

## TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

5, rue du 19 mars 1962 - 92622 Gennevilliers CEDEX - FRANCE  
tél. +33 1 41 85 03 69 - fax +33 1 41 85 03 74  
engineering-fr@tractebel.engie.com  
tractebel-engie.fr

## "ANALYSE DE STABILITE"



Intertek

Nos réf. : P.005961.NT11  
Entité : GEOS  
Imputation : P.005961.0003

**CONFIDENTIEL**

Client : «ORANO»  
Projet : **Evaluation de la sûreté à long terme des ouvrages de rétention de stockage de résidus de traitement de minerais uranifères – Ouvrage de Montmassacrot**  
Objet : **Analyse de stabilité**  
Commentaires :

|             |                 |  |              |                      |                     |                    |
|-------------|-----------------|--|--------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| 4           | 05/03/2021      | Prise en compte des observations d'ORANO   | Final        | C.RENAT/<br>L.ETTORI | P.MASSAAD           | G.BARSSE           |
| 3           | 22/01/2021      | Prise en compte des observations d'ORANO   | Final        | C.RENAT/<br>L.ETTORI | P.MASSAAD           | G.BARSSE           |
| 2           | 11/09/2020      | Prise en compte des résultats des investigations complémentaires et des observations d'ORANO | Final        | C.RENAT/<br>L.ETTORI | P.MASSAAD           | G.BARSSE           |
| 1           | 22/07/2019      | Création du document   | Draft        | C.RENAT              | P.MASSAAD           | G.BARSSE           |
| <b>REV.</b> | <b>JJ/MM/AA</b> | <b>OBJET DE LA REVISION</b>  | <b>STAT.</b> | <b>REDACTION</b>     | <b>VERIFICATION</b> | <b>APPROBATION</b> |



"ORANO - EVALUATION DE LA SURETE A LONG TERME DES DIGUES DE STERILES"  
**"Ouvrage de Montmassacrot - Analyse de stabilité"**

## TABLE DES MATIERES

|  |    |
|--|----|
| 1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....                  | 6  |
| 2. REFERENCES.....                           | 7  |
| 3. PRESENTATION DE L'OUVRAGE .....           | 8  |
| 4. CAMPAGNES DE RECONNAISSANCE .....         | 9  |
| 4.1. Données disponibles .....               | 9  |
| 4.2. Stratigraphie .....                     | 10 |
| 4.3. Synthèse géotechnique .....             | 10 |
| 4.3.1. Essais in-situ.....                   | 10 |
| 4.3.2. Essais en laboratoire .....           | 12 |
| 4.3.3. Caractéristiques mécaniques .....     | 12 |
| 5. ANALYSE DE STABILITE – METHODOLOGIE ..... | 15 |
| 5.1. Général .....                           | 15 |
| 5.2. Logiciel utilisé.....                   | 16 |
| 5.3. Hypothèses de glissement .....          | 17 |
| 6. HYPOTHESES DE CALCULS .....               | 18 |
| 6.1. Coupes de calculs .....                 | 18 |
| 6.2. Paramètres géotechniques .....          | 18 |
| 6.3. Niveaux piézométriques .....            | 18 |
| 6.4. Sollicitations sismiques.....           | 19 |
| 6.5. Surcharges.....                         | 20 |
| 6.6. Cas de charges .....                    | 20 |
| 6.7. Facteurs partiels.....                  | 21 |
| 7. RESULTATS DE L'ANALYSE DE STABILITE ..... | 22 |

|  |     |
|--|-----|
| 8. ETUDE DE SENSIBILITE A LA LIQUEFACTION.....   | 23  |
| 8.1. Méthodologie .....  | 23  |
| 8.1.1. Prescription de l'Eurocode 8.....   | 23  |
| 8.1.2. Sensibilité des sols à la liquéfaction – Critère granulométrique.....                           | 24  |
| 8.2. Analyse vis-à-vis du critère granulométrique .....  | 24  |
| 8.3. Facteur de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction .....  | 25  |
| 8.3.1. Séisme de période de retour 1 000 ans .....   | 25  |
| 8.3.2. Séisme de période de retour 30 000 ans (Sollicitation sismique renforcée) .                     | 25  |
| 9. CONCLUSION .....  | 26  |
| 10. ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES .....  | 28  |
| 11. ANNEXE 2 : LOCALISATION DES COUPES DE CALCUL .....   | 29  |
| 12. ANNEXE 3 : CERCLES DE RUPTURE TALREN 5.....  | 30  |
| 12.1. Profil 1 .....   | 30  |
| 12.2. Profil 2 .....   | 68  |
| 13. ANNEXE 4 : LIQUEFACTION.....   | 106 |
| 13.1. Susceptibilité des sols à la liquéfaction – Critères granulométriques .....                      | 106 |
| 13.2. Sensibilité des sols à la liquéfaction – Vérification de liquéfaction par la méthode NCEER ..... | 107 |



## TABLE DES ILLUSTRATIONS

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Synthèse des résultats des essais pressiométriques - Remblais .....    | 11 |
| Figure 2 : Diagramme de Mohr – Essais de cisaillement à la boîte - Remblais ..... | 14 |
| Figure 3 : Découpage en tranches d'un talus .....                                 | 15 |
| Figure 4 : Forces agissant sur une tranche .....                                  | 15 |
| Figure 5 : Modèle TALREN de l'ouvrage de Montmassacrot – Coupe 1 .....            | 16 |
| Figure 6 : Typologie de surface de glissement .....                               | 17 |

## TABLE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Site de Montmassacrot - Investigations géotechniques réalisées.....                              | 9  |
| Tableau 2 : Montmassacrot – Interprétation stratigraphique .....   | 10 |
| Tableau 3 : Synthèse des essais pressiométriques - Remblais .....  | 10 |
| Tableau 4 : Résultats des essais SPT .....   | 11 |
| Tableau 5 : Remblais - Résultats des essais d'identification.....  | 12 |
| Tableau 6 : Arènes granitiques - Résultats des essais d'identification.....                                  | 12 |
| Tableau 7 : Paramètres issus des données d'archives .....  | 13 |
| Tableau 8 : Paramètres mécaniques – Corps de remblais.....   | 14 |
| Tableau 9 : Caractéristiques mécaniques des formations.....  | 18 |
| Tableau 10 : Accélération « au rocher » pour un séisme de référence de période de retour 475 ans (EC8) ..... | 19 |
| Tableau 11 : Montmassacrot – Accélérations horizontales et coefficient sismiques .....                       | 20 |
| Tableau 12 : Coefficients partiels et de modèle.....   | 21 |
| Tableau 13 : Résultats - Montmassacrot .....   | 22 |

# 1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Cette étude s'inscrit dans le cadre du Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs n°3 et 4 (PNGMDR 3 et 4) 2013-2015 et 2016-2018. Les demandes portent sur les points rappelés ci-après :

- Engager de manière prioritaire la constitution d'un dossier géotechnique complet pour chaque ouvrage de stockage de résidus de traitement minier ;
- Poursuivre la démarche d'évaluation de la sûreté de ces ouvrages par une étude de sensibilité de leur stabilité sous séisme en fonction de la période de retour visée et du niveau d'aléa sismique associé ;
- Etablir sur base du constat posé sur la stabilité de ces ouvrages des propositions de mesures de confortement jugées nécessaires à mettre œuvre pour garantir le niveau de sûreté requis pour chaque digue.

Ces prescriptions ont été reprises dans l'article 69 de l'arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret 2017 – 231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs :

« Article 69 :

Areva remet aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement, pour le 31 décembre 2013, un plan d'action en vue de constituer les dossiers géotechniques associés à chaque digue puis évaluer leur stabilité et déterminer l'éventuelle nécessité de les renforcer, notamment au regard de leur vulnérabilité vis-à-vis des aléas naturels et de leur potentiel cumul. Ce plan comprend notamment le calendrier envisagé ainsi que la liste des sites jugés aujourd'hui prioritaires. L'ASN est saisie pour avis sur ce plan d'action. »

La sélection des sites prioritaires a été réalisée de manière à identifier les sites représentatifs et/ou prioritaires dans une démarche d'évaluation de la sûreté des ouvrages. Ainsi, suite à l'analyse multicritère réalisée dans le rapport P.005961.NT01, **le site de Montmassacrot** a été retenu. Cet ouvrage, de type « digue de stérile minier » est jugé représentatif de ce type d'ouvrage. Il présente par ailleurs des pentes de talus importantes.

## 2. REFERENCES

- [1] Rapport 11901 RP03 – Expertise de la stabilité de la digue de Montmassacrot – Révision A, Coyne et Bellier, Mars 2006.
- [2] Rapport AN 13 0016-2-3 – Investigations géotechniques – Site de Montmassacrot – Indice A, Althéa Géo, Avril 2015.
- [3] Rapport 2018/06461/LIMOG – Diagnostic géotechnique (G5) – Indice 0 , GEOTEC, Décembre 2018.
- [4] Cassan M., Les essais in-situ en mécanique des sols – Tome 1. Réalisation et Interprétation, Edition Eyrolles, 1978.
- [5] Bowles J., Foundation Analysis and Design – 5<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill International Editions, 1997.

### 3. PRESENTATION DE L'OUVRAGE

Le site de Montmassacrot est situé dans le département de la Haute-Vienne, à environ 3 km au sud-est de Bessines-sur-Gartempe, sur un point topographique culminant.

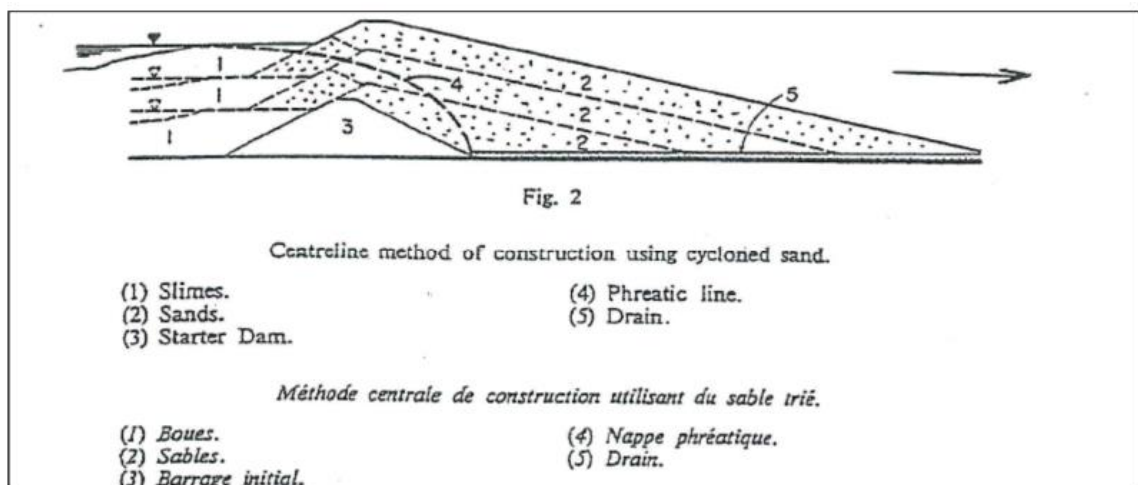
Il a été exploité à Ciel ouvert (MCO) entre 1976 et 1978 puis en souterrain de 1973 à 1981.

Les résidus issus du traitement des minerais uranifères de l'usine de Bessines ont été stockés sur le site de Montmassacrot à la suite du remplissage des sites du Brugeaud et de Lavaugrasse entre 1987 et 1990.

Entre 1987 et 1989, afin d'augmenter la capacité de stockage de la MCO de Montmassacrot, un ouvrage a été construit par la méthode verticale dans la partie sud-ouest de la MCO.

L'ouvrage de Montmassacrot a été construit avec la fraction sableuse des résidus de traitement tandis que les boues (ou surverse) ont été renvoyées vers l'intérieur du bassin.

Il a été édifié selon la méthode dite « verticale », c'est-à-dire en déversant les sables depuis le sommet de l'ouvrage. Le talus aval s'étend ainsi vers l'extérieur tandis que le talus amont repose en partie sur des résidus décantés :



L'ouvrage de Montmassacrot repose directement sur le substratum constitué par du granite à deux micas de Saint Sylvestre (rocher décapé des arènes granitiques le surmontant).

Il présente un linéaire en crête d'environ 200 m et une hauteur maximale de 20 m. La pente aval est d'environ 24° sur les 2/3 inférieurs où elle a été remodelée et de 37° en partie supérieure. Une risberme de 3 m de largeur a été aménagée sur le parement aval au niveau de la rupture de pente.

Le bassin de stockage, d'une superficie de 2.2 ha, contient 0,7 millions de tonnes de résidus. Il a été rechargé en moyenne par 2 à 6 m de stériles granitiques déposés en forme de dôme dans le cadre des travaux de réaménagement du site.

## 4. CAMPAGNES DE RECONNAISSANCE

### 4.1. Données disponibles

Trois campagnes de reconnaissance ont été réalisées au niveau du site de Montmassacrot et sont rappelées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Site de Montmassacrot - Investigations géotechniques réalisées

| Campagnes de reconnaissance | Type de sondage | Nom du sondage | Profondeur | Essais in situ             | Essais en laboratoire |
|-----------------------------|-----------------|----------------|------------|----------------------------|-----------------------|
| ALTHEA GEO (2015)           | Destructif      | SD1            | 16.45      | 14 essais pressiométriques | -                     |
|                             | Carotté         | SC1            | 20         | -                          | -                     |
| GEOTEC (2018)               | SPT             | SPT1           | 12.5       | -                          | Identifications (*)   |
|                             |                 | SPT2           | 25.9       | -                          | Identifications (*)   |
| GEOTEC (2020)               | Destructif      | SP1            | 26.7       | 22 essais pressiométriques | -                     |
|                             | Carotté         | SC1            | 23.5       | -                          | Identifications (*)   |

Le plan d'implantation des sondages est consultable en Annexe 1 (cf. §10).

Des essais en laboratoire ont été réalisés au cours des campagnes de 2018 et 2020 sur les échantillons prélevés dans les SPT et les sondages carottés. Ces essais comprennent :

- Des identifications avec :
  - La mesure de teneur en eau naturelle  $w\%$ ,
  - La mesure des masses volumiques sèche et humide  $\gamma_h$  et  $\gamma_d$ ,
  - La détermination de la granulométrie,
  - La détermination des limites d'Atterberg :  $w_L$  et  $w_P$
  - La classe du sol au sens du GTR
- Des essais mécaniques de type essais de cisaillement à la boîte de Casagrande.

## 4.2. Stratigraphie

Les formations rencontrées dans les sondages sont les suivantes :

- Terre végétale limoneuse, jusqu'à 0.30 m de profondeur
- Remblais constitutifs du corps de l'ouvrage : remblais sablo-graveleux à passages argilo-sableux jusqu'à 20.50-23.00 m de profondeur, avec présence de blocs en tête
- Des arènes granitiques sablo-argileuses jusqu'à 25.00-26.70 m de profondeur.

Tableau 2 : Montmassacrot – Interprétation stratigraphique

| Ensemble géomécanique         | 2015                                | 2018  |       | 2020  |       |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                               | SC1                                 | SPT1  | SPT2  | SC1   | SP1   |
|                               | Profondeur des formations (en m/TN) |       |       |       |       |
| Terre végétale                | 0.30                                | 0.25  | 0.30  | 0.20  | -     |
| Remblais – Corps de l'ouvrage | 20.00                               | 20.50 | 19.50 | 22.00 | 23.00 |
| Arènes granitiques            | 25.00                               | 25.00 | 25.95 | 23.50 | 26.70 |

## 4.3. Synthèse géotechnique

### 4.3.1. Essais in-situ

#### 4.3.1.1. ESSAIS PRESSIOMETRIQUES

Deux sondages pressiométriques ont été réalisés lors des différentes campagnes.

Le Tableau 3 présente les résultats des essais pressiométriques dans les remblais.

Tableau 3 : Synthèse des essais pressiométriques - Remblais

|                                    | Corps de remblais |                  |
|------------------------------------|-------------------|------------------|
|                                    | $E_M$ (en MPa)    | $p_L^*$ (en MPa) |
| Nombre de Valeurs                  | 34                | 34               |
| Minimum                            | 1.2               | 0.2              |
| Maximum                            | 47.6              | 4.70             |
| Moyenne Arithmétique               | 11.6              | 1.1              |
| Moyenne Harmonique/géométrique (*) | 5.7               | 0.84             |
| Ecart-type                         | -                 | 1.05             |

(\*) : Moyenne harmonique pour les modules et géométrique pour les pressions limites

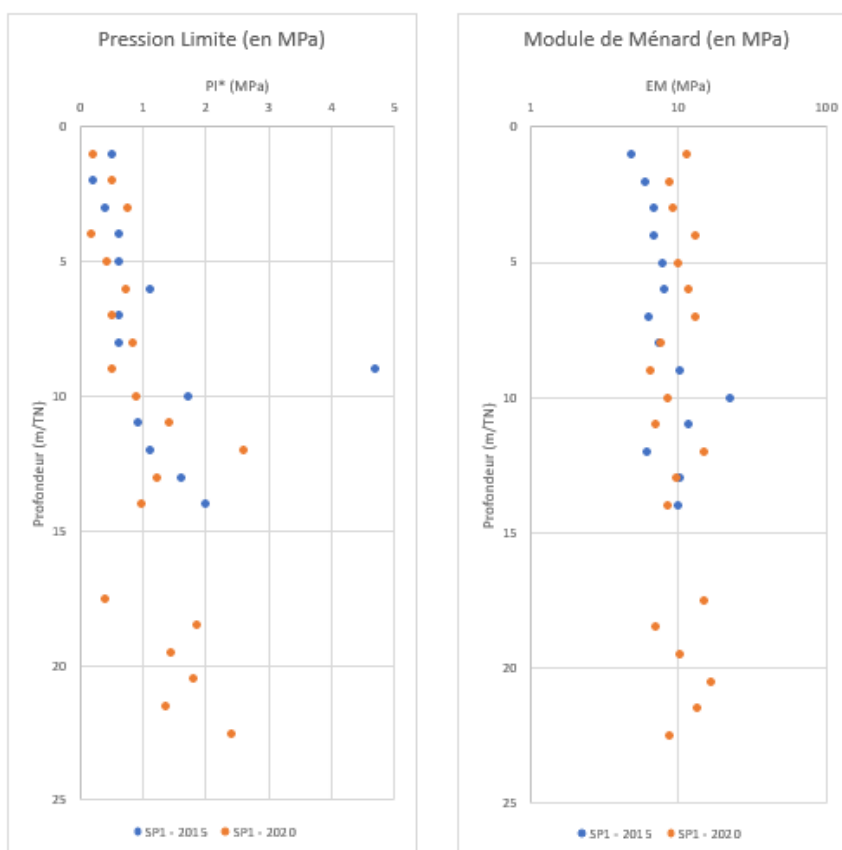


Figure 1 : Synthèse des résultats des essais pressiométriques - Remblais

### 4.3.1.2. ESSAIS SPT

Le Tableau 4 présente les résultats des essais SPT.

Tableau 4 : Résultats des essais SPT

|                             | SPT1 | SPT2 | Global |
|-----------------------------|------|------|--------|
| <b>Nombre de valeurs</b>    | 12   | 11   | 23     |
| <b>Min</b>                  | 13   | 11   | 11     |
| <b>Max</b>                  | 50   | 45*  | 50     |
| <b>Moyenne arithmétique</b> | 28   | 26   | 27     |
| <b>Moyenne harmonique</b>   | 22   | 20   | 21     |
| <b>Ecart-type</b>           | 11   | 14   | 14     |

\* : Pour le SPT2, le premier essai et le dernier essai correspondent aux interfaces avec les matériaux blocailleux de couverture, resp. avec le substratum granitique. Ces deux essais ne sont pas représentatifs des remblais de digues et n'ont pas été intégrés aux calculs de moyenne.

Les essais SPT mettent en évidence le caractère hétérogène des remblais avec une alternance de lentilles de matériaux lâches et compactes.

### 4.3.2. Essais en laboratoire

Le Tableau 5 et le Tableau 6 présentent les résultats des essais identifications.

#### Remblais constitutifs du corps de l'ouvrage

Tableau 5 : Remblais - Résultats des essais d'identification

|                   | Teneur en eau | $\gamma_h$        | $\gamma_d$        | Indice des vides e | Granulométrie - Passants |       |      |            |           | Classe GTR                         |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-------|------|------------|-----------|------------------------------------|
|                   | %             | kN/m <sup>3</sup> | kN/m <sup>3</sup> | -                  | D <sub>max</sub>         | 50 mm | 2 mm | 80 $\mu$ m | 2 $\mu$ m | -                                  |
| Nombre de valeurs | 25            | 11                | 11                | 11                 | 14                       | 14    | 14   | 14         | 5         | B3 (18%),<br>B4 (36%),<br>B5 (45%) |
| Min               | 5.7           | 13.9              | 11.8              | 0.86               | 12                       | 100   | 29.9 | 4.7        | 0.7       |                                    |
| Max               | 23.3          | 16.7              | 14.5              | 1.29               | 45                       | 100   | 78.5 | 30.2       | 2.1       |                                    |
| Moyenne           | 12.4          | 15.6              | 13.8              | 0.96               | -                        | -     | -    | -          | -         |                                    |
| Ecart-type        | 4.79          | 0.88              | 0.81              | 0.13               | -                        | -     | -    | -          | -         |                                    |

#### Arènes granitiques

Tableau 6 : Arènes granitiques - Résultats des essais d'identification

|                   | Teneur en eau | $\gamma_h$        | $\gamma_d$        | Indice des vides e | Granulométrie - Passants |       |      |            |           | Classe GTR |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-------|------|------------|-----------|------------|
|                   | %             | kN/m <sup>3</sup> | kN/m <sup>3</sup> | -                  | D <sub>max</sub>         | 50 mm | 2 mm | 80 $\mu$ m | 2 $\mu$ m | -          |
| Nombre de valeurs | 2             | 2                 | 2                 | 2                  | 2                        | 2     | 2    | 2          | 2         | B5 (100%)  |
| Min               | 13.8          | 12.3              | 10.9              | 1.13               | 6                        | 100   | 80.4 | 24.7       | 3         |            |
| Max               | 16.6          | 14.8              | 12.7              | 1.47               | 6                        | 100   | 81.9 | 27.4       | 4         |            |
| Moyenne           | 15.2          | 13.6              | 11.8              | 1.3                | -                        | -     | -    | -          | -         |            |
| Ecart-type        | 1.98          | 0.18              | 0.13              | 0.17               | -                        | -     | -    | -          | -         |            |

### 4.3.3. Caractéristiques mécaniques

Les paramètres mécaniques des formations rencontrées sont fournis dans des documents d'archives.

La campagne de 2020 a permis de vérifier les caractéristiques mécaniques des remblais du corps de l'ouvrage. En effet, les données historiques apparaissent optimistes.

Il est à noter que les caractéristiques relativement faibles mesurés dans les sondages pressiométriques mais également les travaux d'adoucissement de la pente de la berme inférieure réalisés dans le passé tendent à confirmer le caractère optimiste des données d'archives.



#### 4.3.3.1. DONNEES D'ARCHIVES

Le Tableau 7 présente les caractéristiques mécaniques des formations issues des données d'archives (cf. Réf. [1]).

Tableau 7 : Paramètres issus des données d'archives

|                           | c' (en kPa) | $\varphi'$ (en °) |
|---------------------------|-------------|-------------------|
| <b>Corps de Remblai</b>   | 0           | 38                |
| <b>Résidus</b>            | 5           | 25                |
| <b>Couverture</b>         | 0           | 38                |
| <b>Arènes granitiques</b> | 10          | 30                |

#### 4.3.3.2. PARAMETRES ISSUS DE CORRELATIONS

Compte tenu des faibles caractéristiques mécaniques observées dans les sondages pressiométriques (SP1-2015 et SP1-2020) et dans les sondages SPT1 et SPT2 ainsi que de la nature des matériaux de remblais (sols sablo-argileux), les caractéristiques mécaniques des remblais, constitutifs de l'ouvrage, issues des documents d'archives semblent optimistes.

Les caractéristiques mécaniques des remblais ont donc été réévaluées par corrélation avec les résultats des essais in-situ.

L'expression empirique de Menard (cf. Réf. [4]) :

$$p_l^* = 2,5 \cdot 2^{\frac{\varphi-24}{4}}$$

permet de déterminer la valeur de l'angle de frottement en fonction de la pression limite.

Pour  $p_l^* = 0.84 \text{ MPa}$ , on obtient :  $\varphi' = 31^\circ$ .

Il existe également des corrélations entre le nombre de coupe SPT corrigé  $N_{70}$  et l'angle de frottement (cf. Réf. [5]) :

$$\varphi' = \sqrt{18 \cdot N_{70}} + 15$$

$$\varphi' = 0.36 \cdot N_{70} + 27$$

Pour  $N_{70} = 18$ , on obtient :  $\varphi' = 33^\circ$

**Pour les remblais, les caractéristiques mécaniques obtenues par corrélation sont :**

- **Angle de frottement :  $31^\circ$  à  $33^\circ$**

#### 4.3.3.3. PARAMETRES ISSUS DES ESSAIS MECANIQUES

La synthèse des résultats des essais mécaniques réalisés lors de la campagne de 2020 est présentée ci-après :

Tableau 8 : Paramètres mécaniques – Corps de remblais

| Corps de remblais     | Prof. (m./TN) | c'(en kPa) | $\phi'$ (en °) |
|-----------------------|---------------|------------|----------------|
| Sable limoneux        | 4.5-6         | 3          | 31             |
| Limon argileux        | 8.3 - 8.75    | 11         | 25             |
| Sable argilo-limoneux | 12 - 12.5     | 6          | 36             |
| Limon sablo-argileux  | 16.2 - 16.7   | 5          | 30             |
| Graviers sableux      | 21 - 21.5     | 0          | 44             |

Ces données ont été reportées sur un diagramme de Mohr illustrant la relation entre la contrainte normale et la résistance au cisaillement :

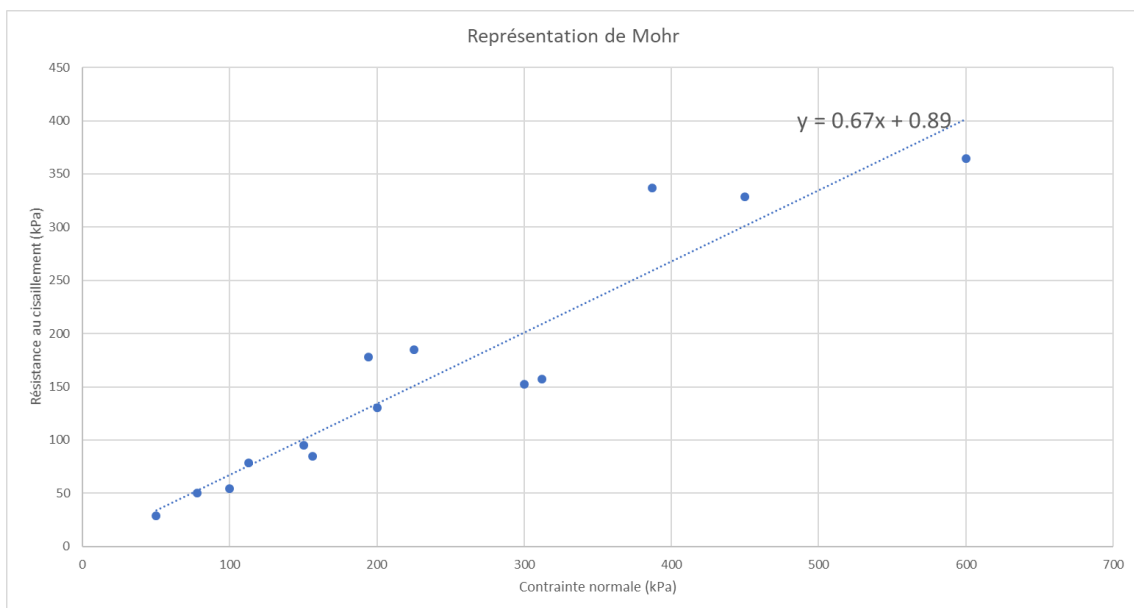


Figure 2 : Diagramme de Mohr – Essais de cisaillement à la boîte - Remblais

L'analyse de l'ensemble des résultats des essais de cisaillement dans le plan de Mohr donne les valeurs moyennes suivantes :

- Angle de frottement : 34°
- Cohésion : 1 kPa

**Compte tenu des résultats des essais in-situ et des essais en laboratoire, les caractéristiques mécaniques retenues, pour les remblais, sont :**

- **Angle de frottement : 33°**
- **Cohésion : 2 kPa**

## 5. ANALYSE DE STABILITE – METHODOLOGIE

### 5.1. Général

L'analyse de stabilité est effectuée en subdivisant le massif en tranches et en regardant son équilibre statique sur une surface de rupture potentielle. Cette méthode dite « méthode des tranches » a plusieurs approches (Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer) qui diffèrent dans l'hypothèse faite sur les forces agissant entre les tranches et les équations d'équilibre à résoudre.

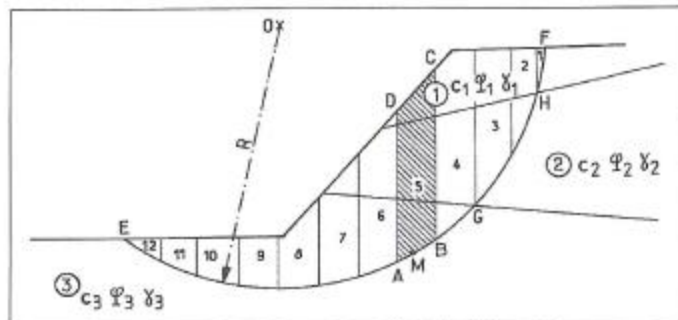


Figure 3 : Découpage en tranches d'un talus

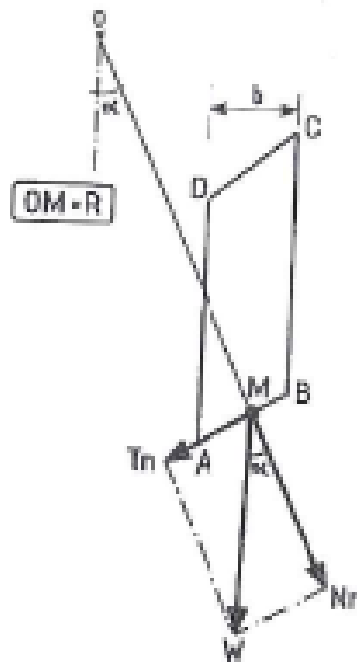


Figure 4 : Forces agissant sur une tranche

La condition d'état-limite s'écrit sous la forme d'une équation dans laquelle sont comparés, d'une part un rapport des forces résistantes (ou de leur moment) sur les forces motrices (ou de leur moment), d'autre part le coefficient de modèle. L'expression mathématique de la condition d'état-limite dépend du modèle d'état-limite adopté ; elle fait intervenir les valeurs caractéristiques des propriétés de résistance et les valeurs représentatives des actions correspondant à la situation de projet examinée. A titre d'exemple pour un sol homogène, la condition d'état-limite peut s'écrire (de façon simplifiée) :

$$F_s = \frac{\sum \text{des moments résistants maximaux}}{\sum \text{des moments moteurs}}$$

Soit

$$F_s = \frac{c.L + \tan \varphi \sum N_n}{\sum T_n}$$

Avec  $c$  la cohésion,  $\varphi$  l'angle de frottement interne du matériau,  $L$  la longueur développée de la surface de rupture,  $N_n$  et  $T_n$ , les efforts normal et tangent à la surface de rupture.

Dans le cas présent la méthode appliquée est dite de Bishop.

Les effets sismiques sont analysés par une approche pseudo-statique.

## 5.2. Logiciel utilisé

Les calculs de stabilité interne des ouvrages sont effectués à l'aide du logiciel TALREN 5 par la méthode de Bishop pour des surfaces de glissements circulaires.

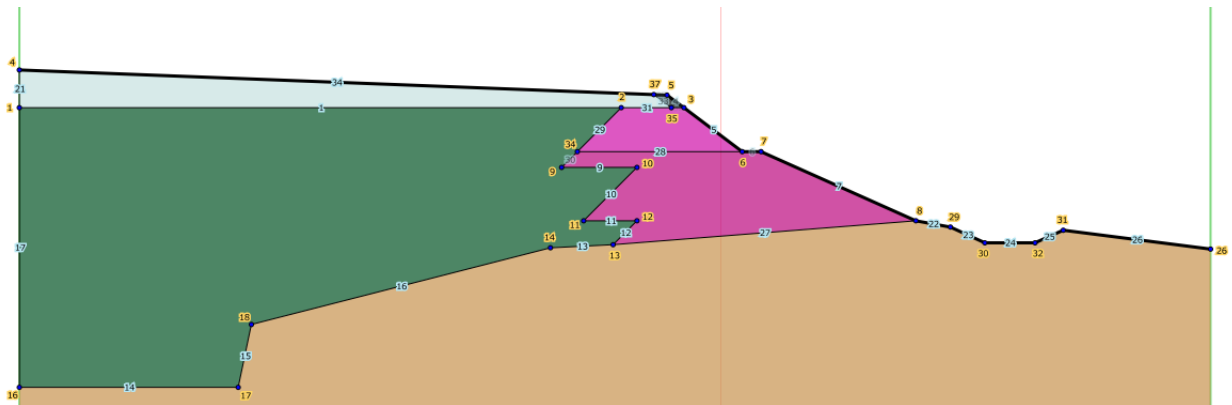


Figure 5 : Modèle TALREN de l'ouvrage de Montmassacrot – Coupe 1

Les facteurs de sécurité vis-à-vis du glissement sont calculés en considérant plusieurs cas de charges détaillées au §6.6.

Les facteurs de sécurité sont définis comme le rapport de la somme des moments résistants maximaux, éventuellement pondérés, sur la somme des moments moteurs avec leurs pondérations.

### 5.3. Hypothèses de glissement

La présente étude comporte l'analyse du facteur de sécurité vis-à-vis du glissement pour les différents types de mécanismes, on étudie principalement les différents cas précisés ci-après :

1. Une surface de rupture **circulaire** se développant à l'intérieur de l'ouvrage; dans cette catégorie on pourrait trouver des cercles de glissement « **de peau** » qui présentent des facteurs de sécurité particulièrement bas. Ces cercles sont peu profonds (moins d'un mètre). Le deuxième type, dit « **local** », correspondra aux cercles de glissement émergeant sous les 2/3 de la hauteur de l'ouvrage.
2. Une surface de rupture **composite** dont une des composantes est la couche mince se trouvant à la base de l'ouvrage. Cette hypothèse a été retenue compte tenu de la présence d'une couche mince à faible résistance sur laquelle l'ouvrage peut avoir été construit. Ce mécanisme de rupture est aussi « **local** » puisqu'il se développe principalement à l'intérieur de l'ouvrage et ne traverse pas la couche des arènes granitiques.
3. La troisième hypothèse de glissement représente un mécanisme de rupture « **global** » dont la surface se développe à l'intérieur des couches de fondation de l'ouvrage.

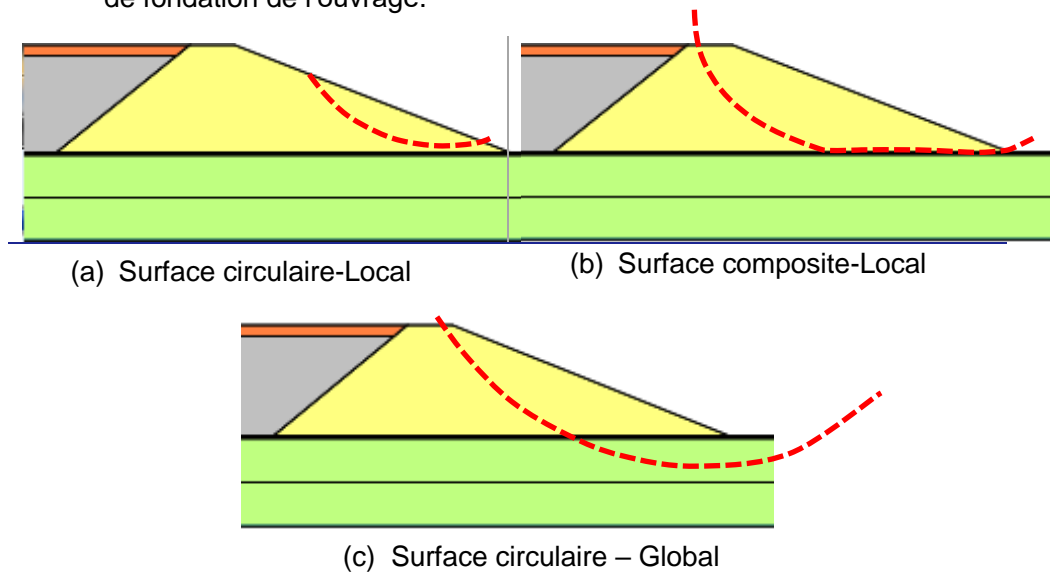


Figure 6 : Typologie de surface de glissement

## 6. HYPOTHESES DE CALCULS

### 6.1. Coupes de calculs

Deux profils ont été étudiés (cf. Annexe 2 §11) :

- Profil n°1 : Profil de hauteur maximale – il recoupe en pied la zone d'accès à la descenderie,
- Profil n°2 : Profil courant.

### 6.2. Paramètres géotechniques

Le Tableau 9 présente les caractéristiques mécaniques des matériaux.

Tableau 9 : Caractéristiques mécaniques des formations

| Ensemble géomécanique  | $\gamma_h$<br>(en kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(en kN/m <sup>3</sup> ) | $c'$<br>(en kPa) | $\phi'$<br>(en °) |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------|
| Couverture             | 20                                    | 20                                    | 0                | 38                |
| Remblais               | 17                                    | 17                                    | 2                | 33                |
| Résidus                | 19                                    | 19                                    | 10               | 25                |
| Arènes granitiques     | 21                                    | 21                                    | 10               | 30                |
| Substratum granitiques | 21                                    | 21                                    | 10               | 40                |

### 6.3. Niveaux piézométriques

Deux piézomètres (PZ81 et PZ66) font l'objet d'un suivi régulier sur le site de Montmassacrot. Ils sont localisés en partie supérieure de l'ouvrage respectivement en crête et au droit de l'ancienne MCO. Le tableau ci-dessous précise les niveaux observés dans chaque piézomètre :

|                              | PZ 81  | PZ 66 |
|------------------------------|--------|-------|
| Cote de tête du piézomètre   | 517.8  | 519.5 |
| Niveau piézométrique moyen   | 498.6  | 503.8 |
| Niveau piézométrique maximum | 500.75 | 504.5 |

Le profil piézométrique « normal », associé à la situation normale d'exploitation ainsi qu'aux situations sismiques, s'appuie sur le niveau piézométrique moyen mesuré dans les piézomètres.

Le profil piézométrique « accidentel », associé à la situation de crue, s'appuie sur le niveau piézométrique maximum mesuré dans les piézomètres.

## 6.4. Sollicitations sismiques

Le site Montmassacrot est situé en zone de sismicité 2 – Zone d'aléa faible selon la carte de l'aléa sismique en vigueur en France. Le séisme de référence renseigné par ce décret et défini par les prescriptions de l'Eurocode 8, correspond à une période de retour de 475 ans. Le paramètre retenu pour décrire l'aléa sismique est l'accélération du sol « au rocher » (le sol rocheux est pris comme référence). Ces accélérations de références sont présentées dans le tableau ci-après :

| Zone de sismicité | Niveau d'aléa | $a_{gr}$ (m/s <sup>2</sup> ) |
|-------------------|---------------|------------------------------|
| Zone 1            | Très faible   | 0,4                          |
| Zone 2            | Faible        | 0,7                          |
| Zone 3            | Modéré        | 1,1                          |
| Zone 4            | Moyen         | 1,6                          |
| Zone 5            | Fort          | 3                            |

Tableau 10 : Accélération « au rocher » pour un séisme de référence de période de retour 475 ans (EC8)

Compte tenu de la classe d'importance de l'ouvrage, il convient de multiplier l'accélération horizontale  $a_{gr}$  par un coefficient d'importance  $\gamma$  afin d'obtenir l'accélération de calcul au rocher  $a_g$ .

En utilisant l'approche de l'Eurocode 8-1, le coefficient d'importance à appliquer sur le spectre d'aléa sismique de référence, afin d'obtenir le niveau de sollicitation sismique aux périodes de retour 1 000 ans et 10 000 ans, est déterminé selon la formule suivante :

$$\gamma = \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Pour le séisme de période de retour 1 000 ans,

$$\gamma = \left( \frac{1\,000}{475} \right)^{\frac{1}{3}} = 1.28$$

Pour le séisme de période de retour 30 000 ans (Sollicitation sismique renforcée),

$$\gamma = \left( \frac{10\,000}{475} \right)^{\frac{1}{3}} = 2.76$$

Sur la base des résultats des essais SPT, les remblais constitutifs de l'ouvrage de Montmassacrot peuvent être classés comme des « dépôts profonds de sable et graviers de densité moyenne » d'épaisseur comprises entre plusieurs dizaines de mètres et quelques centaines de mètres (Classe C selon l'EC8-1).

La valeur de paramètre de sol associée est :  $S = 1.5$ .

Les accélérations sismiques appliquées dans l'analyse pseudo-statique des talus sont déterminées selon l'Eurocode 8, partie 5. Elles sont les suivantes :

- Coefficient sismique horizontal :

$$k_h = 0.5 \cdot S \cdot \frac{a_g}{g}$$

- Coefficient sismique vertical :

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Pour l'analyse pseudo-statique, les accélérations et coefficients sismiques suivants ont été considérées :

Tableau 11 : Montmassacrot – Accélérations horizontales et coefficient sismiques

|  | Séisme de période de retour 475 ans | Séisme de période de retour 1 000 ans | Séisme de période de retour 10 000 ans |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Accélération horizontale au rocher $a_g$ (en $m/s^2$ ) | 0.70                                | 0.90                                  | 1.93                                   |
| Paramètre de sol S                                     | 1.5                                 |                                       |  |
| Accélération horizontale en surface (en $m/s^2$ )      | 1.05                                | 1.35                                  | 2.90                                   |
| Coefficient sismique horizontal $k_h$ (en g)           | 0.054                               | 0.069                                 | 0.148                                  |
| Coefficient sismique vertical $k_v$ (en g)             | 0.027                               | 0.035                                 | 0.074                                  |

## 6.5. Surcharges

Aucune surcharge n'a été considérée dans les calculs.

## 6.6. Cas de charges

Les calculs de stabilité ont été réalisés pour les situations suivantes :

- Situation normale d'exploitation : régime hydraulique normal et paramètres géotechniques normaux, pas de séisme.
- Situation exceptionnelle de crue : rehaussement de la nappe phréatique, paramètres géotechniques normaux, pas de séisme.
- Situation accidentelle sismique 1 : régime hydraulique normal et paramètres géotechniques normaux, séisme avec période de retour de 475 ans.
- Situation accidentelle sismique 2 : régime hydraulique normal et paramètres géotechniques normaux, séisme avec période de retour de 1 000 ans.
- Situation accidentelle sismique 3 : régime hydraulique normal et paramètres géotechniques normaux, séisme avec période de retour de 10 000 ans.



## 6.7. Facteurs partiels

En accord avec les recommandations du Comité Français des Barrages Réservoir (CFBR) et les recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des ouvrages en Remblais, éditée en Octobre 2015, les coefficients partiels et de modèle à considérer sont les suivants :

Tableau 12 : Coefficients partiels et de modèle.

| Situation              | Coefficients partiels sur $c'$ et $\tan \phi'$ | Coefficients partiels sur le poids volumique | Coefficient de modèle |
|------------------------|--|--|-----------------------|
| Normale / exploitation | 1.0  | 1.0  | 1.5                   |
| Exceptionnelle de Crue | 1.0  | 1.0  | 1.3                   |
| Sismique               | 1.0  | 1.0  | 1.1*                  |

\* : Dans le cas du séisme (situation accidentelle), il a été retenu en accord avec l'ASN de réhausser de 1.1 à 1.2 le facteur de sécurité global pour juger de la tenue à long terme des ouvrages dans le cas des sollicitations extrêmes.

## 7. RESULTATS DE L'ANALYSE DE STABILITE

Le Tableau 13 présente les facteurs de sécurité obtenus après modélisation de l'ouvrage sous sollicitation au séisme.

Tableau 13 : Résultats - Montmassacrot

| COEFFICIENT DE STABILITE   |          | GLISSEMENT |                 |                 | Valeurs minimales |                 |                 |
|--|----------|------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
|  |          | GLOBAL     | TALUS INFERIEUR | TALUS SUPERIEUR | GLOBAL            | TALUS INFERIEUR | TALUS SUPERIEUR |
| <b>SITUATION NORMALE D'EXPLOITATION –</b><br>Fs Min Admissible = <b>1.5</b>  |          |            |                 |                 |                   |                 |                 |
|  | Profil 1 | 1.49       | 1.70            | 1.03            | 1.49              | 1.70            | 1.03            |
|  | Profil 2 | 1.68       | 1.86            | 1.17            |                   |                 |                 |
| <b>STABILITE EXCEPTIONNELLE : REHAUSSEMENT DE NAPPE –</b><br>Fs Min Admissible = <b>1.3</b>                                |          |            |                 |                 |                   |                 |                 |
|  | Profil 1 | 1.49       | 1.70            | 1.03            | 1.49              | 1.70            | 1.03            |
|  | Profil 2 | 1.68       | 1.86            | 1.17            |                   |                 |                 |
| <b>SITUATION SISMIQUE : PERIODE DE RETOUR 475 ANS –</b><br>Fs Min Admissible = <b>1.2 (ASN) / 1.1 (Usuel)</b>              |          |            |                 |                 |                   |                 |                 |
|  | Profil 1 | 1.30       | 1.48            | 0.94            | 1.30              | 1.48            | 0.94            |
|  | Profil 2 | 1.46       | 1.61            | 1.06            |                   |                 |                 |
| <b>SITUATION SISMIQUE : PERIODE DE RETOUR 1 000 ANS –</b><br>Fs Min Admissible = <b>1.2 (ASN) / 1.1 (Usuel)</b>            |          |            |                 |                 |                   |                 |                 |
|  | Profil 1 | 1.26       | 1.43            | 0.91            | 1.26              | 1.43            | 0.91            |
|  | Profil 2 | 1.40       | 1.55            | 1.03            |                   |                 |                 |
| <b>SITUATION SISMIQUE RENFORCEE : PERIODE DE RETOUR 10 000 ANS –</b><br>Fs Min Admissible = <b>1.2 (ASN) / 1.1 (Usuel)</b> |          |            |                 |                 |                   |                 |                 |
|  | Profil 1 | 1.05       | 1.18            | 0.79            | 1.05              | 1.18            | 0.79            |
|  | Profil 2 | 1.16       | 1.27            | 0.89            |                   |                 |                 |

| Légende des couleurs : |   |
|------------------------|---|
|                        | Coefficient de sécurité supérieur ou égale au critère de projet           |
|                        | Coefficient de sécurité inférieur au critère de projet mais supérieur à 1 |
|                        | Coefficient de sécurité inférieur au critère de projet et inférieur à 1   |
|                        | Cas Sismique – Critère usuel vérifié mais critère ASN non atteint         |

Les résultats de l'analyse Talren sont consultables en Annexe 3 (cf. §12).

## 8. ETUDE DE SENSIBILITE A LA LIQUEFACTION

### 8.1. Méthodologie

#### 8.1.1. Prescription de l'Eurocode 8

L'Eurocode 8 exige une évaluation de la sensibilité des sols à la liquéfaction lorsque le sol de fondation comporte « des couches étendues ou des lentilles épaisses » de sables lâches saturés à faible profondeur.

Il est possible de négliger le risque de liquéfaction lorsque :

- Pour les ouvrages sur fondations superficielles, les couches sableuses sont situées à plus de 15 m de profondeur.
- $\alpha \cdot S < 0,15$  (avec S : paramètre de sol dépendant de la classe de sol, et  $\alpha$  l'accélération horizontale de calcul, cf. paragraphe 6.4) et si l'une des conditions suivantes au moins est vérifiée :
  - les sables contiennent de l'argile en proportion supérieure à 20% avec un indice de plasticité  $I_p > 10$ ,
  - les sables contiennent plus de 35% de silts et le nombre de coups STP normalisé  $N_{1(60)}$  est supérieur à 20,
  - les sables sont propres et le nombre de coups STP normalisé  $N_{1(60)}$  est supérieur à 30.

Si le risque de liquéfaction ne peut pas être écarté, il est nécessaire de calculer le facteur de sécurité :

$$F_{SL} = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot CM$$

Avec :

- CM : Coefficient de correction de la magnitude (Magnitude Scaling Factor).
- CRR7.5 : Taux de résistance cyclique correspondant à un séisme de magnitude Mw 7.5.
- CSR : Taux de cisaillement cyclique (Cyclic Stress Ratio).

### 8.1.2. Sensibilité des sols à la liquéfaction – Critère granulométrique

Cette vérification est effectuée à partir des règles PS92 qui sont plus précises que celles des Eurocodes vis-à-vis des critères granulométriques.

La sensibilité des sols à la liquéfaction est fonction de leur granulométrie. Les règles PS 92 identifient comme « suspects » (i.e. susceptibles de se liquéfier) :

- Les sables, sables vasards et silts présentant les caractéristiques suivantes :
  - Degré de saturation  $S_r$  voisin de 100%
  - Granulométrie assez uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité  $C_u$  inférieur à 15 :
$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 15 \quad c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 15$$
  - Diamètre à 50%,  $D_{50}$  compris entre à 0.05mm et 1.5mm.
- Les sols argileux présentant les caractéristiques suivantes :
  - Diamètre à 15%,  $D_{15}$  supérieur à 0.005mm,
  - Limite de liquidité  $w_L$  inférieure à 35%,
  - Teneur en eau  $w$  supérieure à 0.9  $w_L$ ,
  - Point représentatif sur le diagramme de plasticité se situant au-dessus de la droite « A » dudit diagramme si données disponibles.

Peuvent être considérés comme exempts de risque, les sols tels que :

- La granulométrie présente un diamètre à 10%,  $D_{10}$  supérieur à 2 mm ;
- La granulométrie présente un diamètre à 70%,  $D_{70} < 74 \mu\text{m}$  et l'indice de plasticité  $I_p > 10 \%$ .

## 8.2. Analyse vis-à-vis du critère granulométrique

Au cours de la campagne de reconnaissance complémentaire, 20 échantillons ont été prélevés dans les sondages SPT1 et SPT2. Sans être exempts de risque, les sols constitutifs du corps de remblai ne sont pas « suspects » et présentent une granulométrie étalée et/ou un  $D_{50}$  supérieur à 1.5 mm.

A partir des critères granulométriques, la liquéfaction peut donc être exclue (cf. Annexe 4).

## 8.3. Facteur de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction

### 8.3.1. Séismes de période de retour 475 et 1 000 ans

Conformément à l'Eurocode 8 et afin de compléter les résultats de l'analyse granulométrique, les facteurs de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction ont été calculés en exploitant les résultats des essais SPT.

Pour des séismes de période de retour 475 et 1 000 ans, une magnitude Ms 6.0 a été considérée. Les résultats obtenus sont présentés en Annexe 3.

A l'Eurocode 8, un coefficient de sécurité de 1.25 est recherché. Les calculs ne font pas apparaître d'horizons liquéfiables.

### 8.3.2. Séisme de période de retour 10 000 ans (Sollicitation sismique renforcée)

Les sollicitations sismiques à considérer (séisme de période de retour de 10 000 ans) interdisent de négliger le risque de liquéfaction. En effet,  $\alpha \cdot S = 0.30 > 0.15$ .

Dans les calculs, une magnitude Ms 7.5 a été considérée. Pour mémoire, le séisme historique maximal observé sur le territoire métropolitain a une magnitude de M6.2 (séisme de Lambesc) et les magnitudes estimées de paléoséismes sur le système de faille de la Durance atteigne M 7.0.

Les résultats obtenus sont présentés en Annexe 3.

Les résultats font apparaître localement des horizons potentiellement liquéfiables (notamment entre 5 et 9 m de profondeur, dans des horizons aux caractéristiques mécaniques plus faibles).

Il est toutefois à noter que le niveau piézométrique s'établit sous le niveau de la majorité de ces horizons potentiellement liquéfiables.

Par ailleurs, la procédure de calcul n'intègre pas les caractéristiques granulométriques (critères granulométriques présentés ci-dessus) des sols considérés. En combinant les deux approches, il apparaît donc que **le risque de liquéfaction est faible**.

## 9. CONCLUSION

### Situation normale d'exploitation :

La stabilité de la berme inférieure est vérifiée. Le coefficient de sécurité global est très proche du critère de stabilité ( $F_s=1.49$  pour 1.5).

La stabilité de la berme supérieure n'est pas assurée avec une marge suffisante ( $F_s$  inférieurs à 1.5). Elle n'est toutefois pas instable.

### Situation exceptionnelle de crue :

Lorsque le niveau de la nappe est rehaussé, la stabilité globale de l'ouvrage est assurée. Il en est de même pour la berme inférieure.

La stabilité de la berme supérieure n'est pas vérifiée avec une marge suffisante ( $F_s$  inférieurs à 1.5). Elle n'est toutefois pas instable.

### Situations sismiques usuelles – Période de retour 475 ans et 1 000 ans :

Lorsque l'ouvrage est soumis à une sollicitation sismique de période de retour de 475 ans ou 1 000 ans, la stabilité du talus inférieure et la stabilité globale sont assurées.

La stabilité de la berme supérieure n'est, elle, pas vérifiée quelle que soit la configuration et la coupe de calcul considérée. Pour la coupe 2, la berme n'est toutefois pas instable.

### Situation sismique renforcée – Période de retour 10 000 ans :

Pour une sollicitation sismique supérieure aux recommandations en vigueur pour un ouvrage du type de Montmassacrot, la stabilité du talus inférieure est assurée ( $F_s$  proche du critère ASN – 1.2 – et supérieur au critère usuel – 1.1).

La stabilité globale est assurée pour la coupe 2 ( $F_s$  proche du critère ASN – 1.2 – et supérieur au critère usuel – 1.1). Pour la coupe 1, la stabilité globale n'est pas assurée avec une marge suffisante ( $F_s$  inférieur à 1.1). Le talus n'est toutefois pas instable ( $F_s$  supérieur à 1.0).

La stabilité du talus supérieure n'est pas vérifiée quelle que la coupe de calcul considérée.

### Confortement :

Les calculs de stabilité mettent évidence un défaut de stabilité :

- de la berme supérieure de l'ouvrage de Montmassacrot, pour toutes les situations étudiées (situation normale d'exploitation, situation de crue exceptionnelle, sollicitations sismiques usuelles et renforcées).
- dans le cas de la coupe 1, de l'ensemble de l'ouvrage sous sollicitations sismiques renforcées.

En ce qui concerne la stabilité de la berme supérieure en condition normale d'exploitation, il s'agit de réserves de stabilité manquantes, c'est-à-dire que le facteur de sécurité global des cercles de glissement analysés est toujours supérieur à 1 mais n'atteint pas la valeur recommandée de 1,5. La situation ne présente donc pas de danger immédiat mais nécessite une analyse complémentaire.

Il faut, par ailleurs, garder à l'esprit que nous sommes en présence d'un stockage de résidus secs : en cas de glissement, les matériaux glissés resteront à proximité de l'ouvrage.

Il faut noter également que, pour toutes les situations étudiées, les cercles de glissement critiques ne coupent pas les résidus stockés : seuls les matériaux constitutifs de la digue sont intéressés par le potentiel glissement.

Compte-tenu des trois observations précédentes, nous suggérons la réalisation d'une analyse itérative des glissements de la partie haute de la digue (analyse de stabilité de la digue dans la configuration post-glissement en considérant que les matériaux glissés ne participent plus à la résistance de l'ouvrage – détermination des nouveaux cercles critiques et processus itératif jusqu'à l'obtention d'une configuration pour laquelle les critères de stabilité en situation normale seraient vérifiés). Cette analyse itérative pourrait être incluse dans une analyse de risque du même type que celles réalisées dans le cadre des études de danger réglementaires pour les barrages retenant de l'eau. La criticité identifiée pourrait alors justifier un confortement de l'ouvrage.

#### **Sensibilité à la liquéfaction :**

L'analyse granulométrique ne fait pas apparaître d'horizon particulièrement sensible au phénomène de liquéfaction.

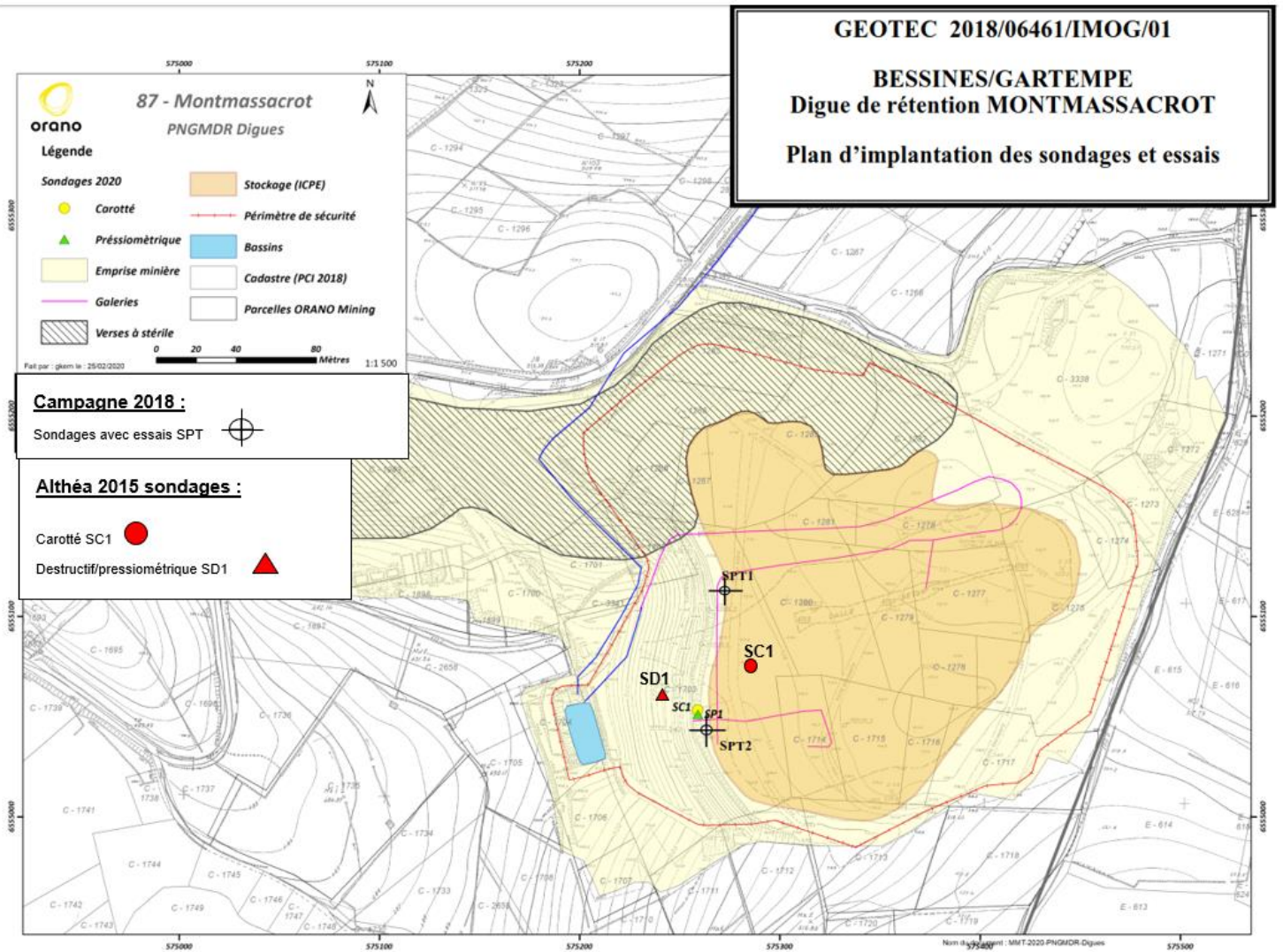
Pour un séisme de période de retour 475 ans ou 1 000 ans, les calculs ne font pas apparaître d'horizons liquéfiables.

Pour une période de retour de 10 000 ans, les calculs mettent en évidence la présence d'horizons potentiellement liquéfiable. Toutefois, le niveau piézométrique s'établit sous le niveau de la plupart des horizons potentiellement liquéfiables et l'analyse granulométrique ne met pas en évidence la présence de matériaux particulièrement susceptibles au phénomène.

Le risque de liquéfaction est donc faible.



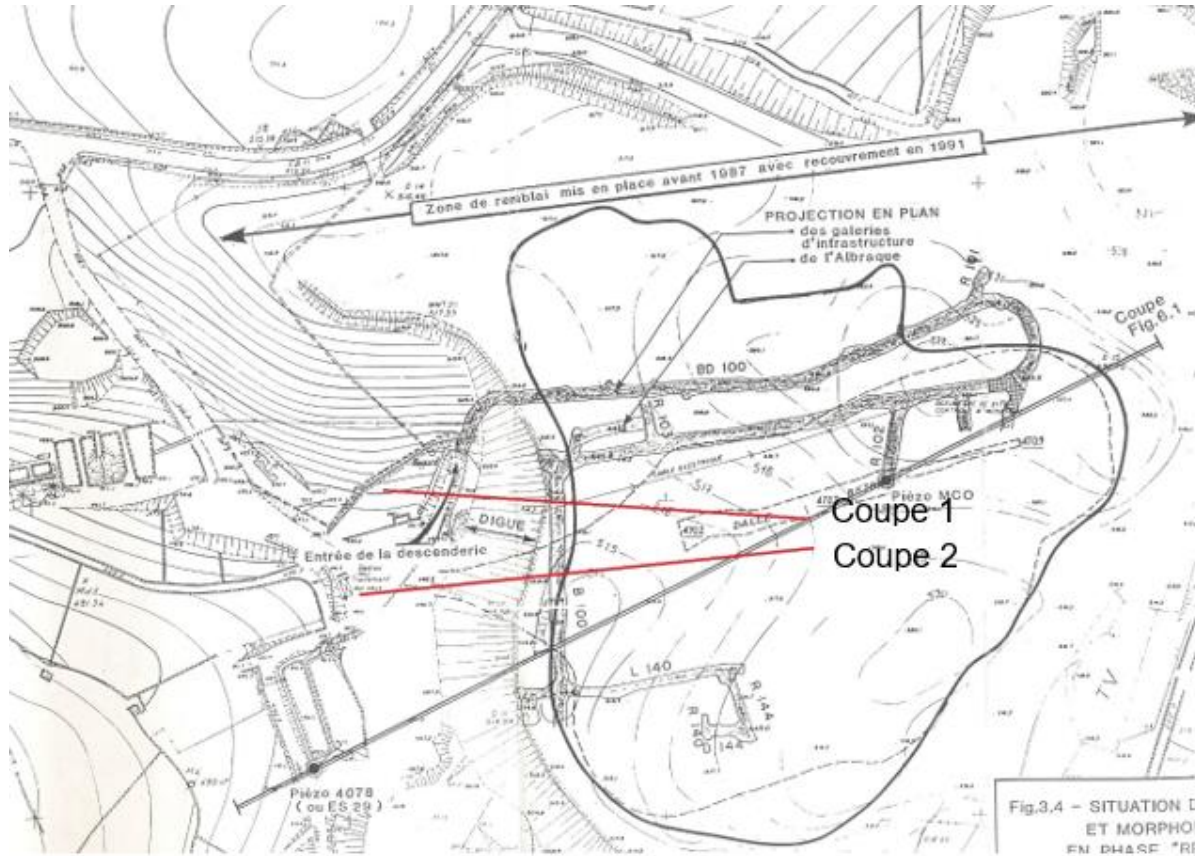
# 10. ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES



Ce document est la propriété de Tractebel Engineering S.A. Toute copie



# 11. ANNEXE 2 : LOCALISATION DES COUPES DE CALCUL



Ce document est la propriété de Tractebel Engineering S.A. Toute copie ou transmission à des tiers est interdite sans un accord préalable.

## 12. ANNEXE 3 : CERCLES DE RUPTURE TALREN 5

### 12.1. Profil 1

# Données du projet

Numéro d'affaire : ORANO - Montmassacrot

Titre du calcul : Profil 1

Lieu : N/A

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m<sup>3</sup>

γw : 10.0

## Couches de sol

|   | Nom                | Couleur | γ    | φ     | c    | Δc  | qs clous | pl | KsB | Anisotropie | Favorable | Coefficients de sécurité spécifiques |
|---|--------------------|---------|------|-------|------|-----|----------|----|-----|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Couverture         |         | 20,0 | 38,00 | 0,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 2 | Remblais inf       |         | 20,0 | 33,00 | 2,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 3 | Résidus            |         | 19,0 | 25,00 | 5,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 4 | Arènes granitiques |         | 21,0 | 30,00 | 10,0 | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 5 | Remblais sup       |         | 20,0 | 31,00 | 2,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 6 | Couverture 2       |         | 20,0 | 38,00 | 0,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |

## Couches de sol (cont.)

|   | Nom                | Couleur | Γγ | Γc | Γtan(φ) | Type de cohésion | Courbe   |
|---|--------------------|---------|----|----|---------|------------------|----------|
| 1 | Couverture         |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 2 | Remblais inf       |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 3 | Résidus            |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 4 | Arènes granitiques |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 5 | Remblais sup       |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 6 | Couverture 2       |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |

## Points

|    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1  | 0,000   | 514,500 | 2  | 96,000  | 514,500 | 3  | 106,000 | 514,500 | 4  | 0,000   | 520,500 | 5  | 103,300 | 516,500 |
| 7  | 118,300 | 507,500 | 8  | 143,000 | 496,500 | 9  | 86,500  | 505,000 | 10 | 98,500  | 505,000 | 11 | 90,000  | 496,500 |
| 13 | 94,700  | 492,700 | 14 | 84,700  | 492,200 | 16 | 0,000   | 470,000 | 17 | 34,900  | 470,000 | 18 | 37,000  | 480,000 |
| 29 | 148,500 | 495,500 | 30 | 154,000 | 493,000 | 31 | 166,500 | 495,000 | 32 | 162,000 | 493,000 | 34 | 89,000  | 507,500 |
| 37 | 101,191 | 516,582 |    |         |         |    |         |         |    |         |         |    |         |         |

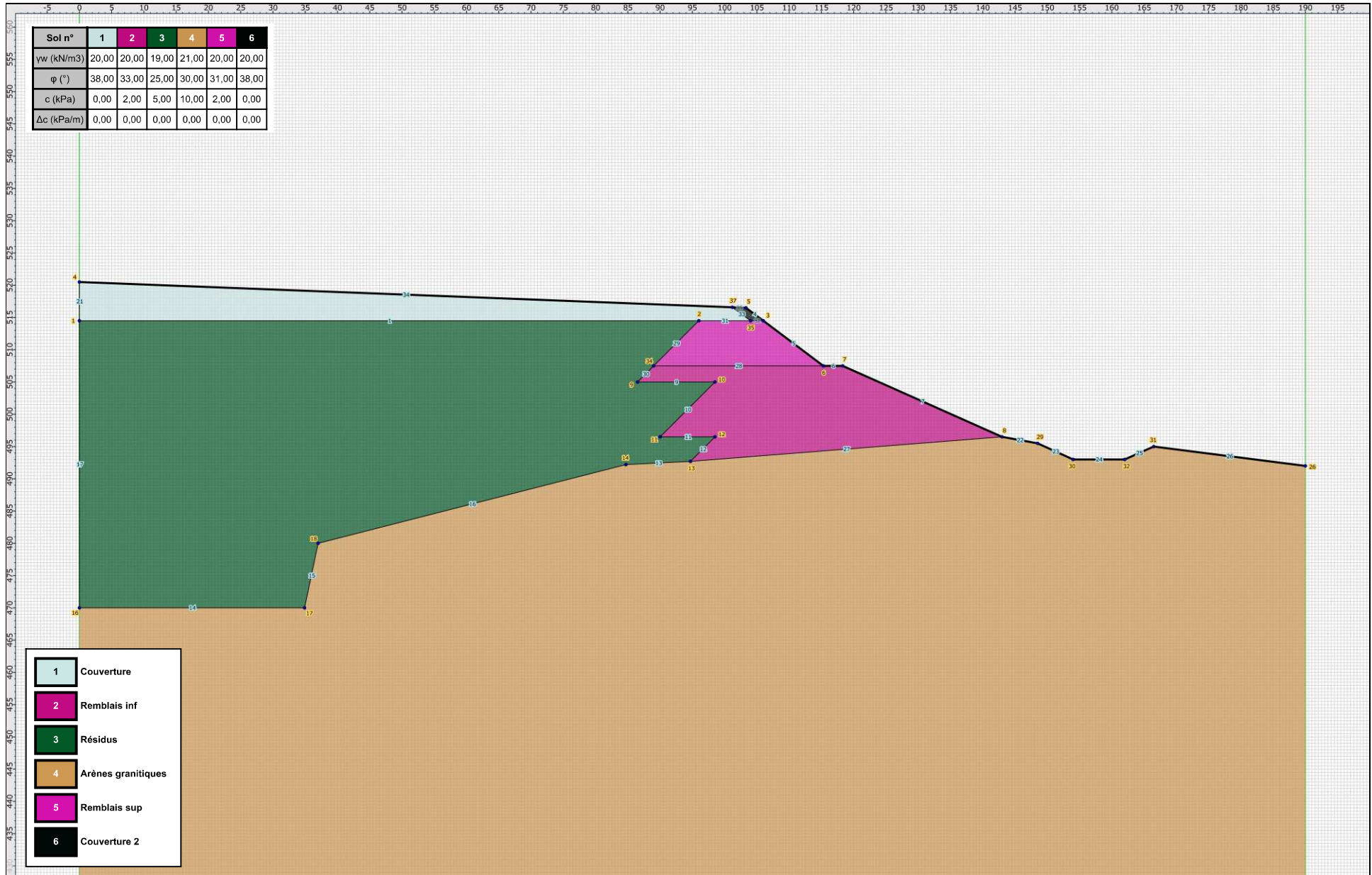
## Segments

|    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1  | 1       | 2       | 4  | 5       | 3       | 5  | 3       | 6       | 6  | 6       | 7       | 7  | 7       | 8       | 9  | 9       | 10      | 10 | 10      | 11      |
| 11 | 11      | 12      | 12 | 12      | 13      | 13 | 14      | 13      | 14 | 16      | 17      | 15 | 17      | 18      | 16 | 18      | 14      | 17 | 16      | 1       |
| 21 | 1       | 4       | 22 | 8       | 29      | 23 | 29      | 30      | 24 | 30      | 32      | 25 | 32      | 31      | 26 | 31      | 26      | 27 | 13      | 8       |
| 28 | 6       | 34      | 29 | 34      | 2       | 30 | 34      | 9       | 31 | 2       | 35      | 32 | 3       | 35      | 33 | 35      | 37      | 34 | 37      | 4       |
| 35 | 37      | 5       |    |         |         |    |         |         |    |         |         |    |         |         |    |         |         |    |         |         |



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:11  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Profil 1



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:12  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la phase 1

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |
|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus            | 4  | 5       | 3       | Couverture 2       | 5  | 3       | 6       | Remblais sup       |
| 6  | 6       | 7       | Remblais inf       | 7  | 7       | 8       | Remblais inf       | 9  | 9       | 10      | Résidus            |
| 10 | 10      | 11      | Remblais inf       | 11 | 11      | 12      | Résidus            | 12 | 12      | 13      | Remblais inf       |
| 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques | 14 | 16      | 17      | Arènes granitiques | 15 | 17      | 18      | Arènes granitiques |
| 16 | 18      | 14      | Arènes granitiques | 17 | 16      | 1       | Résidus            | 21 | 1       | 4       | Couverture         |
| 22 | 8       | 29      | Arènes granitiques | 23 | 29      | 30      | Arènes granitiques | 24 | 30      | 32      | Arènes granitiques |
| 25 | 32      | 31      | Arènes granitiques | 26 | 31      | 26      | Arènes granitiques | 27 | 13      | 8       | Arènes granitiques |
| 28 | 6       | 34      | Remblais inf       | 29 | 34      | 2       | Remblais sup       | 30 | 34      | 9       | Remblais inf       |
| 31 | 2       | 35      | Remblais sup       | 32 | 3       | 35      | Remblais sup       | 33 | 35      | 37      | Couverture         |
| 34 | 37      | 4       | Couverture         | 35 | 37      | 5       | Couverture 2       |    |         |         |                    |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:12  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Profil 1

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 154,000; Y= 589,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Couverture 2  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

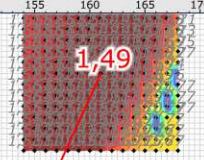
Coefficient de sécurité minimal : 1,4904

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1058; X0= 161,00; Y0= 596,00; R= 101,11



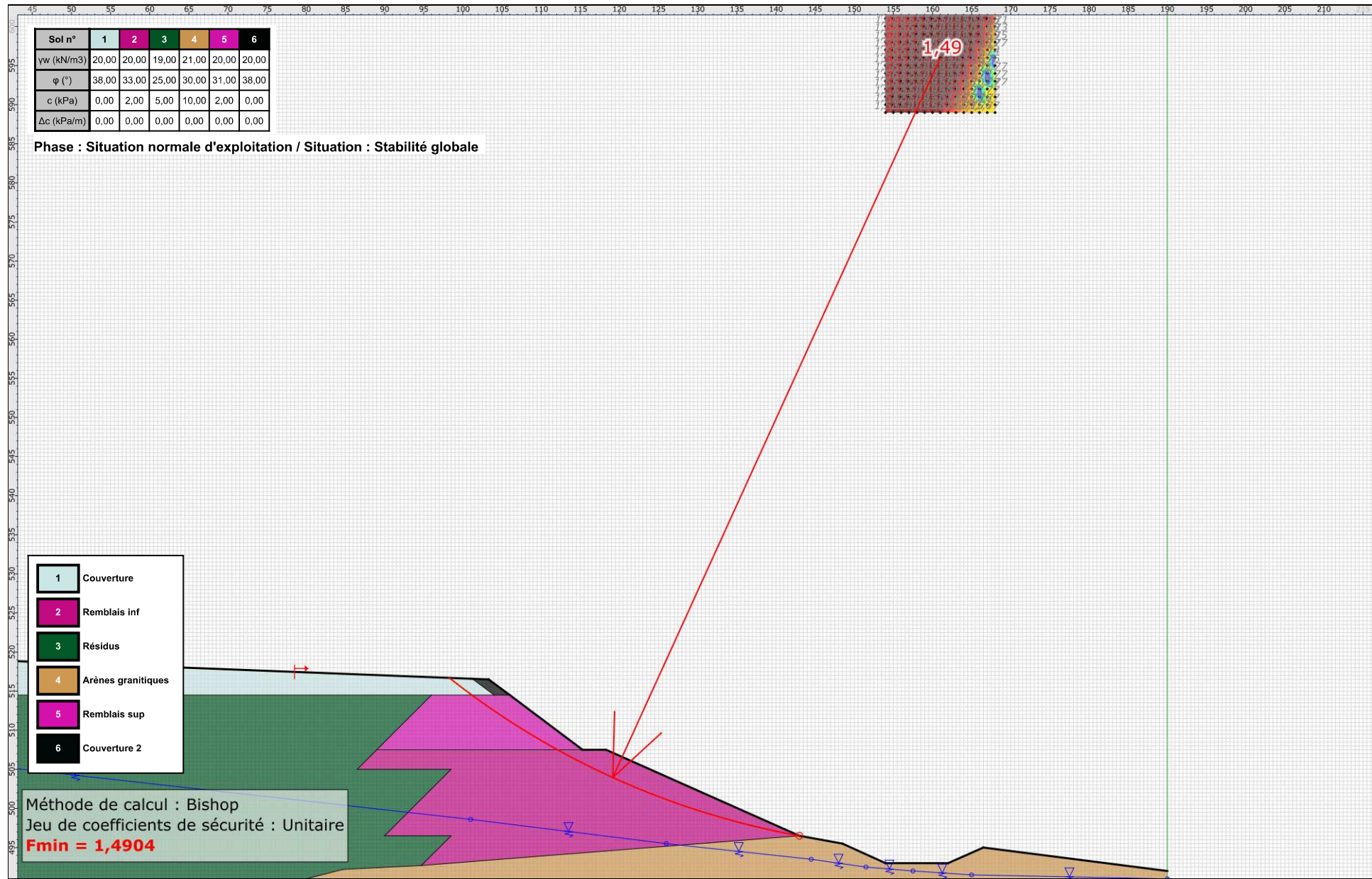
| Sol n°                  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| vw (kN/m <sup>3</sup> ) | 20,00 | 20,00 | 19,00 | 21,00 | 20,00 | 20,00 |
| φ (°)                   | 38,00 | 33,00 | 25,00 | 30,00 | 31,00 | 38,00 |
| c (kPa)                 | 0,00  | 2,00  | 5,00  | 10,00 | 2,00  | 0,00  |
| Δc (kPa/m)              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |

Phase : Situation normale d'exploitation / Situation : Stabilité globale



- 1 Couverture
- 2 Remblais inf
- 3 Résidus
- 4 Arènes granitiques
- 5 Remblais sup
- 6 Couverture 2

Méthode de calcul : Bishop  
 Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire  
**Fmin = 1,4904**



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:13  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,000; Y= 533,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 117,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

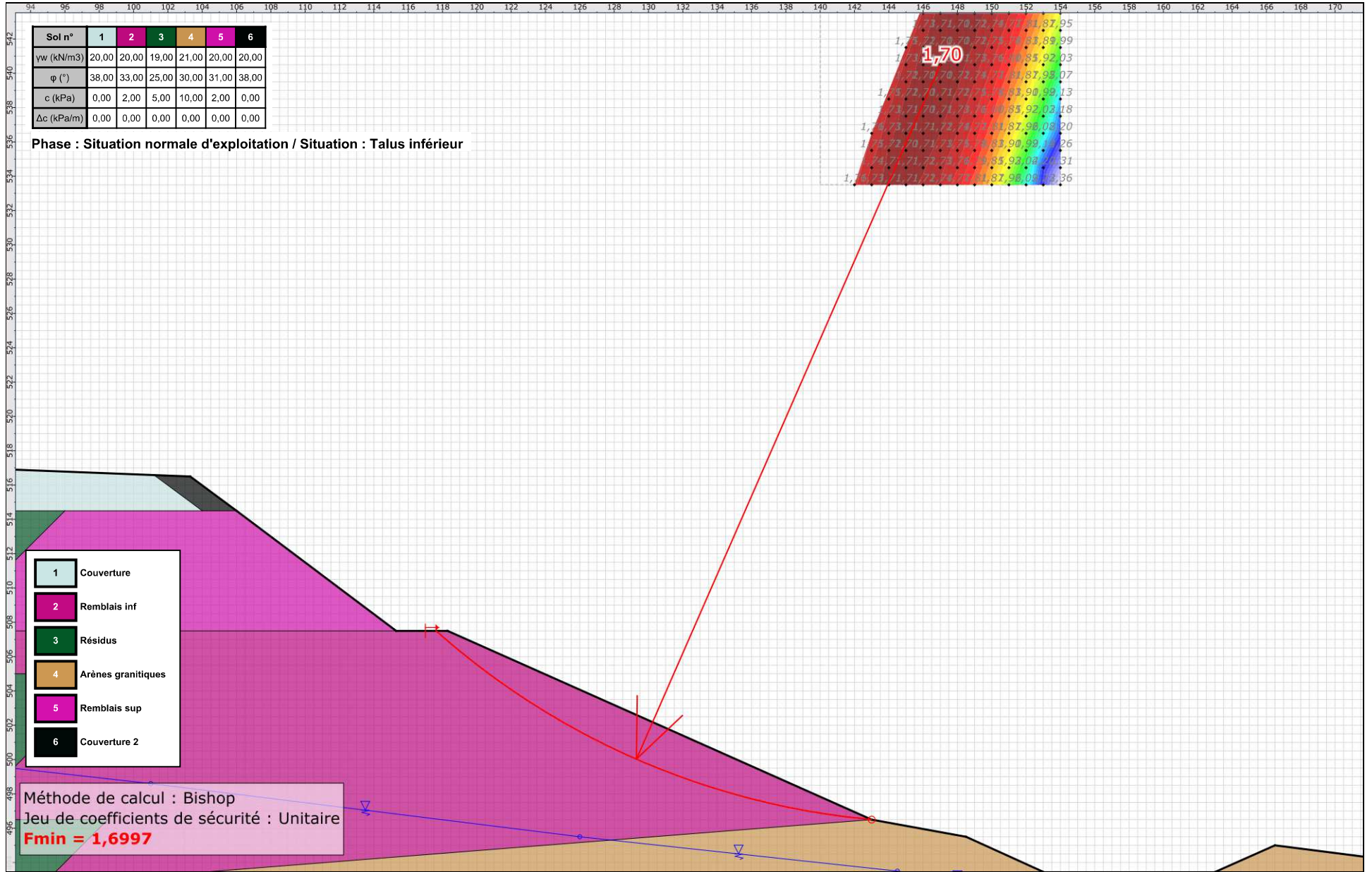
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Résidus

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6997

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 663; X0= 147,00; Y0= 540,50; R= 44,18





# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 118,500; Y= 526,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

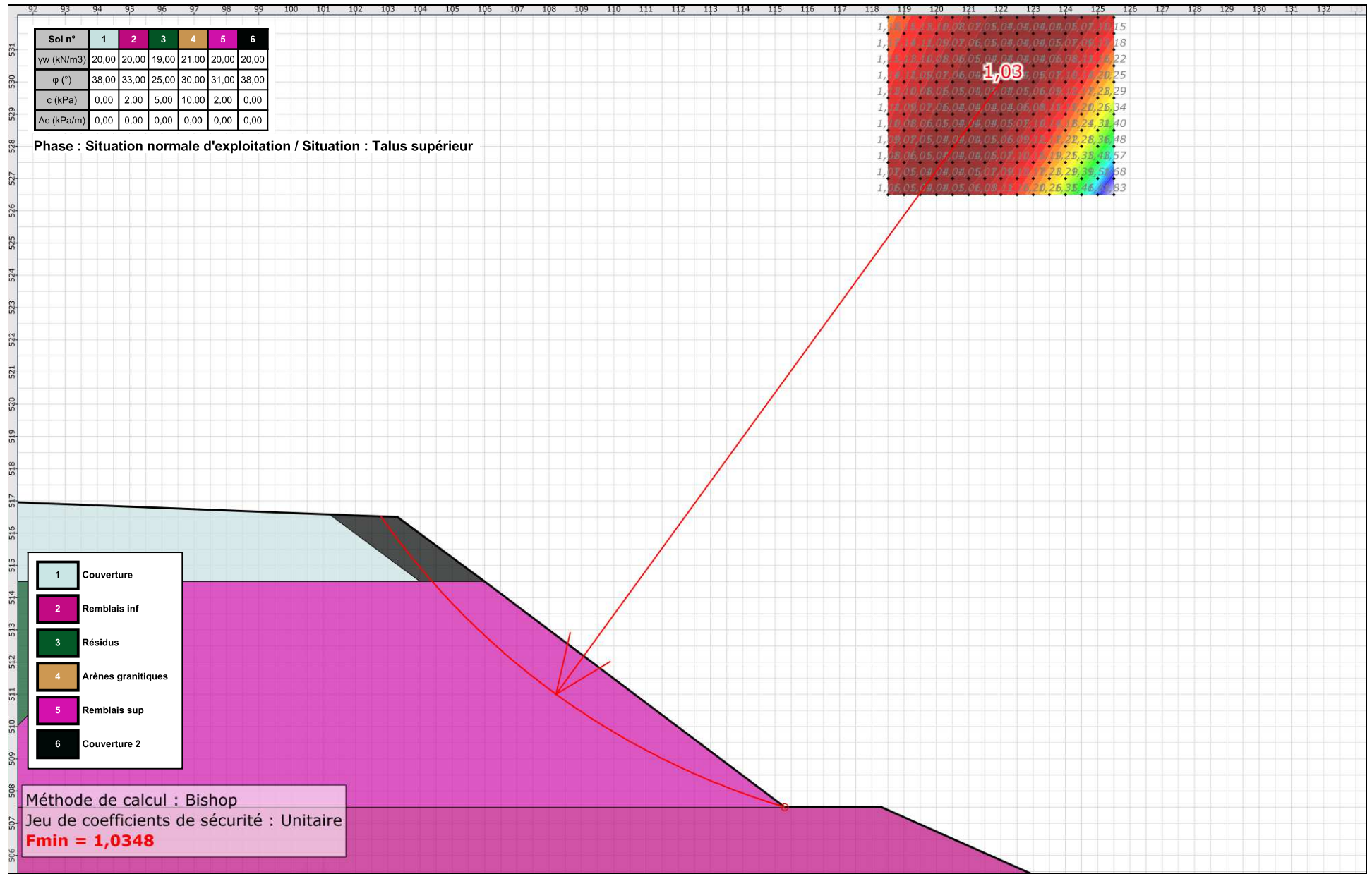
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf  
et  
Passage imposé dans Remblais sup

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0348

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 225; X0= 122,00; Y0= 530,00; R= 23,47



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:14  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la phase 2

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |
|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus            | 4  | 5       | 3       | Couverture 2       | 5  | 3       | 6       | Remblais sup       |
| 6  | 6       | 7       | Remblais inf       | 7  | 7       | 8       | Remblais inf       | 9  | 9       | 10      | Résidus            |
| 10 | 10      | 11      | Remblais inf       | 11 | 11      | 12      | Résidus            | 12 | 12      | 13      | Remblais inf       |
| 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques | 14 | 16      | 17      | Arènes granitiques | 15 | 17      | 18      | Arènes granitiques |
| 16 | 18      | 14      | Arènes granitiques | 17 | 16      | 1       | Résidus            | 21 | 1       | 4       | Couverture         |
| 22 | 8       | 29      | Arènes granitiques | 23 | 29      | 30      | Arènes granitiques | 24 | 30      | 32      | Arènes granitiques |
| 25 | 32      | 31      | Arènes granitiques | 26 | 31      | 26      | Arènes granitiques | 27 | 13      | 8       | Arènes granitiques |
| 28 | 6       | 34      | Remblais inf       | 29 | 34      | 2       | Remblais sup       | 30 | 34      | 9       | Remblais inf       |
| 31 | 2       | 35      | Remblais sup       | 32 | 3       | 35      | Remblais sup       | 33 | 35      | 37      | Couverture         |
| 34 | 37      | 4       | Couverture         | 35 | 37      | 5       | Couverture 2       |    |         |         |                    |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 510,600 | 0,00  | 2 | 51,000  | 506,500 | 0,00  | 3 | 101,000 | 500,100 | 0,00  | 4 | 126,000 | 497,000 | 0,00  | 5 | 144,500 | 495,000 | 0,00 |
| 6 | 151,800 | 493,960 | 0,00  | 7 | 154,000 | 493,000 | 0,00  | 8 | 162,000 | 493,000 | 0,00  | 9 | 190,000 | 492,000 | 0,00  |   |         |         |      |



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:14  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Profil 1

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 154,500; Y= 590,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 99,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

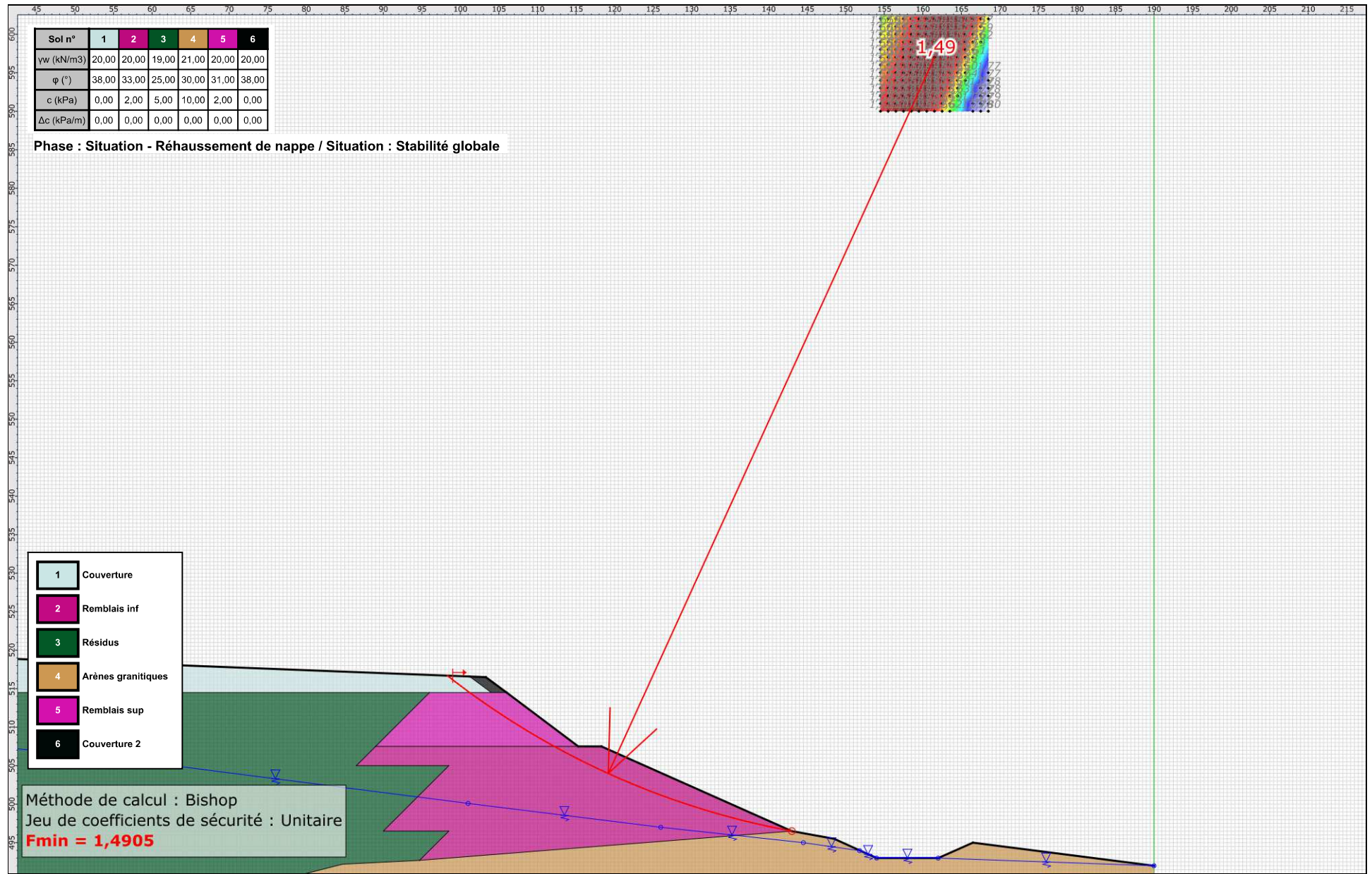
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Arènes granitiques  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,4905

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 210; X0= 161,50; Y0= 597,00; R= 102,18





**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:14  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 141,000; Y= 536,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

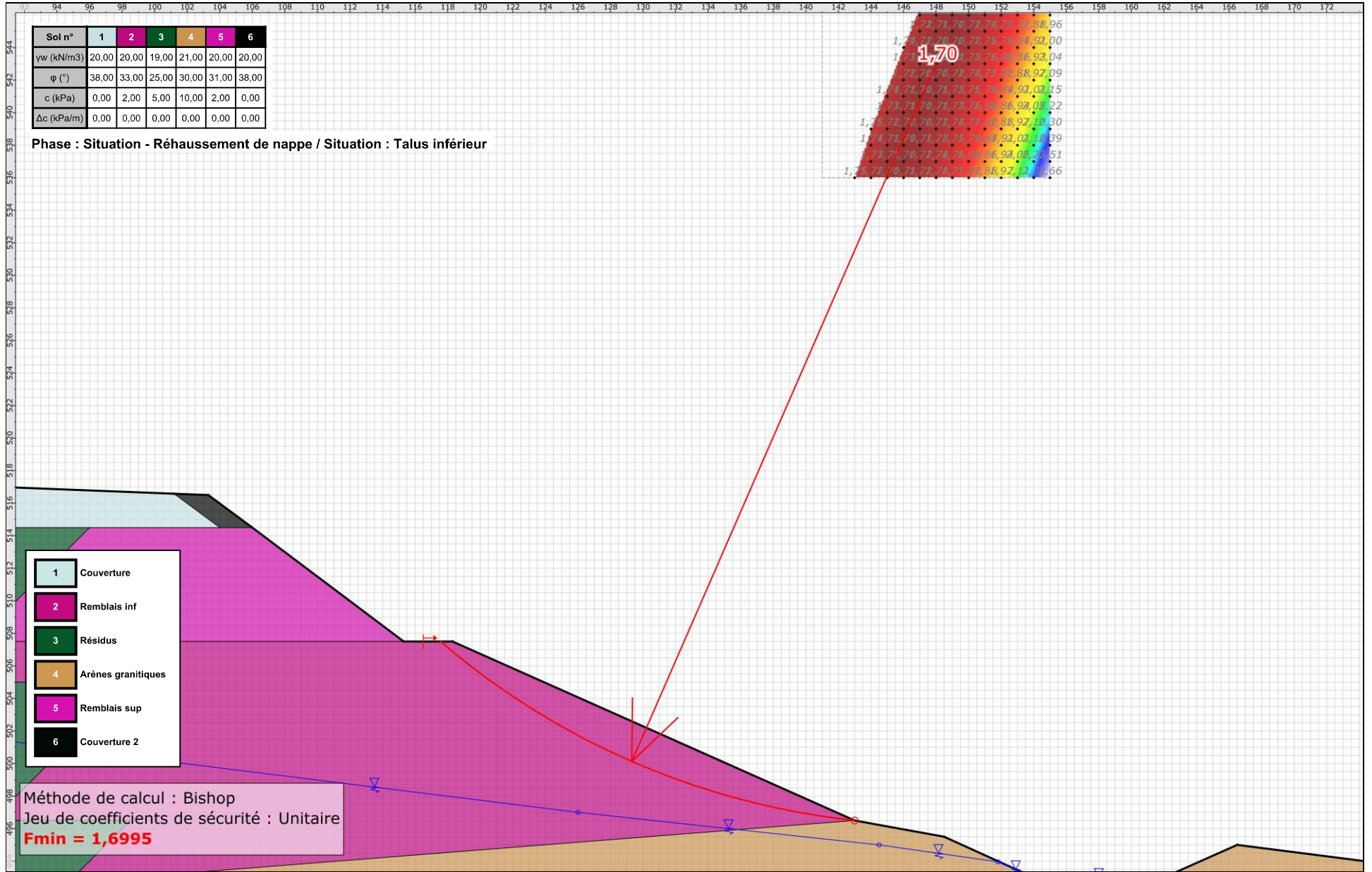
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Arènes granitiques  
et  
Passage refusé dans Remblais sup

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6995

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 196; X0= 148,00; Y0= 543,00; R= 46,76





# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 118,500; Y= 526,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

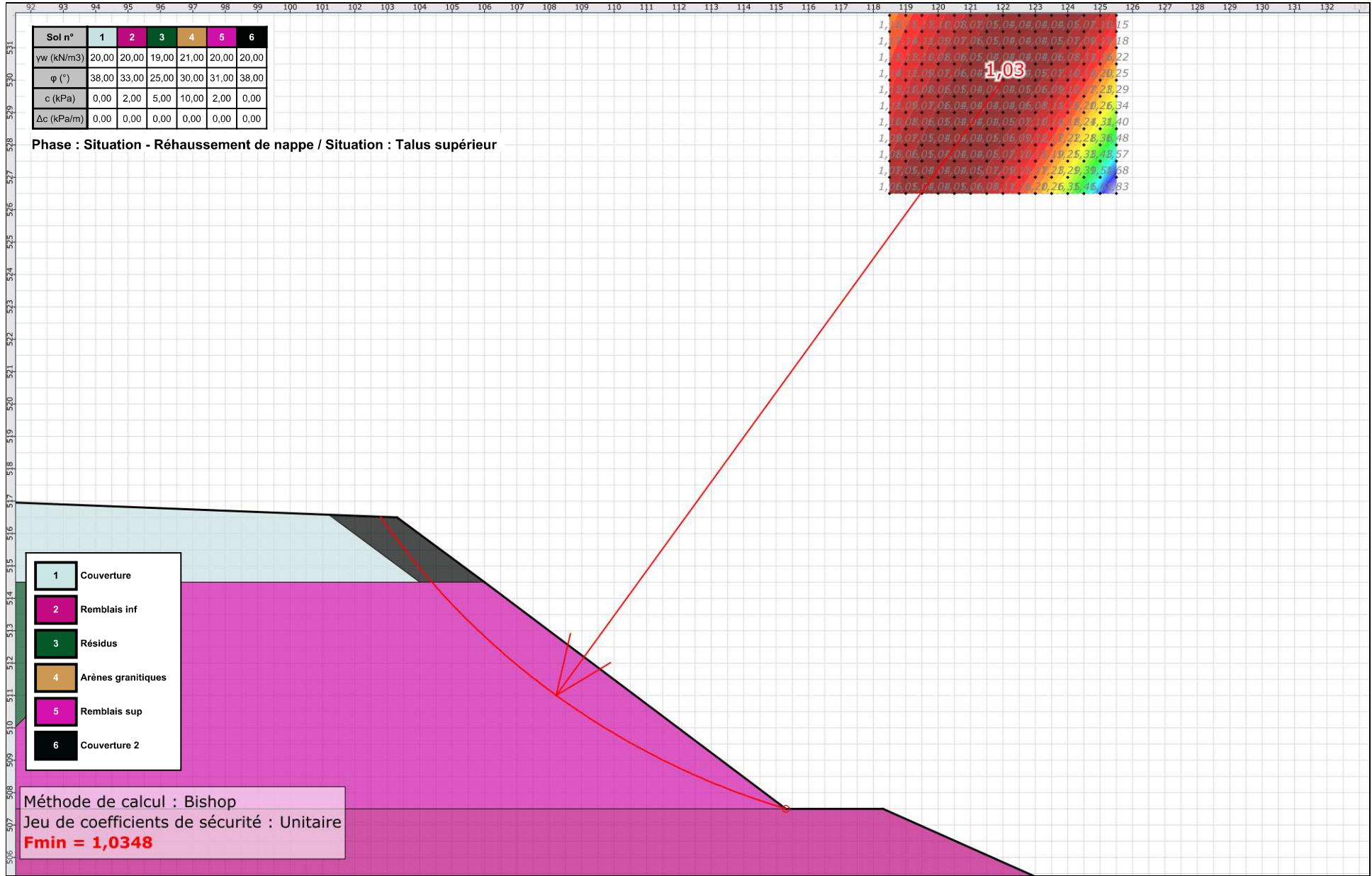
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0348

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 122,00; Y0= 530,00; R= 23,47



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:15  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la phase 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |
|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus            | 4  | 5       | 3       | Couverture 2       | 5  | 3       | 6       | Remblais sup       |
| 6  | 6       | 7       | Remblais inf       | 7  | 7       | 8       | Remblais inf       | 9  | 9       | 10      | Résidus            |
| 10 | 10      | 11      | Remblais inf       | 11 | 11      | 12      | Résidus            | 12 | 12      | 13      | Remblais inf       |
| 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques | 14 | 16      | 17      | Arènes granitiques | 15 | 17      | 18      | Arènes granitiques |
| 16 | 18      | 14      | Arènes granitiques | 17 | 16      | 1       | Résidus            | 21 | 1       | 4       | Couverture         |
| 22 | 8       | 29      | Arènes granitiques | 23 | 29      | 30      | Arènes granitiques | 24 | 30      | 32      | Arènes granitiques |
| 25 | 32      | 31      | Arènes granitiques | 26 | 31      | 26      | Arènes granitiques | 27 | 13      | 8       | Arènes granitiques |
| 28 | 6       | 34      | Remblais inf       | 29 | 34      | 2       | Remblais sup       | 30 | 34      | 9       | Remblais inf       |
| 31 | 2       | 35      | Remblais sup       | 32 | 3       | 35      | Remblais sup       | 33 | 35      | 37      | Couverture         |
| 34 | 37      | 4       | Couverture         | 35 | 37      | 5       | Couverture 2       |    |         |         |                    |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:16  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Profil 1

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 154,000; Y= 589,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,054

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,027

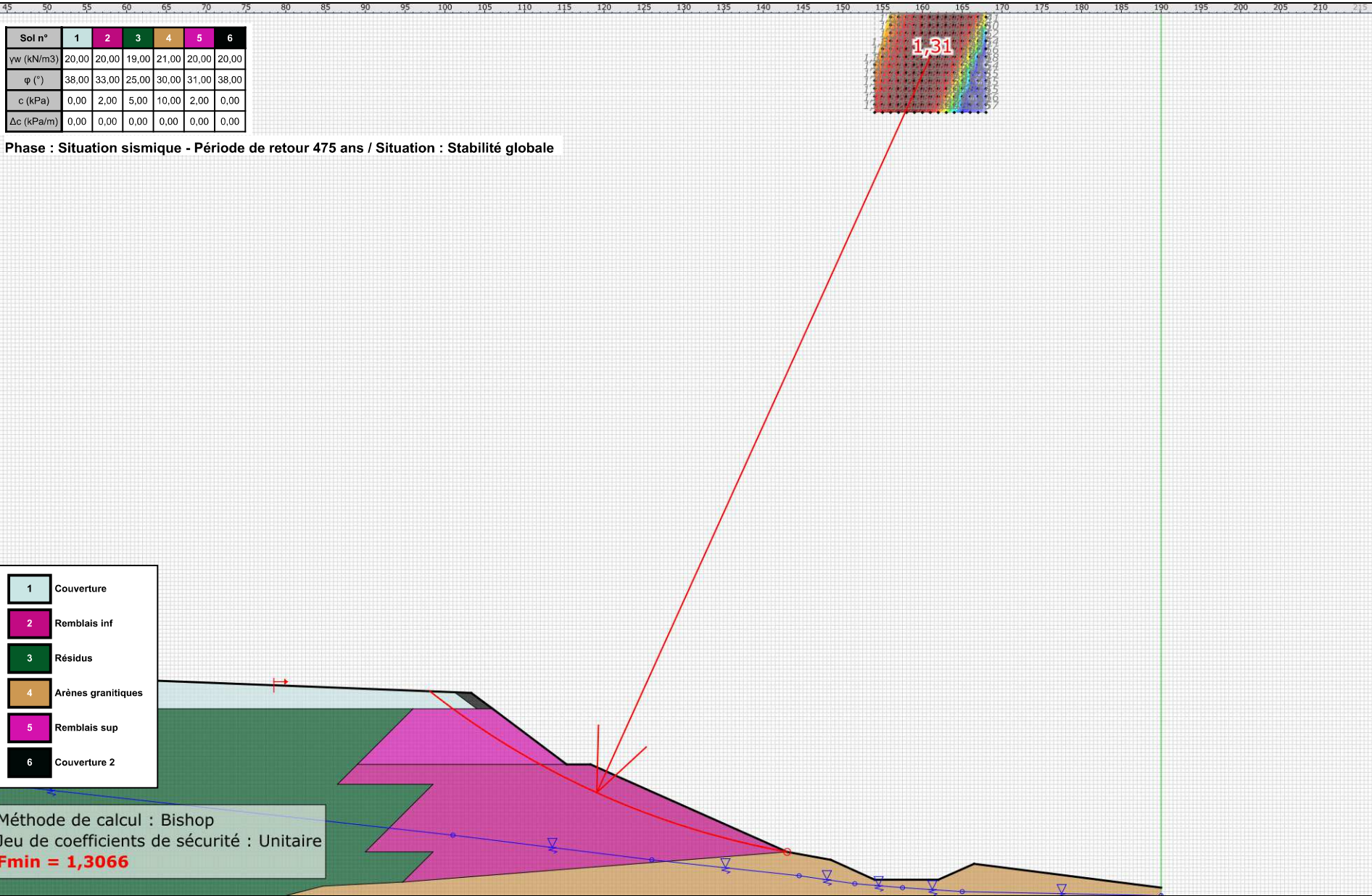
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Résidus  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,3066

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 869; X0= 161,00; Y0= 596,50; R= 101,60





| Sol n°     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 19,00 | 21,00 | 20,00 | 20,00 |
| φ (°)      | 38,00 | 33,00 | 25,00 | 30,00 | 31,00 | 38,00 |
| c (kPa)    | 0,00  | 2,00  | 5,00  | 10,00 | 2,00  | 0,00  |
| Δc (kPa/m) | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |

Phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans / Situation : Stabilité globale

- 1 Couverture
- 2 Remblais inf
- 3 Résidus
- 4 Arènes granitiques
- 5 Remblais sup
- 6 Couverture 2

Méthode de calcul : Bishop  
 Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire  
**Fmin = 1,306**



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:16  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,500; Y= 535,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,054

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,027

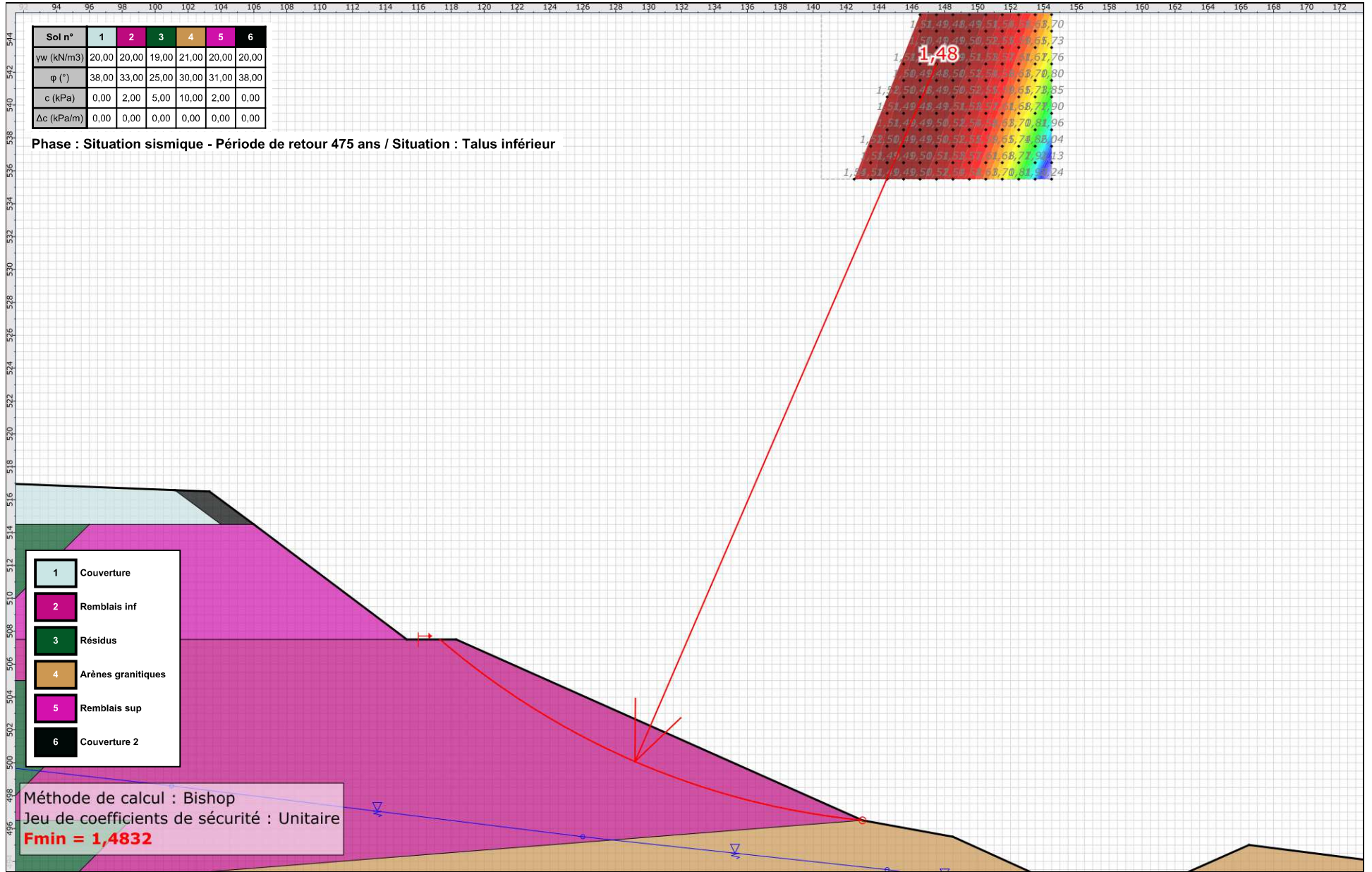
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Arènes granitiques

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,4832

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 195; X0= 147,50; Y0= 542,50; R= 46,21





Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:17  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 118,500; Y= 526,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,054

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,027

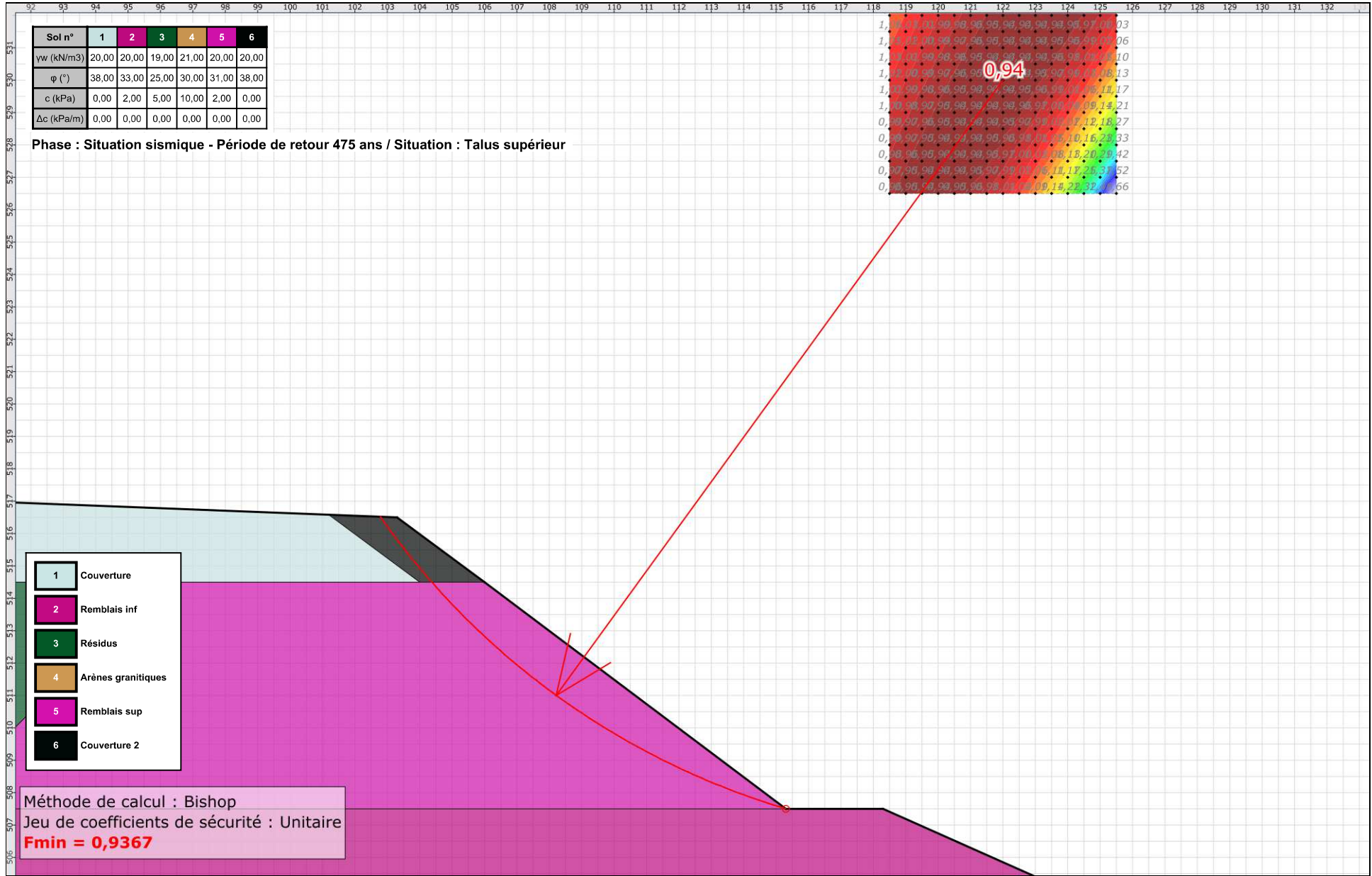
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,9367

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 122,00; Y0= 530,00; R= 23,47





# Données de la phase 4

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |
|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus            | 4  | 5       | 3       | Couverture 2       | 5  | 3       | 6       | Remblais sup       |
| 6  | 6       | 7       | Remblais inf       | 7  | 7       | 8       | Remblais inf       | 9  | 9       | 10      | Résidus            |
| 10 | 10      | 11      | Remblais inf       | 11 | 11      | 12      | Résidus            | 12 | 12      | 13      | Remblais inf       |
| 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques | 14 | 16      | 17      | Arènes granitiques | 15 | 17      | 18      | Arènes granitiques |
| 16 | 18      | 14      | Arènes granitiques | 17 | 16      | 1       | Résidus            | 21 | 1       | 4       | Couverture         |
| 22 | 8       | 29      | Arènes granitiques | 23 | 29      | 30      | Arènes granitiques | 24 | 30      | 32      | Arènes granitiques |
| 25 | 32      | 31      | Arènes granitiques | 26 | 31      | 26      | Arènes granitiques | 27 | 13      | 8       | Arènes granitiques |
| 28 | 6       | 34      | Remblais inf       | 29 | 34      | 2       | Remblais sup       | 30 | 34      | 9       | Remblais inf       |
| 31 | 2       | 35      | Remblais sup       | 32 | 3       | 35      | Remblais sup       | 33 | 35      | 37      | Couverture         |
| 34 | 37      | 4       | Couverture         | 35 | 37      | 5       | Couverture 2       |    |         |         |                    |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:18  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Profil 1

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 154,000; Y= 589,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,069

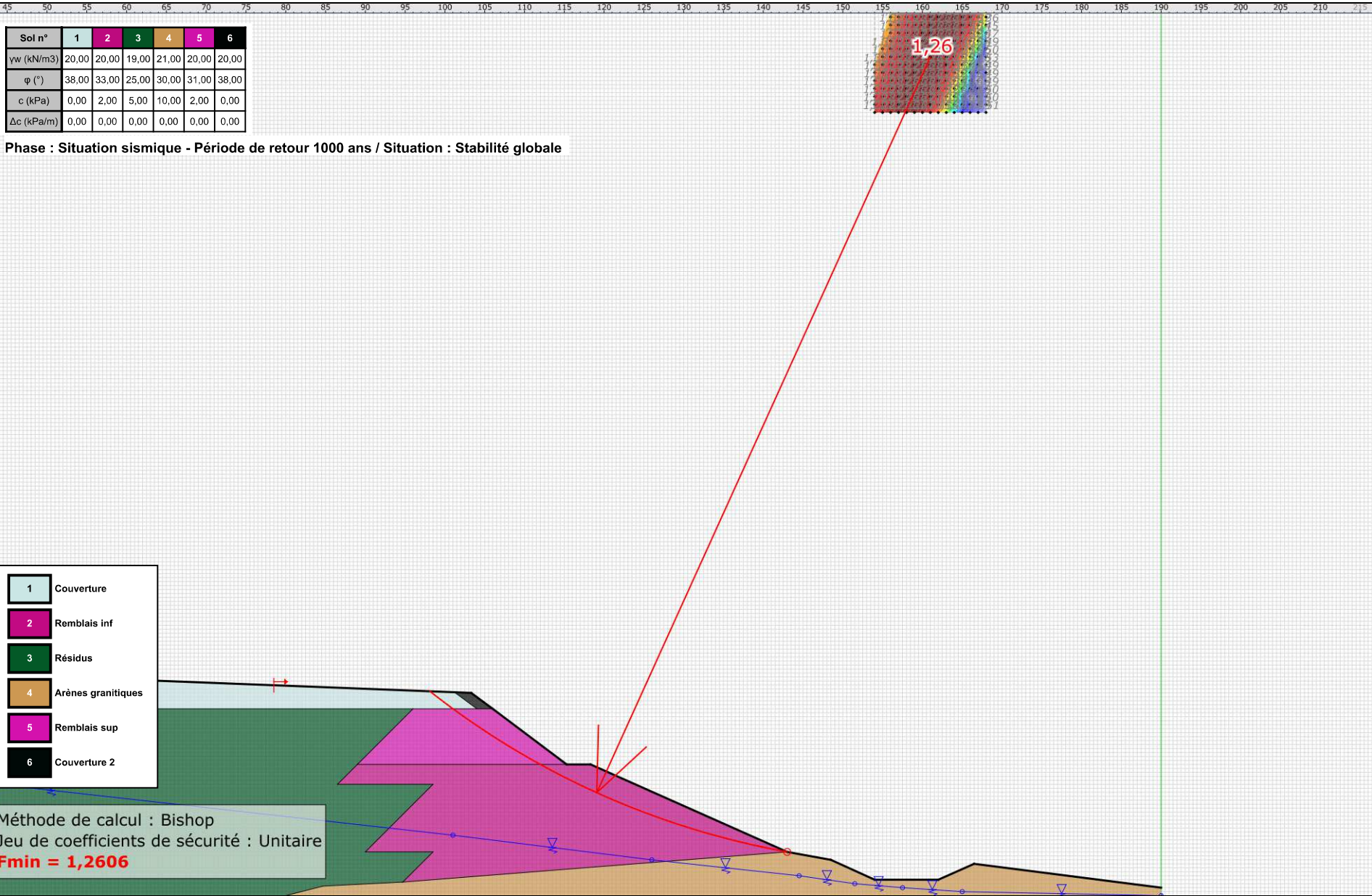
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,035

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Résidus  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2606

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 869; X0= 161,00; Y0= 596,50; R= 101,60



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:18  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1



# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,500; Y= 535,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,069

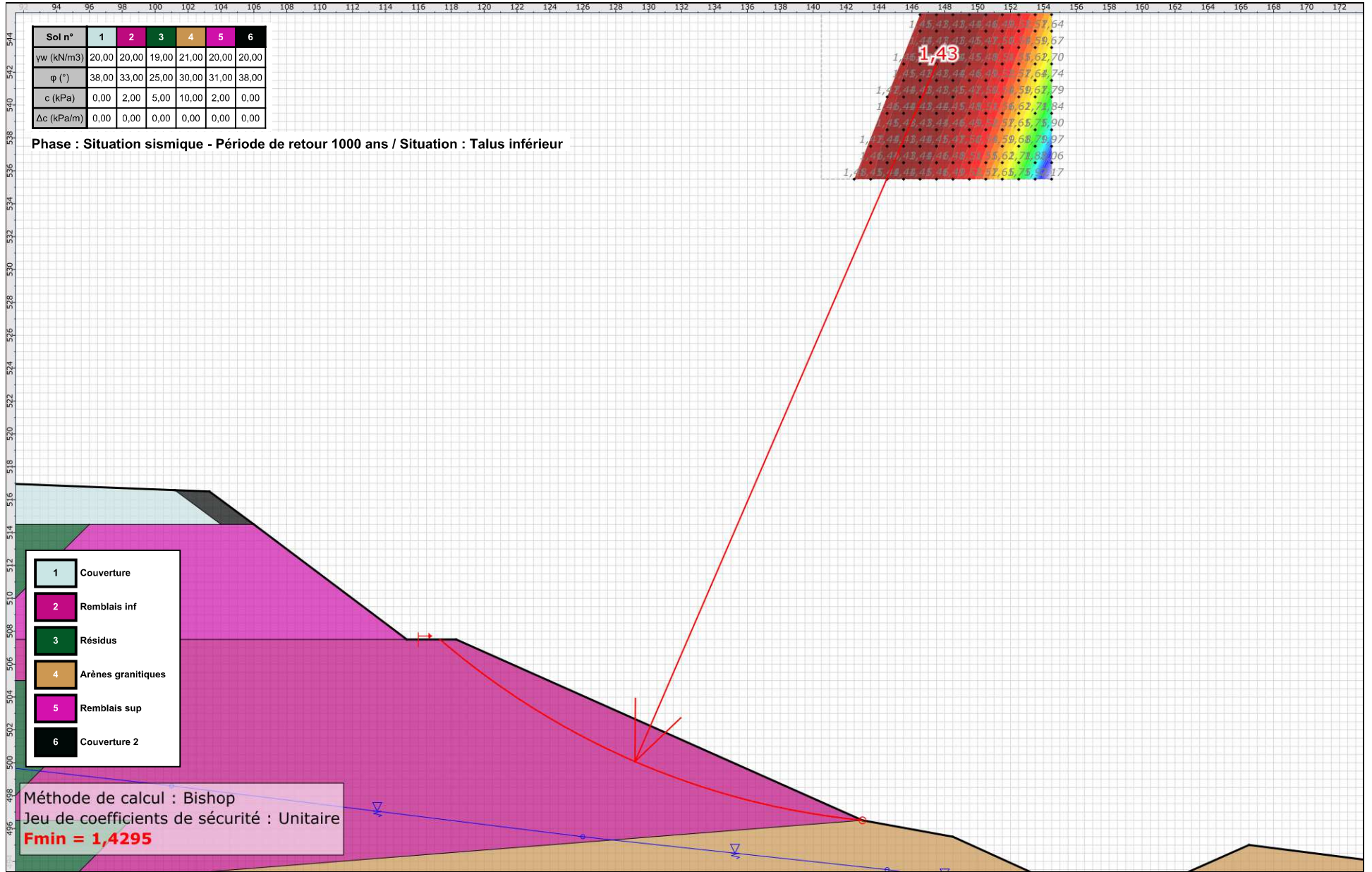
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,035

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Arènes granitiques

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,4295

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 195; X0= 147,50; Y0= 542,50; R= 46,21



# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 118,500; Y= 526,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,069

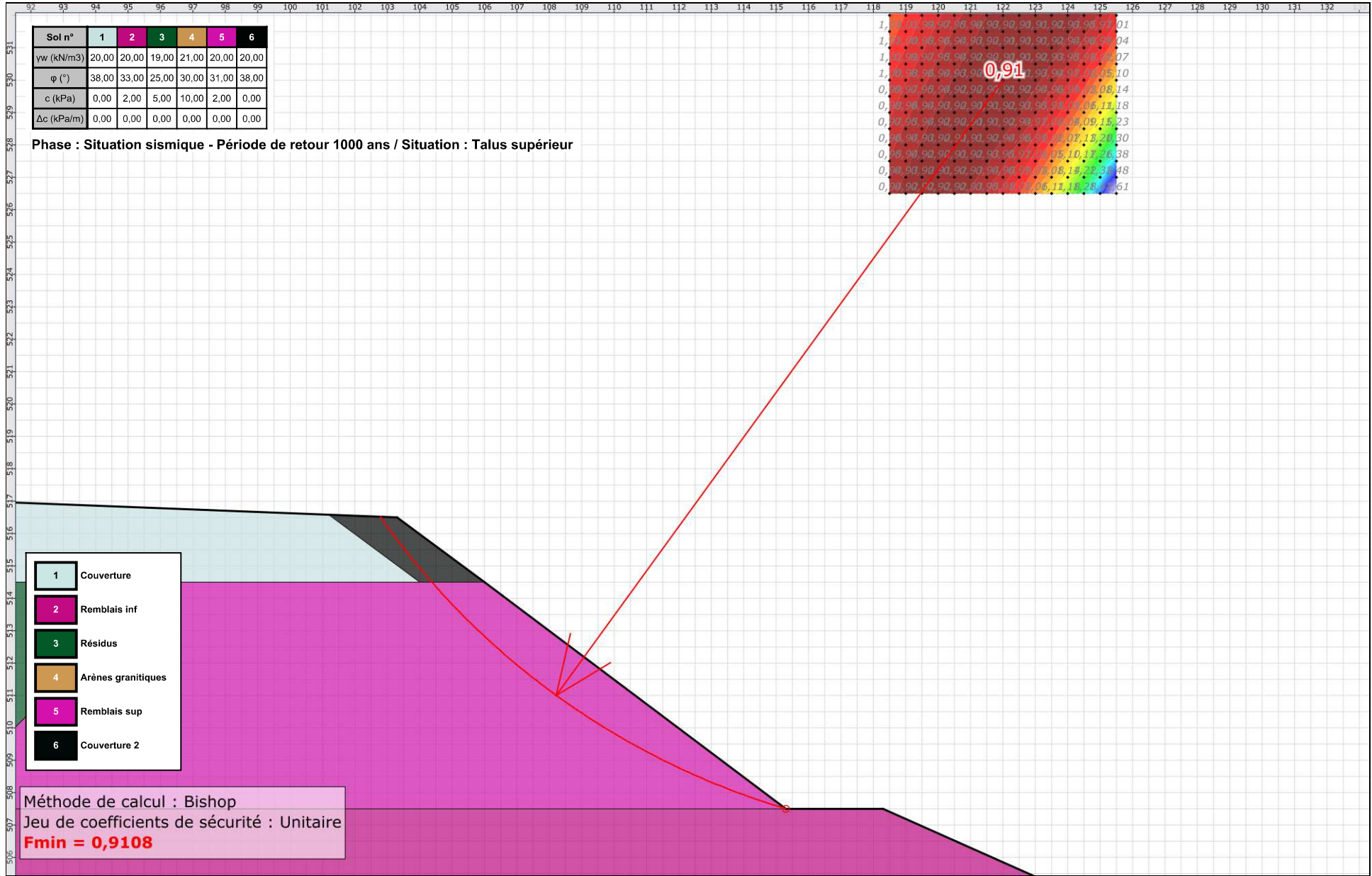
Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,035

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,9108

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 122,00; Y0= 530,00; R= 23,47





# Données de la phase 5

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent    |
|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|----|---------|---------|--------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus            | 4  | 5       | 3       | Couverture 2       | 5  | 3       | 6       | Remblais sup       |
| 6  | 6       | 7       | Remblais inf       | 7  | 7       | 8       | Remblais inf       | 9  | 9       | 10      | Résidus            |
| 10 | 10      | 11      | Remblais inf       | 11 | 11      | 12      | Résidus            | 12 | 12      | 13      | Remblais inf       |
| 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques | 14 | 16      | 17      | Arènes granitiques | 15 | 17      | 18      | Arènes granitiques |
| 16 | 18      | 14      | Arènes granitiques | 17 | 16      | 1       | Résidus            | 21 | 1       | 4       | Couverture         |
| 22 | 8       | 29      | Arènes granitiques | 23 | 29      | 30      | Arènes granitiques | 24 | 30      | 32      | Arènes granitiques |
| 25 | 32      | 31      | Arènes granitiques | 26 | 31      | 26      | Arènes granitiques | 27 | 13      | 8       | Arènes granitiques |
| 28 | 6       | 34      | Remblais inf       | 29 | 34      | 2       | Remblais sup       | 30 | 34      | 9       | Remblais inf       |
| 31 | 2       | 35      | Remblais sup       | 32 | 3       | 35      | Remblais sup       | 33 | 35      | 37      | Couverture         |
| 34 | 37      | 4       | Couverture         | 35 | 37      | 5       | Couverture 2       |    |         |         |                    |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 154,500; Y= 591,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,148

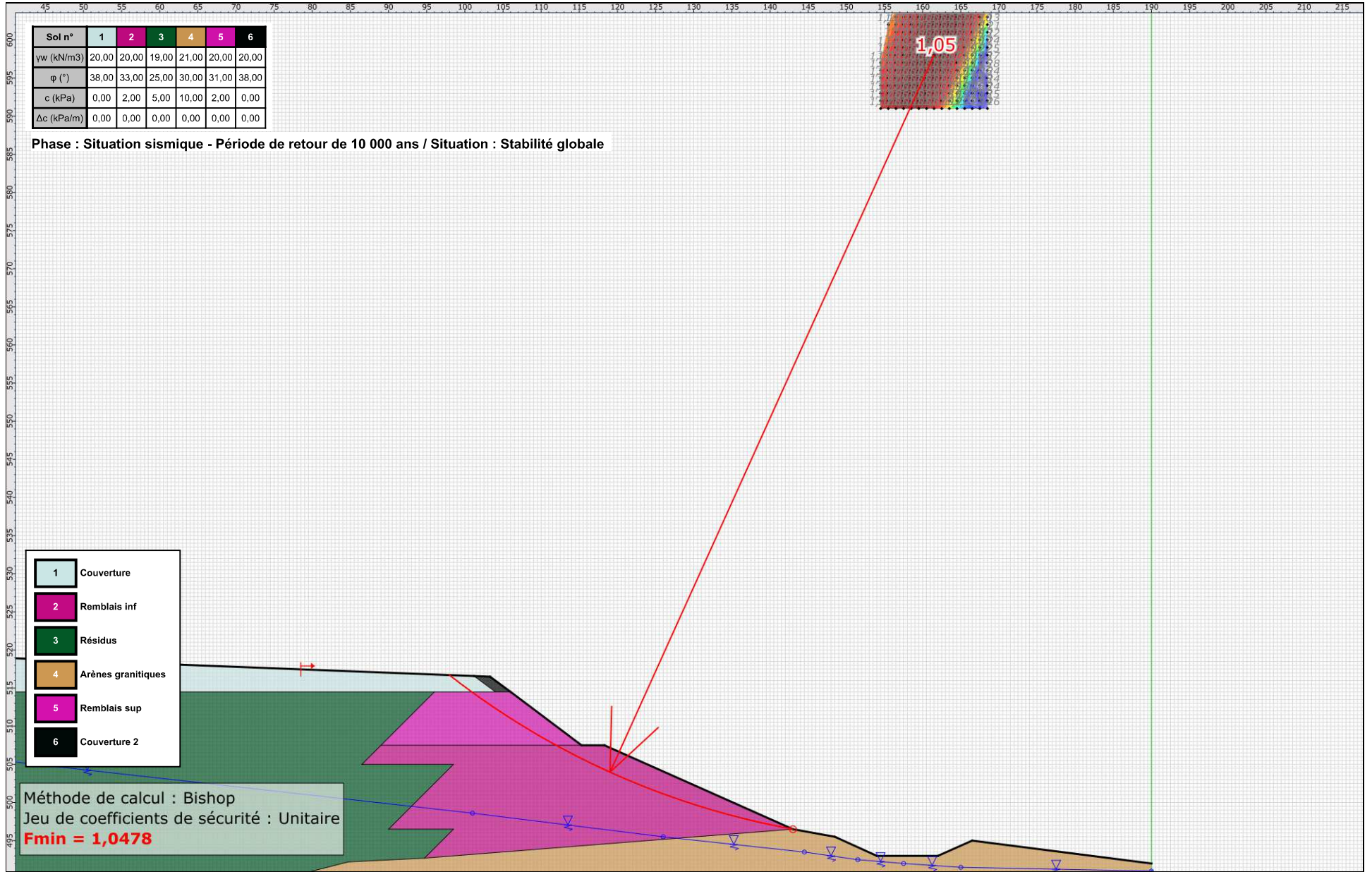
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,074

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Résidus  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0478

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 838; X0= 161,50; Y0= 598,00; R= 103,17



# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,500; Y= 535,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,148

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,074

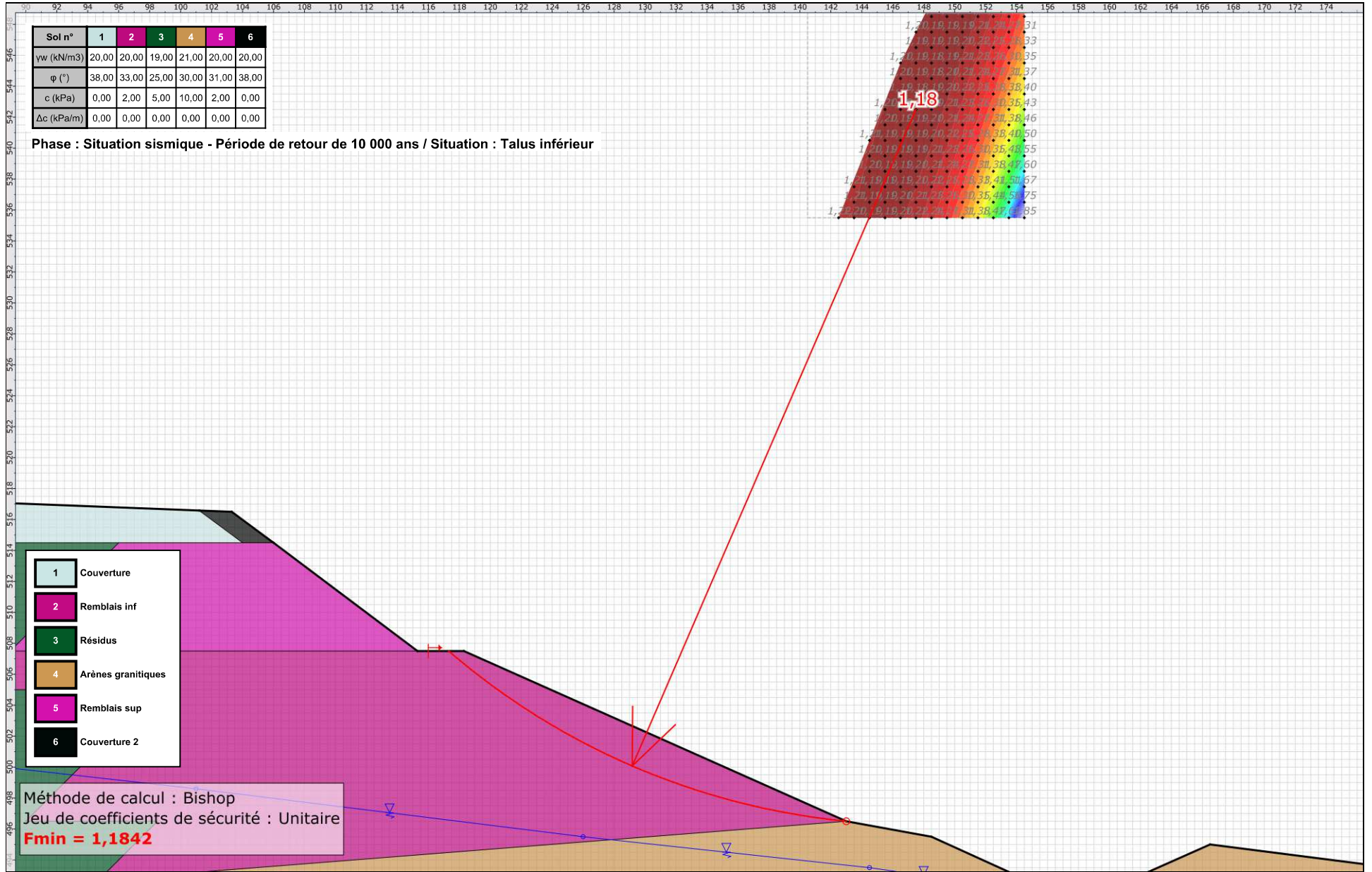
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Arènes granitiques

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1842

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 195; X0= 147,50; Y0= 542,50; R= 46,21





Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:05:21  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Profil 1

# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 118,500; Y= 527,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,148

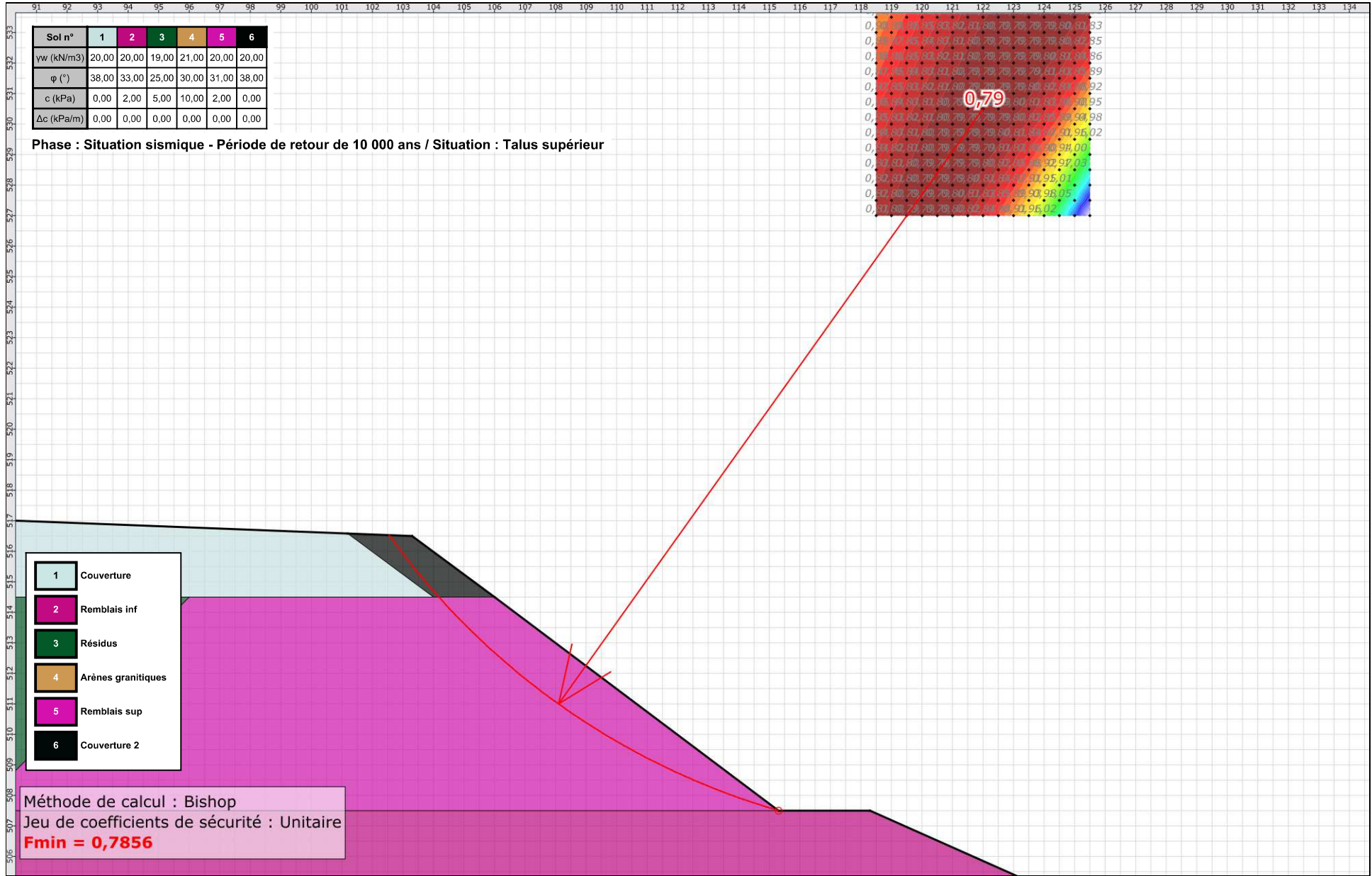
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,074

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,7856

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 122,00; Y0= 530,50; R= 23,95



## 12.2. Profil 2



# Données du projet

Numéro d'affaire : ORANO - Montmassacrot

Titre du calcul : Calcul de stabilité

Lieu : N/A

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m<sup>3</sup>

γw : 10.0

## Couches de sol

|   | Nom                   | Couleur | γ    | φ     | c    | Δc  | qs clous | pl | KsB | Anisotropie | Favorable | Coefficients de sécurité spécifiques |
|---|-----------------------|---------|------|-------|------|-----|----------|----|-----|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Couverture            |         | 20,0 | 38,00 | 0,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 2 | Remblais inf          |         | 17,0 | 33,00 | 2,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 3 | Résidus               |         | 19,0 | 25,00 | 5,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 4 | Arènes granitiques    |         | 21,0 | 30,00 | 10,0 | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 5 | Remblais sup          |         | 17,0 | 33,00 | 2,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 6 | Couverture 2          |         | 20,0 | 38,00 | 0,0  | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |
| 7 | Substratum granitique |         | 21,0 | 40,00 | 10,0 | 0,0 | -        | -  | -   | Non         | Non       | Non                                  |

## Couches de sol (cont.)

|   | Nom                   | Couleur | Γγ | Γc | Γtan(φ) | Type de cohésion | Courbe   |
|---|-----------------------|---------|----|----|---------|------------------|----------|
| 1 | Couverture            |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 2 | Remblais inf          |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 3 | Résidus               |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 4 | Arènes granitiques    |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 5 | Remblais sup          |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 6 | Couverture 2          |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |
| 7 | Substratum granitique |         | -  | -  | -       | Effective        | Linéaire |

## Points

|    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |    | X       | Y       |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1  | 0,000   | 514,500 | 2  | 96,500  | 515,000 | 4  | 0,000   | 520,500 | 5  | 105,330 | 515,000 | 6  | 115,300 | 507,500 | 7  | 118,300 | 507,500 |
| 8  | 143,000 | 497,300 | 9  | 86,500  | 505,000 | 10 | 98,500  | 505,000 | 11 | 90,000  | 496,500 | 12 | 98,500  | 496,500 | 13 | 94,792  | 495,000 |
| 14 | 81,000  | 491,252 | 16 | 0,000   | 470,000 | 17 | 34,900  | 470,000 | 18 | 37,000  | 480,000 | 24 | 190,000 | 491,300 | 34 | 89,000  | 507,500 |
| 37 | 104,182 | 515,212 | 38 | 146,000 | 496,300 | 39 | 190,000 | 496,300 |    |         |         |    |         |         |    |         |         |

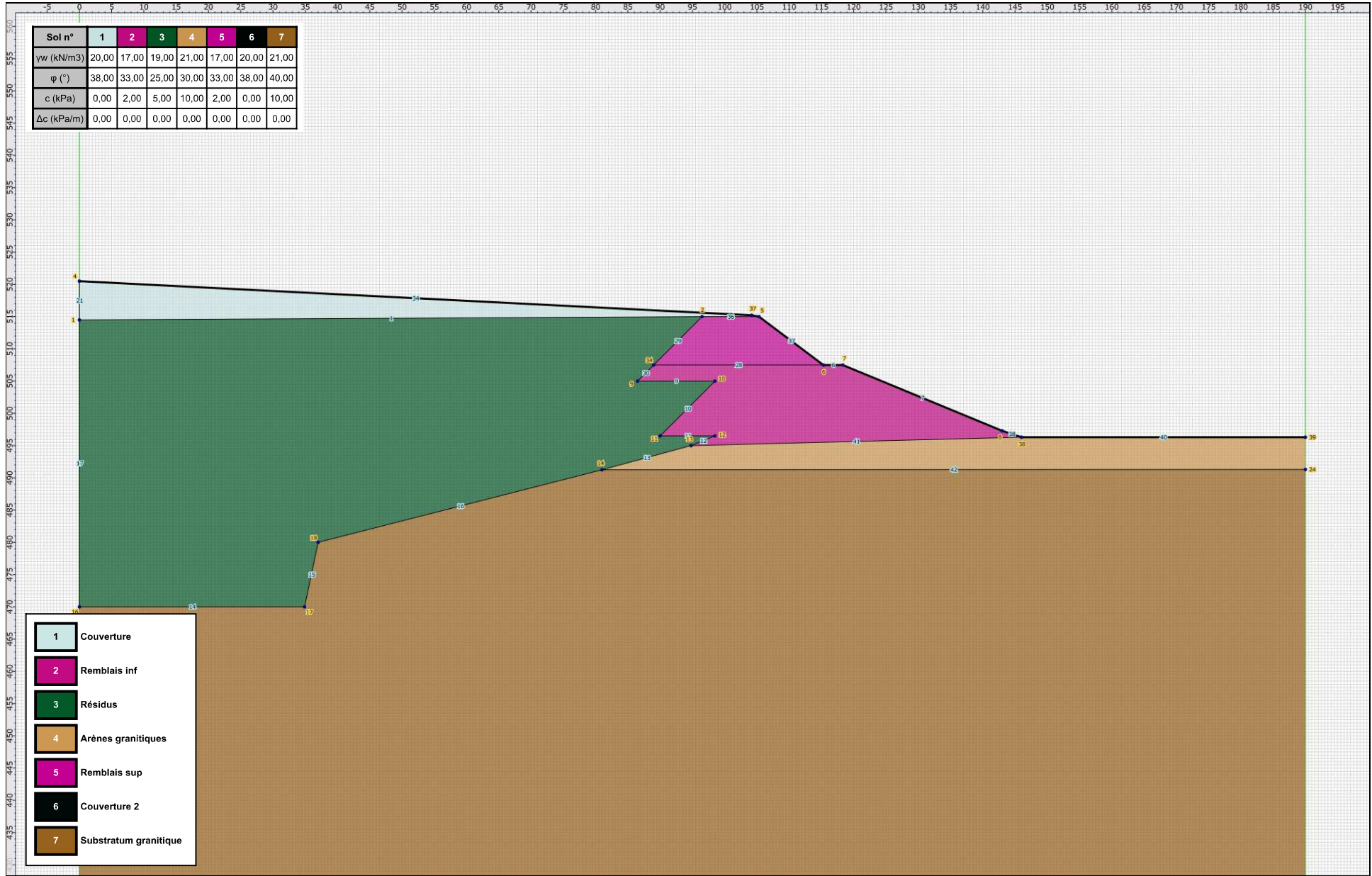
## Segments

|    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    | Point 1 | Point 2 |    |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|
| 1  | 1       | 2       | 6  | 6       | 7       | 7  | 7       | 8       | 9  | 9       | 10      | 10 | 10      | 11      | 11 | 11      | 12      | 12 | 12      | 12      | 13 |
| 13 | 14      | 13      | 14 | 16      | 17      | 15 | 17      | 18      | 16 | 18      | 14      | 17 | 16      | 1       | 21 | 1       | 4       | 28 | 6       | 34      |    |
| 29 | 34      | 2       | 30 | 34      | 9       | 34 | 37      | 4       | 35 | 37      | 5       | 36 | 2       | 5       | 37 | 5       | 6       | 38 | 8       | 38      |    |
| 40 | 38      | 39      | 41 | 38      | 13      | 42 | 14      | 24      |    |         |         |    |         |         |    |         |         |    |         |         |    |



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:10  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Calcul de stabilité



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:10  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Calcul de stabilité

# Données de la phase 1

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |
|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus               | 6  | 6       | 7       | Remblais inf          | 7  | 7       | 8       | Remblais inf          |
| 9  | 9       | 10      | Résidus               | 10 | 10      | 11      | Remblais inf          | 11 | 11      | 12      | Résidus               |
| 12 | 12      | 13      | Remblais inf          | 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques    | 14 | 16      | 17      | Substratum granitique |
| 15 | 17      | 18      | Substratum granitique | 16 | 18      | 14      | Substratum granitique | 17 | 16      | 1       | Résidus               |
| 21 | 1       | 4       | Couverture            | 28 | 6       | 34      | Remblais inf          | 29 | 34      | 2       | Remblais sup          |
| 30 | 34      | 9       | Remblais inf          | 34 | 37      | 4       | Couverture            | 35 | 37      | 5       | Couverture            |
| 36 | 2       | 5       | Remblais sup          | 37 | 5       | 6       | Remblais sup          | 38 | 8       | 38      | Remblais inf          |
| 40 | 38      | 39      | Arènes granitiques    | 41 | 38      | 13      | Arènes granitiques    | 42 | 14      | 24      | Substratum granitique |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:10  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Calcul de stabilité

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 142,000; Y= 561,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

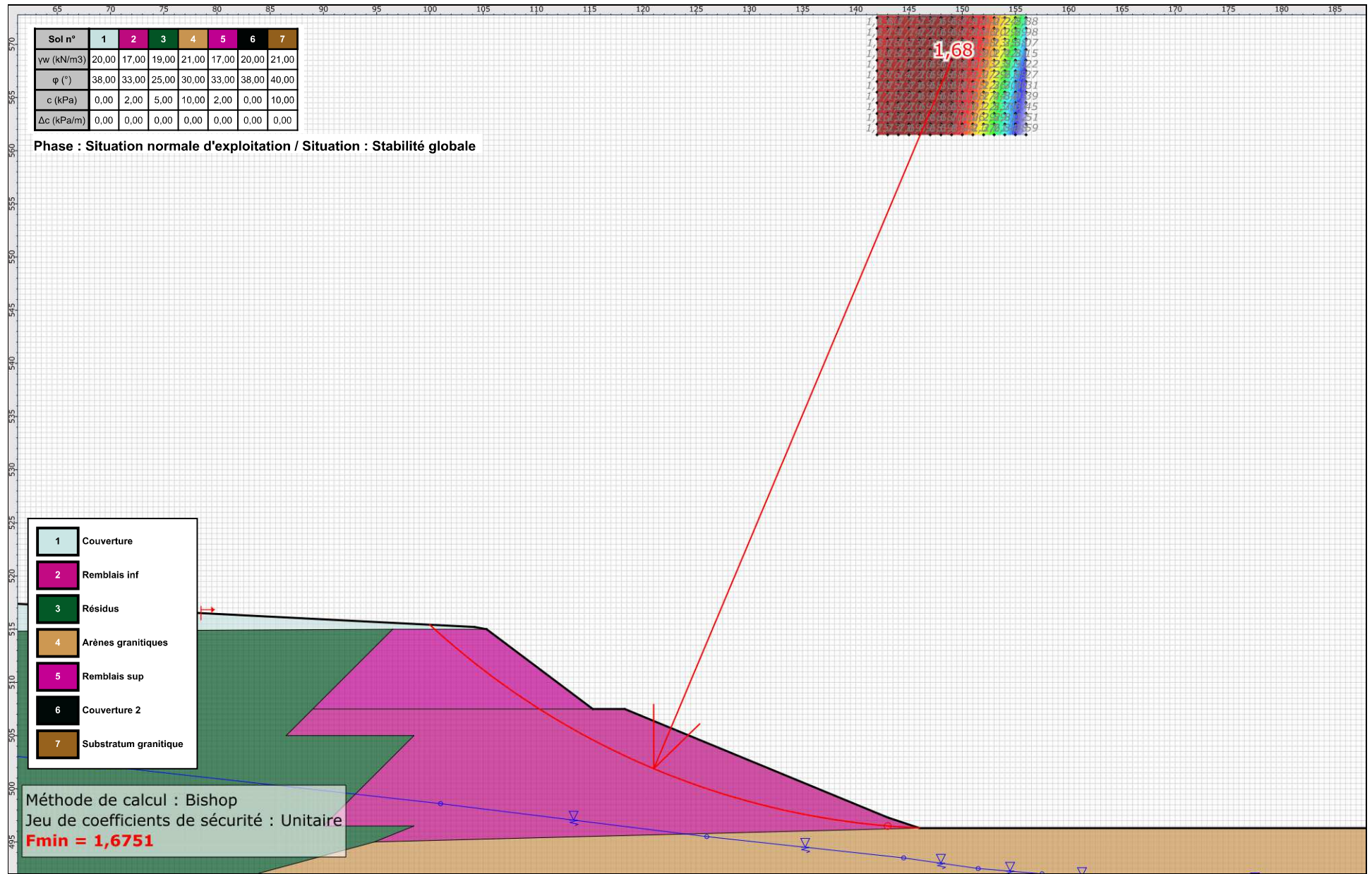
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Couverture 2  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6751

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 149,00; Y0= 568,50; R= 72,24





# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,500; Y= 535,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

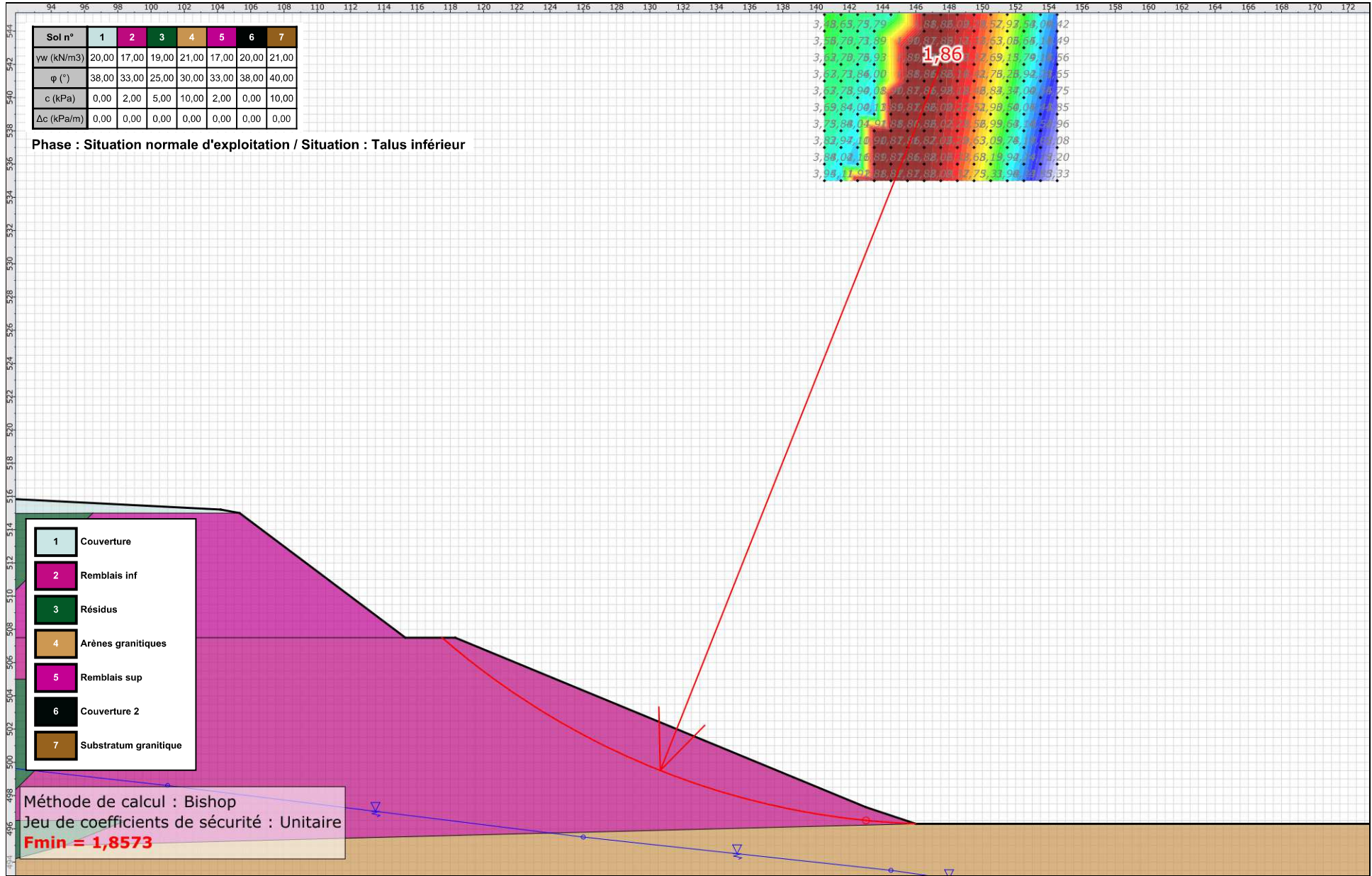
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Couverture 2

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,8573

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 838; X0= 147,50; Y0= 542,00; R= 45,72





# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation normale d'exploitation

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 116,500; Y= 522,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

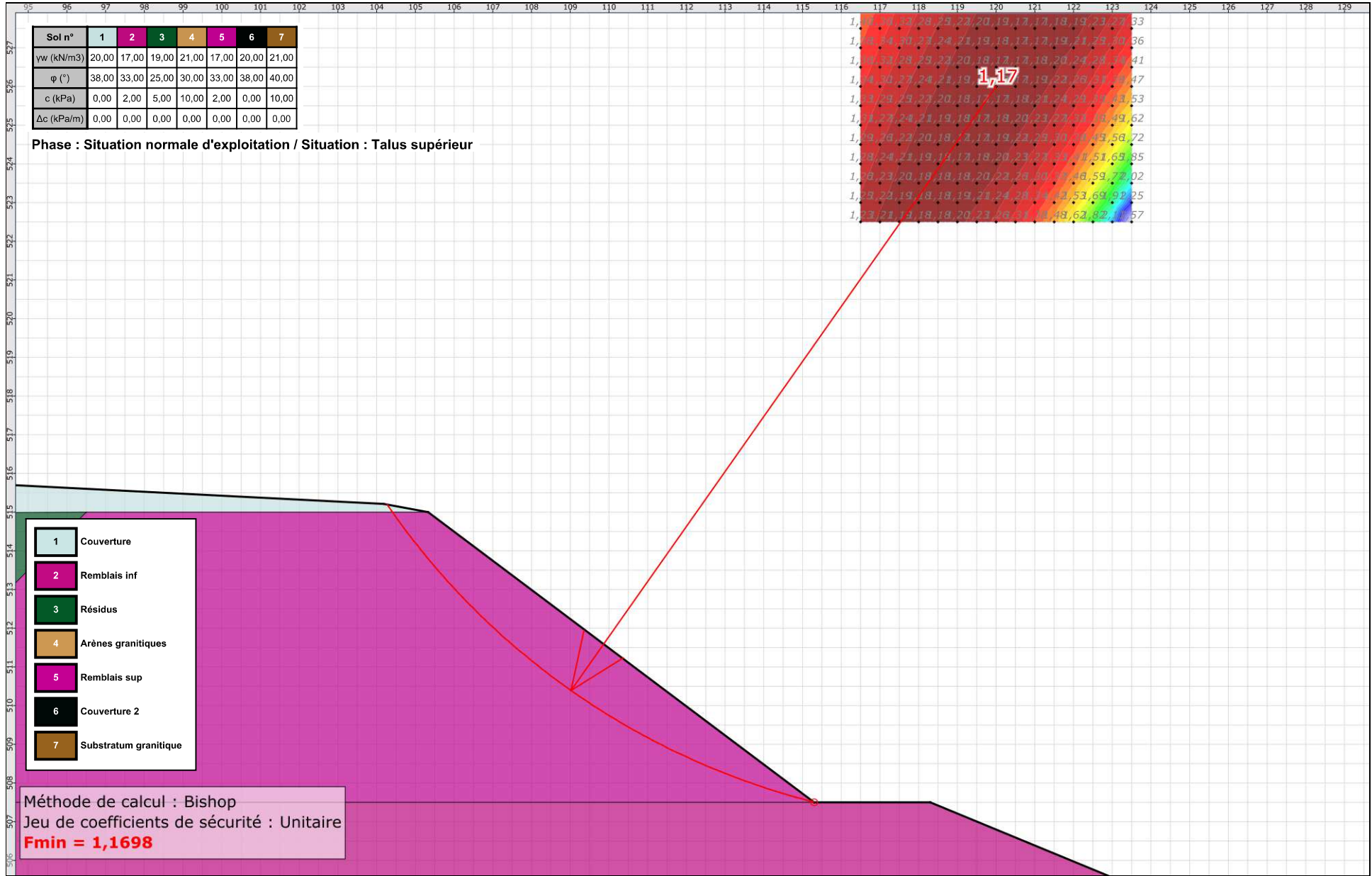
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1698

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 120,00; Y0= 526,00; R= 19,08



# Données de la phase 2

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |
|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus               | 6  | 6       | 7       | Remblais inf          | 7  | 7       | 8       | Remblais inf          |
| 9  | 9       | 10      | Résidus               | 10 | 10      | 11      | Remblais inf          | 11 | 11      | 12      | Résidus               |
| 12 | 12      | 13      | Remblais inf          | 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques    | 14 | 16      | 17      | Substratum granitique |
| 15 | 17      | 18      | Substratum granitique | 16 | 18      | 14      | Substratum granitique | 17 | 16      | 1       | Résidus               |
| 21 | 1       | 4       | Couverture            | 28 | 6       | 34      | Remblais inf          | 29 | 34      | 2       | Remblais sup          |
| 30 | 34      | 9       | Remblais inf          | 34 | 37      | 4       | Couverture            | 35 | 37      | 5       | Couverture            |
| 36 | 2       | 5       | Remblais sup          | 37 | 5       | 6       | Remblais sup          | 38 | 8       | 38      | Remblais inf          |
| 40 | 38      | 39      | Arènes granitiques    | 41 | 38      | 13      | Arènes granitiques    | 42 | 14      | 24      | Substratum granitique |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 510,600 | 0,00  | 2 | 51,000  | 506,500 | 0,00  | 3 | 101,000 | 500,100 | 0,00  | 4 | 126,000 | 497,000 | 0,00  | 5 | 144,500 | 495,000 | 0,00 |
| 6 | 151,800 | 493,960 | 0,00  | 7 | 154,000 | 493,000 | 0,00  | 8 | 162,000 | 493,000 | 0,00  | 9 | 190,000 | 492,000 | 0,00  |   |         |         |      |



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:12  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Calcul de stabilité

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 142,000; Y= 561,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

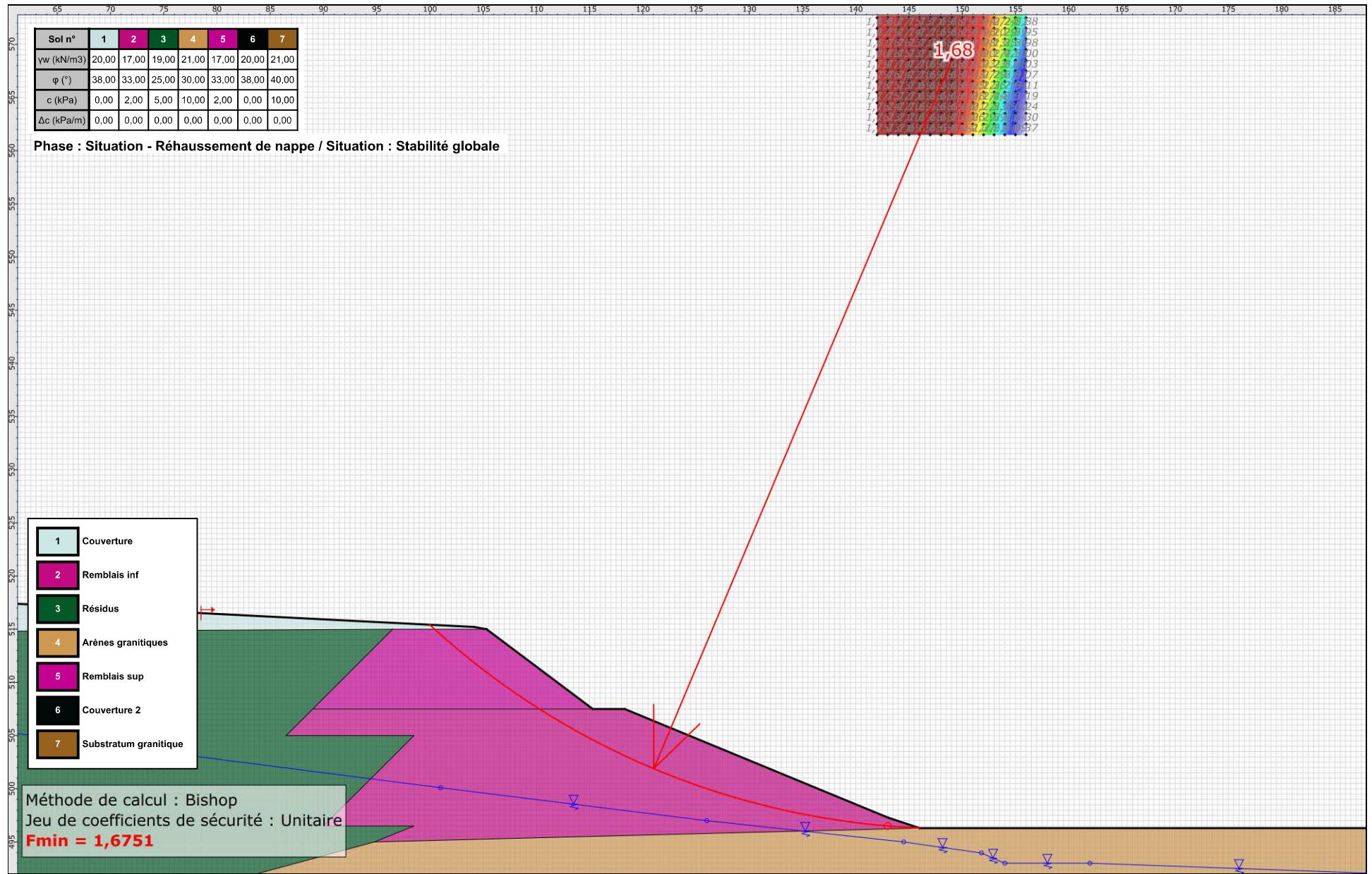
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Couverture 2  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6751

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 149,00; Y0= 568,50; R= 72,24



# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 141,000; Y= 536,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 146,000; Y= 496,300

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

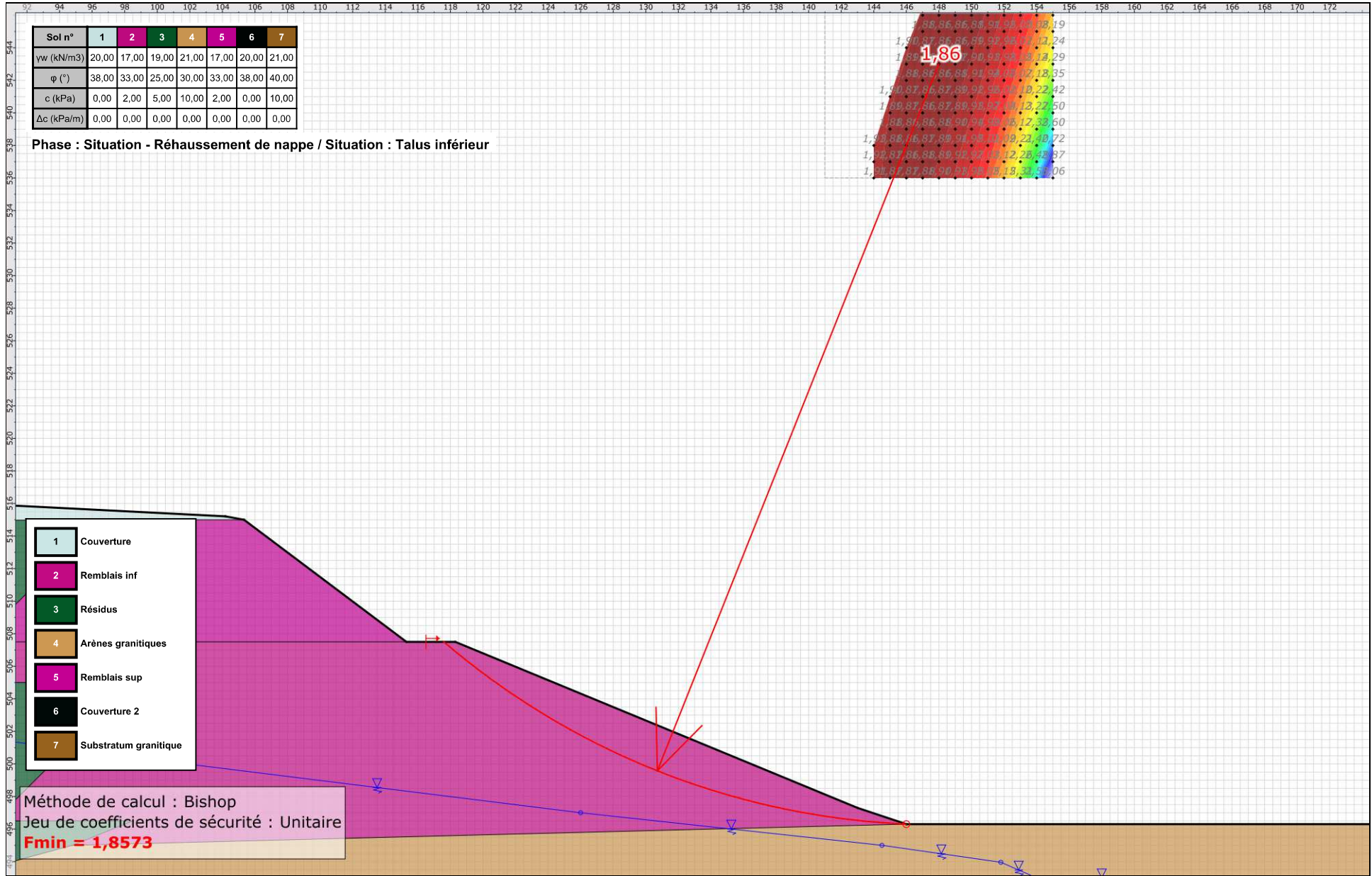
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Résidus

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,8573

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 652; X0= 148,00; Y0= 543,00; R= 46,74





Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:14  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Calcul de stabilité

# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation - Réhaussement de nappe

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 116,500; Y= 522,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

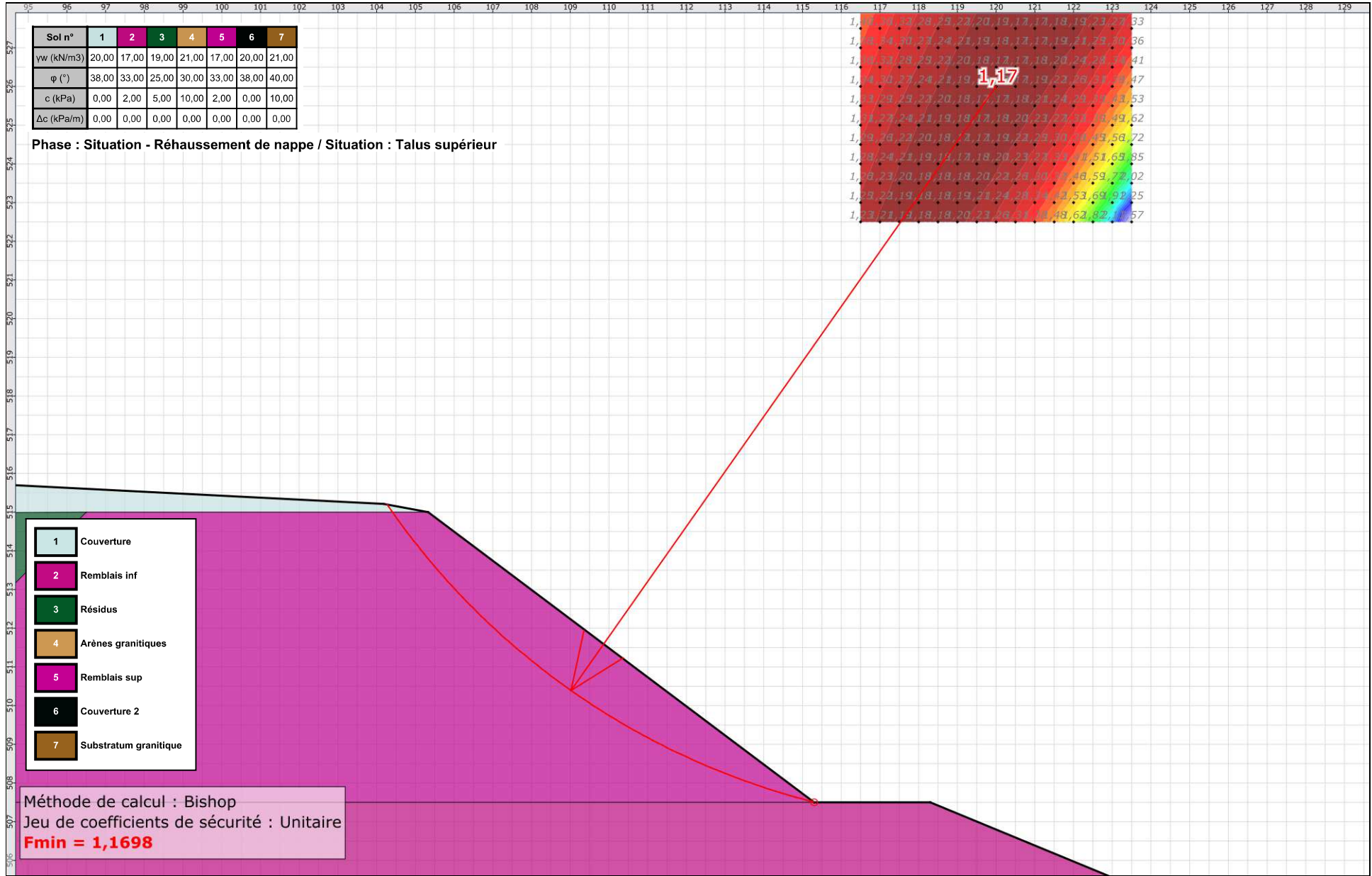
Prise en compte du séisme : Non

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1698

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 120,00; Y0= 526,00; R= 19,08



# Données de la phase 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |
|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus               | 6  | 6       | 7       | Remblais inf          | 7  | 7       | 8       | Remblais inf          |
| 9  | 9       | 10      | Résidus               | 10 | 10      | 11      | Remblais inf          | 11 | 11      | 12      | Résidus               |
| 12 | 12      | 13      | Remblais inf          | 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques    | 14 | 16      | 17      | Substratum granitique |
| 15 | 17      | 18      | Substratum granitique | 16 | 18      | 14      | Substratum granitique | 17 | 16      | 1       | Résidus               |
| 21 | 1       | 4       | Couverture            | 28 | 6       | 34      | Remblais inf          | 29 | 34      | 2       | Remblais sup          |
| 30 | 34      | 9       | Remblais inf          | 34 | 37      | 4       | Couverture            | 35 | 37      | 5       | Couverture            |
| 36 | 2       | 5       | Remblais sup          | 37 | 5       | 6       | Remblais sup          | 38 | 8       | 38      | Remblais inf          |
| 40 | 38      | 39      | Arènes granitiques    | 41 | 38      | 13      | Arènes granitiques    | 42 | 14      | 24      | Substratum granitique |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



Talren v5  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:14  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Calcul de stabilité

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 142,500; Y= 563,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,054

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,027

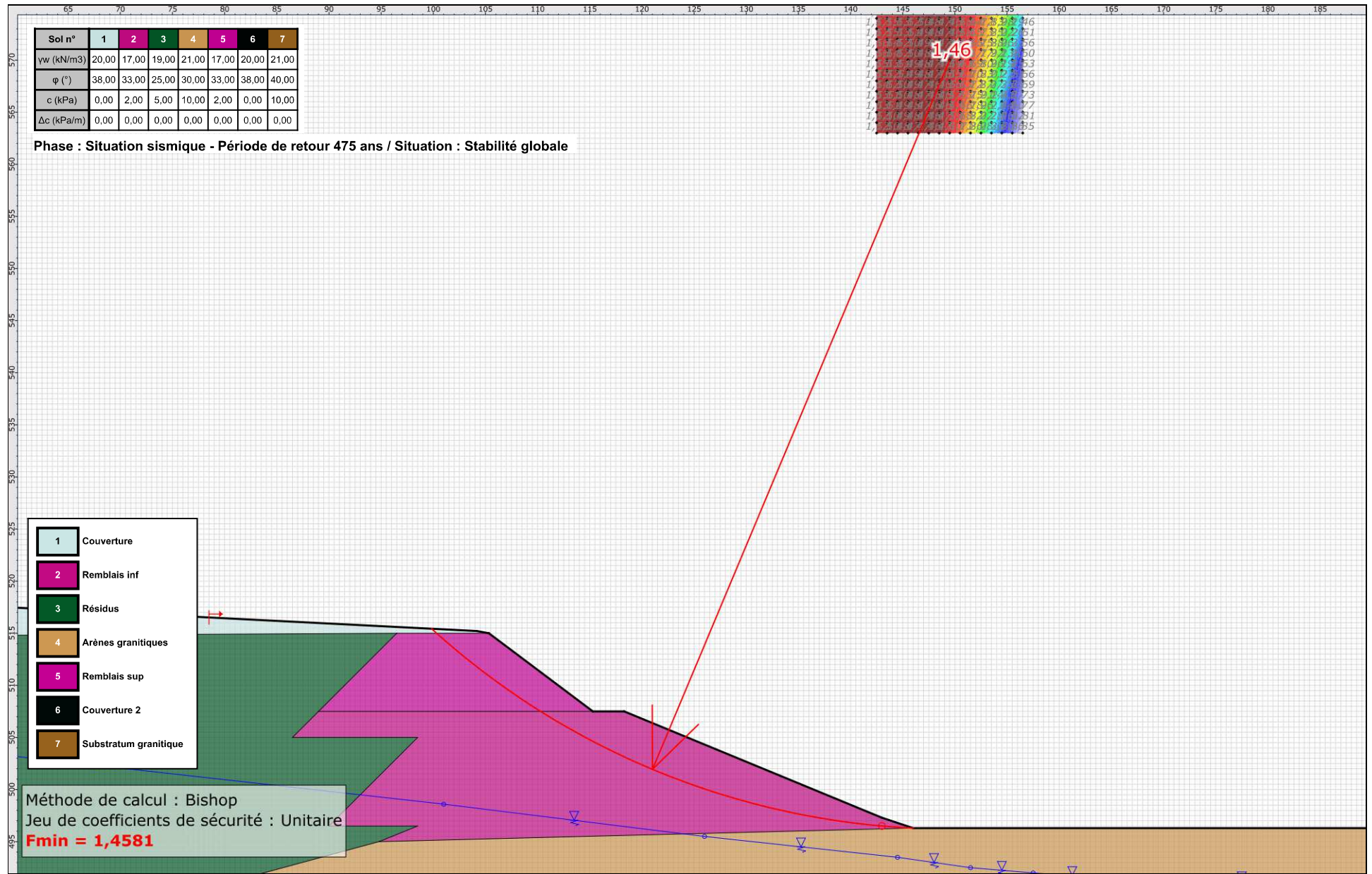
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Couverture 2  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,4581

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 149,50; Y0= 570,00; R= 73,78





| Sol n°     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| vw (kN/m3) | 20,00 | 17,00 | 19,00 | 21,00 | 17,00 | 20,00 | 21,00 |
| φ (°)      | 38,00 | 33,00 | 25,00 | 30,00 | 33,00 | 38,00 | 40,00 |
| c (kPa)    | 0,00  | 2,00  | 5,00  | 10,00 | 2,00  | 0,00  | 10,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |

Phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans / Situation : Stabilité globale

- 1 Couverture
- 2 Remblais inf
- 3 Résidus
- 4 Arènes granitiques
- 5 Remblais sup
- 6 Couverture 2
- 7 Substratum granitique

Méthode de calcul : Bishop  
 Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire  
**Fmin = 1,4581**



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:15  
 Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE

Projet : Calcul de stabilité



# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,000; Y= 534,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,054

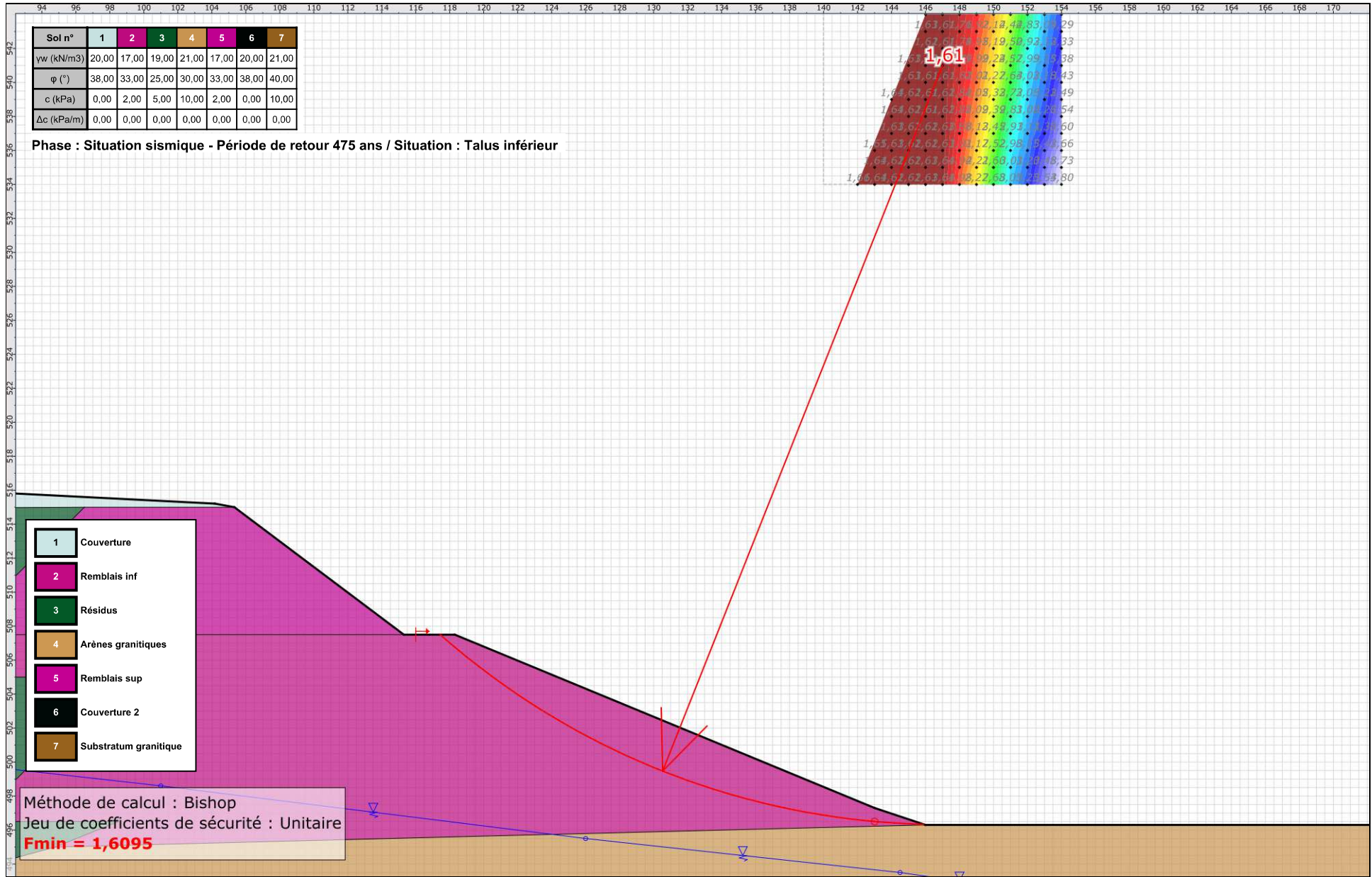
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,027

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Résidus

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6095

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 650; X0= 147,00; Y0= 541,00; R= 44,67



# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 475 ans

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 116,500; Y= 522,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,054

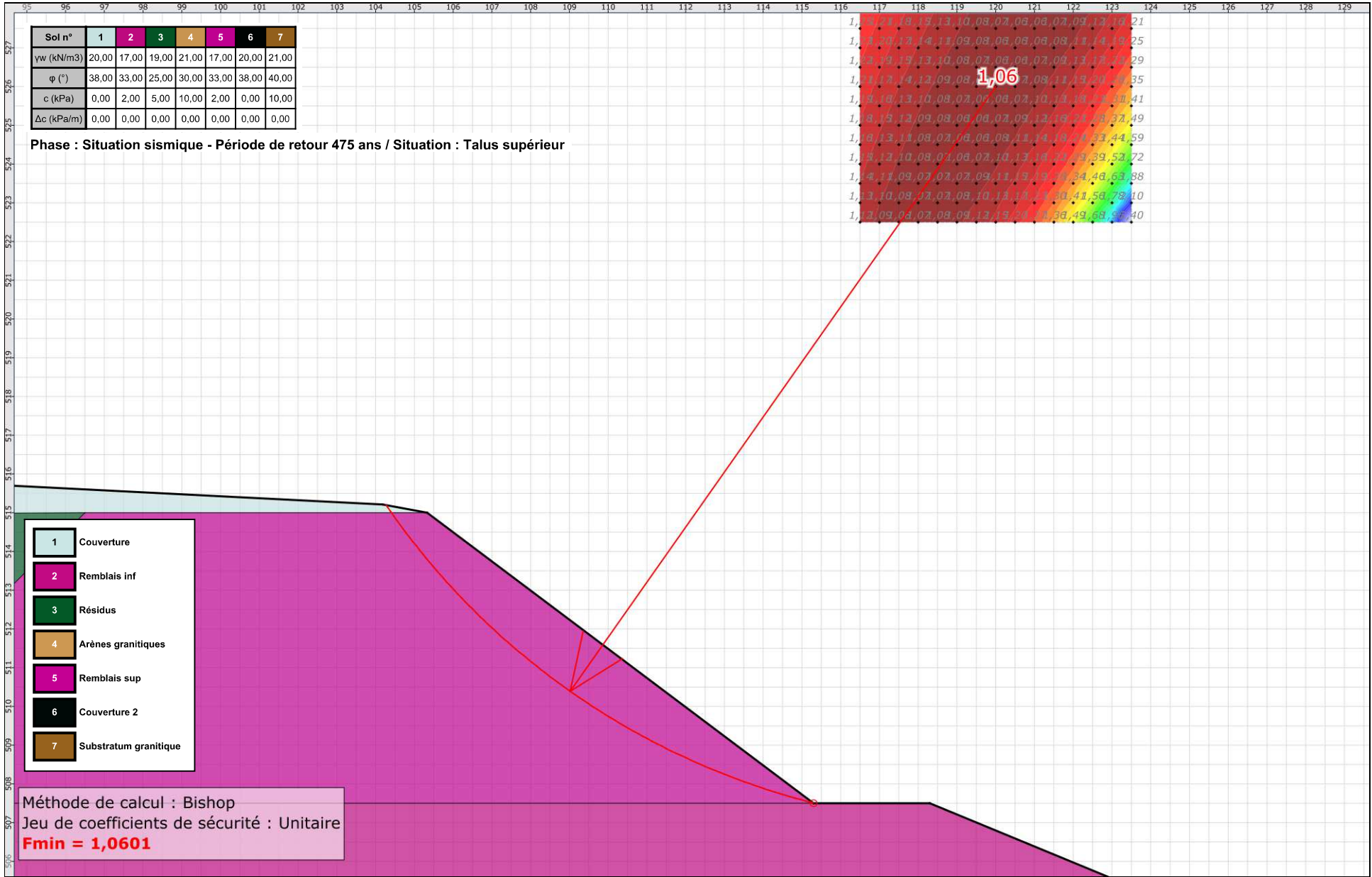
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,027

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0601

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 120,00; Y0= 526,00; R= 19,08



# Données de la phase 4

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |
|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus               | 6  | 6       | 7       | Remblais inf          | 7  | 7       | 8       | Remblais inf          |
| 9  | 9       | 10      | Résidus               | 10 | 10      | 11      | Remblais inf          | 11 | 11      | 12      | Résidus               |
| 12 | 12      | 13      | Remblais inf          | 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques    | 14 | 16      | 17      | Substratum granitique |
| 15 | 17      | 18      | Substratum granitique | 16 | 18      | 14      | Substratum granitique | 17 | 16      | 1       | Résidus               |
| 21 | 1       | 4       | Couverture            | 28 | 6       | 34      | Remblais inf          | 29 | 34      | 2       | Remblais sup          |
| 30 | 34      | 9       | Remblais inf          | 34 | 37      | 4       | Couverture            | 35 | 37      | 5       | Couverture            |
| 36 | 2       | 5       | Remblais sup          | 37 | 5       | 6       | Remblais sup          | 38 | 8       | 38      | Remblais inf          |
| 40 | 38      | 39      | Arènes granitiques    | 41 | 38      | 13      | Arènes granitiques    | 42 | 14      | 24      | Substratum granitique |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:16  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Calcul de stabilité

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 142,500; Y= 563,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,069

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,035

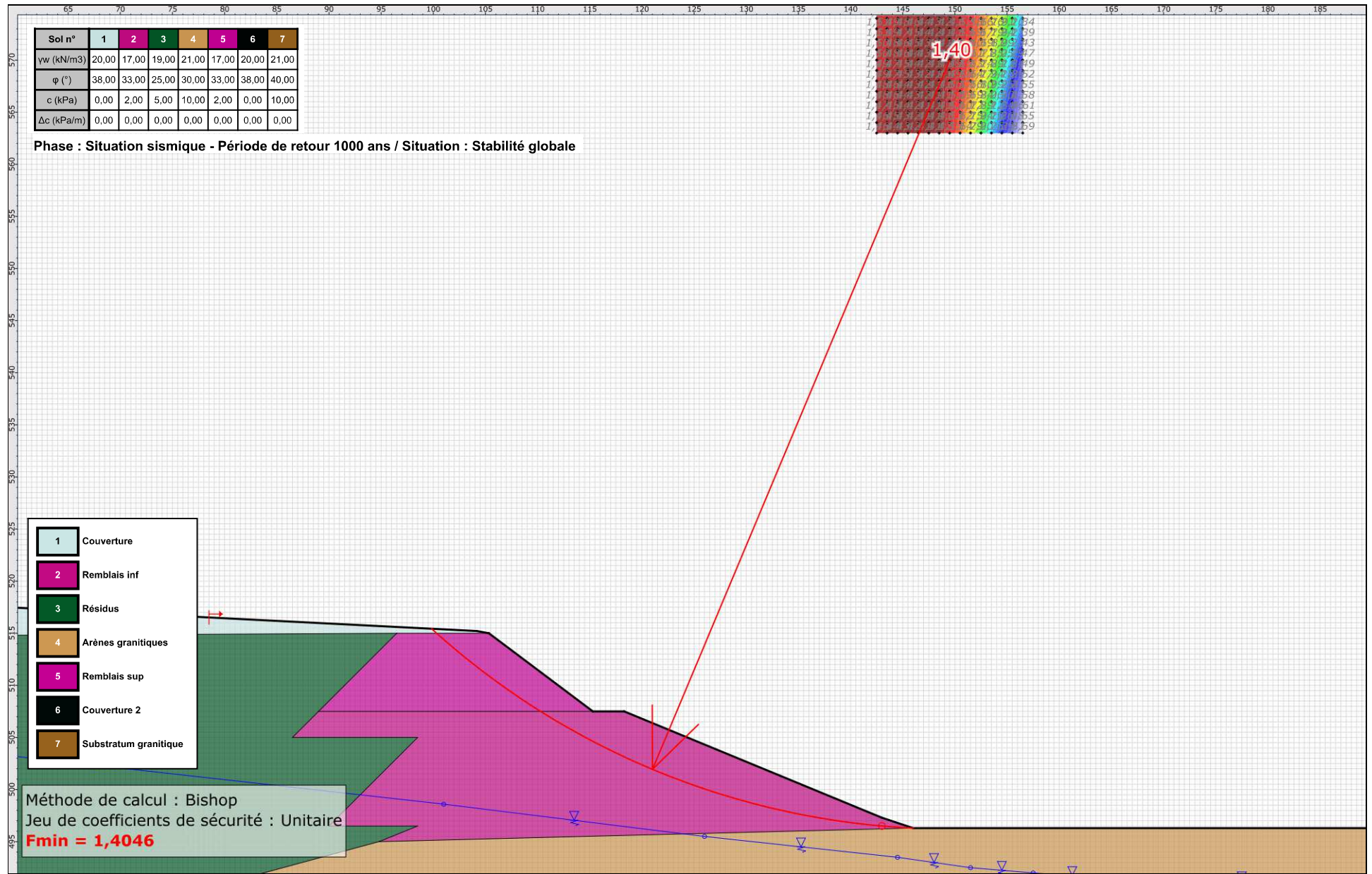
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Couverture 2  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,4046

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 149,50; Y0= 570,00; R= 73,78





# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 140,000; Y= 534,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,069

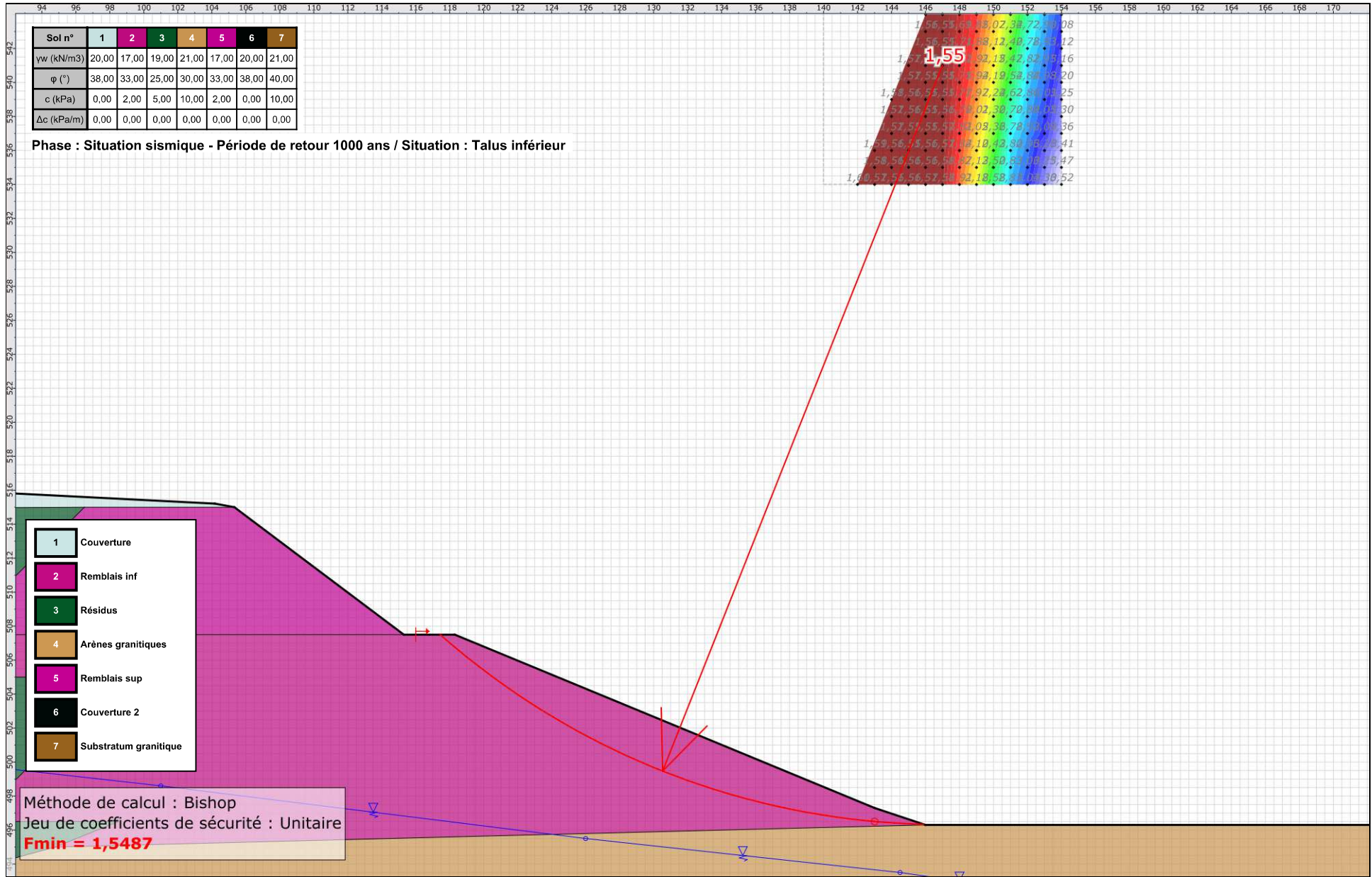
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,035

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Résidus

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,5487

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 650; X0= 147,00; Y0= 541,00; R= 44,67





# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour 1000 ans

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 116,500; Y= 522,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,069

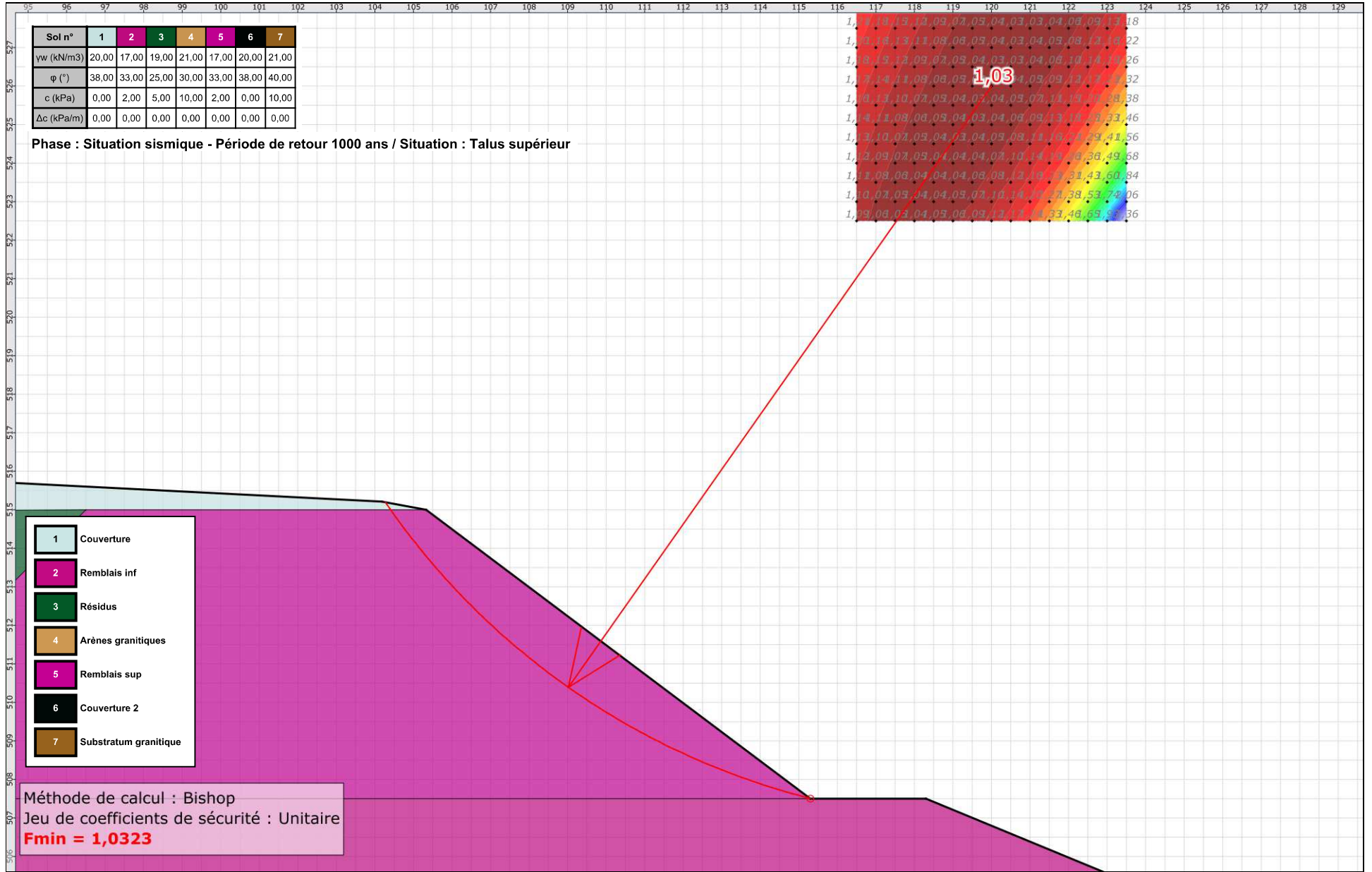
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,035

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0323

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 120,00; Y0= 526,00; R= 19,08



# Données de la phase 5

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

## Segments de la phase

|    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |    | Point 1 | Point 2 | Sol sous-jacent       |
|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|----|---------|---------|-----------------------|
| 1  | 1       | 2       | Résidus               | 6  | 6       | 7       | Remblais inf          | 7  | 7       | 8       | Remblais inf          |
| 9  | 9       | 10      | Résidus               | 10 | 10      | 11      | Remblais inf          | 11 | 11      | 12      | Résidus               |
| 12 | 12      | 13      | Remblais inf          | 13 | 14      | 13      | Arènes granitiques    | 14 | 16      | 17      | Substratum granitique |
| 15 | 17      | 18      | Substratum granitique | 16 | 18      | 14      | Substratum granitique | 17 | 16      | 1       | Résidus               |
| 21 | 1       | 4       | Couverture            | 28 | 6       | 34      | Remblais inf          | 29 | 34      | 2       | Remblais sup          |
| 30 | 34      | 9       | Remblais inf          | 34 | 37      | 4       | Couverture            | 35 | 37      | 5       | Couverture            |
| 36 | 2       | 5       | Remblais sup          | 37 | 5       | 6       | Remblais sup          | 38 | 8       | 38      | Remblais inf          |
| 40 | 38      | 39      | Arènes granitiques    | 41 | 38      | 13      | Arènes granitiques    | 42 | 14      | 24      | Substratum granitique |

## Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

|   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   | X       | Y       | Angle |   |         |         |      |
|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|-------|---|---------|---------|------|
| 1 | 0,000   | 509,900 | 0,00  | 2 | 101,000 | 498,600 | 0,00  | 3 | 126,000 | 495,500 | 0,00  | 4 | 144,500 | 493,500 | 0,00  | 5 | 151,500 | 492,500 | 0,00 |
| 6 | 157,500 | 492,000 | 0,00  | 7 | 165,000 | 491,500 | 0,00  | 8 | 190,000 | 491,000 | 0,00  |   |         |         |       |   |         |         |      |



**Talren v5**  
v5.2.7

Imprimé le : 5 mars 2021 16:04:18  
Calcul réalisé par : TRACTEBEL ENGINEERING FRANCE  
Projet : Calcul de stabilité



# Données de la situation 1

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Nom de la situation : Stabilité globale

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 142,500; Y= 563,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 143,000; Y= 496,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,148

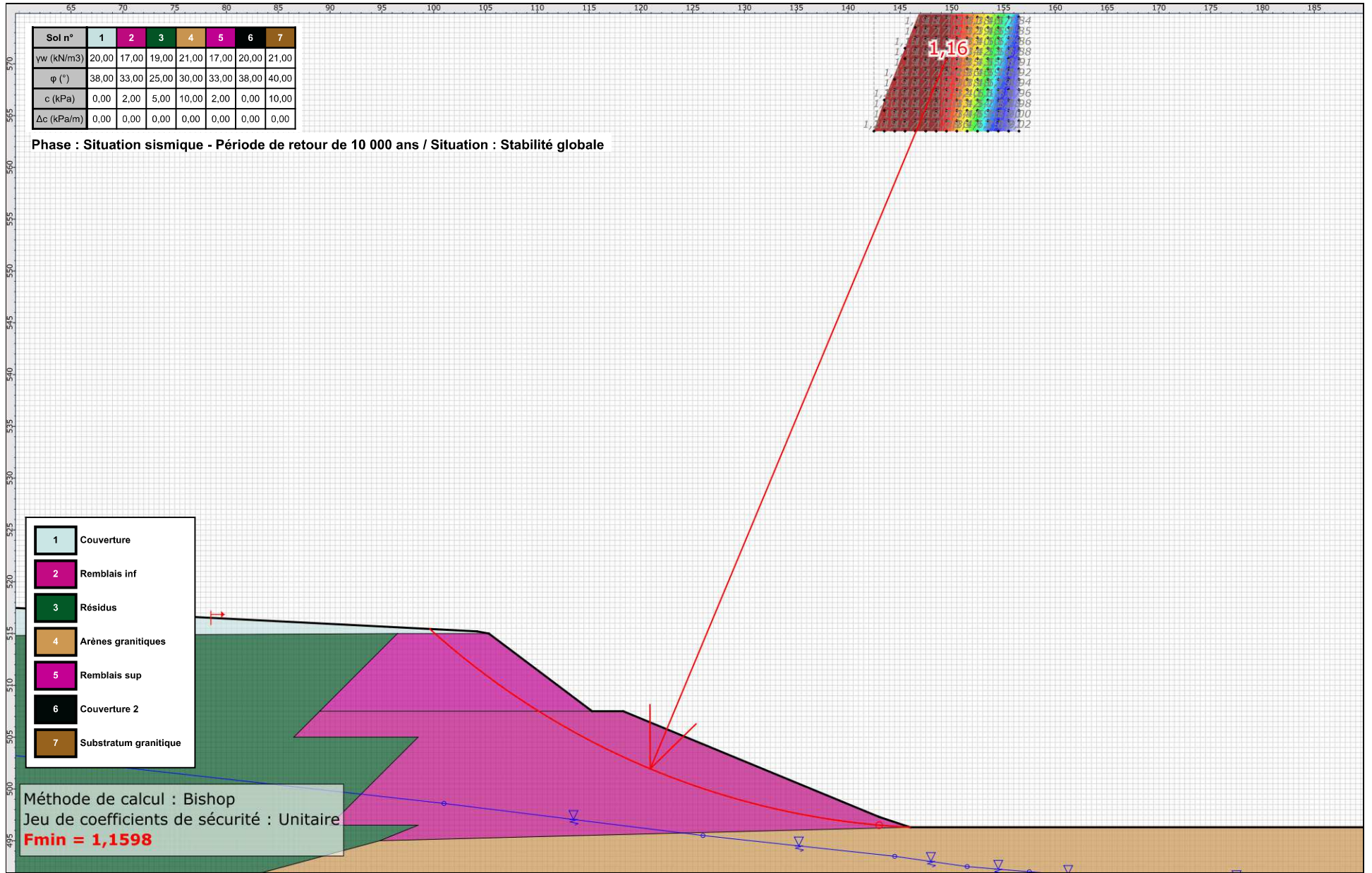
Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,074

Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Résidus  
et  
Passage imposé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1598

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 781; X0= 149,50; Y0= 570,50; R= 74,28



# Données de la situation 2

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Nom de la situation : Talus inférieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma'_{s1}$         | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 141,000; Y= 537,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 116,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 146,000; Y= 496,300

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,148

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,074

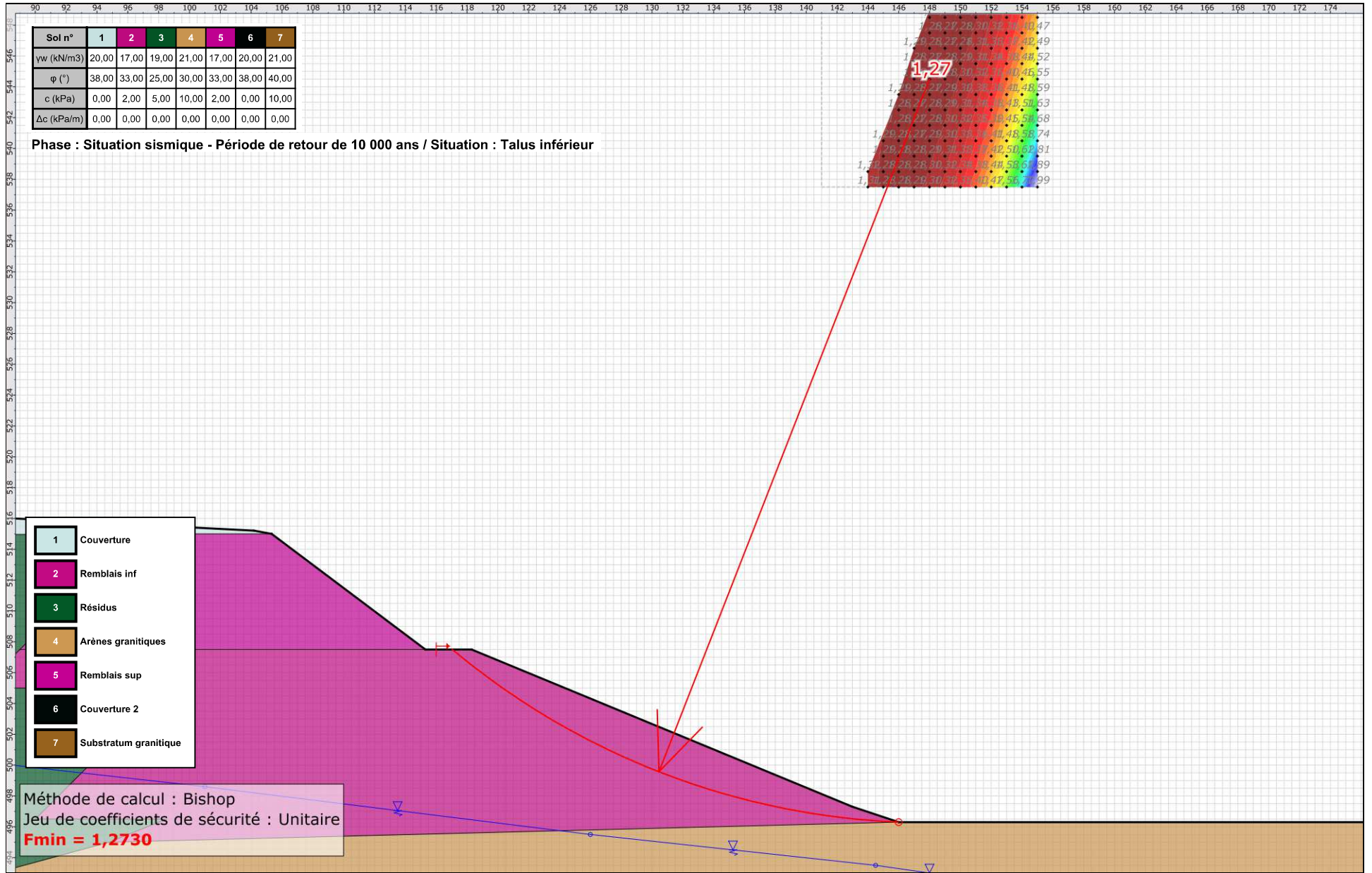
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais sup  
et  
Passage refusé dans Résidus

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2730

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 609; X0= 148,00; Y0= 544,50; R= 48,24





# Données de la situation 3

Nom de la phase : Situation sismique - Période de retour de 10 000 ans

Nom de la situation : Talus supérieur

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

## Détail du jeu de coefficients de sécurité

| Nom            | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                    | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                      | Coefficient | Nom                  | Coefficient |
|----------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| $\Gamma_{min}$ | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{s1}$          | 1,000       | $\Gamma_{\phi}$          | 1,000       | $\Gamma_{c'}$            | 1,000       | $\Gamma_{cu}$        | 1,000       |
| $\Gamma_Q$     | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,clou,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,ab}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,tirant,es}$ | 1,000       | $\Gamma_{qsl,bande}$ | 1,000       |
| $\Gamma_{pl}$  | 1,000       | $\Gamma_{a,clou}$      | 1,000       | $\Gamma_{a,tirant}$    | 1,000       | $\Gamma_{a,bande}$       | 1,000       | $\Gamma_{buton}$         | 1,000       | $\Gamma_{s3}$        | 1,000       |

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 117,000; Y= 523,500

Incrément en X / Incrément en Y : X= 0,500; Y= 0,500

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y : en X= 15; en Y= 15

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incrément sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 78,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 115,300; Y= 507,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,148

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,074

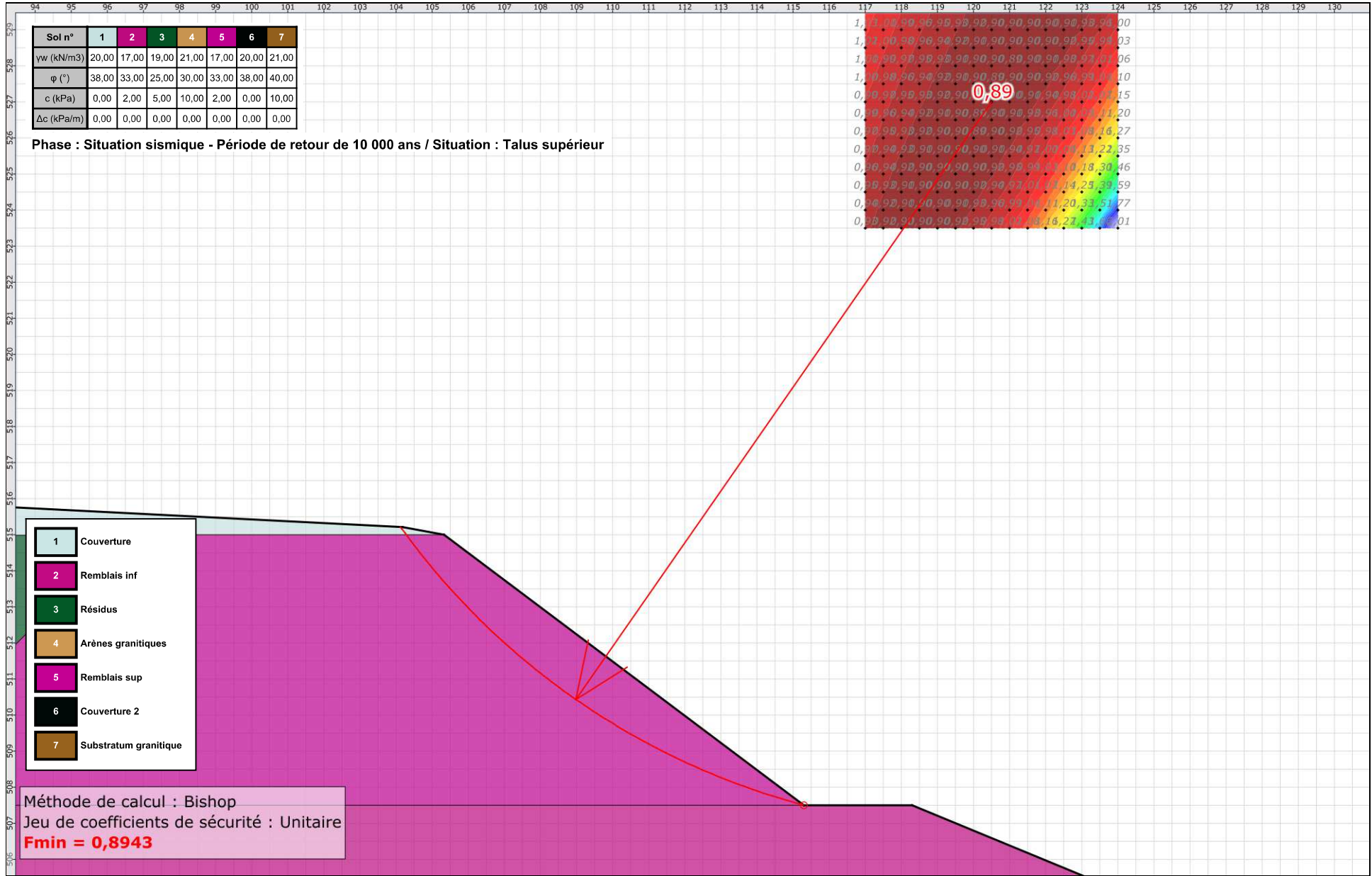
Conditions de passage dans certains sols : Passage refusé dans Remblais inf

## Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,8943

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1121; X0= 120,50; Y0= 527,00; R= 20,18





## 13. ANNEXE 4 : LIQUEFACTION

### 13.1. Susceptibilité des sols à la liquéfaction – Critères granulométriques

| Profondeur en m | Nature géotechnique du terrain        | Granulométrie |          |          |          |           | Coefficient d'uniformité Cu = D60/D10 | Susceptibilité à la liquéfaction selon les critères PS92 |
|-----------------|---------------------------------------|---------------|----------|----------|----------|-----------|---------------------------------------|--|
|                 |                                       | D60 (mm)      | D50 (mm) | D15 (mm) | D10 (mm) | <80µm (%) |                                       |  |
| 1.00-2.58       | Granite altéré à sable argileux       | 3.2           | 1.9      | 0.2      | 0.09     | 9.1       | 36                                    | Non liquéfiable (hors nappe)                             |
| 2.91-5.65       | Granite altéré à sable argileux       | 10.7          | 10       | 0.5      | 0.2      | 6.4       | 54                                    | Non liquéfiable  |
| 8.05-8.50       | Granite altéré à sable argileux       | 3             | 1.9      | 0.12     | 0.07     | 10.8      | 43                                    | Non liquéfiable  |
| 9-12.4          | Granite altéré à sable argileux       | 1.8           | 1.1      | 0.23     | 0.08     | 9.5       | 23                                    | Non liquéfiable  |
| 4-5.93          | Granite altéré à limon sablo argileux | 1.3           | 1        | 0.08     | 0.08     | 16.9      | 16                                    | Non liquéfiable  |
| 6.95-8.9        | Granite altéré à limon sablo argileux | 4.2           | 2.4      | 0.13     | 0.08     | 11.3      | 53                                    | Non liquéfiable  |
| 9.95-11.9       | Granite altéré à limon sablo argileux | 4             | 2.2      | 0.2      | 0.09     | 8.9       | 44                                    | Non liquéfiable  |
| 13.05-15.4      | Granite altéré à limon sablo argileux | 8             | 4.4      | 0.22     | 0.1      | 8.7       | 80                                    | Non liquéfiable  |
| 18-18.45        | Granite altéré à limon sablo argileux | 1             | 0.6      | 0.032    | 0.017    | 26.5      | 59                                    | Non liquéfiable  |
| 20.5-22.43      | Granite altéré à limon sablo argileux | 0.8           | 0.5      | 0.014    | 0.007    | 27.4      | 114                                   | Non liquéfiable  |
| 25.5            | Granite altéré à limon sablo argileux | 1             | 0.6      | 0.02     | 0.01     | 24.7      | 100                                   | Non liquéfiable  |

## 13.2. Sensibilité des sols à la liquéfaction – Vérification de liquéfaction par la méthode NCEER

### Sondage SPT 1

| Profondeur de l'essai | N brut mesuré | $(N_1)_{60-CS}$ | Séisme de période de retour 10 000 ans |      |  |                              | Séisme de période de retour 1 000 ans |      |  |                              |
|-----------------------|---------------|-----------------|--|------|--|------------------------------|---------------------------------------|------|--|------------------------------|
|                       |               |                 | CRR(M)                                 | CSR  | FSL                                    | Liquéfaction                 | CRR(M)                                | CSR  | FSL                                    | Liquéfaction                 |
| 1 m                   | 37            | 42              | -                                      | 0.19 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              | -                                     | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |
| 2 m                   | 12            | 13              | 0.14                                   | 0.19 | 0.72                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.31                                  | 0.09 | 3.42                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 3 m                   | 22            | 24              | 0.26                                   | 0.19 | 1.35                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.57                                  | 0.09 | 6.34                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 4 m                   | 13            | 13              | 0.14                                   | 0.19 | 0.73                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.31                                  | 0.09 | 3.42                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 5 m                   | 44            | 47              | -                                      | 0.19 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              | -                                     | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |
| 6 m                   | 20            | 22              | 0.22                                   | 0.19 | 1.17                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.49                                  | 0.09 | 5.51                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 7 m                   | 13            | 14              | 0.15                                   | 0.19 | 0.76                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.32                                  | 0.09 | 3.56                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 8 m                   | 16            | 17              | 0.18                                   | 0.19 | 0.92                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.39                                  | 0.09 | 4.33                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 9 m                   | 24            | 26              | 0.29                                   | 0.19 | 1.49                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.63                                  | 0.09 | 7.00                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 10 m                  | 50            | 50              | -                                      | 0.19 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              | -                                     | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |
| 11 m                  | 19            | 20              | 0.21                                   | 0.19 | 1.08                                   | Non liquéfiable : hors nappe | 0.46                                  | 0.09 | 5.09                                   | Non liquéfiable : FSL>1.25   |
| 12 m                  | 40            | 46              | -                                      | 0.19 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              | -                                     | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |

| Profondeur de l'essai | N brut mesuré | $(N_1)_{60-CS}$ | Séisme de période de retour 475 ans |      |  |                              |
|-----------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|------|--|------------------------------|
|                       |               |                 | CRR(M)                              | CSR  | FSL                                    | Liquéfaction                 |
| 1 m                   | 37            | 42              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |
| 2 m                   | 12            | 13              | 0.31                                | 0.07 | 4.43                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 3 m                   | 22            | 24              | 0.57                                | 0.07 | 8.21                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 4 m                   | 13            | 13              | 0.31                                | 0.07 | 4.43                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 5 m                   | 44            | 47              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |
| 6 m                   | 20            | 22              | 0.49                                | 0.07 | 7.14                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 7 m                   | 13            | 14              | 0.32                                | 0.07 | 4.62                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 8 m                   | 16            | 17              | 0.39                                | 0.07 | 5.61                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 9 m                   | 24            | 26              | 0.63                                | 0.07 | 9.07                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 10 m                  | 50            | 50              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |
| 11 m                  | 19            | 20              | 0.46                                | 0.07 | 6.59                                   | Non liquéfiable : hors nappe |
| 12 m                  | 40            | 46              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                              |

Sondage SPT 2

| Profondeur de l'essai | N brut mesuré | $(N_1)_{60-CS}$ | Séisme de période de retour 10 000 ans |      |  |  | Séisme de période de retour 1 000 ans |      |  |                                |
|-----------------------|---------------|-----------------|--|------|--|--|---------------------------------------|------|--|--------------------------------|
|                       |               |                 | CRR(M)                                 | CSR  | FSL                                    | Liquéfaction                               | CRR(M)                                | CSR  | FSL                                    | Liquéfaction                   |
| 4 m                   | 51            | 52              | -                                      | 0.19 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.09 | Non liquéfiable : $FSL > 1.25$         |                                |
| 5 m                   | 10            | 11              | 0.12                                   | 0.19 | 0.60                                   | Non liquéfiable : hors nappe               | 0.25                                  | 0.09 | 2.83                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 7 m                   | 10            | 11              | 0.12                                   | 0.19 | 0.64                                   | Non liquéfiable : hors nappe               | 0.27                                  | 0.09 | 2.99                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 8 m                   | 15            | 16              | 0.16                                   | 0.19 | 0.85                                   | Non liquéfiable : hors nappe               | °/36                                  | 0.09 | 4.02                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 9 m                   | 17            | 17              | 0.18                                   | 0.19 | 0.92                                   | Non liquéfiable : hors nappe               | 0.39                                  | 0.09 | 4.32                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 11 m                  | 43            | 41              | -                                      | 0.19 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 13 m                  | 24            | 22              | 0.23                                   | 0.19 | 1.18                                   | Non liquéfiable : hors nappe               | 0.50                                  | 0.09 | 5.55                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 15 m                  | 42            | 45              | -                                      | 0.21 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.10 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 16 m                  | 35            | 37              | -                                      | 0.21 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.10 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 18 m                  | 12            | 12              | 0.13                                   | 0.23 | 0.57                                   | FSL < 1.25 mais matériaux non liquéfiables | 0.28                                  | 0.11 | 2.67                                   | Non liquéfiable : $FSL > 1.25$ |
| 20 m                  | 31            | 31              | -                                      | 0.24 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.11 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 22 m                  | 44            | 45              | -                                      | 0.25 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.12 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 25.5 m                | 110           | 98              | -                                      | 0.27 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |  | -                                     | 0.12 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |



| Profondeur de l'essai | N brut mesuré | $(N_1)_{60-CS}$ | Séisme de période de retour 475 ans |      |  |                                |
|-----------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|------|--|--------------------------------|
|                       |               |                 | CRR(M)                              | CSR  | FSL                                    | Liquéfaction                   |
| 4 m                   | 51            | 52              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 5 m                   | 10            | 11              | 0.25                                | 0.07 | 3.66                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 7 m                   | 10            | 11              | 0.27                                | 0.07 | 3.88                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 8 m                   | 15            | 16              | 0.36                                | 0.07 | 5.21                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 9 m                   | 17            | 17              | 0.39                                | 0.07 | 5.60                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 11 m                  | 43            | 41              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 13 m                  | 24            | 22              | 0.50                                | 0.07 | 7.20                                   | Non liquéfiable : hors nappe   |
| 15 m                  | 42            | 45              | -                                   | 0.07 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 16 m                  | 35            | 37              | -                                   | 0.08 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 18 m                  | 12            | 12              | 0.28                                | 0.08 | 3.46                                   | Non liquéfiable : $FSL > 1.25$ |
| 20 m                  | 31            | 31              | -                                   | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 22 m                  | 44            | 45              | -                                   | 0.09 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |
| 25.5 m                | 110           | 98              | -                                   | 0.10 | Non liquéfiable : $(N_1)_{60-CS} > 30$ |                                |