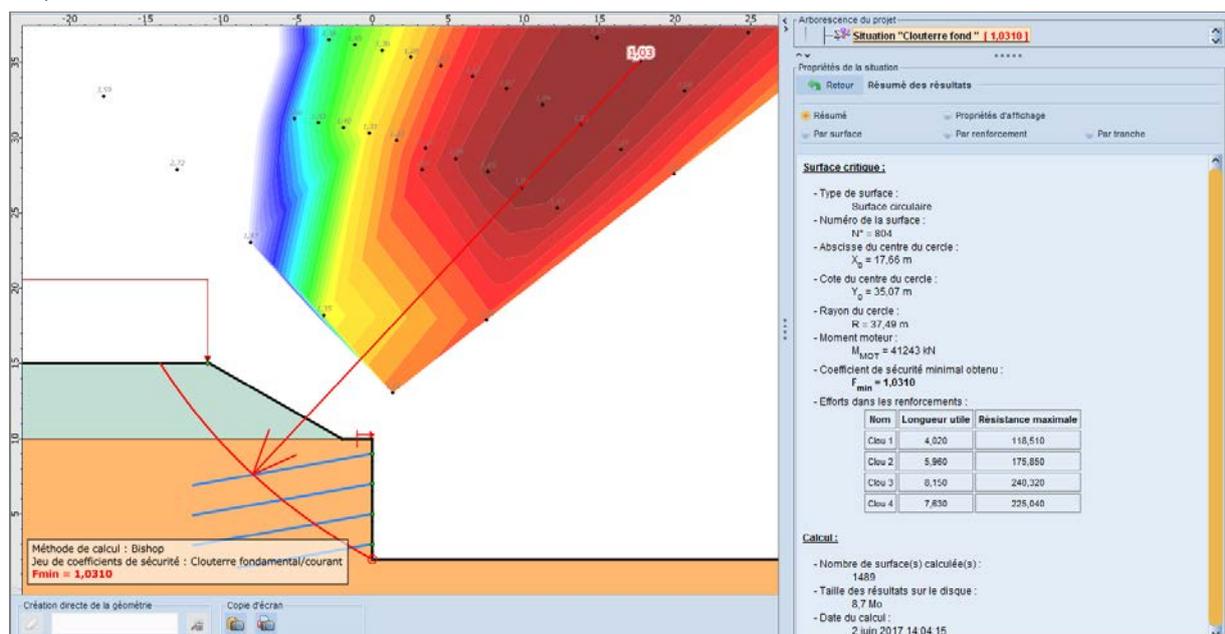


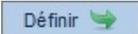
Figure 44. Résultat obtenu pour la situation 1 de la phase 4

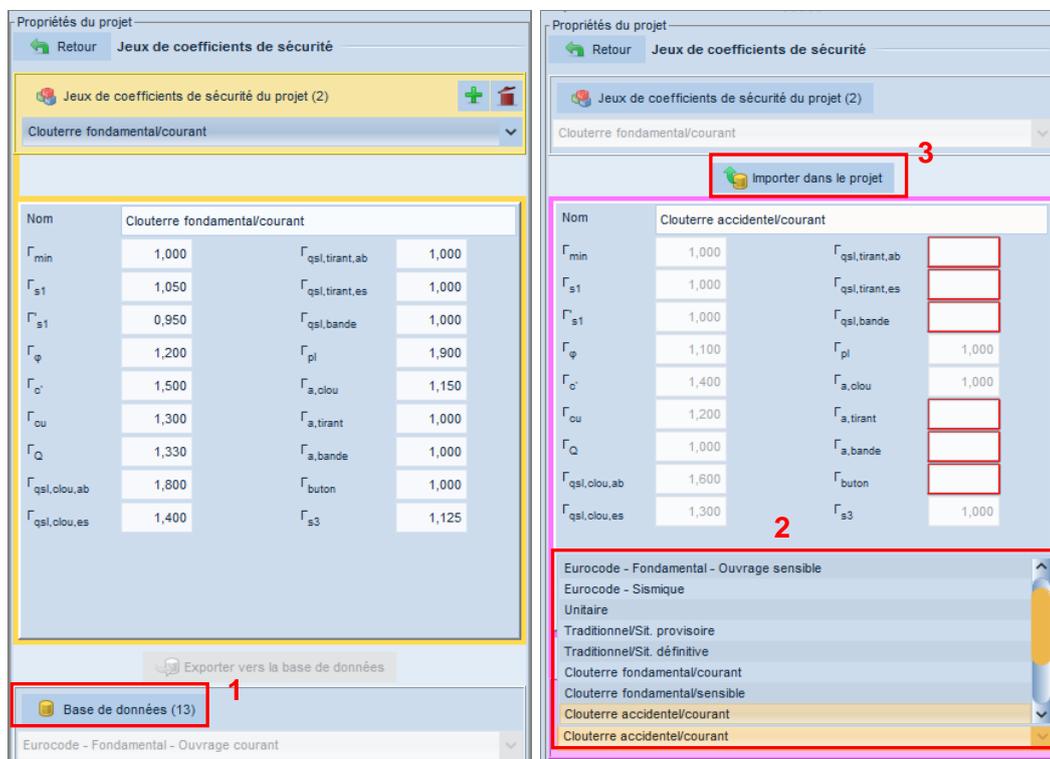
D.1.10.2 Définition de la situation 2 (accidentelle)

Nous allons cette fois étudier une situation accidentelle avec la prise en compte d'un séisme. Il s'agit donc d'ajouter une nouvelle situation et de définir ses propriétés :

- Pondérations partielles** : sélectionner le jeu « Clouterre Accidentel / Ouvrage courant ». Pour cela, ce jeu n'étant pas fourni complet dans la base de données livrée avec Talren, il faut d'abord repasser dans la catégorie **Projet**  de l'arborescence du projet.



Dans les pondérations par défaut : cliquer sur le bouton **Définir**  puis sur le bouton **Base de données** (1) tout en bas du volet des propriétés. Sélectionner le jeu de pondérations « **Clouterre Accidentel / Ouvrage courant** » dans la liste déroulante (2) et cliquer sur le bouton **Importer dans le projet** (3). Compléter si nécessaire le jeu de pondérations choisi (4) (s'il comporte des valeurs non définies). Enfin valider par le bouton **Retour** (5).



Attention : redéfinir le jeu « Clouterre fondamentale / courant » comme jeu de coefficients par défaut pour ce projet.

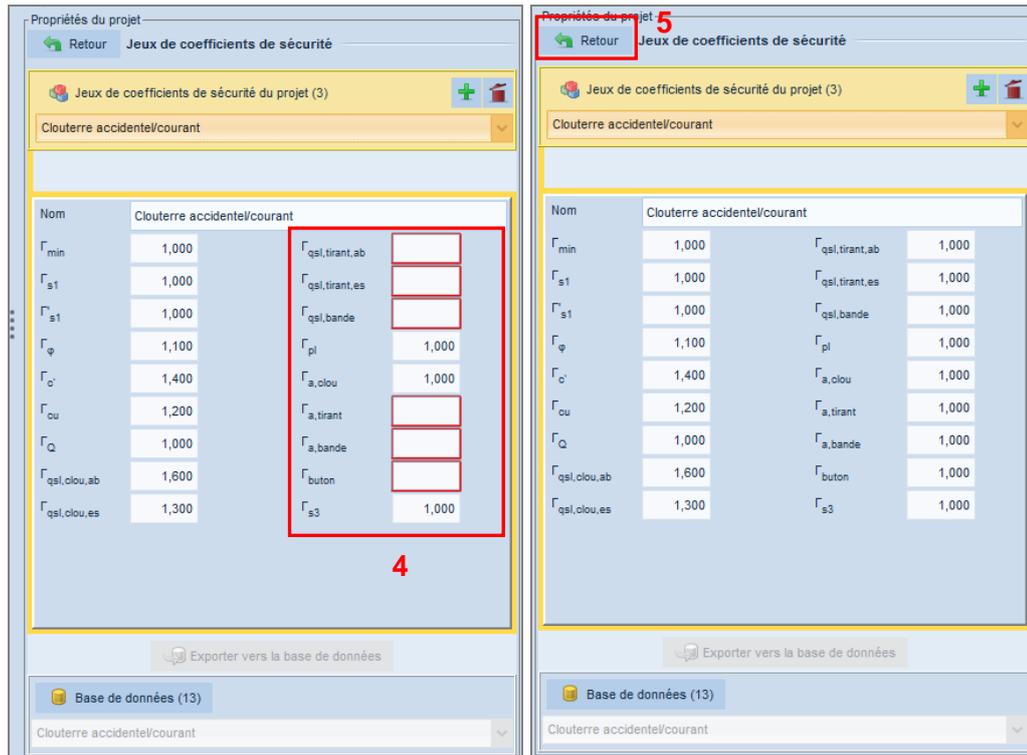


Figure 45. Choix d'un jeu de coefficients pondérateurs partiels

Dans l'exemple ci-dessus, les coefficients de sécurité partiels relatifs aux tirants, bandes et butons ont été complétés pour pouvoir valider le jeu de coefficients, mais ne seront pas utilisés lors du calcul dans notre exemple (seuls ceux des clous sont utilisés).

Les valeurs définies ne constituent donc en aucun cas un exemple ou une référence à réutiliser : il faut définir pour chaque étude des valeurs issues des normes ou recommandations adaptées au projet traité.

- Revenir ensuite à la définition de la nouvelle situation de calcul créée précédemment et choisir le jeu « **Clouterre accidentel / courant** ».
- Sismique : il faut cette fois cocher la case "Séisme", et définir $a_h/g = 0,12$ et $a_v/g = 0,06$.

Important : dans le cas de sollicitations sismiques, il convient de tester les 4 combinaisons de signe possibles pour le couple (a_h/g , a_v/g). En effet, suivant la géométrie, ce n'est pas toujours la même combinaison qui conduit aux résultats les plus défavorables.

- Surfaces de rupture : nous allons choisir ici les mêmes surfaces de rupture que pour la 1^{ère} situation.

Propriétés de la situation

Nom: Clouterre acc

Méthode de calcul: Bishop

Jeu de coef. de sécurité: Clouterre accidentel/courant

Voir

Surface de rupture: Circulaire automatique

Définir

Nombre de tranches: 150

Séisme

ah/g: 0,120

av/g: 0,060

Conditions de passage: (0) Définir

Etude de sensibilité ou de risque: Définir

Figure 46. Définition de la situation 2 de la phase 4

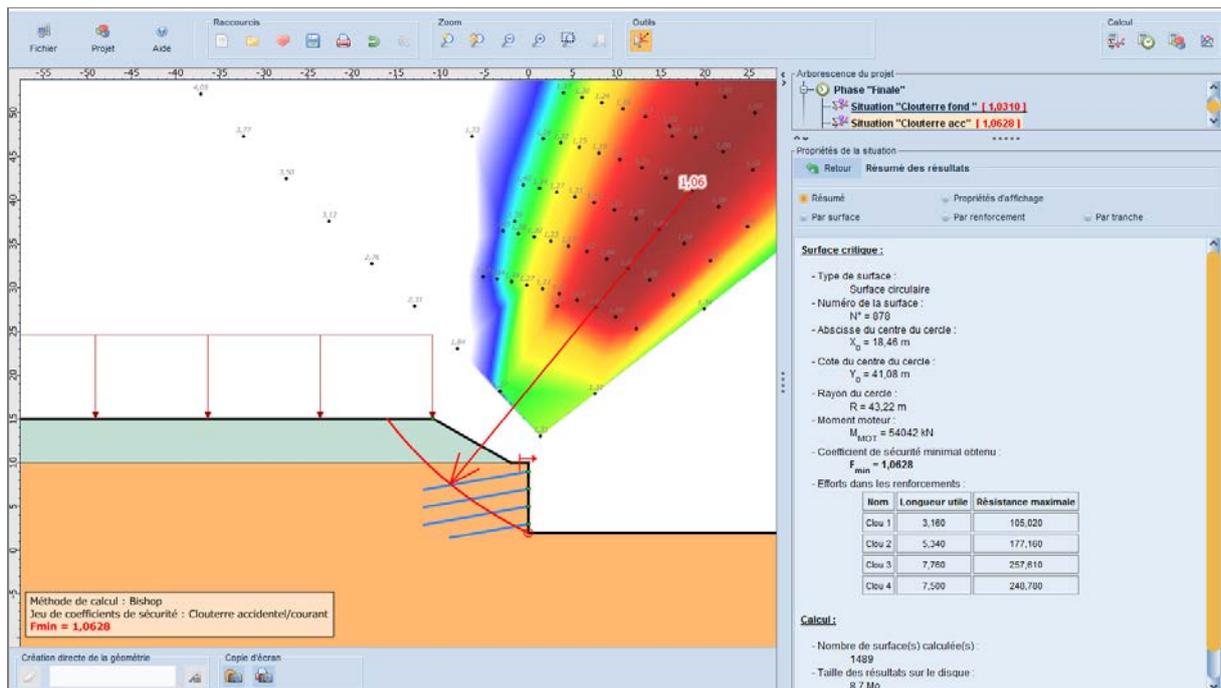


Figure 47. Résultat obtenu pour la situation 2 de la phase 4

D.2 Tutoriel 2 : Stabilité de pente sous nappe

Cet exemple traite de la stabilité d'une digue pour plusieurs régimes de conditions hydrauliques : nappe au repos, vidange rapide et vidange lente. Nous définirons une phase pour chacun de ces régimes hydrauliques.

Les éléments suivants seront importés automatiquement du modèle Plaxis 2D :

- La géométrie et les caractéristiques de sols ;
- Les pressions interstitielles des phases 2 et 3.

Le fichier Plaxis 2D à utiliser est fourni avec les exemples lors de l'installation de Talren.

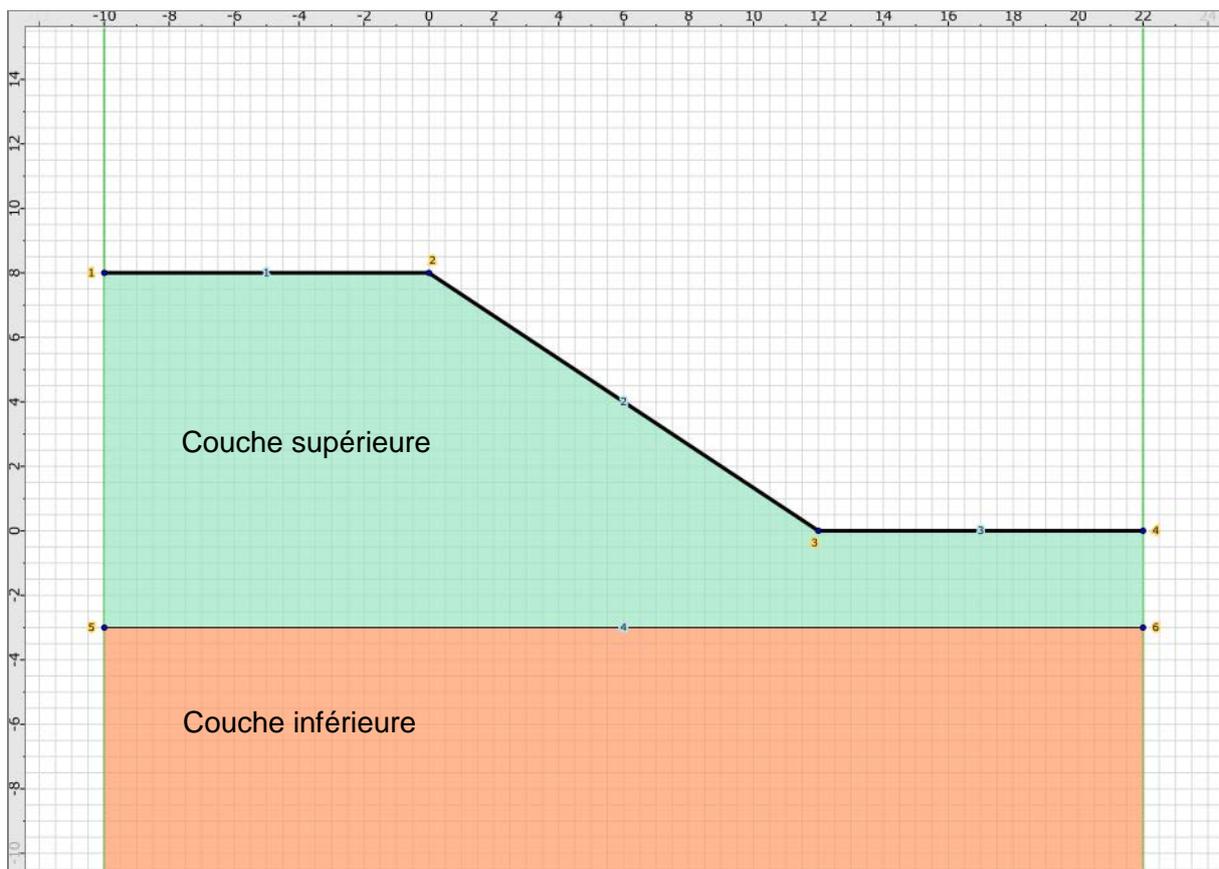
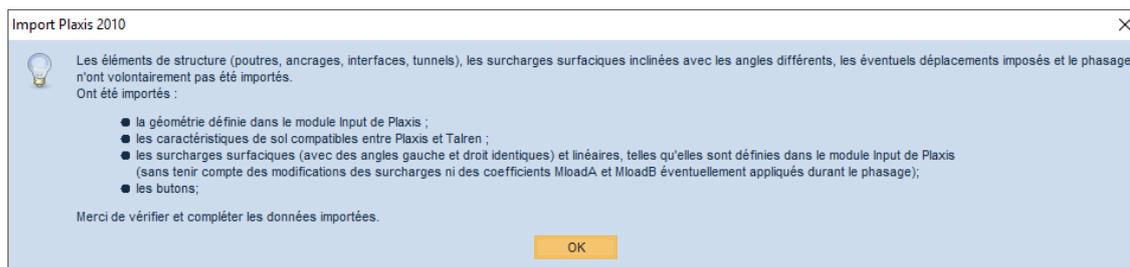


Figure 48. Coupe de calcul de la digue

D.2.1 Importation des données du fichier Plaxis 2D

Plutôt que de définir manuellement la géométrie et les caractéristiques des sols (voir la variante proposée au chapitre suivant), il est possible d'ouvrir le fichier Plaxis correspondant à la même coupe. Procéder de la manière suivante :

- Sélectionner le menu **Fichier**  puis l'option **Ouvrir** ou cliquer sur l'icône  de la barre de boutons.
- Choisir les « fichiers du type » Plaxis 2D, puis sélectionner le fichier Plaxis souhaité : choisir le fichier **vidange_tal_fin.p2D**.
- Le modèle Plaxis est alors converti en fichier Talren (pour les données compatibles), et un avertissement est affiché pour indiquer les limites de la conversion.



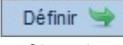
- La géométrie a été importée correctement.
- En accédant aux propriétés des couches de sol, on peut vérifier que celles-ci ont également été importées.
- En revanche, il est nécessaire de compléter les propriétés générales du projet (sauf les dimensions du modèle, automatiquement définies en fonction de la géométrie du modèle importé) : dans le volet de navigation en haut à droite de l'écran, cliquer sur l'item principal **Projet** de l'arborescence du projet et compléter les données conformément aux Figure 48 et Figure 49.

Le chapitre D.2.2 détaille une variante à cette étape 1, dans le cas où l'utilisateur souhaite définir son modèle directement sous Talren v5.

Passer ensuite directement au chapitre D.2.3 pour la suite

D.2.2 Variante : définition du modèle dans Talren v5

Définition générale du projet

- Sélectionner l'item **Fichier**  puis l'option **Nouveau** ou cliquer sur l'icône  de la barre de boutons « Raccourcis ».
- Sélectionner un répertoire d'enregistrement du projet et donner un nom au fichier du projet (extension .t5p).
- Cliquer sur le menu principal **Projet**  de l'arborescence et compléter le volet comme indiqué sur la Figure 49.
- Pour définir les pondérations par défaut, cliquer sur le bouton **Définir**  puis cliquer sur le bouton **Base de données**  tout en bas du volet. Ensuite sélectionner le jeu de pondérations comme indiqué sur la Figure 49, l'importer dans le projet et le compléter.

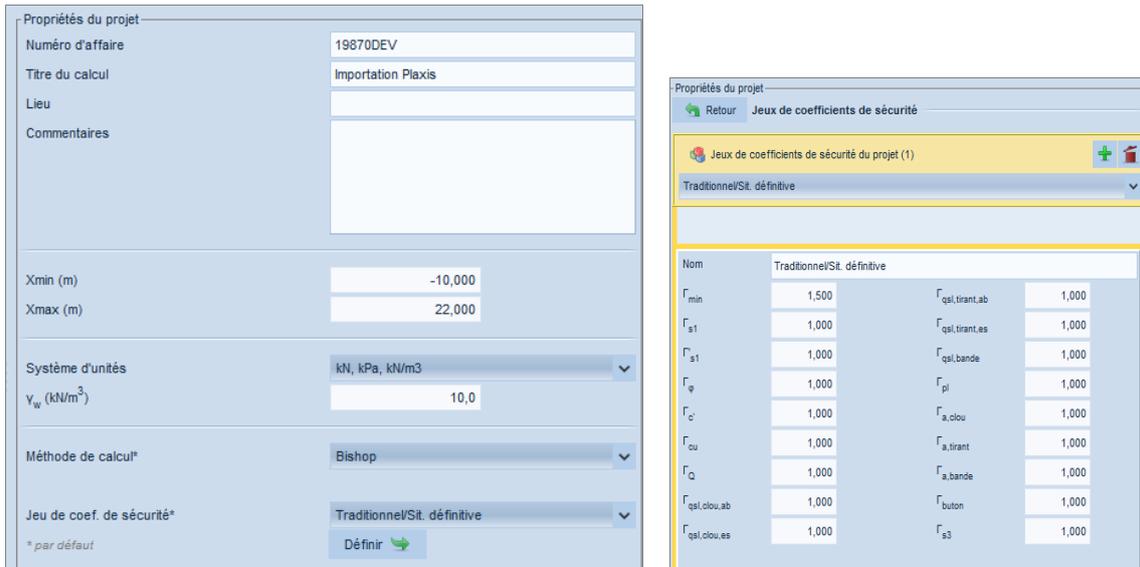


Figure 49. Description générale du projet (à gauche) et définition du jeu de coefficients partiels (à droite)

Nota important : ces valeurs de coefficients partiels ne constituent en aucun cas un exemple ou une référence à réutiliser. Il faut définir des valeurs issues des normes ou recommandations adaptées au projet traité.

Définition de la géométrie

Les limites du modèle et les coordonnées des points de la géométrie sont conformes à la Figure 50. Pour définir cette géométrie, utiliser l'une des 3 méthodes suivantes : dessin à la souris, saisie des coordonnées directement dans l'écran principal, ou utilisation du volet des propriétés. Consulter l'exemple 1 pour le détail des manipulations permettant la définition de la géométrie.

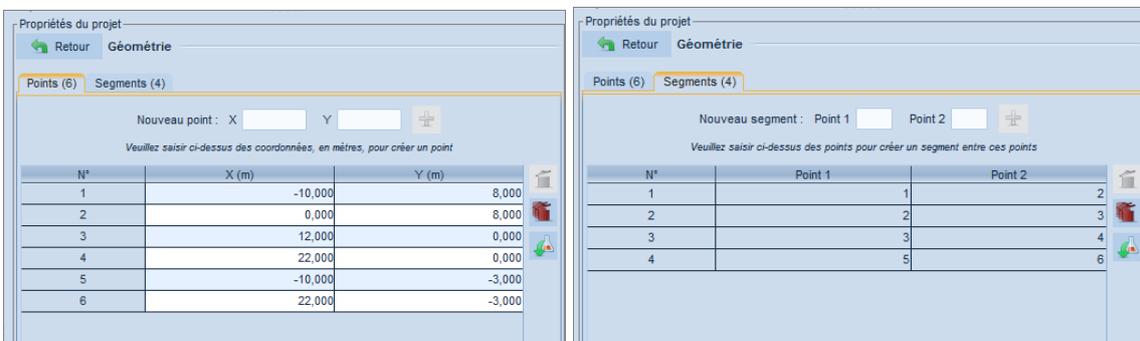


Figure 50. Géométrie de la coupe : points (à gauche) et segments (à droite)

Définition des caractéristiques de sol

Deux couches de sol sont à définir. Leurs caractéristiques sont données dans le Tableau 3 :

Couche de sol	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kPa)
1 (sup.)	18	30	10
2 (inf.)	22	35	1

Tableau 3. Caractéristiques des sols

Pour définir ces caractéristiques, sélectionner l'item **Caractéristiques des sols** de l'arborescence du projet. Cliquer sur le bouton **Créer nouvelle couche de sol**, puis compléter les données pour la 1^{ère} couche. Cliquer à nouveau sur **Créer nouvelle couche de sol** puis définir les données pour la 2^{ème} couche de sol. Pour passer d'une couche de sol à l'autre, cliquer sur le libellé de la couche dans la liste à gauche de la boîte de dialogue.

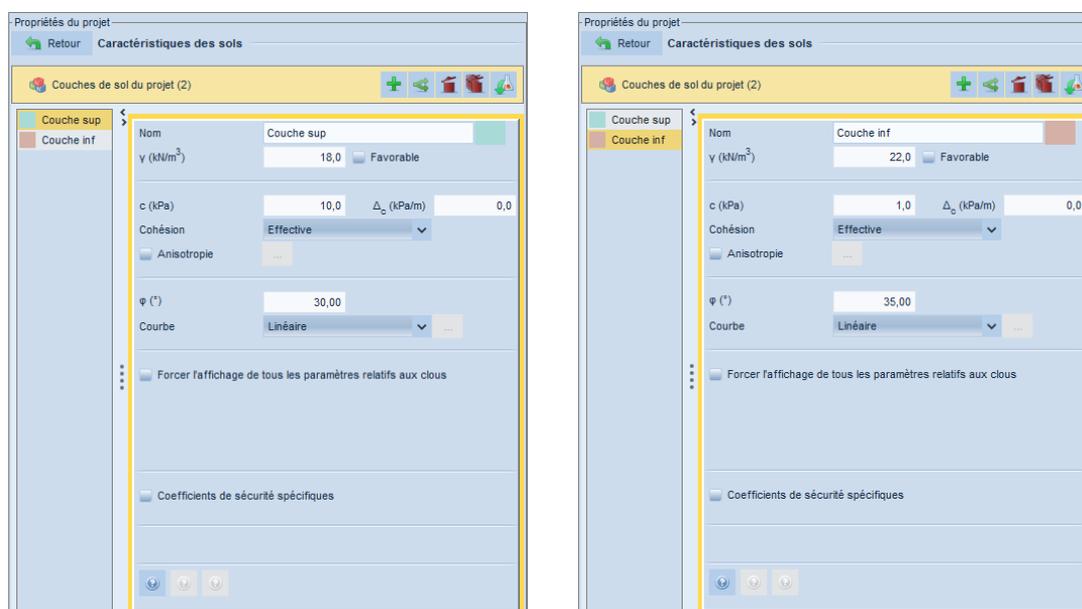
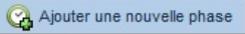


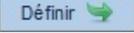
Figure 51. Caractéristiques de chaque couche de sol : couche supérieure (à gauche) et couche inférieure (à droite)

Pour attribuer ces caractéristiques aux zones de sol, procéder par exemple par glisser-déposer (« drag&drop ») depuis la liste à gauche du volet de propriétés. La couche de sol 1 correspond à la couche supérieure, et la couche de sol 2 correspond à la couche inférieure.

D.2.3 Définition de la 1^{ère} phase (nappe au repos)

- Si vous avez créé la géométrie directement dans Talren v5, double-cliquer sur le menu  pour créer la première phase.
- Si vous avez importé le fichier Plaxis, la 1^{ère} phase a déjà été créée automatiquement (phase initiale). Sélectionner cette phase initiale dans l'arborescence.

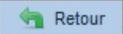
Pour cette 1^{ère} phase, on prend en compte le niveau de nappe au repos à la cote +6 m, aussi bien dans le terrain que dans la retenue. Cette nappe au repos sera à définir comme une **nappe phréatique à la cote +6 m**, pour cela :

- Dans le volet **Propriétés de la phase** , accéder au menu déroulant **Conditions hydrauliques** et choisir l'option **Nappe phréatique**, puis cliquer sur le bouton  du **Toit de la nappe**.
- Dans le nouveau volet de propriétés, le toit de la nappe doit être défini par une succession de points. 2 méthodes sont disponibles :
 - Cliquer sur le bouton **Ajouter un élément à la liste**  pour insérer les points définissant le toit de la nappe et compléter manuellement les coordonnées de chaque point :

N°	X (m)	Y (m)	Angle (°)
1	-10.0	+6.0	0
2	+22.0	+6.0	0

- Cliquer sur le bouton **Dessine la nappe phréatique**  de la barre des outils, puis cliquer à la position des 2 points définissant le toit de la nappe.

Le volet de propriétés complété est illustré sur la Figure 52.

Valider cette saisie en cliquant sur le bouton .

- La nappe définie est représentée sur la coupe du projet : à la **nappe phréatique** vient se superposer automatiquement la **nappe extérieure** pour la partie externe au talus. La nappe extérieure apparaît en trait plus épais que la nappe phréatique à l'intérieur du terrain et avec des hachures bleues.

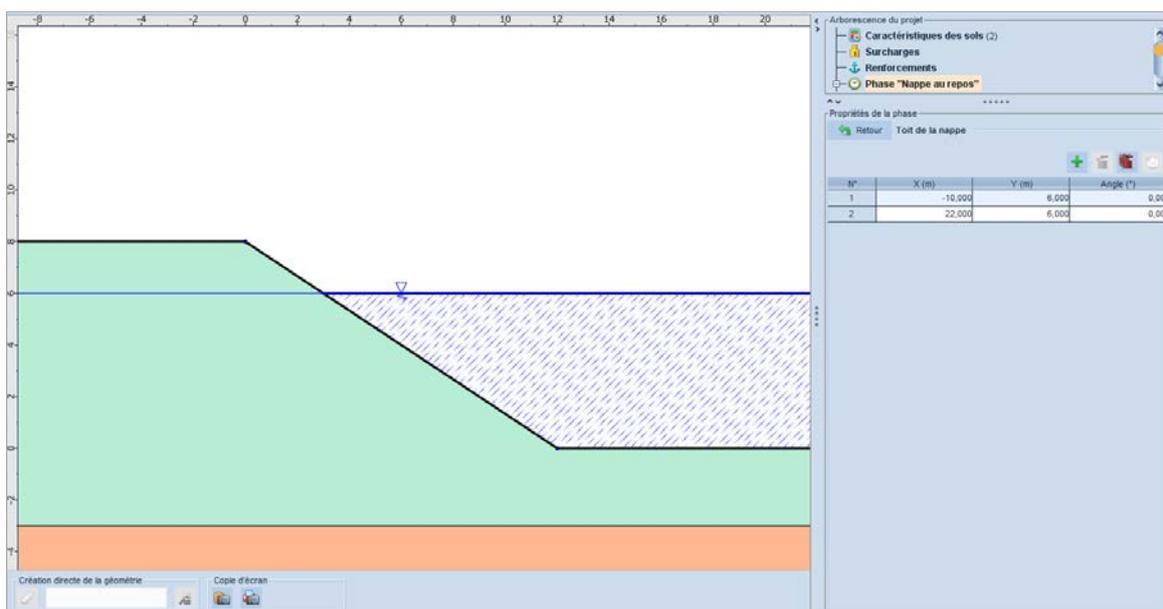
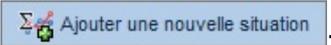
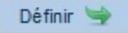


Figure 52. Représentation des conditions hydrauliques de la phase 1 (nappe phréatique et nappe extérieure)

Définition de la situation 1

Créer une situation en double-cliquant sur le menu **Ajouter une nouvelle situation** ou sur le bouton .

Il convient ensuite de définir ses propriétés, notamment : pondérations partielles et surfaces de rupture, dans le volet **Propriétés de la situation** . Compléter le volet de propriétés selon les indications suivantes (Figure 53 et Figure 54) :

- Méthode de calcul : **Bishop** (option choisie par défaut dans la description générale).
- Pondérations partielles : **Méthode traditionnelle / Situation définitive** (option choisie par défaut dans la description générale).
- Sismique : nous n'allons pas définir de conditions sismiques pour cette situation.
- Surfaces de rupture : nous allons choisir par exemple des surfaces de rupture circulaires passant en pied de talus, en recherche automatique. Sélectionner **Circulaire automatique** et puis cliquer sur le bouton .

Le point de passage imposé peut être sélectionné sur le dessin après avoir cliqué sur le bouton  du volet Figure 54.

La valeur **Abscisse émergence limite** égale à +12 m garantit que le logiciel ne recherchera pas les cercles dont le point d'émergence « à droite » a une abscisse inférieure à $x = +12$ m. Valider en cliquant sur le bouton .

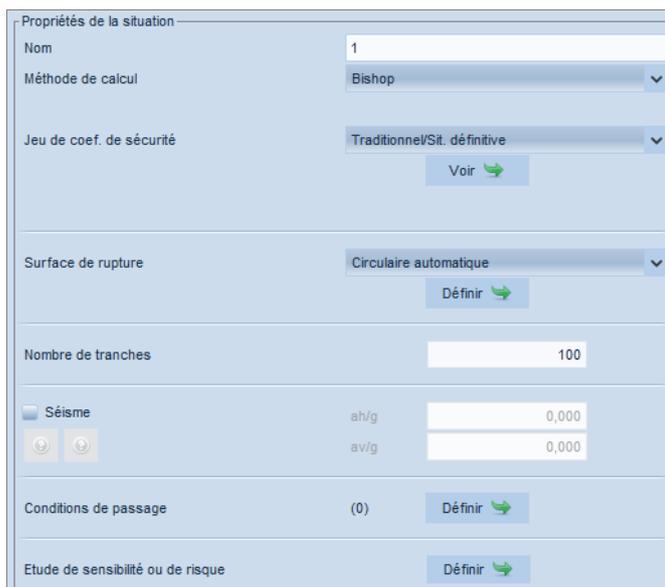


Figure 53. Définition de la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase

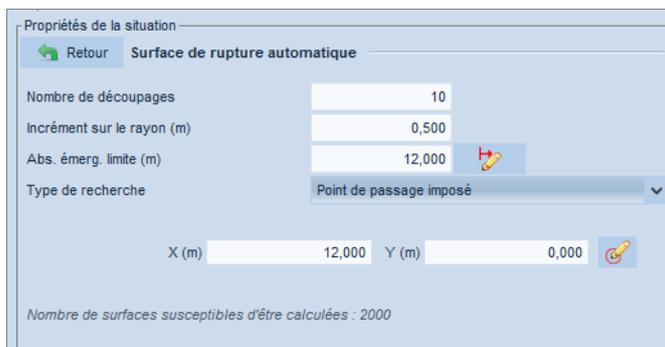
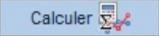


Figure 54. Définition des surfaces de rupture pour la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase

Calcul et résultats pour la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase

Pour effectuer le calcul de cette situation, cliquer sur le bouton **Calculer la situation courante**  dans les « Propriétés de la situation » ou bien cliquer sur le bouton **Calculer la situation courante**  de la barre de boutons « Calcul ».

Le calcul s'effectue puis le résultat s'affiche (Figure 55) : la surface dessinée par défaut est celle qui correspond à la valeur minimale retrouvée pour le coefficient de sécurité.

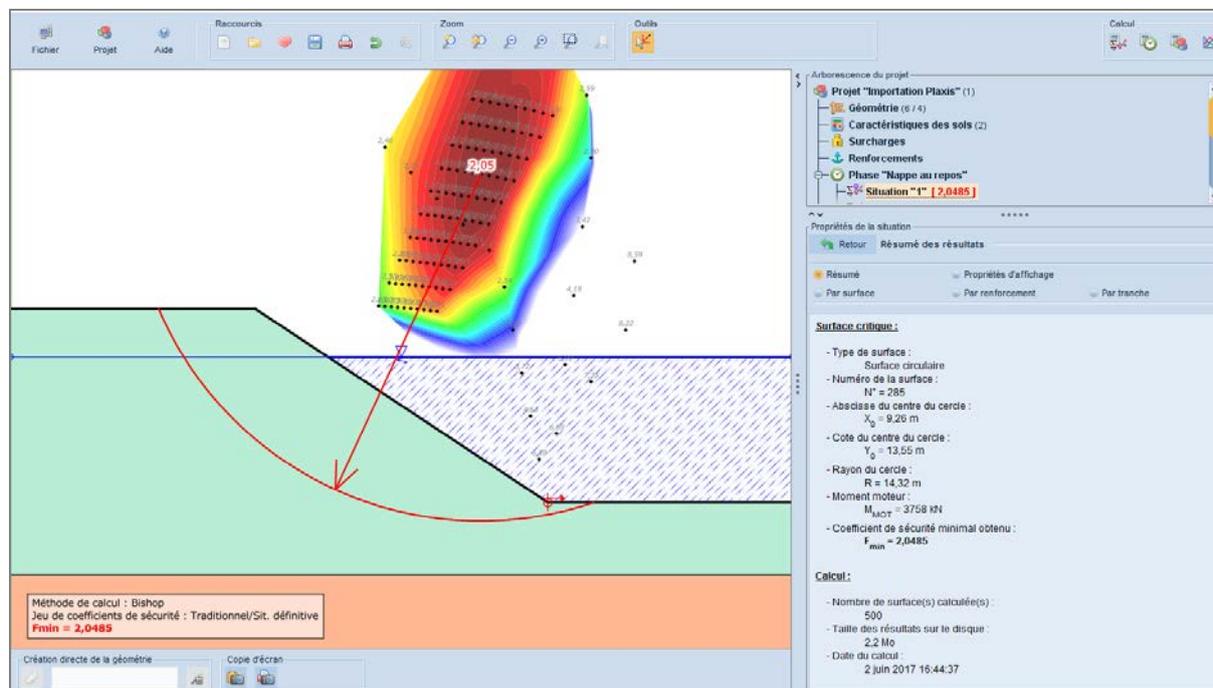
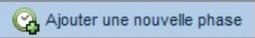
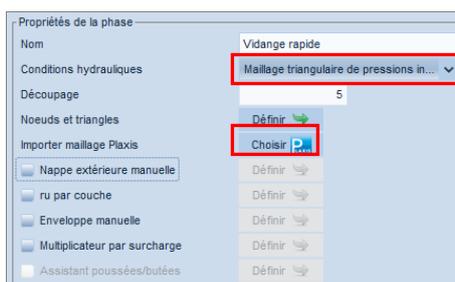


Figure 55. Résultat pour la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase

D.2.4 Définition de la 2^{ème} phase (vidange rapide)

Cette 2^{ème} phase consiste à étudier la stabilité de la digue dans le cas d'une vidange à court terme (vidange rapide, le calcul Plaxis est réalisé en conditions « non drainées »).

- Double-cliquer sur le menu **Ajouter une phase** ou sur le bouton . Par défaut, la phase ajoutée reprend la configuration de la phase précédente, notamment la nappe phréatique.
- Dans le volet **Propriétés de la phase**, accéder aux **Conditions hydrauliques** et au lieu de l'option « nappe phréatique », sélectionner « **Maillage triangulaire de pressions interstitielles** », puis cliquer sur le bouton **Choisir un fichier Plaxis**  de l'option **Importer maillage Plaxis** (Figure 56).



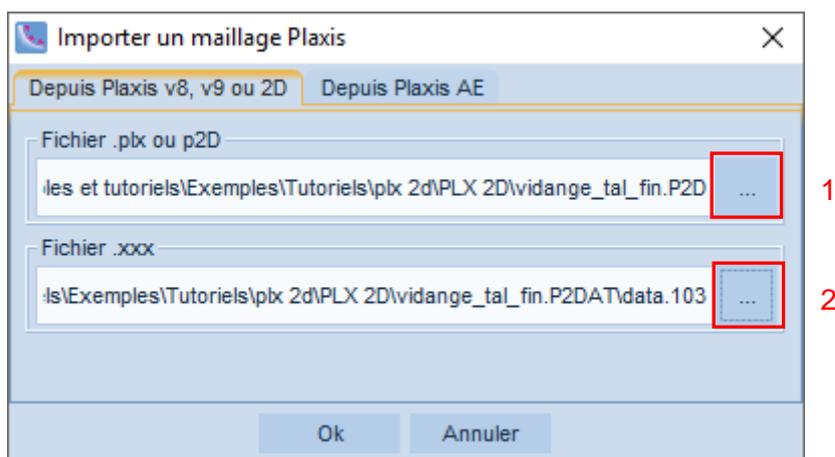


Figure 56. Conditions hydrauliques de la 2^{ème} phase

- Cliquer sur le bouton [...] [1] et choisir le fichier "**vidange tal fin.P2D**", puis cliquer sur le bouton [...] [2] pour choisir le pas de calcul à importer : **Step n° 103** (cf. Figure 57 et Figure 58).

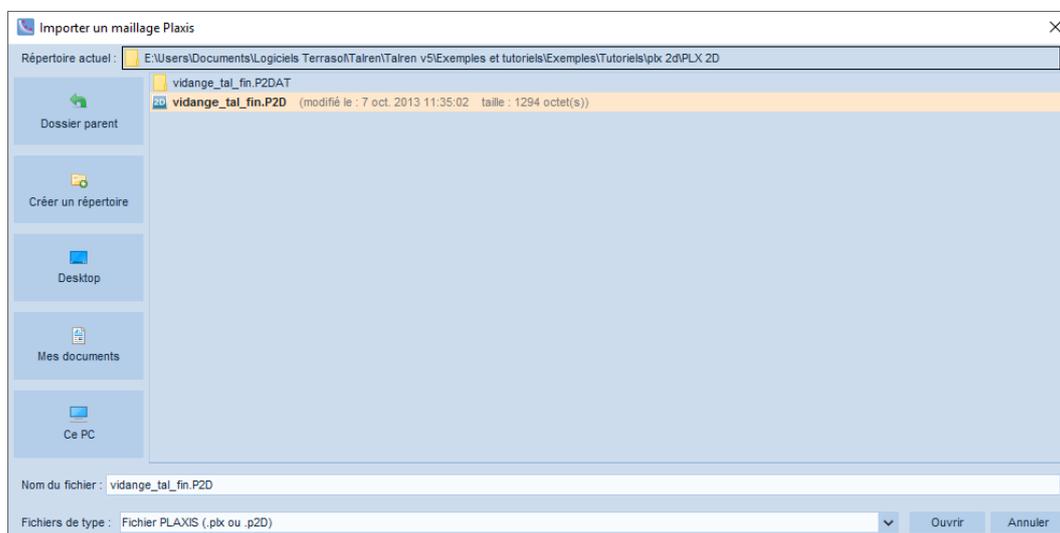


Figure 57. Choix du fichier Plaxis à utiliser

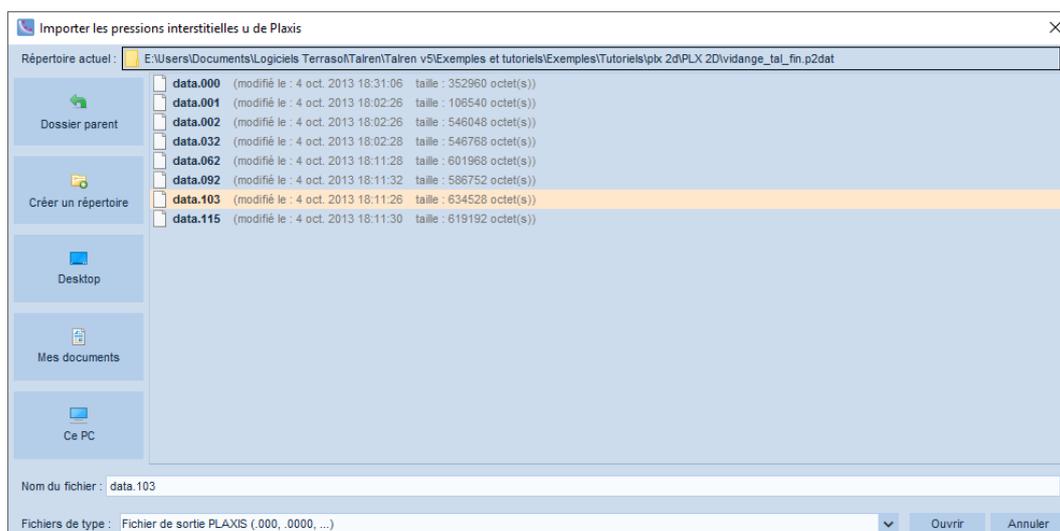
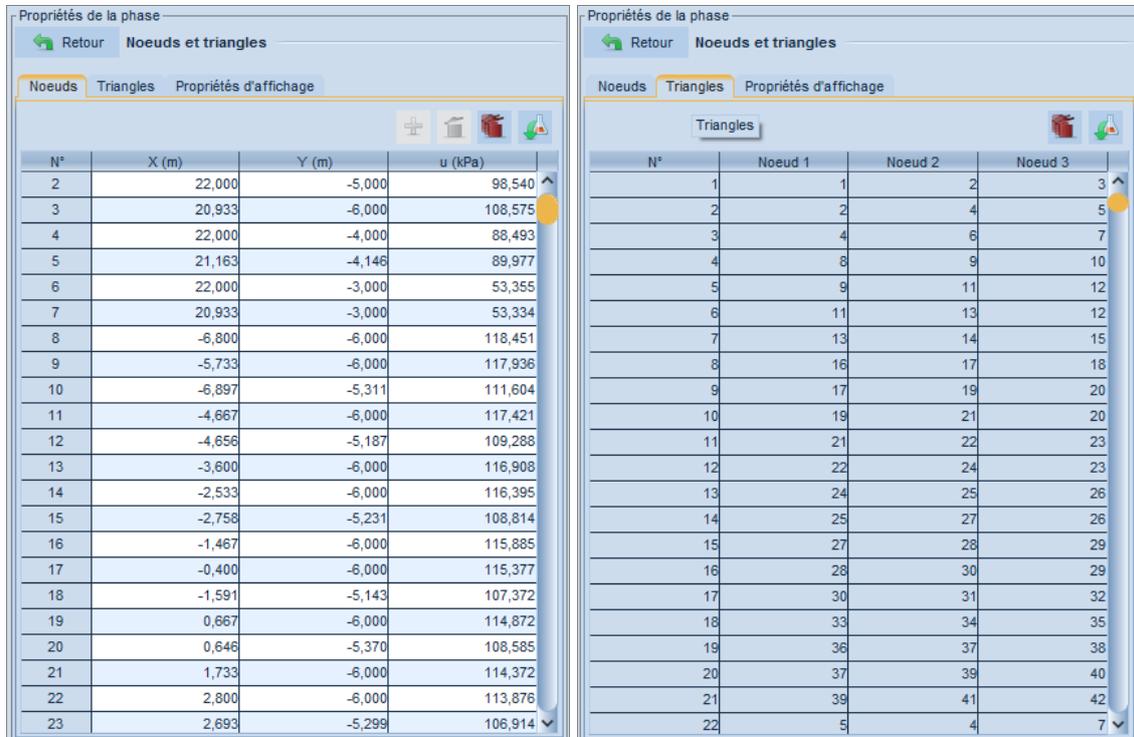


Figure 58. Choix du pas de calcul (Step) pour l'importation des pressions interstitielles

Pour visualiser les points et triangles du maillage de pressions ainsi que les valeurs des pressions interstitielles, cliquer sur le bouton **Définir** de l'option **Nœuds et triangles**, puis utiliser les onglets **Nœuds** et **Triangles**. Pour information, le maillage importé dans notre cas comporte 365 nœuds et 647 triangles. Valider cette boîte de dialogue en cliquant sur le bouton **Retour**.



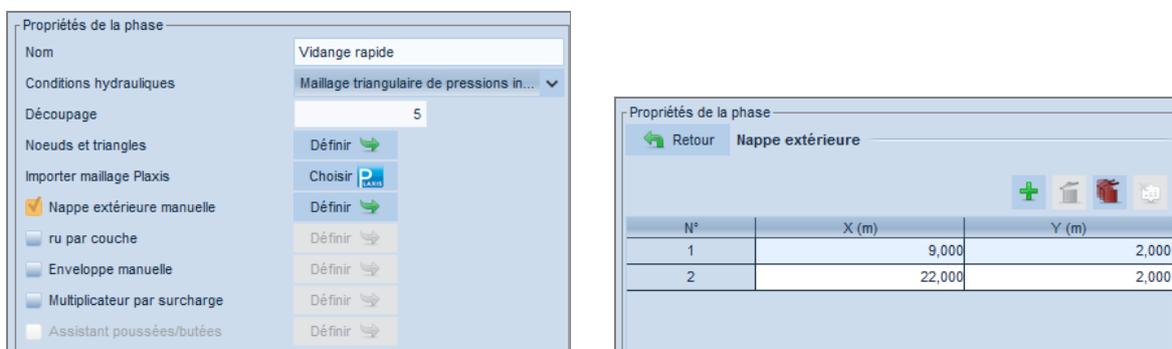
N°	X (m)	Y (m)	u (kPa)
2	22,000	-5,000	98,540
3	20,933	-6,000	108,575
4	22,000	-4,000	88,493
5	21,163	-4,146	89,977
6	22,000	-3,000	53,355
7	20,933	-3,000	53,334
8	-6,800	-6,000	118,451
9	-5,733	-6,000	117,936
10	-6,897	-5,311	111,604
11	-4,667	-6,000	117,421
12	-4,656	-5,187	109,288
13	-3,600	-6,000	116,908
14	-2,533	-6,000	116,395
15	-2,758	-5,231	108,814
16	-1,467	-6,000	115,885
17	-0,400	-6,000	115,377
18	-1,591	-5,143	107,372
19	0,667	-6,000	114,872
20	0,646	-5,370	108,585
21	1,733	-6,000	114,372
22	2,800	-6,000	113,876
23	2,693	-5,299	106,914

N°	Noeud 1	Noeud 2	Noeud 3
1	1	2	3
2	2	4	5
3	4	6	7
4	8	9	10
5	9	11	12
6	11	13	12
7	13	14	15
8	16	17	18
9	17	19	20
10	19	21	20
11	21	22	23
12	22	24	23
13	24	25	26
14	25	27	26
15	27	28	29
16	28	30	29
17	30	31	32
18	33	34	35
19	36	37	38
20	37	39	40
21	39	41	42
22	5	4	7

Figure 59. Tableaux de visualisation des nœuds et des triangles d'un maillage de pressions interstitielles

Après définition du maillage de pressions interstitielles, il faut compléter les conditions hydrauliques par la définition de la **nappe extérieure** : celle-ci se trouve maintenant à son niveau de vidange, soit à la cote **+2.0 m**. Cette fois, la nappe extérieure ne peut pas être déterminée automatiquement à partir d'une nappe phréatique.

Dans le volet de propriétés des conditions hydrauliques, cocher la case **Nappe extérieure manuelle**, puis cliquer sur le bouton **Définir** pour définir la nappe extérieure soit par dessin sur la coupe, soit par la saisie des coordonnées des points de la nappe dans le tableau du volet des propriétés à droite (Figure 60).



N°	X (m)	Y (m)
1	9,000	2,000
2	22,000	2,000

Figure 60. Définition de la nappe extérieure de la 2^{ème} phase

Les conditions hydrauliques sont représentées sur la coupe (Figure 61).

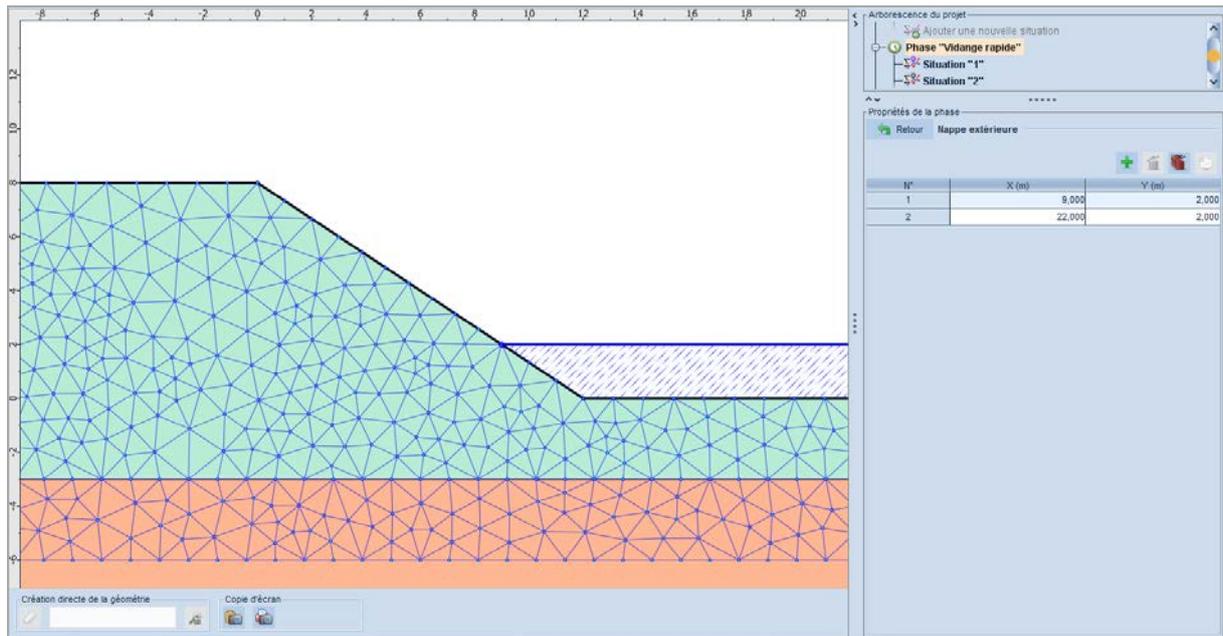


Figure 61. Représentation des conditions hydrauliques de la 2^{ème} phase (maillage triangulaire de pressions interstitielles et nappe extérieure)

Définition de la situation 1

Plutôt que de redéfinir les paramètres pour cette situation 1 de la 2^{ème} phase, nous allons réutiliser les paramètres définis pour la situation de la 1^{ère} phase (les paramètres de recherche sont les mêmes). Pour cela, cliquer sur **Ajouter une nouvelle situation** dans la 2^{ème} phase, puis :

- Cliquer sur le bouton  .
- Sélectionner dans la nouvelle fenêtre :
 - L'option **Copie de la situation « Situation 1 » (« Phase 1 »)** dans le menu déroulant du **Contenu de la situation**.
 - L'option **A la fin**, dans le menu déroulant du « Futur emplacement ».

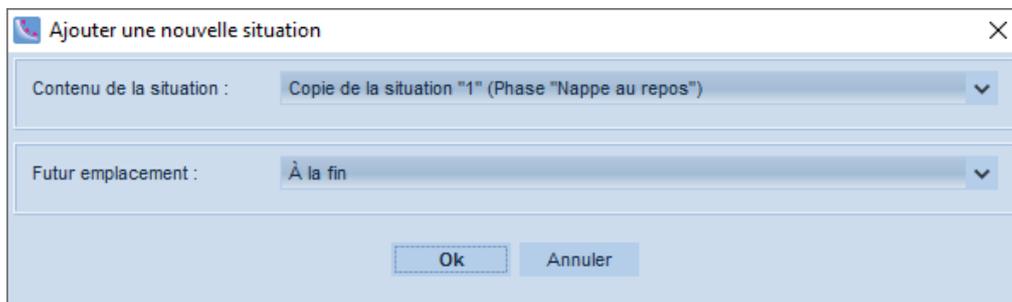
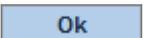


Figure 62. Fenêtre pour ajouter une nouvelle situation

- Valider en cliquant sur le bouton  .

Calcul et résultats pour la situation 1

Il ne reste plus qu'à calculer la situation 1 de la phase 2.

Le résultat obtenu est indiqué sur la Figure 63.

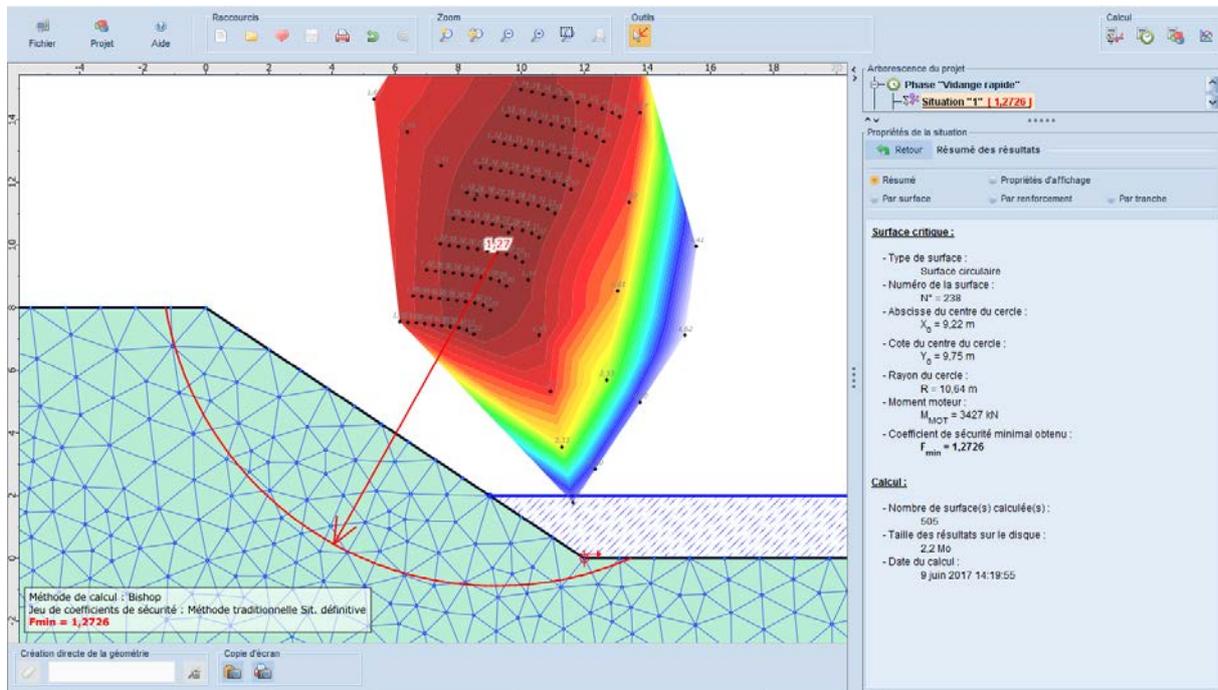


Figure 63. Résultat pour la situation 1 de la 2^{ème} phase

D.2.5 Définition de la 3^{ème} phase (vidange lente)

La 3^{ème} phase consiste à étudier la stabilité de la digue en situation de vidange à long terme (vidange lente, calcul Plaxis réalisé en conditions "drainées").

- Cliquer avec le bouton droit de la souris sur la 2^{ème} phase et choisir l'option **Dupliquer cette phase** . La 3^{ème} phase est alors créée (avec la même situation 1 que celle de la 2^{ème} phase, car les situations sont dupliquées avec les phases).
- Modifier les conditions hydrauliques de la 3^{ème} phase en procédant de manière analogue à la 2^{ème} phase : cliquer sur le bouton **Choisir un fichier Plaxis**  de l'option **Importer maillage Plaxis**. Choisir le même fichier "vidange tal fin.plx" que pour la phase précédente, puis sélectionner cette fois le **Step n° 115**, correspondant au calcul de vidange rapide réalisé sur Plaxis.
- Valider et confirmer que vous souhaitez supprimer le maillage existant (pour le remplacer par le nouveau maillage choisi).
- Le maillage importé est géométriquement identique au précédent (puisque'il s'agit du même fichier et donc du même maillage Plaxis), mais les pressions importées sont différentes.
- D'autre part, la nappe extérieure reste inchangée par rapport à la phase précédente (niveau de vidange à **+2,0 m** également).

Définition, calcul et résultats de la situation 1

Il ne reste plus qu'à calculer la situation 1 de cette 3^{ème} phase (en se plaçant sur la situation 1 pour pouvoir lancer le calcul).

Le résultat obtenu est indiqué sur la Figure 64.

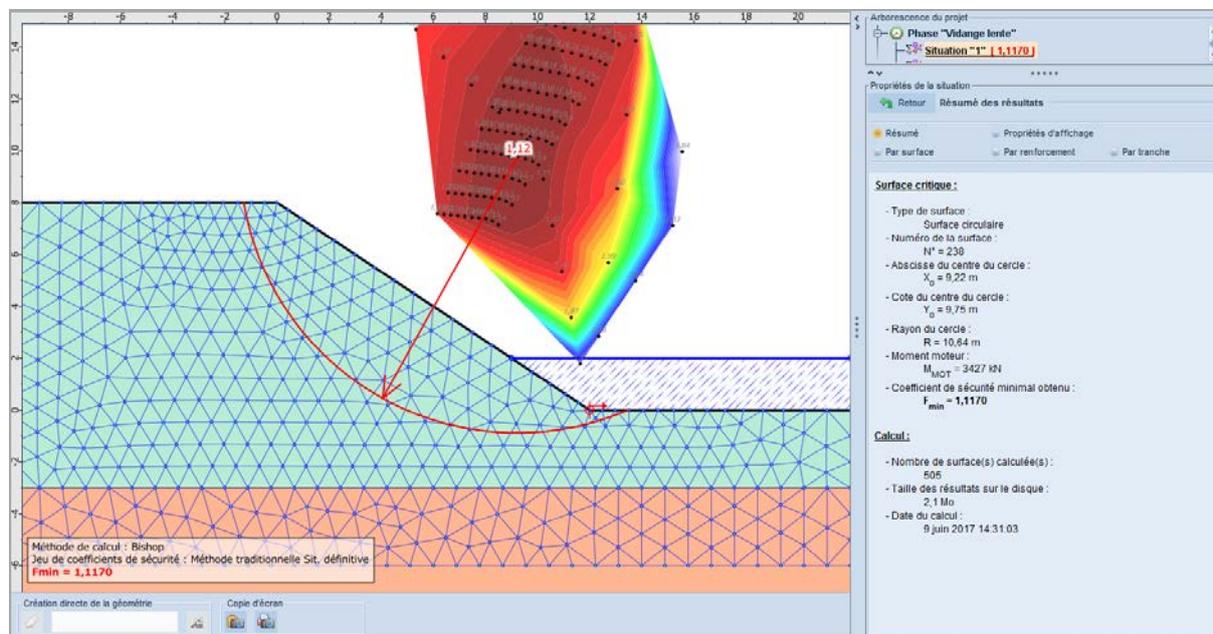


Figure 64. Résultat pour la situation 1 de la phase 3

D.2.6 Synthèse des résultats obtenus

Les 3 calculs effectués (tous avec des coefficients partiels unitaires) ont donné les résultats suivants :

Conditions hydrauliques	Valeurs du coefficient de sécurité obtenu
Nappe permanente	$F_{min} = 2,05$
Vidange rapide	$F_{min} = 1,25$
Vidange lente	$F_{min} = 1,12$

Tableau 4. Synthèse des résultats

D.3 Reprise des 2 premiers tutoriels avec la méthode du calcul à la rupture

Ce chapitre a pour but de reprendre les 2 exemples précédents avec la méthode du calcul à la rupture, afin de familiariser l'utilisateur avec cette méthode de calcul qui ne nécessite pas d'hypothèses supplémentaires et qui permet de fiabiliser les résultats obtenus.

L'objectif est de comparer les résultats obtenus avec les méthodes Bishop/perturbations d'une part et avec la méthode du calcul à la rupture d'autre part.

D.3.1 Tutoriel 1 : Mur cloué (calcul à la rupture)

Nous effectuerons la comparaison uniquement pour la dernière phase (phase permanente).

La situation « de référence » sera la 1^{ère} situation de cette phase (calcul selon Clouterre / combinaison fondamentale / ouvrage courant avec recherche automatique) : le calcul avec la méthode de Bishop donnait pour cette situation $F_{\min, \text{Bishop}} = 1,03$.

- Après avoir rouvert le fichier tutorial1.t5p, sélectionner la situation 1 de la dernière phase.
- Cliquer sur son libellé avec le bouton droit de la souris et sélectionner **Dupliquer** .
- Modifier les propriétés de la nouvelle situation ainsi créée, conformément aux deux figures suivantes, pour effectuer un calcul suivant la méthode du calcul à la rupture.



Figure 65. Tutoriel 1- Paramètres de la situation 4 de la phase 4 (calcul à la rupture)

Il convient de commencer par un calcul avec $XF = 1,0$, puis en fonction du résultat obtenu pour F_{\min} , modifier la valeur de XF jusqu'à obtenir $F_{\min} = 1,0$ (équilibre de moments).



Figure 66. Tutoriel 1 - Paramètres de la situation 4 de la phase 4 (définition des spirales logarithmiques)

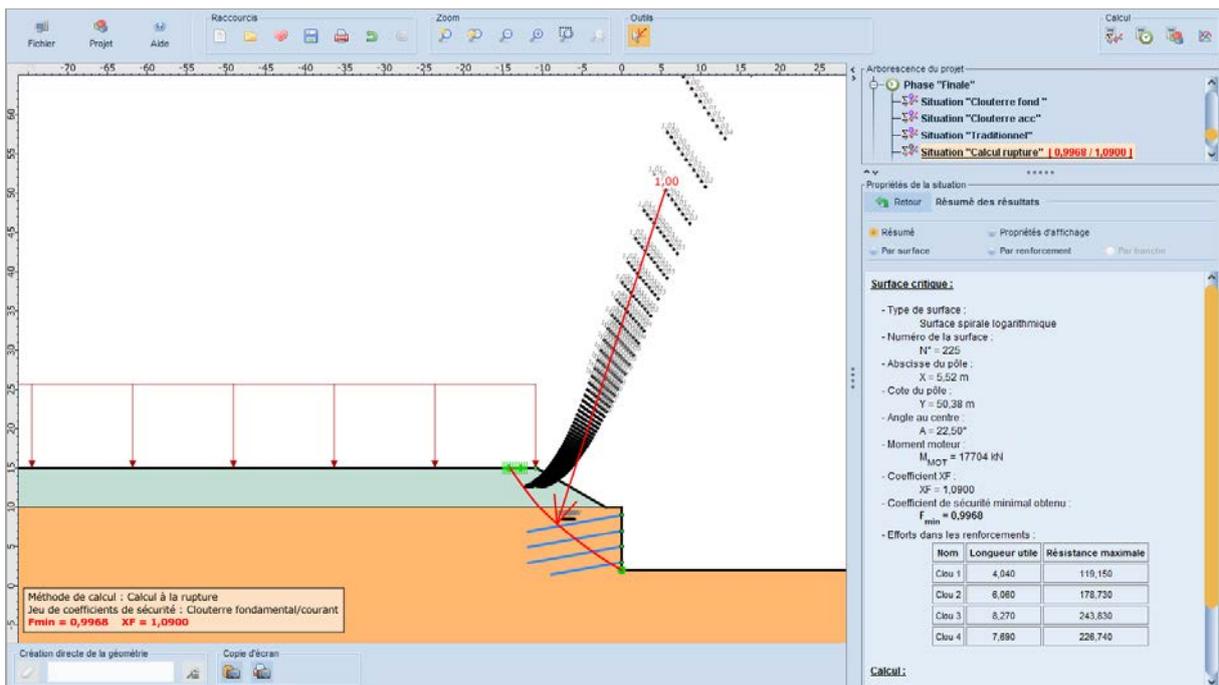


Figure 67. Tutoriel 1 – Résultat du calcul de la situation 4 de la phase 4 (calcul à la rupture)

Le coefficient XF permettant d'obtenir $F_{\min} \approx 1,0$ est $\mathbf{XF_{rupture} = 1,09}$.

C'est ce coefficient XF qui peut être comparé au coefficient de sécurité global F calculé selon la méthode de Bishop (cf. Partie C du manuel : Notice technique).

Conclusion pour le tutorial 1 : $\mathbf{XF_{rupture} = 1,09}$ et $\mathbf{F_{\min,Bishop} = 1,03}$

D.3.2 Tutoriel 2 : Stabilité de pente sous nappe (calcul à la rupture)

Nous effectuerons la comparaison pour chacune des 3 phases.

La situation « de référence » sera la 1^{ère} et unique situation de chaque phase.

- Après avoir rouvert le fichier tutorial2.t5p, sélectionner la situation 1 de la 1^{ère} phase.
- Cliquer sur son libellé avec le bouton droit de la souris et sélectionner **Dupliquer** .
- Modifier les propriétés de la nouvelle situation ainsi créée pour effectuer un calcul suivant la méthode du calcul à la rupture (paramètres fournis sur la Figure 68).
- Après avoir effectué le calcul, copier/coller cette situation dans les autres phases pour effectuer des calculs avec les différentes conditions hydrauliques définies dans chaque phase. Modifier les paramètres des spirales logarithmiques si nécessaire.

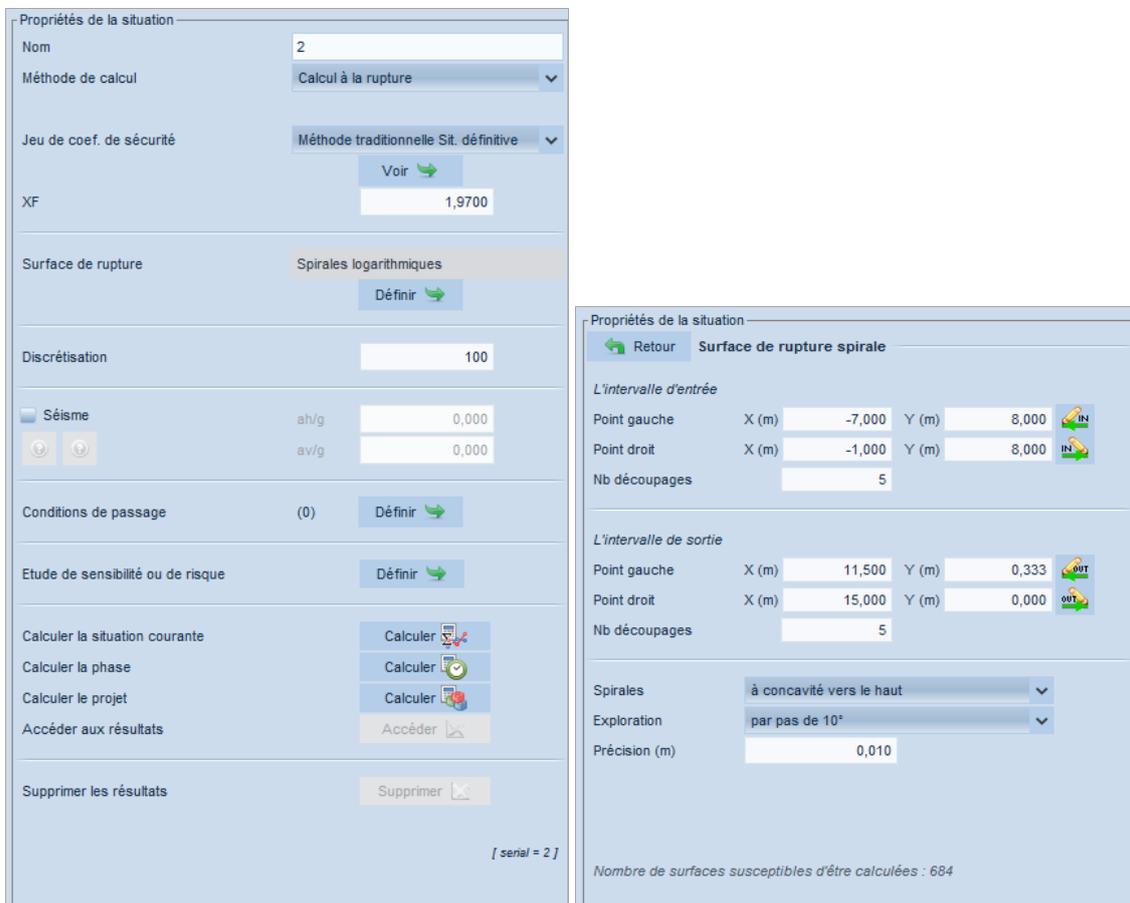


Figure 68 displays two screenshots of the software interface for defining a situation and its parameters.

Left Screenshot (Propriétés de la situation):

- Nom: 2
- Méthode de calcul: Calcul à la rupture
- Jeu de coef. de sécurité: Méthode traditionnelle Sit. définitive
- Voir: 
- XF: 1,9700
- Surface de rupture: Spirales logarithmiques
- Définir: 
- Discrétisation: 100
- Séisme: ah/g 0,000, av/g 0,000
- Conditions de passage: (0) Définir: 
- Etude de sensibilité ou de risque: Définir: 
- Calculer la situation courante: Calculer 
- Calculer la phase: Calculer 
- Calculer le projet: Calculer 
- Accéder aux résultats: Accéder 
- Supprimer les résultats: Supprimer 
- [serial = 2]

Right Screenshot (Propriétés de la situation - Surface de rupture spirale):

- Retour  Surface de rupture spirale
- L'intervalle d'entrée:
 - Point gauche: X (m) -7,000 Y (m) 8,000 
 - Point droit: X (m) -1,000 Y (m) 8,000 
 - Nb découpages: 5
- L'intervalle de sortie:
 - Point gauche: X (m) 11,500 Y (m) 0,333 
 - Point droit: X (m) 15,000 Y (m) 0,000 
 - Nb découpages: 5
- Spirales: à concavité vers le haut
- Exploration: par pas de 10°
- Précision (m): 0,010
- Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 684

Figure 68. Tutoriel 2 – Définition de la situation 2 de la phase 1 (calcul à la rupture) paramètres de la situation (à gauche) et définition des spirales logarithmiques (à droite)

Propriétés de la situation

Nom: Vidage rapide

Méthode de calcul: Calcul à la rupture

Jeu de coef. de sécurité: Traditionnel/Sit. définitive

Voir

XF: 1,2250

Surface de rupture: Spirales logarithmiques

Définir

Discretisation: 100

Séisme: ah/g: 0,000, av/g: 0,000

Conditions de passage: (0) Définir

Etude de sensibilité ou de risque: Définir

Calculer la situation courante: Calculer

Calculer la phase: Calculer

Calculer le projet: Calculer

Accéder aux résultats: Accéder

Supprimer les résultats: Supprimer

[serial = 12]

Propriétés de la situation

Retour Surface de rupture spirale

L'intervalle d'entrée

Point gauche: X (m) -3,000 Y (m) 8,000

Point droit: X (m) 0,000 Y (m) 8,000

Nb découpages: 5

L'intervalle de sortie

Point gauche: X (m) 11,500 Y (m) 0,333

Point droit: X (m) 13,000 Y (m) 0,000

Nb découpages: 5

Spirales: à concavité vers le haut

Exploration: par pas de 10°

Précision (m): 0,010

Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 684

Figure 69. Tutorial 2 – Définition de la situation 2 de la phase 2 (calcul à la rupture) paramètres de la situation (à gauche) et définition des spirales logarithmiques (à droite)

Propriétés de la situation

Nom: Vidange lente

Méthode de calcul: Calcul à la rupture

Jeu de coef. de sécurité: Traditionnel/Sit. définitive

Voir

XF: 1,1550

Surface de rupture: Spirales logarithmiques

Définir

Discretisation: 100

Séisme: ah/g: 0,000, av/g: 0,000

Conditions de passage: (0) Définir

Etude de sensibilité ou de risque: Définir

Calculer la situation courante: Calculer

Calculer la phase: Calculer

Calculer le projet: Calculer

Accéder aux résultats: Accéder

Supprimer les résultats: Supprimer

Propriétés de la situation

Retour Surface de rupture spirale

L'intervalle d'entrée

Point gauche: X (m) -2,000 Y (m) 8,000

Point droit: X (m) 0,000 Y (m) 8,000

Nb découpages: 5

L'intervalle de sortie

Point gauche: X (m) 11,000 Y (m) 0,667

Point droit: X (m) 12,500 Y (m) 0,000

Nb découpages: 5

Spirales: à concavité vers le haut

Exploration: par pas de 10°

Précision (m): 0,010

Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 684

Figure 70. Tutorial 2 – Définition de la situation 2 de la phase 3 (calcul à la rupture) paramètres de la situation (à gauche) et définition des spirales logarithmiques (à droite)

Les résultats pour les 3 phases de calcul sont fournis sur les figures suivantes et synthétisés dans le Tableau 5.

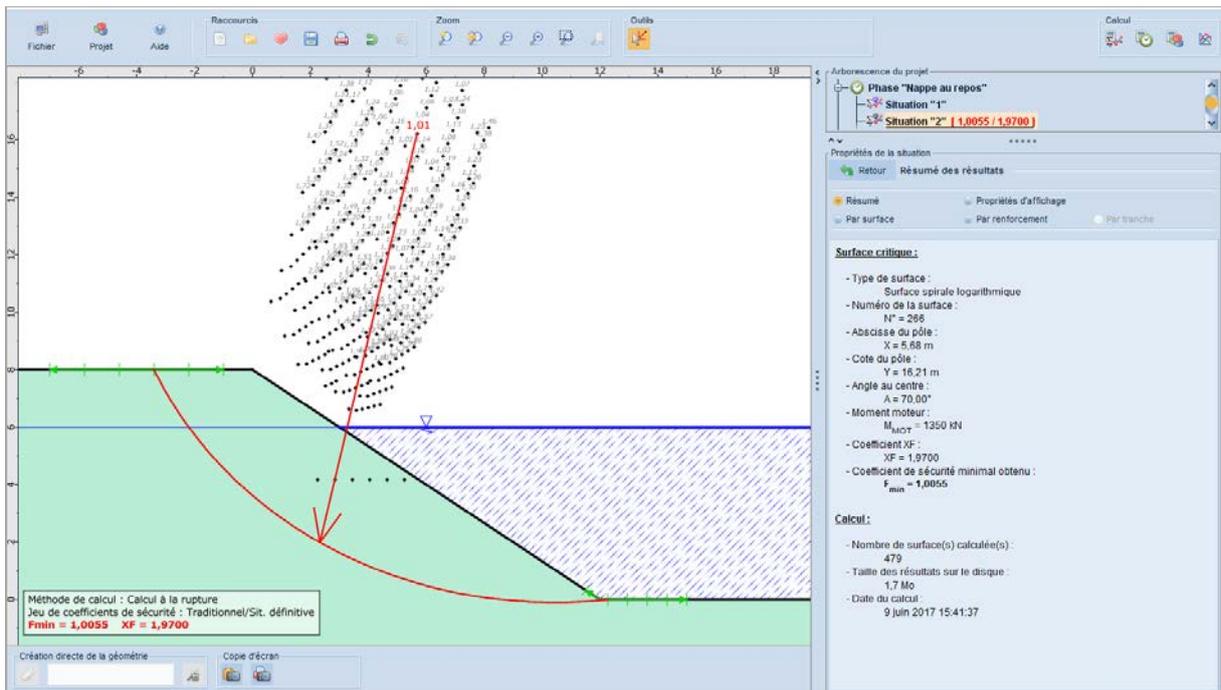


Figure 71. Tutorial 2 / Calcul de la situation 2 de la phase 1 (calcul à la rupture, nappe permanente)

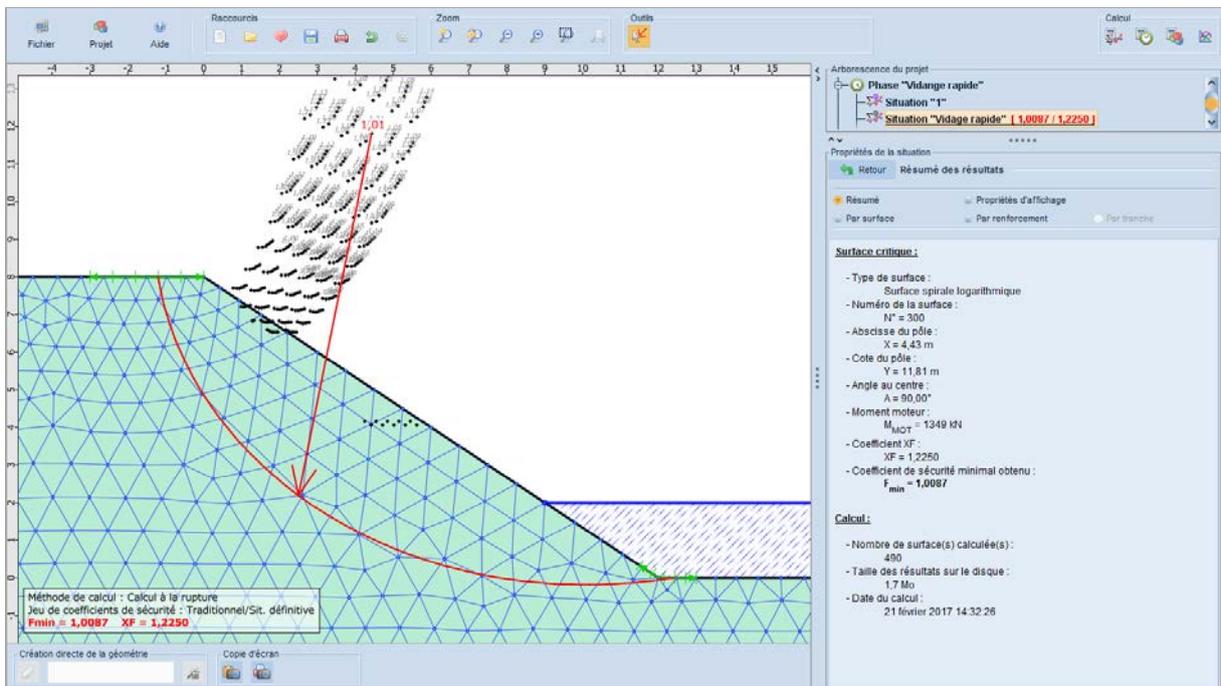


Figure 72. Tutorial 2 / Calcul de la situation 2 de la phase 2 (calcul à la rupture, vidange rapide)

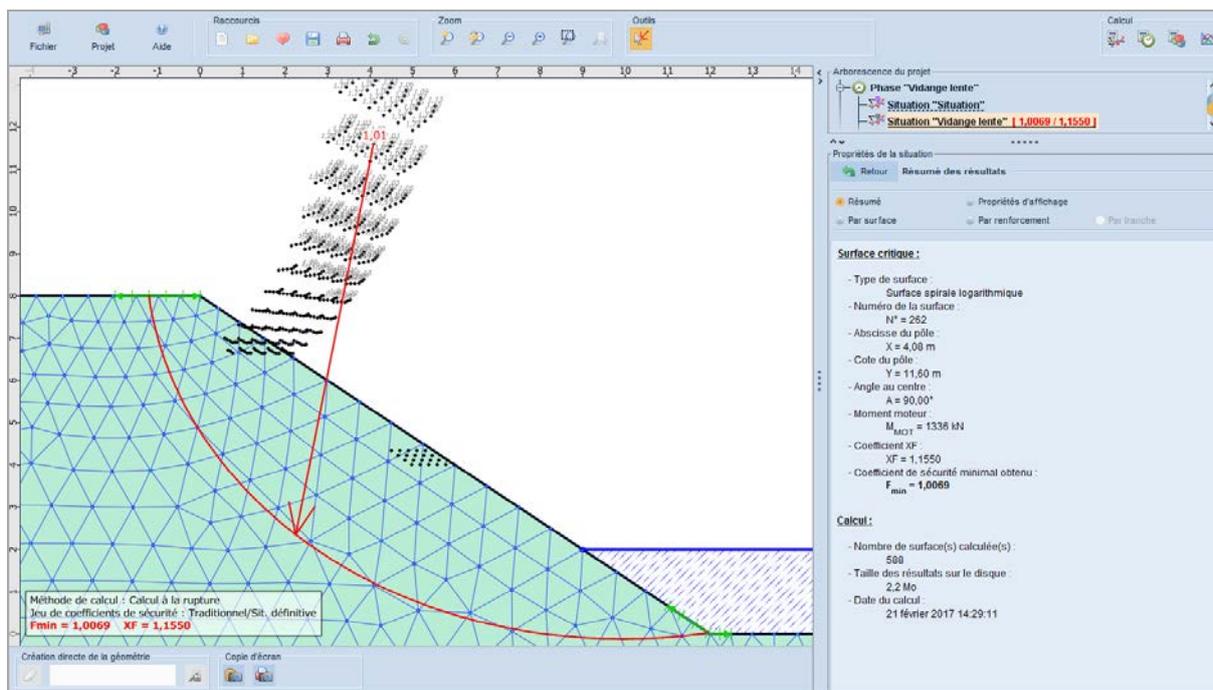


Figure 73. Tutorial 2 / Calcul de la situation 2 de la phase 3 (calcul à la rupture, vidange lente)

Conclusions sur le tutorial 2 :

Conditions hydrauliques	F_{Bishop}	$XF_{\text{Calcul à la rupture}}$
Nappe permanente (phase 1)	F = 2,05	XF = 1,970
Vidange rapide (phase 2)	F = 1,25	XF = 1,225
Vidange lente (phase 3)	F = 1,12	XF = 1,155

Tableau 5. Synthèse des résultats du tutorial 2 : comparaison Bishop/Calcul à la rupture

D.3.3 Remarques sur la comparaison calcul à la rupture / calcul Bishop

Il est observé sur les cas particuliers présentés que constituent les tutoriels 1 et 2 que le calcul à la rupture conduit à un coefficient de sécurité XF qui demeure proche de celui obtenu par la méthode traditionnelle de Bishop.

L'écart est limité en pourcentage (quelques pourcents) et ne permet aucun classement systématique, le coefficient XF du calcul à la rupture étant tantôt supérieur, tantôt inférieur à celui de Bishop.

Comme souligné dans la notice théorique (Partie C de ce manuel), le calcul à la rupture détermine toujours et de manière rigoureuse une estimation par excès de la charge à la rupture réelle (et donc du coefficient de sécurité XF). A l'inverse, les hypothèses propres à la méthode de Bishop rendent indéterminée la position du résultat par rapport à la charge de rupture réelle.

Les écarts observés sur les exemples traités s'accordent avec ces éléments.

D.4 Tutoriel 3 : Stabilité d'une pente naturelle avec des pieux - Surfaces de rupture polygonales (non circulaires)

Ce tutoriel traite la stabilité d'une pente naturelle stabilisée par des pieux avec prise en compte de surfaces de rupture polygonales (surfaces « quelconques »).

Nous étudierons la stabilité du projet en deux étapes :

- Etape 1 : pente naturelle non renforcée (sans prendre en compte les pieux).
- Etape 2 : pente naturelle renforcée par des pieux pour apprécier leur apport.

Les deux étapes seront examinées pour plusieurs géométries de surfaces de rupture.

Pour le détail des manipulations nécessaires de l'interface, merci de vous référer au 1^{er} exemple.

D.4.1 Définition des propriétés du projet

- Lancer Talren en utilisant le menu **Démarrer** de Windows ou en cliquant sur l'icône située sur le bureau Windows ;
- Sélectionner l'item **Fichier**  puis l'option **Nouveau projet...** ou cliquer sur l'icône  de la barre de boutons « Raccourcis ».
- Sélectionner un répertoire d'enregistrement du projet et donner un nom au fichier du projet (d'extension .t5p).
- Compléter la partie **Propriétés du projet**  dans le volet droit de la fenêtre principale avec les informations comme indiqué sur la Figure 74.

Propriétés du projet	
Numéro d'affaire	19870DEV
Titre du calcul	Stabilisation d'une pente instable
Lieu	
Commentaires	Renforcement par pieux verticaux
Xmin (m)	-200,000
Xmax (m)	50,000
Système d'unités	kN, kPa, kN/m ³
γ_w (kN/m ³)	10,0
Méthode de calcul*	Perturbations
Exposant de tga*	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2
Jeu de coef. de sécurité*	Clousterre Fondamental / Ouvrage courant
* par défaut	Définir 
Fond de plan	Définir 
Géométrie	Définir 
Caractéristiques des sols	Définir 
Surcharges	Définir 
Renforcements	Définir 

Figure 74. Description générale

- **Pondérations par défaut** : cliquer sur le bouton **Définir** puis cliquer sur le bouton **Base de données** [1] tout en bas du volet de propriétés à droite. Sélectionner le jeu de pondérations « Clouterre fondamentale/courant » dans la liste déroulante [2] et cliquer sur le bouton **Importer dans le projet** [3]. Compléter le jeu de pondérations [4] par des valeurs unitaires. Puis valider par le bouton **Retour** [5].

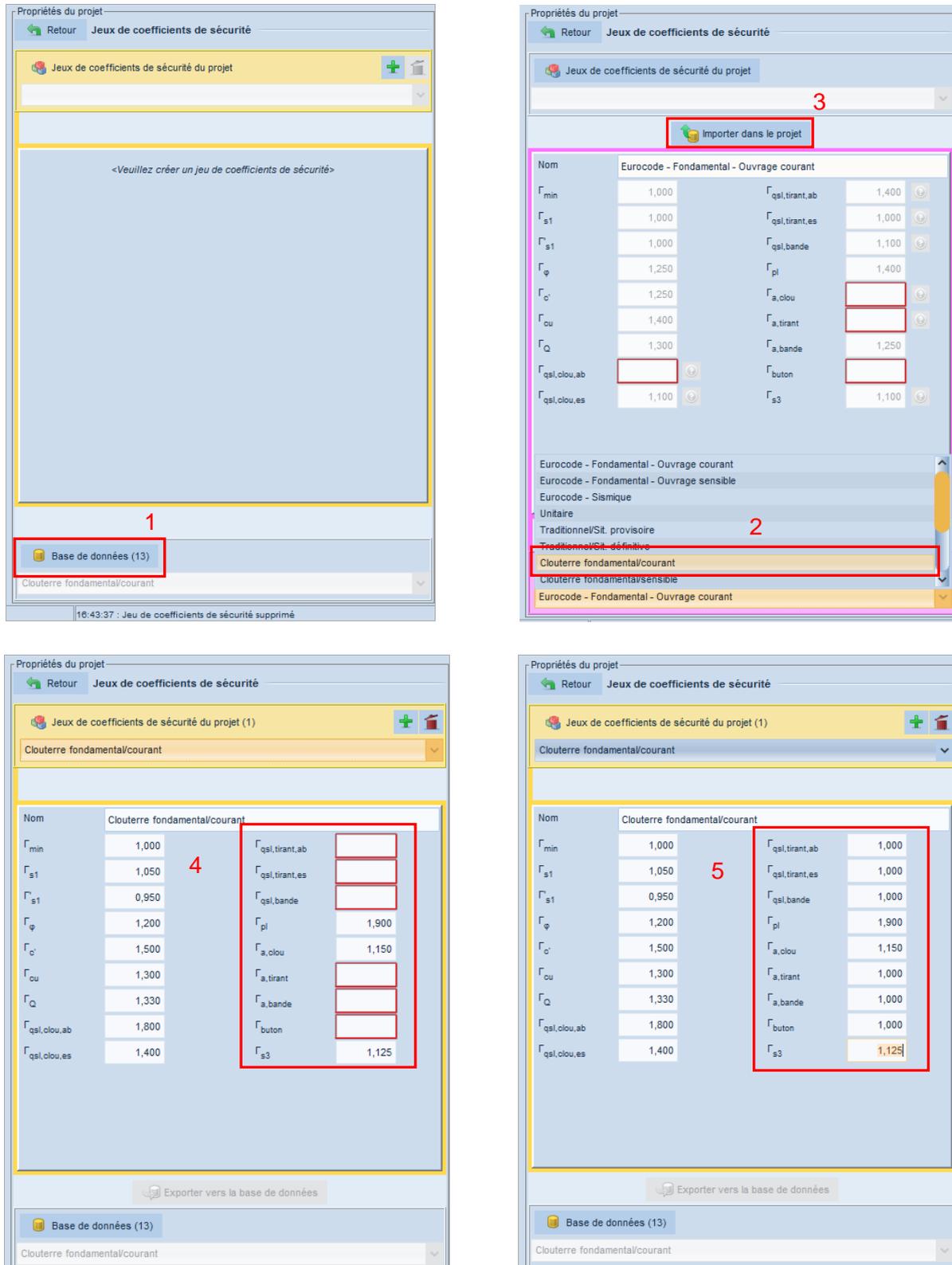


Figure 75. Jeux de coefficients pondérateurs par défaut

Nota important : dans ce tutoriel, les coefficients de sécurité partiels relatifs aux tirants, bandes et butons ont été complétés par des valeurs unitaires pour pouvoir valider l'écran, mais ne seront pas utilisés lors du calcul (seuls ceux des clous seront utilisés). Les valeurs définies ne constituent donc en aucun cas un exemple ou une référence à réutiliser : il faut définir pour chaque étude des valeurs issues des normes ou recommandations adaptées au projet traité.

D.4.2 Définition de la géométrie du projet

Les limites du modèle et les coordonnées des points de la géométrie sont fournis sur la figure ci-dessous (hors renforcements, qui seront définis à posteriori).

Pour définir cette géométrie, utiliser l'une des 3 méthodes suivantes : dessin à la souris, saisie des coordonnées directement dans l'écran principal ou en utilisant le volet des propriétés. Consulter l'exemple 1 pour le détail des manipulations permettant la définition de la géométrie, si nécessaire.

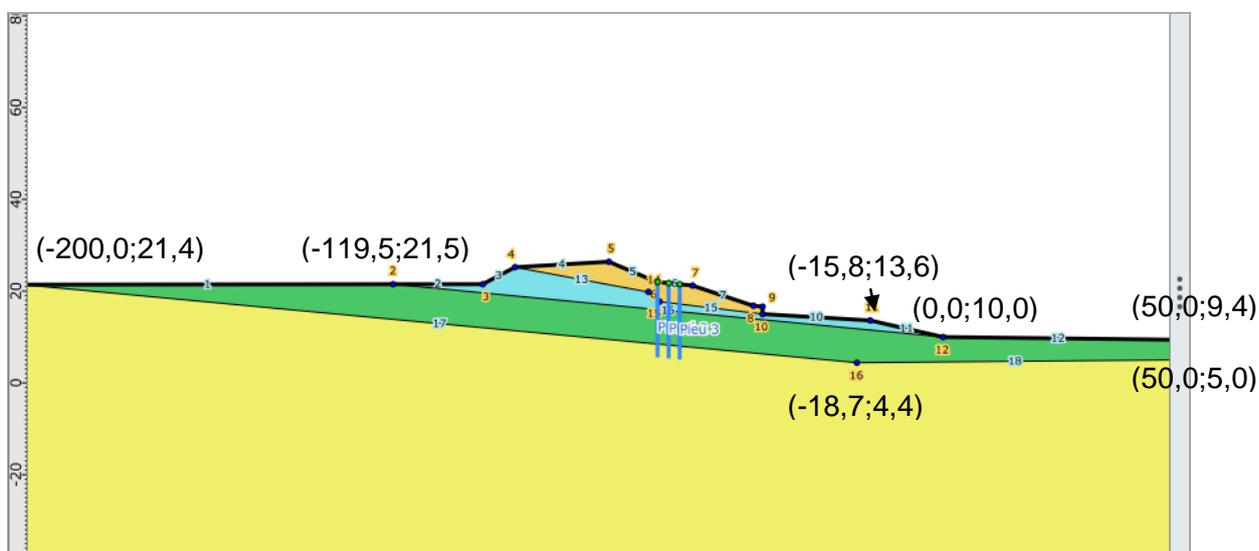


Figure 76. géométrie du modèle

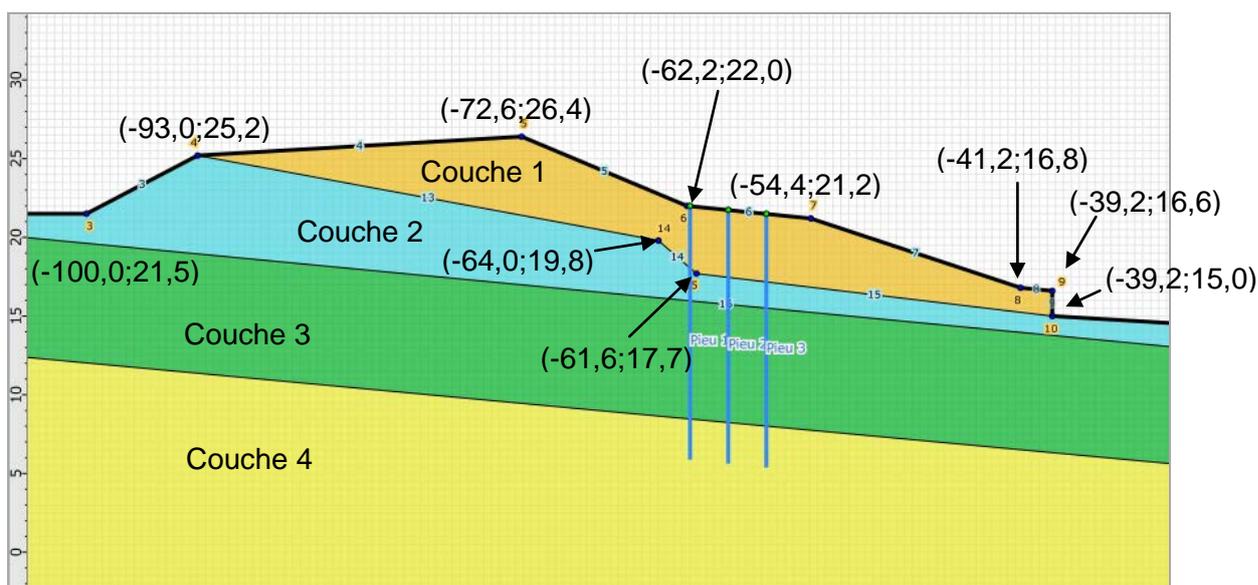


Figure 77. Géométrie du modèle : zoom sur la partie centrale

D.4.3 Définition des caractéristiques de sol

Les caractéristiques des 4 couches de sol à définir sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Couche	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Couche 1	19.0	0.0	25.0
Couche 2	19.0	0.0	13.0
Couche 3	19.0	0.0	10.0
Couche 4	20.0	20.0	35.0

Tableau 6. Caractéristiques des sols

Pour définir ces caractéristiques, sélectionner l'item **Caractéristiques des sols** de l'arborescence du projet. Cliquer sur le bouton **Créer nouvelle couche de sol**, puis compléter les données pour la 1^{ère} couche. Cliquer à nouveau sur le même bouton pour ajouter puis définir les données pour les autres couches de sol. Pour passer d'une couche de sol à l'autre, cliquer sur le libellé de la couche dans la liste à gauche de la boîte de dialogue. La saisie pour la couche 4 est illustrée sur la figure suivante.

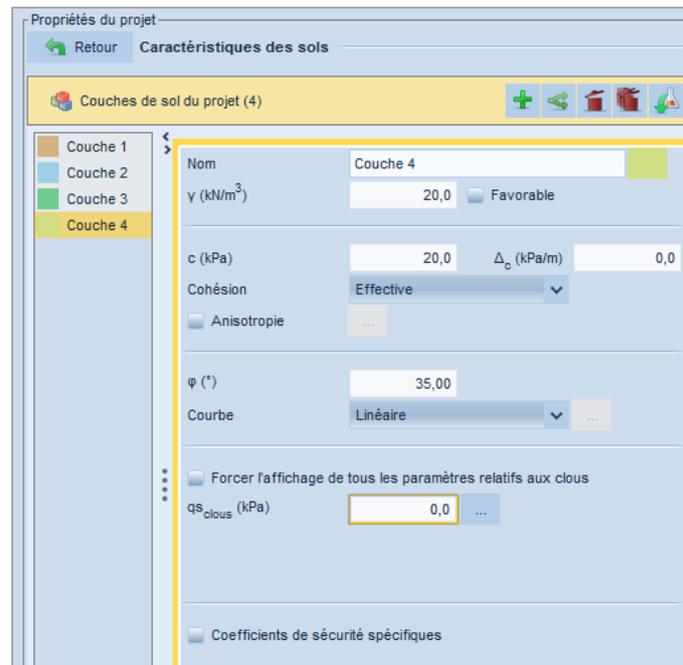


Figure 78. Caractéristiques de sol pour la couche 4

Pour attribuer ces couches aux zones de sol du modèle géométrique, procéder par exemple par glisser-déposer (« drag&drop ») depuis la liste à gauche du volet des propriétés. La position des couches est fournie sur la Figure 77).

D.4.4 Définition des renforcements

Le projet prévoit 3 files de pieux pour stabiliser la pente naturelle. Les pieux sont modélisés dans cet exemple par des clous travaillant au cisaillement uniquement.

Pour définir ces 3 files de clous, utiliser l'une des 3 méthodes décrites dans l'exemple 1.

Les caractéristiques des clous sont définies dans le tableau ci-dessous.

Nom	X (m)	Y (m)	L (m)	Ang (°)	Eh (m)	Largeur de la base de diffusion L_b (m)	Angle de diffusion A_b (°)
Pieu 1	-62.0	22.0	16.0	90.0	2.4	1.0	20.0
Pieu 2	-59.6	21.75	16.0	90.0	2.4	1.0	20.0
Pieu 3	-57.2	21.5	16.0	90.0	2.4	1.0	20.0

Nom	Règle de calcul	TR donnée (kN)	Rsc calculée à partir de q_s ?	Rayon équivalent du scellement R_e (m)	Résistance au cisaillement imposée R_{cis} (kN)
Pieu 1	T_{cal} , C_{imp}	0	Oui	1,0	540.0
Pieu 2	T_{cal} , C_{imp}	0	Oui	1,0	540.0
Pieu 3	T_{cal} , C_{imp}	0	Oui	1,0	540.0

Tableau 7. Caractéristiques des clous (modélisant les files de pieux)

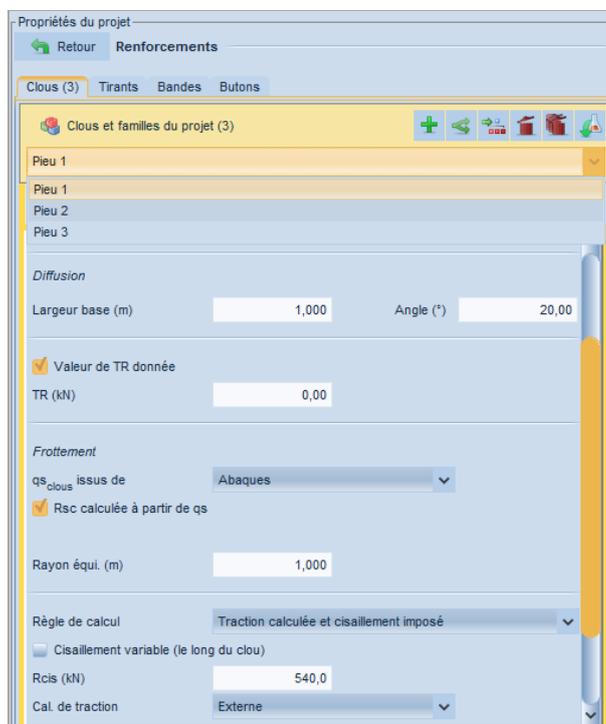
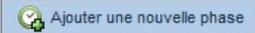


Figure 79. Caractéristiques du clou 1 (file des pieux 1)

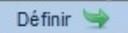
Pour définir la valeur de q_s (frottement limite) pour chaque couche : comme indiqué dans l'exemple 1, il faut revenir aux caractéristiques des couches de sol après avoir défini les clous. Dans cet exemple, on ne prend pas en compte de traction dans les clous. Les valeurs de q_s à définir sont donc toutes nulles (un avertissement s'affiche mais dans ce cas précis, il convient donc de l'ignorer).

D.4.5 Définition de la phase 1

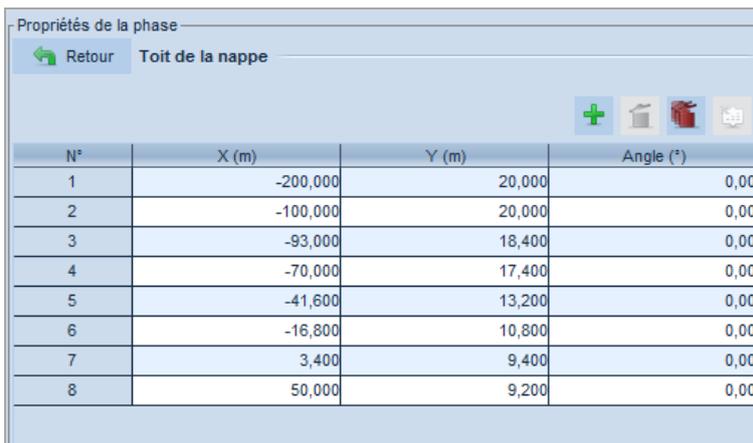
Cette 1^{ère} phase servira à vérifier la stabilité de la pente naturelle sans considérer les pieux.

Double-cliquer sur le menu **Ajouter une nouvelle phase** ou sur  pour créer la 1^{ère} phase du projet (par défaut, les clous sont désactivés lors de la création automatique de cette phase).

Une nappe phréatique existe au droit de la coupe étudiée. Pour la définir :

- Dans le volet de propriétés **Propriétés de la phase** , accéder au menu déroulant des **Conditions hydrauliques** et choisir l'option **Nappe phréatique**, puis cliquer sur le bouton  correspondant au **Toit de la nappe**.
- Dans le nouveau volet de définition du toit de la nappe, il faut introduire une succession de points qui la représente. 2 méthodes sont disponibles :
 - Cliquer sur le bouton **Ajouter un élément à la liste**  pour insérer les points définissant le toit de la nappe et compléter manuellement les coordonnées de chaque point.
 - Ou cliquer sur le bouton  de la barre des « Outils », puis cliquer à la position des 8 points définissant le toit de la nappe.

La boîte de dialogue complétée est illustrée sur la Figure 80.



N°	X (m)	Y (m)	Angle (°)
1	-200,000	20,000	0,00
2	-100,000	20,000	0,00
3	-93,000	18,400	0,00
4	-70,000	17,400	0,00
5	-41,600	13,200	0,00
6	-16,800	10,800	0,00
7	3,400	9,400	0,00
8	50,000	9,200	0,00

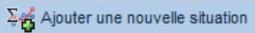
Figure 80. Définition du toit de la nappe phréatique

Valider cette boîte de dialogue à la fin de la saisie en cliquant sur le bouton .

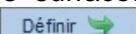
Nous allons à présent définir les 4 surfaces de rupture polygonales « quelconques » à examiner. Chaque surface de rupture polygonale sera examinée dans une situation différente. Nous allons donc définir 4 situations pour la phase 1.

D.4.5.1 Définition de la situation 1

Cette 1^{ère} situation servira à examiner la stabilité de la pente naturelle pour une 1^{ère} surface polygonale.

Double-cliquer sur le menu **Ajouter une nouvelle situation** ou cliquer sur  pour créer la 1^{ère} situation.

Il convient ensuite de définir ses propriétés, notamment : pondérations partielles et surfaces de rupture, dans le volet **Propriétés de la situation**. Compléter ce volet selon les indications suivantes (cf. Figure 81) :

- Méthode de calcul : **Perturbations** (par défaut dans les propriétés du projet) ;
- Pondérations partielles : **Clouterre Fondamental / Ouvrage courant** (option choisie par défaut dans les propriétés du projet) ;
- Sismique : nous n'allons pas définir de conditions sismiques pour cette situation.
- Surfaces de rupture : nous allons choisir des surfaces de rupture quelconques, choisir « **Polygonale** » et cliquer sur le bouton .

La définition de la surface de rupture quelconque se fait de manière analogue à celle du toit de la nappe (dessin à la souris et/ou définition manuelle des coordonnées des points dans le tableau du volet de propriétés).

IMPORTANT : le premier et le dernier point d'une surface de rupture polygonale doivent toujours se trouver hors du terrain ; le second et l'avant-dernier point d'une surface de rupture polygonale doivent toujours se trouver dans le terrain.

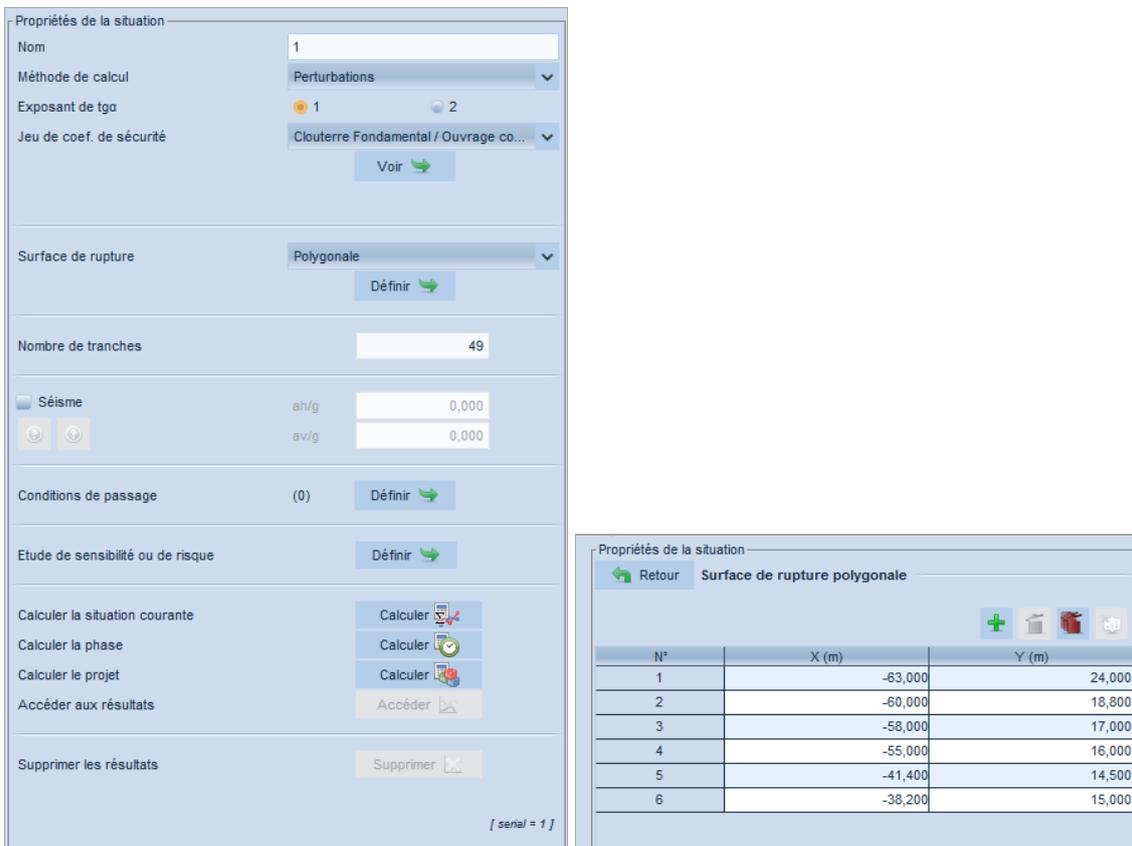


Figure 81 shows two screenshots of the software interface. The left screenshot displays the 'Propriétés de la situation' dialog box with the following settings:

- Nom: 1
- Méthode de calcul: Perturbations
- Exposant de tga: 1
- Jeu de coef. de sécurité: Clouterre Fondamental / Ouvrage co...
- Surface de rupture: Polygonale
- Nombre de tranches: 49
- Séisme: ah/g: 0,000, av/g: 0,000
- Conditions de passage: (0)
- Etude de sensibilité ou de risque: Définir
- Calculer la situation courante: Calculer
- Calculer la phase: Calculer
- Calculer le projet: Calculer
- Accéder aux résultats: Accéder
- Supprimer les résultats: Supprimer

The right screenshot shows the 'Propriétés de la situation' dialog box with the 'Surface de rupture polygonale' tab selected, displaying a table of coordinates for the rupture surface:

N°	X (m)	Y (m)
1	-63,000	24,000
2	-60,000	18,800
3	-58,000	17,000
4	-55,000	16,000
5	-41,400	14,500
6	-38,200	15,000

Figure 81. Définition de la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase (à gauche) et définition de la surface de rupture polygonale pour cette situation (à droite)

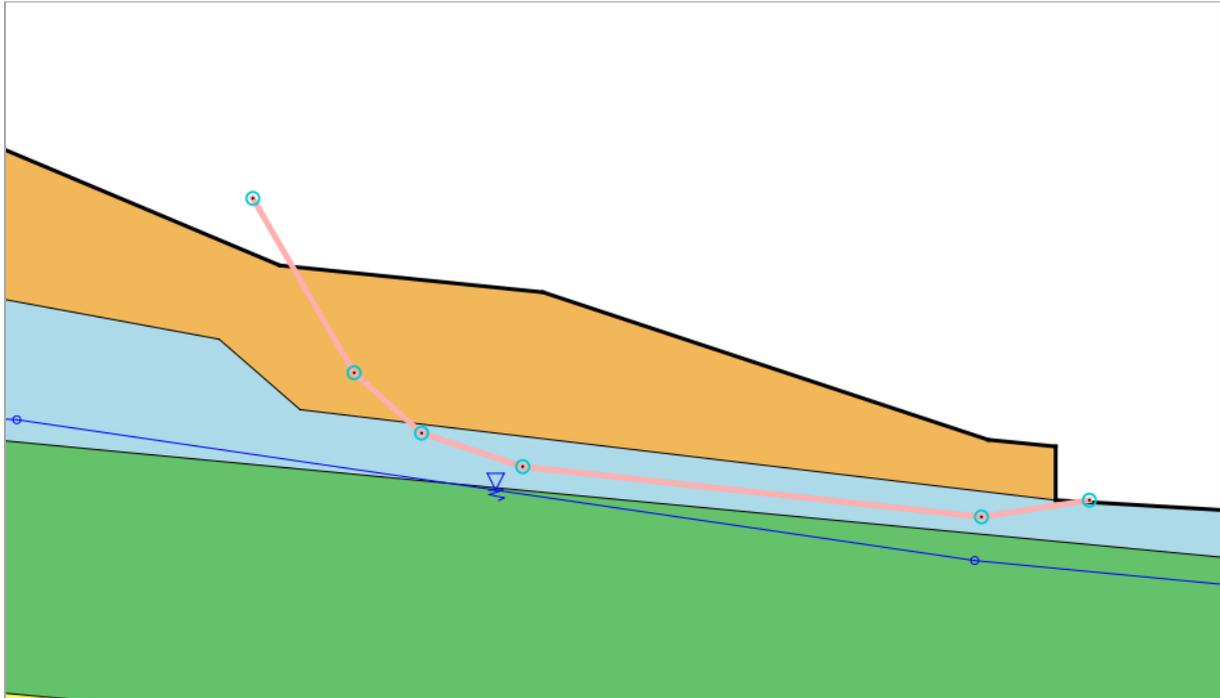
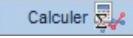


Figure 82. Surface de rupture considérée dans la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase

Calcul et résultats pour la situation 1

Pour effectuer le calcul de cette situation, cliquer sur le bouton **Calculer la situation courante**  dans les **Propriétés de la situation** ou bien cliquer sur le bouton **Calculer la situation courante**  de la barre de boutons « Calcul ». Le calcul s'effectue puis le résultat s'affiche (Figure 83).

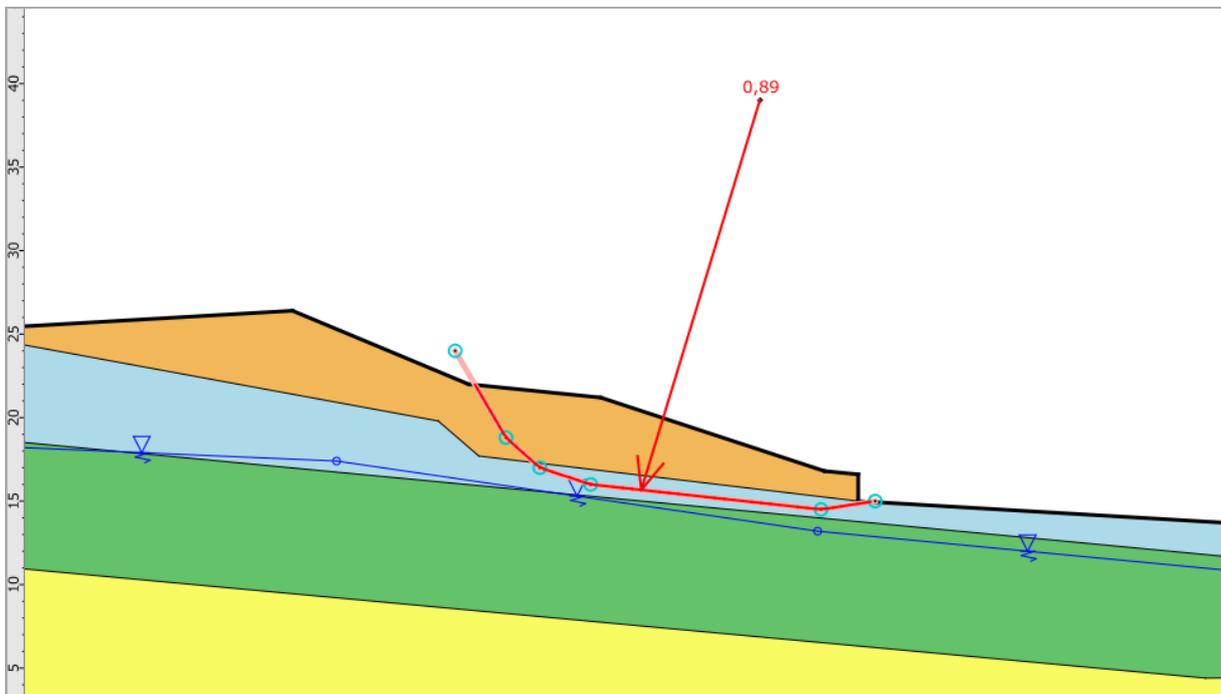


Figure 83. Résultat pour la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase

D.4.5.2 Définition de la situation 2

Cette 2^{ème} situation servira à examiner la stabilité de la pente naturelle pour une 2^{ème} surface polygonale différente.

Plutôt que de redéfinir les paramètres pour cette situation, nous allons réutiliser les paramètres définis pour la situation 1, puis modifier uniquement la surface de rupture à examiner.

- Cliquer avec le bouton droit de la souris sur la situation 1 et sélectionner l'option **Dupliquer cette situation** .

Autre option possible : utiliser le bouton  et sélectionner l'option **Copie de la situation "Situation 1"** dans le menu déroulant du **Contenu de la situation** et l'option « **A la fin** » dans le menu déroulant du **Futur emplacement**.

- Il reste ensuite à modifier les propriétés de la situation, en modifiant la définition de la surface de rupture, conformément à la Figure 84.

Propriétés de la situation		
Surface de rupture polygonale		
N°	X (m)	Y (m)
1	-82,000	28,000
2	-70,000	19,500
3	-62,400	17,200
4	-55,000	16,000
5	-41,400	14,500
6	-38,200	15,000

Figure 84. Définition de la surface de rupture pour la 2^{ème} situation de la 1^{ère} phase

Résultats pour la situation 2

Après avoir calculé la situation 2, le résultat obtenu est indiqué sur la Figure 85.

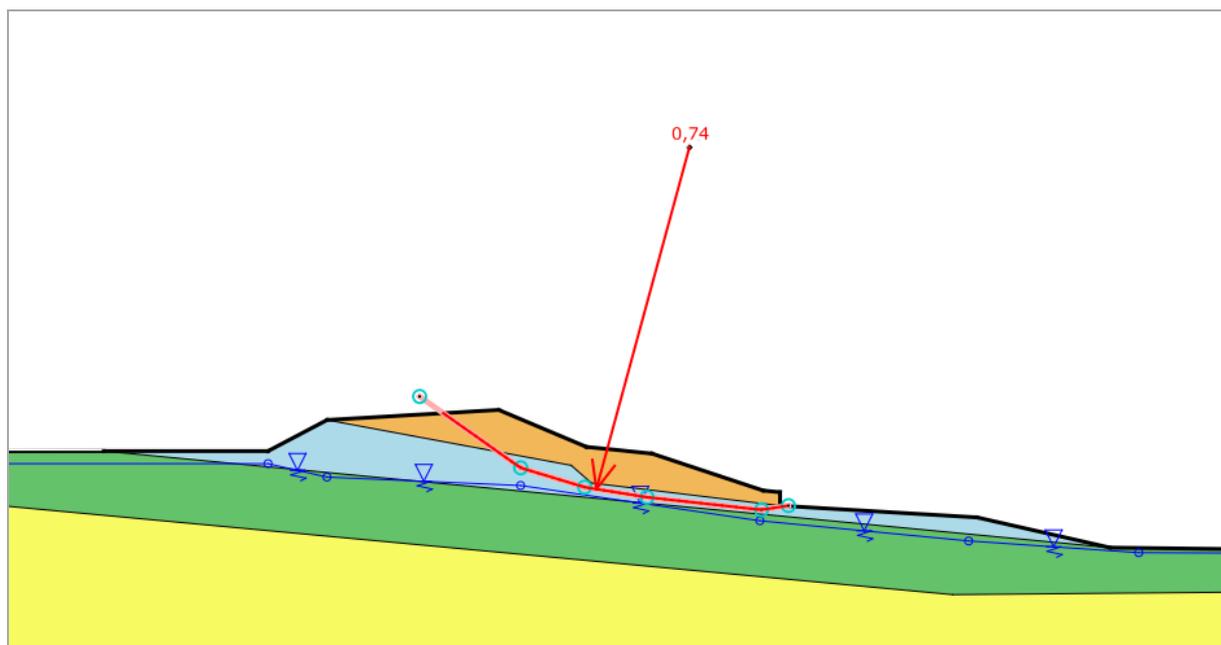


Figure 85. Résultat de la 2^{ème} situation de la 1^{ère} phase

D.4.5.3 Définition de la situation 3

Cette 3^{ème} situation servira à examiner la stabilité de la pente naturelle pour une 3^{ème} surface polygonale différente.

Les manipulations de l'interface pour définir cette 3^{ème} situation sont les mêmes que pour définir la 2^{ème} situation. La surface de rupture à examiner est détaillée ci-dessous.

Propriétés de la situation		
Surface de rupture polygonale		
N°	X (m)	Y (m)
1	-94,000	26,000
2	-87,000	18,300
3	-83,000	16,000
4	-70,000	14,000
5	-58,000	12,200
6	-40,000	11,600
7	-35,600	11,600
8	-32,000	12,000
9	-27,200	14,400

Figure 86. Définition de la surface de rupture pour la 3^{ème} situation de la 1^{ère} phase

Résultats pour la situation 3

Après avoir calculé la situation 3, le résultat obtenu est indiqué sur la Figure 87.

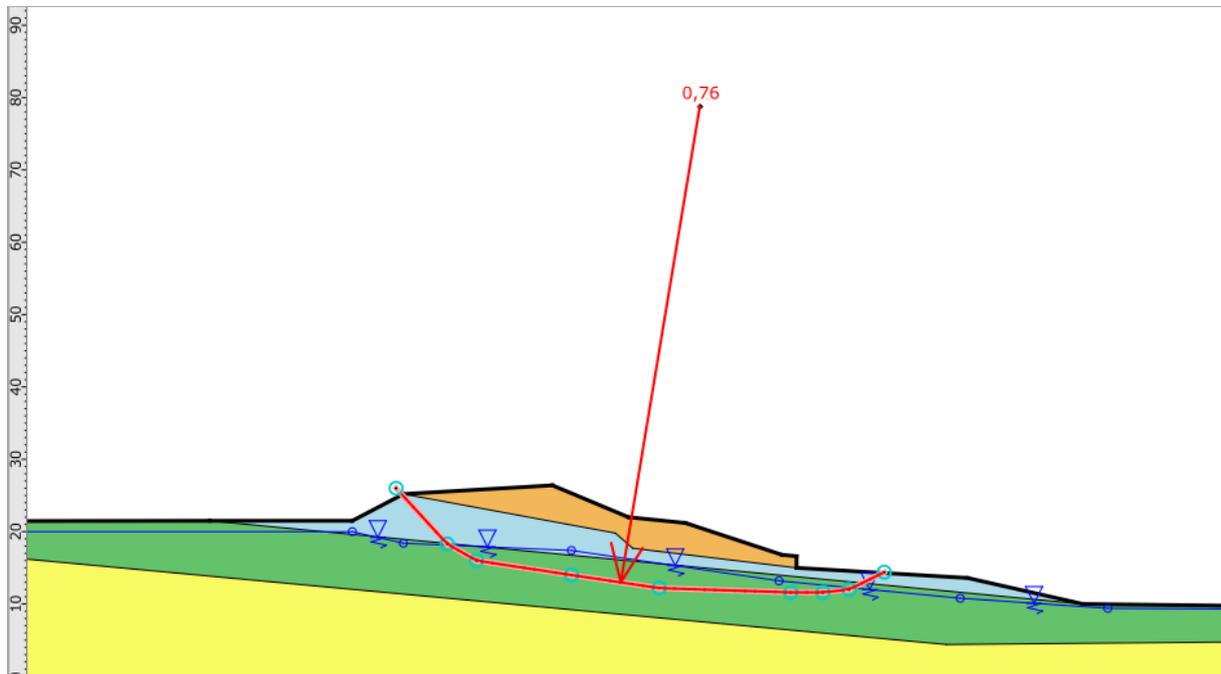


Figure 87. Résultat pour la 3^{ème} situation de la 1^{ère} phase

D.4.5.4 Définition de la situation 4

Cette 4^{ème} situation servira à examiner la stabilité de la pente naturelle pour une 4^{ème} surface polygonale différente.

Les manipulations de l'interface pour définir cette 4^{ème} situation sont les mêmes que pour définir la 2^{ème} situation. La surface de rupture à examiner est détaillée ci-dessous.

Propriétés de la situation		
Surface de rupture polygonale		
N°	X (m)	Y (m)
1	-99,200	23,000
2	-92,000	15,000
3	-90,000	14,000
4	-85,000	12,500
5	-64,600	10,000
6	-38,000	7,600
7	-26,800	6,600
8	-12,800	5,800
9	-2,000	7,000
10	4,800	10,400

Figure 88. Définition de la surface de rupture pour la 4^{ème} situation de la 1^{ère} phase

Résultats pour la situation 4

Après avoir calculé la situation 4, le résultat obtenu est indiqué sur la Figure 89.

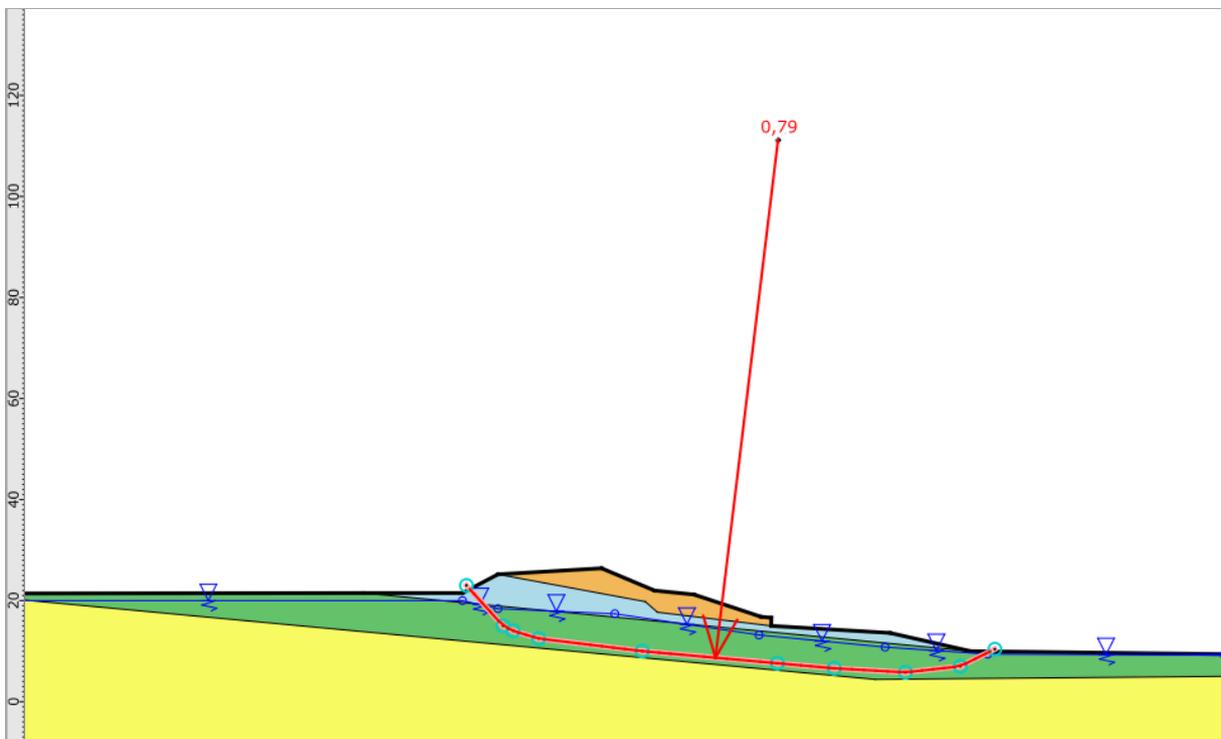


Figure 89. Résultat pour la 4^{ème} situation de la 1^{ère} phase

D.4.6 Définition de la phase 2

Toutes les surfaces examinées lors de la phase 1 fournissent des valeurs de F_{\min} inférieures à l'unité. Cette 2^{ème} phase permettra d'apprécier l'apport des pieux vis-à-vis de la stabilité d'ensemble.

Il convient à présent d'activer les pieux (les 4 files de clous définies précédemment). En revanche, la nappe phréatique reste inchangée : il n'est donc pas nécessaire de la redéfinir.

- Dupliquer la phase 1 depuis l'arborescence du projet en cliquant dessus avec le bouton droit de la souris et en sélectionnant l'option **Dupliquer** cette phase . Par défaut, la phase 2 ajoutée reprend la configuration de la phase précédente avec les mêmes situations et la même nappe phréatique.
- Modifier la phase 2 en cliquant sur chaque file de clous (pieux) pour les activer.

D.4.6.1 Définition des situations 1 à 4

Nous allons effectuer les mêmes vérifications de stabilité que pour la phase 1, c'est-à-dire, les mêmes surfaces de rupture seront examinées.

L'opération de duplication de phase a permis de copier les 4 situations de la phase précédente. Aucune modification des situations n'est à appliquer. Il suffit donc de lancer les calculs pour les 4 situations de la phase 2, grâce au bouton **Calculer la phase** , accessible depuis l'une des situations (au choix).

D.4.6.2 Résultats obtenus pour les situations 1 à 4

Les résultats obtenus pour les situations 1 à 4 sont récapitulés dans le tableau ci-dessous. Ils sont complétés par les résultats obtenus en phase 1 afin de les comparer et apprécier l'apport des pieux vis-à-vis de la stabilité d'ensemble.

	Phase 1 (sans les pieux)	Phase 2 (avec les pieux)
Situation 1	0,89	22,50
Situation 2	0,74	2,63
Situation 3	0,76	1,25
Situation 4	0,79	1,05

Figure 90. Synthèse des coefficients de sécurité obtenus vis-à-vis de la stabilité d'ensemble

Nous constatons que les pieux permettent de garantir la stabilité de la pente naturelle pour les surfaces examinées.

D.5 Tutoriel 4 : Estimation des diagrammes de poussée/butée limite par la méthode du calcul à la rupture

D.5.1 Présentation de l'étude et du principe de calcul

Ce tutoriel illustre l'application de la **méthode du calcul à la rupture** pour la recherche de la poussée limite (P_a) et de la butée limite (P_b) des terres.

Nous étudierons la stabilité d'un talus vertical de 5 m de hauteur monocouche pour différentes valeurs de l'obliquité des contraintes (δ), ce qui peut être utile lors des calculs d'écrans de soutènement (calcul type K-Réa). La démarche exposée peut être étendue à un cas plus complexe, notamment à un multicouche avec une géométrie quelconque, avec la présence de surcharges et ceci sous conditions hydrauliques et sismiques quelconques.

Le tutoriel est composé de deux parties :

- Etape 1 : recherche de la poussée limite (P_a)
- Etape 2 : recherche de la butée limite (P_b)

Principe du calcul :

Le principe du calcul consiste à rechercher la poussée/butée limite d'un sol en les « équilibrant » par un diagramme de surcharges extérieures (processus itératif). La démarche à suivre consiste à définir le chargement extérieur nécessaire qui permet de garantir cet équilibre.

Le **calcul à la rupture** (approche par l'extérieur) doit être utilisé en considérant le jeu de coefficients pondérateurs **unitaire** et en imposant **$XF=1$** (aucune dégradation des paramètres de cisaillement). La valeur visée est $F_{\min}=1$ (équilibre des moments exercés).

Il est important de rappeler que la cinématique de mouvement de la « gauche » vers la « droite » doit toujours être respectée. Autrement dit, le sol sera placé à « gauche » pour la recherche de la poussée limite et à « droite » pour la recherche de la butée limite.

Considérons le talus vertical monocouche ci-dessous, les surcharges réparties triangulaires s'opposent à la poussée des terres (à gauche) et à la butée des terres (à droite).

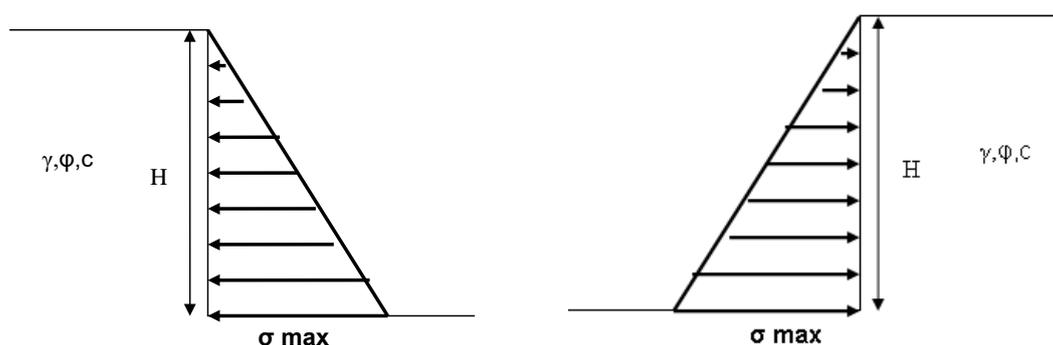


Figure 91. Schéma de calcul pour l'estimation de la poussée limite (à gauche) et de la butée limite (à droite)

L'objectif est de retrouver les valeurs de p_a et p_b qui permettent d'obtenir $F_{\min} = 1$. Si cette condition est respectée, la résultante de la surcharge extérieure sera égale à la résultante de la poussée/butée limite des terres. La valeur de k_a ou k_p peuvent être déduites à partir des expressions classiques $p_a = k_a \cdot \gamma \cdot H$ ou $p_b = k_p \cdot \gamma \cdot H$.

L'inclinaison de la poussée/butée limite recherchée est fixée par l'utilisateur par le biais de l'inclinaison de la surcharge extérieure définie. Le schéma de la figure correspond à une

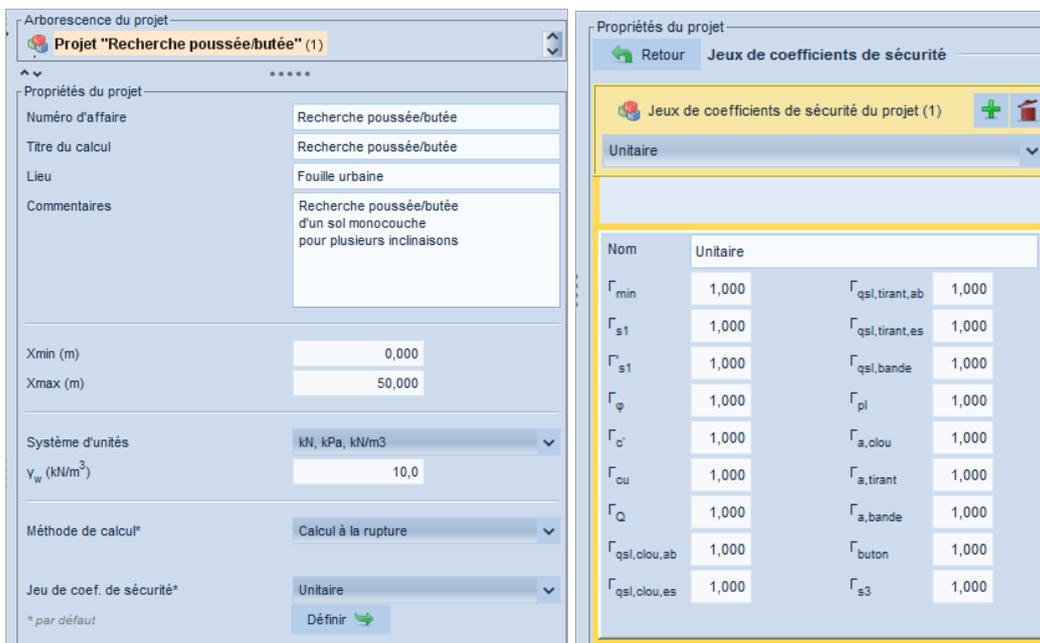
obliquité nulle ($\delta_a = \delta_b = 0$), mais on peut mener le même raisonnement pour des obliquités différentes (en inclinant la surcharge extérieure appliquée).

D.5.2 Définition des propriétés du projet

- Lancer Talren en utilisant le menu **Démarrer** de Windows ou en cliquant sur l'icône située sur le bureau Windows ;
- Sélectionner le menu **Fichier** puis l'option **Nouveau** ou cliquer sur l'icône  de la barre de boutons.
- Choisir le chemin et le nom pour l'enregistrement du fichier.
- La fenêtre correspondant à l'option de menu **Données/Description générale** s'ouvre alors automatiquement. La compléter comme indiqué sur la figure suivante.

La méthode de calcul par défaut sera le **Calcul à la rupture** pour ce projet.

Les pondérations utilisées par défaut correspondent au **jeu de coefficients unitaires**, c'est-à-dire, tous les coefficients partiels sont définis égaux à 1 (Figure 92).



The image shows two side-by-side screenshots of the Talren software interface. The left screenshot displays the 'Propriétés du projet' (Project Properties) window for a project named 'Recherche poussée/butée'. The right screenshot displays the 'Jeux de coefficients de sécurité' (Safety Coefficient Games) window, showing a table of default coefficients for various parameters, all set to 1.000.

Nom	Unitaire	Nom	Unitaire
Γ_{\min}	1,000	$\Gamma_{\text{qsl,tirant,ab}}$	1,000
Γ_{s1}	1,000	$\Gamma_{\text{qsl,tirant,es}}$	1,000
Γ_{s1}	1,000	$\Gamma_{\text{qsl,bande}}$	1,000
Γ_{φ}	1,000	Γ_{pl}	1,000
$\Gamma_{c'}$	1,000	$\Gamma_{\text{a,clou}}$	1,000
Γ_{cu}	1,000	$\Gamma_{\text{a,tirant}}$	1,000
Γ_{Q}	1,000	$\Gamma_{\text{a,bande}}$	1,000
$\Gamma_{\text{qsl,clou,ab}}$	1,000	Γ_{buton}	1,000
$\Gamma_{\text{qsl,clou,es}}$	1,000	Γ_{s3}	1,000

Figure 92. Description générale du projet (à gauche) et pondérations par défaut (à droite)

D.5.5 Etape 1 : recherche de la poussée limite (p_a)

Le modèle de calcul de cette 1^{ère} étape comportera 3 phases, chacune réservée à une inclinaison différente (δ_a):

Phase	δ_a (°)
1	0°
2	$\frac{2}{3}\varphi = 20^\circ$
3	$\varphi = 30^\circ$

D.5.5.1 Définition de la surcharge répartie extérieure

La surcharge répartie extérieure permettra d'équilibrer et « mesurer » la poussée limite des terres. Nous allons procéder dans le cas général où, a priori, sa valeur n'est pas connue.

La valeur initiale de la surcharge est prise égale à $p_a = 100$ kPa de manière arbitraire. Elle sera ajustée manuellement, et de manière itérative, en fonction de la valeur de F_{\min} obtenue (valeur visée : $F_{\min}=1,00$).

D.5.5.2 Phase 1 : poussée limite horizontale ($\delta_a=0^\circ$)

Cette 1^{ère} phase servira à rechercher la poussée limite horizontale.

La seule manipulation nécessaire est l'activation de la surcharge horizontale.

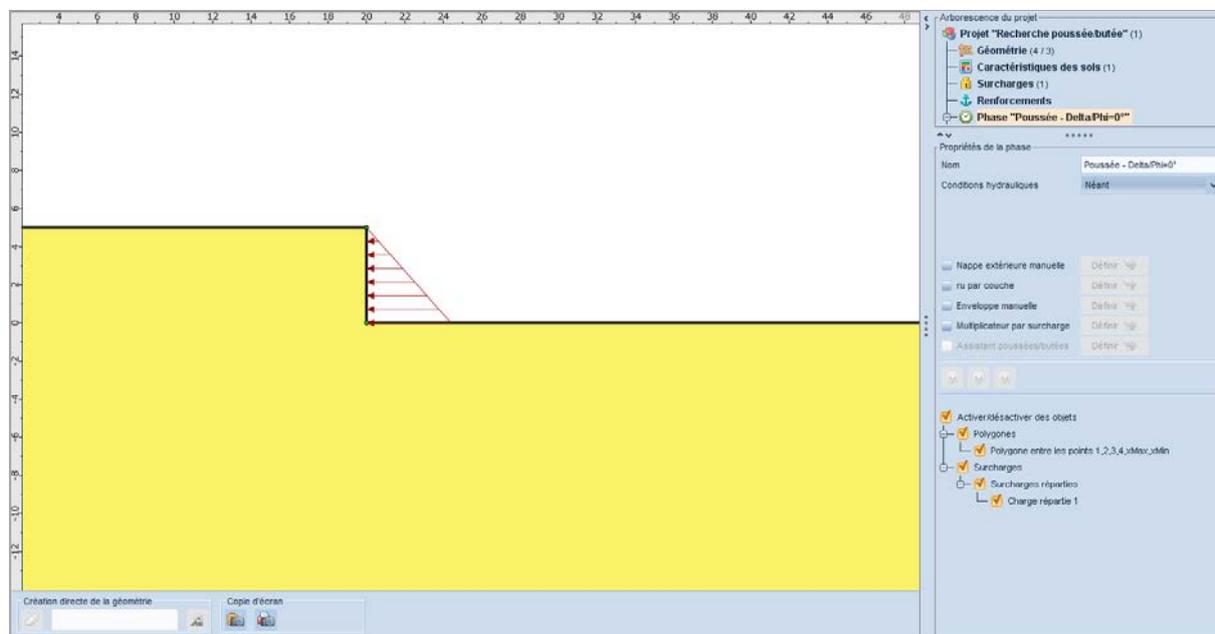


Figure 94. Définition de la phase 1

Situation 1

Il convient de définir ses paramètres de calcul comme suit :

- Méthode de calcul : **Calcul à la rupture** (choix par défaut)
- Jeu de coefficients de sécurité : **Unitaire** (choix par défaut)
- Pondération sur les paramètres de cisaillement du sol : **XF = 1,00**
- Discrétisation : **100**
- Surfaces de rupture : **Spirales logarithmiques** (seul choix possible)

Propriétés de la situation

Retour Surface de rupture spirale

L'intervalle d'entrée

Point gauche X (m) 12,000 Y (m) 5,000 IN

Point droit X (m) 20,000 Y (m) 5,000 IN

Nb découpages 10

L'intervalle de sortie

Point gauche X (m) 20,000 Y (m) 0,000 OUT

Point droit X (m) 20,000 Y (m) 0,000 OUT

Nb découpages 0

Spirales à concavité vers le haut

Exploration par pas de 2.5°

Précision (m) 0,001

Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 803

Figure 95. Définition des spirales pour la situation 1 de la phase 1

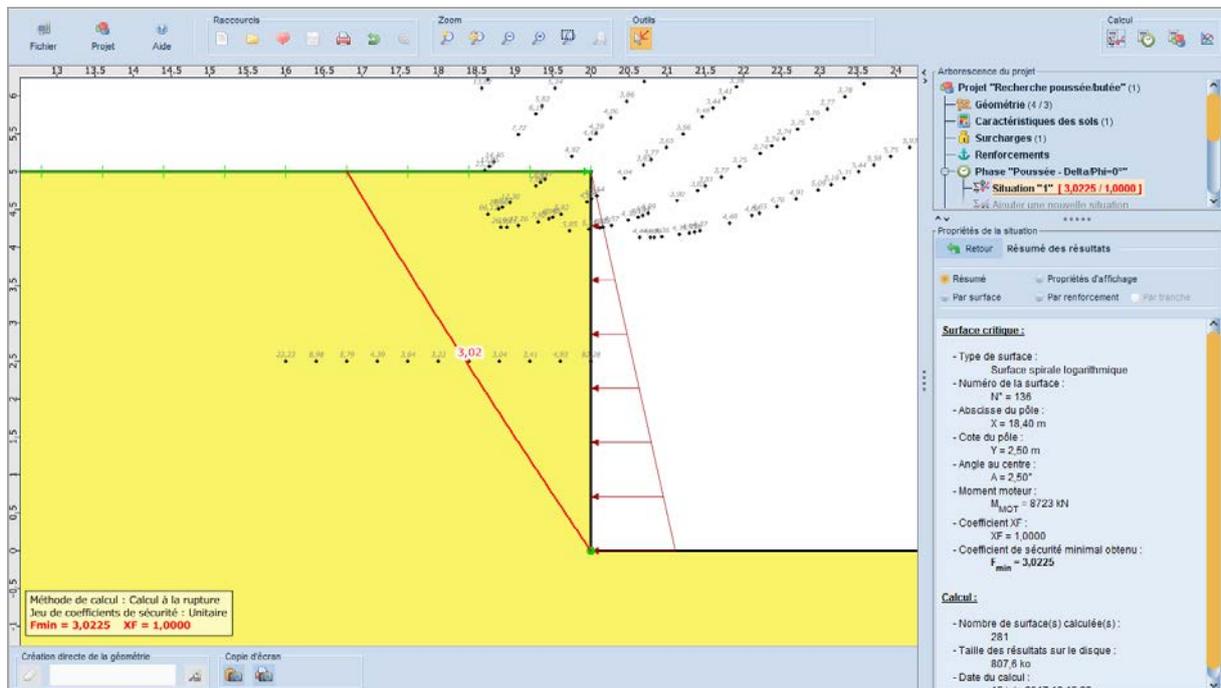


Figure 96. Résultat pour la situation 1 de la phase 1 ($p_a = 100$ kPa, $\delta = 0^\circ$)

La valeur de F_{\min} obtenue est supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être diminuée afin de diminuer le moment résistant et le rendre égal au moment moteur. Nous décidons de considérer $p_a = 50$ kPa.

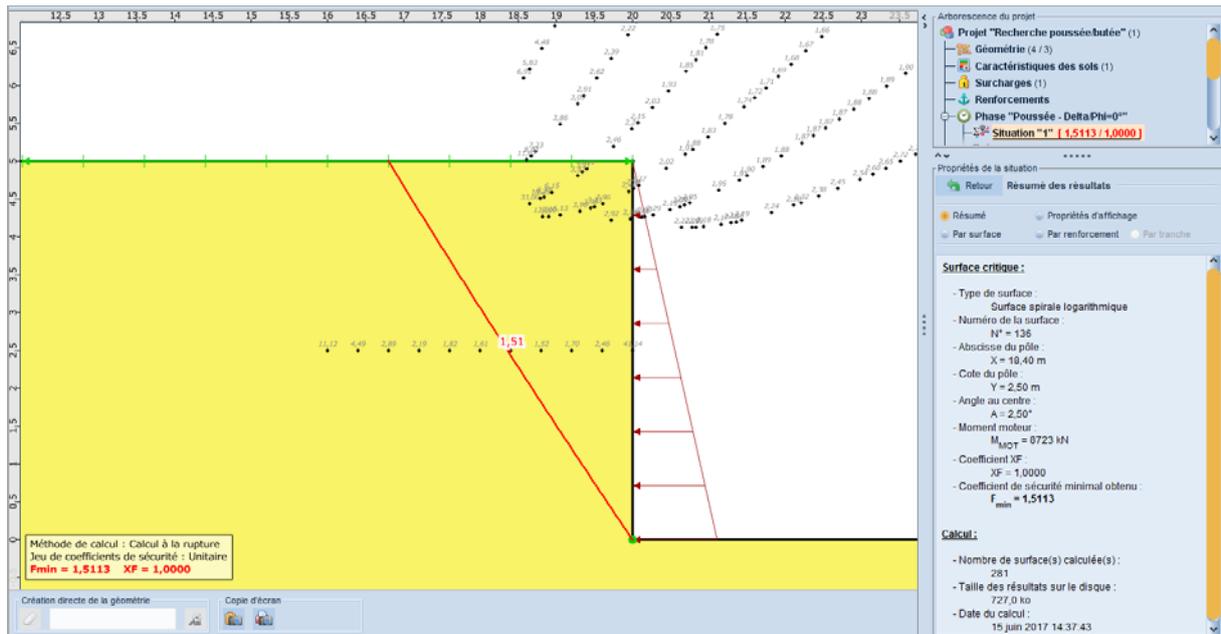


Figure 97. Résultat pour la situation 1 de la phase 1 ($p_a = 50 \text{ kPa}$, $\delta = 0^\circ$)

La valeur de F_{\min} obtenue est encore supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être encore diminuée afin de diminuer encore plus le moment résistant.

Nous décidons de considérer $p_a = 33.333 \text{ kPa}$.

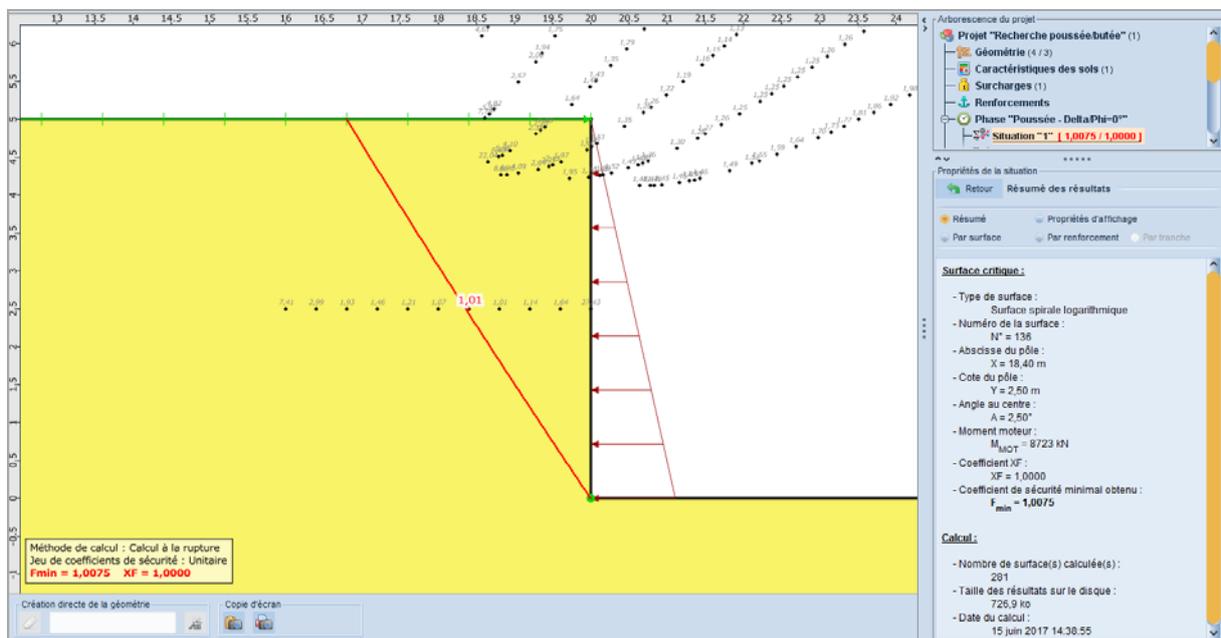


Figure 98. Résultat pour la situation 1 de la phase 1 ($p_a = 33.333 \text{ kPa}$, $\delta = 0^\circ$)

Nous constatons qu'une pression $p_a = 33.333 \text{ kPa}$ permet d'atteindre l'équilibre des moments ($F_{\min} \approx 1,00$), nous la retenons. Il est possible de déduire la valeur du coefficient de poussée associée grâce à l'expression $p_a = k_a \cdot \gamma \cdot H$ (avec $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et $H = 5 \text{ m}$) : $k_a = 0,333$, valeur qui correspond à celle des tables de Kérisel et Absi.

D.5.5.3 Phase 2 : poussée limite inclinée à $\delta = +2/3 \varphi$

Cette 2^{ème} phase servira à rechercher la poussée limite avec une inclinaison $\delta = +2/3 \varphi = +20^\circ$.

Une nouvelle surcharge doit être créée en dupliquant la précédente. Talren n'accepte pas les angles négatifs, il conviendra donc de définir une valeur de surcharge négative et une inclinaison de $180^\circ - 20^\circ = 160^\circ$.

La valeur initiale de la surcharge est prise égale à $p_a = -100 \text{ kPa}$ de manière arbitraire. Elle sera ajustée manuellement, et de manière itérative, en fonction de la valeur de F_{\min} obtenue (valeur visée : $F_{\min} = 1,00$).

Il convient de s'assurer que dans cette phase la surcharge répartie 1 est désactivée et seule la surcharge répartie 2 est activée.

Il est nécessaire de définir la même situation que pour la phase précédente.

Il est ensuite possible d'effectuer le calcul pour la situation 1 de la phase 2.

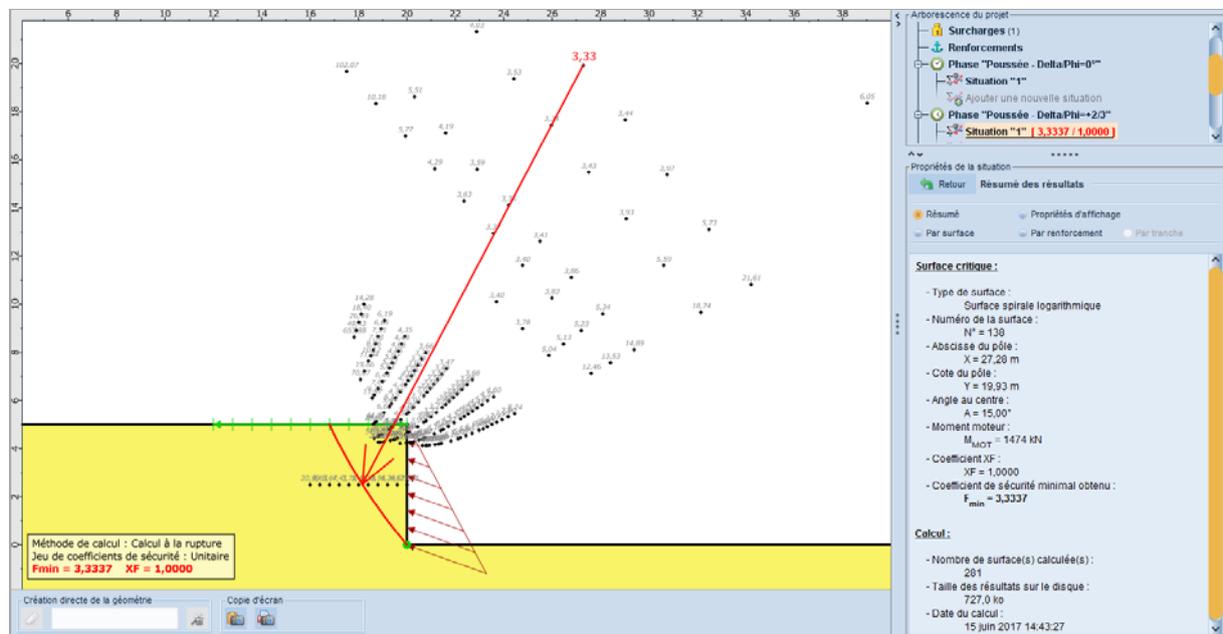


Figure 99. Résultat pour la situation 1 de la phase 2 ($p_a = -100 \text{ kPa}$, $\delta = +\frac{2}{3} \varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être diminuée, en valeur absolue, afin de diminuer le moment résistant.

Nous décidons de considérer $p_a = -50 \text{ kPa}$.

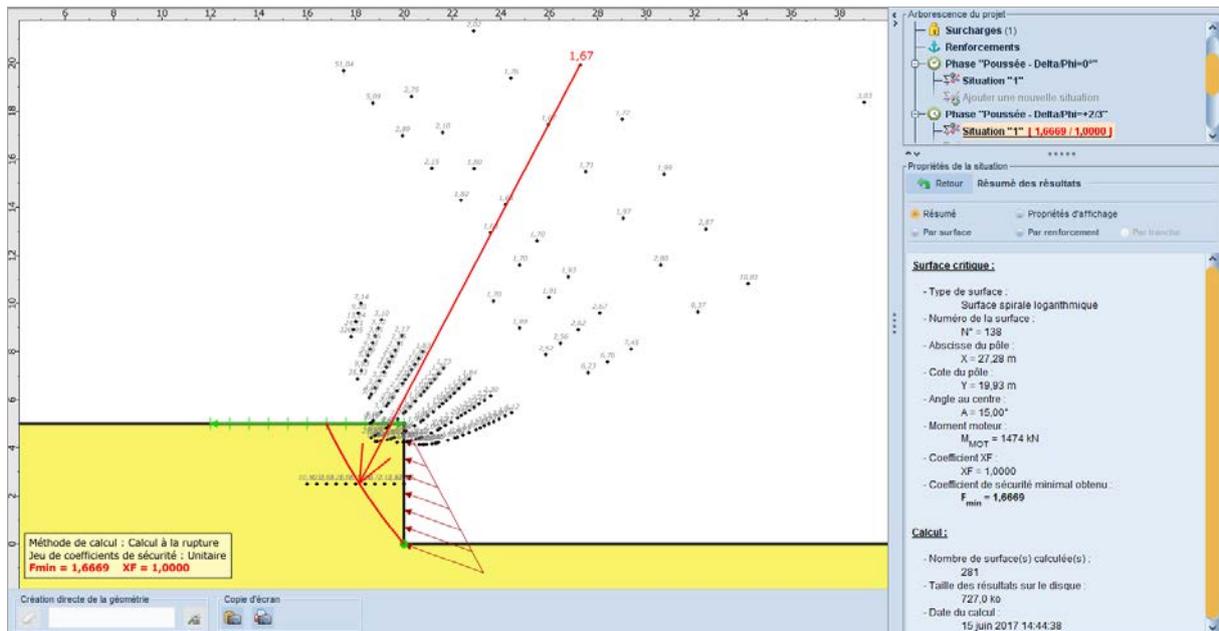


Figure 100. Résultat pour la situation 1 de la phase 2 ($p_a = 50 \text{ kPa}$, $\delta = +\frac{2}{3} \varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est encore supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être encore diminuée afin de diminuer encore plus le moment résistant. Nous décidons de considérer $p_a = -30 \text{ kPa}$.

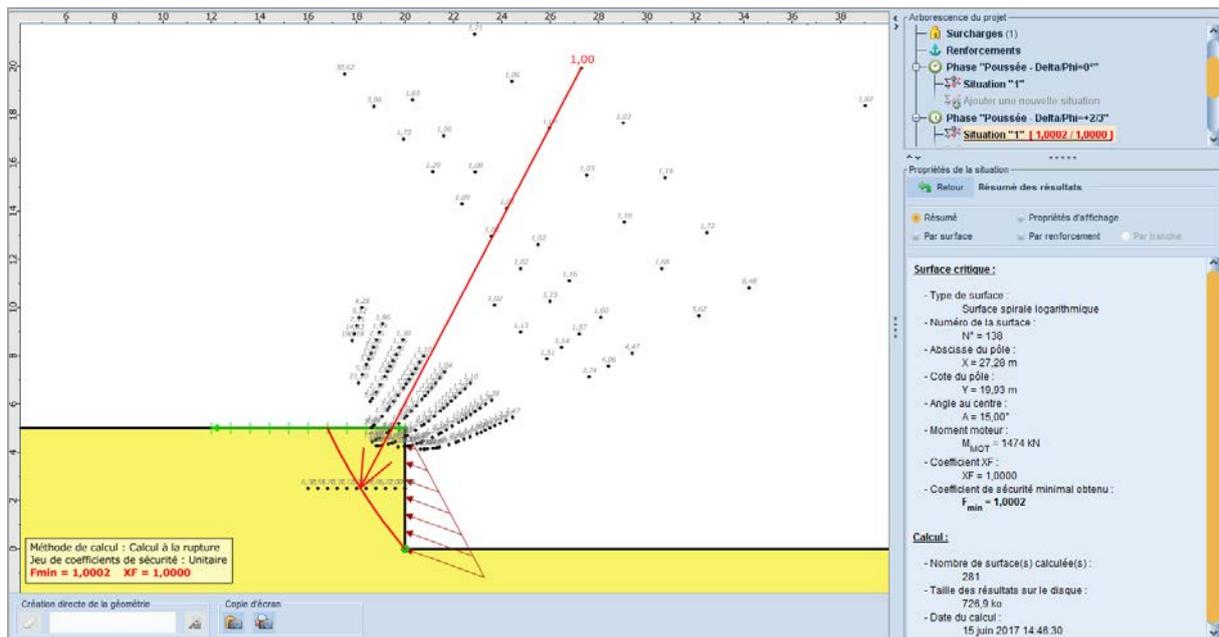


Figure 101. Résultat pour la situation 1 de la phase 2 ($p_a = -30 \text{ kPa}$, $\delta = +\frac{2}{3} \varphi$)

Nous constatons qu'une pression $p_a = -30 \text{ kPa}$ permet d'atteindre l'équilibre des moments ($F_{\min} \approx 1,00$), nous la retenons. Il est possible de déduire la valeur du coefficient de poussée associée grâce à l'expression $p_a = k_a \cdot \gamma \cdot H$ (avec $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et $H = 5 \text{ m}$) : $k_a = 0,300$, valeur qui correspond à celle des tables de Kérisel et Absi.

D.5.5.4 Phase 3 : poussée limite inclinée à $\delta = +\varphi$

Cette 3^{ème} phase servira à rechercher la poussée limite avec une inclinaison $\delta = +\varphi = +30^\circ$.

Une nouvelle surcharge doit être créée en dupliquant la précédente. Talren n'accepte pas les angles négatifs, il conviendra donc de définir une valeur de surcharge négative et une inclinaison de $180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$.

La valeur initiale de la surcharge est prise égale à $p_a = -100 \text{ kPa}$ de manière arbitraire. Elle sera ajustée manuellement, et de manière itérative, en fonction de la valeur de F_{\min} obtenue (valeur visée : $F_{\min}=1,00$).

Il convient de s'assurer que dans cette phase les surcharges réparties 1 et 2 sont désactivées et seule la surcharge répartie 3 est activée.

Il est nécessaire de définir la même situation que pour les phases précédentes.

Il est ensuite possible d'effectuer le calcul pour la situation 1 de la phase 3.

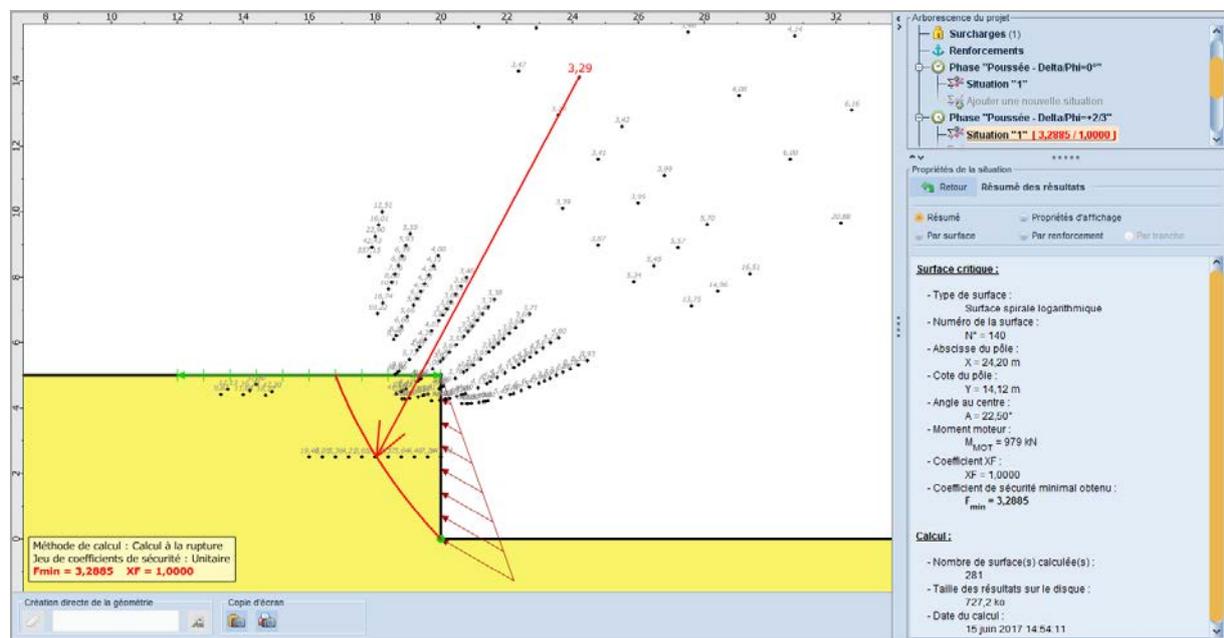


Figure 102. Résultat pour la situation 1 de la phase 3 ($p_a = -100 \text{ kPa}$, $\delta = +\varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être diminuée, en valeur absolue, afin de diminuer le moment résistant.

Nous décidons de considérer $p_a = -50 \text{ kPa}$.

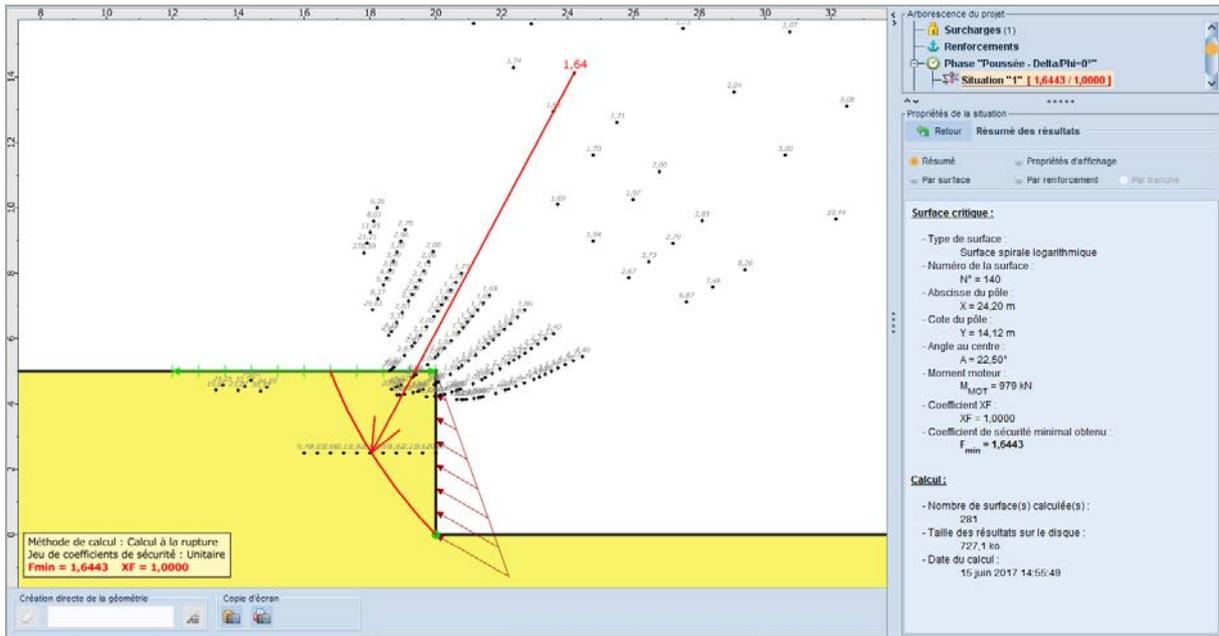


Figure 103. Résultat pour la situation 1 de la phase 3 ($p_a = -50 \text{ kPa}$, $\delta = +\varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est encore supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être encore diminuée, en valeur absolue, afin de diminuer encore plus le moment résistant. Nous décidons de considérer $p_a = -30.45 \text{ kPa}$.

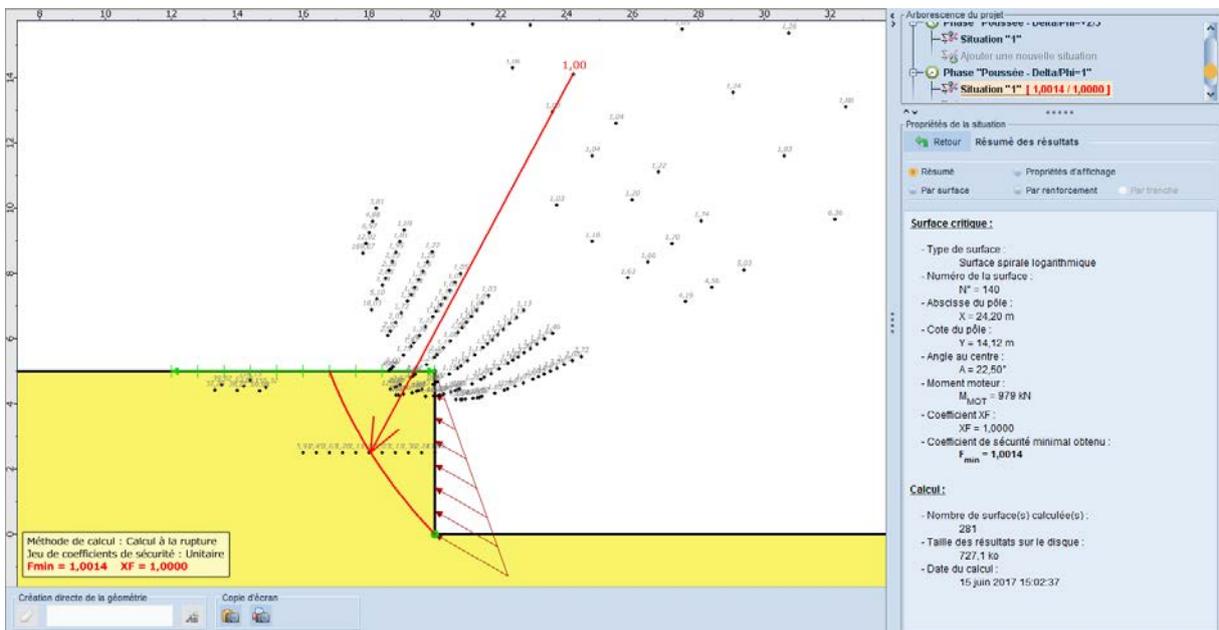


Figure 104. Résultat pour la situation 1 de la phase 3 ($p_a = -30.45 \text{ kPa}$, $\delta = +\varphi$)

Nous constatons qu'une pression $p_a = 30.45 \text{ kPa}$ permet d'atteindre l'équilibre des moments ($F_{\min} \approx 1,00$), nous la retenons. Il est possible de déduire la valeur du coefficient de poussée associée grâce à l'expression $p_a = k_a \cdot \gamma \cdot H$ (avec $\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$ et $H = 5 \text{ m}$) : $k_a = 0,305$, au lieu de $K_a = 0,308$ lue dans les tables de Kérisel et Absi pour $\delta = +\varphi$.

Dans le cas d'un équilibre de poussée, l'évaluation de la charge de rupture par excès (approche par l'extérieur avec le calcul à la rupture) implique une sous-estimation du coefficient K_a , ce qui est conforme au résultat obtenu : $K_a \text{ calcul à la rupture} < K_a \text{ théorique}$.

D.5.6 Etape 2 : Recherche de la butée limite (p_b)

Il s'agit cette fois d'estimer la butée limite (P_b), de façon tout-à-fait analogue à ce qui a été fait précédemment pour la poussée limite, mais sur une coupe « inversée » pour respecter la cinématique exigée par Talren (de la « gauche » vers la « droite »).

Nous allons réutiliser les données définies précédemment.

- Enregistrer ce nouveau projet sous un nouveau nom (butee.t5p par exemple)
- Sélectionner le menu **Projet**  puis l'option **Retourner la coupe de sol** .

Nous allons étendre le modèle à droite (les surfaces de rupture en butée sont susceptibles de concerner une zone de sol plus importante). Pour cela, définir $X_{\max} = 20$ m dans les propriétés (au lieu de $X_{\max} = 0$ suite au retournement de la coupe). Le modèle sera alors automatiquement étendu jusqu'en $X = 20$ m. Il conviendra également de modifier l'abscisse du point 1 : $X = 20$ m (au lieu de $X = 0$ m).

Le modèle de calcul de cette 2^{ème} étape comportera 3 phases, chacune réservée à une inclinaison différente (δ_a):

Phase	δ_b (°)
1	0°
2	$-\frac{2}{3}\varphi = -20^\circ$
3	$-\varphi = -30^\circ$

D.5.6.1 Phase 1 : butée limite horizontale ($\delta_a=0^\circ$)

Cette 1^{ère} phase servira à rechercher la butée limite horizontale.

Situation 1

Il convient de définir ses paramètres de calcul comme suit :

- Méthode de calcul : **Calcul à la rupture** (choix par défaut)
- Jeu de coefficients de sécurité : **Unitaire** (choix par défaut)
- Pondération sur les paramètres de cisaillement du sol : **XF = 1,00**
- Discrétisation : **100**
- Surfaces de rupture : **Spirales logarithmiques** (seul choix possible)

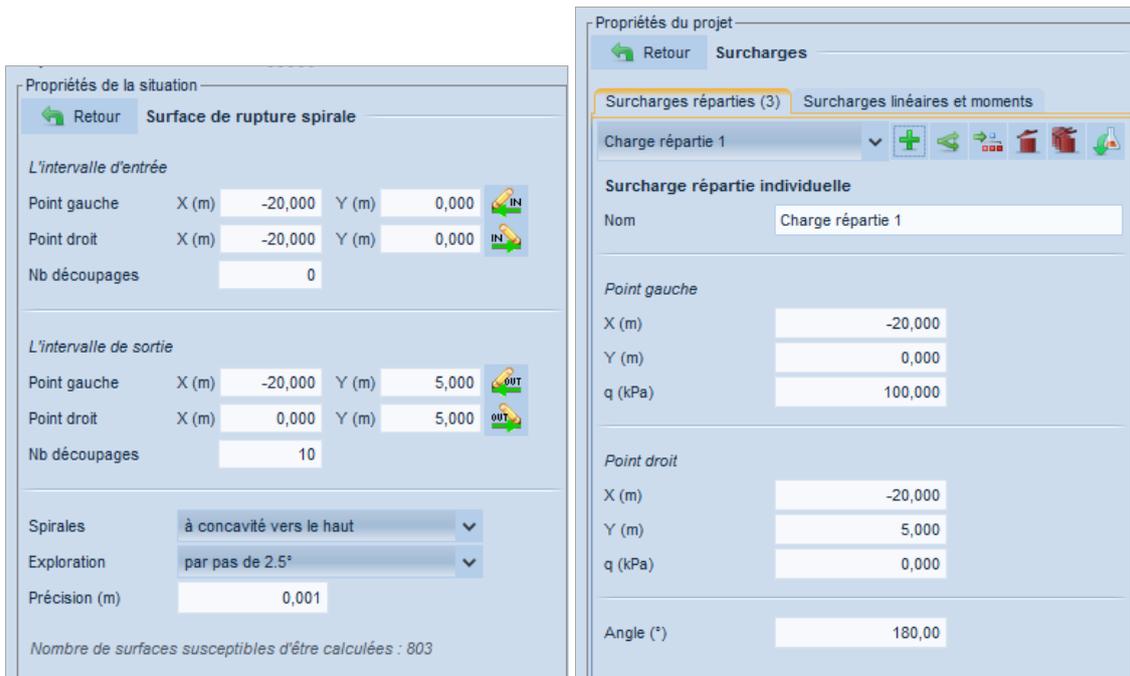


Figure 105. Définition des spirales pour la situation 1 de la phase 1 (à gauche) et Définition initiale de la surcharge 1 (à droite)

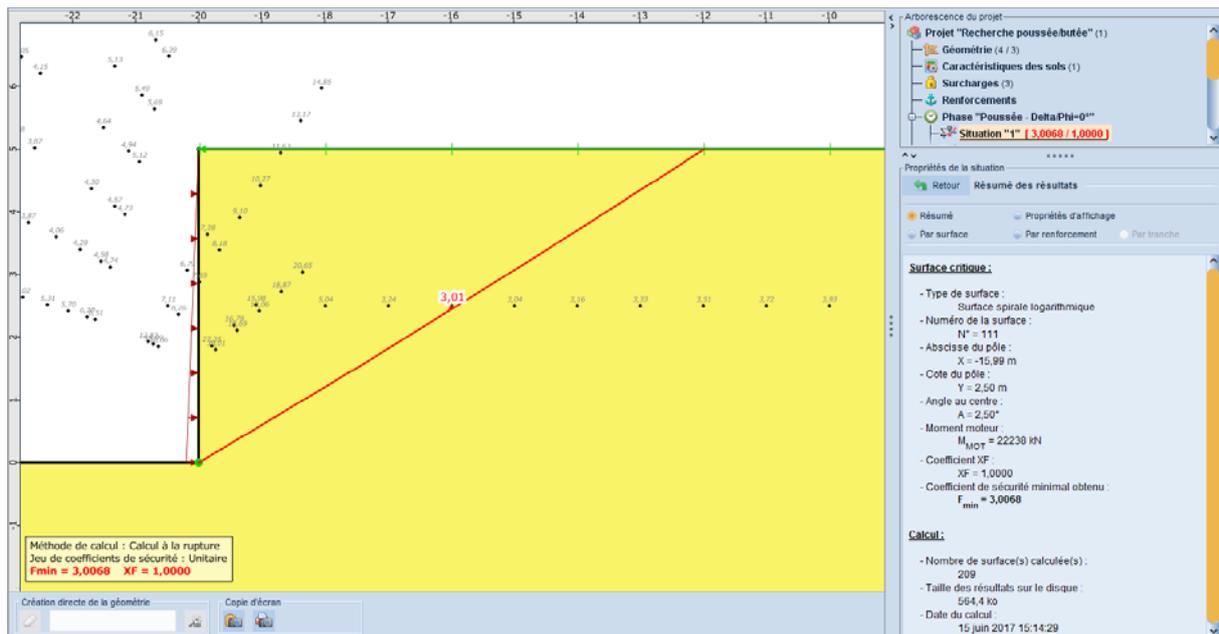


Figure 106. Résultat pour la situation 1 de la phase 1 ($p_b = 100 \text{ kPa}$, $\delta = 0^\circ$)

La valeur de F_{\min} obtenue est supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être augmentée afin d'augmenter le moment moteur et le rendre égal au moment résistant.

Nous décidons de considérer $p_b = 300 \text{ kPa}$.

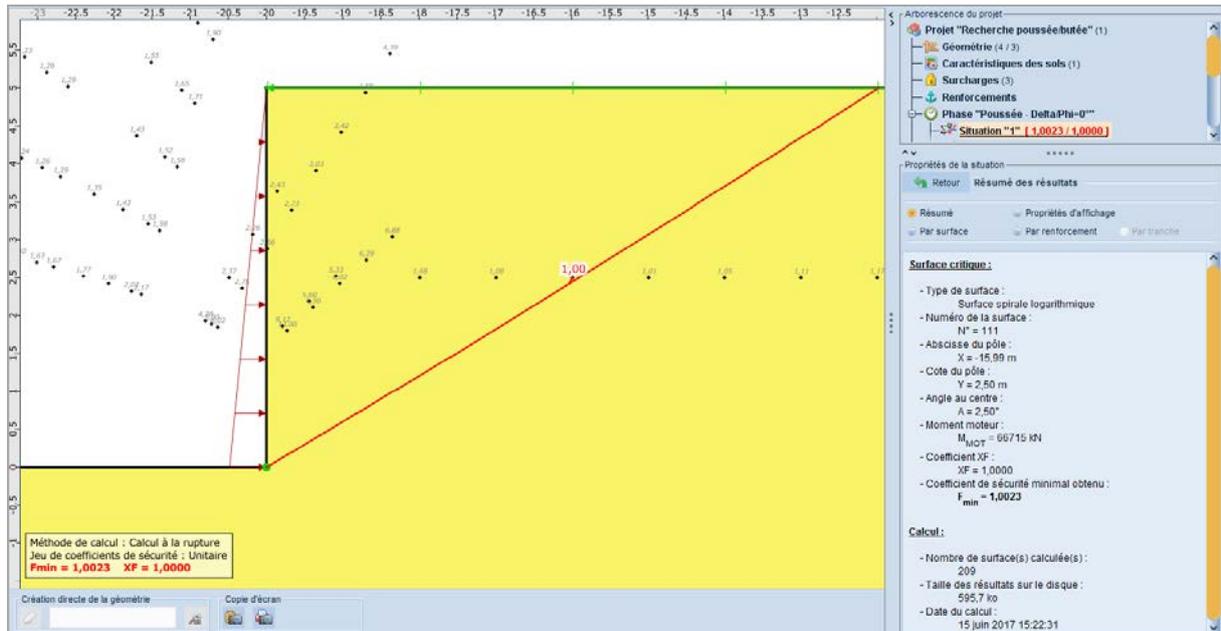


Figure 107. Résultat pour la situation 1 de la phase 1 ($p_b = 300 \text{ kPa}$, $\delta = 0^\circ$)

Nous constatons qu'une pression $p_b = 300 \text{ kPa}$ permet d'atteindre l'équilibre des moments ($F_{\min} \approx 1,00$), nous la retenons. Il est possible de déduire la valeur du coefficient de butée associée grâce à l'expression $p_b = k_b \cdot \gamma \cdot H$ (avec $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et $H = 5 \text{ m}$) : $k_p = 3,000$, valeur qui correspond à celle des tables de Kérisel et Absi.

D.5.6.2 Phase 2 : butée limite inclinée à $\delta = -2/3 \varphi$

Cette 2^{ème} phase servira à rechercher la butée limite avec une inclinaison $\delta = -2/3 \varphi = -20^\circ$.

Une nouvelle surcharge doit être créée en dupliquant la précédente.

La valeur initiale de la surcharge est prise égale à $p_b = 100 \text{ kPa}$ de manière arbitraire (le signe négatif sert à l'orienter vers la « droite »). Elle sera ajustée manuellement, et de manière itérative, en fonction de la valeur de F_{\min} obtenue (valeur visée : $F_{\min} = 1,00$).

Il convient de s'assurer que dans cette phase la surcharge répartie 1 est désactivée et seule la surcharge répartie 2 est activée.

Il est nécessaire de définir la même situation que pour la phase précédente.

Il est ensuite possible d'effectuer le calcul pour la situation 1 de la phase 2.

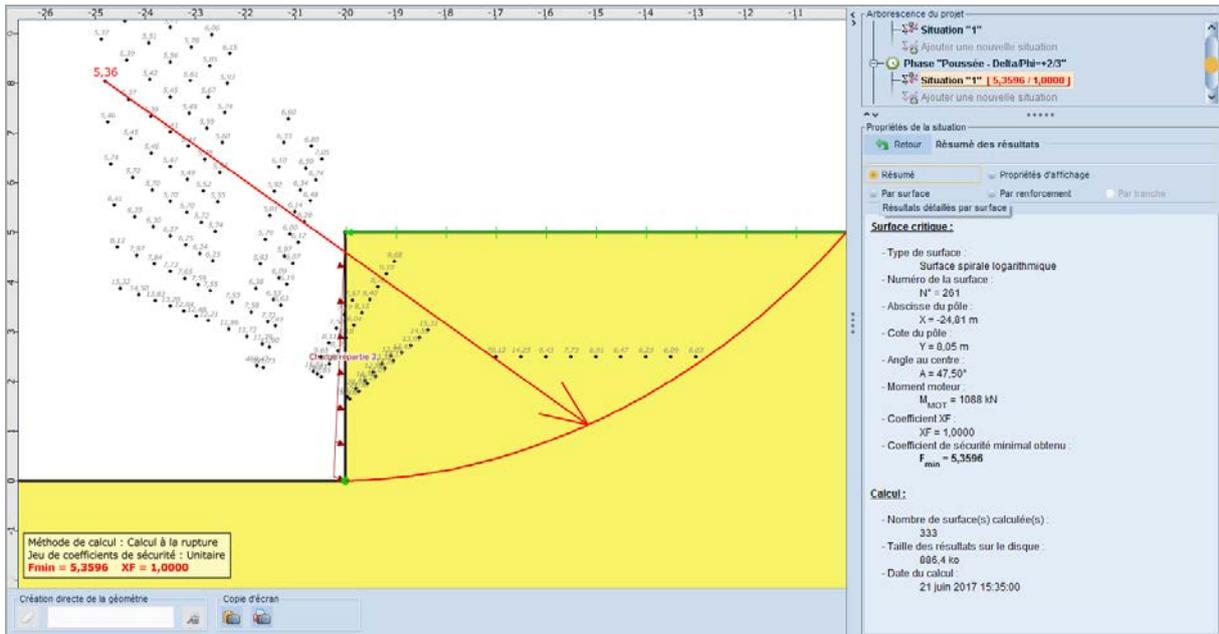


Figure 108. Résultat pour la situation 1 de la phase 2 ($p_b = 100 \text{ kPa}$, $\delta = -\frac{2}{3} \varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être augmentée afin d'augmenter le moment moteur.

Nous décidons de considérer $p_b = 500 \text{ kPa}$.

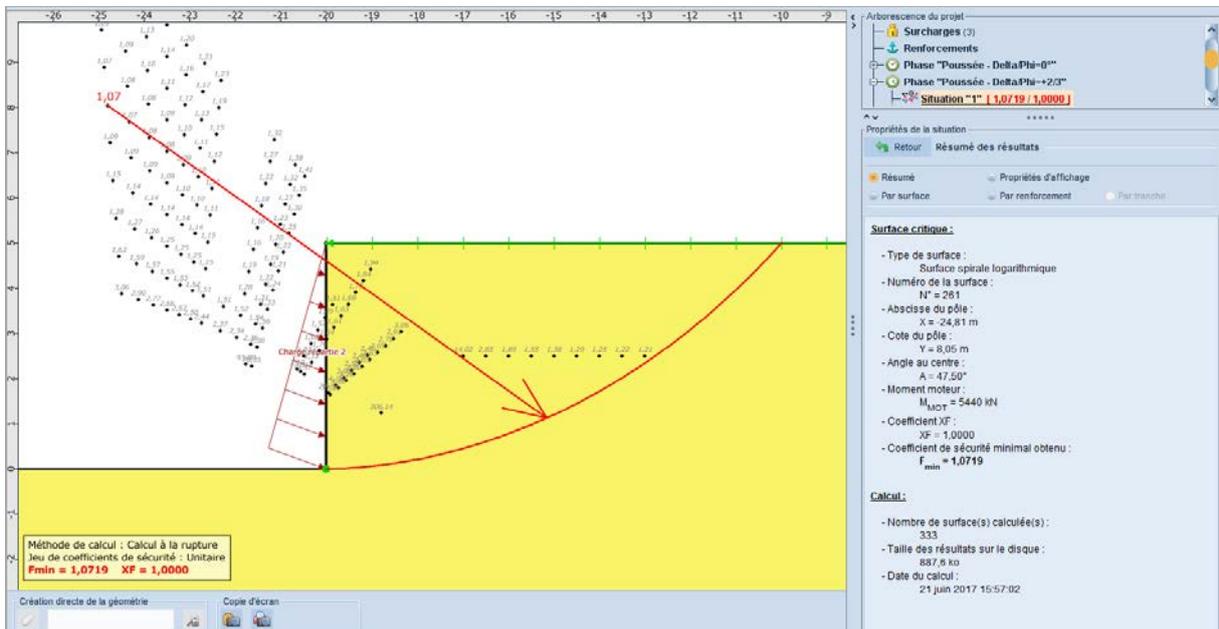


Figure 109. Résultat pour la situation 1 de la phase 2 ($p_b = 500 \text{ kPa}$, $\delta = +\frac{2}{3} \varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est encore supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être encore augmentée afin de d'augmenter encore plus le moment moteur.

Nous décidons de considérer $p_b = 535 \text{ kPa}$ et de raffiner l'intervalle de sortie pour mieux estimer la surface qui nous intéresse.



Figure 110. Paramètres de recherche des spirales logarithmiques pour la situation 1 de la phase 2

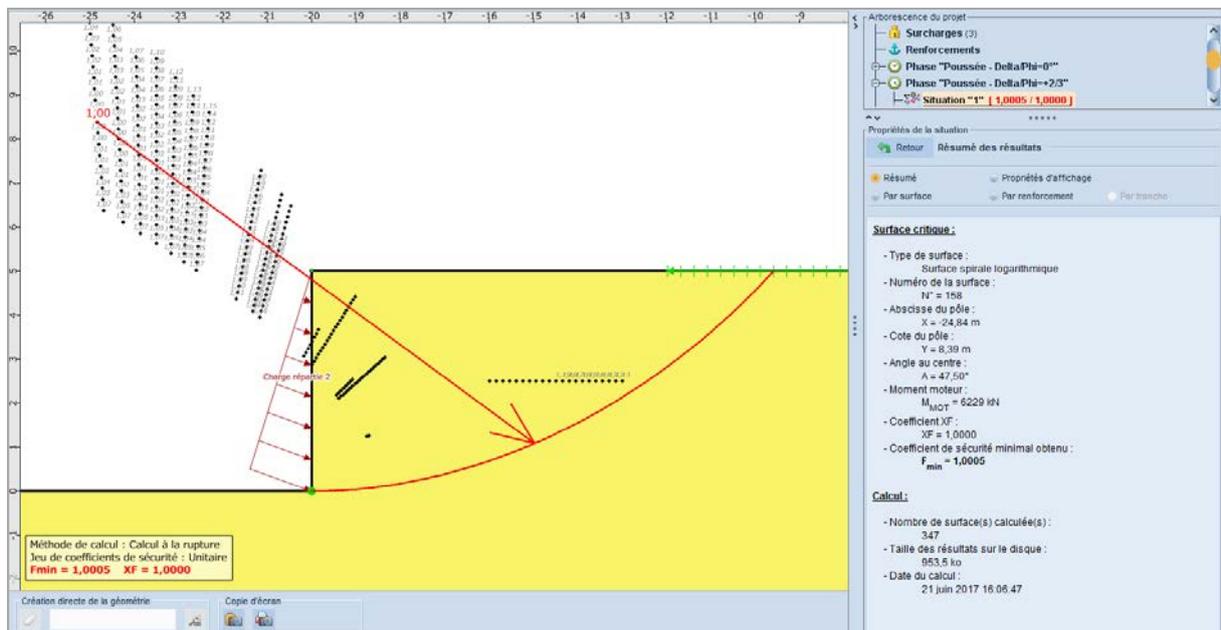


Figure 111. Résultat pour la situation 1 de la phase 2 ($p_b = 535 \text{ kPa}$, $\delta = -\frac{2}{3} \varphi$)

Nous constatons qu'une pression $p_b = 535 \text{ kPa}$ permet d'atteindre l'équilibre des moments ($F_{\min} \approx 1,00$), nous la retenons. Il est possible de déduire la valeur du coefficient de butée associée grâce à l'expression $p_b = k_b \cdot \gamma \cdot H$ (avec $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et $H = 5 \text{ m}$) : $k_p = 5,350$, à comparer à $K_p = 5,300$ lue dans les tables de Kérisel et Absi pour $\delta = -2/3\varphi$.

Dans le cas d'un équilibre de butée, l'évaluation de la charge de rupture par excès (approche par l'extérieur avec le calcul à la rupture) implique une surestimation du coefficient K_p , ce qui est conforme au résultat obtenu : $K_p \text{ calcul à la rupture} > K_p \text{ théorique}$.

D.5.6.3 Phase 3 : butée limite inclinée à $\delta = -\varphi$

Cette 3^{ème} phase servira à rechercher la butée limite avec une inclinaison $\delta = -\varphi = -30^\circ$.

Une nouvelle surcharge doit être créée en dupliquant la précédente. Talren n'accepte pas les angles négatifs, il conviendra donc de définir une valeur de surcharge négative et une inclinaison de $180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$.

La valeur initiale de la surcharge est prise égale à $p_b = 100 \text{ kPa}$ de manière arbitraire. Elle sera ajustée manuellement, et de manière itérative, en fonction de la valeur de F_{\min} obtenue (valeur visée : $F_{\min} = 1,00$).

Il convient de s'assurer que dans cette phase les surcharges réparties 1 et 2 sont désactivées et seule la surcharge répartie 3 est activée.

Il est nécessaire de définir la même situation que pour les phases précédentes.

Il est ensuite possible d'effectuer le calcul pour la situation 1 de la phase 3.

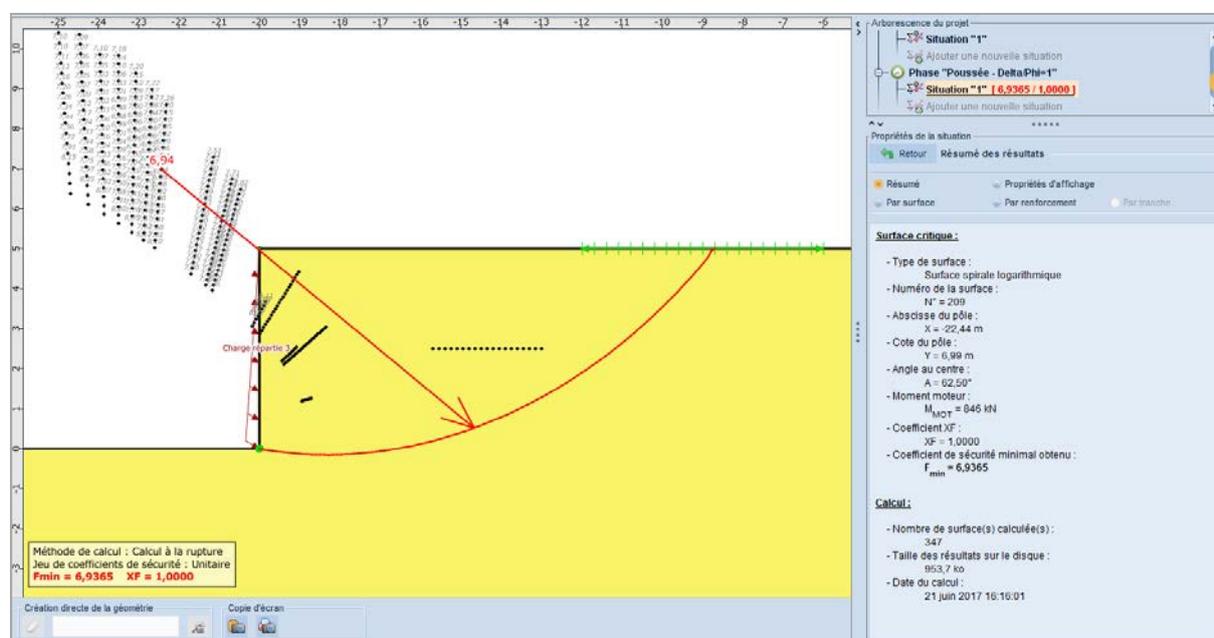


Figure 112. Résultat pour la situation 1 de la phase 3 ($p_b = 100 \text{ kPa}$, $\delta = -\varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être augmentée afin d'augmenter le moment moteur.

Nous décidons de considérer $p_b = 600 \text{ kPa}$.

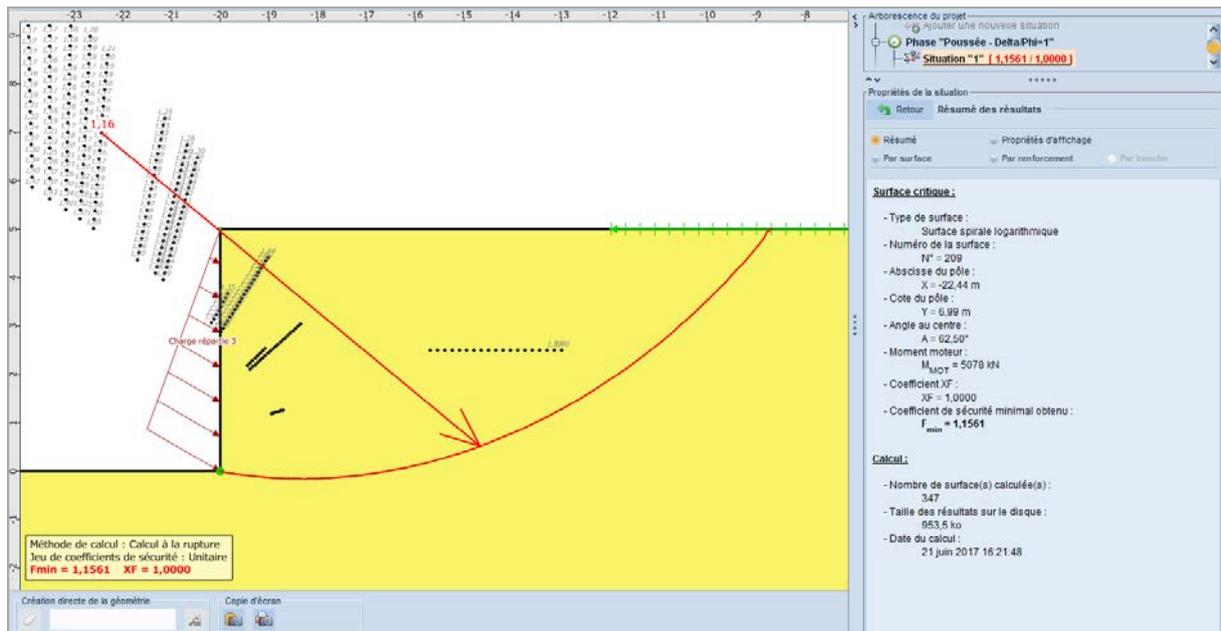


Figure 113. Résultat pour la situation 1 de la phase 3 ($p_b = 600 \text{ kPa}$, $\delta = +\varphi$)

La valeur de F_{\min} obtenue est encore supérieure à 1,00, ce qui signifie que la valeur de la surcharge doit être encore augmentée afin d'augmenter encore plus le moment moteur. Nous décidons de considérer $p_b = 690 \text{ kPa}$.

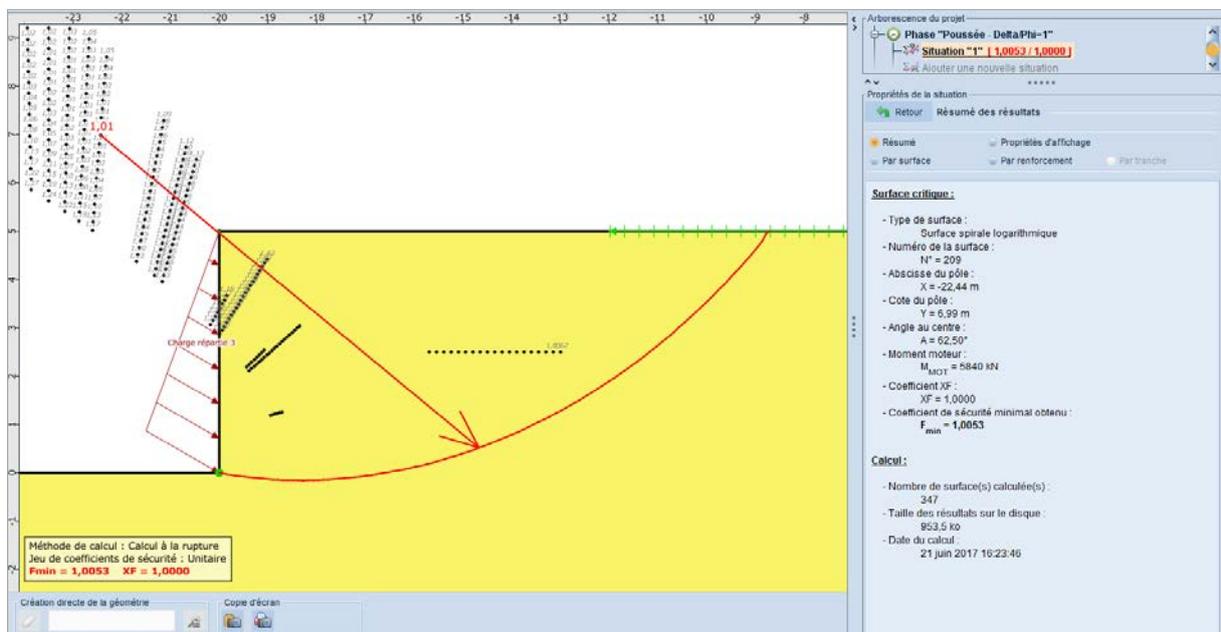


Figure 114. Résultat pour la situation 1 de la phase 3 ($p_b = 690 \text{ kPa}$, $\delta = -\varphi$)

Nous constatons qu'une pression $p_b = 690 \text{ kPa}$ permet d'atteindre l'équilibre des moments ($F_{\min} \approx 1,00$), nous la retenons. Il est possible de déduire la valeur du coefficient de butée associée grâce à l'expression $p_b = k_b \cdot \gamma \cdot H$ (avec $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et $H = 5 \text{ m}$) : $k_p = 6,90$, à comparer à $K_p = 6,500$ lue dans les tables de Kérisel et Absi pour $\delta = -\varphi$.

Dans le cas d'un équilibre de butée, l'évaluation de la charge de rupture par excès (approche par l'extérieur avec le calcul à la rupture) implique une surestimation du coefficient K_p , ce qui est conforme au résultat obtenu : $K_p \text{ calcul à la rupture} > K_p \text{ théorique}$.

Récapitulatif des résultats obtenus

	K_p théorique (tables)	K_p calcul à la rupture (Talren)
$\delta = 0$	3,000	3,000
$\delta = -\frac{2}{3}\varphi$	5,300	5,350
$\delta = -\varphi$	6,500	6,900

Tableau 10. Synthèse des valeurs de k_p obtenues avec Talren pour $F = 1,0$
 (après correction si nécessaire de l'intensité des surcharges)
 et comparaison aux valeurs des tables de Kérisel et Absi

Dans le cas d'un équilibre de butée, l'évaluation de la charge de rupture par excès (approche par l'extérieur avec le calcul à la rupture) implique une surestimation du coefficient K_p , ce qui est conforme au résultat obtenu : K_p calcul à la rupture $>$ K_p théorique pour $\delta = -\frac{2}{3}\varphi$ et $\delta = -\varphi$.

D.6 Tutoriel 5 : Etude d'un gabion cellulaire par la méthode du calcul à la rupture (spiralettes à concavité vers le haut ou vers le bas)

D.6.1 Présentation de l'étude

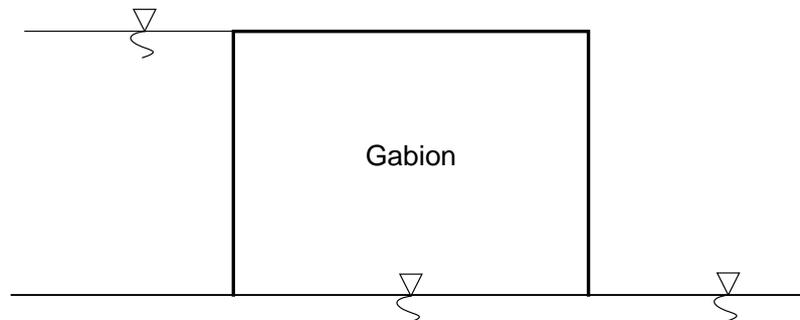


Figure 115. Etude d'un gabion cellulaire – schéma du gabion

Ce tutoriel traite la stabilité d'un gabion cellulaire soumis à une poussée d'eau différentielle sur son rideau amont, avec prise en compte des spirales à concavité positive (vers le haut) dans un premier temps, puis à concavité négative (vers le bas) dans un deuxième temps. Le mécanisme de rupture étudié est celui de la rupture interne au gabion (mécanisme X de Brinch Hansen, 1953).

- Lancer Talren en utilisant le menu **Démarrer** de Windows ou en cliquant sur l'icône située sur le bureau Windows ;
- Sélectionner le menu **Fichier** puis l'option **Nouveau** ou cliquer sur l'icône  de la barre de boutons ;
- Choisir le chemin et le nom pour l'enregistrement du fichier ;
- Il convient de renseigner les propriétés du projet comme indiqué dans la Figure 116 : on choisit comme méthode de calcul par défaut du **calcul à la rupture**, et comme pondérations par défaut le jeu « **traditionnel/provisoire** » (que l'on complète pour ce tutoriel par des valeurs unitaires, sans que cela constitue une référence pour d'autres calculs).

Propriétés du projet	
Numéro d'affaire	20721DEV
Titre du calcul	Gabion cellulaire
Lieu	
Commentaires	
Xmin (m)	-30,000
Xmax (m)	30,000
Système d'unités	kN, kPa, kN/m ³
γ_w (kN/m ³)	10,0
Méthode de calcul*	Calcul à la rupture
Jeu de coef. de sécurité*	Traditionnel/Sit. provisoire
<small>* par défaut</small>	Définir →
Fond de plan	Définir →
Géométrie	Définir →
Caractéristiques des sols	Définir →
Surcharges	Définir →
Renforcements	Définir →

Figure 116. Propriétés du projet

D.6.2 Définition de la géométrie

Les limites du modèle et les coordonnées des points de la géométrie sont conformes à la figure Figure 117.

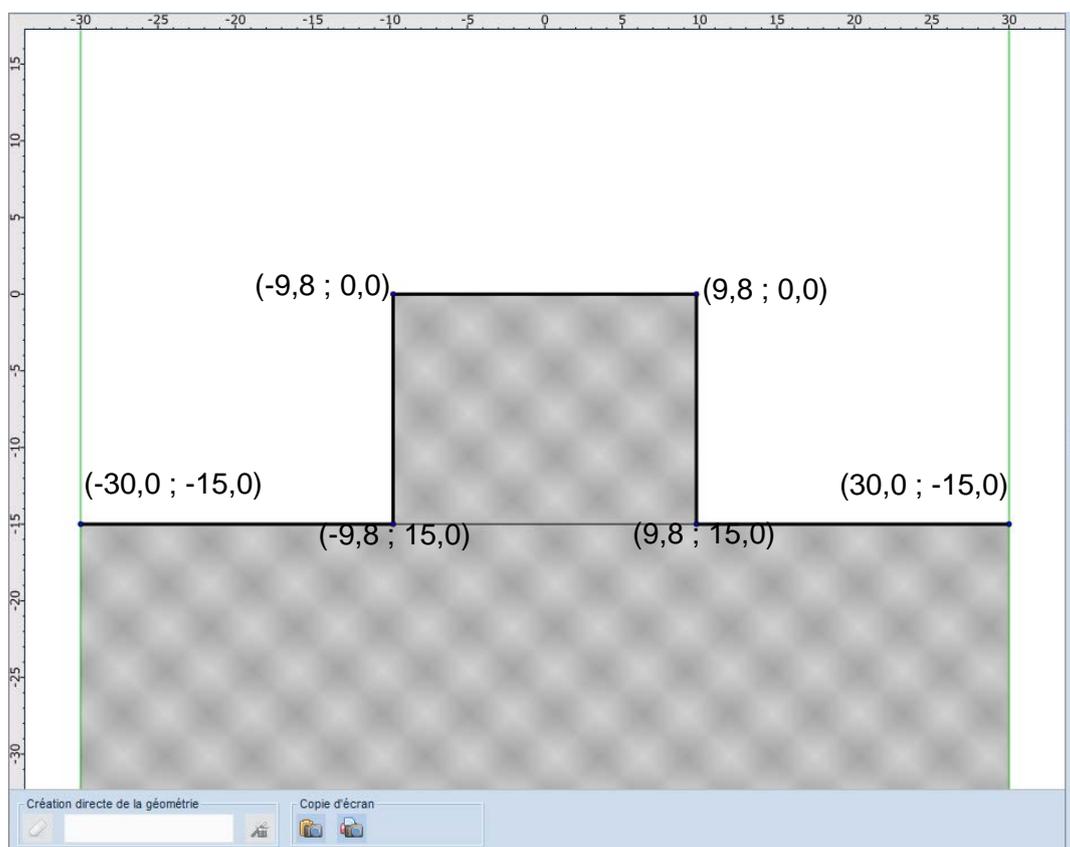
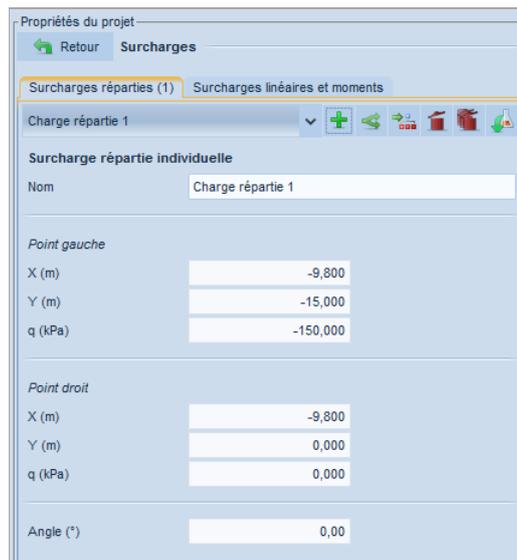


Figure 117. Géométrie du modèle

D.6.3 Définition des surcharges

Le gabion cellulaire est soumis à une poussée d'eau différentielle sur son rideau amont. On adopte une approche en contraintes effectives où l'effet de l'eau sur le gabion est modélisé par :

- L'application de la poussée différentielle sur le rideau amont (surcharge répartie triangulaire appliquée sur le parement gauche du gabion, conformément aux données de la Figure 118).
- L'utilisation du poids volumique déjaugé $\gamma' = \gamma - \gamma_w$ dans les couches de sol placées sous nappe (couche de fondation) et du poids total dans le gabion (sol hors nappe), conformément au § D.6.4.



Propriétés du projet	
Retour	Surcharges
Surcharges réparties (1)	Surcharges linéaires et moments
Charge répartie 1	
Surcharge répartie individuelle	
Nom	Charge répartie 1
Point gauche	
X (m)	-9,800
Y (m)	-15,000
q (kPa)	-150,000
Point droit	
X (m)	-9,800
Y (m)	0,000
q (kPa)	0,000
Angle (*)	0,00

Figure 118. définition de la surcharge répartie (poussée différentielle sur le gabion)

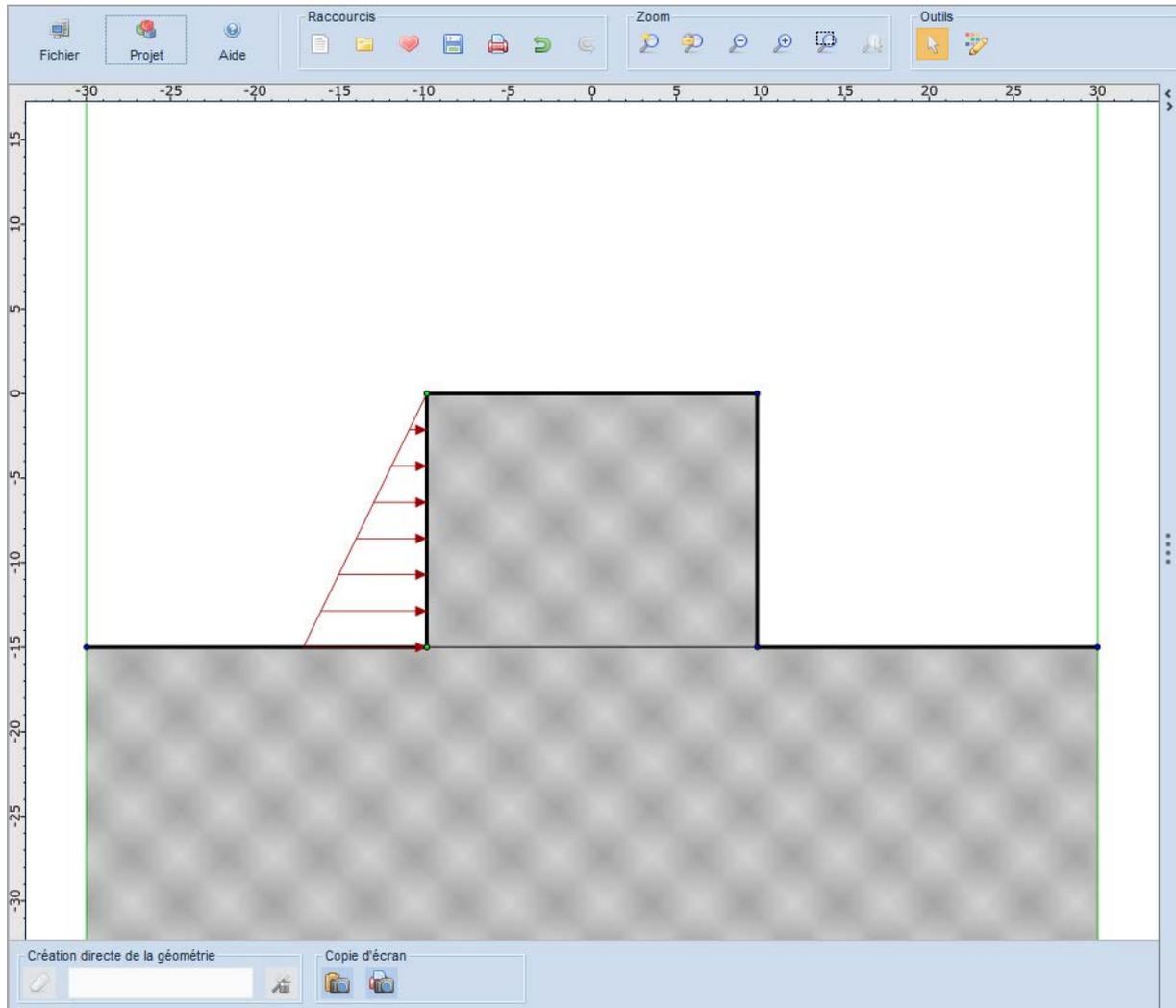


Figure 119. Modèle après définition de la surcharge répartie (poussée différentielle sur le rideau amont du gabion)

D.6.4 Définition des caractéristiques de sol

Deux couches de sol sont à définir. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau suivant (poids déjaugé pour la couche 2 sous le gabion).

Couche	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)
Couche 1	22.0	30.0	0.0
Couche 2	12.0	30.0	0.0

Tableau 11. Caractéristiques des sols

Pour définir ces caractéristiques, sélectionner l'item **Caractéristiques des sols** . Cliquer sur le bouton **Ajouter** , puis compléter les données pour la première couche. Cliquer à nouveau sur **Ajouter**  puis définir les données pour les autres couches de sol. Pour passer d'une couche de sol à l'autre, cliquer sur le libellé de la couche dans la liste. La saisie pour la couche 1 est illustrée sur la figure suivante.

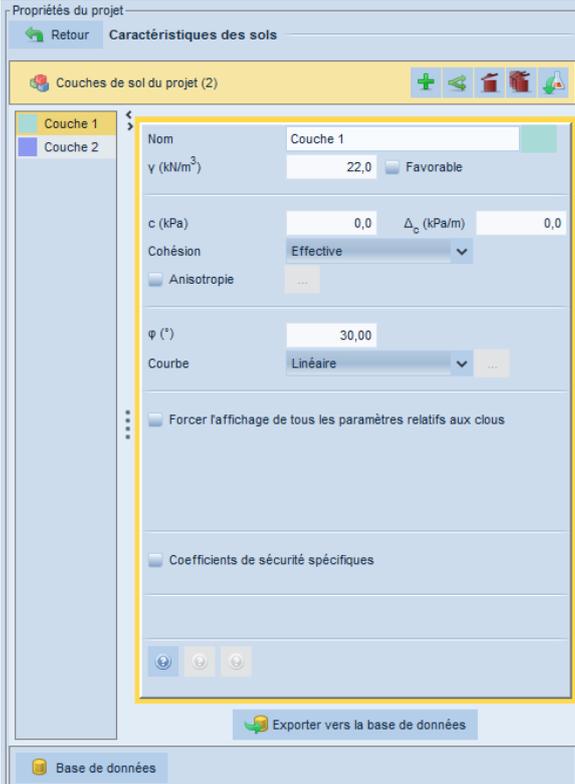


Figure 120. Caractéristiques de la couche 2

Pour attribuer ces caractéristiques aux zones de sol, procéder par exemple par glisser-déposer (« drag&drop ») depuis la liste à gauche de la boîte de dialogue des sols (cf. Figure 121 pour la position des couches).

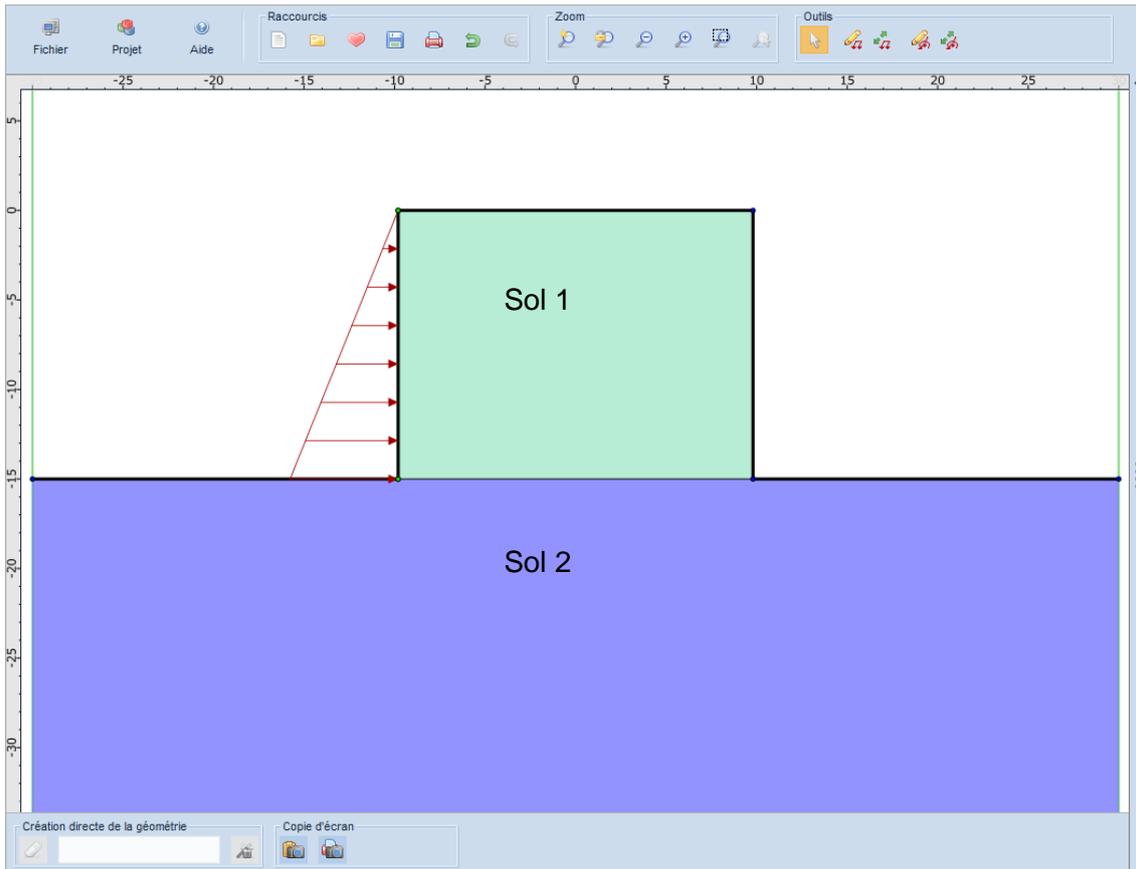


Figure 121. Attribution des couches de sol

La saisie des données pour ce projet est à présent terminée.

D.6.5 Définition de la phase 1

Une seule phase sera définie pour ce projet (une seule coupe/géométrie).

- Créer la première phase en cliquant sur le bouton  ;
- Activer la surcharge en cliquant dessus.

D.6.5.1 Définition de la situation 1

Créer la première situation en cliquant sur le bouton . Il convient de définir ses propriétés, notamment : pondérations partielles et surfaces de rupture.

Nous allons étudier dans cette 1^{ère} situation les spirales à concavité positive (vers le haut).

Compléter le volet de propriétés de la situation qui apparaît selon les indications suivantes (Figure 122) :

- Méthode de calcul : calcul à la rupture (option choisie par défaut dans la description générale)
- Pondérations partielles : "Traditionnel/Sit. provisoire" (option choisie par défaut dans la description générale). On conserve la valeur par défaut pour XF (XF = 1,0).
- Sismique : nous n'allons pas définir de conditions sismiques pour cette situation.
- Définition des surfaces de rupture : nous allons définir des spirales logarithmiques ayant pour extrémités les 2 bases du gabion (cf. Figure 122), avec pour cette première situation une concavité orientée vers le haut, et un balayage de l'angle au centre par pas de 10°.

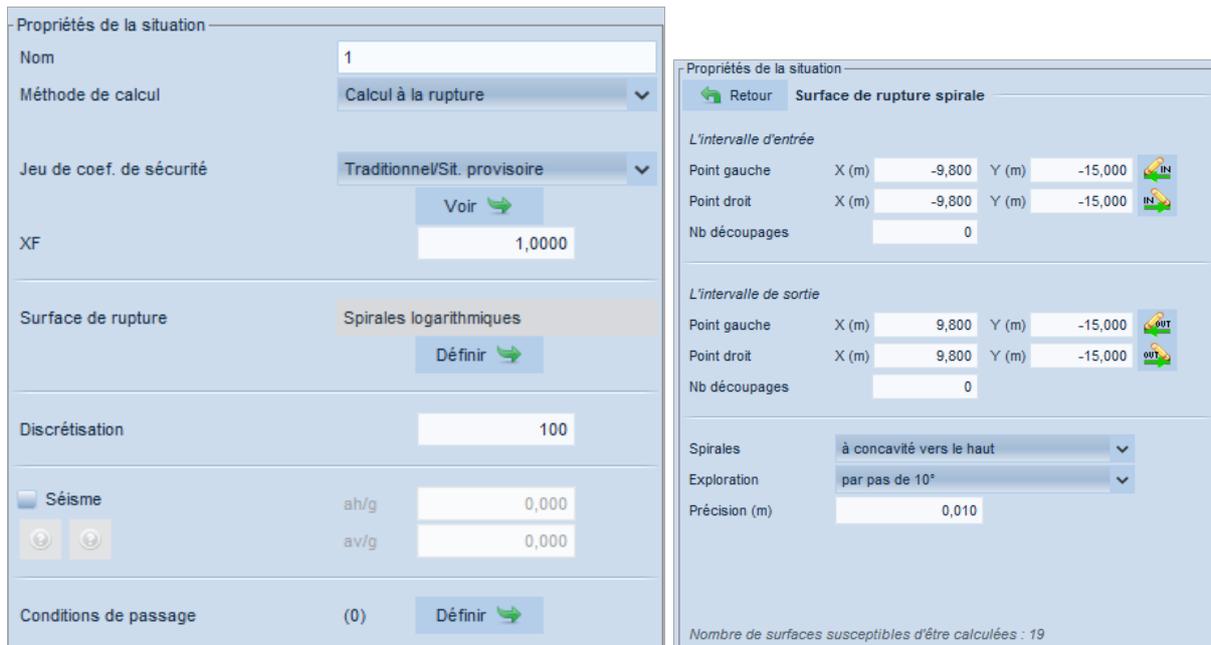


Figure 122. Définition de la 1^{ère} situation de la 1^{ère} phase (à gauche) et paramètres de recherche des spirales logarithmiques avec concavité vers le haut (à droite)

Résultats pour la situation 1

Pour effectuer le calcul de cette situation, cliquer sur le bouton de la barre de boutons. Le calcul s'effectue puis le résultat s'affiche. Sur la Figure 123, l'affichage de toutes les surfaces de rupture calculées a été demandé.

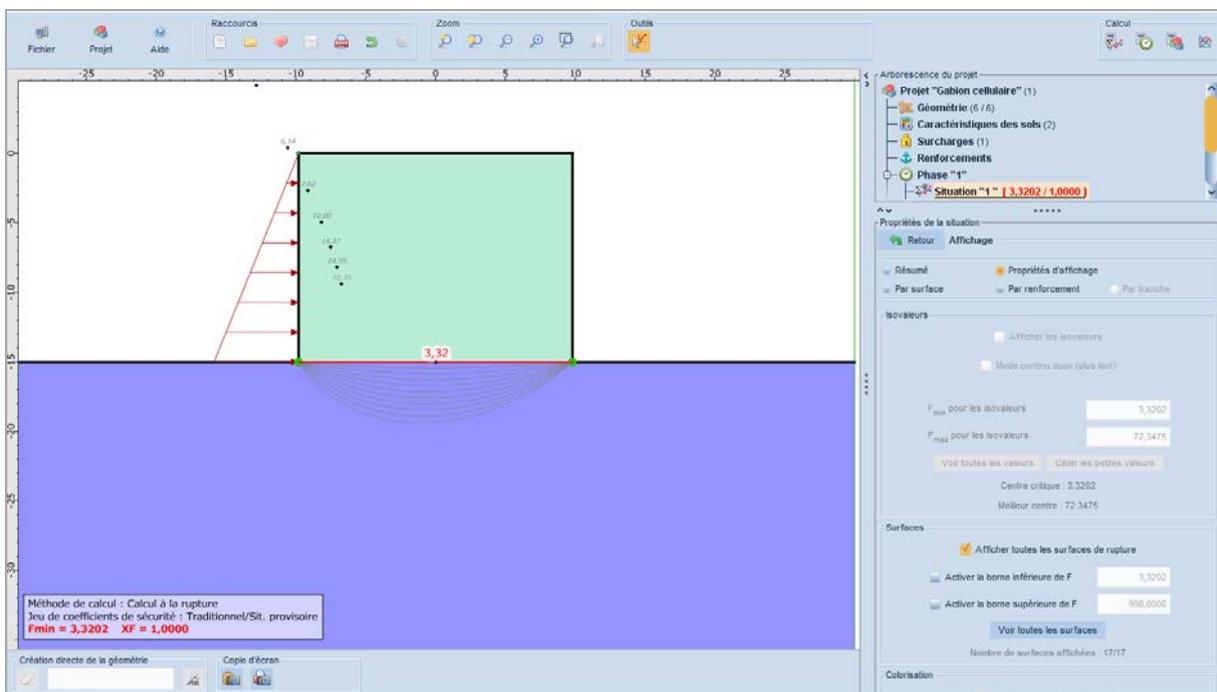


Figure 123. Résultat pour la situation 1 de la phase 1 (concavité vers le haut)

Le coefficient de rupture (ou facteur de confiance) obtenu est $F = 3,32$.

La spirale la plus critique est celle de concavité nulle (droite reliant les 2 extrémités).

Il convient donc d'explorer également les spirales à concavité négative, pour vérifier si elles ne conduisent pas à un résultat plus défavorable.

Pour cela, nous allons définir une 2^{ème} situation dans la même phase.

D.6.5.2 Définition de la situation 2

Plutôt que de redéfinir les paramètres pour cette situation, nous allons réutiliser les paramètres définis pour la situation 1, puis modifier uniquement la définition des spirales.

- Dupliquer la situation  depuis le menu contextuel de la situation 1.
- Puis renseigner les propriétés de la situation, conformément à la Figure 124 avec concavité vers le bas cette fois.

Propriétés de la situation

[Retour](#) Surface de rupture spirale

L'intervalle d'entrée

Point gauche X (m) Y (m) 

Point droit X (m) Y (m) 

Nb découpages

L'intervalle de sortie

Point gauche X (m) Y (m) 

Point droit X (m) Y (m) 

Nb découpages

Spirales

Exploration

Précision (m)

Nombre de surfaces susceptibles d'être calculées : 19

Figure 124. Définition des paramètres de recherche des spirales logarithmiques pour la 2^{ème} situation de la 1^{ère} phase (concavité des spirales orientée vers le bas)

Résultats pour la situation 2

Le résultat obtenu est indiqué sur la Figure 125 (avec affichage de toutes les surfaces de rupture calculées).

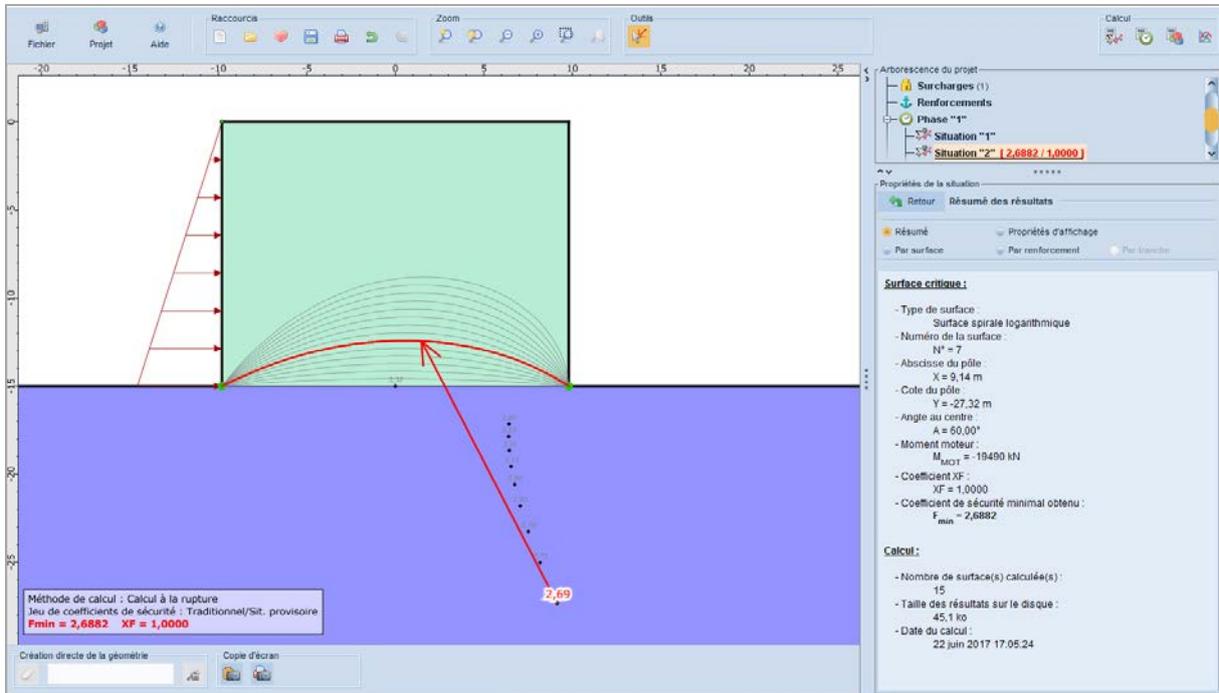


Figure 125. Résultat pour la situation 2 de la phase 1 (concavité vers le bas)

Cette fois-ci, nous obtenons $F = 2,69$.

Il convient de rechercher par itération la valeur de XF permettant d'obtenir $F = 1,00$: **$XF = 2,74$** .

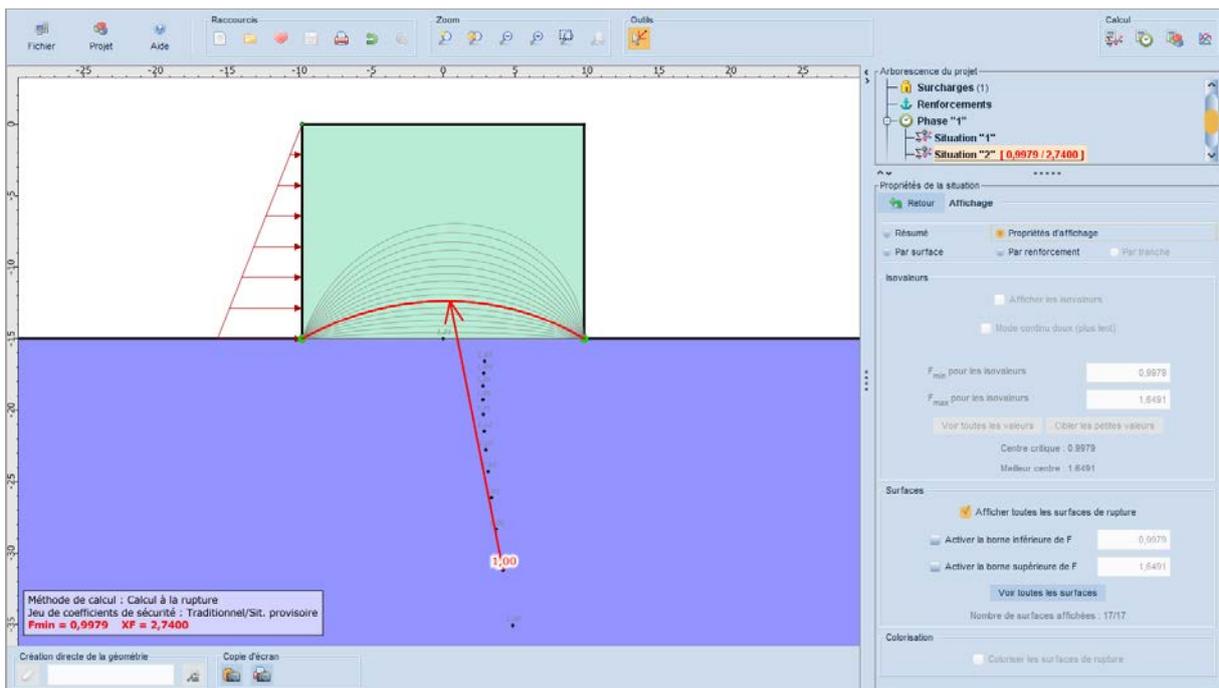


Figure 126. Résultat pour la situation 2 de la phase 1 ($XF = 2,74$)

Ce résultat montre que le calcul pour les concavités vers le bas est plus défavorable que celui de la situation 1 pour les concavités vers le haut. **La spirale la plus défavorable est la spirale de concavité négative avec un angle au centre $\theta = 60^\circ$.**

Cette 2^{ème} situation a mis en évidence un mécanisme de rupture interne au gabion qu'il faut prendre en compte, ce qui illustre l'intérêt dans ce cas du **calcul à la rupture**.

Nota : il pourrait sembler plus logique de modéliser l'action de l'eau par une nappe extérieure, plutôt que par une surcharge horizontale équivalente.

Mais le calcul avec nappe extérieure n'aurait pas donné le résultat souhaité dans ce cas : en effet, dans l'application de la méthode du calcul à la rupture faite dans Talren, il a été choisi de ne pas séparer les actions du poids et de l'eau. On examine donc si le cumul (poids + eau) est moteur ou résistant. Il n'est ainsi pas possible de dissocier les actions du poids et de l'eau, ce qui est nécessaire ici (le poids étant résistant et l'action de l'eau motrice).

PARTIE 2 : EXEMPLES D'APPLICATION DE TALREN

Ce chapitre présente sommairement quelques exemples d'applications courants de Talren.

Les manipulations de l'interface ne sont pas explicitées afin d'alléger les explications.

Les fichiers correspondant aux exemples présentés sont fournis au format « .t5p » dans le répertoire d'installation de Talren v5 et accessibles depuis le menu fichier de l'interface.

Quelques commentaires :

- Pour la plupart des exemples, une seule famille de surfaces de rupture est examinée. Il est évident que dans la majorité des exemples présentés, d'autres familles de surfaces de rupture doivent être examinées telles que celles correspondant à des phases provisoires, aux passages dans les différentes couches, aux passages à différents niveaux de l'excavation, etc.
- Pour certains exemples, les calculs de stabilité présentés correspondent à une vérification du dimensionnement défini par une autre méthode de calcul en parallèle, telle que : calcul d'écran (avec un comportement élastoplastique du sol), stabilité d'un mur de soutènement vis-à-vis du renversement, glissement et charge admissible des sols de fondation, etc.
- Certains ouvrages dimensionnés avec Talren présentant une géométrie particulière doivent faire l'objet de vérifications annexes. Par exemple, un ouvrage cloué avec un élancement relativement faible (longueur des clous relativement faible par rapport à la hauteur du soutènement) pouvant conduire à des déformations notables du massif cloué et à des contraintes importantes à sa base.
- Le type d'ouvrage (sensible ou non) ainsi que les combinaisons d'actions (fondamentales ou accidentelles) sont spécifiques à chaque étude et à chaque ouvrage. Ils ne peuvent pas être étendus à des cas présentant des similitudes avec les exemples présentés ci-après.
- Les valeurs de paramètres fournies dans les exemples ci-après ne sont que des valeurs exemples et ne doivent pas être considérées comme des références.

D.7 Exemple 1 : reprise en sous-œuvre d'un bâtiment

Cet exemple présente la reprise en sous-œuvre d'un bâtiment apportant de fortes charges sur le sol. Les renforts se composent de 2 files de pieux réalisés en jet-grouting et d'un lit de tirants, l'ensemble étant liaisonné en tête par une longrine.

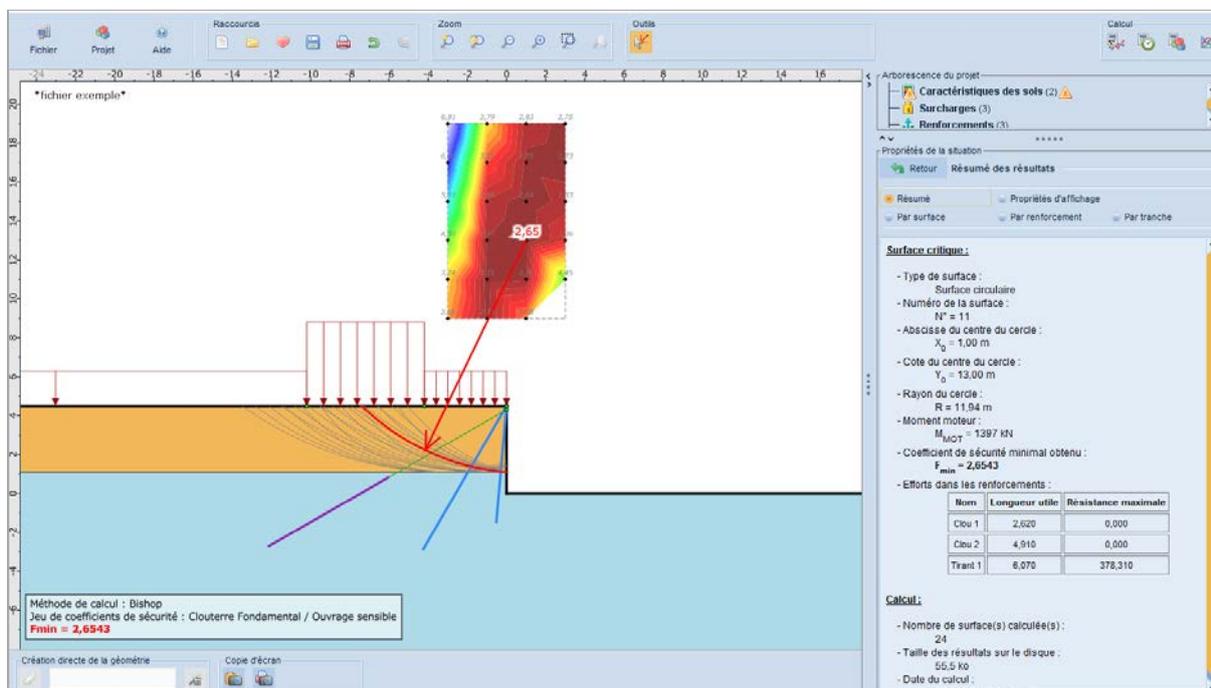
Le dimensionnement des inclusions pour cette reprise en sous-œuvre a fait l'objet d'une étude préliminaire pour la détermination des efforts internes aux inclusions, ainsi que pour l'estimation des déplacements que l'on peut attendre. Les calculs, dont les résultats sont présentés ci-dessous, n'ont pour but que de vérifier la stabilité globale de l'ouvrage en considérant plusieurs surfaces de rupture pouvant se développer.

Tableau récapitulatif des couches de sol

Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotro...	Favorable	Coefficients de sécuritè...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{\tan(\varphi)}$	Type de cohési...	Courbe
1	Couche 1	19,0	39,00	0,0	0,0	250,0	3000,0	67500,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	19,0	0,00	999,0	0,0	300,0	5000,0	10000,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Tableau récapitulatif des surcharges

Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Sr 1	-100,000	4,500	155,0	-10,200	4,500	155,0
2	Sr 2	-10,200	4,500	375,0	-4,200	4,500	375,0
3	Sr 3	-4,200	4,500	155,0	0,000	4,500	155,0

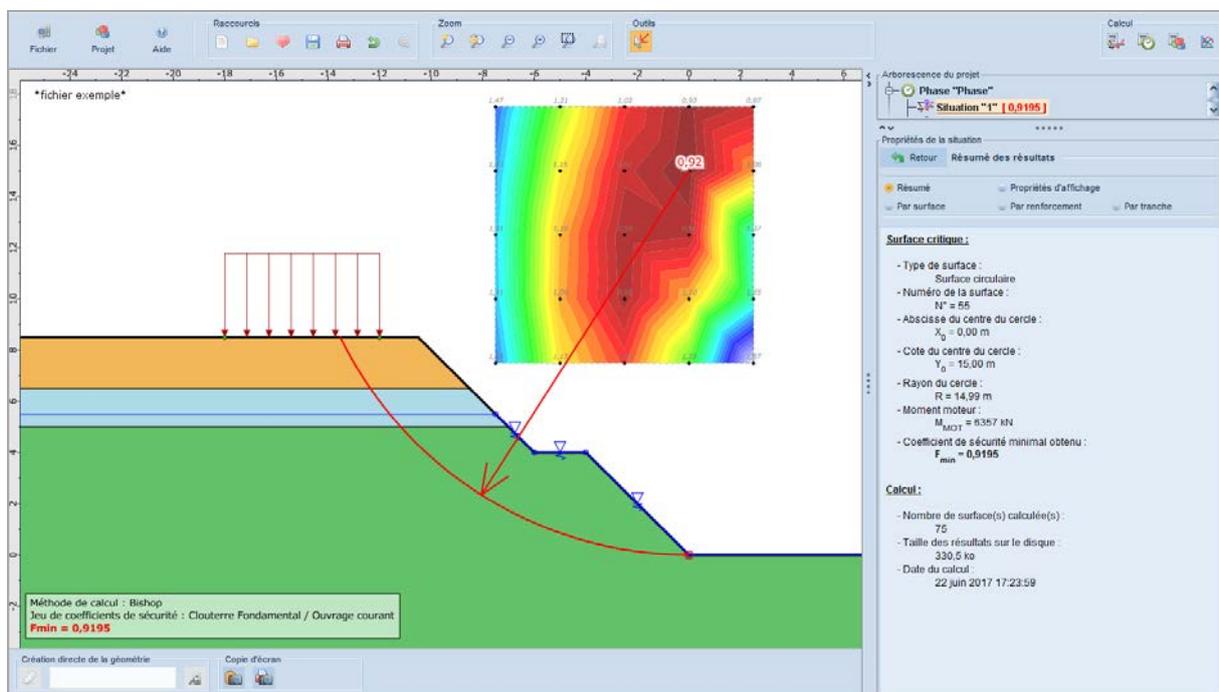


D.8 Exemple 2 : stabilité d'un talus provisoire

Cet exemple présente la vérification de la stabilité globale d'un talus provisoire qui ne satisfait pas les conditions de stabilité (calcul selon les recommandations Clouterre).

Tableau récapitulatif des couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs oclus	pl	KaB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiés	Γ_v	Γ_c	$\Gamma_{tan(\alpha)}$	Type de coh.	Courbe
1	Couche 1	[Orange]	20,1	25,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	[Bleu]	18,5	25,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	[Vert clair]	18,5	30,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4	[Vert foncé]	19,5	25,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

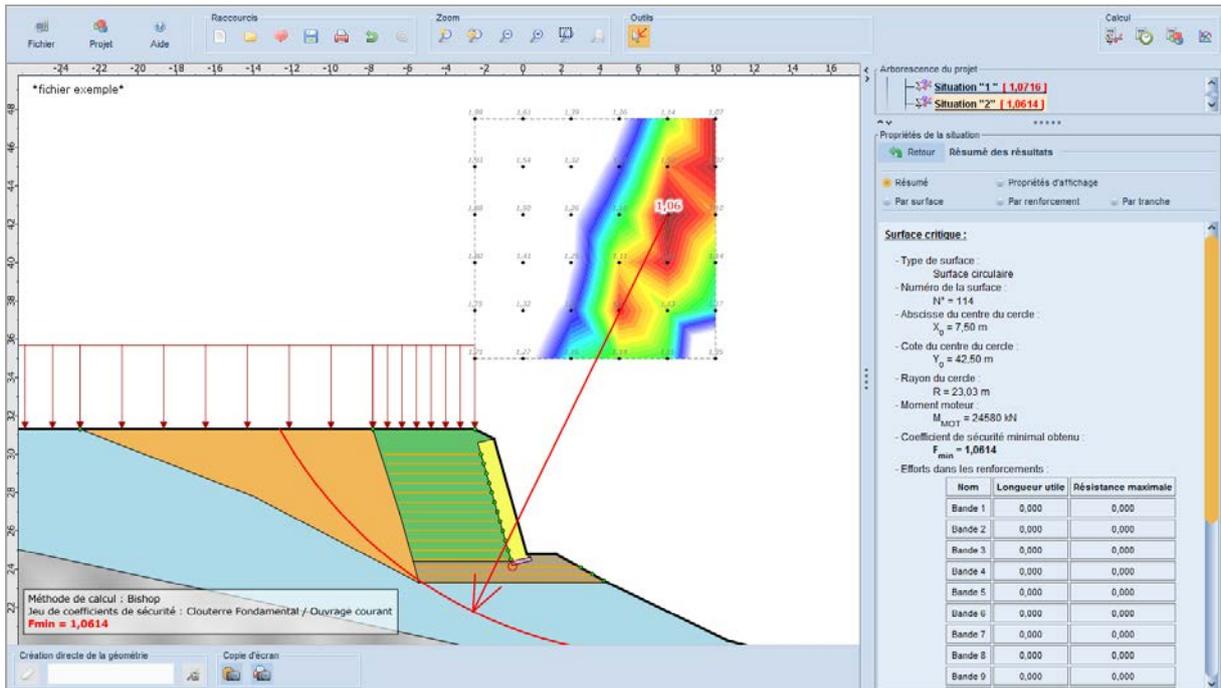


D.9 Exemple 3 : stabilité d'un soutènement par géogrilles

Cet exemple présente une extension d'un parking bordant une pente de talus et pour laquelle il a été réalisé un soutènement constitué par géogrilles ancrées sur un mur de type « gabions ».

Cette étude de stabilité doit s'accompagner d'une étude de l'équilibre local du mur de type « gabion », ainsi que de l'étude de stabilité traditionnelle des ouvrages constitués de géogrilles.

Les caractéristiques des géogrilles ont été tirées des abaques du fournisseur.



	Nom	X (m)	Y (m)	Espacement horizontal (m)	Inclinaison/horizontale (°)	Largeur base de diffusion (m)	Angle de diffusion (°)	TR (kN)	Longueur (m)	Largeur (m)	$\gamma_{remblaj}$ (kN/m ³)	Type de pondération	Traction	μ_0^*	μ_1^*
1	Bande 1	-2.18	30	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
2	Bande 2	-2.04	29.5	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
3	Bande 3	-1.9	29	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
4	Bande 4	-1.76	28.5	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
5	Bande 5	-1.62	28	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
6	Bande 6	-1.48	27.5	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
7	Bande 7	-1.33	27	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
8	Bande 8	-1.19	26.5	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
9	Bande 9	-1.05	26	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
10	Bande 10	-0.91	25.5	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
11	Bande 11	-0.77	25	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
12	Bande 12	-0.63	24.5	1	0	0.5	20	16.9	5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
13	Bande 13	3	24.1	1	0	0.5	20	36.47	8.5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
14	Bande 14	3.6	23.75	1	0	0.5	20	36.47	9	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32
15	Bande 15	4.2	23.4	1	0	0.5	20	36.47	9.5	1	19	Minorateur (< 1)	Externe	0.32	0.32

D.10 Exemple 4 : réfection d'une chaussée après glissement

Cet exemple représente une confortation pour la réfection d'une chaussée recoupant un glissement, par 4 lits de tirants, avec un drainage de la partie amont du soutènement et la mise en place d'éperons drainants en partie basse de la zone glissée.

Ce calcul intervient après un calcul de stabilité de l'état initial avant glissement qui a permis de caler les caractéristiques des sols sur le plan de glissement pour les conditions hydrauliques reconnues avant l'amorce du glissement.

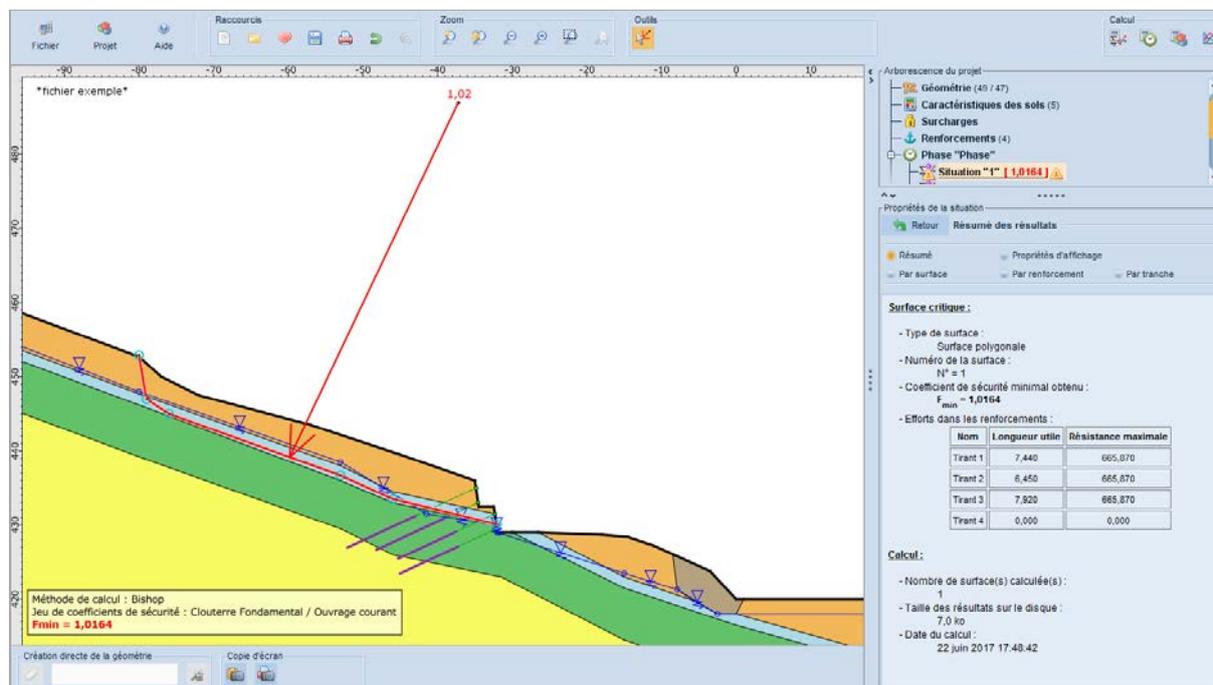
Les caractéristiques de cisaillement ont été calées sur la rupture. L'ouvrage à réaliser a été considéré comme non sensible, bien que l'on soit dans le cas d'un glissement.

Tableau récapitulatif des couches de sol

	Nom	Couleur	γ	ϕ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spé...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{tan(g)}$	Type de cohésion	Courbe
1	Couche 1		19,0	23,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		19,0	23,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3		21,0	35,00	30,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4		22,0	35,00	40,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
5	Couche 5		20,0	30,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Oui	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Tableau récapitulatif des renforcements

	Nom	X	Y	Espacement horizo...	Inclinaison/horizont...	Largeur base de diffu...	Angle de diffusi...	TR	Longueur scel...	Longueur libre	Règle de calcul	QS tirants issus	RQS
1	Tirant 1	-34,840	435,000	5,000	25,000	2,000	20,00	1110,0	10,000	9,000	Tout ou rien	Abaques	1500,000
2	Tirant 2	-34,590	433,000	5,000	25,000	2,000	20,00	1110,0	10,000	5,000	Tout ou rien	Abaques	1500,000
3	Tirant 3	-32,340	431,500	5,000	25,000	2,000	20,00	1110,0	8,500	5,750	Tout ou rien	Abaques	1500,000
4	Tirant 4	-32,090	429,500	5,000	25,000	2,000	20,00	1110,0	8,500	5,750	Tout ou rien	Abaques	1500,000



D.11 Exemple 5 : soutènement (microberlinoise)

Cet exemple traite l'étude de la stabilité globale d'une fouille à réaliser, tenue par un soutènement provisoire de type microberlinoise constituée de micropieux verticaux tenus par un lit de tirants en tête et 3 lits de clous en partie inférieure.

Tableau récapitulatif des couches de sol

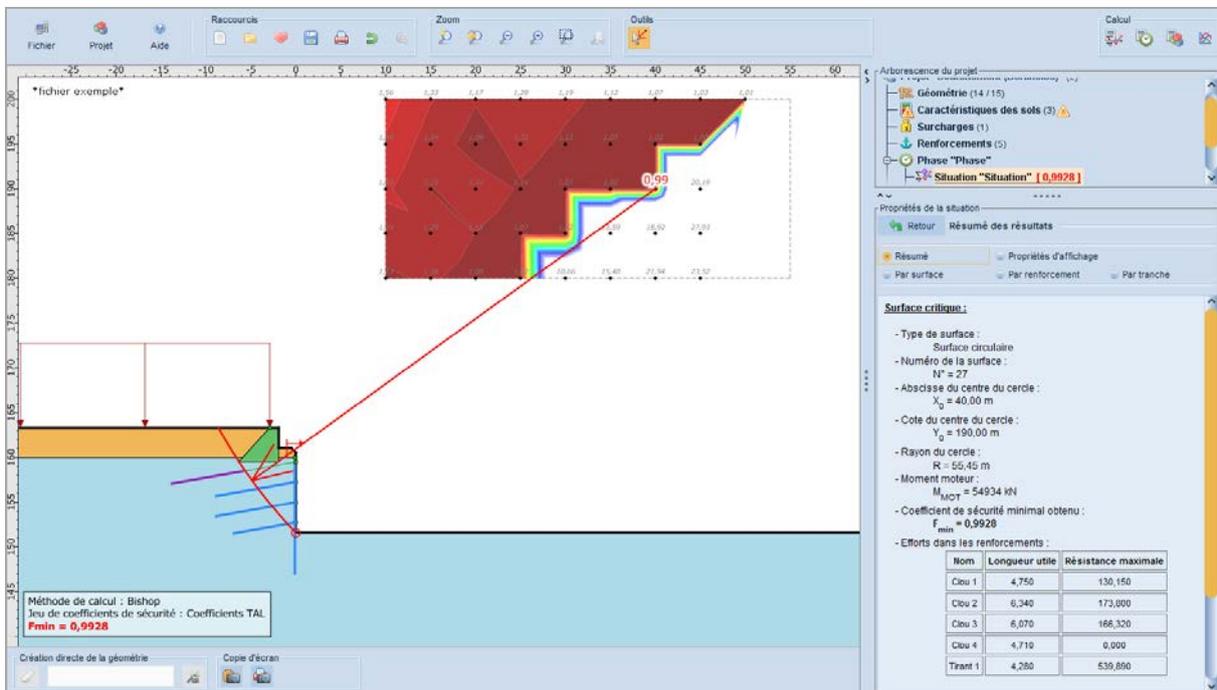
Couches de sol (3)																	
	Nom	Couleur	Y	φ	c	Δc	qs clous	pl	KaB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spéci...	Γ_γ	Γ_c	$\Gamma_{tan(\alpha)}$	Type de cohé.	Courbe
1	Couche 1		20,0	30,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		21,0	35,00	20,0	0,0	130,0	800,0	7500,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3		23,0	0,00	1000,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Tableau récapitulatif des renforcements

Clous (4) / Tirants (1)																								
	Nom	X	Y	Espacem.	Inclinaison...	Largeur bas.	Angle d...	TR	Longu...	Rsc	Rayon	Règle...	Cisailement...	Moment de ...	EI	Angle ...	Traction	Cisaill.	qs clous	$\theta_{sarré}$	σ_a	Valeur de...	Rac calculée.	Cisailement varia...
1	Clou 1	0,000	157,250	2,500	10,00	2,000	20,00	308,0	9,000	-	0,047	Tcal,Cl.	0,000	-	-	0,000	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui	Non
2	Clou 2	0,000	155,000	2,500	10,00	2,000	20,00	402,0	9,000	-	0,047	Tcal,Cl.	0,000	-	-	0,000	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui	Non
3	Clou 3	0,000	152,750	2,500	10,00	2,000	20,00	402,0	7,000	-	0,047	Tcal,Cl.	0,000	-	-	0,000	Externe	-	Abaques	-	-	Oui	Oui	Non
4	Clou 4	-0,100	160,000	1,250	90,00	1,000	20,00	542,0	13,000	-	0,100	Tnul,Ccal	-	283,000	2074,0	0,000	-	Externe	Abaques	-	-	Oui	Oui	-

Tableau récapitulatif des renforcements

Clous (4) / Tirants (1)													
	Nom	X	Y	Espacement horizontal	Inclinaison/horizontale	Largeur base de diffusion	Angle de diffusion	TR	Longueur scellée	Longueur libre	Règle de calcul	qs tirants issus de...	RQS
1	Tirant 1	0,000	159,500	2,500	10,000	2,000	20,00	900,0	8,000	6,000	Tout ou rien	Abaques	800,000

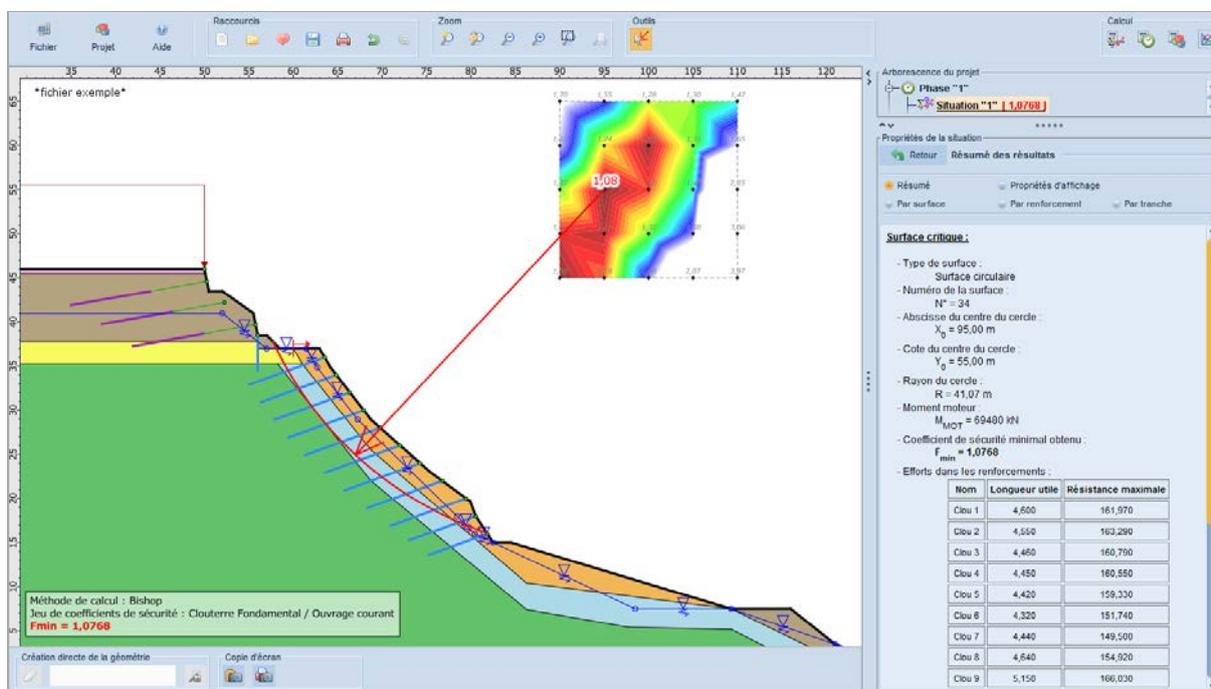


D.12 Exemple 6 : stabilisation superficielle d'un talus

Cet exemple présente le confortement d'un talus en limite de stabilité dont la partie superficielle s'altère au cours du temps. Les caractéristiques des sols superficiels (décomposés en 2 couches) ont été calées sur la stabilité limite du talus existant.

Tableau récapitulatif des couches de sol

Nom	Couleur	γ	ϕ	c	Δc	qs clous	pl	KaB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spéci...	γ	γ_c	$\gamma_{tan(\phi)}$	Type de cohé.	Courbe
1	Couche 1	20,0	30,00	23,0	0,0	80,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	21,0	30,00	45,0	0,0	120,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	21,0	30,00	150,0	0,0	160,0	4000,0	186000,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4	20,0	17,00	25,0	0,0	0,0	1000,0	15000,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
5	Couche 5	20,0	30,00	0,0	0,0	0,0	750,0	19250,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
6	Couche 6	18,0	25,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
7	Couche 7	20,0	45,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire



D.13 Exemple 7 : géotextile à la base d'un remblai sur sol mou

Cet exemple présente la réalisation d'un remblai sur un sol mou dont les 50 cm supérieurs ont été décapés et dont la stabilité est assurée par une nappe de géotextile.

La nappe de géotextile a été assimilée à des bandes de renforcement dont le mode de fonctionnement est similaire.

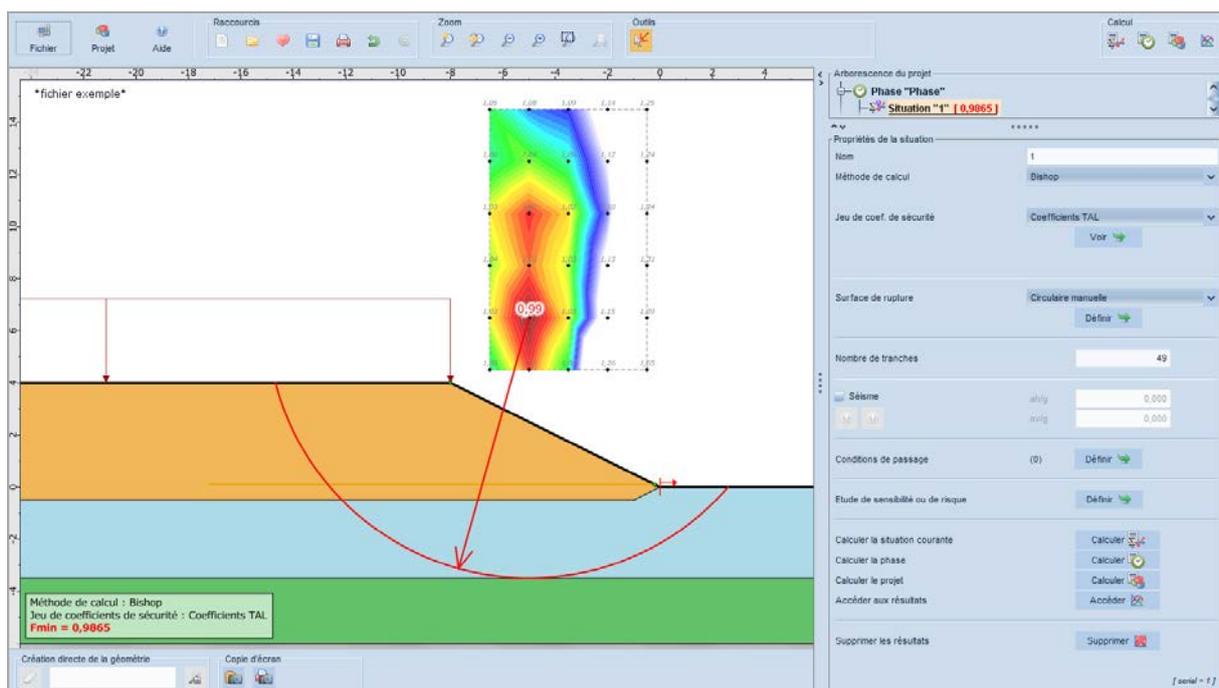
Le coefficient de frottement sol/armature a été mesuré et trouvé égal à $\tan(\varphi)$.

Tableau récapitulatif des couches de sol

Couches de sol (3)		γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spé.			Γ _y	Γ _c	Γ _{tan(φ)}	Type de cohésion	Courbe
1	Couche 1	18,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	-	-	Non drainée	Linéaire
2	Couche 2	15,0	0,00	23,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	-	-	Non drainée	Linéaire
3	Couche 3	20,0	0,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	-	-	Non drainée	Linéaire

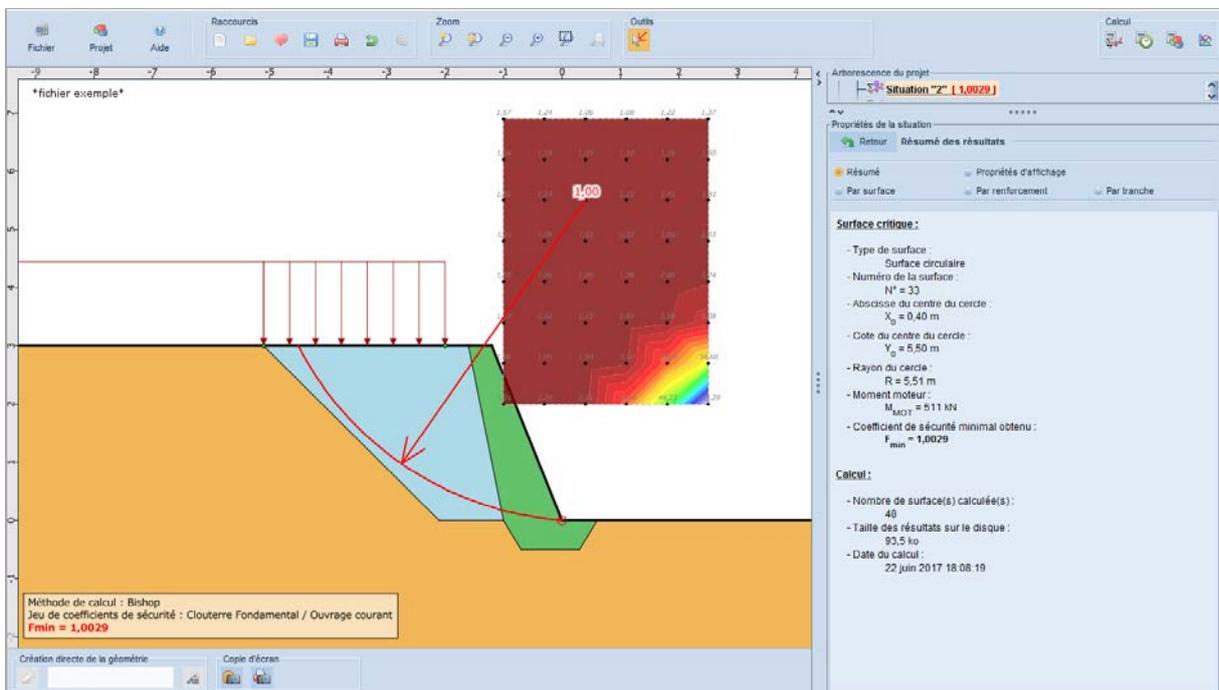
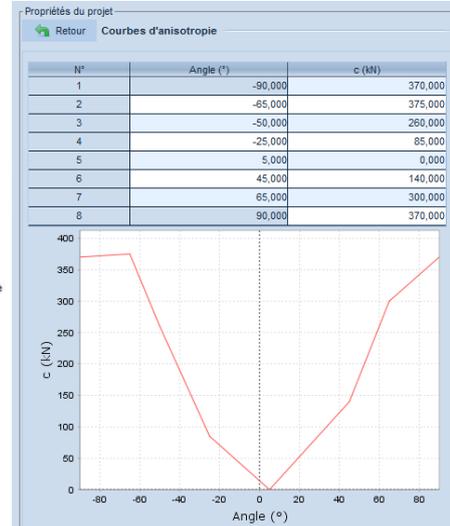
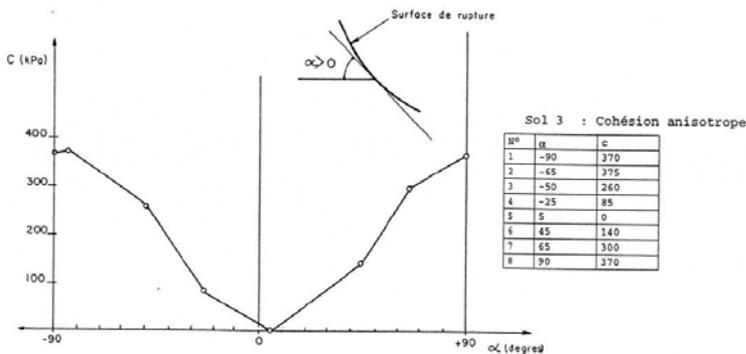
Tableau récapitulatif des renforcements

Bandes (1)		X	Y	Espacement horiz.	Inclinaison/horizon	Largeur base de diffu.	Angle de diffu.	TR	Longueur	Largeur	Y _{remblai}	Type de pondéra.	Traction	μ ₀ *	μ ₁ *
1	Bande 1	-0,200	0,100	1,000	0,000	2,000	20,00	100,0	17,000	1,000	18,000	Minorateur (< 1)	Externe	0,700	0,700



D.14 Exemple 8 : anisotropie de cohésion

Cet exemple traite la stabilisation d'un talus par un mur composé d'un matériau caractérisé par un angle de frottement et une anisotropie de cohésion.

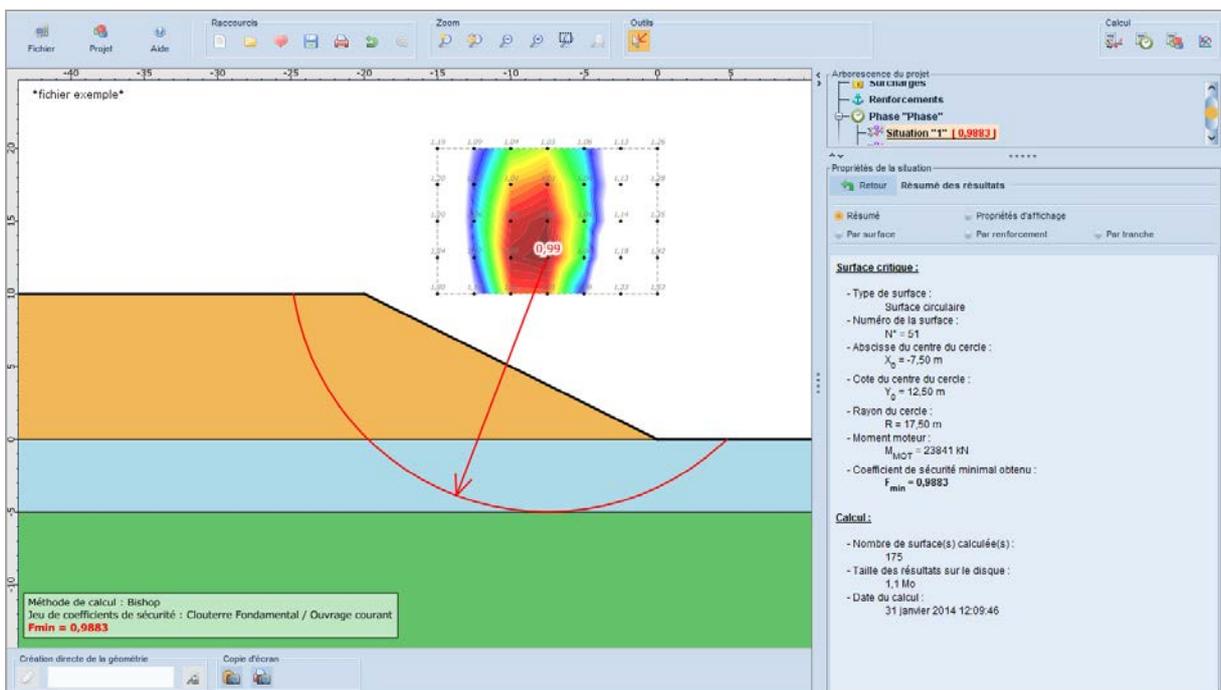
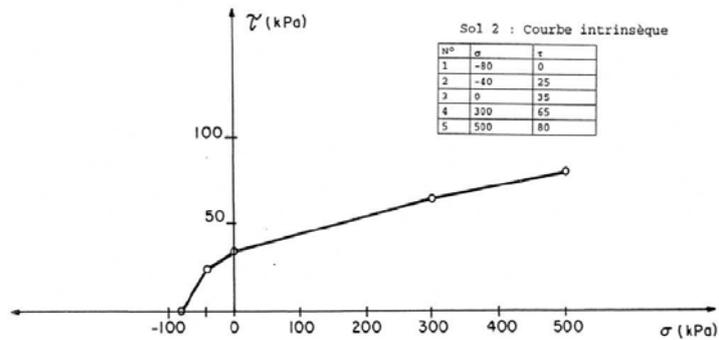
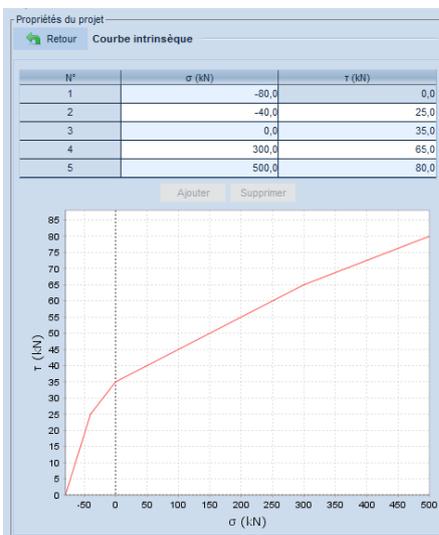


D.15 Exemple 9 : courbe intrinsèque non linéaire

Cet exemple traite le calcul de stabilité d'un remblai sur un sol relativement mou qui présente une courbe intrinsèque non linéaire : la contrainte tangentielle est fonction de la contrainte normale mais pas linéaire.

Tableau récapitulatif des couches de sol

Couches de sol (3)																	
N°	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité ...			Type de co...	Courbe	
1	Couche 1		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		16,0	-	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Non linéaire
3	Couche 3		21,0	35,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire



D.16 Exemple 10 : fouille butonnée en zone sensible

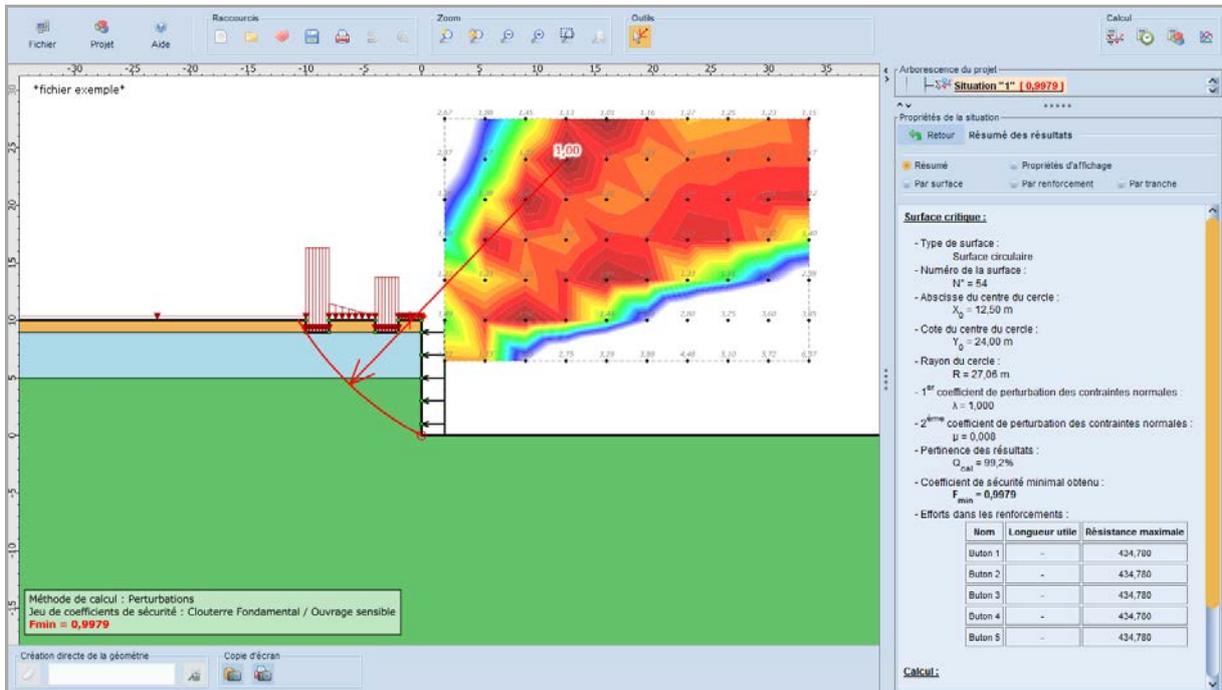
Cet exemple traite le cas d'une fouille réalisée à proximité d'un bâtiment et contenue par 4 lits de butons provisoires en acier.

Tableau récapitulatif des couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité sp...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{\tan(\varphi)}$	Type de cohé...	Courbe
1	Couche 1		19,0	30,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		20,0	20,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3		21,0	25,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Tableau récapitulatif des renforcements

	Nom	X	Y	Espacement horizontal	Inclinaison/horizontale	Largeur base de diffusion	Angle de diffusion	TR
1	Buton 1	0,000	9,000	2,500	0,000	2,000	20,00	500,0
2	Buton 2	0,000	7,000	2,500	0,000	2,000	20,00	500,0
3	Buton 3	0,000	5,000	2,500	0,000	2,000	20,00	500,0
4	Buton 4	0,000	3,000	2,500	0,000	2,000	20,00	500,0
5	Buton 5	0,000	1,000	2,500	0,000	2,000	20,00	500,0

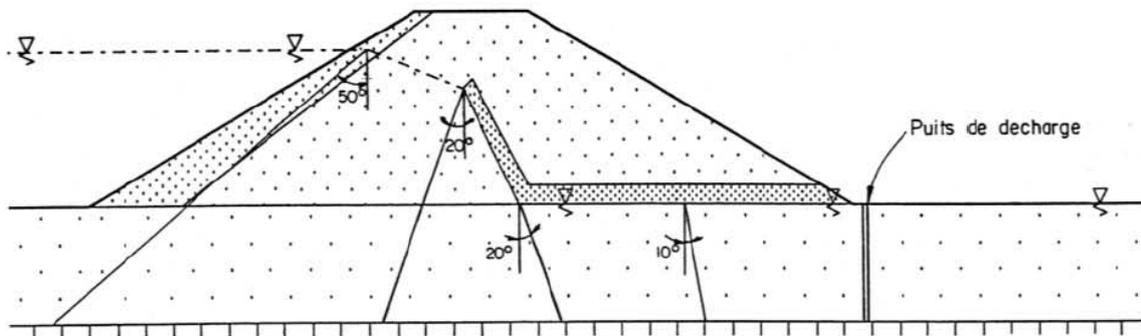


D.17 Exemple 11 : barrage avec approche de l'écoulement

Cet exemple présente la vérification de la stabilité d'un barrage en terre au sein duquel nous avons modélisé l'écoulement en approximant les lignes équipotentielles par des droites (inclinées des angles indiqués sur le schéma ci-dessous par rapport au toit de la nappe).

Tableau récapitulatif des couches de sol

Nom	Couleur	γ	ϕ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spéc...	Γ_v	Γ_c	$\Gamma_{tan(\phi)}$	Type de cohé.	Courbe
1	Couche 1	20,0	35,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	20,0	50,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	20,0	40,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4	19,0	20,00	12,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire



Propriétés de la phase

Nom: 1

Conditions hydrauliques: Nappe phréatique

Toit de la nappe

Fond de la nappe

Nappe extérieure manuelle

ru par couche

Enveloppe manuelle

Multiplicateur par surcharge

Assistant poussées/butées

Activer/désactiver des objets
 Polygones

- Polygone entre les points 1,2,9,13,7,8,15,14
- Polygone entre les points 2,3,4,9
- Polygone entre les points 4,5,6,11,10,12,13,9
- Polygone entre les points 6,7,13,12,10,11
- Polygone entre les points 14,15,xMax,xMin

Propriétés de la phase

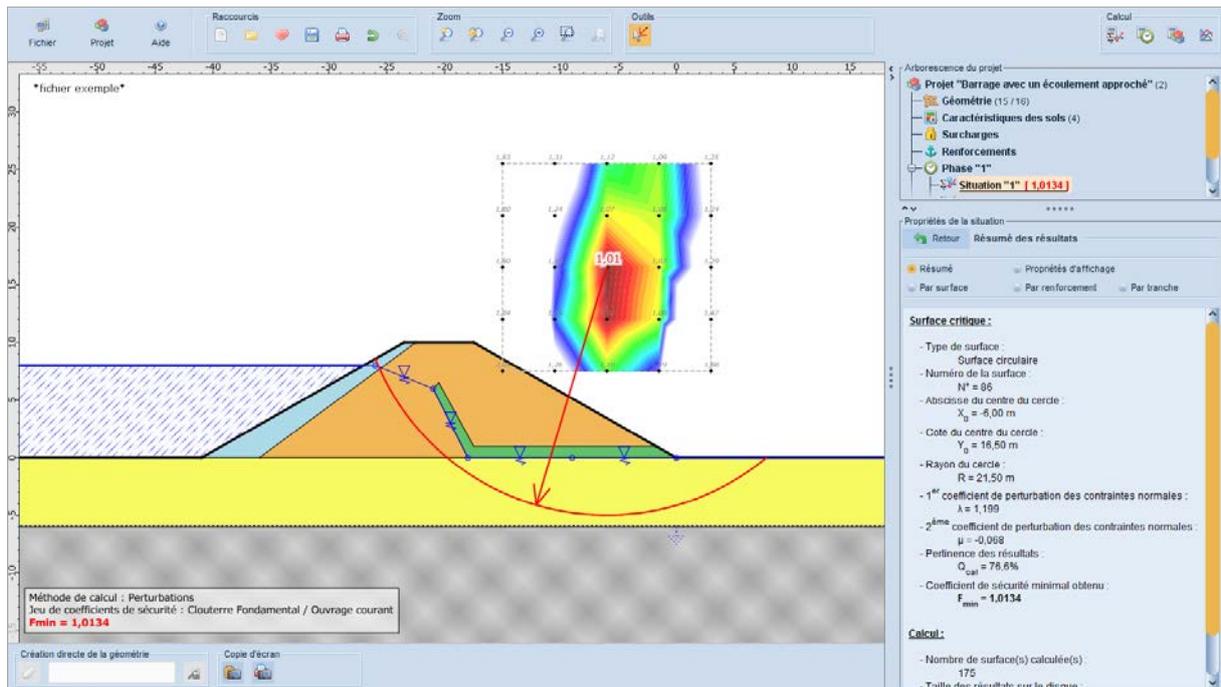
Retour Toit de la nappe

N°	X (m)	Y (m)	Angle (°)
1	-100,000	8,000	0,00
2	-26,000	8,000	50,00
3	-21,000	6,000	20,00
4	-18,000	0,000	-20,00
5	-9,000	0,000	-10,00
6	0,000	0,000	0,00
7	100,000	0,000	0,00

Propriétés de la phase

Retour Fond de la nappe

N°	X (m)	Y (m)
1	-100,00	-5,90
2	100,00	-5,90



D.18 Exemple 12 : stabilité d'une culée en terre armée

Cet exemple présente le cas d'une culée en Terre Armée pour laquelle nous avons vérifié la stabilité pour les cercles passant sous la fondation des écailles du massif en Terre Armée, la stabilité interne propre du massif en Terre Armée faisant l'objet de recommandations spécifiques. Les coefficients de frottement sol/armatures sont ceux proposés dans les recommandations Terre Armée.

Tableau récapitulatif des couches de sol

Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KaB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spéci.	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{tan(y)}$	Type de cohé.	Courbe
1	Couche 1	20,0	36,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	20,0	36,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	18,0	25,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4	20,0	35,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
5	Couche 5	20,0	36,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Propriétés du projet

Retour Surcharges

Surcharges réparties (3) Surcharges linéaires et moments (1)

Charge linéaire 1

Surcharge linéaire individuelle

Nom: Charge linéaire 1

X (m): -1,400

Y (m): 2,750

Q (kN): -100,000

Angle (°): 0,00

Diffusion

Largeur base (m): 1,000

Angle (°): 20,00

M (kN.m): -375,000

Propriétés du projet

Retour Renforcements

Clous Tirants Bandes (4) Boutons

Bandes et familles du projet (4)

Bande 1

Bande individuelle

Nom: Bande 1

X (m): 0,000 Y (m): 2,400

Longueur (m): 7,000 Larg (m): 0,050

Espacement (m): 0,500 Angle (°): 0,00

Diffusion

Largeur base (m): 0,500 Angle (°): 20,00

TR (kN): 50,00

$\gamma_{remblai}$ (kN/m³): 18,0

Type de pond.: Minorateur (< 1)

Cal. de traction: Externe

μ_0^* : 1,50 μ_1^* : 0,73

fichier exemple

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : Clouterre Fondamental / Ouvrage courant
F_{min} = 0,9781

Arborescence du projet

Phase "1"

Situation "1" (0,9781)

Propriétés de la situation

Retour Résumés des résultats

Résumé

Par surface

Par renforcement

Par tranche

Surface critique:

- Type de surface: Surface circulaire
- Numéro de la surface: N° = 105
- Abcisse du centre du cercle: $X_c = 7,50$ m
- Cote du centre du cercle: $Y_c = 17,50$ m
- Rayon du cercle: R = 21,03 m
- Moment moqueur: $M_{MOJ} = 20683$ kN
- Coefficient de sécurité minimal obtenu: **F_{min} = 0,9781**
- Efforts dans les renforcements:

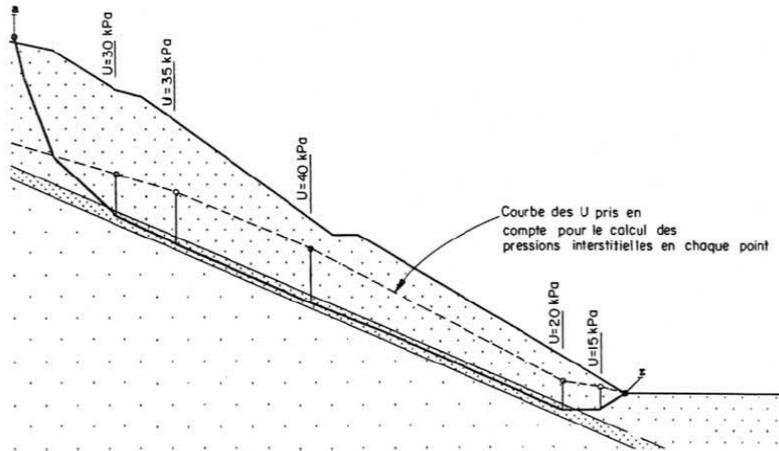
Nom	Longueur utile	Résistance maximale
Bande 1	0,000	0,000
Bande 2	0,670	3,520
Bande 3	1,580	8,460
Bande 4	2,610	15,700

Calcul:

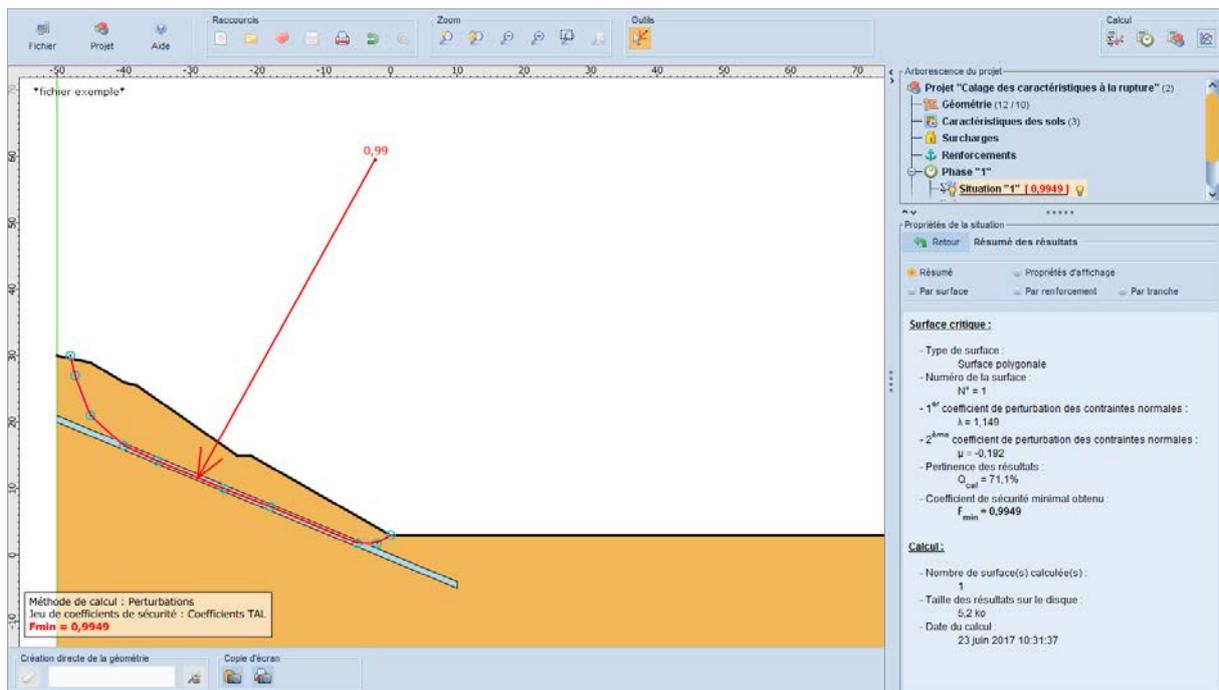
- Nombre de surface(s) calculé(e)(s): 150
- Taille des résultats sur le disque: 1,0 Mo
- Date du calcul:

D.19 Exemple 13 : calage des caractéristiques sur une surface de rupture

Cet exemple présente l'analyse à la rupture d'un glissement pour lequel nous recherchons à caler les caractéristiques mécaniques d'une couche de sol qui est le siège d'une surface de rupture connue. Nous avons défini dans cet exemple les pressions interstitielles le long de la surface de rupture.



Propriétés de la situation			
Retour Surface de rupture polygonale			
N°	X (m)	Y (m)	u (kPa)
1	-48,000	30,000	0,0
2	-47,300	27,000	0,0
3	-45,000	21,000	0,0
4	-40,000	16,500	30,0
5	-35,000	14,200	35,0
6	-25,000	10,000	40,0
7	-18,000	7,300	35,0
8	-5,000	1,800	20,0
9	-2,010	1,800	15,0
10	0,010	3,010	0,0



D.20 Exemple 14 : paroi moulée avec 2 nappes d'eau

Cet exemple traite le cas de la stabilité d'une paroi moulée ancrée par un lit de tirants provisoires. Nous avons imposé aux surfaces circulaires de passer sous la fiche de la paroi. La stabilité et le dimensionnement propre de la paroi et la définition de la traction de service des tirants ont été déterminés par un calcul préalable de paroi en élastoplasticité.

Ce calcul en rupture circulaire permet de définir la longueur utile des tirants qui ne peut être définie par un calcul de paroi en élastoplasticité et de vérifier que la fiche est suffisante pour les conditions de stabilité au grand glissement. Certains cas demandent aussi de considérer les surfaces de rupture non circulaires passant à l'arrière du point d'ancrage fictif des tirants (pour Talren, le point d'ancrage fictif se situe au milieu du scellement) et sous le pied de paroi.

Dans cet exemple, nous traitons, avec des valeurs de pressions interstitielles données aux nœuds d'un maillage triangulaire, le cas particulier de deux nappes dont les niveaux hydrostatiques sont différents, les pertes de charges s'effectuant dans la couche de sol intermédiaire peu perméable.

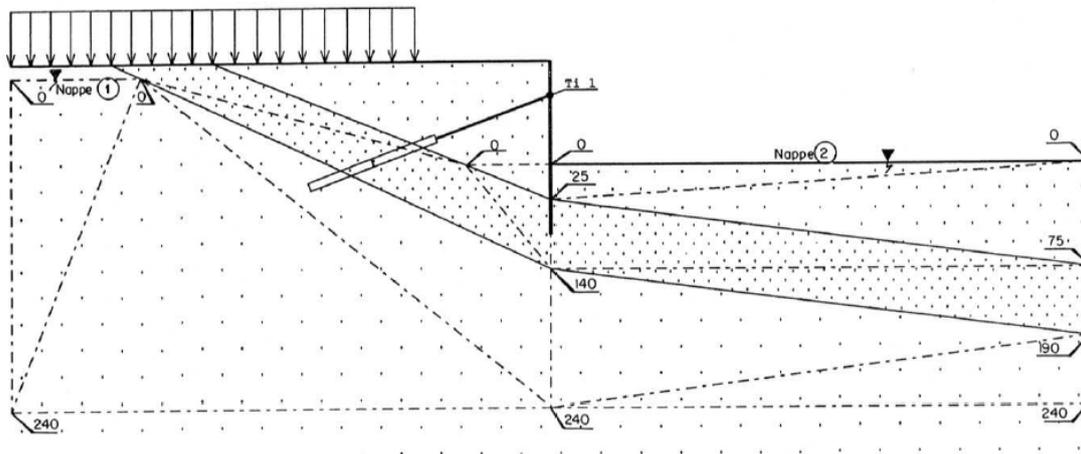


Tableau récapitulatif des couches de sol

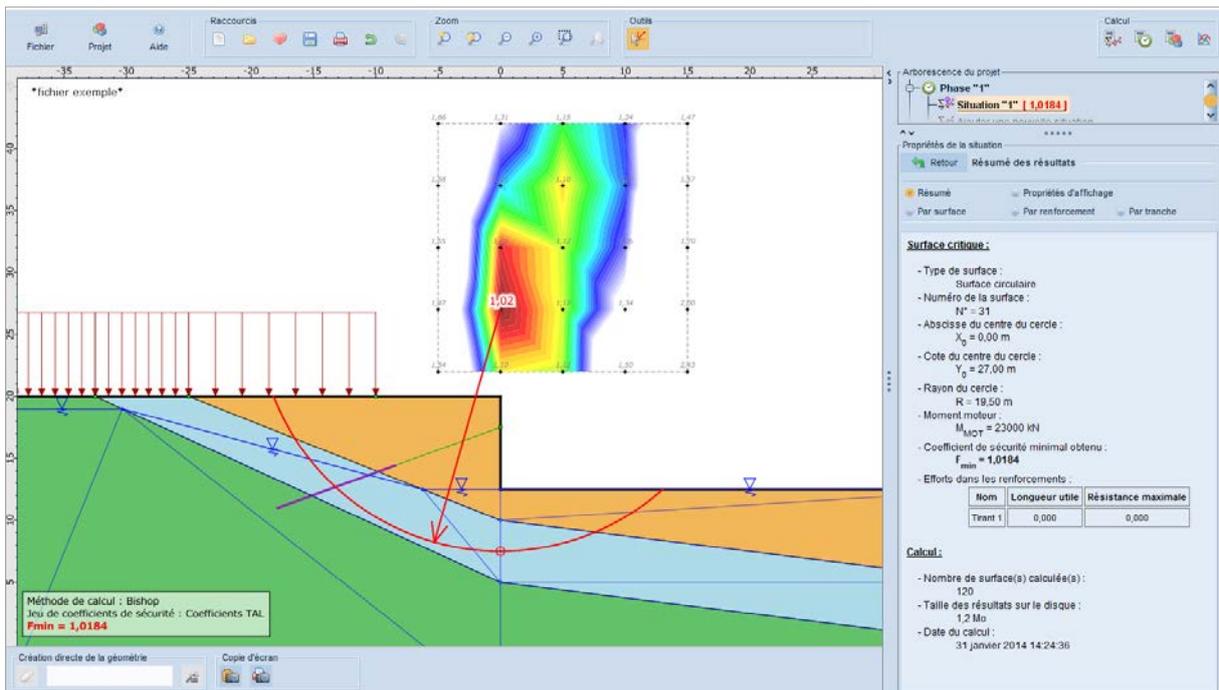
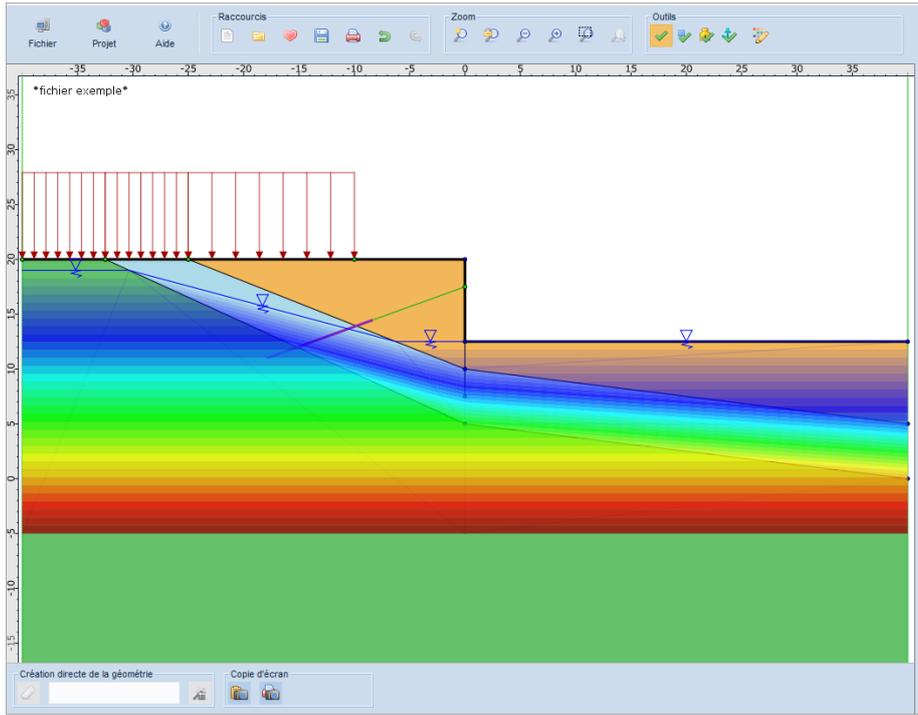
Nom	Couleur	γ	ϕ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotro...	Favorable	Coefficients de sécurit...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{tan(\phi)}$	Type de c...	Courbe
1	Couche 1	20,0	30,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	20,0	25,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	20,0	35,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Propriétés de la phase

Retour Noeuds et triangles

Noeuds Triangles Propriétés d'affichage

N°	X (m)	Y (m)	u (kPa)
1	-40,000	19,000	0,000
2	-30,330	19,000	0,000
3	-6,250	12,500	0,000
4	0,000	12,500	0,000
5	40,000	12,500	0,000
6	0,000	10,000	25,000
7	40,000	5,000	75,000
8	0,000	5,000	140,000
9	40,000	0,000	190,000
10	-40,000	-5,000	240,000
11	0,000	-5,000	240,000
12	40,000	-5,000	240,000



D.21 Exemple 15 : soutènement cloué

Cet exemple traite le cas d'un ouvrage cloué en situation sismique. Le séisme est défini par les rapports d'accélération horizontal et vertical (a_h/g et a_v/g).

Tableau récapitulatif des couches de sol

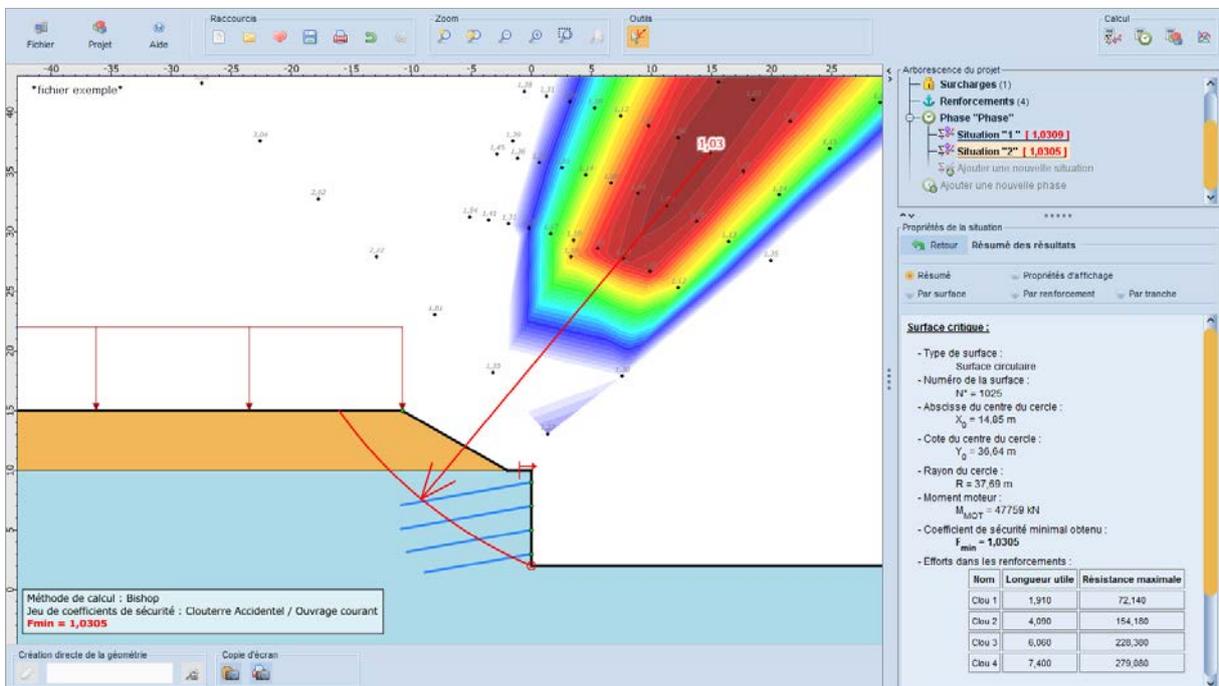
	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité s...	Γ_Y	Γ_c	$\Gamma_{tan(g)}$	Type de co...	Courbe
1	Couche 1		20,0	35,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		20,0	30,00	10,0	0,0	120,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

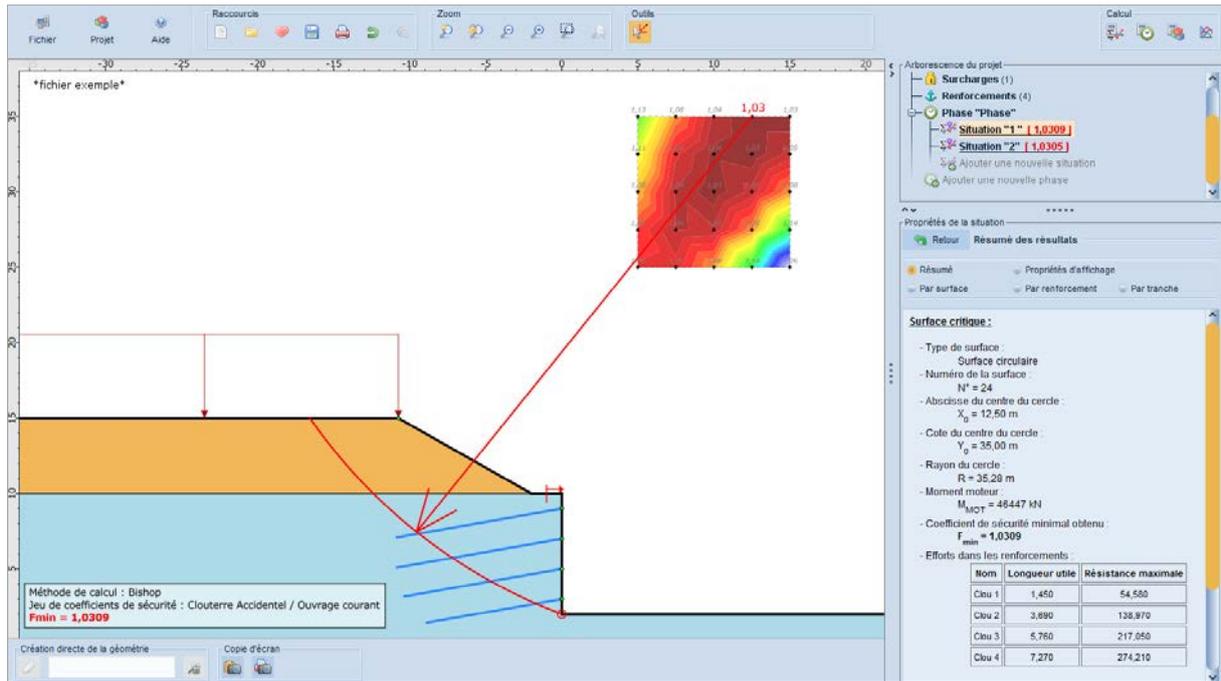
Copier Exporter Fermer

Séisme

a_h/g

a_v/g





D.22 Exemple 16 : stabilité d'un quai en cylindres de béton

Cet exemple présente le cas d'un quai réalisé en cylindres de béton fermés au fond et remplis de remblai compacté.

Nous avons retenu le cas le plus défavorable en considérant le niveau d'eau maximum à l'intérieur des terres et minimum à l'extérieur.

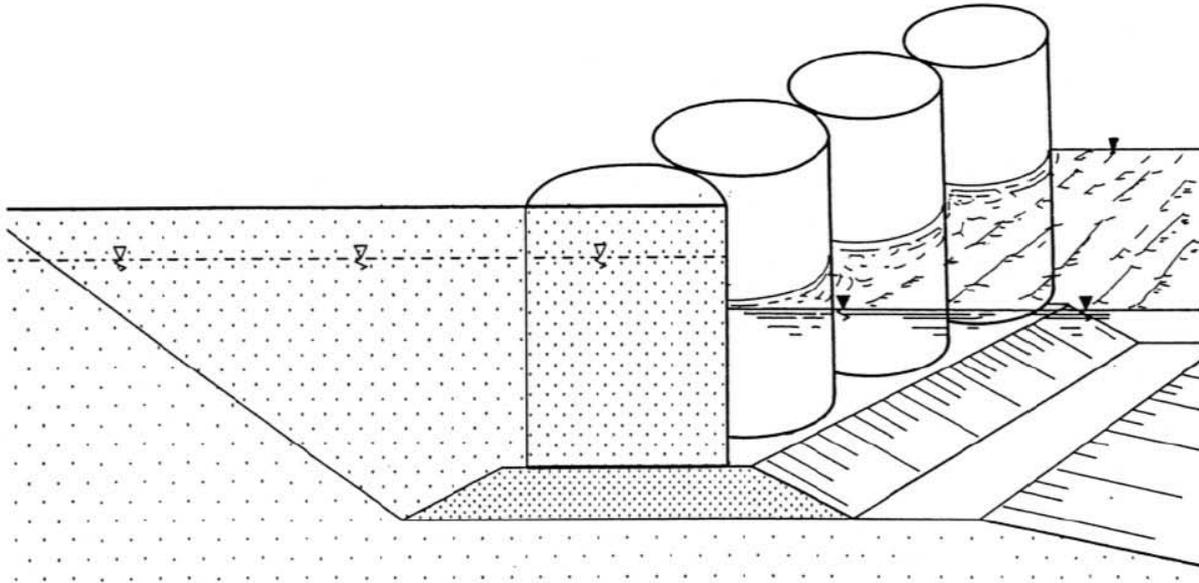


Tableau récapitulatif des couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotro...	Favorable	Coefficients de sécurit...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{\tan(\varphi)}$	Type de c...	Courbe
1	Couche 1	[Orange]	20,0	30,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	[Orange]	20,0	30,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	[Vert]	20,0	0,00	1000,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4	[Jaune]	20,0	45,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Propriétés de la phase

Nom: 1

Conditions hydrauliques: Nappe phréatique

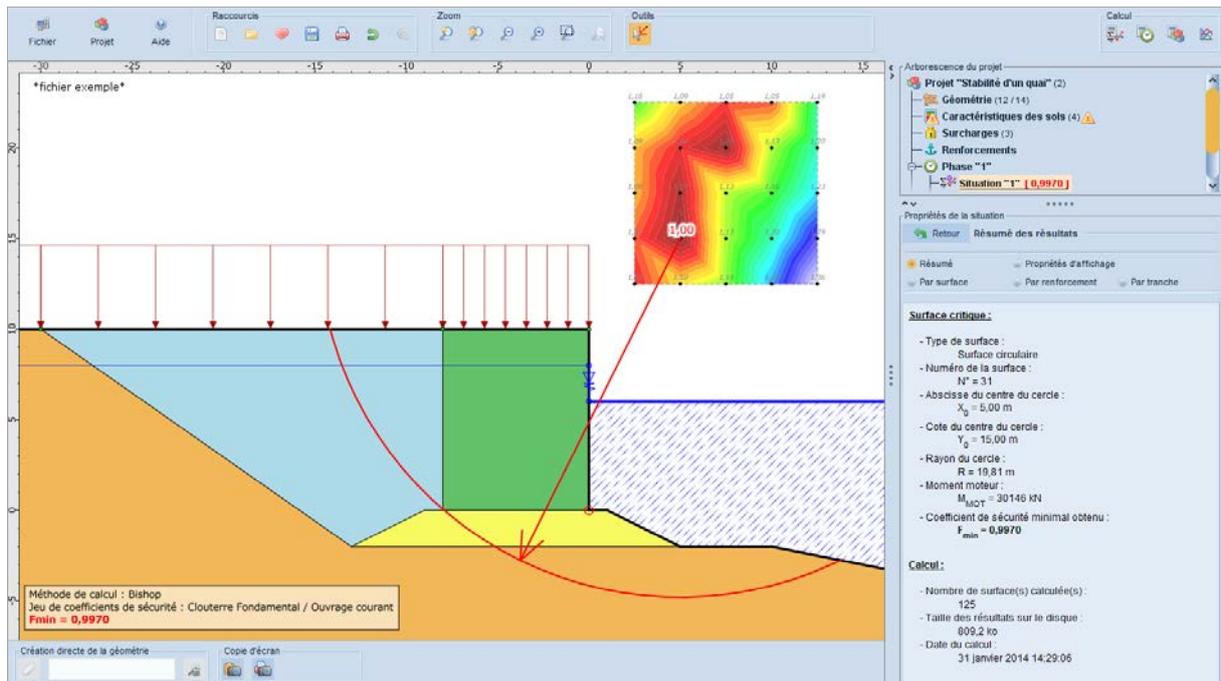
- Toit de la nappe
- Fond de la nappe
- Nappe extérieure manuelle
- ru par couche
- Enveloppe manuelle
- Multiplicateur par surcharge
- Assistant poussées/butées

Définir

Propriétés de la phase

Retour Toit de la nappe

N°	X (m)	Y (m)	Angle (°)
1	-100,000	8,000	0,00
2	0,000	8,000	0,00
3	0,000	6,000	0,00
4	50,000	6,000	0,00



D.23 Exemple 17 : stabilisation d'un glissement par pieux

Cet exemple présente le cas d'un remblai sur une pente instable confortée par 3 files de pieux, assimilés dans Talren à des clous verticaux travaillant au cisaillement.

Les caractéristiques intrinsèques des sols ont été préalablement calées sur la rupture.

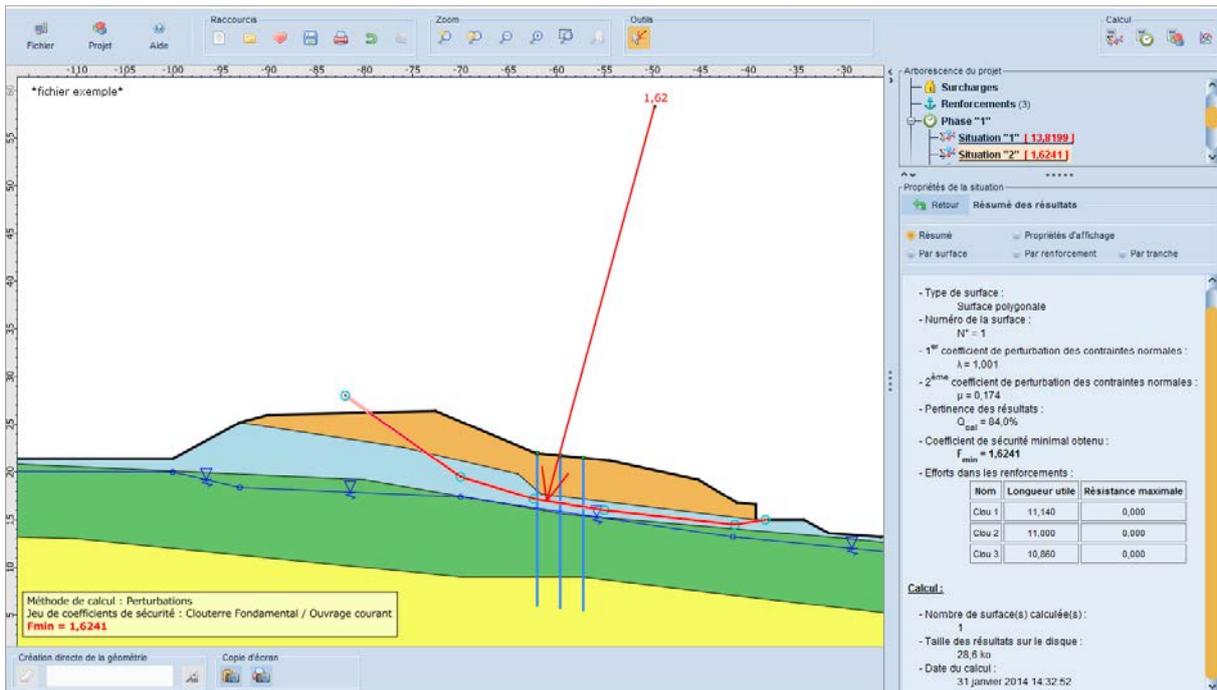
Le but a été d'obtenir un gain de sécurité de 20 à 30 % par rapport à la rupture.

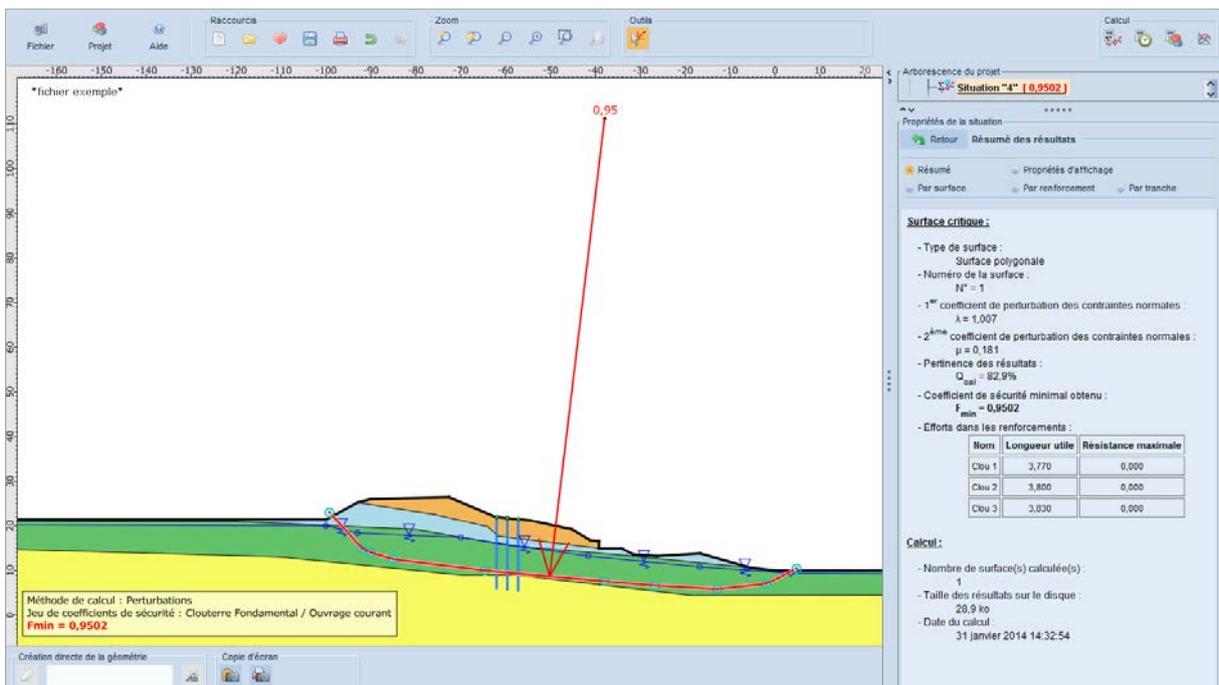
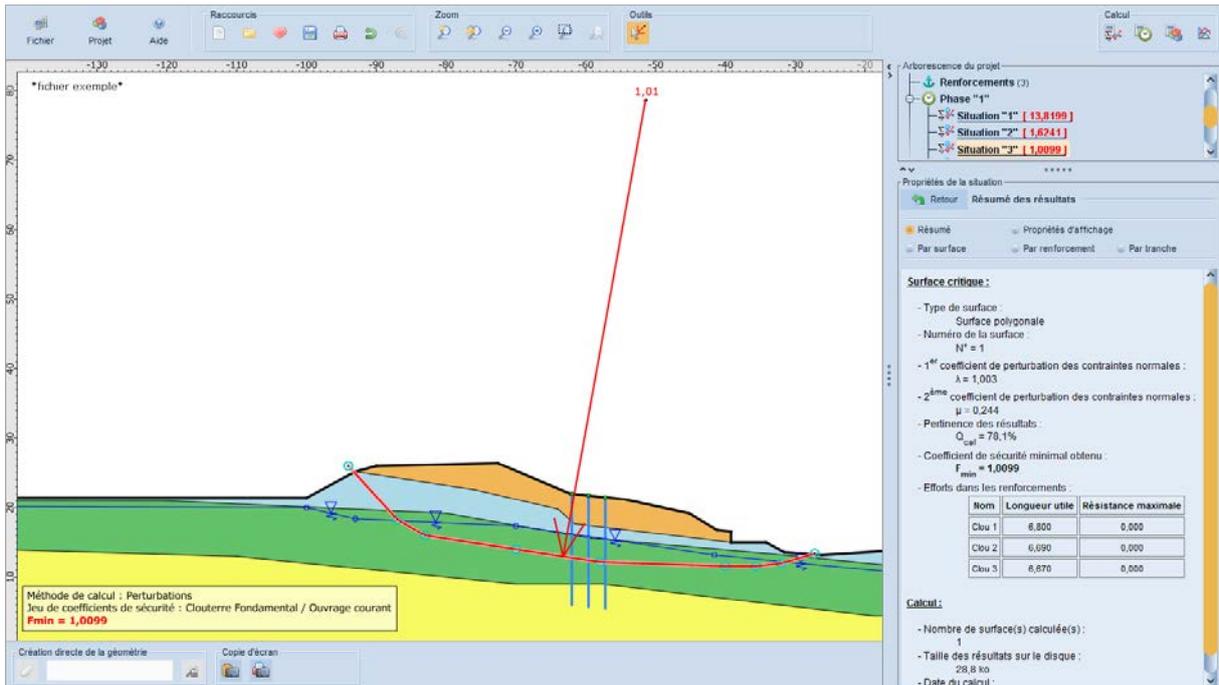
Tableau récapitulatif des couches de sol

Couches de sol (4)																	
	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité s...	Γ_y	Γ_o	$\Gamma_{tan(\varphi)}$	Type de co...	Courbe
1	Couche 1		19,0	25,00	0,0	0,0	0,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		19,0	13,00	0,0	0,0	0,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3		19,0	10,00	0,0	0,0	0,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4		20,0	35,00	20,0	0,0	0,0	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Tableau récapitulatif des renforcements

Clous (3)																									
	Nom	X	Y	Espace...	Inclinais	Largeur b...	Angle...	TR	Long...	Rsc	Rayon...	Règle...	Cisaille...	Moment d...	EI	Angl...	Tracti...	Cisill...	qs clous	β_{sarme}	σ_e	Valeur d...	Rsc calcul...	Cisaillement v...	
1	Clou 1	-82,000	22,000	2,400	90,00	1,000	20,00	0,0	16,000	-	1,000	Tcal...	540,000	-	-	0,000	Externe	-	Abaques	-	-	-	Oui	Oui	Non
2	Clou 2	-59,800	21,750	2,400	90,00	1,000	20,00	0,0	16,000	-	1,000	Tcal...	540,000	-	-	0,000	Externe	-	Abaques	-	-	-	Oui	Oui	Non
3	Clou 3	-57,200	21,500	2,400	90,00	1,000	20,00	0,0	16,000	-	1,000	Tcal...	540,000	-	-	0,000	Externe	-	Abaques	-	-	-	Oui	Oui	Non





D.24 Exemple 18 : stabilisation d'un remblai sur sol mou par micropieux

Nous traitons dans cet exemple la confortation d'un remblai sur un sol très compressible par la mise en place de 5 files de micropieux, assimilés dans Talren à des clous travaillant en compression et cisaillement.

Les caractéristiques intrinsèques des sols ont été préalablement calées sur la rupture.

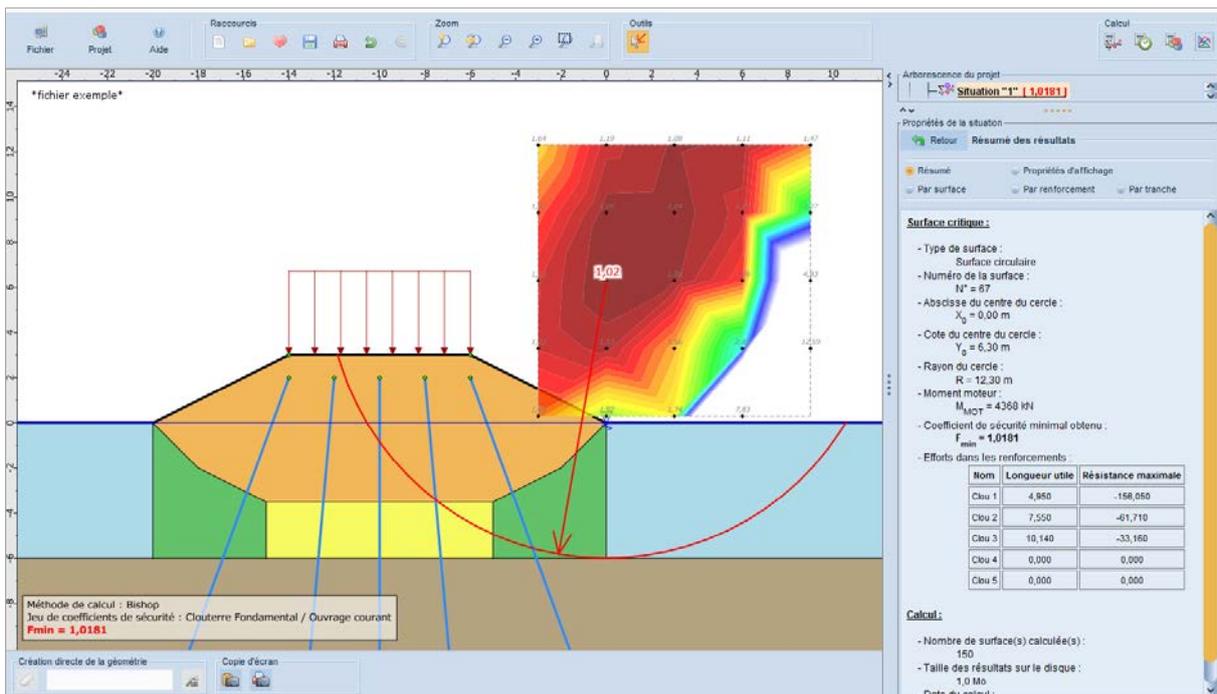
Le but a été d'obtenir une sécurité accrue de 30 % par rapport à l'état d'origine sans renforcement.

Poids volumique =
action favorable pour la couche n°2

Tableau récapitulatif des couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KeB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité sp...	Γ_γ	Γ_c	$\Gamma_{\tan(\varphi)}$	Type de coh...	Courbe
1	Couche 1		18,0	30,00	0,0	0,0	40,0	400,0	8800,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		16,0	0,00	6,0	0,0	-	-	-	Non	Oui	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3		16,5	10,00	12,0	0,0	20,0	80,0	200,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4		17,0	10,00	20,0	0,0	20,0	140,0	240,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
5	Couche 5		20,0	35,00	0,0	0,0	80,0	800,0	17000,0	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Nom	Long. (m)	Esp./horiz. (m)	Incl./horiz. (°)	Rayon équiv. Scellement (m)	Règle de calcul	Rcis (kN)	TR (kN)	Mmax (kN.m)	EI (kN.m ²)
Clou 1	13.0	3.0	110.0	0.166	Tcal, Ccal	-1110	-2220	183	7644
Clou 2	13.0	3.0	95.0	0.083	Tcal, Ccal	-1110	-2220	183	7644
Clou 3	13.0	3.0	90.0	0.083	Tcal, Ccal	-1110	-2220	183	7644
Clou 4	13.0	3.0	85.0	0.083	Tcal, Ccal	-1110	-2220	183	7644
Clou 5	13.0	3.0	70.0	0.166	Tcal, Ccal	-1110	-2220	183	7644

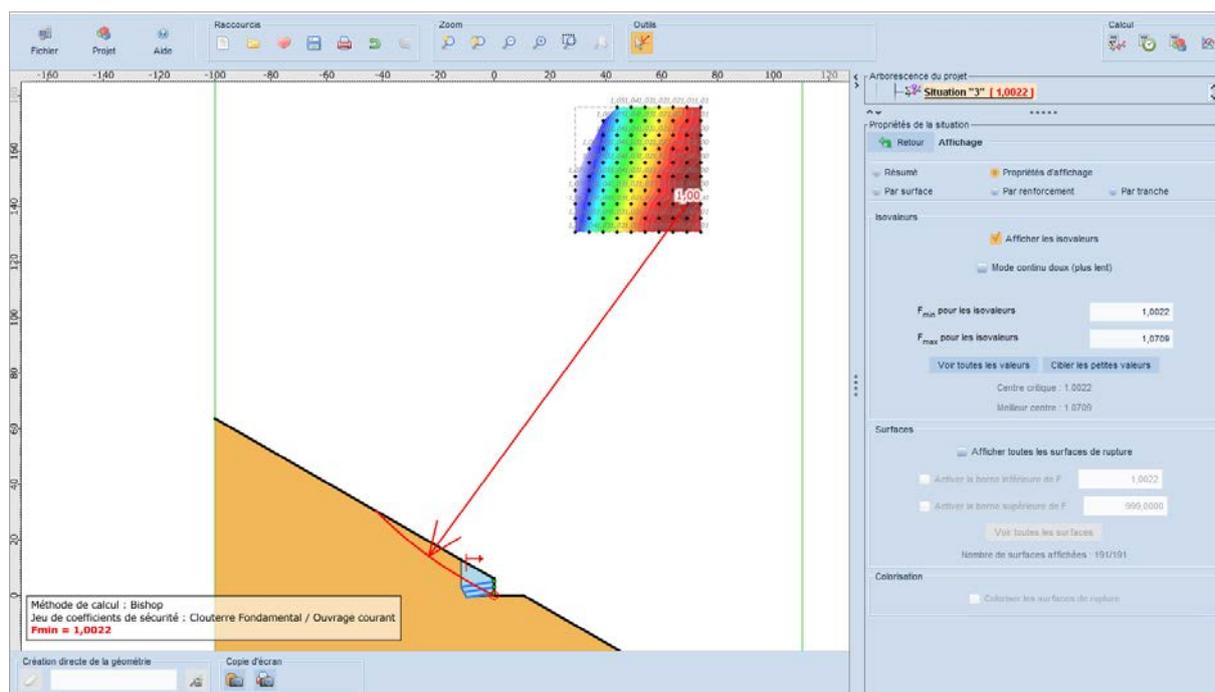


D.25 Exemple 19 : soutènement sur pente

Cet exemple présente le cas d'un soutènement sur versant dont l'angle de la pente est proche de l'angle de frottement interne du sol. Dans ces conditions et pour les grandes surfaces de glissement, il n'est généralement pas possible d'améliorer la stabilité pour atteindre les sécurités usuellement retenues, par la seule présence d'un ouvrage renforcé.

L'approche traditionnelle consiste à rechercher les sécurités au glissement conventionnellement retenues en limitant l'émergence amont et aval des surfaces de rupture à 3H (H = hauteur maxi entre celle de l'ouvrage et celle du terrassement au droit de l'ouvrage).

Une seconde approche est possible avec la différenciation des coefficients de sécurité et ceci notamment au niveau des caractéristiques des sols (méthode ELU). Elle consiste à appliquer les coefficients de sécurité usuels à l'intérieur de la zone renforcée, et ceux, corrigés du coefficient de méthode Γ_{s3} , caractérisant l'état de stabilité naturelle de la pente avant travaux dans l'environnement de l'ouvrage. Cette méthode revient à dimensionner l'ouvrage en s'assurant que la stabilité en grand glissement n'est pas affectée par ce dernier. La pente présente un angle de 30° par rapport à l'horizontale, soit pour un angle de frottement de 35°, une sécurité à l'état naturel de 1,213. Nous avons par conséquent retenu, pour le sol environnant l'ouvrage, une valeur de Γ_{ϕ} égale à $1,21/\Gamma_{s3}$ soit 1,078.

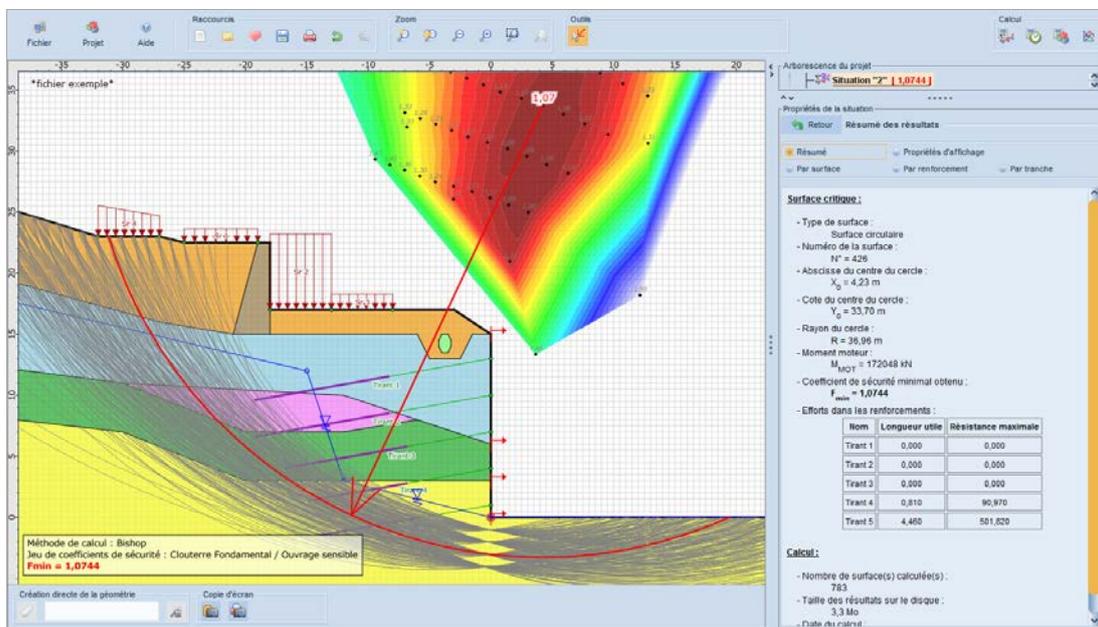


D.26 Exemple 20 : ouvrage tiranté

Cet exemple présente la possibilité de la prise en compte de la résistance de scellement des tirants avec un effort d'arrachement déterminé automatiquement par Talren au prorata de la longueur scellée.

Tableau récapitulatif des couches de sol

Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité s...	Γ_v	Γ_c	$\Gamma_{\tan(\varphi)}$	Type de coh...	Courbe
1	Couche 1	19,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2	19,0	35,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3	19,0	35,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
4	Couche 4	19,0	36,00	30,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
5	Couche 5	20,0	40,00	200,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
6	Couche 6	17,0	30,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
7	Couche 7	0,0	0,00	0,1	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire



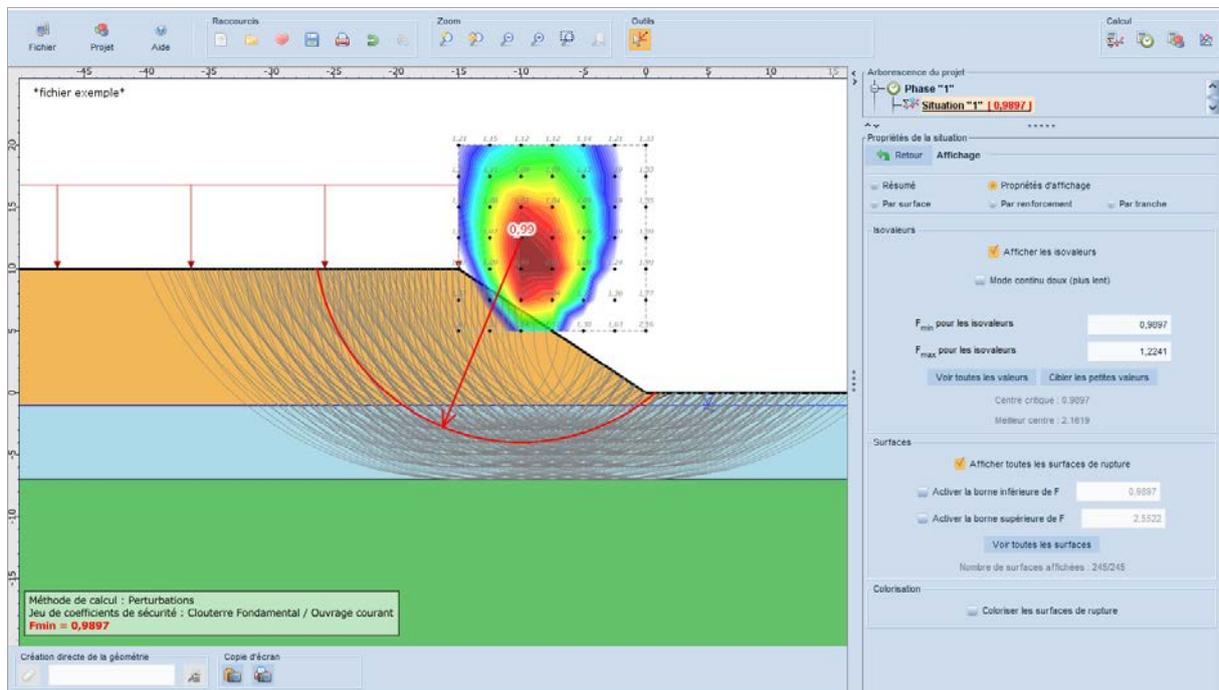
D.27 Exemple 21 : remblai sur sol de cohésion variable avec la profondeur

Le cas présenté est un remblai sur un sol dont la cohésion varie avec la profondeur (sol 2).

Tableau récapitulatif des couches de sol

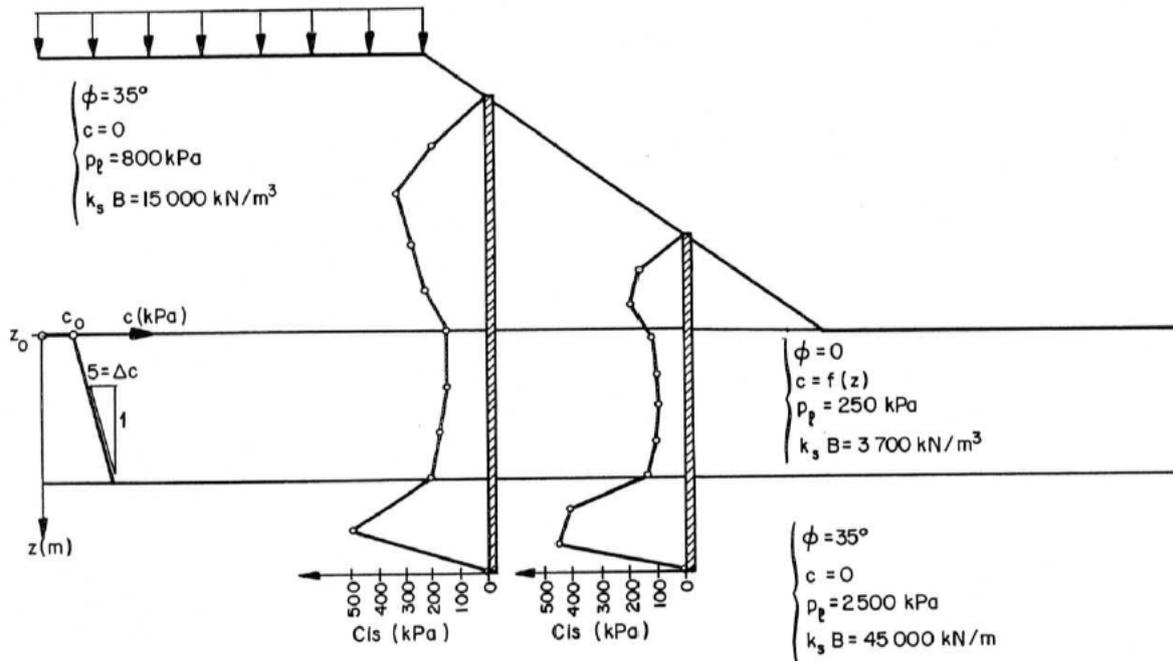
Couches de sol (3)																	
	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotro...	Favorable	Coefficients de sécurité ...	Γ_y	Γ_c	$\Gamma_{\tan(\varphi)}$	Type de co...	Courbe
1	Couche 1		19,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
2	Couche 2		18,0	0,00	60,0	5,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire
3	Couche 3		20,0	35,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non	-	-	-	Effective	Linéaire

Copier Exporter Fermer



D.28 Exemple 22 : stabilisation par pieux avec cisaillement variable

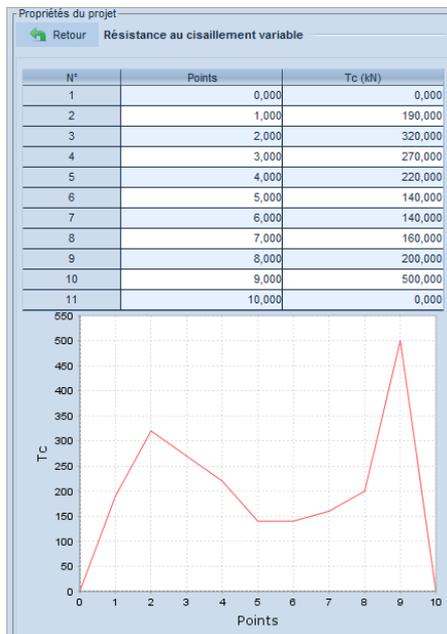
Les valeurs de cisaillement ont été déterminées à l'aide du logiciel **Foxta (Piecoef+)**, en imposant un champ de déformation sur la hauteur égale à celle de l'inclusion au-dessus de la surface de rupture. Pour chaque niveau de calcul, Foxta permet de déterminer l'effort de cisaillement réellement mobilisable dans l'inclusion fichée dans un multicouche.



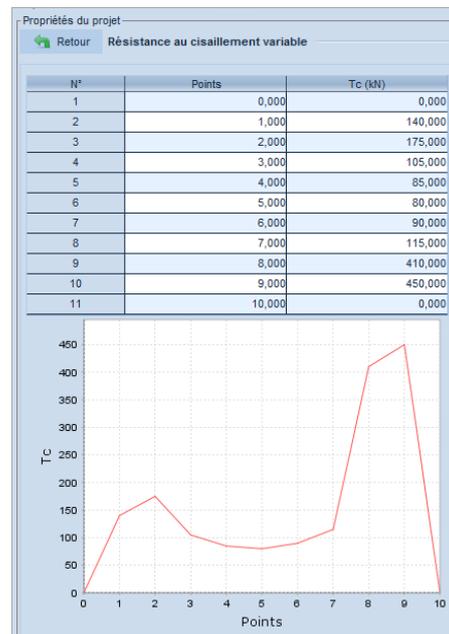
Profilés: HEB 300 sur 2 files ($T_e = 240$ MPa). Entraxe=2m

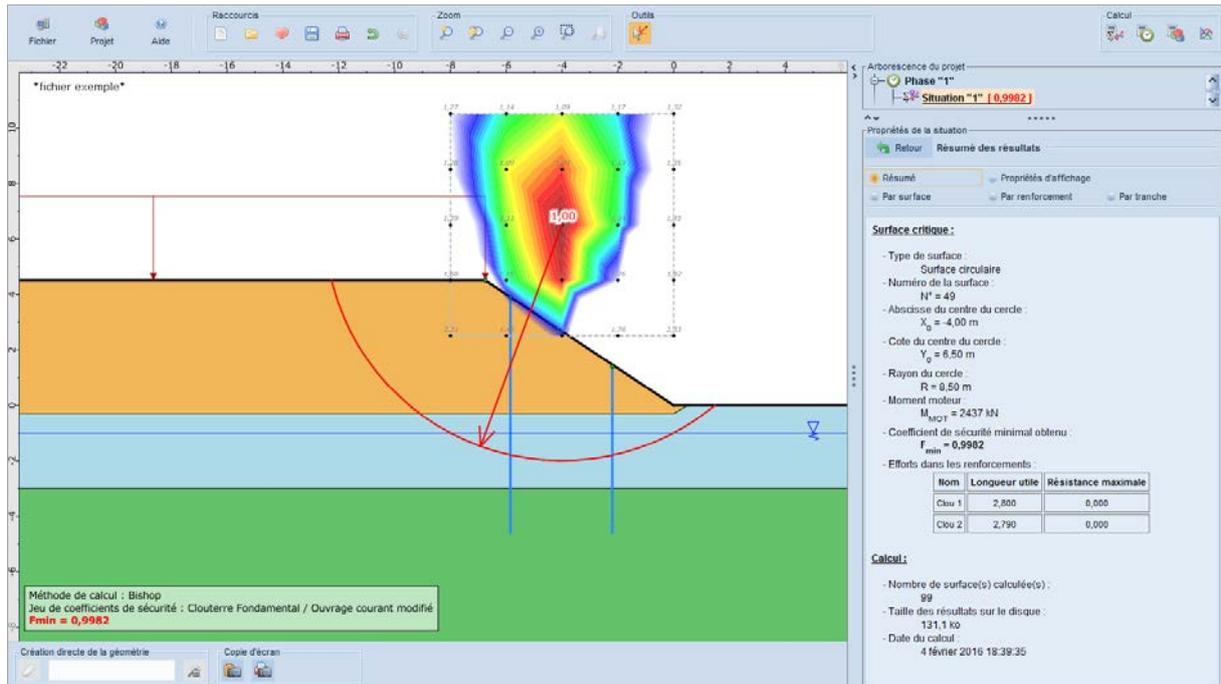
$B = 300$ mm
 $EI = 52\,850$ kN.m²
 $M_{plast.} = 400$ kN.m

Cisaillement clou n°1



Cisaillement clou n°2





D.29 Exemple 23 : coefficient ru

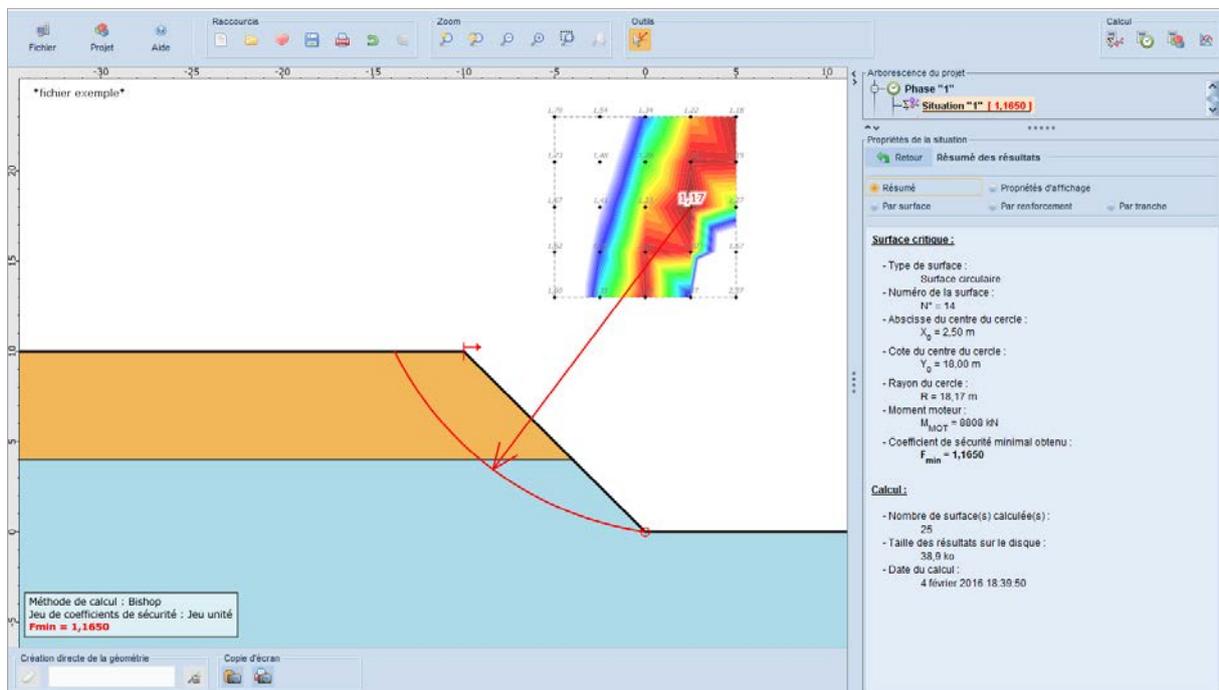
Cet exemple illustre la prise en compte du coefficient r_u pour définir la pression d'eau à tout point appartenant à une couche de sol en fonction de la contrainte verticale : $u = r_u \cdot \gamma \cdot h$.

Propriétés de la phase

Retour ru par couche

Remise à zéro de tous les coefficients ru

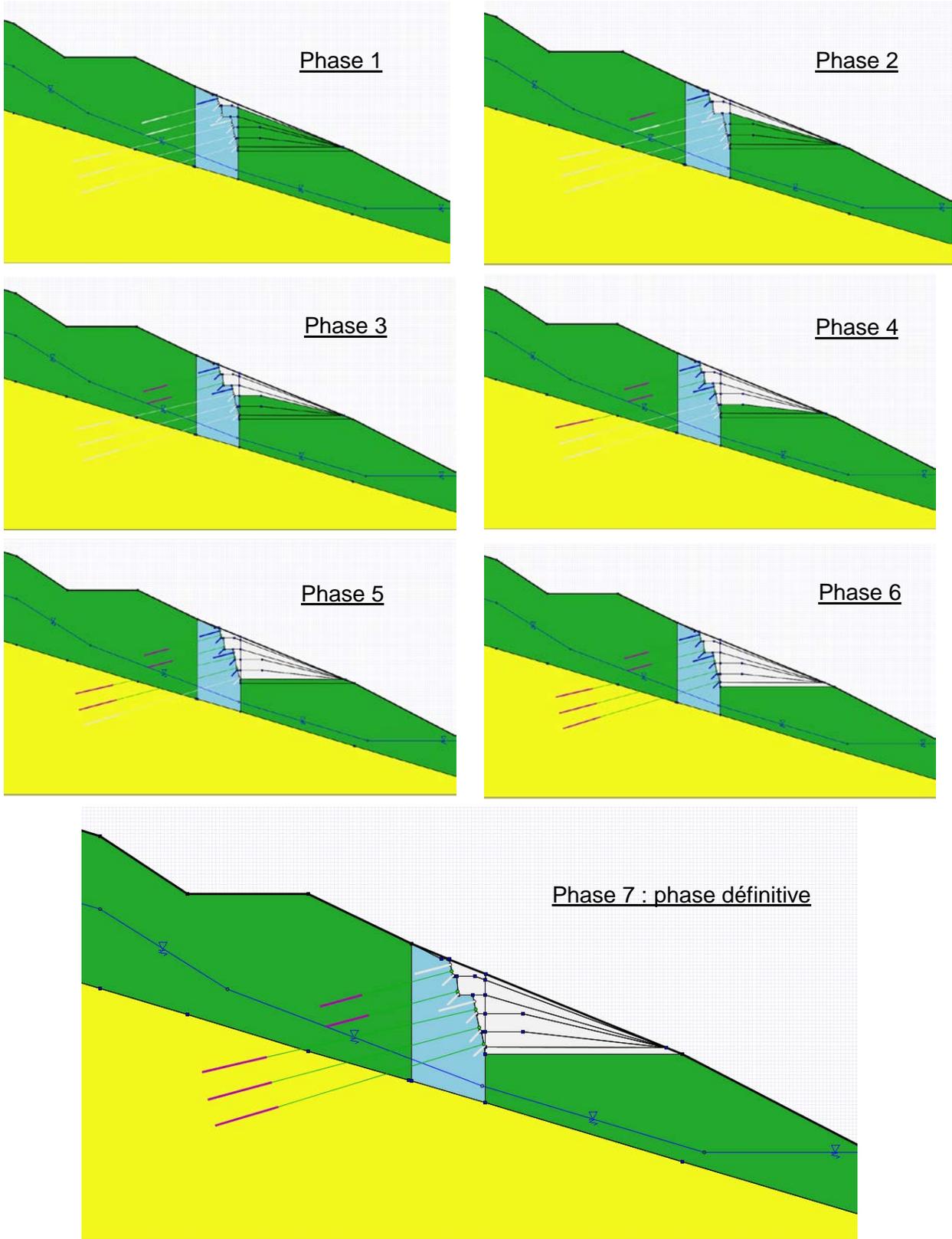
Nom de la couche	ru
Couche 1	0,50
Couche 2	0,50



D.30 Exemple 24 : construction d'un mur d'autoroute

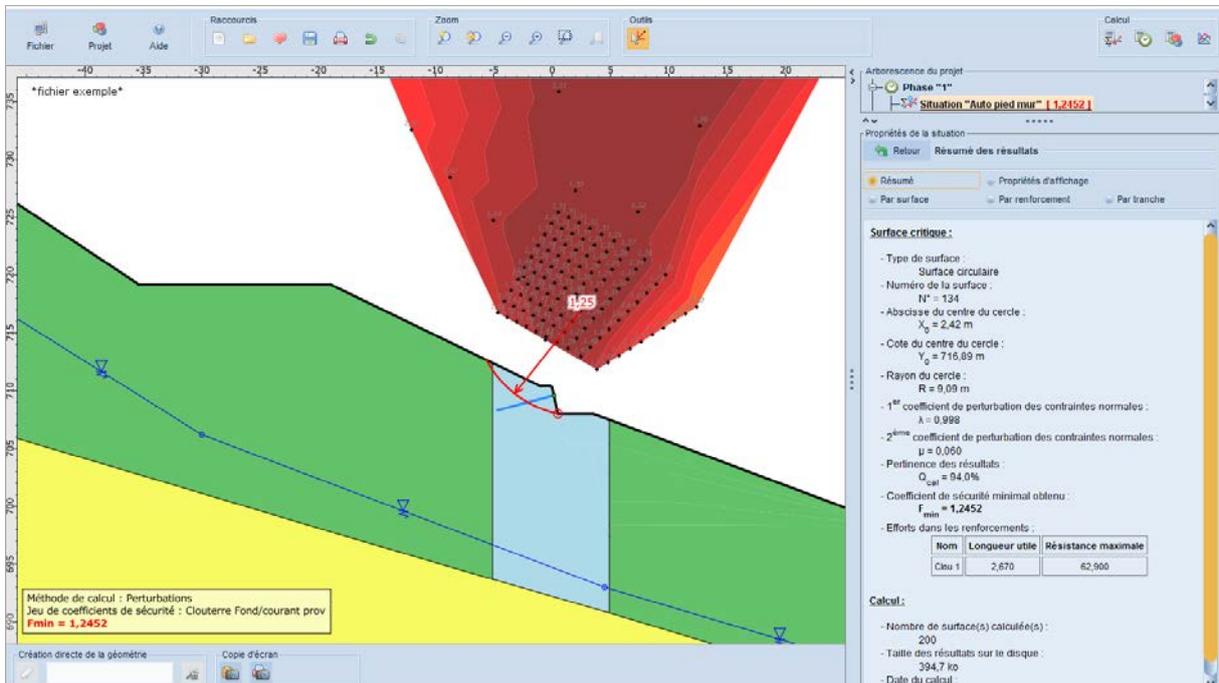
Cet exemple illustre un calcul phasé : 6 phases provisoires + 1 phase définitive.

D'autre part, plusieurs types de surface de rupture ont été étudiés pour chaque phase.

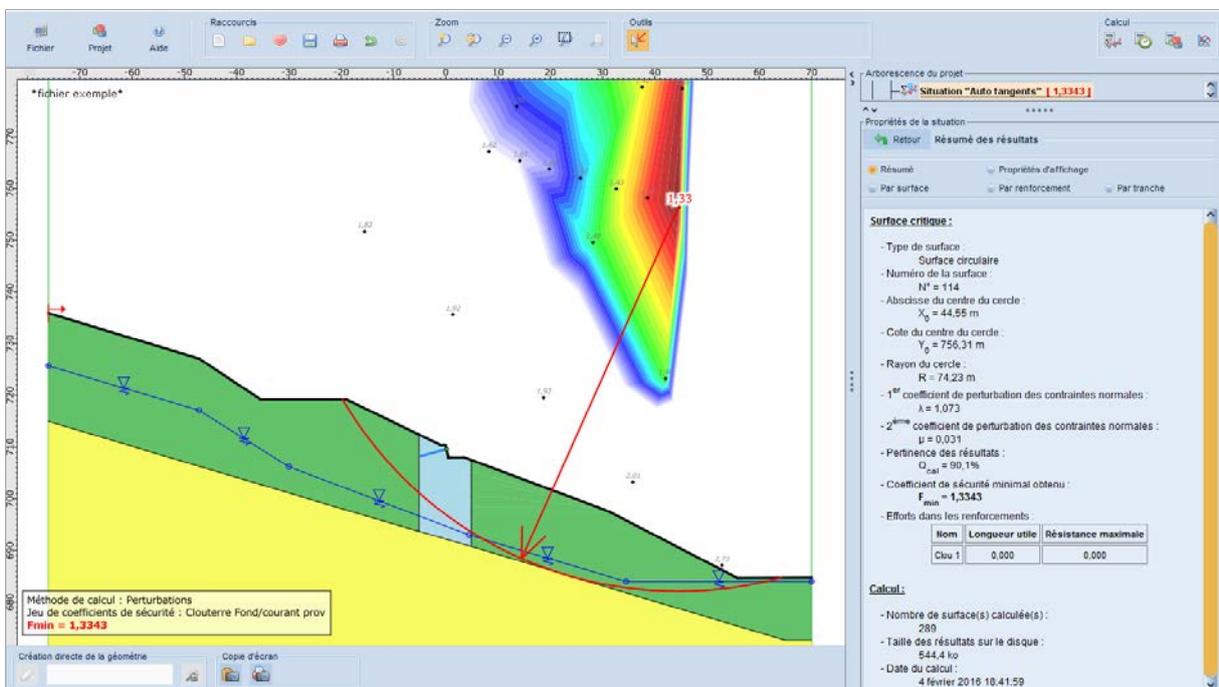


Voici quelques exemples de résultats obtenus :

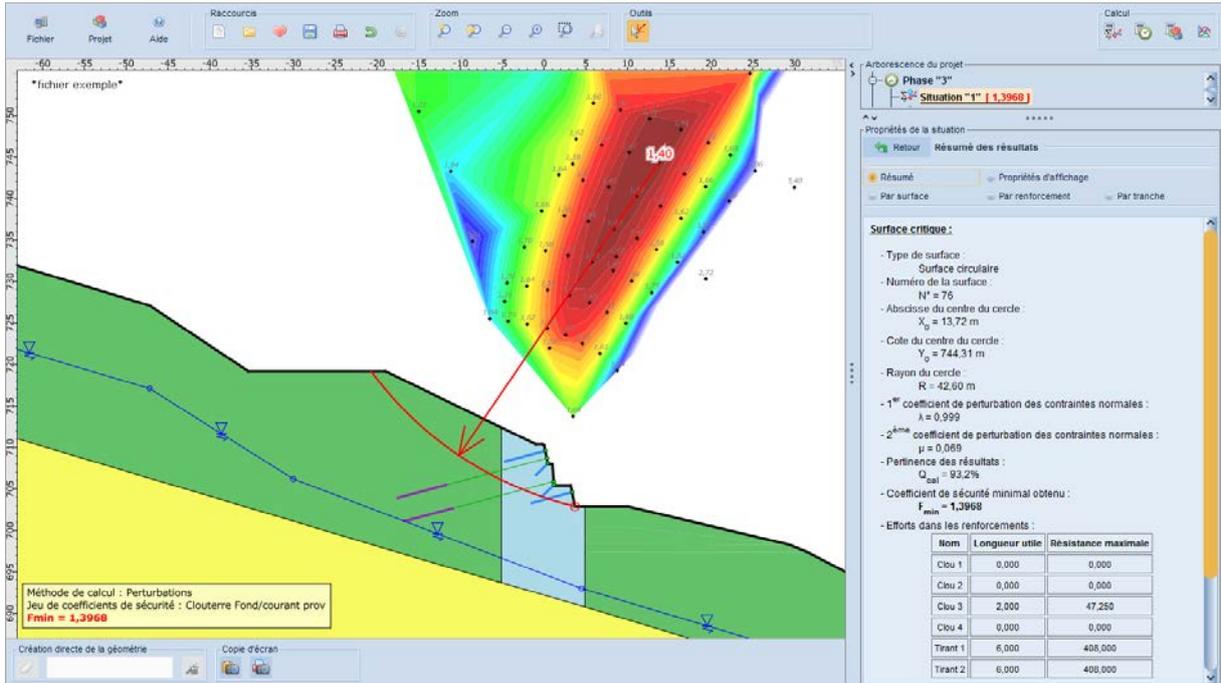
- Phase 1 / Situation 1 : recherche automatique, point de passage en pied de mur



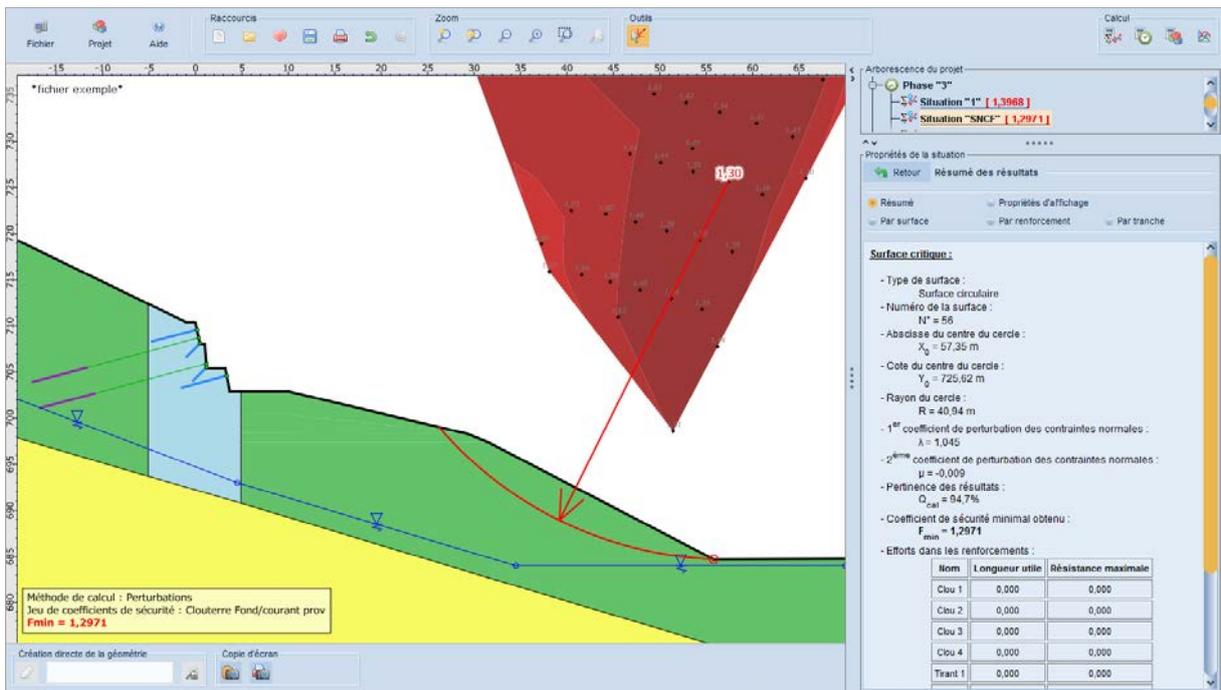
- Phase 1 / Situation 2 : recherche automatique, cercles tangents à la couche 3



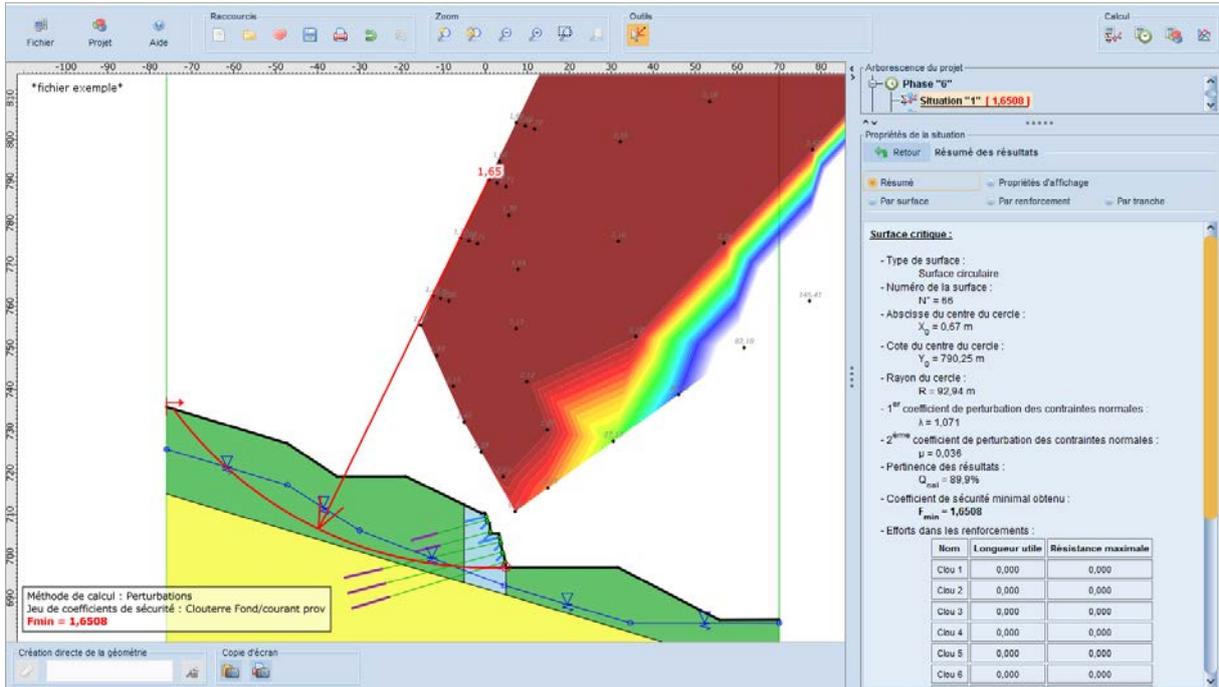
- Phase 3 / Situation 1 : recherche automatique, point de passage en pied de mur



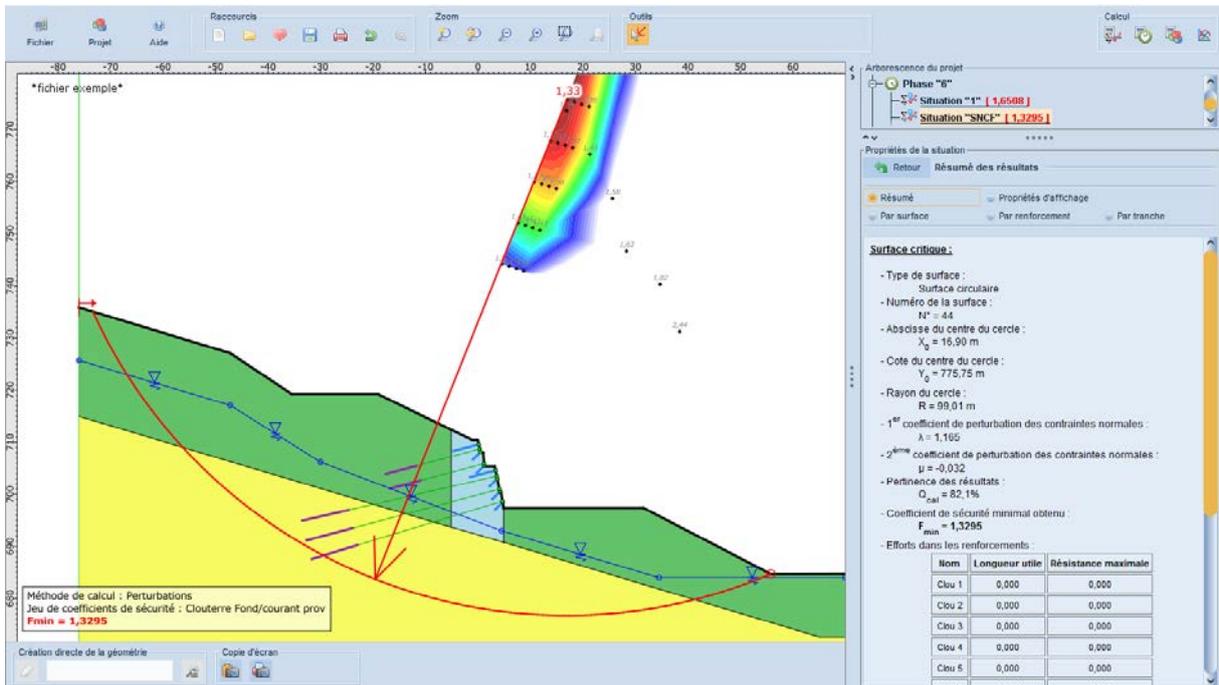
- Phase 3 / Situation 2 : recherche automatique, point de passage en pied de talus SNCF



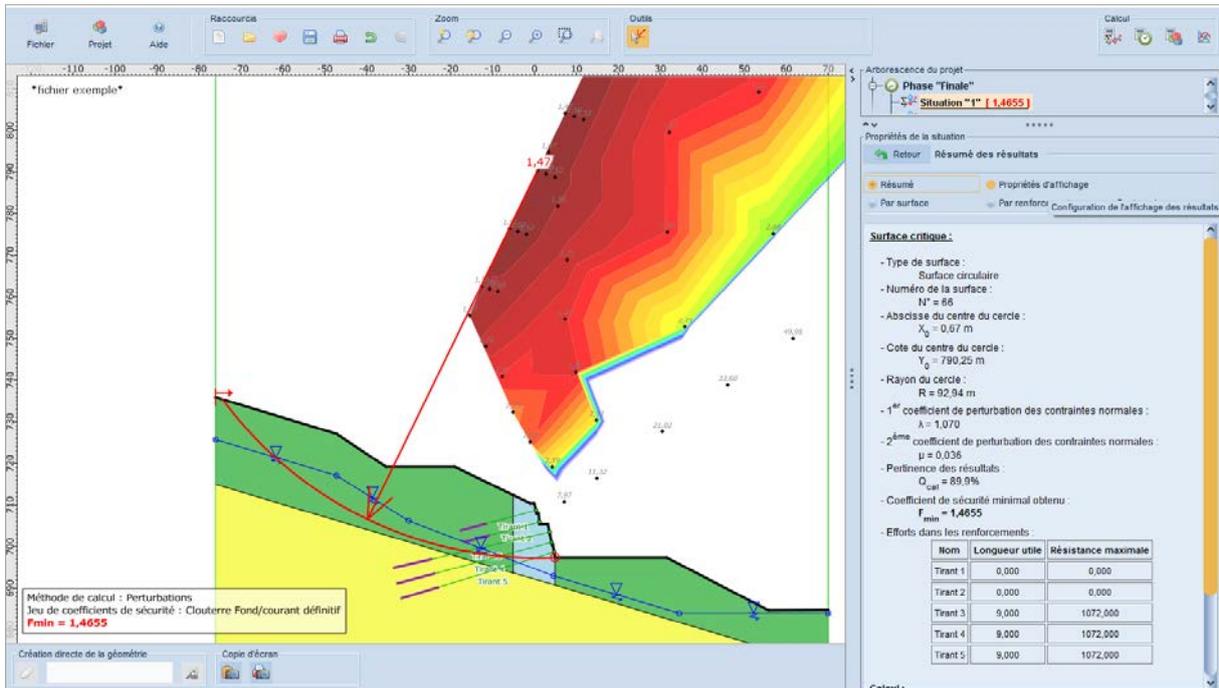
- Phase 6 / Situation 1 : recherche automatique, point de passage en pied de mur



- Phase 6 / Situation 2 : recherche automatique, point de passage en pied de talus SNCF



- Phase 7 (définitive) / Situation 1 : recherche automatique, point de passage en pied de mur



- Phase 7 (définitive) / Situation 2 : recherche automatique, point de passage en pied de talus SNCF

