

CISALB

Travaux de protection contre les inondations et
restauration de la Leysse aval

LA MOTTE-SERVOLEX (73)

Dossier AF.15538

Etude géotechnique de conception - Phase
Projet (G2 PRO)

NOTE DE CALCUL - Rive Droite



CISALB

Travaux de protection contre les inondations et restauration de la Leysse aval

LA MOTTE-SERVOLEX (73)

Dossier AF.15538

| Date | Version | Ingénieur chargé du dossier | Contrôle externe | Objet de la version - Modification |
|------------|---------|-----------------------------|----------------------------------|--|
| 22/12/2022 | 1 | Isabelle CAVALLO | Pierre COSTE Jérémy Van Melle | Version initiale + calculs complémentaires |

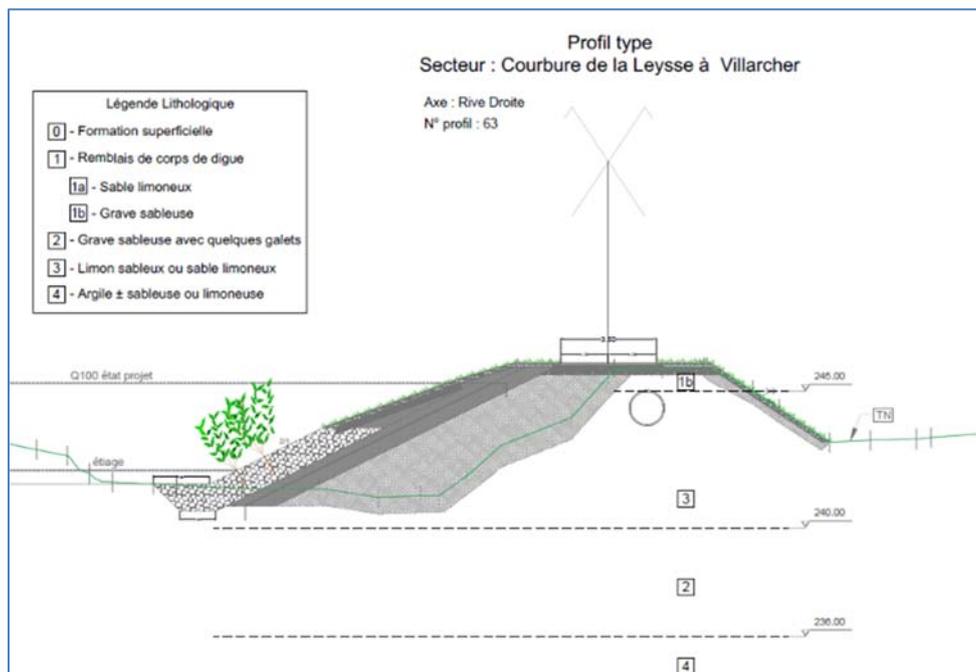
| | |
|--|-----------|
| Coupes de calcul retenues | 1 |
| 1. Coupes lithologiques retenues Rive Droite..... | 1 |
| 2. Caractéristiques géotechniques et géomécaniques retenues..... | 6 |
| Stabilité des digues | 7 |
| 3. Calcul des écoulements..... | 7 |
| 4. Vérification de la stabilité au glissement..... | 24 |
| 5. Etudes des risques d'érosion interne..... | 29 |
| Synthèse et aléas résiduels | 42 |

1. Coupes lithologiques retenues Rive Droite

Nous proposons d'étudier 4 coupes de calcul avec la lithologie suivante :

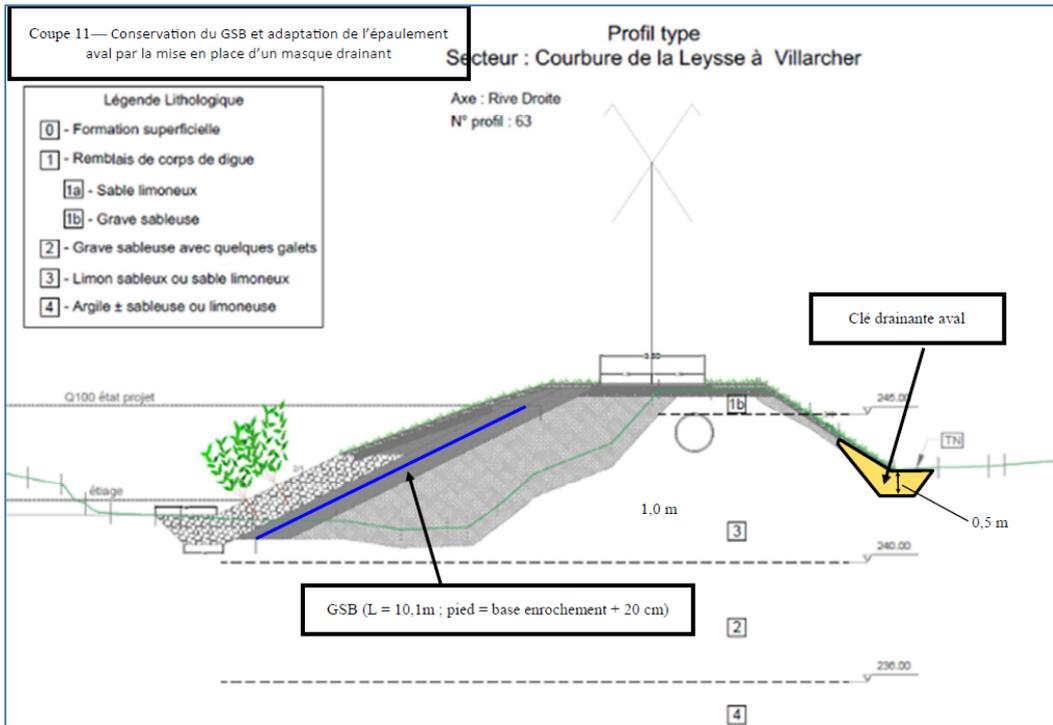
- Coupe courante au niveau de la zone de courbure de la Leysse à Villarcher :

La succession lithologique déterminée pour cette coupe courante figure sur la coupe ci-dessous. Elle est valable sur le linéaire de 2.8 km, hors linéaires intéressés par les 3 coupes particulières suivantes.

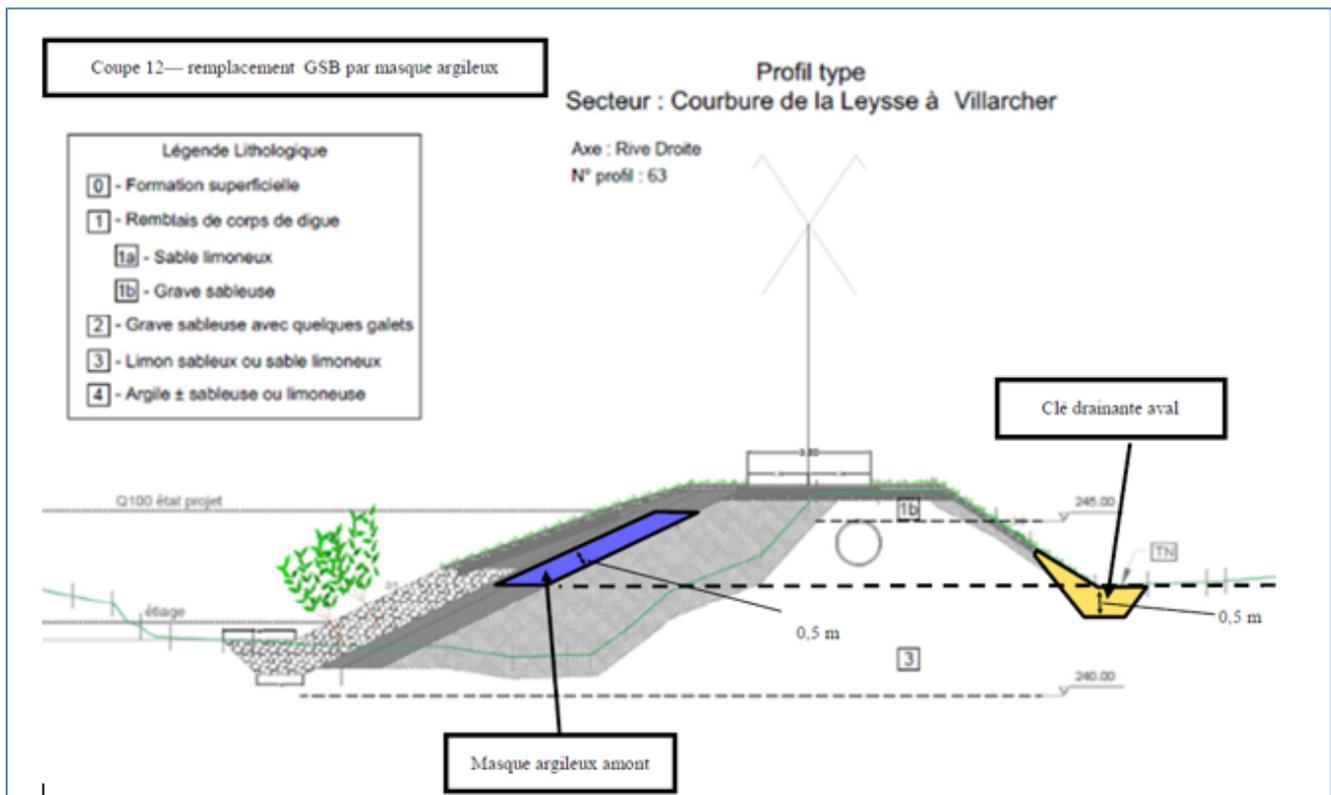


Hypothèse de niveau de nappe en situation courante : 242,0 m NGF

Sur ce profil courant, il est étudié l'effet d'une clé drainante en pied de talus sur les écoulements, l'influence de la longueur du géotextile GSB et le comportement des écoulements pour 2 configurations sans GSB : un profil où le GSB est remplacé par un masque argileux et 1 profil où le mode de fonctionnement est basé sur une recharge drainante aval.



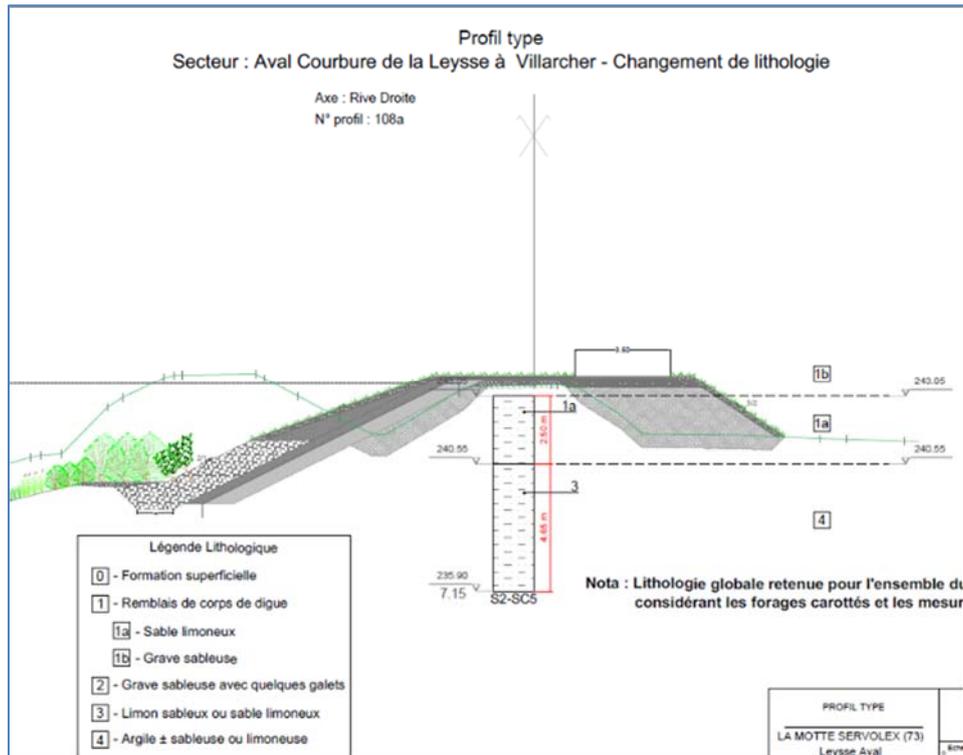
Profil courant qui teste l'influence de la clé drainante



Profil courant avec GSB masque argileux

➤ Coupe particulière 1 : changement de lithologie :

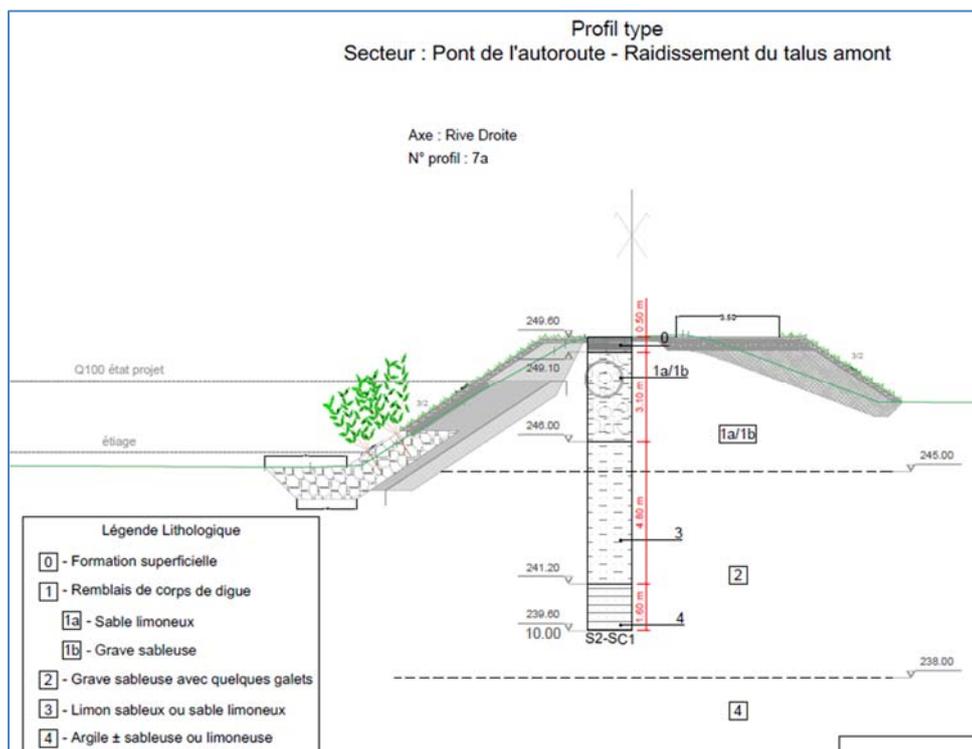
Les mesures géophysiques notamment ont mis en évidence un changement de lithologie sur environ 150 ml entre les PKL 4.9 et PKL 3.8. L'horizon de grave sableuse à galets [2] ne serait pas rencontré ou dans une moindre mesure.



Hypothèse de niveau de nappe en situation courante : 240,5 m NGF

➤ Coupe particulière 2 : raidissement du talus amont

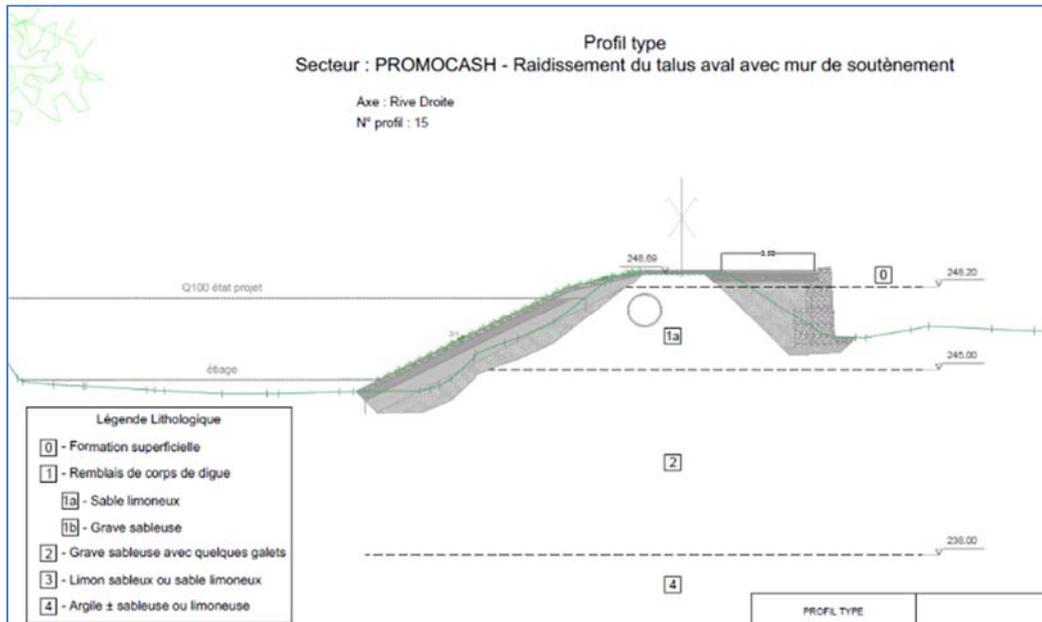
Cette coupe est valable sur 130 ml entre le PKL 6.240 et le PKL 6.110.



Hypothèse de niveau de nappe en situation courante : 245,7 m NGF

➤ Coupe particulière 3 : mur de soutènement au niveau du bras mort (Promocash)

Cette coupe est valable sur environ 190 ml entre PKL 6.010 et PKL 5.820.



Hypothèse de niveau de nappe en situation courante : 245,5 m NGF

1.1. Coupes lithologiques en rive gauche

En rive gauche, 2 coupes lithologiques se détachent.

2. Caractéristiques géotechniques et géomécaniques retenues

Les caractéristiques géotechniques et géomécaniques des différentes couches de sol, en place et d'apport, retenues pour les modélisations sont proposées dans le tableau en page suivante. Les valeurs proposées tiennent compte des résultats des différents essais et de notre expérience du site.

Ces valeurs sont valables pour chaque rive et quelques soient les coupes de calcul.

| Faciès | | Caractéristiques géotechniques | | Caractéristiques géomécaniques | |
|------------------------------|--|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------|
| N° horizon | Lithologie | γ (kN/m ³) | K (m/s) | C' (kPa) | φ' (°) |
| 0 | Formation de couverture | 19.0 | 1×10^{-5} | 1.0 | 28.0 |
| 1a | Remblai de corps de digue Sable limoneux | 20.0 | 1×10^{-5} | 2.0 | 33.0 |
| 1b | Remblai de corps de digue Grave sableuse | 20.0 | 1×10^{-3} | 0.0 | 35.0 |
| 2 | Grave avec quelques galets | 22.0 | 5×10^{-4} | 0.0 | 35.0 |
| 3 | Limon sableux ou sable limoneux | 20.0 | 1×10^{-5} | 2.0 | 33.0 |
| 4 | Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse | 20.0 | 1×10^{-6} | 5.0 | 26.0 |
| Confinement GSB | Matériaux type C1bi ou B5 | 20 | 1×10^{-5} | 0 | 32 |
| Support GSB | Matériaux type A1 | 20 | 1×10^{-6} | 2 | 30 |
| Tout-venant alluvionnaire | Variée : essentiellement sable limono-graveleux | 20 | 1×10^{-3} | 0 | 30 |
| Clé- drainante | Graviers | 22.5 | 1×10^{-2} | 0 | 37 |

3. Calcul des écoulements

3.1. Méthodologie de calcul

Afin d'étudier la stabilité au glissement des digues, il convient dans un premier temps de déterminer les champs des pressions interstitielles se développant dans le corps de digue et dans les terrains d'assise. Cette détermination est réalisée via une modélisation numérique en régime transitoire au moyen du logiciel Plaxis. Elle tient compte de la variation temporelle du niveau du cours d'eau en amont du système d'endiguement. Le détail des hypothèses retenues pour cette modélisation sont présentées dans la note d'hypothèse.

Plusieurs coupes de calcul ont été étudiées afin de représenter les différentes configurations rencontrées sur le linéaire du système d'endiguement. Ces coupes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| N° coupe | Tronçon | Coupe géométrique | Limnigramme | Commentaires |
|----------|-----------------------------|-------------------|-------------------|--|
| 1 | RD - Courbure de Villarcher | PT63 | ID151 = point16 | |
| 2 | RD - Changement lithologie | PT108a | ID142 = point 7 | |
| 3 | RD - Raidissement talus | PT7a | ID162 = point 27 | GSB réhaussé de 10 cm pour correspondre à Q100 |
| 4 | RD - Mur Promocash | PT15 | ID160 = point 25 | |
| 10 | RD - Courbure de Villarcher | PT63 | IDI151 = point16* | Coupe 1 Suppression du GSB Recharge drainante |
| 11 | | | | Coupe 1 GSB Clé drainante |
| 12 | | | | Coupe 1 GSB remplacé par masque argileux Clé drainante |
| 13 | | | | Coupe 1 Test de 2 longueurs de GSB Clé drainante |

Une surcharge d'exploitation de 10 kPa a été prise en compte sur l'emprise de la piste cyclable en dehors des périodes de crue.

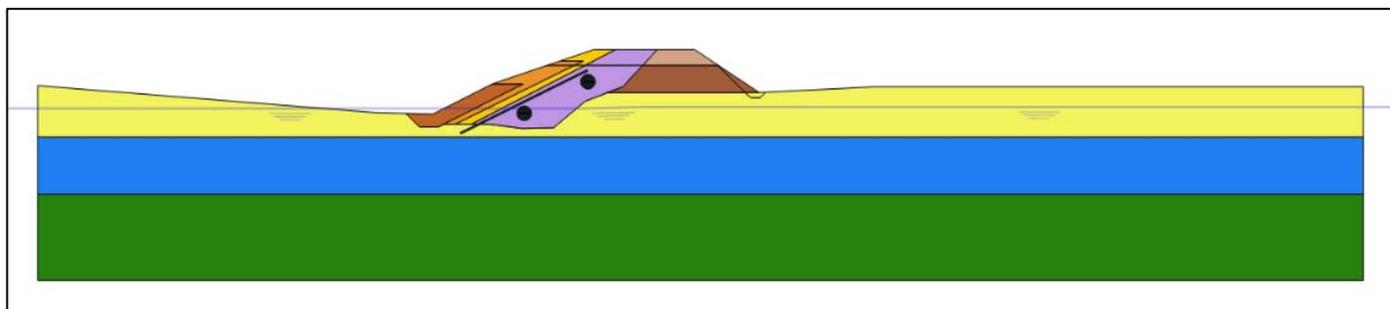
A noter, les optimisations proposées en coupe 12, avec le masque argileux sont justifiées d'un point de vue calculatoire conformément aux hypothèses arrêtées avec le MOE. Nous soulignons toutefois que la faible épaisseur modélisée (0,5 m) présente des risques en termes de mise en œuvre ou de défauts d'étanchéité notamment par dessiccation. Par conséquent, nous préconisons de prévoir une épaisseur minimale de masque argileux de 1,0 m et idéalement de retenir une épaisseur de 2 m conformément aux valeurs usuelles pour ce type d'ouvrages.

** pour les coupes de calcul complémentaires (10 à 13), les limnigrammes pris en compte ont été modifiés en tenant compte de la période de montée du niveau d'eau entre t=0h et t=15h, là où les premiers calculs tenaient compte d'un limnigramme commençant à t=15h. Cette modification permet de représenter plus finement les phénomènes réels et constitue une hypothèse plus favorable pour les calculs des écoulements.*

3.2. Résultats des calculs

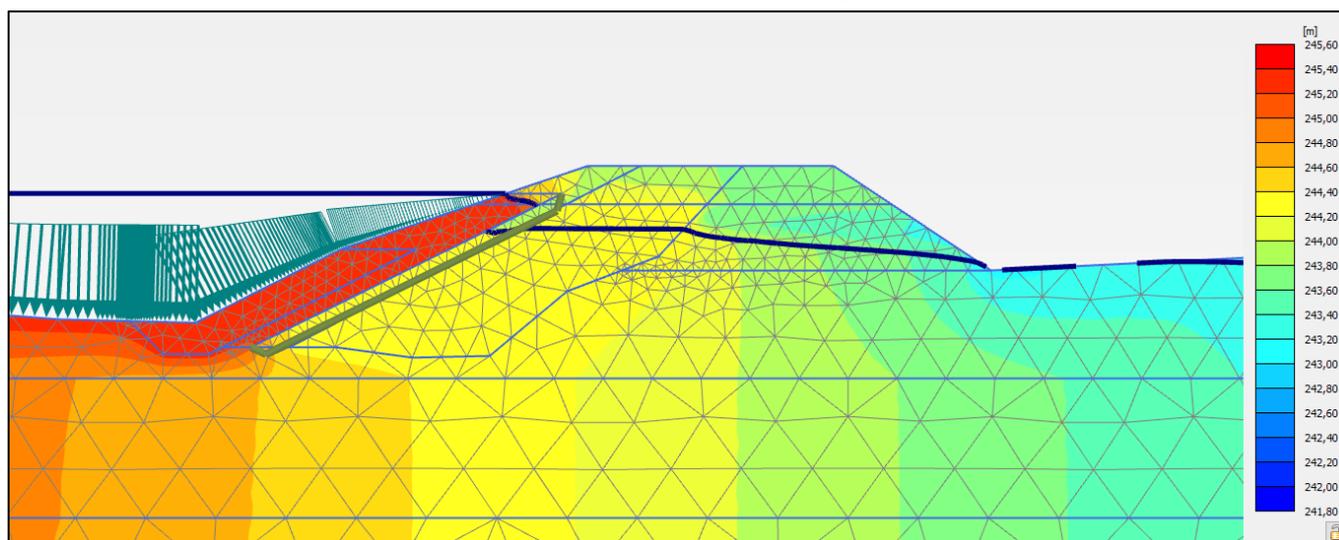
3.2.1. Coupe 1 - Courbure de Villarcher

Cette coupe est basée sur la géométrie au niveau de la courbure de la Leysse à Villarcher mais elle est considérée représentative de la section courante du projet en rive droite. Elle est caractérisée par une importante recharge côté amont.



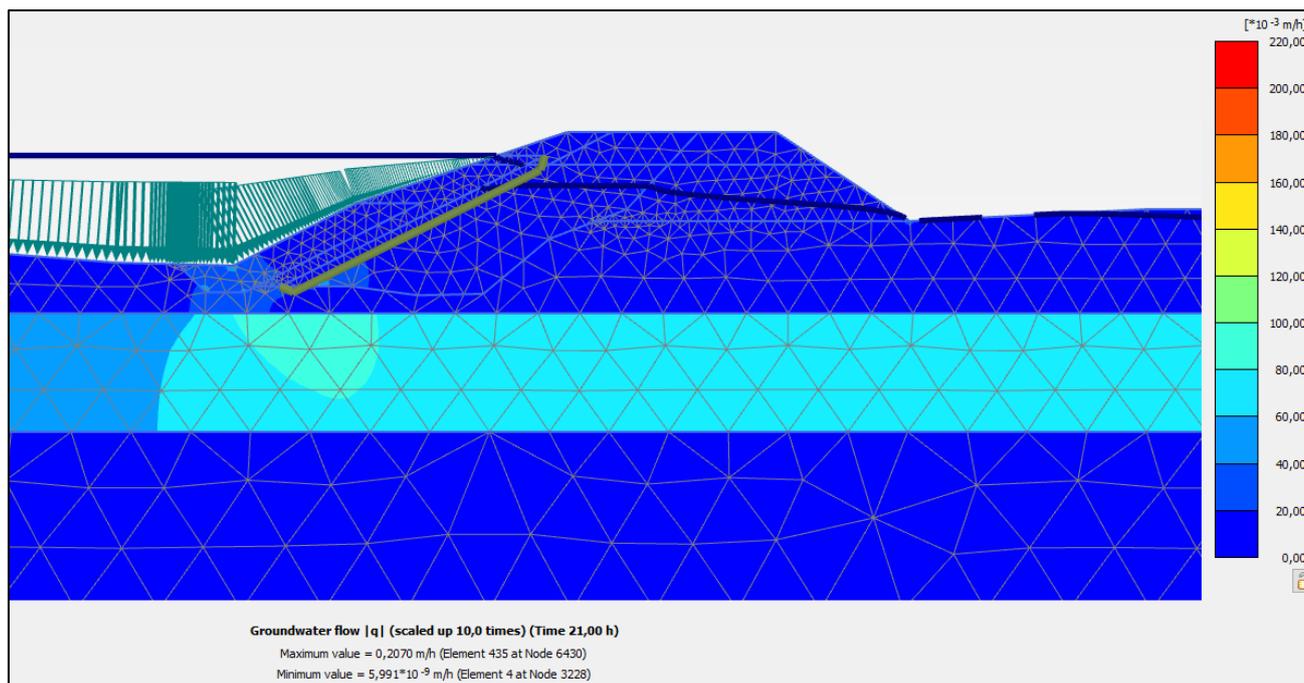
Coupe 1 - Vue du modèle Plaxis

Les calculs d'écoulement montrent que le corps de la digue est largement saturé en fin de montée de la crue. Les écoulements débouchent en pied de talus aval. Le GSB induit une perte de charge mais qui reste limitée (environ 1,0 m) du fait de la forte perméabilité des terrains d'assises et de la recharge amont.



Coupe 1 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

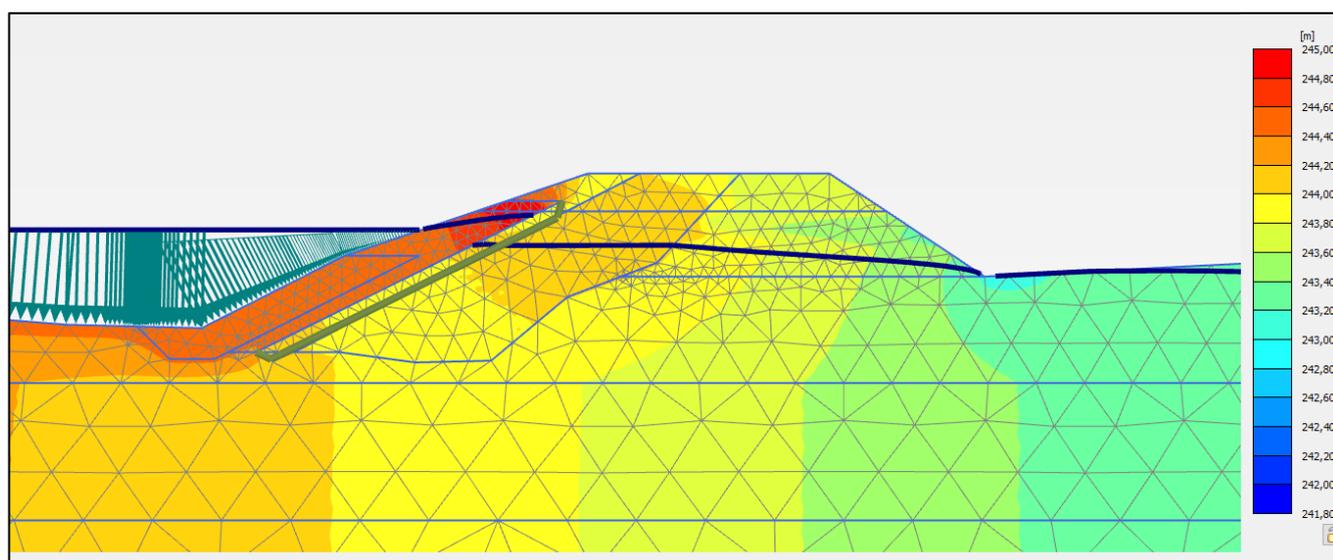
On constate également que les écoulements se développent essentiellement dans la couche d'alluvions graveleuses (2) du fait d'une perméabilité plus élevée.



Coupe 1 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

Lors de la décrue, on observe que les pressions interstitielles dans le corps de digue se dissipent mais avec un décalage par rapport au niveau de la Leysse notamment au niveau du talus amont, dans les matériaux de couverture du GSB. Ce comportement est cohérent avec la perméabilité relativement faible ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s) des matériaux de confinement du GSB. Au sein des enrochements, la charge hydraulique est égale à celle du cours d'eau du fait d'une perméabilité très élevée.

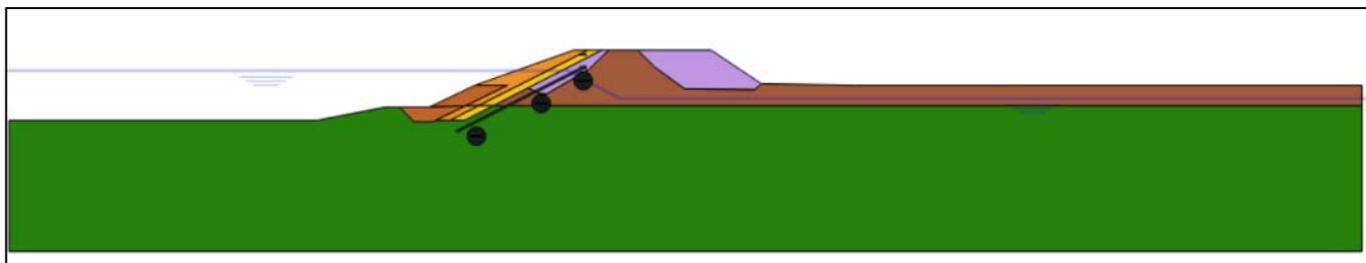
On note également qu'en fin de crue, la digue reste significativement saturée et que les écoulements débouchent toujours au niveau du pied du talus aval.



Coupe 1 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

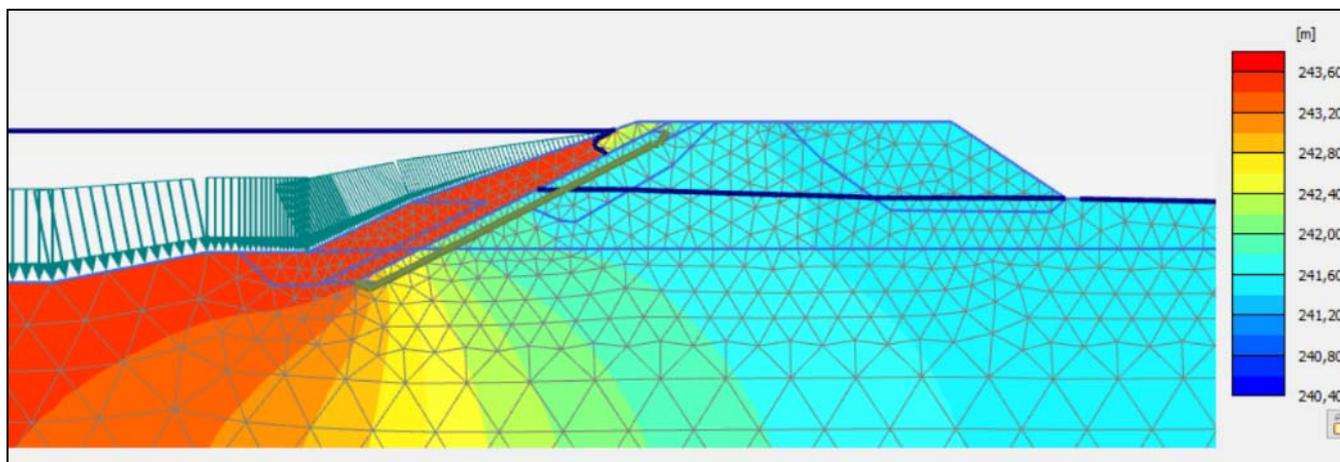
3.2.2. Coupe 2 - Changement de lithologie

Cette coupe correspond à une zone de changement de lithologie entre les PKL 4.9 et PLK 3.8 où l'horizon d'alluvions graveleuses apparaît absent. Elle est caractérisée par des recharges côté amont et aval.



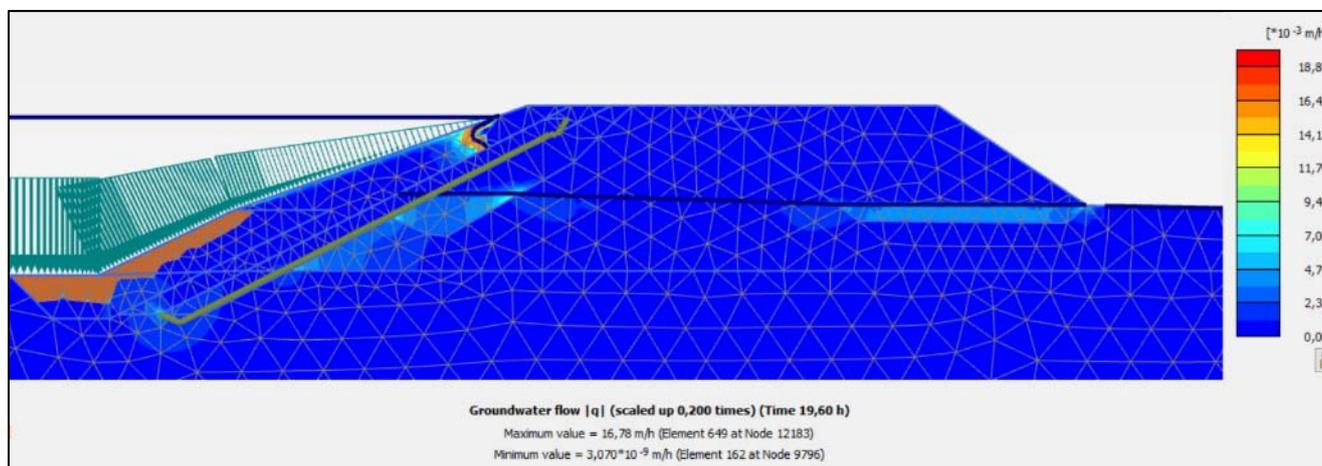
Coupe 2 - Vue du modèle Plaxis

Les calculs d'écoulement montrent que le corps de la digue est peu saturé en fin de montée de la crue. Les écoulements débouchent en pied de talus aval mais la ligne de saturation ne remonte que peu au-dessus du niveau du TN aval. Le GSB induit une perte de charge significative (environ 1,75 m) du fait de son ancrage dans les alluvions argileuses (4) peu perméables. La perte de charge a lieu essentiellement dans cette couche d'alluvions, au niveau du contournement du GSB.



Coupe 2 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

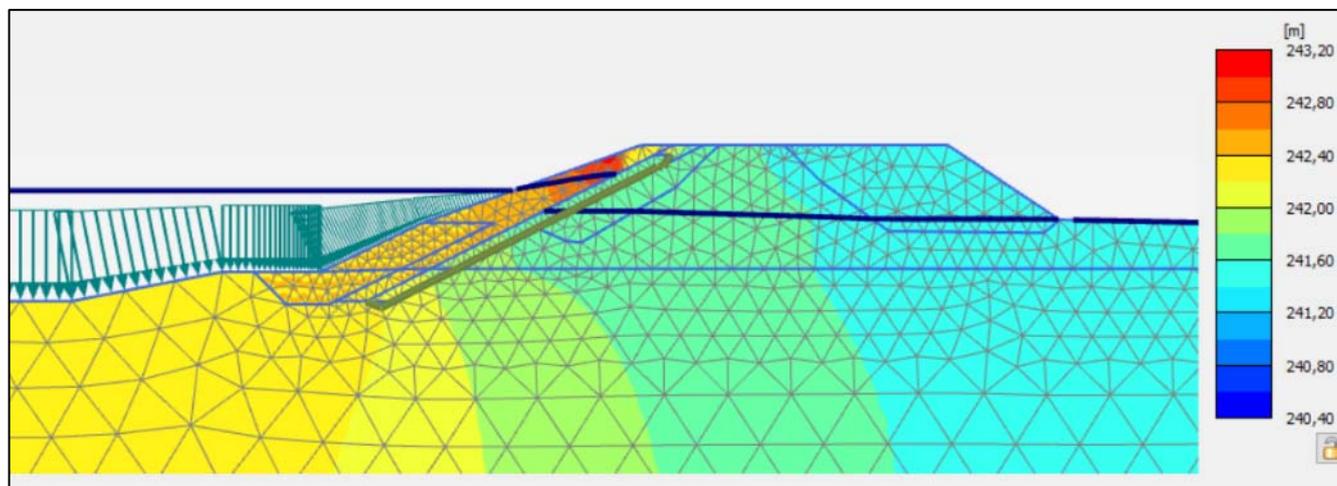
On constate également que les écoulements sont beaucoup plus faibles que sur la coupe 1 et on relève quelques zones les vitesses sont plus élevées en lien avec des perméabilités plus élevées, notamment au sein des recharges en Tout venant.



Coupe 2 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

Lors de la décrue, on observe, comme pour la coupe 1, que les pressions interstitielles dans le corps de digue se dissipent mais avec un décalage par rapport au niveau de la Laysse notamment au niveau du talus amont, dans les matériaux de couverture du GSB.

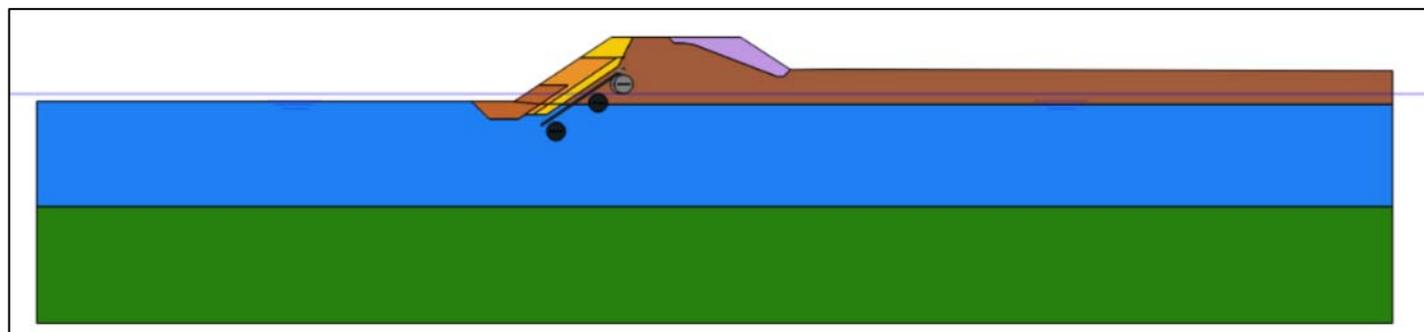
On note également qu'en fin de crue, le niveau de saturation dans la digue est peu modifié par rapport au pic de crue.



Coupe 2 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

3.2.3. Coupe 3 - Raidissement du talus amont

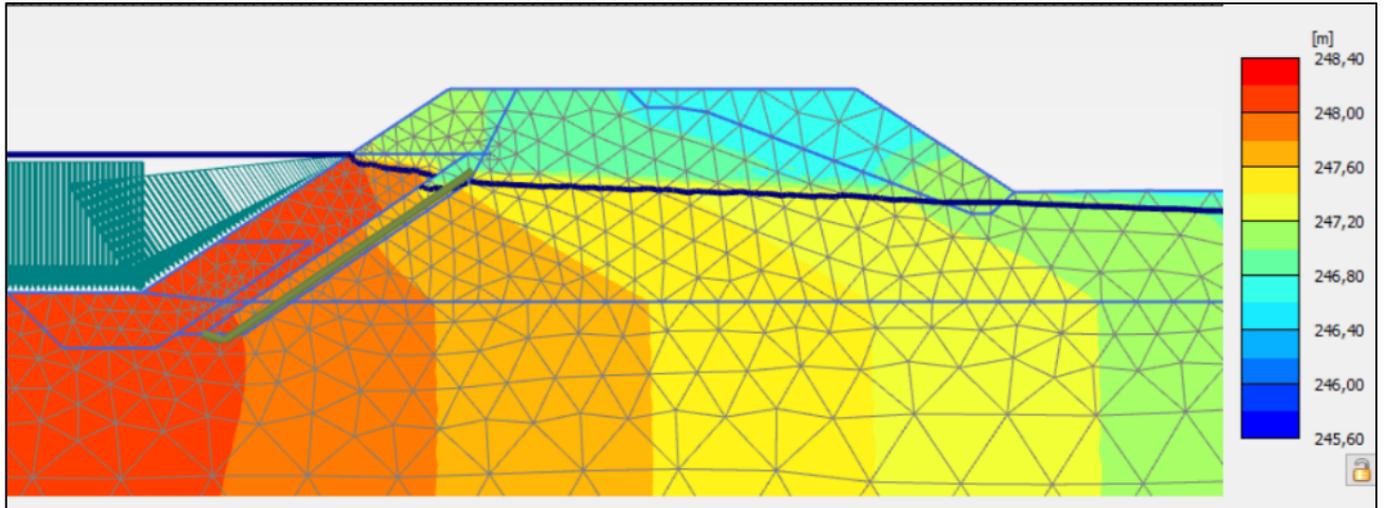
Cette coupe correspond à une zone de raidissement du talus amont entre les PKL 6.240 et PKL 6.110. Elle est caractérisée par des recharges côté amont et aval ainsi qu'une pente du talus amont à 3H/2V.



Coupe 3 - Vue du modèle Plaxis

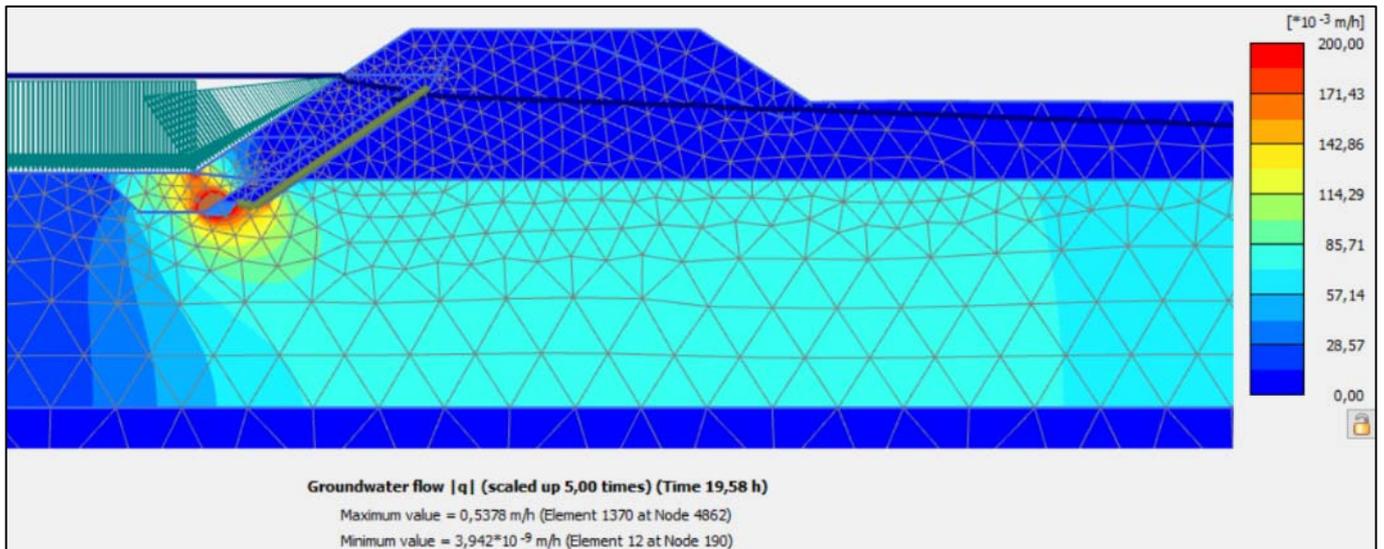
Les calculs d'écoulement montrent que le corps de la digue est peu saturé en fin de montée de la crue. Les écoulements ne débouchent pas en pied de talus aval même si la ligne de saturation est proche du TN aval. Ce résultat est sans doute lié à une revanche plus importante que sur les autres coupes de calcul et une nappe initialement plus profonde par rapport au niveau du TN aval. La recharge aval en matériaux relativement perméables permet également de rabaisser plus rapidement les écoulements côté aval.

Le GSB induit une perte de charge limitée (environ 0,60 m) du fait de la forte perméabilité des terrains d'assises et notamment des alluvions graveleuses (2) dans lequel le GSB vient s'ancrer directement.



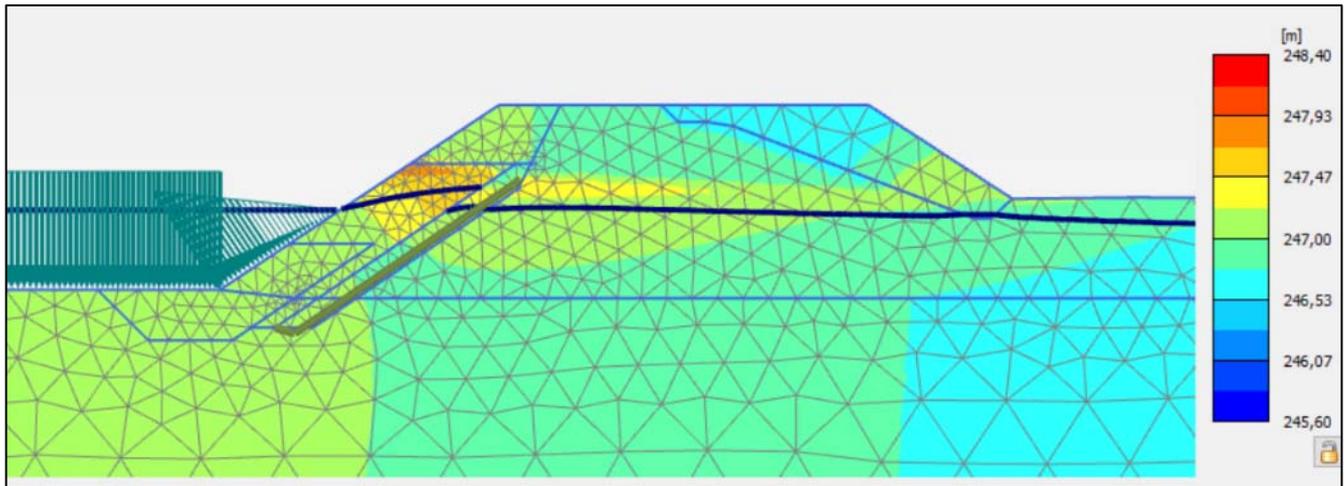
Coupe 3 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

On constate également que les écoulements se développent essentiellement dans la couche d'alluvions graveleuses (2) du fait d'une perméabilité plus élevée avec un pic au niveau du contournement du pied du GSB.



Coupe 3 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

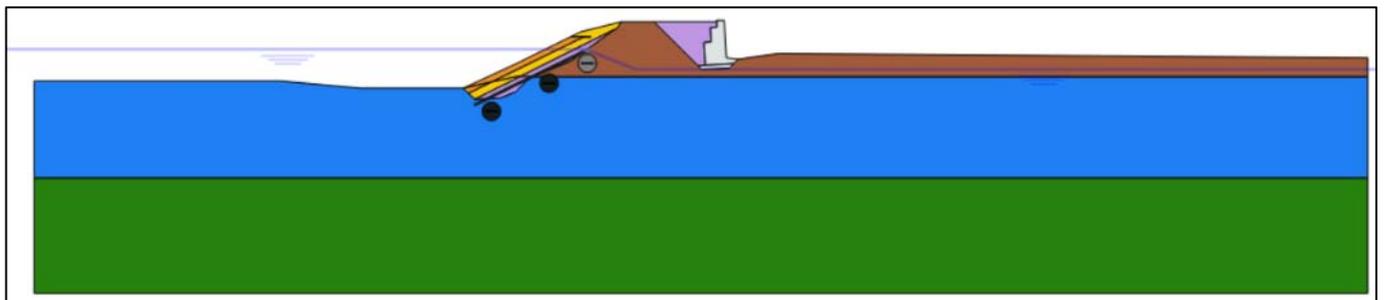
Lors de la décrue, on observe, comme pour la coupe 1, que les pressions interstitielles dans le corps de digue se dissipent mais avec un décalage par rapport au niveau de la Leyse notamment au niveau du talus amont, dans les matériaux de couverture du GSB.



Coupe 3 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

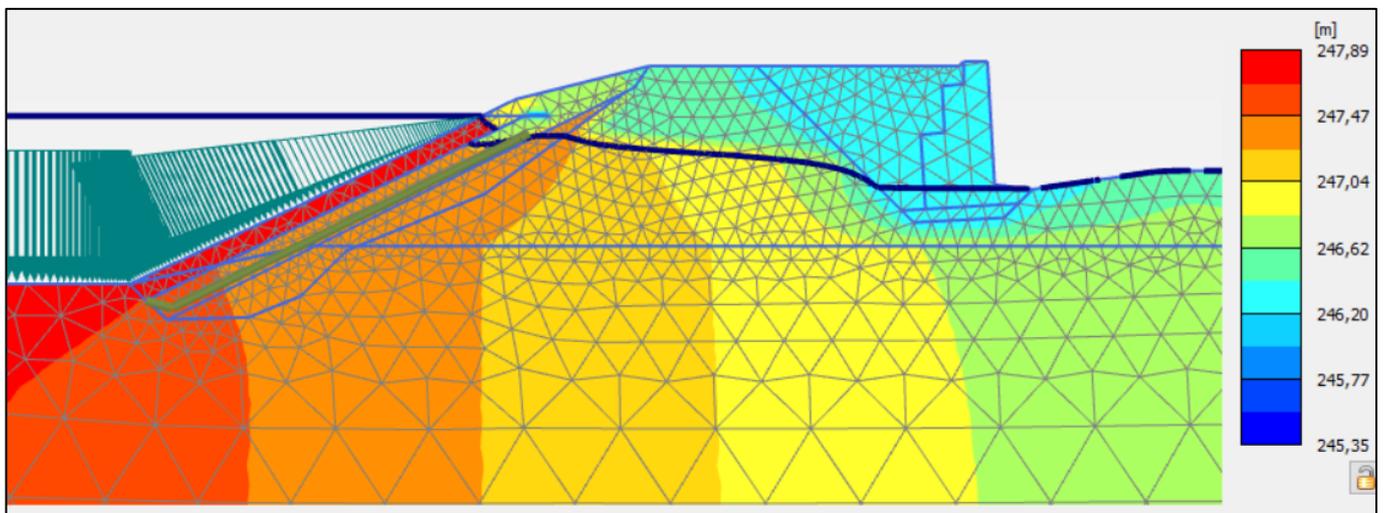
3.2.4. Coupe 4 - Mur Promocash

Cette coupe correspond à une zone de resserrement de la digue avec la présence d'un mur de soutènement en gabion entre les PKL 6.010 et PKL 5.820. Elle est caractérisée par des recharges côté amont et aval ainsi qu'un mur de soutènement côté aval.



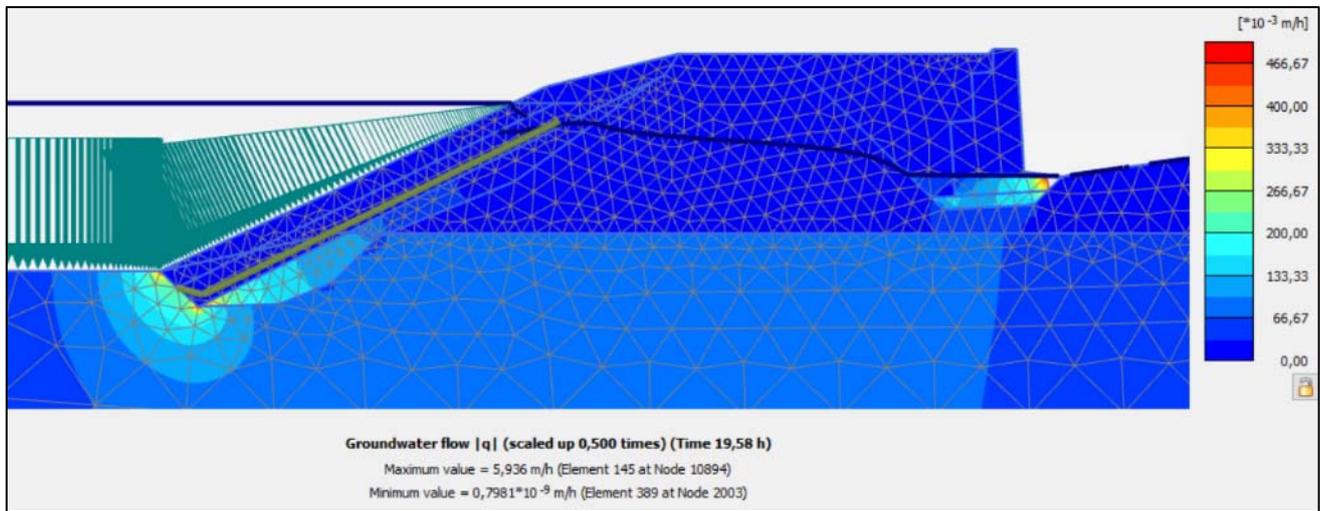
Coupe 4 - Vue du modèle Plaxis

Les calculs d'écoulement montrent que le corps de la digue est largement saturé en fin de montée de la crue. Les écoulements débouchent en pied de talus aval mais sont rabattus par les matériaux drainants mis en remblai à l'arrière du mur de soutènement. Le GSB induit une perte de charge limitée (environ 0,50 m) du fait de la forte perméabilité des terrains d'assises et notamment des alluvions graveleuses (2) dans lequel le GSB vient s'ancrer directement.



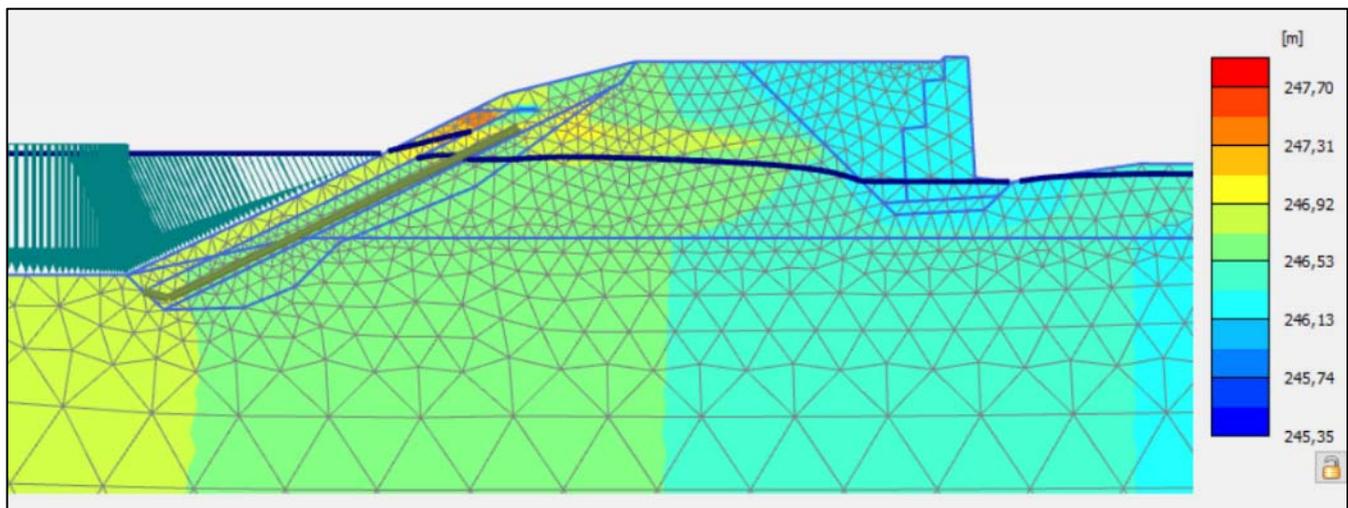
Coupe 4 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

On constate également que les écoulements se développent essentiellement dans la couche d'alluvions graveleuses (2) du fait d'une perméabilité plus élevée avec des pics de vitesse au niveau du contournement du GSB et dans les matériaux de remblais au pied du mur de soutènement.



Coupe 4 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

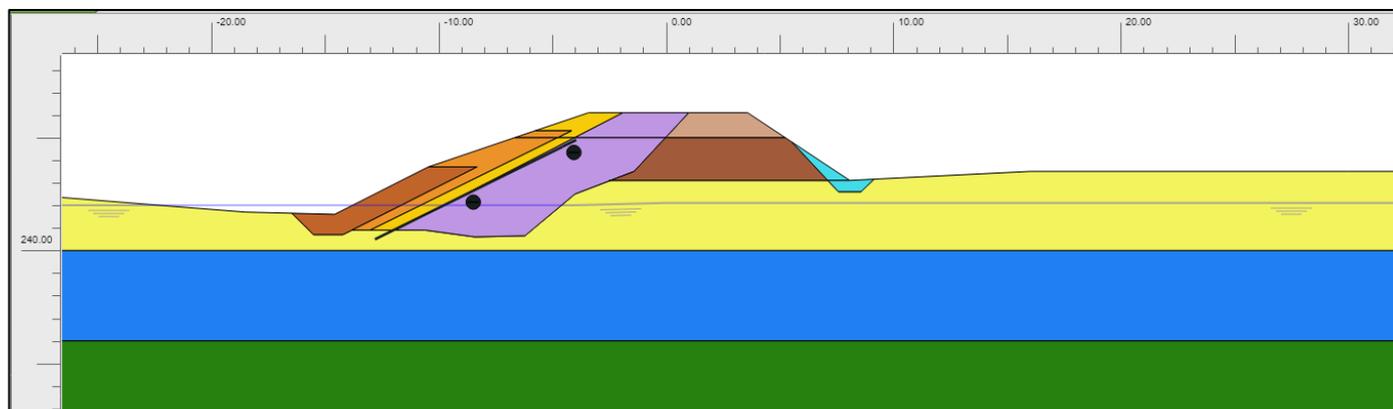
Lors de la décrue, on observe, comme pour la coupe 1, que les pressions interstitielles dans le corps de digue se dissipent mais avec un décalage par rapport au niveau de la Leyse notamment au niveau du talus amont, dans les matériaux de couverture du GSB.



Coupe 4 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

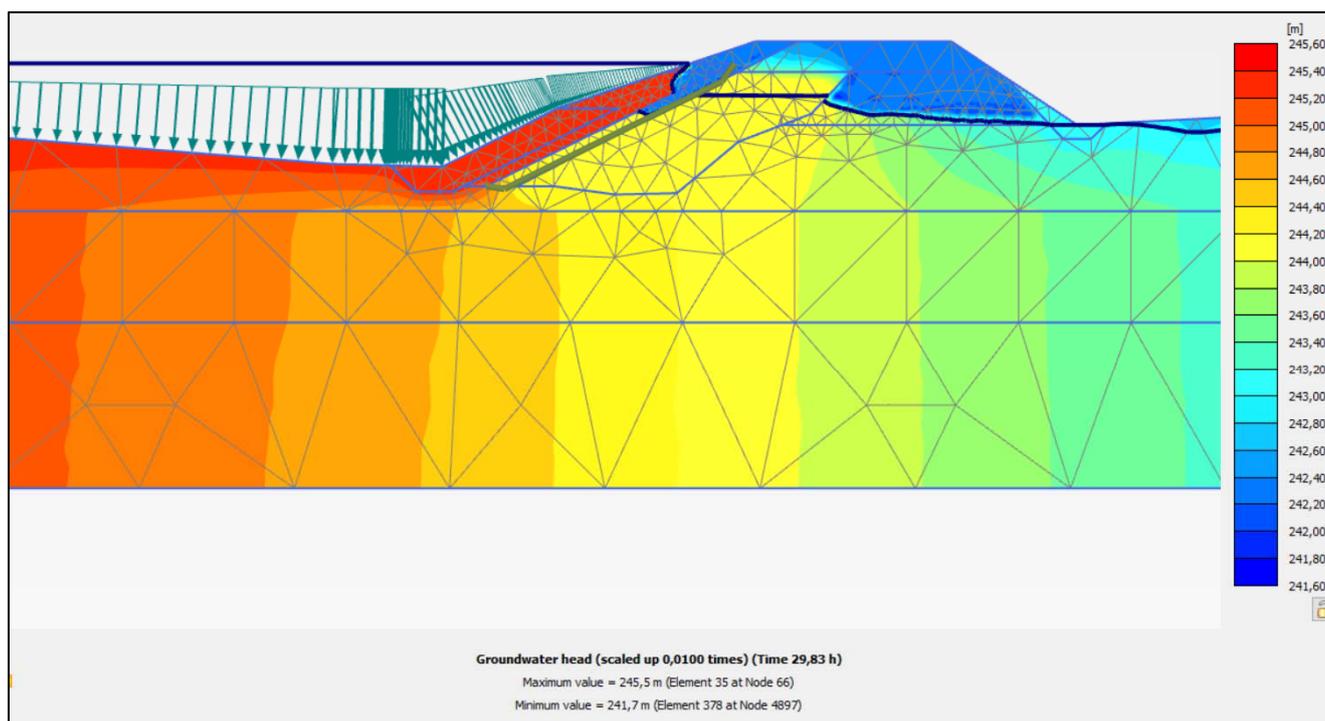
3.2.5. Coupe 11 – GSB associé à une clé drainante

Cette coupe est basée sur la géométrie de la coupe 1 qui correspond à la géométrie de la courbure de la Leysse à Villarcher. Une clé drainante est ajoutée en pied du talus aval.



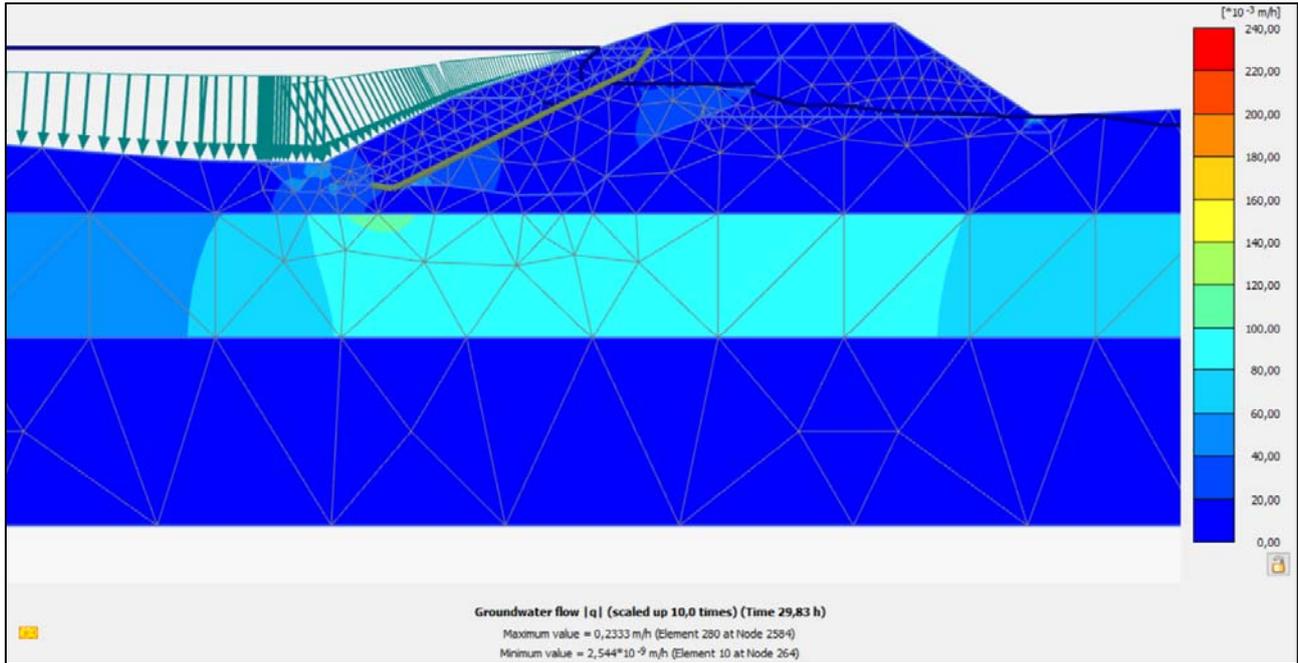
Coupe 11 – Vue du modèle Plaxis

Les calculs d'écoulement montrent que le corps de la digue est partiellement saturé en fin de montée de la crue. Les écoulements en pied de talus aval sont canalisés par la clé drainante. Le GSB induit une perte de charge du même ordre que celle observée sur la coupe 1.



Coupe 11 – Q100 - fin montée - Charge hydraulique

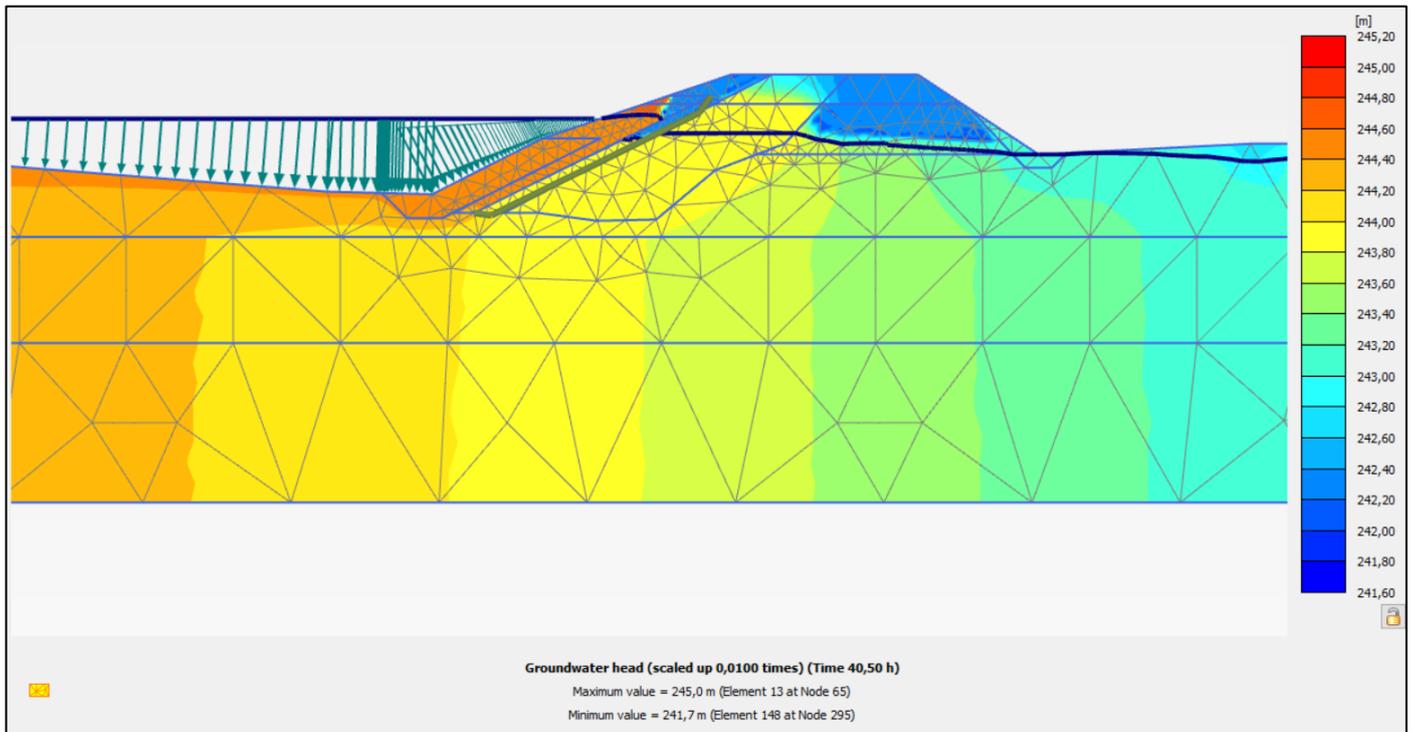
Les écoulements sont comparables à ceux de la coupe 1 et se développent essentiellement dans la couche d'alluvions graveleuses (2).



Coupe 11 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

Lors de la décrue, les pressions interstitielles dans le corps de digue se dissipent mais avec un décalage par rapport au niveau de la Leyse notamment au niveau du talus amont, dans les matériaux de couverture du GSB.

On note également qu'en fin de crue, la digue reste significativement saturée.

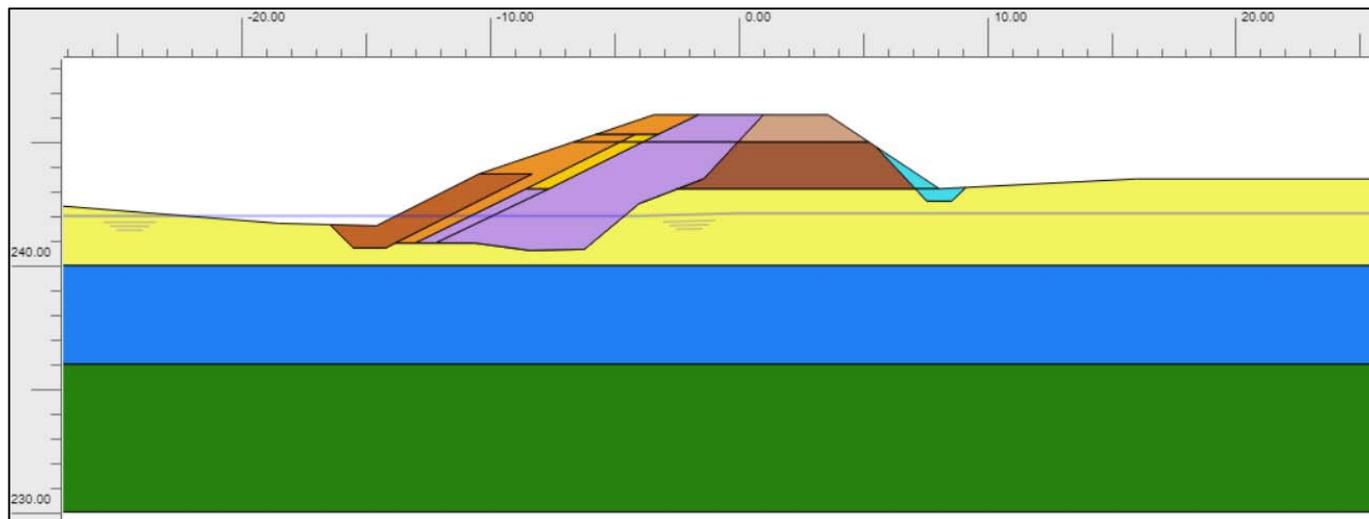


Coupe 11 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

Avec les données disponibles avant $t = 15h$, la montée de la nappe jusqu'à 224.5 NGF (valeur à $t = 15h$ située soit seulement 80 cm plus bas que le niveau du pic de la crue) se fait moins brutalement et la ligne de saturation est globalement légèrement moins haute dans le corps de la digue.

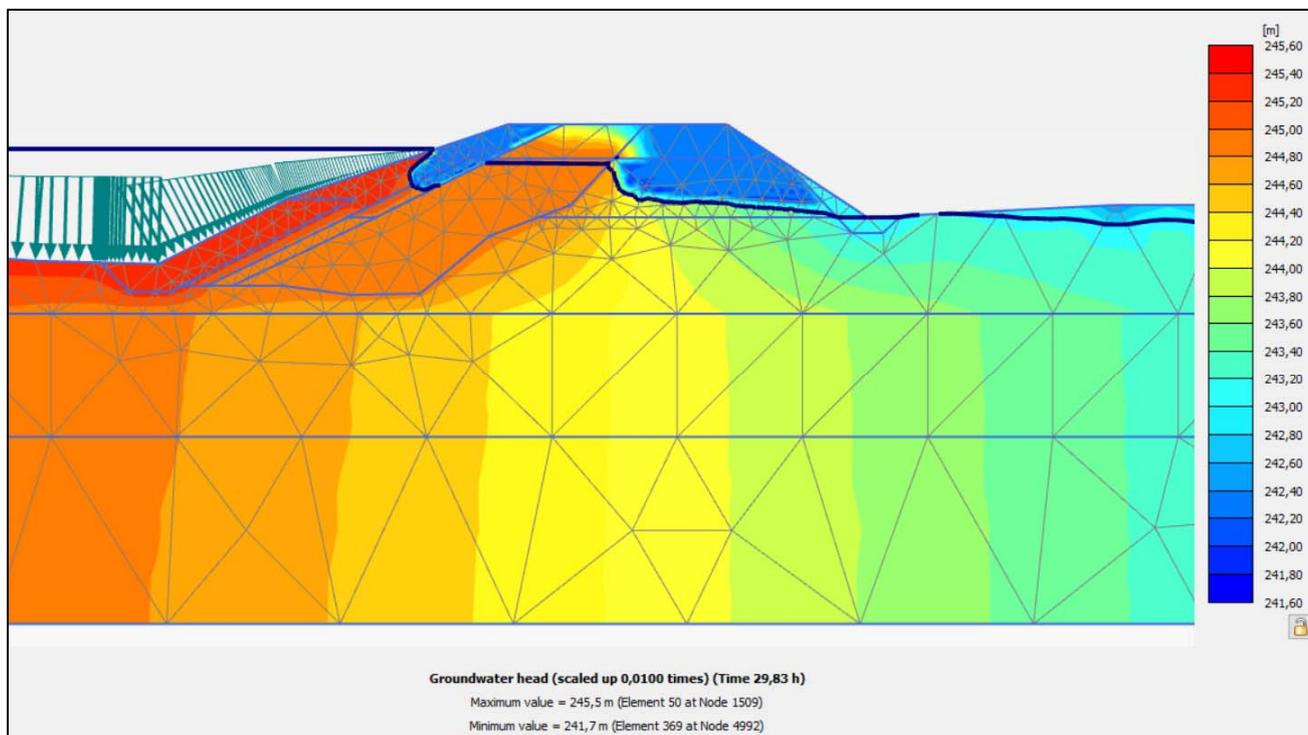
3.2.6. Coupe 12 - Masque argileux associé à une clé drainante

Cette coupe est basée sur la géométrie de la coupe 11 pour laquelle le GSB a été remplacé par un masque argileux de 0.5 m d'épaisseur, descendu au niveau du TN aval (soit environ 2 m plus bas que le niveau maximal de la crue) et avec une perméabilité de 10^{-6} m/s.



Coupe 12 - Vue du modèle Plaxis

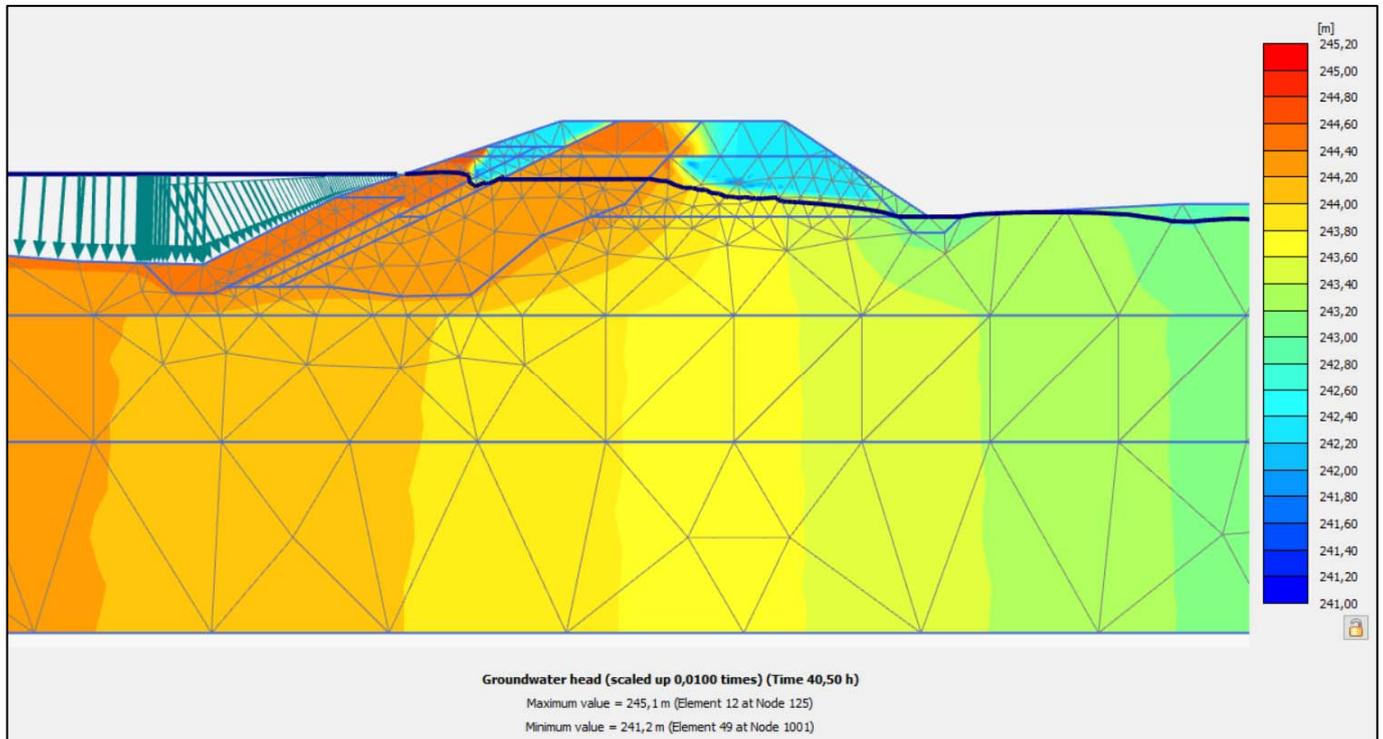
En amont du talus la ligne de saturation dans le Tout-venant est plus haute et la perte de charge moins brutale qu'avec le GSB vraisemblablement à cause du raccourcissement du système d'étanchéité.



Coupe 12 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

Les écoulements restent essentiellement développés dans la couche d'alluvions graveleuses (2) comme pour les coupes précédentes.

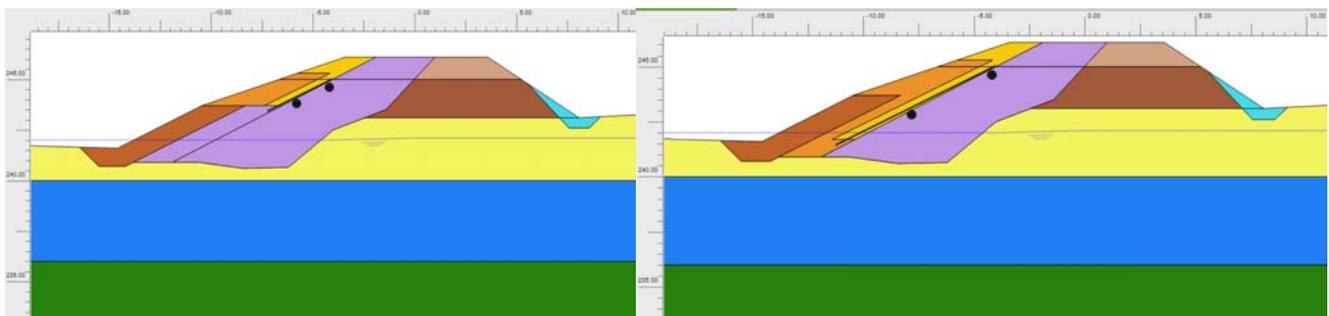
Lors de la décrue, les pressions interstitielles dans le corps de la digue se dissipent relativement rapidement et sont proches de l'équilibre avec le niveau du cours d'eau. La saturation reste élevée dans le corps de la digue notamment côté aval.



Coupe 12 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

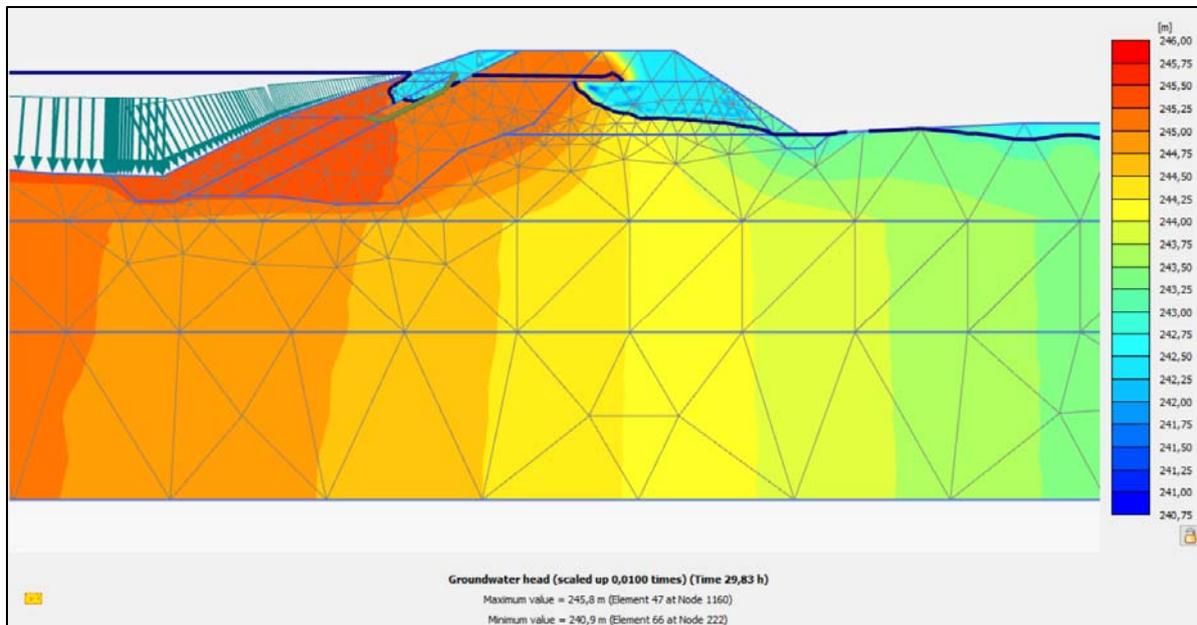
3.2.7. Coupe 13- Optimisation des longueurs de GSB

Cette coupe est basée sur la géométrie de la coupe 11 pour laquelle la longueur du GSB a été arrêtée 1 m, pour L1, et 3 m, pour L3, plus haut que la base de l'enrochement amont.

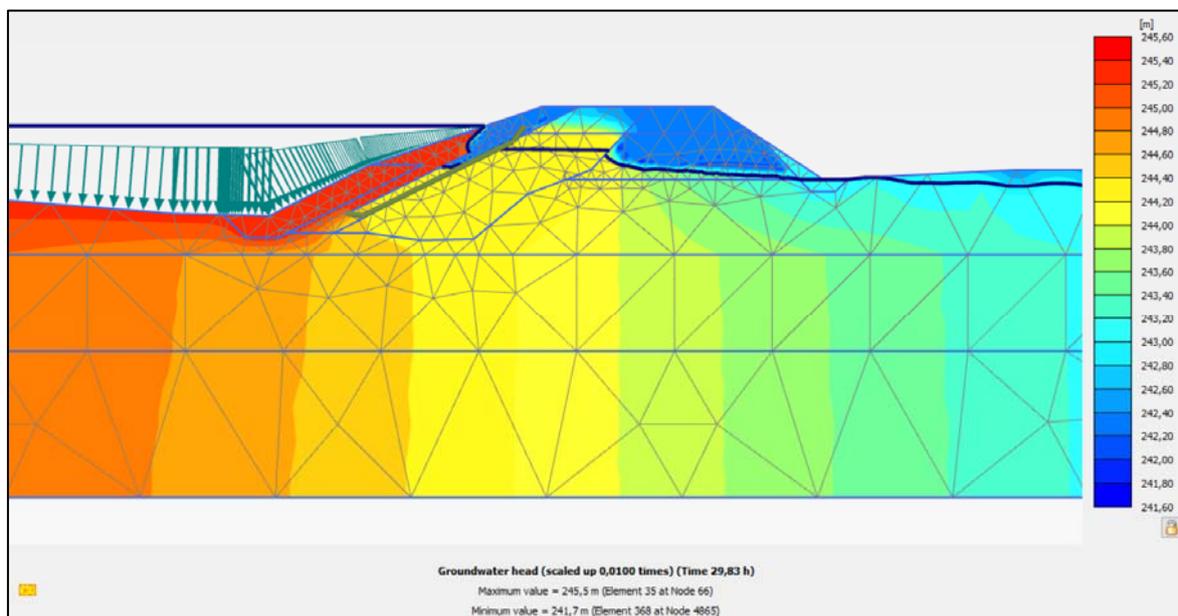


Coupe 13 - Vue du modèle Plaxis. A gauche, coupe avec L3 =3.8 m. A droite, coupe avec L1 = 8.3 m.

Raccourcir le GSB a pour effet de remonter la ligne de saturation, mais principalement dans le centre de la digue représenté par le tout-venant, la pression interstitielle se dissipe ensuite dans le corps de digue limono-sableux. Les résultats obtenus avec le GSB plus court sont plus défavorables et montrent des écoulements résurgents absents pour le GSB de longueur L1.

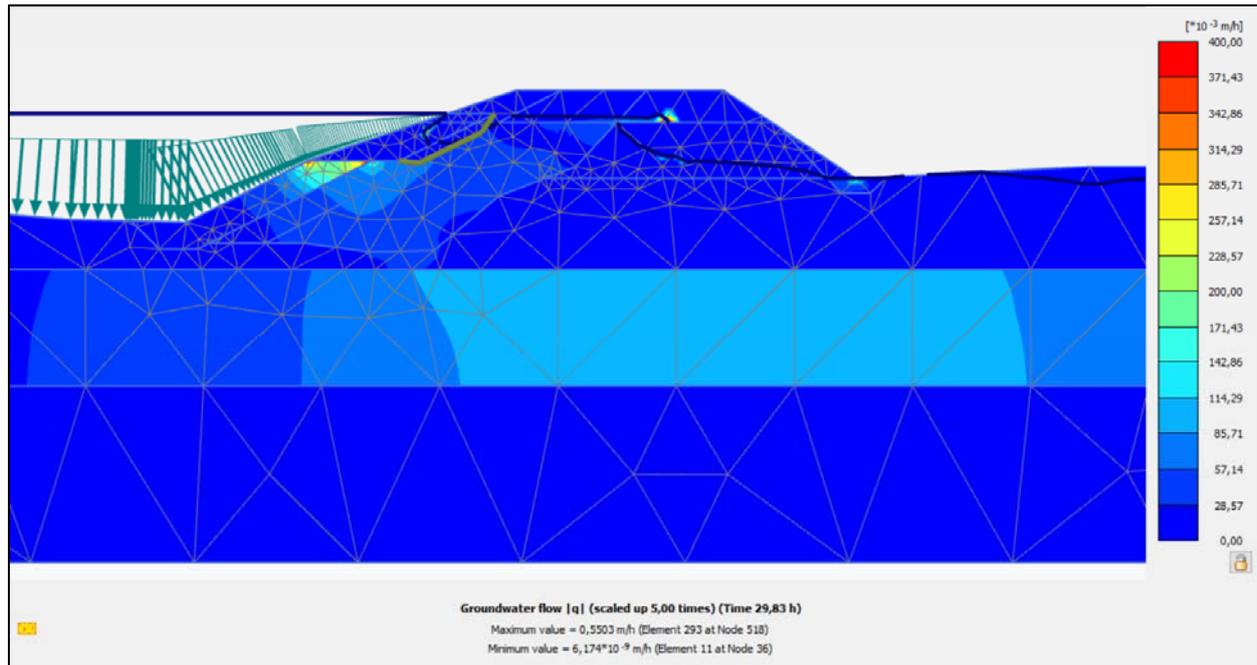


Coupe 13 - L3 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

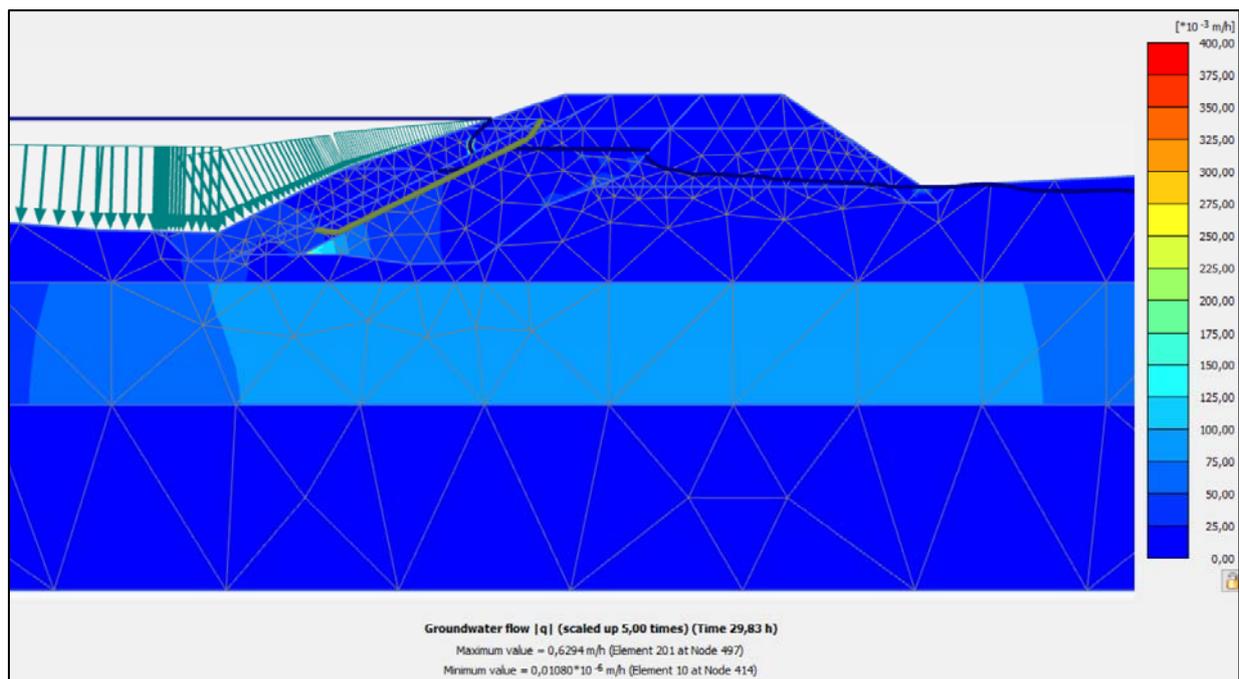


Coupe 13 - L1 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

Les écoulements sont toujours essentiellement développés dans la couche d'alluvions graveleuses (2) mais en l'absence de matériaux peu perméables sous le GSB L3, des écoulements sont accentués de la Laysse vers le centre de la digue.

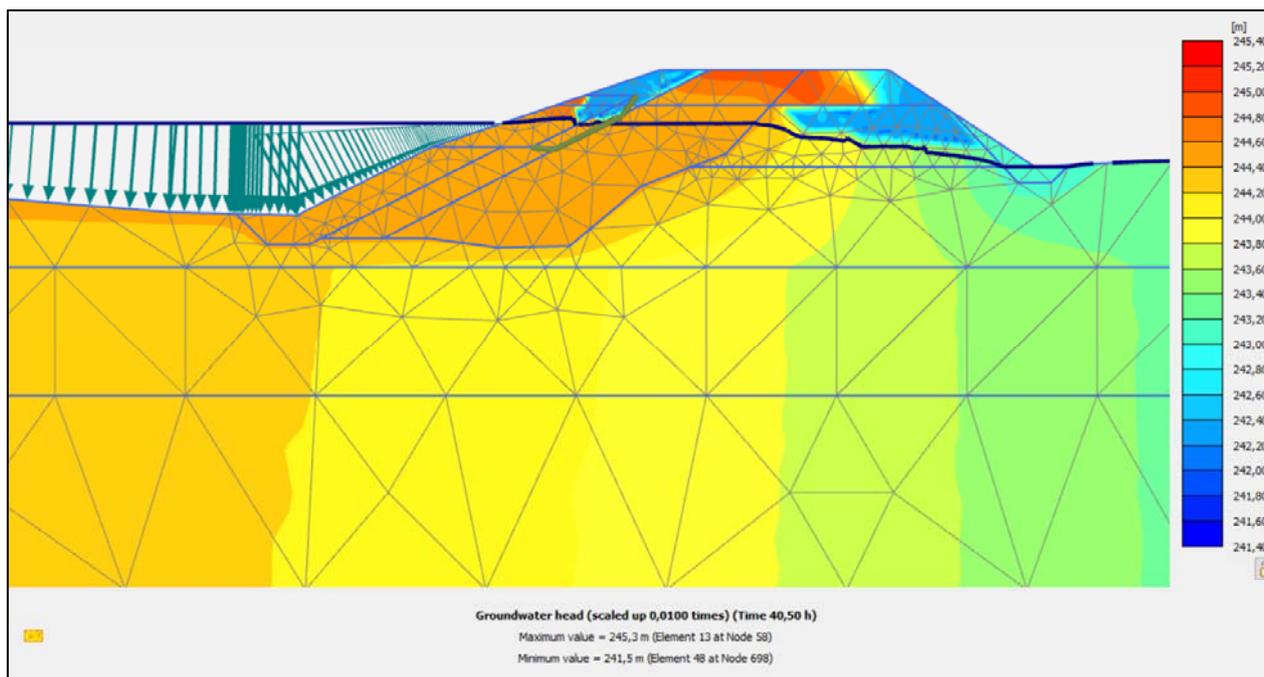


Coupe 13 - L3 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

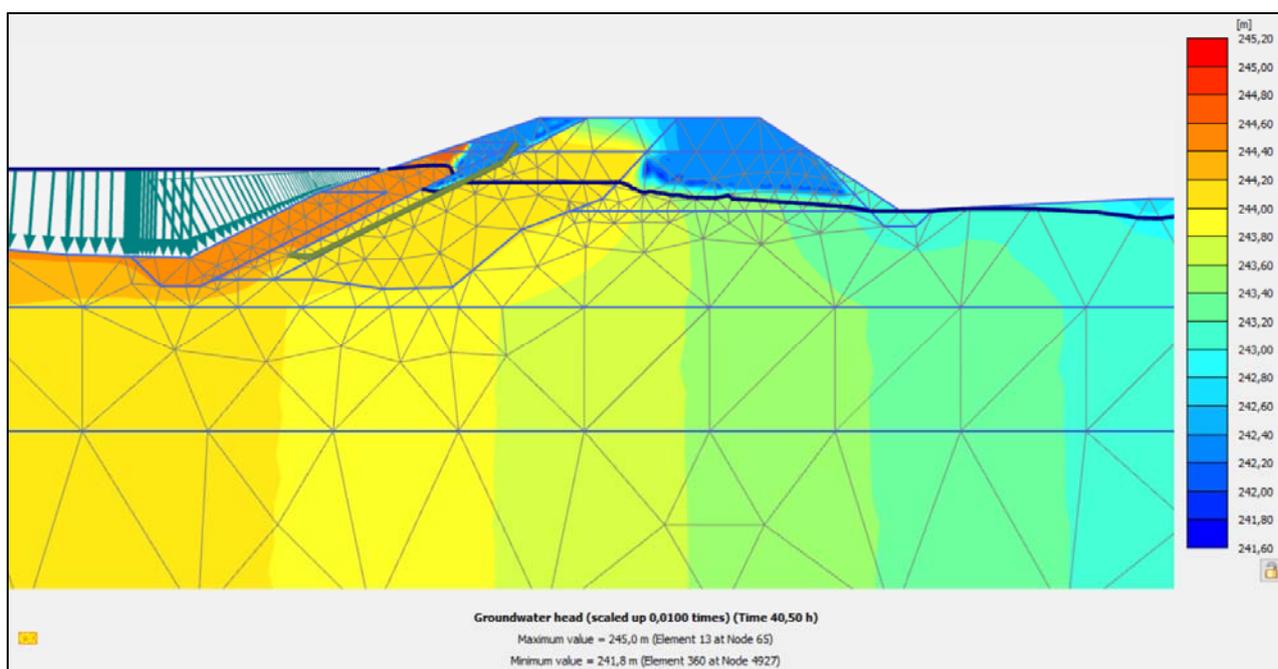


Coupe 13 - L1 - Q100 - fin montée - Champs de vitesse

Lors de la décrue, on constate que la digue reste majoritairement saturée. Le décalage des pressions interstitielles avec la Laysse est nettement moins marqué pour le GSB le plus court de longueur L3.



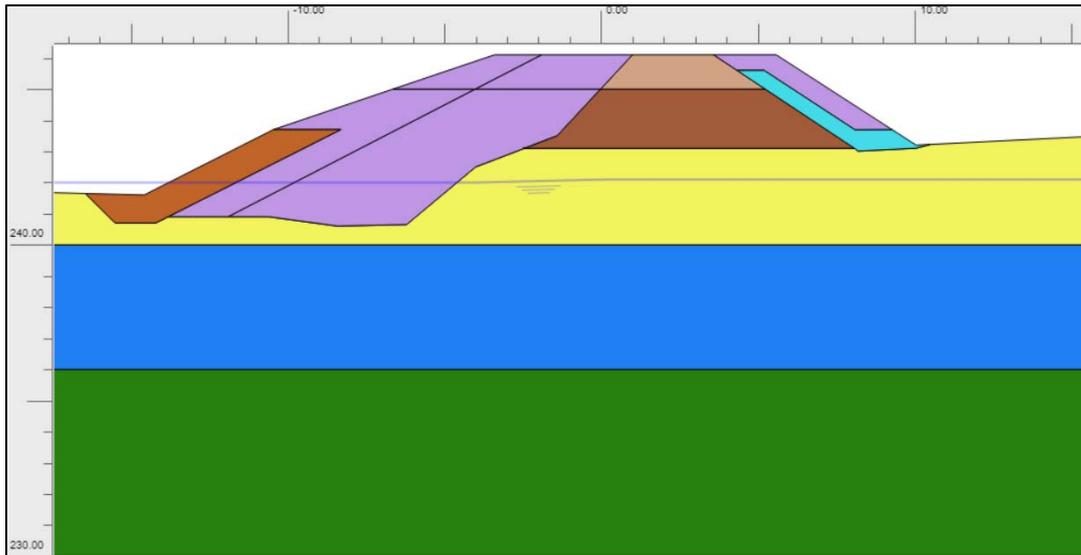
Coupe 13 - L3 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique



Coupe 13 - L1 - Q100 - fin décrue - Charge hydraulique

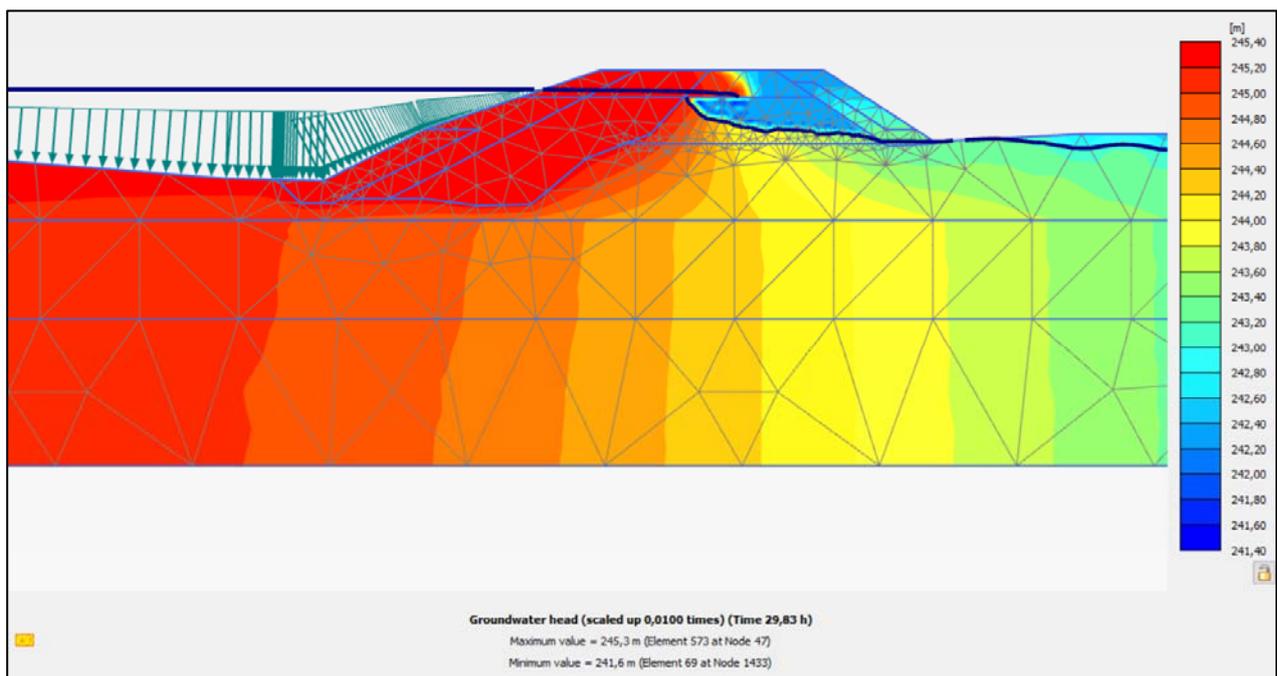
3.2.8. Coupe 10 – Suppression GSB et ajout recharge drainante

Cette coupe est basée sur la géométrie de la coupe 11 pour laquelle le GSB a été supprimé et une recharge drainante aval ajoutée. La largeur modélisée pour cette banquette est de 2 m.



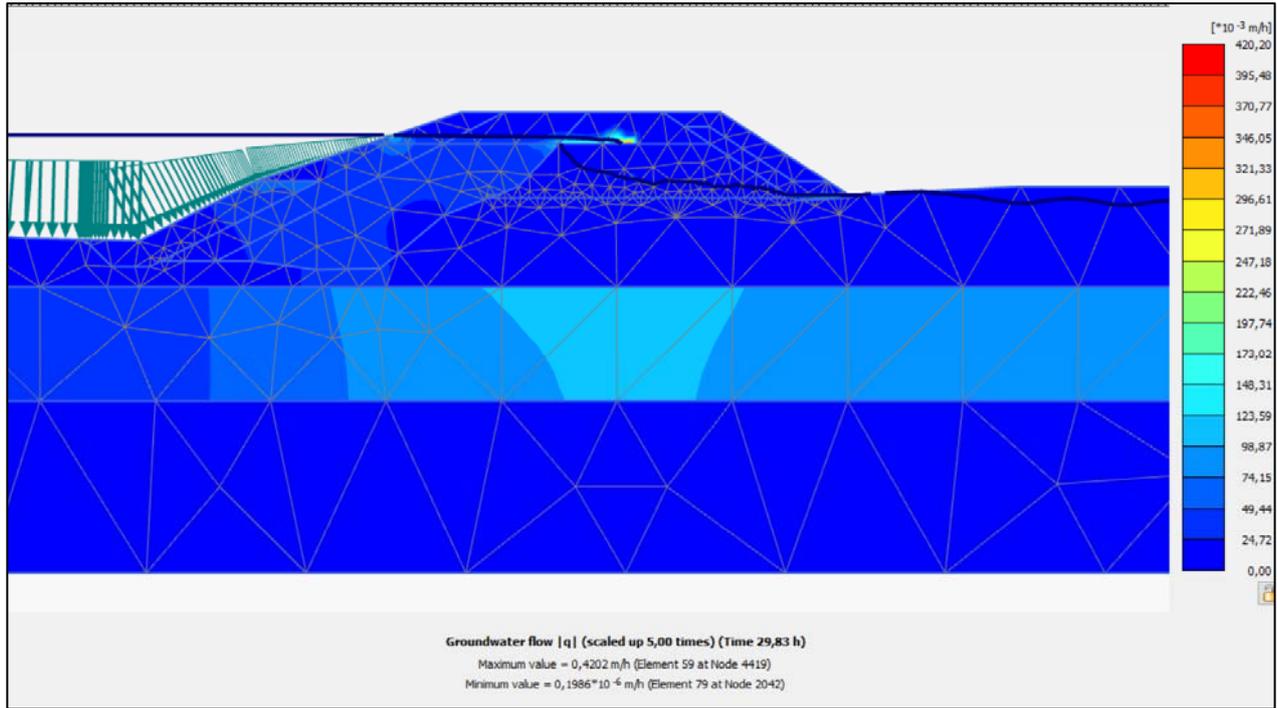
Coupe 10 - Vue du modèle Plaxis

En l'absence de masque argileux ou GSB, le front de saturation avance dans le corps de la digue, puis on retrouve la perte progressive de charge dans le talus aval accentuée en pied de talus par la clé drainante.



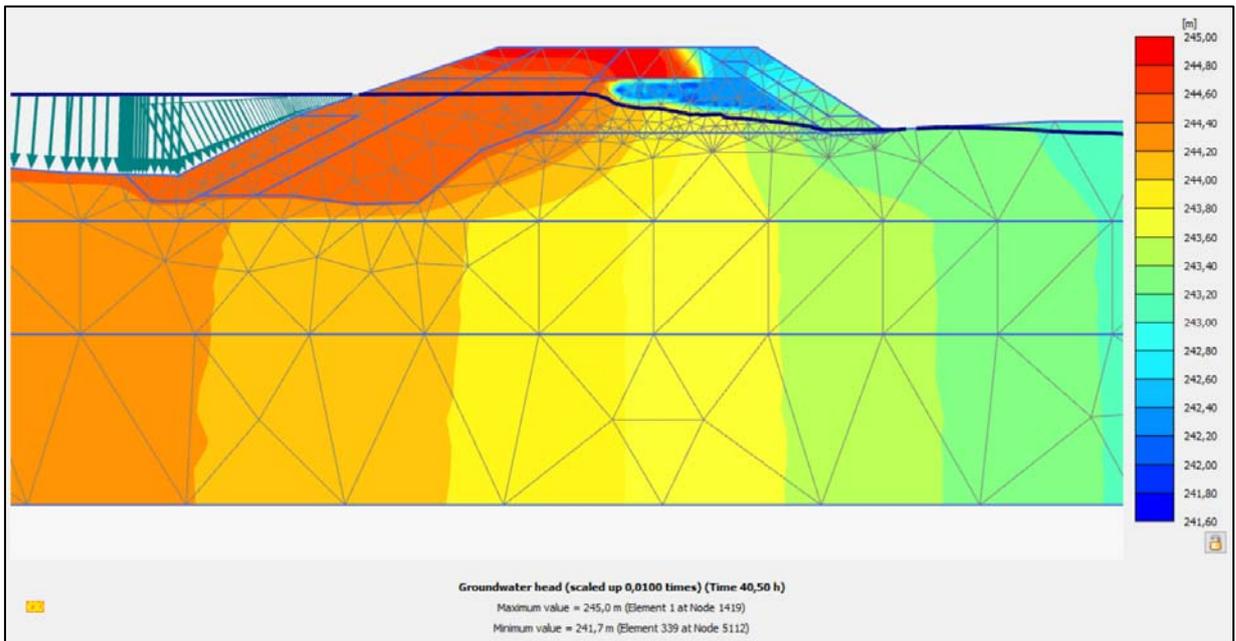
Coupe 10 - Q100 - fin montée - Charge hydraulique

Nous retrouvons les écoulements attendus dans la couche d'alluvions graveleuses (2) et des écoulements, moins rapides, de la Leysse vers la digue.



Coupe 10 – Q100 - fin montée – Champs de vitesse

Lors de la décrue, les pressions interstitielles dans les matériaux de la digue se dissipent rapidement jusqu'à atteindre le niveau de la Laysse. Ce comportement est cohérent avec les matériaux plutôt perméables en amont de la digue.



Coupe 10 – Q100 - fin décrue – Charge hydraulique

4. Vérification de la stabilité au glissement

Les résultats de ces calculs sont synthétisés dans les paragraphes ci-après. Les détails des calculs sont présentés en annexe.

4.1. Coupe 1 - Courbure de Villarcher

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 1 | Etiage | Aval | 1,35 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,14 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,19 > 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1,22 > 1,0 | |

Selon les résultats des calculs de stabilité sur la coupe 1, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.2. Coupe 2 - Changement de lithologie

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 2 | Etiage | Aval | 1,16 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,09 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,42 > 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1,11 > 1,0 | |

Selon les résultats des calculs de stabilité sur la coupe 2, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.3. Coupe 3 - Raidissement du talus amont

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 3 | Etiage | Aval | 1,28 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,33 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,00 ≥ 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 0,72 < 1,0 | |

Selon les résultats des calculs de stabilité sur la coupe 3, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables sauf pour le talus amont lors de la décrue. Le risque de glissement est lié aux pressions interstitielles résiduelles dans les matériaux de confinement du GSB.

Afin d'améliorer la stabilité au glissement, on étudie une solution de rehausse de la couverture en enrochements jusqu'à la cote supérieure du GSB (Q100). Les calculs d'écoulement (logiciel Plaxis) sont également mis à jour avec cette adaptation de la constitution de la digue.

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|---|
| 3 | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1,02 > 1,0 | Réhausse de la couverture en enrochements |

Les calculs de stabilité montrent que la rehausse des enrochements permet de atteindre un risque de glissement acceptable.

4.4. Coupe 4 - Mur Promocash

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|
| 4 | Etiage | Aval | 1,50 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,43 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,06 > 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | > 1,0 | Cercles de peaux F<1,0, non réalistes |

Pour le talus amont, en fin de décrue, des cercles apparaissent avec des coefficients de sécurité inférieurs à 1,0. Il s'agit toutefois de cercles de peaux peu réalistes. Tous les cercles de glissements avec une profondeur supérieur à 0,30 m présentent des coefficients de sécurité supérieurs à 1,0.

On peut donc juger que selon les résultats des calculs de stabilité sur la coupe 3, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.5. Coupe 11- coupe 1 avec clé drainante

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 11 | Etiage | Aval | 1,36 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,32 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,19 > 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1,38 > 1,0 | |

Les coefficients de sécurité sont améliorés par la montée progressive de la crue rendue possible par le limnigramme complet et par la clé drainante.

Selon les résultats des calculs de stabilité sur cette coupe de calcul, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.6. Coupe 12- coupe 11 avec masque argileux

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 12 | Etiage | Aval | 1,36 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,30 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,18 > 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1,32 > 1,0 | |

Les coefficients de sécurité sont comparables à ceux obtenus avec le GSB.

Selon les résultats des calculs de stabilité sur cette coupe de calcul, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.7. Coupe 13- coupe 11 avec GSB raccourci

Les résultats sont présentés uniquement pour le GSB le plus court L3, qui est le cas le plus défavorable.

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 13 L3 | Etiage | Aval | 1,36 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,22 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,17 > 1,0 | |
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1,25 > 1,0 | |

Les coefficients de sécurité sont légèrement plus faibles qu'avec le GSB descendu jusqu'à la base de la l'enrochement, mais restent du même ordre.

Selon les résultats des calculs de stabilité sur cette coupe de calcul, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.8. Coupe 10 - coupe 11 sans GSB + recharge drainante aval de 2 m

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 10 | Etiage | Aval | 1,36 > 1,0 | |
| | Fin de la montée - Q100 | Aval | 1,31 > 1,0 | |
| | Etiage | Amont | 1,15 > 1,0 | |

| | | | | |
|--|-------------------------|-------|------------|--|
| | Fin de la décrue - Q100 | Amont | 1.22 > 1,0 | |
|--|-------------------------|-------|------------|--|

Les coefficients de sécurité du même ordre que ceux obtenus avec la coupe 11, sauf à la décrue, où en l'absence du GSB, le coefficient de sécurité est légèrement plus faible.

Selon les résultats des calculs de stabilité sur cette coupe de calcul, les risques de glissements lors des phases de crue sont acceptables.

4.9. Stabilité sous séisme

Compte tenu du niveau d'aléa sismique du secteur des digues en rive droit et de leur classe B, on étudie la stabilité des digues sous séisme. Cette vérification est menée pour une condition du cours d'eau à l'étiage. Les coefficients partiels sont ceux préconisés par le CFBR à savoir :

| Situation | Niveau nappe correspondant | Coefficient partiel γ_m sur c' et $\tan\phi'$ | Coefficient partiel γ_m sur le poids volumique | Coefficient de modèle γ_d |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Extrêmes de crue, sismique ou autres | Niveau constant, début phase de crue | 1,0 | 1,0 | 1,1 |

Les calculs sont menés selon l'Eurocode. Conformément au zone sismique (cf. NHY) les digues en rive droit se situent en zone de sismicité moyenne (zone 4).

L'accélération de calcul est estimée à partir des facteurs suivants :

- Accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A : $a_{gr} = 1,6 \text{ m/s}^2$
- Coefficient d'importance : $\gamma_I = 1,2$ (classe d'importance supposée égale à III - à confirmer par le MOA)
- Paramètre de sol : $S = 1,5$ (sol de classe C)

La vérification de la stabilité au glissement est effectuée selon la méthode pseudo-statique en tenant compte des coefficients d'accélération horizontale et verticale estimés selon les formules suivantes :

- $\sigma_h = 0,5 * \gamma_I * a_{gr} / g * S = 0,144$
- $\sigma_v = \pm 0,5 * \sigma_h = \pm 0,072$

Les calculs sont menés pour les coupes présentant les plus faibles coefficients de sécurité à l'étiage : coupes 3 (talus amont) et coupe 4 (talus amont).

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|------------------|-------|-------------------------|--------------|
| 3 | Etiage | Amont | 1,00 \geq 1,0 | |
| | Séisme pesant | Amont | 1,04 \geq 1,0 | |
| | Séisme allégeant | Amont | 1,01 \geq 1,0 | |

| N° coupe | Phase | Talus | Coefficient de sécurité | Commentaires |
|----------|--------|-------|-------------------------|--------------|
| 4 | Etiage | Amont | 1,06 > 1,0 | |

| | | | | |
|--|------------------|-------|-----------------|--|
| | Séisme pesant | Amont | 1,04 \geq 1,0 | |
| | Séisme allégeant | Amont | 1,00 \geq 1,0 | |

On constate que le niveau de sécurité par rapport au risque de glissement est proche ou légèrement inférieur au niveau de sécurité en situation courante. Dans tous les cas, la stabilité est justifiée sous séisme.

5. Etudes des risques d'érosion interne

5.1. Boullance

Pour un écoulement vertical ascendant le critère suivant doit être vérifié afin de garantir la sécurité vis-à-vis du soulèvement hydraulique :

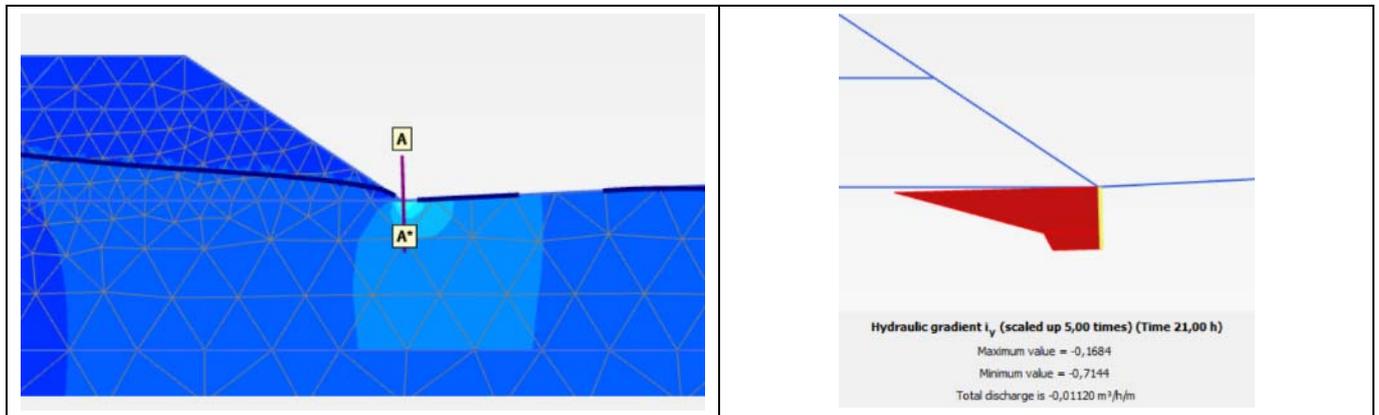
$$i < i_c$$

Avec :

$$i_c = \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_w}$$

Dans le cas présent, la couche avec le poids volumique le plus faible est de $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ soit $i_c = 0,9$.

- Coupe 1 – Fin de la montée Q100 :

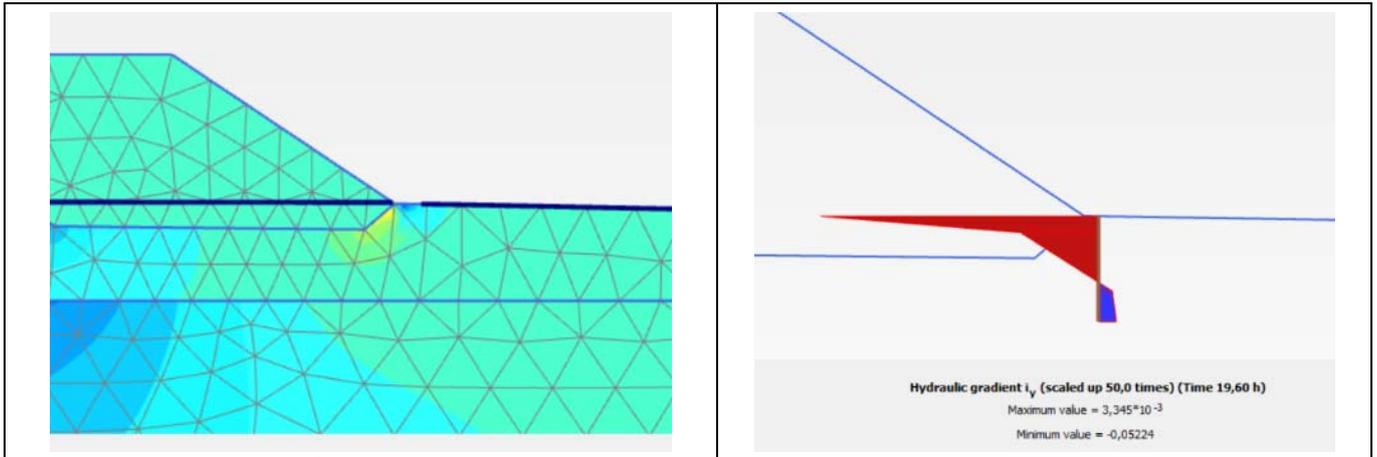


Coupe 1 - Q100 - fin montée - gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval
- Critère : $i_{y,max} = 0,7 < 0,9$ (et même $< 0,5$ à $0,20 \text{ m}$ de profondeur). Le critère est respecté et le volume de sol concerné par les gradients significatifs est faible mais les gradients ascendants sont tout de même proches du seuil de boullance et sont situé en surface, au niveau du débouché des écoulements.
- Synthèse : Risque boullance faible mais non négligeable.

Nota : les valeurs de gradient i_y négatives correspondent à un écoulement ascendant ($\vec{V} = -k \times \vec{i}$).

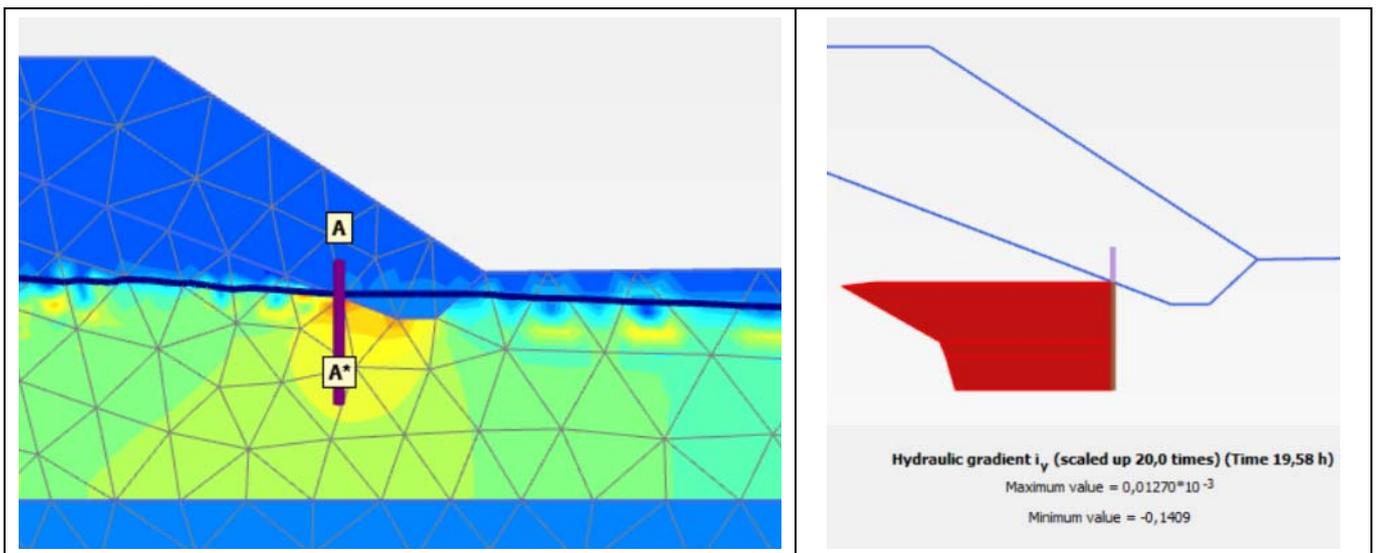
- Coupe 2 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 2 - Q100 - fin montée - gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval
- Critère : $i_{y,max} = 0,06 \ll 0,9$
- Synthèse : Risque boulangé écarté

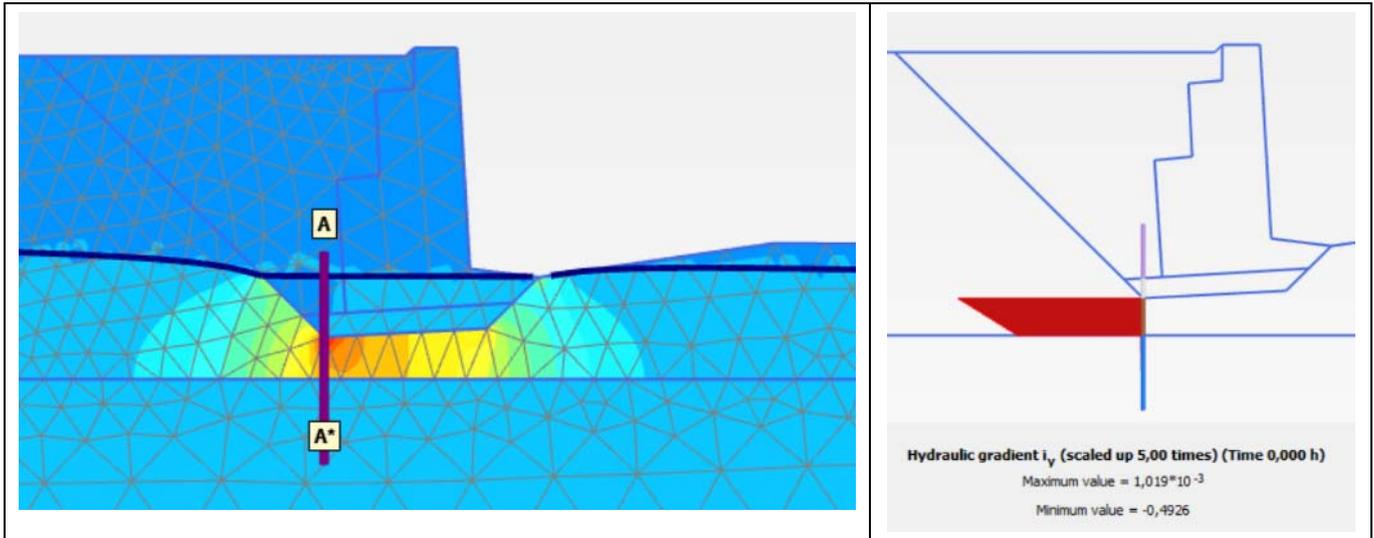
- Coupe 3 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 3 - Q100 - fin montée - gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : Pas d'écoulements résurgents côté aval
- Critère : $i_{y,max} = 0,15 \ll 0,9$
- Synthèse : Risque boulangé écarté

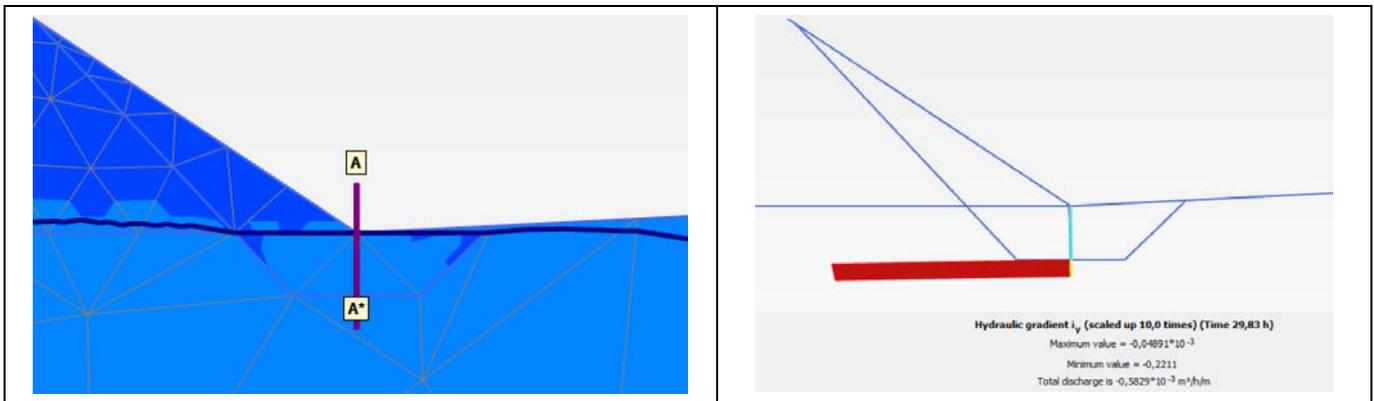
- Coupe 4 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 4 – Q100 - fin montée – gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval mais pics de gradient ascendants à environ 0,50m de profondeur, sous le mur de soutènement.
- Critère : $i_{y,max} = 0,5 < 0,9$
- Synthèse : Risque boulangé très faible, notamment compte tenu de la surcharge apportée par le mur de soutènement.

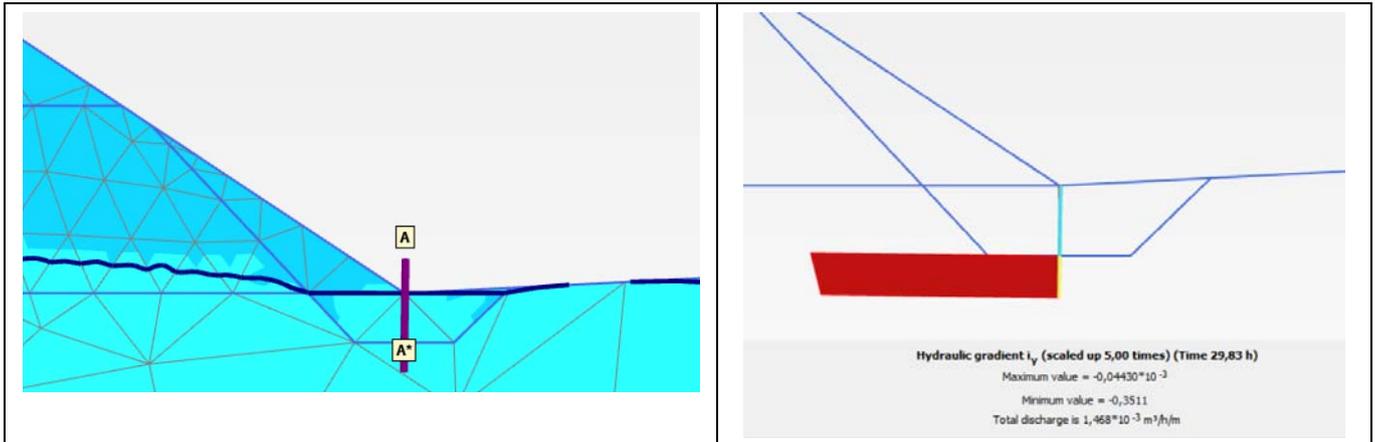
- Coupe 11- Fin de la montée Q100 :



Coupe 11 – Q100 - fin montée – gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval
- Critère : $i_{y,max} = 0,2 < 0,9$. Le critère est respecté. La clé drainante permet de faire chuter le gradient hydraulique à proximité de la surface.
- Synthèse : Risque boulangé écarté

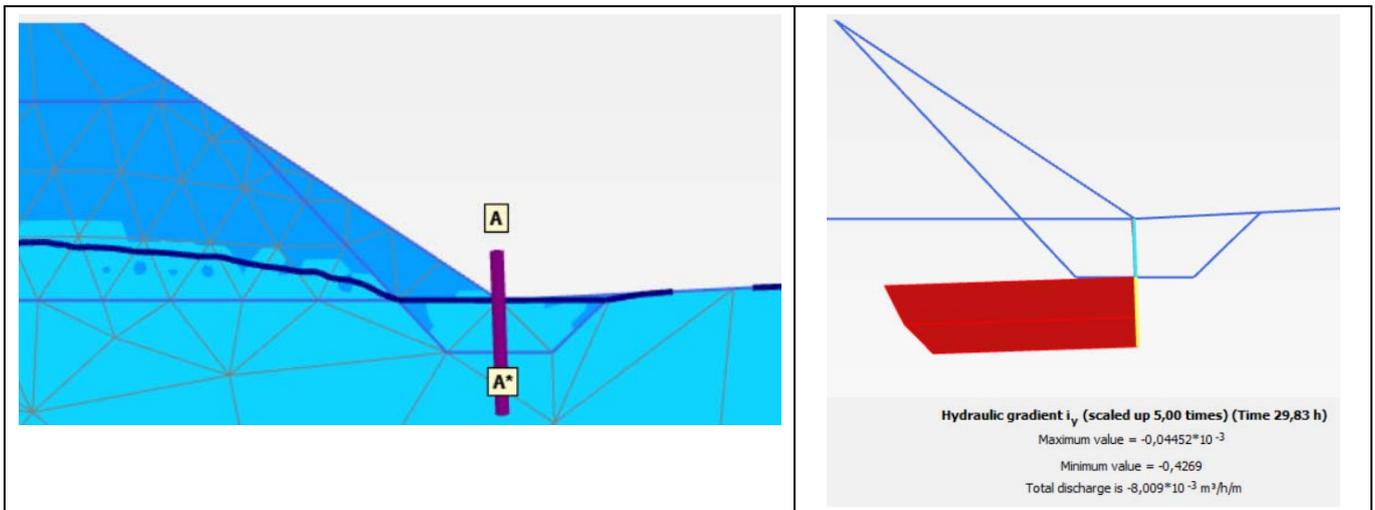
- Coupe 12- Fin de la montée Q100 :



Coupe 12 - Q100 - fin montée - gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval
- Critère : $i_{y,max} = 0,35 < 0,9$. Le critère est respecté. Le remplacement du GSB par le masque argileux augmente la valeur absolue de $i_{y,max}$ notamment du fait du raccourcissement du système d'étanchéité.
- Synthèse : Risque boulanges écarté

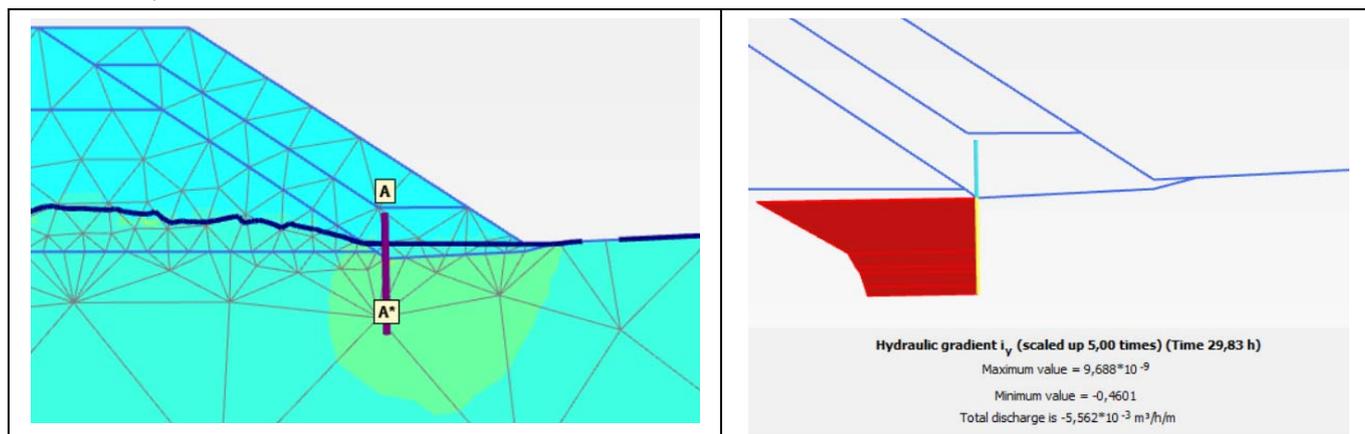
- Coupe 13 L3- Fin de la montée Q100 :



Coupe 13 L3 - Q100 - fin montée - gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval
- Critère : $i_{y,max} = 0,45 < 0,9$ sous la clé drainante (0.5 m de profondeur). Le critère est respecté. Raccourcir le GSB fait augmenter la valeur de $i_{y,max}$.
- Synthèse : Risque boulanges très faible.

• Coupe 10- Fin de la montée Q100 :



Coupe 10 - Q100 - fin montée - gradient hydraulique vertical (i_y)

- Caractéristiques de l'écoulement : écoulements résurgents côté aval mais pics de gradient ascendants à environ 0,50m de profondeur, sous la recharge drainante.
- Critère : $i_{y,max} = 0,5 < 0,9$. Le critère est respecté.
- Synthèse : Risque boulanges très faible, notamment compte tenu de la surcharge apportée par les matériaux de la recharge drainante et du volume de sol concerné

5.2. Soulèvement côté aval

Le risque de soulèvement intervient lorsque de la pression interstitielle à la base d'une couche relativement peu perméable devient supérieure à la contrainte totale induite essentiellement par le poids des terres susjacentes.

Dans le cas des digues de la Leysse, il convient d'étudier ce risque en tête de la couche d'alluvions graveleuses [2] lorsqu'elle est couverte par des formations moins perméables ([1a] et [3]). Les coupes 1, 3 et 4 sont concernées par ce contexte.

| Coupe | Couche « imperméable » | Pression interstitielle | Contrainte totale | Conclusion |
|-------|--|-------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 1 | Limon sableux ou sable limoneux [3] | $u = 34$ kPa | $\sigma_v = 60$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,59$) |
| 3 | Remblai de corps de digue Sable limoneux [1a] | $u = 23$ kPa | $\sigma_v = 48$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,87$) |
| 4 | Remblai de corps de digue Sable limoneux [1a] | $u = 14$ kPa | $\sigma_v = 24$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,71$) |
| 11 | Limon sableux ou sable limoneux [3] | $u = 39$ kPa | $\sigma_v = 60$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,38$) |
| 12 | Limon sableux ou sable limoneux [3] | $u = 38$ kPa | $\sigma_v = 60$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,42$) |
| 13 | Limon sableux ou sable limoneux [3] | $u = 39$ kPa | $\sigma_v = 60$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,38$) |
| 10 | Limon sableux ou sable limoneux [3] | $u = 39$ kPa | $\sigma_v = 60$ kPa | $u < \sigma_v$ ($F = 1,38$) |

Sur la base de la modélisation des écoulements hydrauliques, le risque de soulèvement côté aval de la digue apparaît très peu probable.

5.3. Suffusion

La suffusion correspond à un mouvement des grains de petite taille, non structuraux, à l'intérieur du squelette, plus grossier.

L'initiation de la suffusion suppose tout d'abord qu'il y ait des particules libres de se mouvoir, c'est-à-dire des particules qui ne sont pas étreintes par la matrice du sol. La suffusion peut se développer lorsque le squelette du sol (la matrice), par lequel les contraintes de confinement circulent, est constitué par un assemblage de particules grossières, les particules les plus fines occupent les pores de cette matrice, et ne reçoivent pas les contraintes effectives de confinement.

Compte tenu de la nature des matériaux rencontrés au niveau du système d'endiguement de la Leyse aval, la plupart des couches présentent une teneur en éléments fins significative à l'exception des alluvions graveleuses **2** (classées selon le GTR, D2 à C1B4 avec une teneur en fines de 4 à 8%).

De nombreux critères sont proposés dans la littérature pour qualifier la résistance d'un sol à la suffusion. Ils fournissent des résultats parfois très différents. On notera notamment que le critère géométrique de Kenney&Lau, fréquemment évoqué, est jugé conservateur par certaines sources (Li PhD) et qu'il garantirait une stabilité interne pour des gradients hydrauliques très importants, supérieurs à 1.

Malgré les nombreux critères proposés dans la littérature, on peut proposer une tendance concernant les valeurs de gradients hydrauliques critiques pour la suffusion dans les sols dits « instables » selon les critères granulométriques :

- $i < 0,10$: gradient faible, faible probabilité de suffusion,
- $0,10 < i < 0,30$: gradient moyen, probabilité de suffusion non négligeable, fonction de la nature du sol,
- $i > 0,30$: gradient fort, importante probabilité de suffusion à long terme.

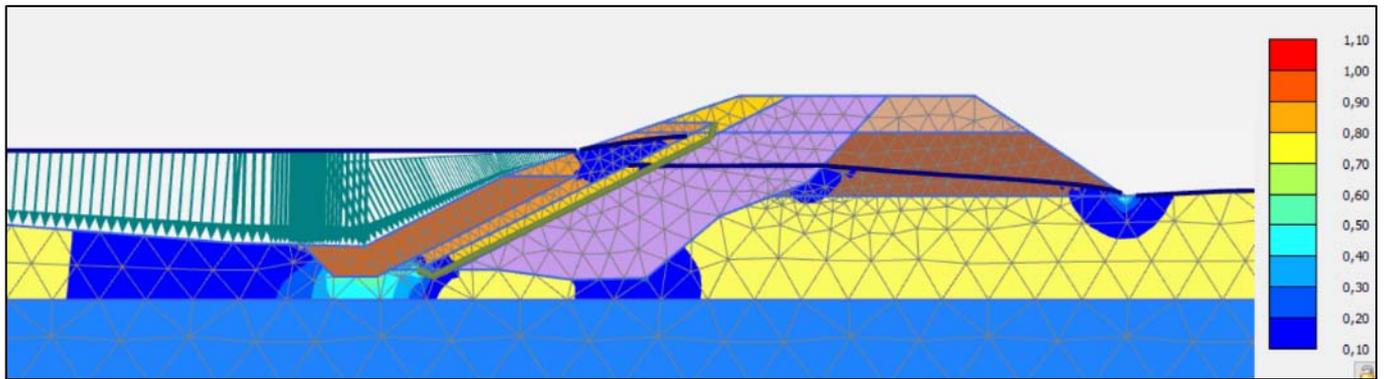
En s'appuyant sur l'approche de Burenkova, jugée moins conservatrice que Kenney&Lau, nous avons classé les différentes couches rencontrées sur la Leyse aval sur la base selon les analyses granulométriques disponibles.

| N° horizon | Lithologie | Nombre d'essais | Critère de Burenkova |
|------------|---|-----------------|------------------------------------|
| 1a | Remblai de corps de digue Sable limoneux | 5 | Stables : 2/5 Instables : 3/5 |
| 3 | Limon sableux ou sable limoneux | 11 | Stables : 8/11 Instables : 3/11 |
| 4 | Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse | 2 | Stables : 2/2 Instables : 0/2 |

Cette approche indique que les couches **3** et **4** seraient globalement « stables » vis-à-vis de la suffusion et que la couche **1a** présente des faciès « instables ».

Afin d'évaluer les risques de suffusion du point de vue du critère hydraulique, on présente ci-après les gradients hydrauliques calculés pour les différentes coupes de calcul au pic de la crue.

- Coupe 1 – Fin de la montée Q100 :

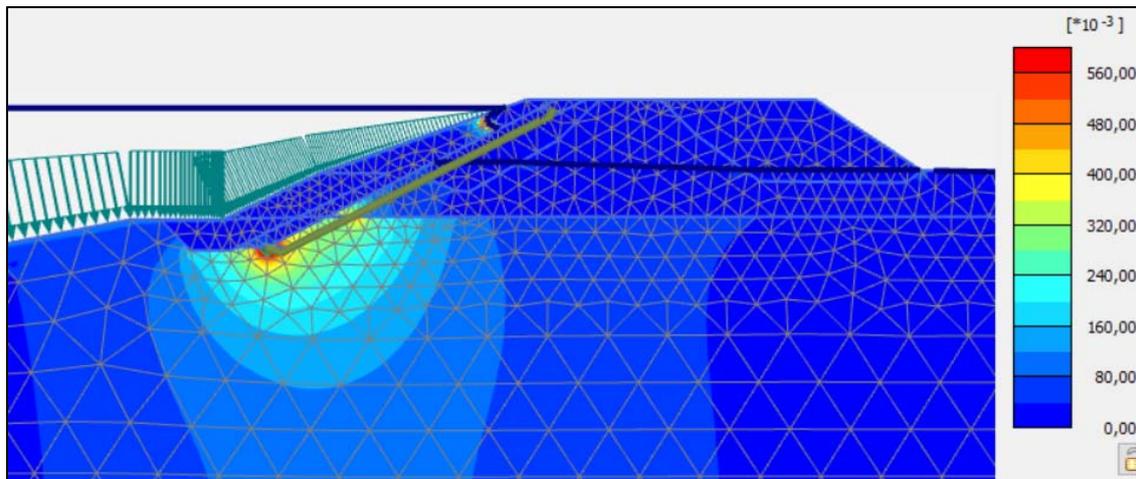


Coupe 1 - Q100 - fin montée - Charge gradient hydraulique $|i|$

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 sur des zones ponctuelles. La plus significative se trouve sous les enrochements au pied du GSB, là où les écoulements passent du cours de la Leyse vers les alluvions graveleuses [2]. Dans cette zone, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,4 à 0,6 et intéresse les alluvions sablo-limoneuses [3] sur une épaisseur de l'ordre de 0,7 m une largeur de 1,5 m. Compte tenu du volume de sol concerné limité et de sa position ainsi que du caractère « stable » de la couche [3], l'initiation de la suffusion peut être jugée très peu probable et le risque de désordre très faible.

Des gradients significatifs sont également à noter au niveau du pied du talus aval mais sur un volume de sol très faible. Dans cette zone, le risque de boulangage apparaît plus notable que celui de la suffusion.

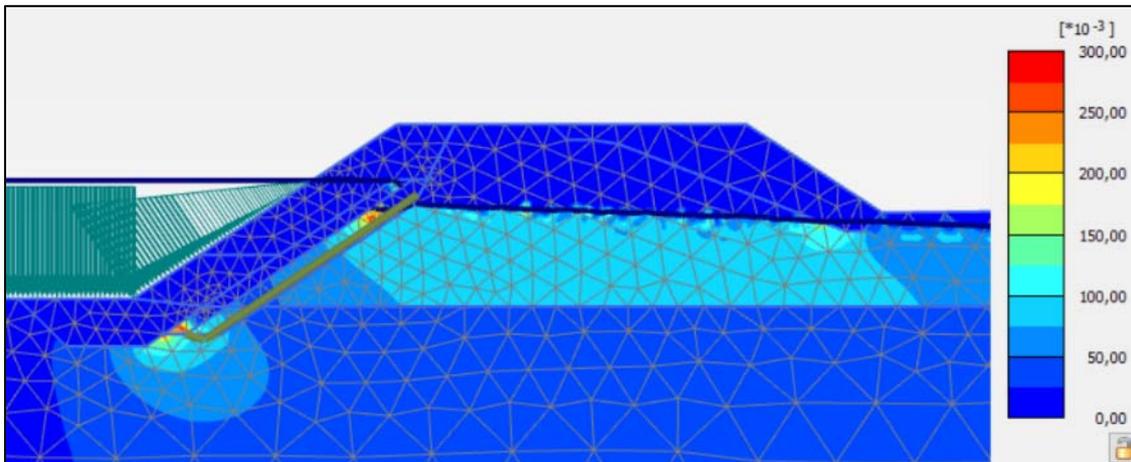
- Coupe 2 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 2 - Q100 - fin montée - Charge gradient hydraulique $|i|$

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 au niveau du contournement du GSB avec un pic de l'ordre de. La valeur de pic est extrêmement localisée (quelques centimètres) et doit vraisemblablement être considérée comme un artefact de calcul. De façon globale, les gradients apparaissent significatifs ($>0,1$) uniquement dans la couche [4] et ils ne sont que très localement supérieurs à 0,3. Compte tenu des caractères « stable » de la couche [4], l'initiation de la suffusion peut être jugée très peu probable.

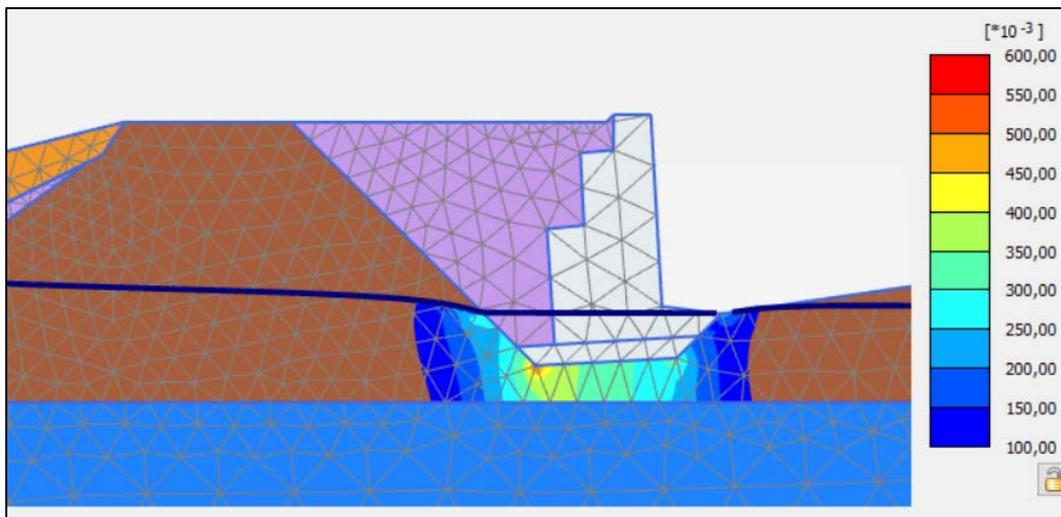
- Coupe 3 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 3 – Q100 - fin montée - Charge gradient hydraulique |i|

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 très ponctuellement avec des pics élevés ($>2,0$) au niveau du contournement du GSB et du front de saturation à l'arrière du GSB. Ces deux pics sont extrêmement localisés (quelques centimètres) et sont vraisemblablement des artefacts de calcul. De façon globale, les gradients apparaissent très faibles ($<0,1$) et l'initiation de la suffusion peut être jugée très peu probable.

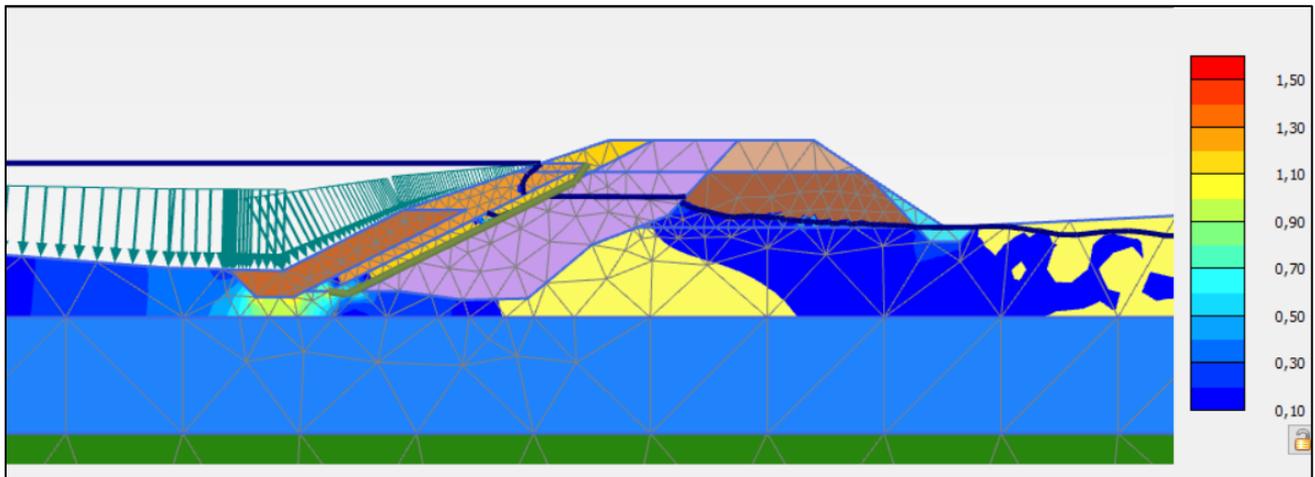
- Coupe 4 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 4 – Q100 - fin montée - Charge gradient hydraulique |i|

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 uniquement sous le mur de soutènement, avec une valeur maximale de 0,55 très localisée. Ces gradients intéressent la couche **1a** sur une épaisseur de l'ordre de 0,5 m une largeur de 1,5 m. Compte tenu du volume de sol concerné très limité le risque de désordres par suffusion apparaît très faible.

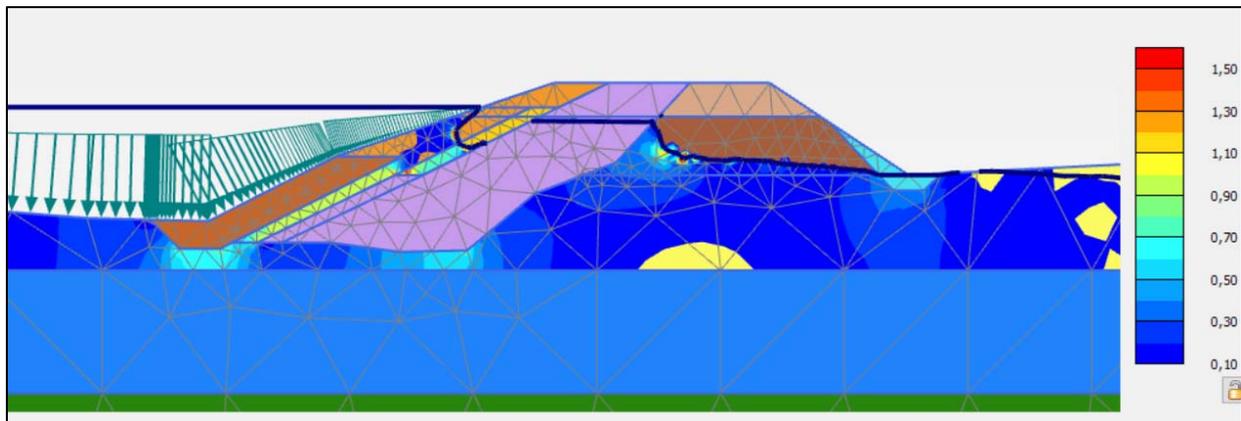
- Coupe 11 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 11 – Q100 - fin montée – Charge gradient hydraulique $|i|$

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 sur des zones ponctuelles mais plus larges que sur la coupe 1. La zone la plus significative reste celle située sous les enrochements au pied du GSB. Les conclusions sont identiques à celles de la coupe 1. On note également les gradients côté aval sont nettement réduits par la présence de la clé drainante, phénomène déjà identifié dans l'analyse du risque de boulangerie.

- Coupe 12 – Fin de la montée Q100 :

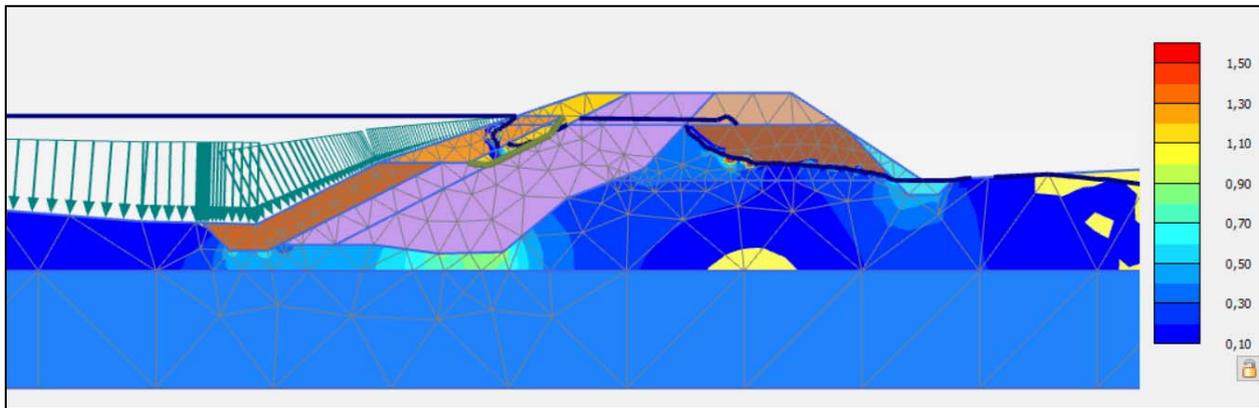


Coupe 12 – Q100 - fin montée – Charge gradient hydraulique $|i|$

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 sur une zone assez large mais plus ponctuellement supérieur à 0,3. Les zones les plus significatives se trouvent sous le remblai en tout venant côté amont et sous les enrochements. Dans ces zones, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,3 à 0,6 et intéresse les alluvions sablo-limoneuses [3] sur une épaisseur de l'ordre de 0,6 m.. Compte tenu du caractère « stable » de la couche [3], l'initiation de la suffusion peut être jugée très peu probable et le risque de désordre très faible. Le volume de sol concerné est toutefois un peu plus important que pour la coupe 1.

On note également de forts gradients au niveau du talus amont, dans le masque argileux (0,6 à 0,8). Les valeurs exactes sont difficiles à estimer finement compte tenu de l'épaisseur limitée dans le modèle mais il paraît logique que les gradients soient élevés dans cet élément peu perméable faisant fonction de système d'étanchéité. Les gradients calculés ne sont pas nécessairement préjudiciables pour des matériaux argileux réputés résistants à la suffusion mais il conviendra néanmoins de prévoir un géotextile filtrant en séparation du masque argileux pour en limiter l'érosion.

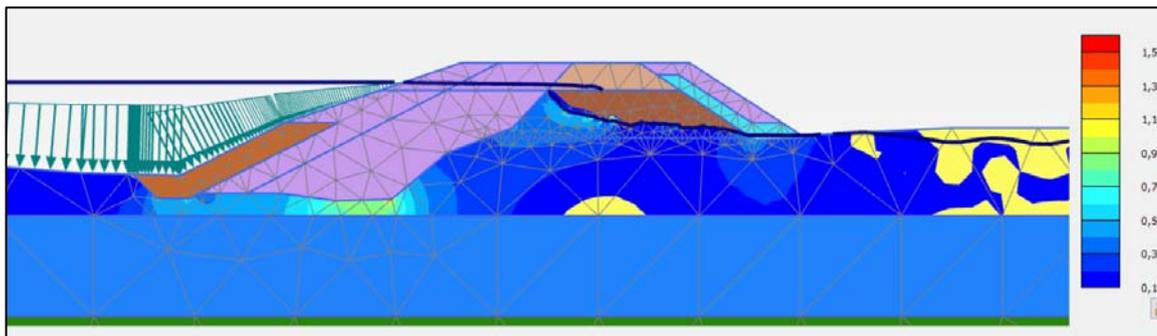
- Coupe 13 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 12 – Q100 - fin montée – Charge gradient hydraulique $|i|$

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 sur une zone assez large mais plus ponctuellement supérieur à 0,3. La plus significative se trouve sous le remblai en tout venant côté amont. Dans cette zone, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,5 à 0,9 et intéresse les alluvions sablo-limoneuses [3] sur une épaisseur de l'ordre de 0,6 m et une largeur de 10 m environ. Compte tenu du caractère « stable » de la couche [3], l'initiation de la suffusion peut être jugée très peu probable et le risque de désordre très faible. Le volume de sol concerné est toutefois nettement plus important que pour la coupe 1.

- Coupe 10 – Fin de la montée Q100 :



Coupe 11 – Q100 - fin montée – Charge gradient hydraulique $|i|$

Le gradient hydraulique est supérieur à 0,1 sur une zone assez large mais plus ponctuellement supérieur à 0,3. La plus significative se trouve sous le remblai en tout venant côté amont. Dans cette zone, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,5 à 0,9 et intéresse les alluvions sablo-limoneuses [3] sur une épaisseur de l'ordre de 0,6 m et une largeur de 10 m environ. Compte tenu du caractère « stable » de la couche [3], l'initiation de la suffusion peut être jugée très peu probable et le risque de désordre très faible. Le volume de sol concerné est toutefois nettement plus important que pour la coupe 1. Les résultats sont très proches de ceux de la coupe 13 mais avec une concentration plus faible au niveau de la recharge aval.

On peut enfin rappeler que le processus de suffusion est relativement lent et qu'il présente donc un risque limité pour des digues fluviales comme celles de la Leyse aval dont les épisodes de crue sont d'une durée inférieure à 48h. Le retour d'expérience (cf. recommandations du CFBR) montre en effet qu'il s'agit d'un mode de rupture très rarement identifié pour les digues fluviales.

5.4. Erosion de contact

L'érosion de contact est la forme d'érosion qui se développe à l'interface entre deux couches de sols de granulométrie et de perméabilité différents. Dans cette forme d'érosion, les particules fines de la couche la moins perméable, sont détachées et emportées à travers les pores de la couche la plus perméable.

Dans le cas du système d'endiguement de la Leyse aval, ce mécanisme ne semble possible qu'au contact entre les matériaux grossiers des alluvions graveleuses (2) et les formations relativement plus fines des alluvions limono-sableuses (3), des matériaux de digue sablo-limoneux (1a) et des alluvions argileuses (4).

Pour que l'érosion de contact apparaisse, il faut que deux conditions soient respectées :

- Non filtration : les pores du sol grossier doivent permettre le passage des particules de sol fin au niveau de leurs constrictions. C'est une condition géométrique de filtre
- Initiation : la contrainte hydraulique induite par l'écoulement doit être suffisante pour arracher les particules fines en contact avec la couche de sol grossier. C'est un critère hydraulique.

La condition géométrique se base sur le ratio D_{15}/d_{85} avec D_{15} relatif au matériau grossier d_{85} au matériau fin érodable.

Dans le cas des digues de la Leyse, les essais granulométriques fournissent les résultats suivants :

| N° horizon | Lithologie | D_{15} | d_{85} | D_{15}/d_{85} |
|------------|---|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| 2 | Grave avec quelques galets | 0,3 à 0,4 mm Retenu : 0,4 mm | - | |
| 1a | Remblai de corps de digue Sable limoneux | - | 15 à 48 mm Retenu : 15 mm | 0,026 |
| 3 | Limon sableux ou sable limoneux | - | 0,095 à 0,35 mm Retenu : 0,095 mm | 4,2 |
| 4 | Argile plus ou moins sableuse ou limoneuse | - | <0,08 à 0,12 mm Hyp : 0,05 mm | 8 |

La valeur de seuil du ratio D_{15}/d_{85} varie selon les auteurs entre 4 et 9 avec plusieurs références proches de 8. Sur cette base et compte tenu des hypothèses granulométriques défavorables retenues, on peut écarter le risque d'érosion de contact pour les couches 1a et 3. La couche 4 apparait elle en limite entre un critère purement géométrique et un critère mixte géométrique et hydraulique.

La condition hydraulique la plus utilisée est issue de la condition d'érosion externe : la vitesse dans les pores doit être supérieure à la vitesse qui correspond au début d'entraînement des particules.

Plusieurs approches études ont été réalisées pour déterminer la vitesse de Darcy critique, généralement en fonction du paramètre granulométrique d_{50} .

Pour la couche 4, on a d_{50} généralement inférieur 0,080 mm (absence de sédimentométrie) et un essai fournissant $d_{50} = 0,025$ mm. Pour l'analyse du risque d'érosion de contact, on fait l'hypothèse prudente d'un d_{50} égal à 0,005 mm. Sur la base de cette hypothèse, la plupart des études indiquent une vitesse de Darcy critique supérieure à $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

On analyse ci-dessous les vitesses de Darcy maximale dans la couche 2 sur les différentes coupes de calcul :

Coupe 1 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,078 \text{ m/h} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Coupe 2 – Fin de la montée Q100 :

Absence de la couche 2.

Coupe 3 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,075 \text{ m/h} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Coupe 4 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,080 \text{ m/h} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Coupe 11 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,110 \text{ m/h} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Coupe 12 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,100 \text{ m/h} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Coupe 13 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,100 \text{ m/h} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Coupe 10 – Fin de la montée Q100 :

$$V_{D,max} = 0,105 \text{ m/h} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \ll V_{D,crit} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Le risque d'érosion de contact de la couche 4 par les écoulements dans la couche 2 apparaît donc très faible pour les différentes coupes de calcul.

5.5. Erosion régressive

L'érosion régressive est caractérisée par son processus : l'érosion débute au débouché aval de l'écoulement. Les particules sont transportées vers l'aval par l'écoulement tandis que la surface d'érosion remonte vers l'amont.

Dans le cas des digues de la Leyse, on note que la coupe 2 ne présente pas d'écoulements résurgents. Pour cette configuration, le risque d'érosion régressive peut être écarté.

Les autres coupes montrent des écoulements résurgents pouvant être associés à une érosion régressive. L'érosion régressive peut être initiée par des gradients élevés au niveau de l'exutoire aval notamment ceux engendrant des problèmes de bouance. De ce point de vue, seule la coupe 1 semble mettre en avant des gradients notables pouvant initier une érosion régressive (cf. §5.1.). On rappelle toutefois que le risque de bouance est jugé faible.

L'étude de la stabilité des digues de la Leyse aval en rive droite a montré que le projet d'aménagement permet globalement de garantir un niveau de fiabilité satisfaisant du système d'endiguement vis-à-vis des risques de glissements et d'érosion interne.

Des points de vigilance ont toutefois été relevés :

- **Coupe 3 - Risque de glissement du talus amont :**

Les calculs de stabilité ont mis en avant un risque de glissement du talus amont de la digue lors des phases de décrue pour la section avec un raidissement du talus amont. La rehausse de la couverture en enrochements permettrait d'améliorer la stabilité au glissement à un niveau acceptable selon les référentiels. Avec cette adaptation du projet, le risque de glissement pour les digues en rive droite peut être jugé très improbable.

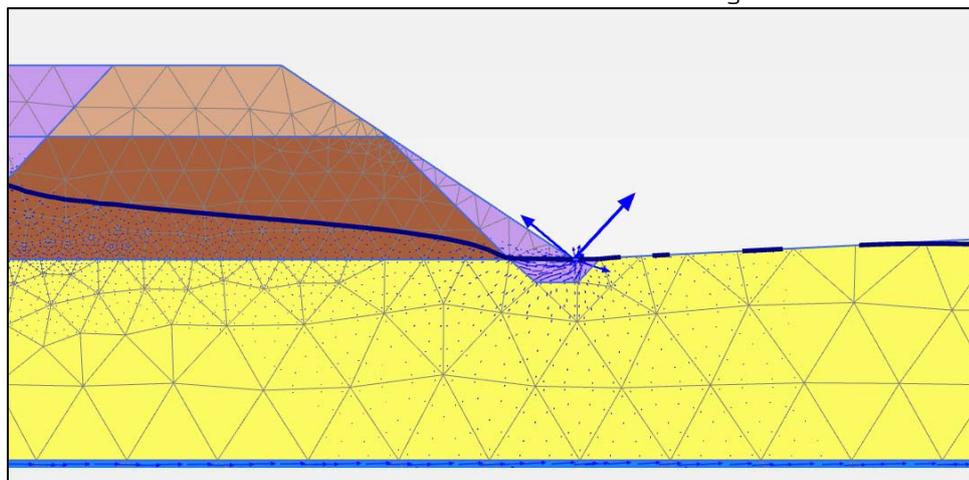
- **Coupe 1 - Risque d'érosion interne au niveau du talus aval :**

L'étude du risque d'érosion interne a mis en avant la possibilité d'écoulements résurgents en pied de talus aval de la digue sur la coupe de calcul correspondant à la section courante. Le risque d'initiation de l'érosion interne apparaît faible au vu des gradients hydrauliques calculés mais il reste néanmoins non négligeable.

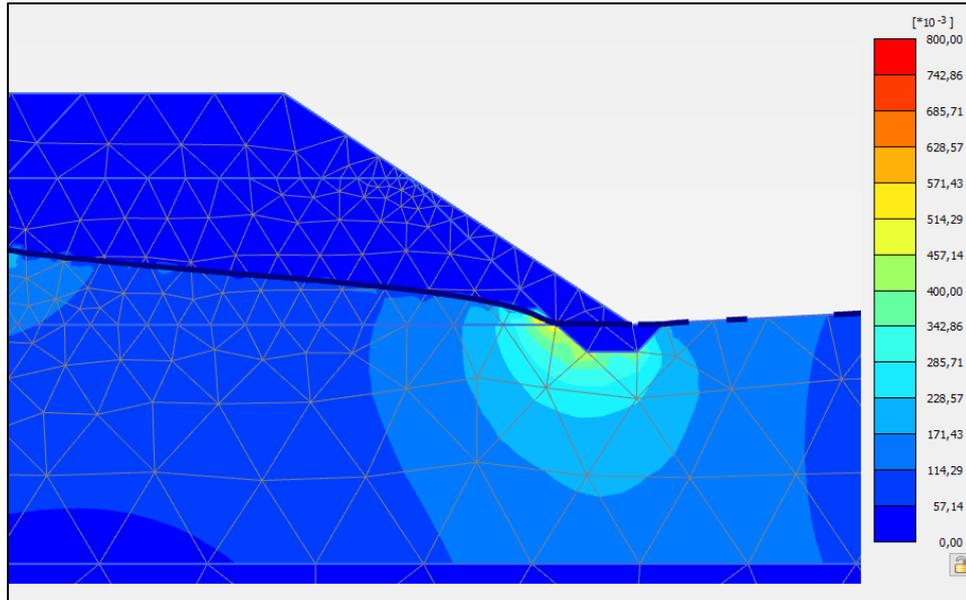
Une solution envisageable pour réduire la probabilité d'occurrence de phénomènes d'érosion interne, est de mettre en place, sur tout le linéaire, un masque drainant en matériaux tout venant perméables selon la géométrie ci-dessous (épaisseur en pied : 0,50 m / largeur en pied : 1,0 m). De façon générale, il conviendra que ces matériaux de la recharge aval respectent des critères granulométriques de filtre vis-à-vis des matériaux sablo-limoneux de la digue existante.

En l'absence de la mise en place de cette recharge, le risque de rupture par érosion interne est jugé peu probable. Avec la mise en place de la recharge, il est jugé très peu probable. Cette disposition constructive a été développée plus en détail dans les coupes de calcul complémentaires et notamment la coupe 11.

Les sorties de calcul ci-dessous illustrent l'effet favorable de cette recharge sur les écoulements.



Coupe 1 avec recharge aval - Q100 - fin montée - vecteurs vitesse des écoulements



Coupe 1 avec recharge aval - Q100 - fin montée - gradient hydraulique $|i|$

Il convient de rappeler que des aléas résiduels subsistent inévitablement à l'issue de la présente étude. Les principaux aléas sont :

- Hétérogénéité de la nature et de l'épaisseur des matériaux constitutifs des digues du fait de reconnaissances nécessairement ponctuelles et du fait de l'origine anthropique des ouvrages. En l'absence de données d'archives détaillées sur la réalisation du système d'endiguement et compte tenu du caractère ponctuel des reconnaissances, il est difficile d'estimer les éventuelles hétérogénéités de constitution de la digue dans le sens longitudinal ou transversal,
- Estimation de la perméabilité des différentes couches : le paramètre de perméabilité peut varier rapidement en fonction de la nature et de la compacité des matériaux. Les essais de perméabilité réalisés in situ ont permis d'identifier des perméabilités contrastées entre les différents horizons mais il reste difficile de définir une valeur précise et de distinguer chacun des horizons rencontrés. Les valeurs retenues pour l'étude se veulent toutefois prudentes et cohérentes relativement à chaque couche afin de tenir compte de cette incertitude et de fournir une évaluation enveloppe du niveau de sécurité des digues.
- La présence de défauts ponctuels et d'ouvrage traversant qui peuvent générer des écoulements préférentiels lors des phases de crue et constituer ainsi des points faibles pour le système d'endiguement.

Extrait norme sur les missions d'ingénierie géotechniques

Documents graphiques et résultats d'investigations

Coupes de calcul

ANNEXE EXTRAIT DE LA NORME FRANCAISE SUR LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P 94 500 de novembre 2013)

CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE TYPES

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'oeuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'oeuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'oeuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en oeuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT.

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'oeuvre ou intégrée à cette dernière.

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

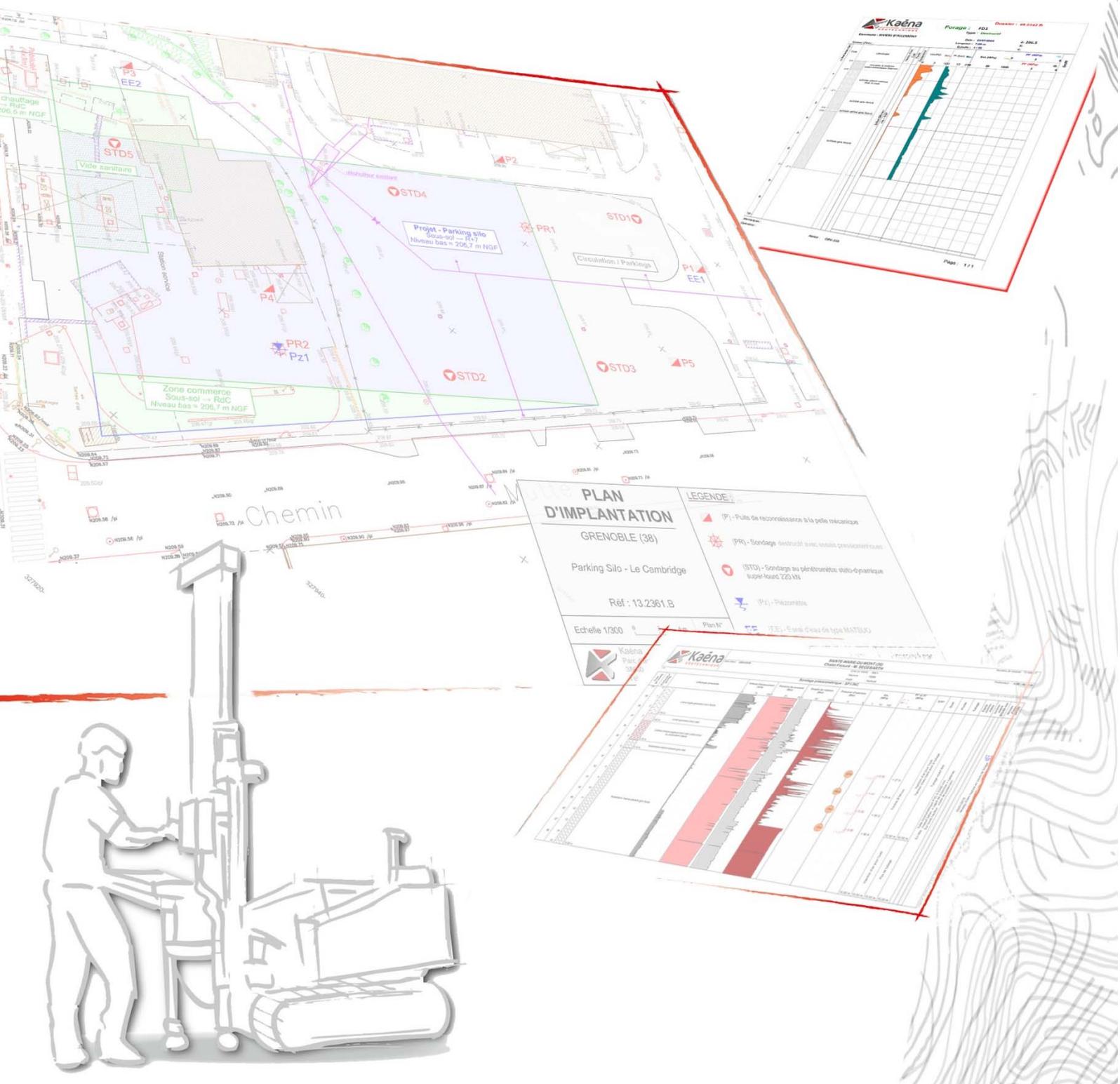
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

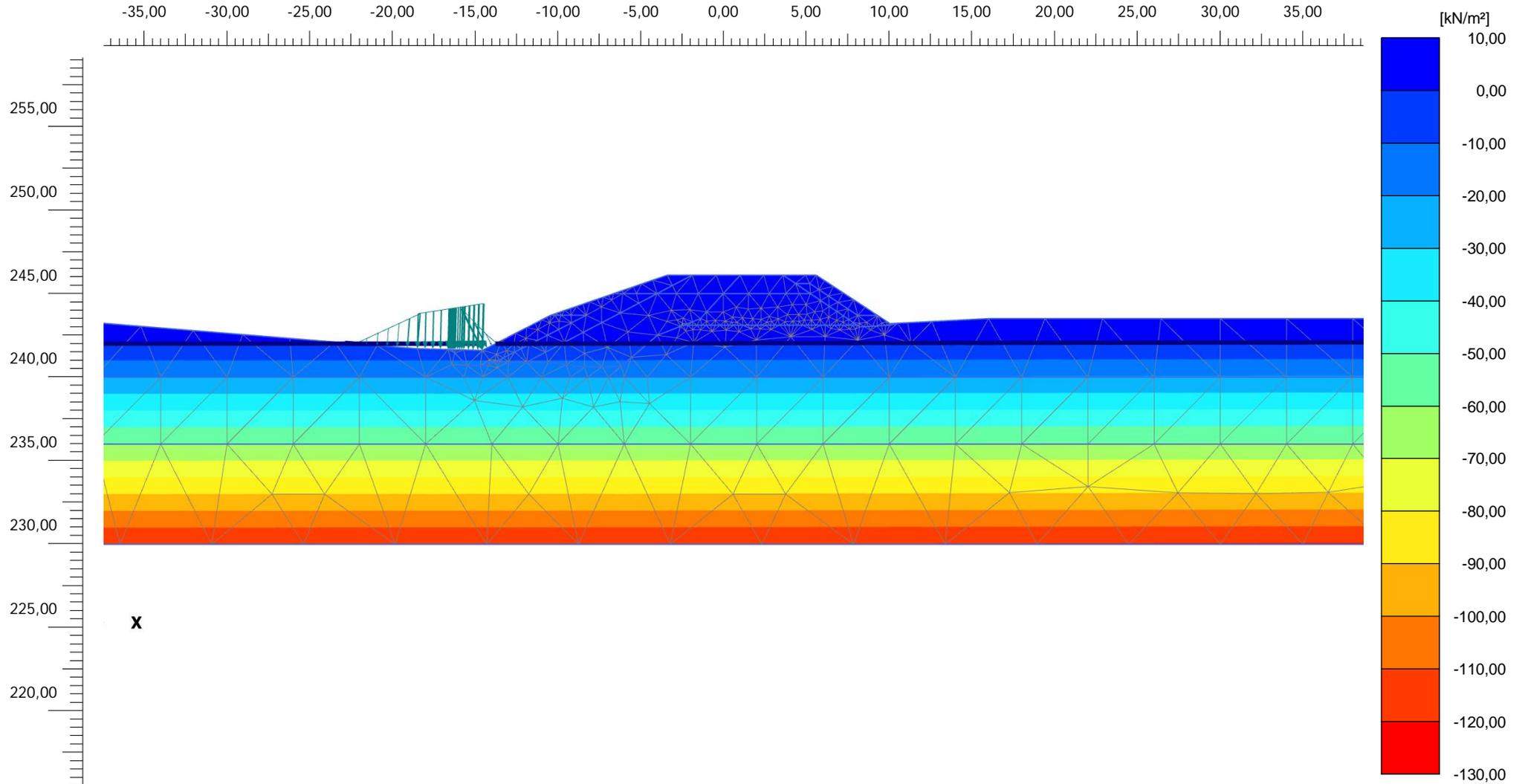
DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

DOCUMENTS GRAPHIQUES ET RESULTATS DES INVESTIGATIONS





Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 0,000 h)

Maximum value = 9,153 kN/m² (Element 7 at Node 1305)

Minimum value = -121,0 kN/m² (Element 574 at Node 5009)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

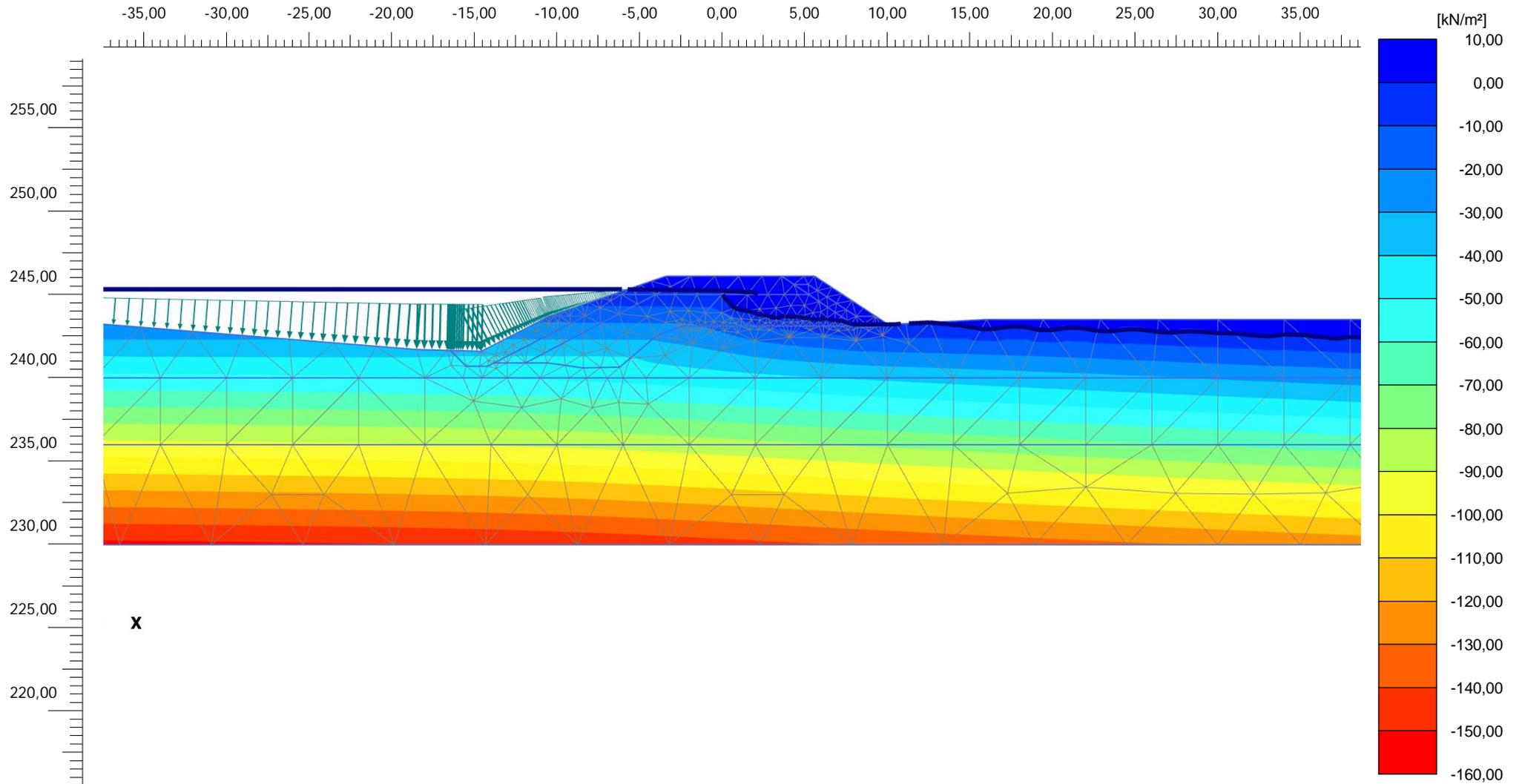
Coupe 10

Step

87

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 29,83 h)

Maximum value = 8,869 kN/m² (Element 19 at Node 1957)

Minimum value = -153,1 kN/m² (Element 560 at Node 85)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

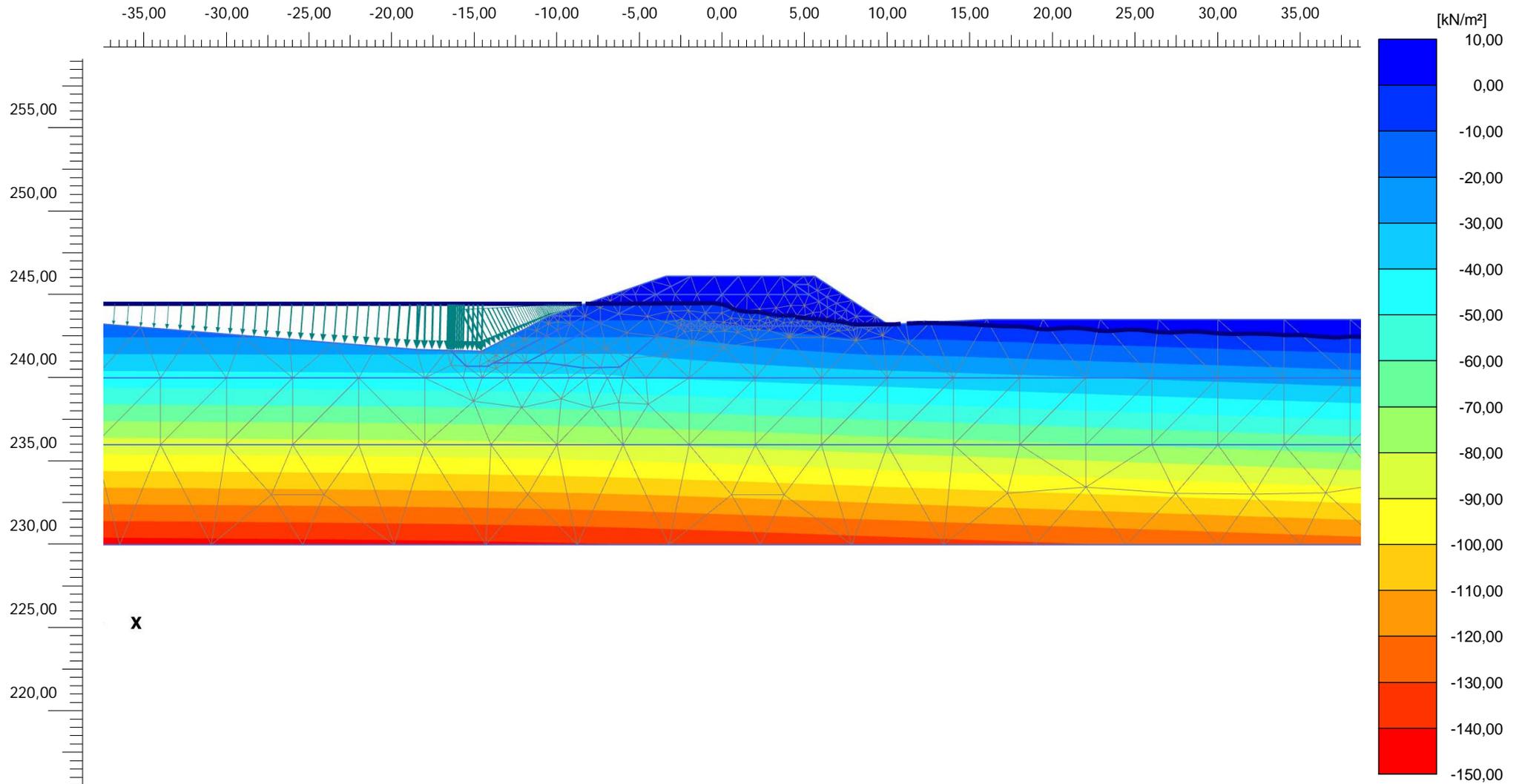
Project description
TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date
20/12/2022

Project filename
Coupe 10

Step
78

Company
Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 40,50 h)

Maximum value = 8,642 kN/m² (Element 24 at Node 1951)

Minimum value = -144,4 kN/m² (Element 560 at Node 85)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

Coupe 10

Step

86

Company

Technosol SA

Données du projet

Numéro d'affaire : TEA220189

Titre du calcul : Leysse aval - coupe 1

Lieu : Leysse aval - Courbure Viilarcher

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

yw : 10.0

Couches de sol

| | Nom | Couleur | γ | ϕ | c | Δc | qs clous | pl | KsB | Anisotropie | Favorable | Coefficients de sécurité spécifiques |
|----|-----------------------------|---------|----------|--------|-----|------------|----------|----|-----|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Confinement GSB | | 20,0 | 32,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 2 | Enrochements | | 20,0 | 45,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | 22,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | 20,0 | 33,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | 20,0 | 26,00 | 5,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 6 | Support GSB | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 7 | Tout venant | | 20,0 | 30,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | 20,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 10 | Clé drainante | | 22,5 | 37,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |

Couches de sol (cont.)

| | Nom | Couleur | $\Gamma\gamma$ | Γc | $\Gamma\tan(\phi)$ | Type de cohésion | Courbe |
|----|-----------------------------|---------|----------------|------------|--------------------|------------------|----------|
| 1 | Confinement GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 2 | Enrochements | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 6 | Support GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 7 | Tout venant | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 10 | Clé drainante | | - | - | - | Effective | Linéaire |

Points

| | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | -42,000 | 243,600 | 2 | -18,500 | 241,700 | 3 | -14,570 | 241,600 | 4 | -5,460 | 245,400 | 5 | -3,400 | 246,100 |
| 7 | -1,750 | 246,100 | 8 | 0,000 | 246,100 | 9 | 3,590 | 246,100 | 10 | 8,080 | 243,100 | 11 | 16,000 | 243,500 |
| 13 | -42,000 | 240,000 | 14 | -42,000 | 236,000 | 15 | 50,000 | 240,000 | 16 | 50,000 | 236,000 | 17 | -15,500 | 240,700 |
| 20 | -8,300 | 243,700 | 22 | -16,448 | 241,648 | 23 | -10,600 | 240,900 | 24 | -8,400 | 240,600 | 25 | -6,200 | 240,700 |
| 27 | -1,400 | 243,500 | 28 | 1,000 | 246,100 | 29 | -13,810 | 240,900 | 30 | -13,000 | 240,900 | 31 | -4,150 | 245,300 |
| 34 | -1,900 | 246,100 | 35 | -5,754 | 245,300 | 38 | -6,634 | 245,000 | 39 | -4,753 | 245,000 | 40 | -4,015 | 245,000 |
| 42 | 5,236 | 245,000 | 44 | -2,440 | 243,100 | 45 | 8,580 | 242,600 | 46 | 7,580 | 242,600 | 47 | 5,536 | 244,800 |
| 49 | 7,115 | 243,100 | 50 | 5,590 | 246,100 | 51 | 5,200 | 245,600 | 52 | 8,103 | 243,700 | 53 | 9,289 | 243,700 |
| 57 | 8,200 | 243,000 | 58 | 10,050 | 243,100 | 59 | 9,036 | 243,045 | 60 | 10,050 | 243,200 | 63 | 10,605 | 243,228 |

Segments

| | Point 1 | Point 2 |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | 5 | 4 | 5 | 7 | 7 | 8 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 15 | 13 | 14 | 16 |
| 15 | 22 | 2 | 16 | 22 | 3 | 17 | 22 | 17 | 18 | 17 | 18 | 20 | 20 | 6 | 21 | 8 | 28 | 22 | 9 | 28 |
| 23 | 18 | 29 | 24 | 20 | 29 | 26 | 23 | 24 | 27 | 24 | 25 | 28 | 25 | 26 | 31 | 29 | 30 | 33 | 23 | 33 |
| 34 | 30 | 33 | 35 | 5 | 34 | 36 | 7 | 34 | 39 | 31 | 35 | 41 | 35 | 4 | 43 | 38 | 35 | 44 | 38 | 6 |
| 45 | 38 | 39 | 46 | 39 | 30 | 47 | 39 | 31 | 48 | 39 | 40 | 49 | 40 | 33 | 50 | 40 | 34 | 51 | 40 | 41 |
| 52 | 41 | 27 | 53 | 41 | 28 | 54 | 41 | 42 | 58 | 44 | 26 | 59 | 44 | 27 | 60 | 42 | 47 | 61 | 10 | 47 |
| 62 | 10 | 48 | 65 | 45 | 46 | 66 | 46 | 49 | 67 | 49 | 10 | 68 | 49 | 44 | 69 | 49 | 47 | 70 | 42 | 56 |
| 71 | 9 | 56 | 72 | 58 | 59 | 73 | 59 | 48 | 74 | 59 | 45 | 75 | 59 | 57 | 76 | 57 | 10 | 77 | 9 | 50 |
| 78 | 50 | 53 | 79 | 53 | 60 | 81 | 60 | 48 | 82 | 60 | 58 | 83 | 53 | 52 | 84 | 52 | 51 | 85 | 51 | 56 |
| 87 | 58 | 63 | 88 | 63 | 60 | 89 | 63 | 11 | | | | | | | | | | | | |

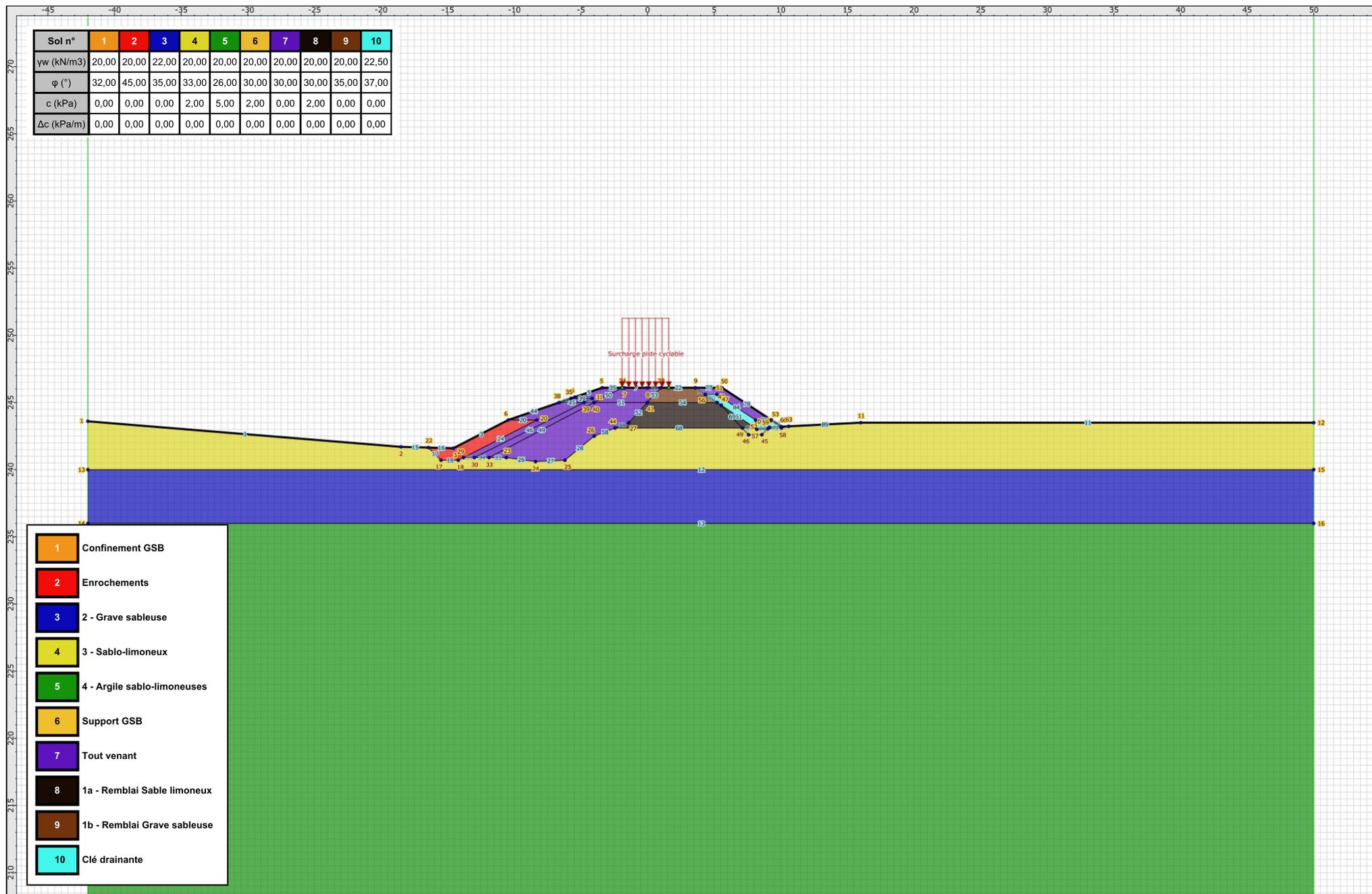
Surcharges réparties

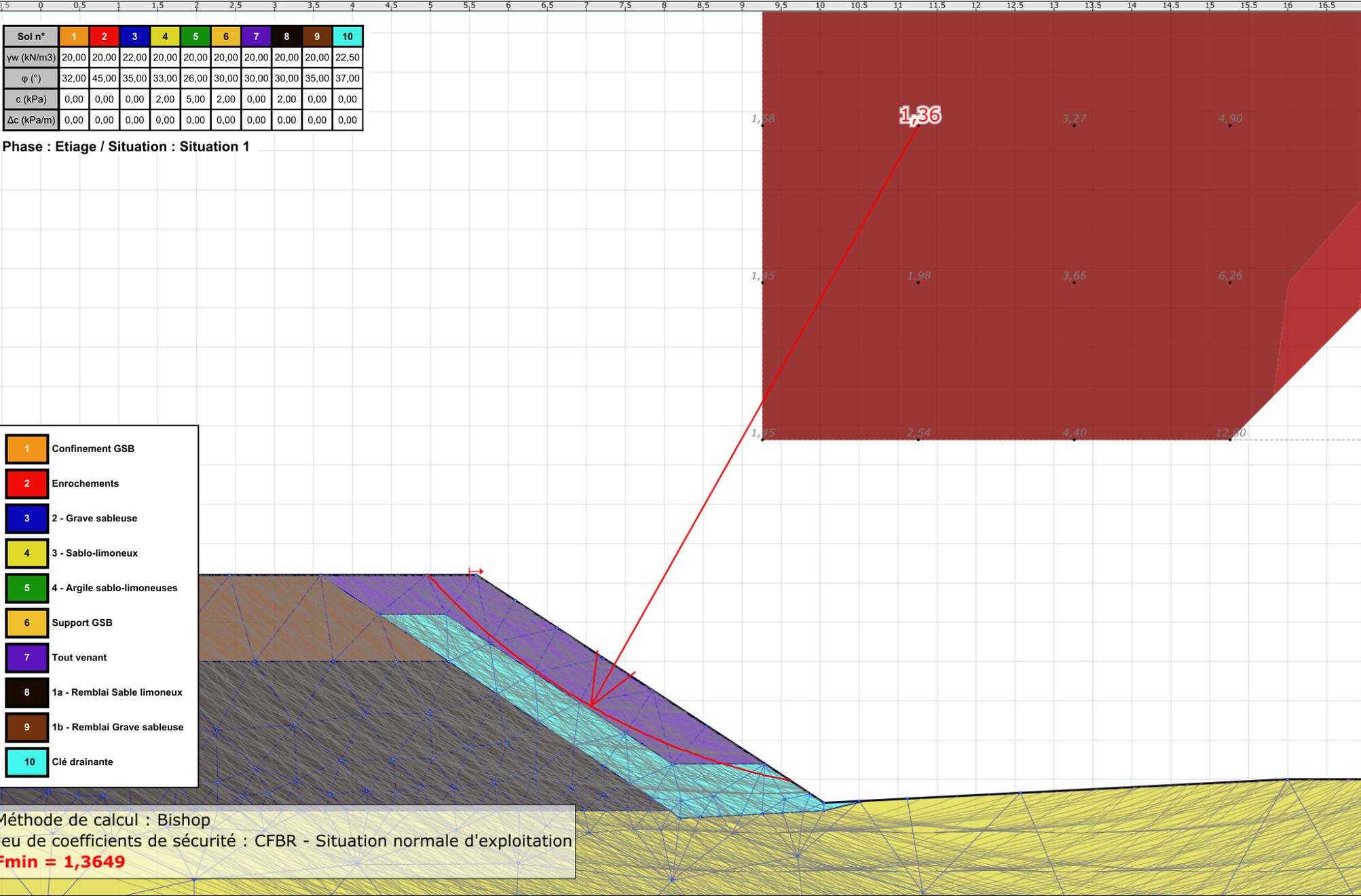
| | Nom | X gauche | Y gauche | q gauche | X droite | Y droite | q droite | Ang/horizontale |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 1 | Surcharge piste cyclable | -1,900 | 246,100 | 10,0 | 1,600 | 246,100 | 10,0 | 90,00 |

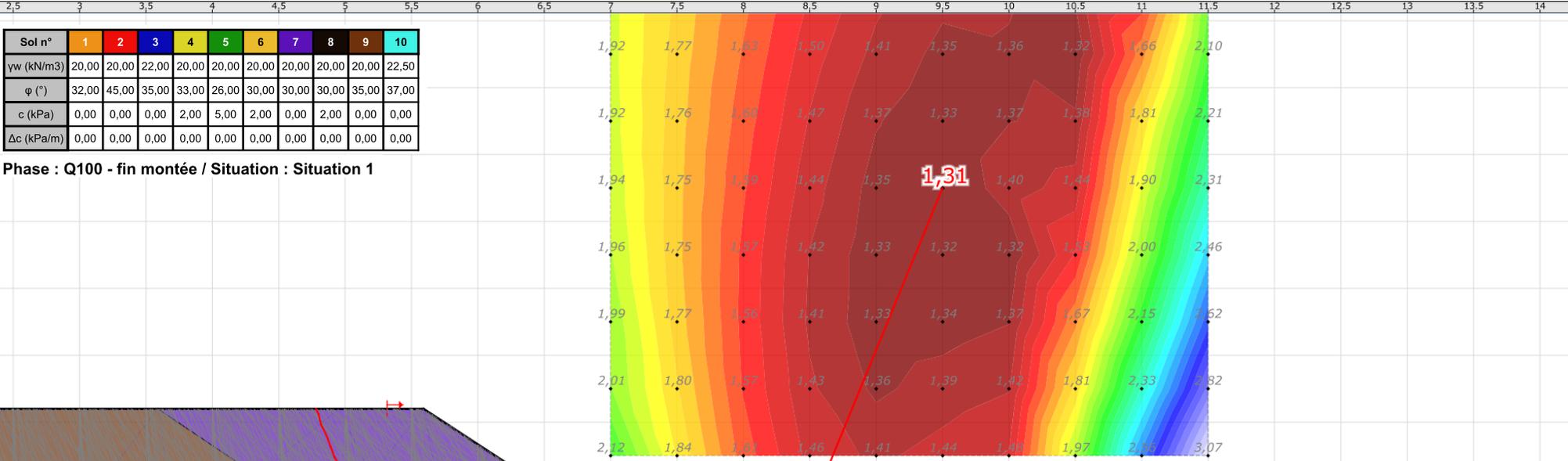


Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:28:56
Calcul réalisé par : TECHNOSOL
Projet : Leysse aval - coupe 1







Phase : Q100 - fin montée / Situation : Situation 1

- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

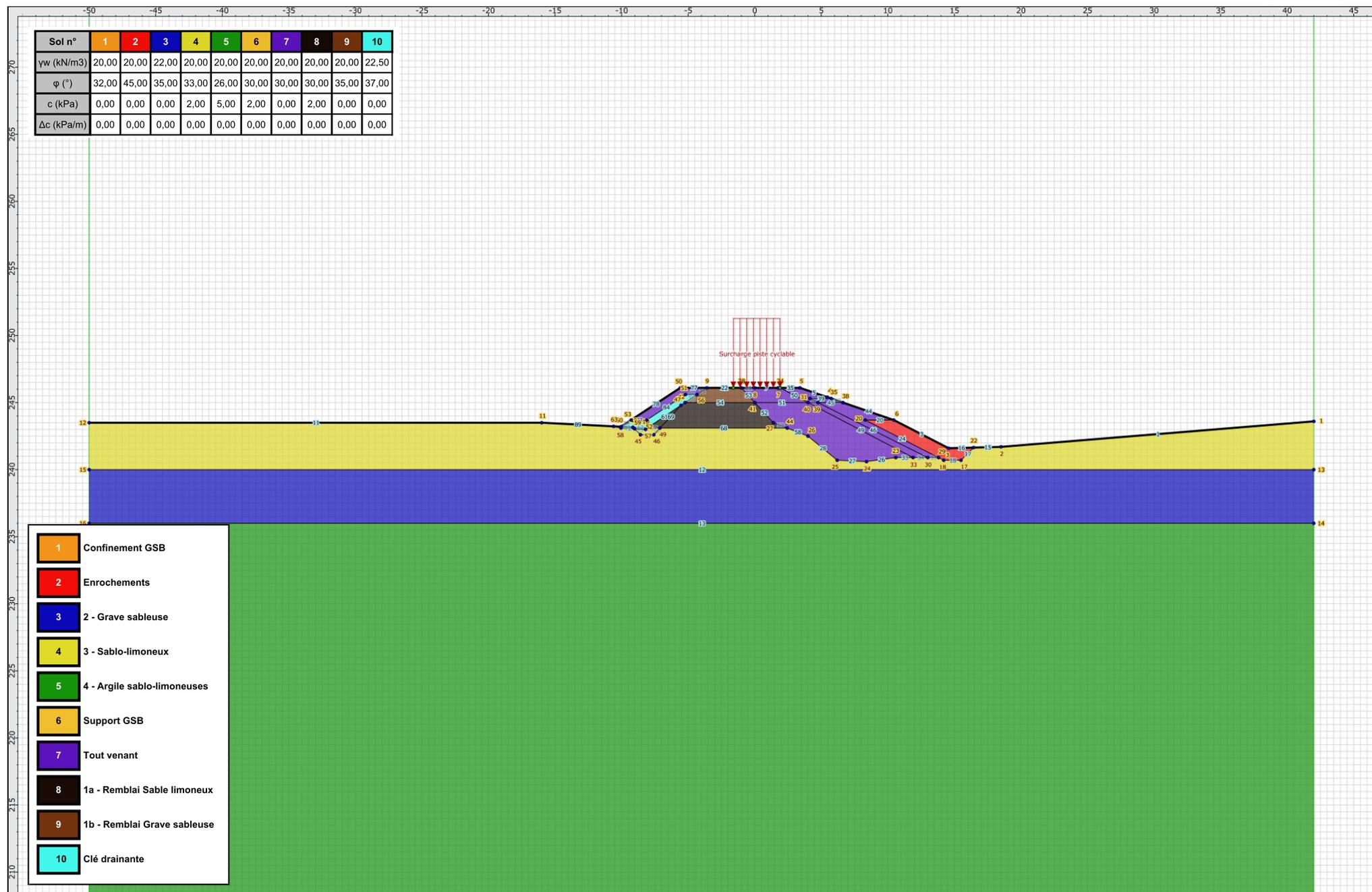
Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - situation exceptionnelle de crue
Fmin = 1,3139



Talren v5
v5.2.10

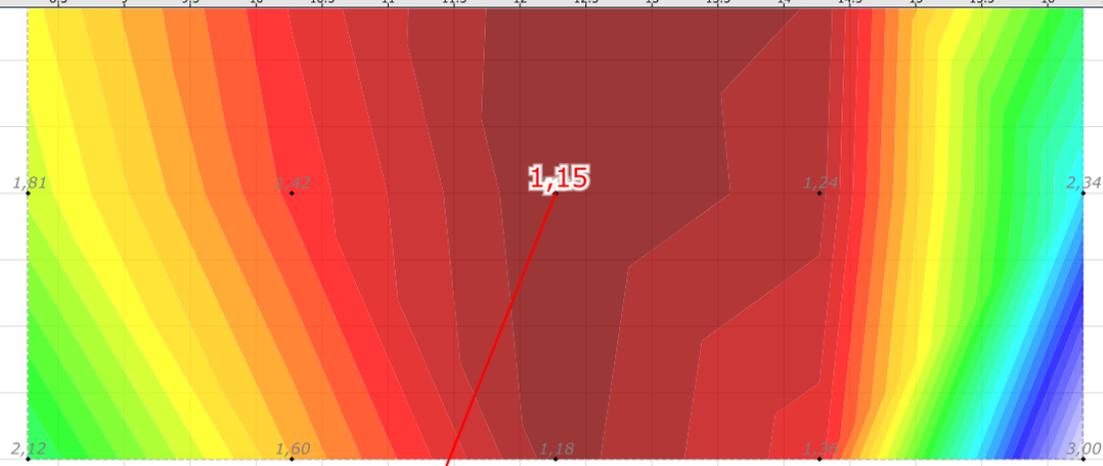
Imprimé le : 20 déc. 2022 08:28:57
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Etiage / Situation : Situation 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - Situation normale d'exploitation
Fmin = 1,1547



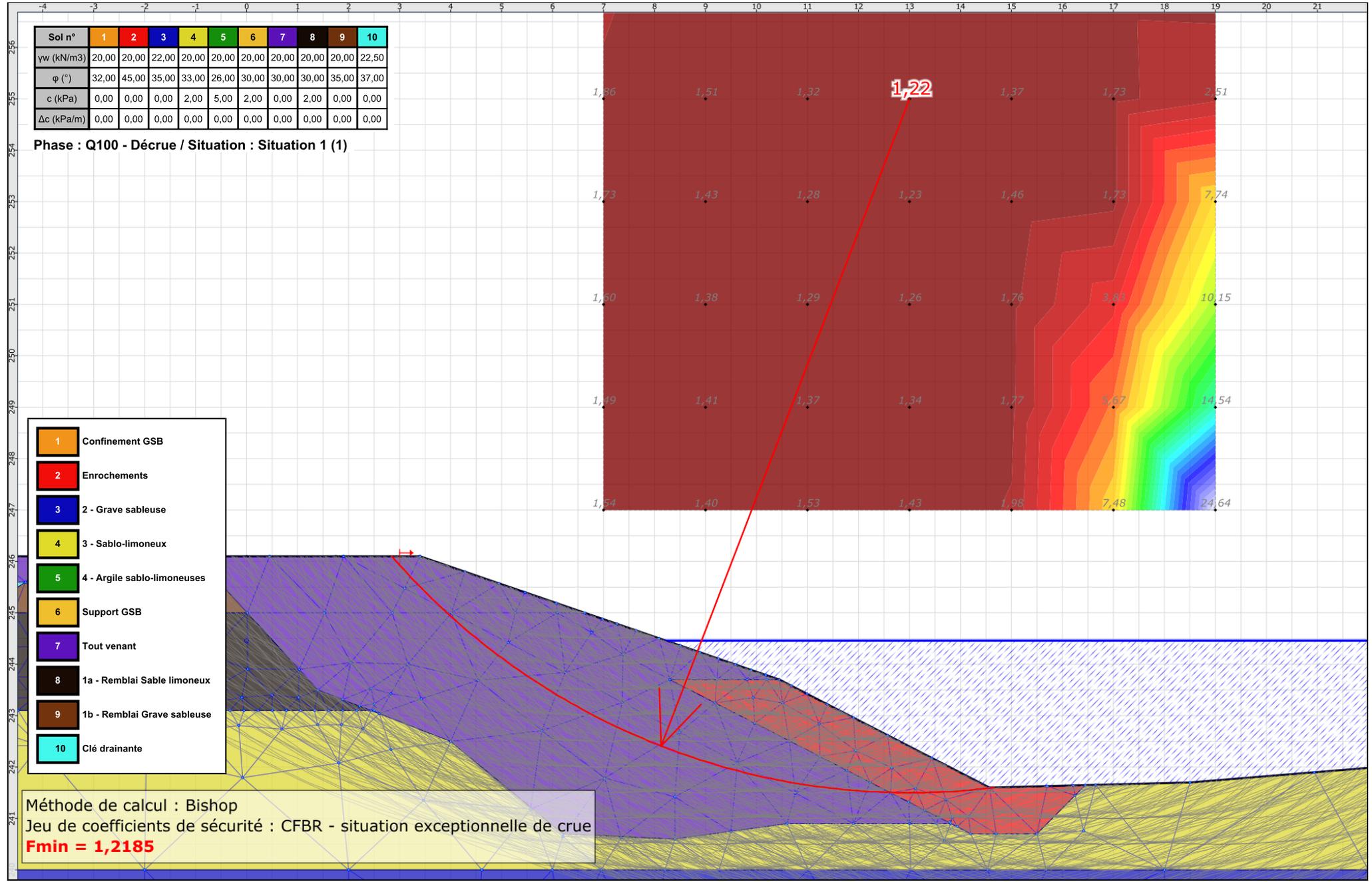
Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:30:33
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1

| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Q100 - Décrue / Situation : Situation 1 (1)



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

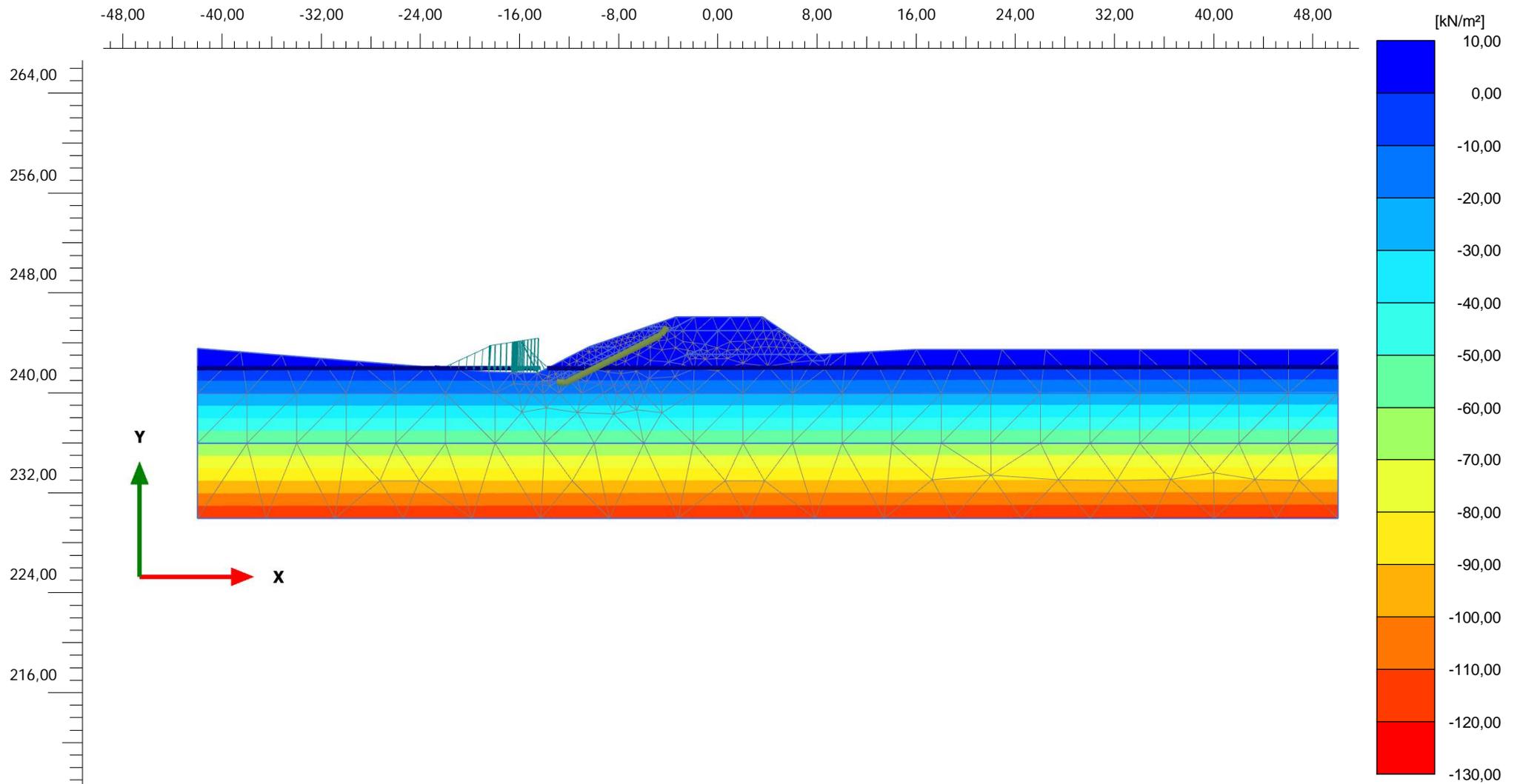
Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - situation exceptionnelle de crue
Fmin = 1,2185



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:30:34
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Leysse aval - coupe 1



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 0,000 h)

Maximum value = 9,134 kN/m² (Element 1 at Node 724)

Minimum value = -121,0 kN/m² (Element 564 at Node 5086)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

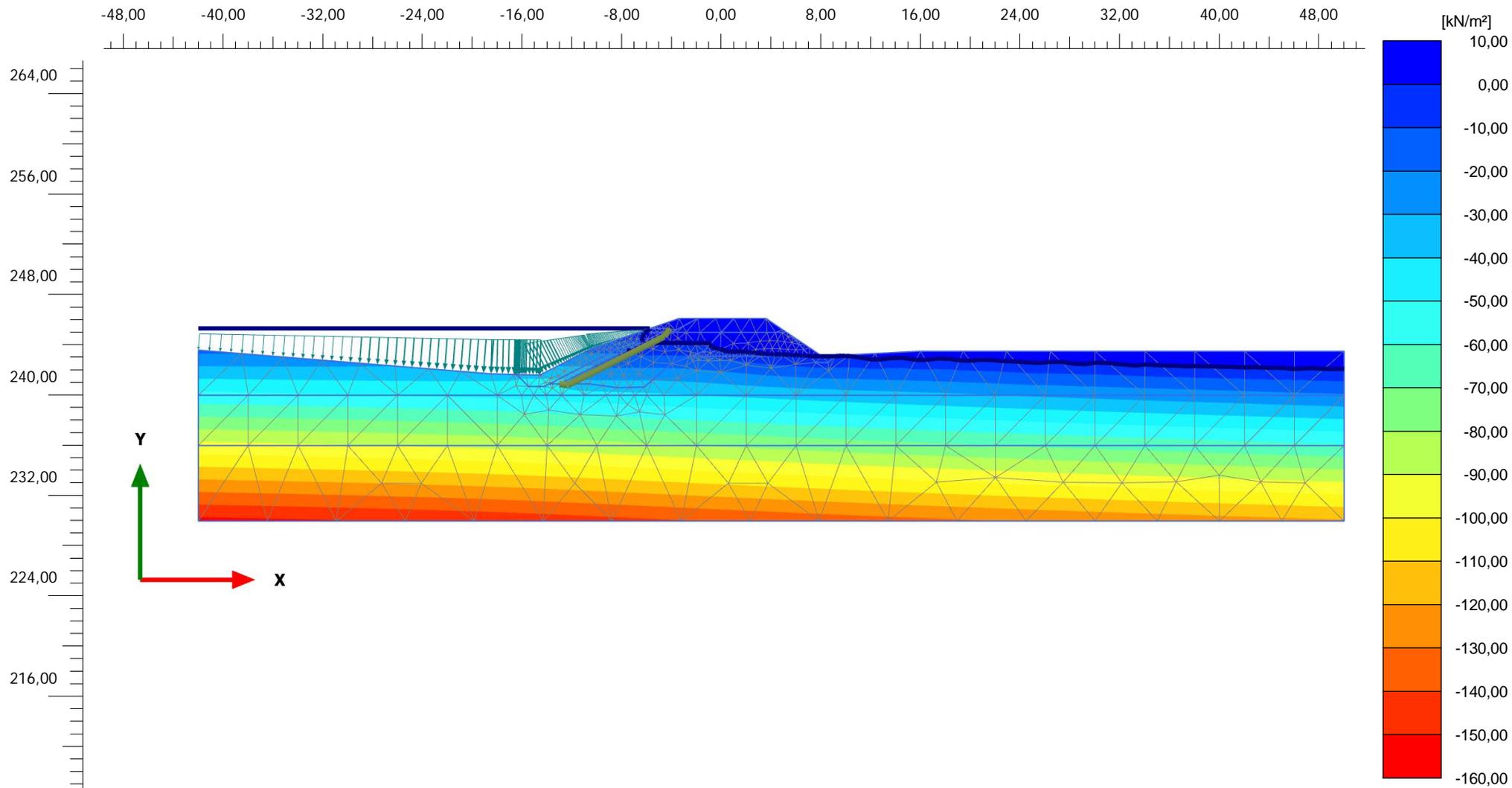
Coupe 11

Step

65

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 29,83 h)

Maximum value = 9,021 kN/m² (Element 1 at Node 1200)

Minimum value = -153,1 kN/m² (Element 550 at Node 3151)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

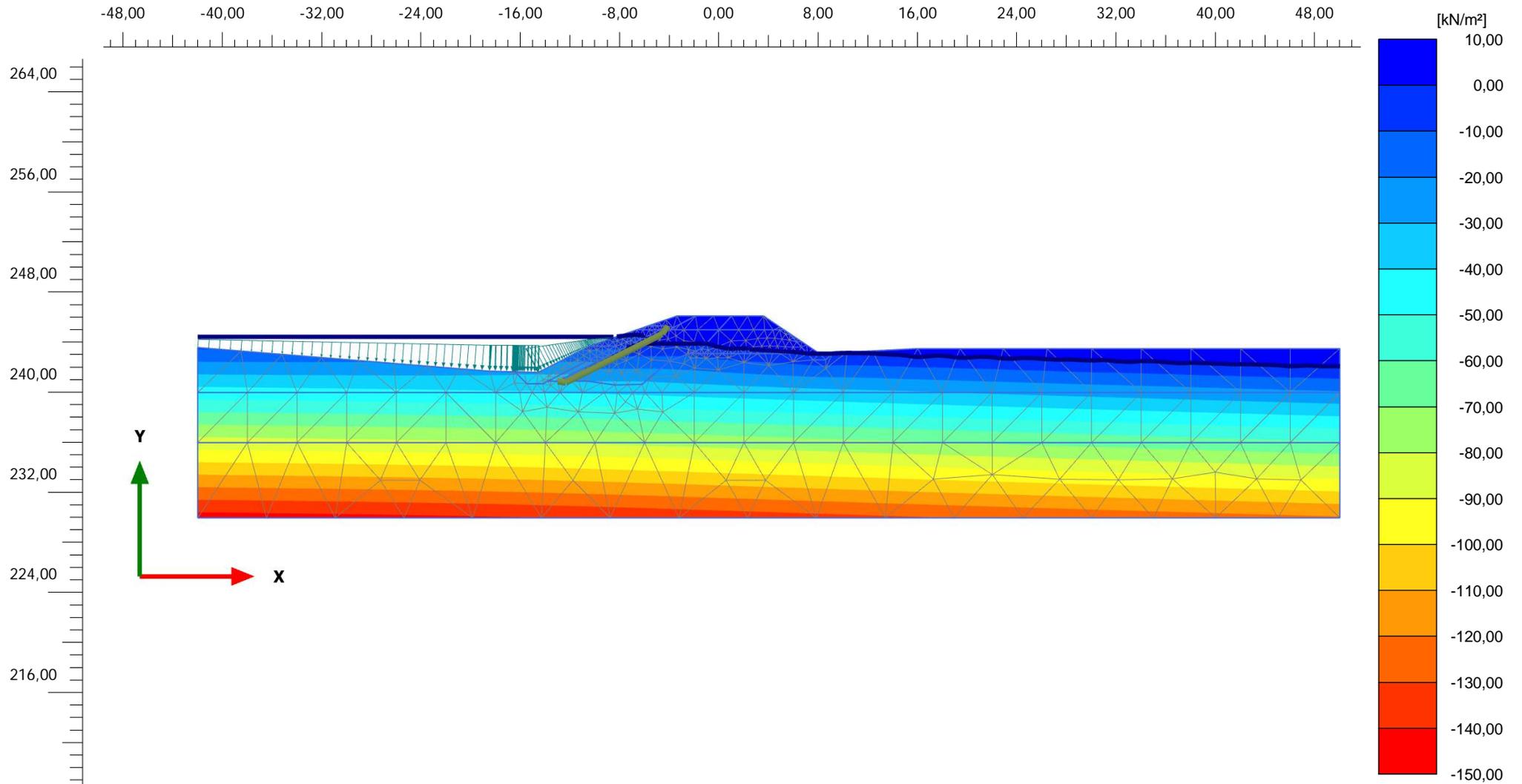
Coupe 11

Step

58

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 40,50 h)

Maximum value = 8,995 kN/m² (Element 1 at Node 718)

Minimum value = -144,4 kN/m² (Element 550 at Node 3151)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description
TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date
20/12/2022

Project filename
Coupe 11

Step
64

Company
Technosol SA

Données du projet

Numéro d'affaire : TEA220189

Titre du calcul : Leysse aval - coupe 1

Lieu : Leysse aval - Courbure Viilarcher

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

yw : 10.0

Couches de sol

| | Nom | Couleur | γ | ϕ | c | Δc | qs clous | pl | KsB | Anisotropie | Favorable | Coefficients de sécurité spécifiques |
|----|-----------------------------|---------|----------|--------|-----|------------|----------|----|-----|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Confinement GSB | | 20,0 | 32,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 2 | Enrochements | | 20,0 | 45,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | 22,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | 20,0 | 33,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | 20,0 | 26,00 | 5,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 6 | Support GSB | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 7 | Tout venant | | 20,0 | 30,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | 20,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 10 | Clé drainante | | 22,5 | 37,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |

Couches de sol (cont.)

| | Nom | Couleur | $\Gamma\gamma$ | Γc | $\Gamma \tan(\phi)$ | Type de cohésion | Courbe |
|----|-----------------------------|---------|----------------|------------|---------------------|------------------|----------|
| 1 | Confinement GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 2 | Enrochements | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 6 | Support GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 7 | Tout venant | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 10 | Clé drainante | | - | - | - | Effective | Linéaire |

Points

| | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | -42,000 | 243,600 | 2 | -18,500 | 241,700 | 3 | -14,570 | 241,600 | 4 | -5,460 | 245,400 | 5 | -3,400 | 246,100 | 6 | -10,450 | 243,700 |
| 7 | -1,750 | 246,100 | 8 | 0,000 | 246,100 | 9 | 3,590 | 246,100 | 10 | 8,080 | 243,100 | 11 | 16,000 | 243,500 | 12 | 50,000 | 243,500 |
| 13 | -42,000 | 240,000 | 14 | -42,000 | 236,000 | 15 | 50,000 | 240,000 | 16 | 50,000 | 236,000 | 17 | -15,500 | 240,700 | 18 | -14,200 | 240,700 |
| 20 | -8,300 | 243,700 | 22 | -16,448 | 241,648 | 23 | -10,600 | 240,900 | 24 | -8,400 | 240,600 | 25 | -6,200 | 240,700 | 26 | -4,000 | 242,500 |
| 27 | -1,400 | 243,500 | 28 | 1,000 | 246,100 | 29 | -13,810 | 240,900 | 30 | -13,000 | 240,900 | 31 | -4,150 | 245,300 | 33 | -11,900 | 240,900 |
| 34 | -1,900 | 246,100 | 35 | -5,754 | 245,300 | 38 | -6,634 | 245,000 | 39 | -4,753 | 245,000 | 40 | -4,015 | 245,000 | 41 | -0,015 | 245,000 |
| 42 | 5,236 | 245,000 | 44 | -2,440 | 243,100 | 45 | 8,580 | 242,600 | 46 | 7,580 | 242,600 | 47 | 5,536 | 244,800 | 48 | 9,148 | 243,154 |
| 49 | 7,115 | 243,100 | | | | | | | | | | | | | | | |

Segments

| | Point 1 | Point 2 |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | 5 | 4 | 5 | 7 | 7 | 8 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 15 | 13 | 14 | 16 |
| 15 | 22 | 2 | 16 | 22 | 3 | 17 | 22 | 17 | 18 | 17 | 18 | 20 | 20 | 6 | 21 | 8 | 28 | 22 | 9 | 28 |
| 23 | 18 | 29 | 24 | 20 | 29 | 26 | 23 | 24 | 27 | 24 | 25 | 28 | 25 | 26 | 31 | 29 | 30 | 33 | 23 | 33 |
| 34 | 30 | 33 | 35 | 5 | 34 | 36 | 7 | 34 | 39 | 31 | 35 | 41 | 35 | 4 | 43 | 38 | 35 | 44 | 38 | 6 |
| 45 | 38 | 39 | 46 | 39 | 30 | 47 | 39 | 31 | 48 | 39 | 40 | 49 | 40 | 33 | 50 | 40 | 34 | 51 | 40 | 41 |
| 52 | 41 | 27 | 53 | 41 | 28 | 54 | 41 | 42 | 55 | 42 | 9 | 58 | 44 | 26 | 59 | 44 | 27 | 60 | 42 | 47 |
| 61 | 10 | 47 | 62 | 10 | 48 | 63 | 11 | 48 | 64 | 48 | 45 | 65 | 45 | 46 | 66 | 46 | 49 | 67 | 49 | 10 |
| 68 | 49 | 44 | 69 | 49 | 47 | | | | | | | | | | | | | | | |

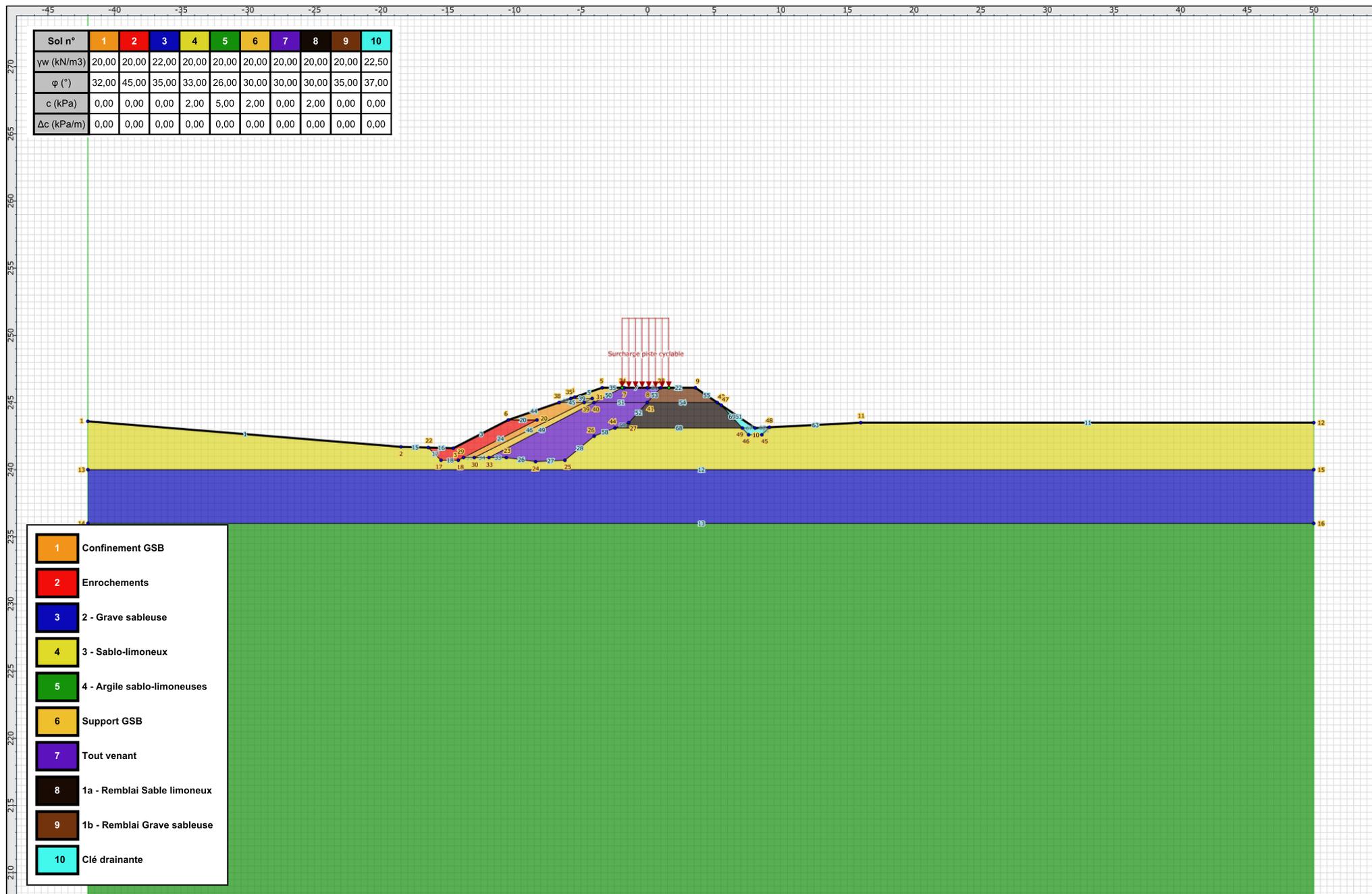
Surcharges réparties

| | Nom | X gauche | Y gauche | q gauche | X droite | Y droite | q droite | Ang/horizontale |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 1 | Surcharge piste cyclable | -1,900 | 246,100 | 10,0 | 1,600 | 246,100 | 10,0 | 90,00 |



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:37:55
Calcul réalisé par : TECHNOSOL
Projet : Leysse aval - coupe 1



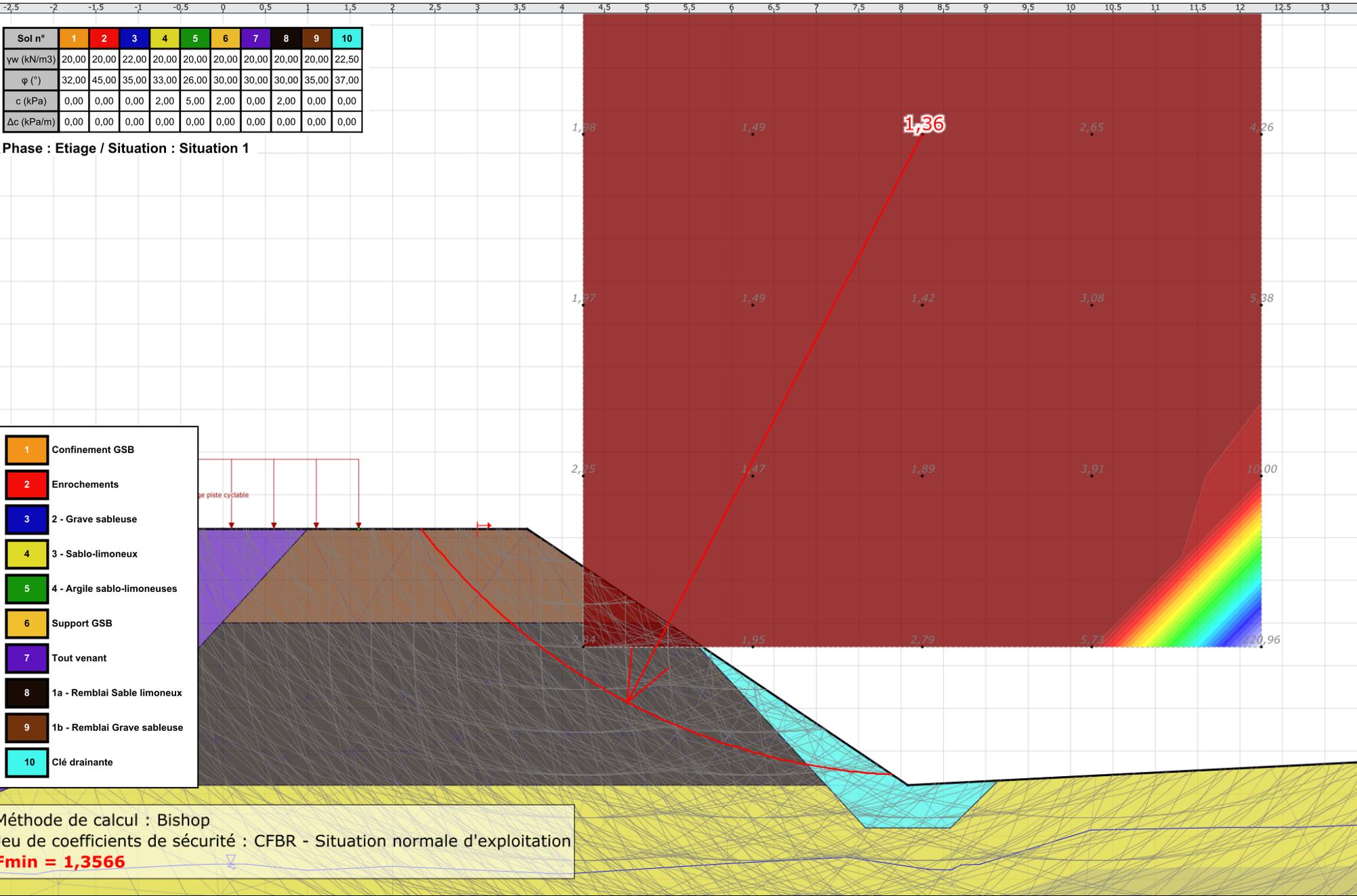
- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante



Talren v5
v5.2.10

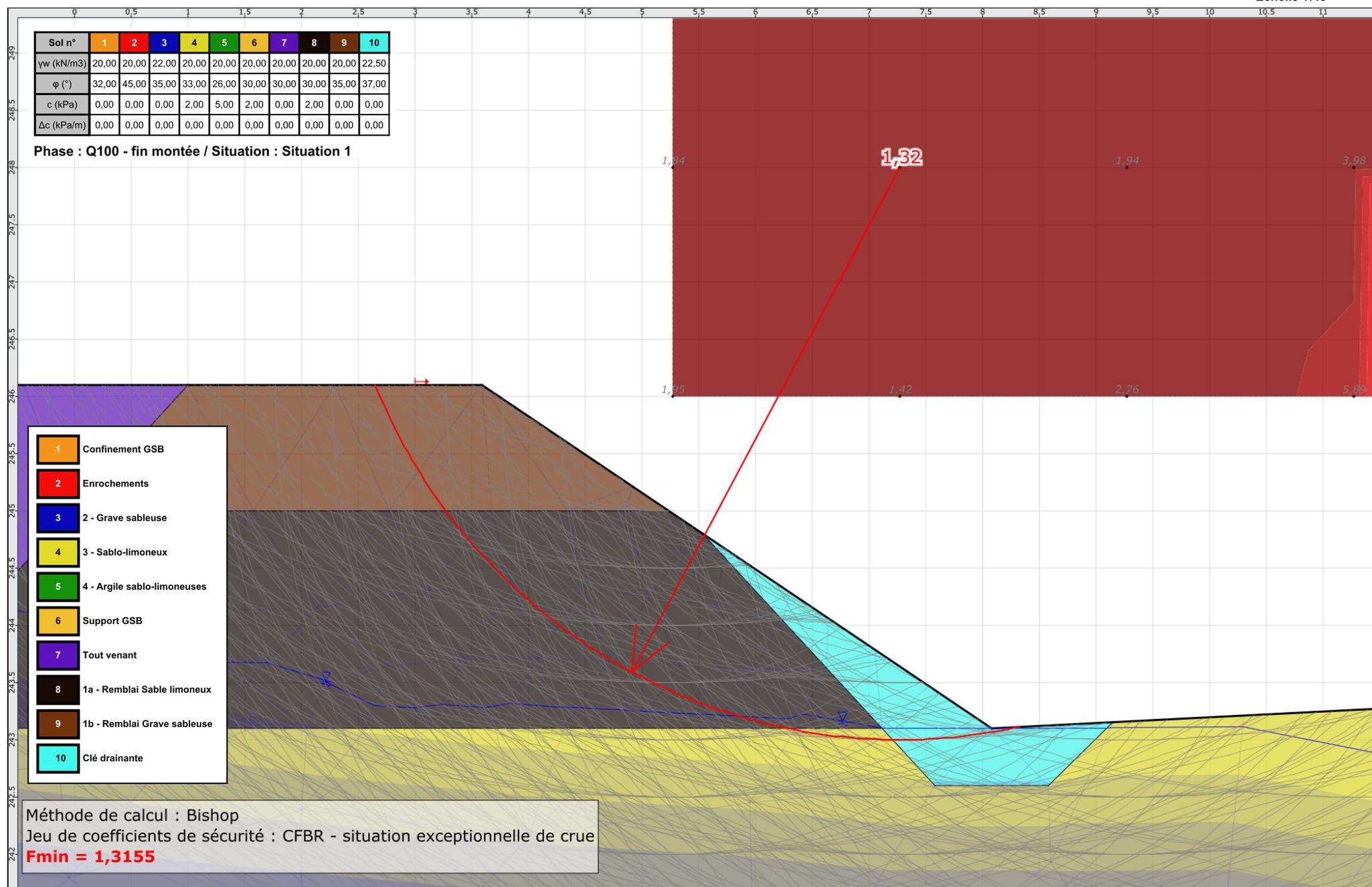
Imprimé le : 20 déc. 2022 08:37:56
Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

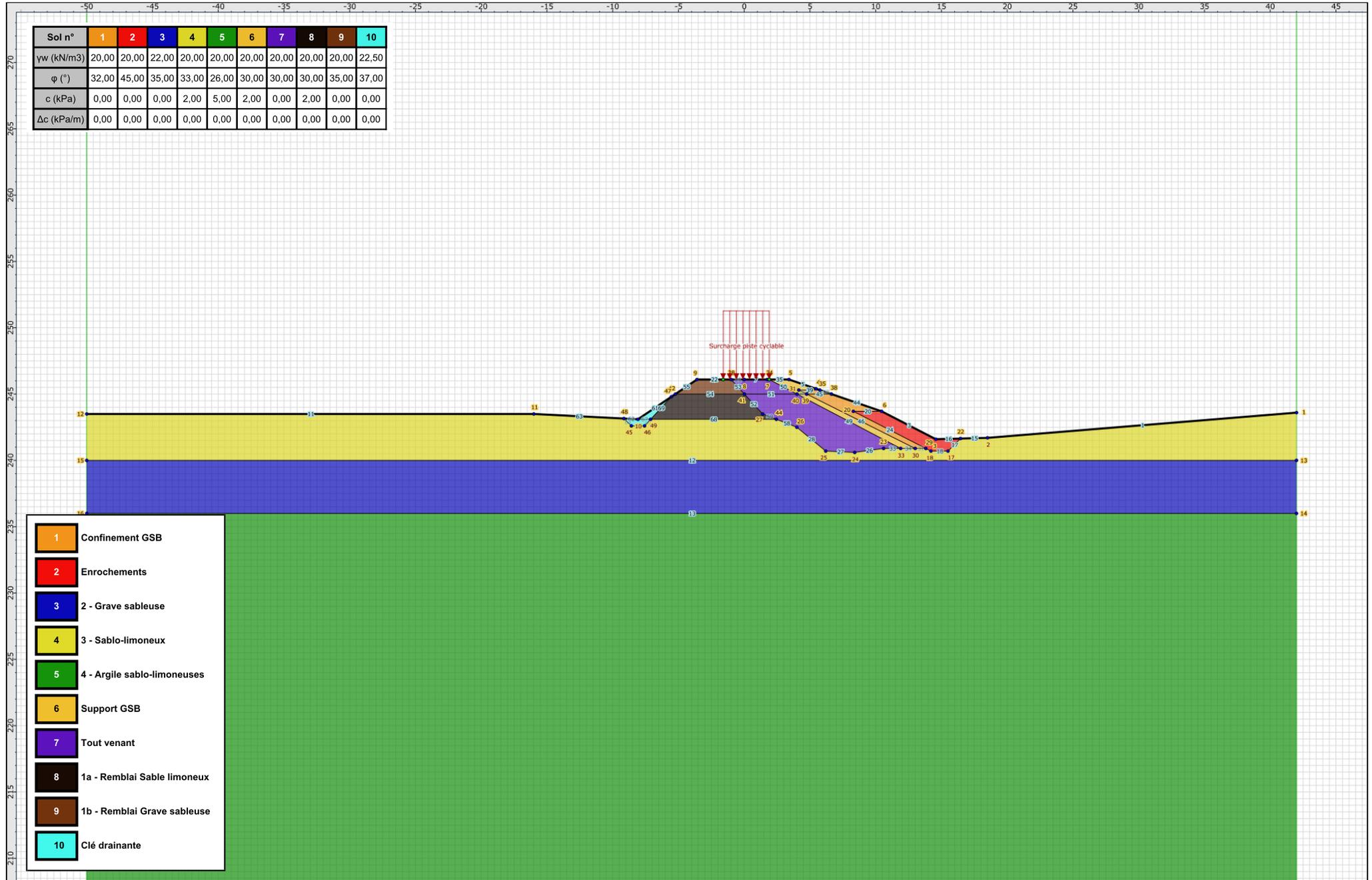
Phase : Q100 - fin montée / Situation : Situation 1



Talren v5
v5.2.10

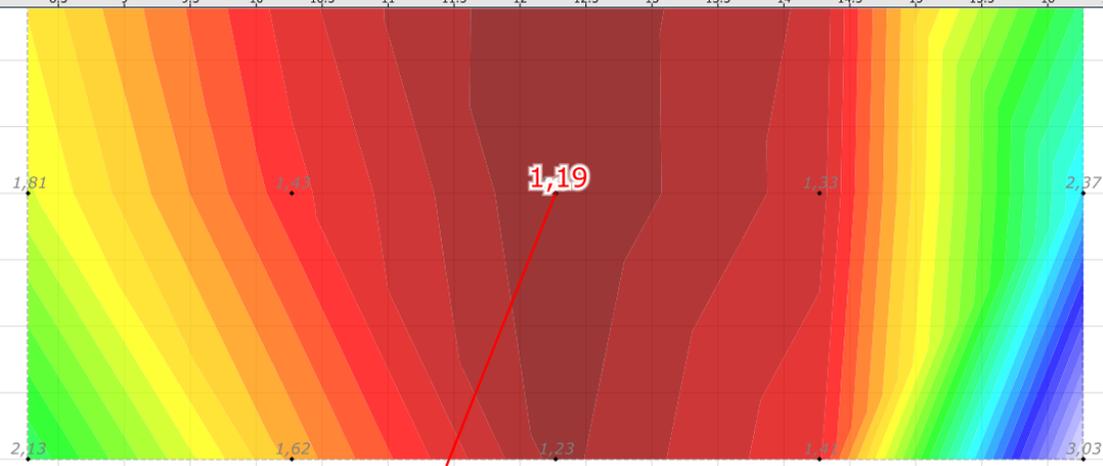
Imprimé le : 20 déc. 2022 08:37:56
Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Etiage / Situation : Situation 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

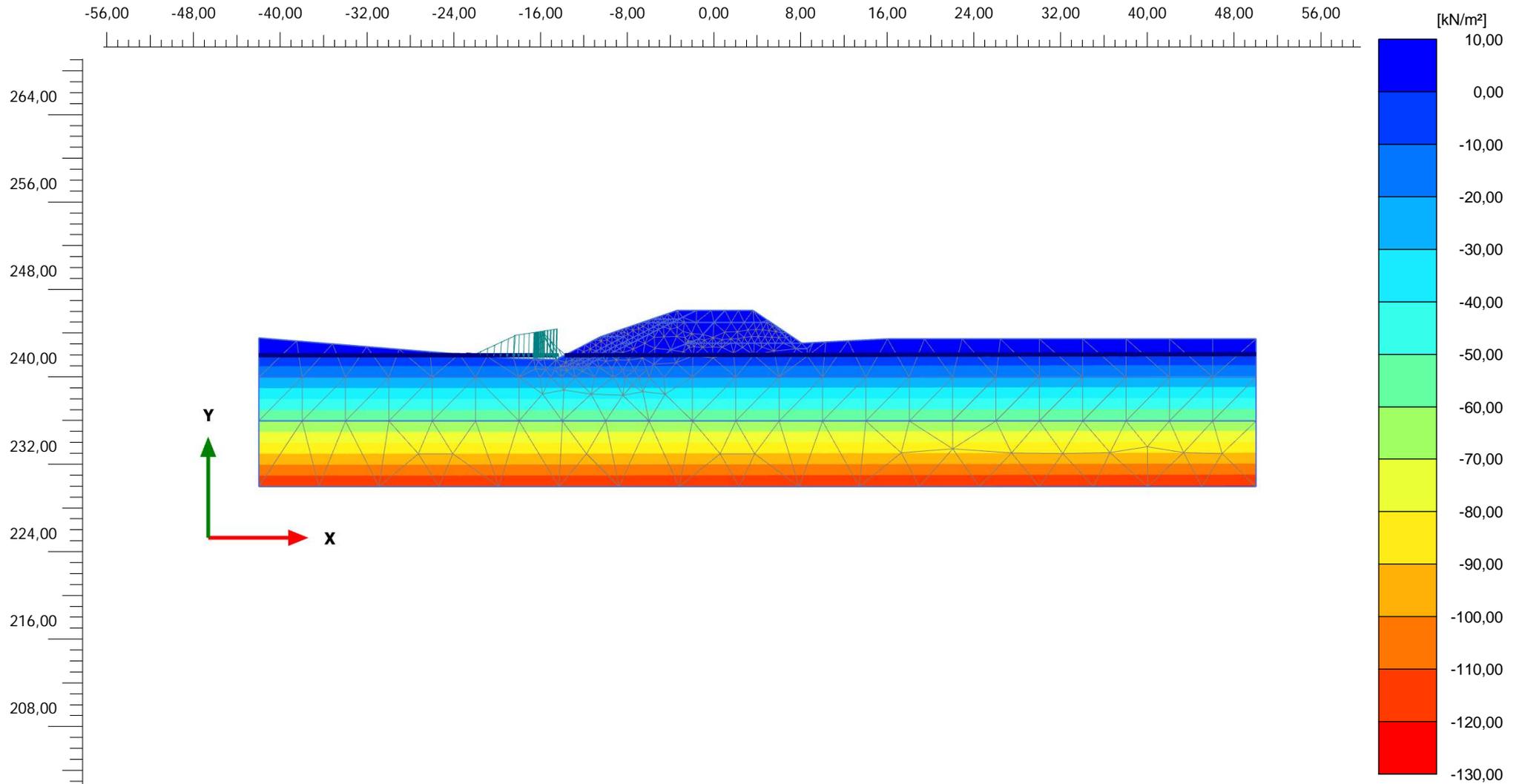
Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - Situation normale d'exploitation
Fmin = 1,1924



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:39:06
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 0,000 h)

Maximum value = 9,144 kN/m² (Element 1 at Node 89)

Minimum value = -121,0 kN/m² (Element 568 at Node 4977)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

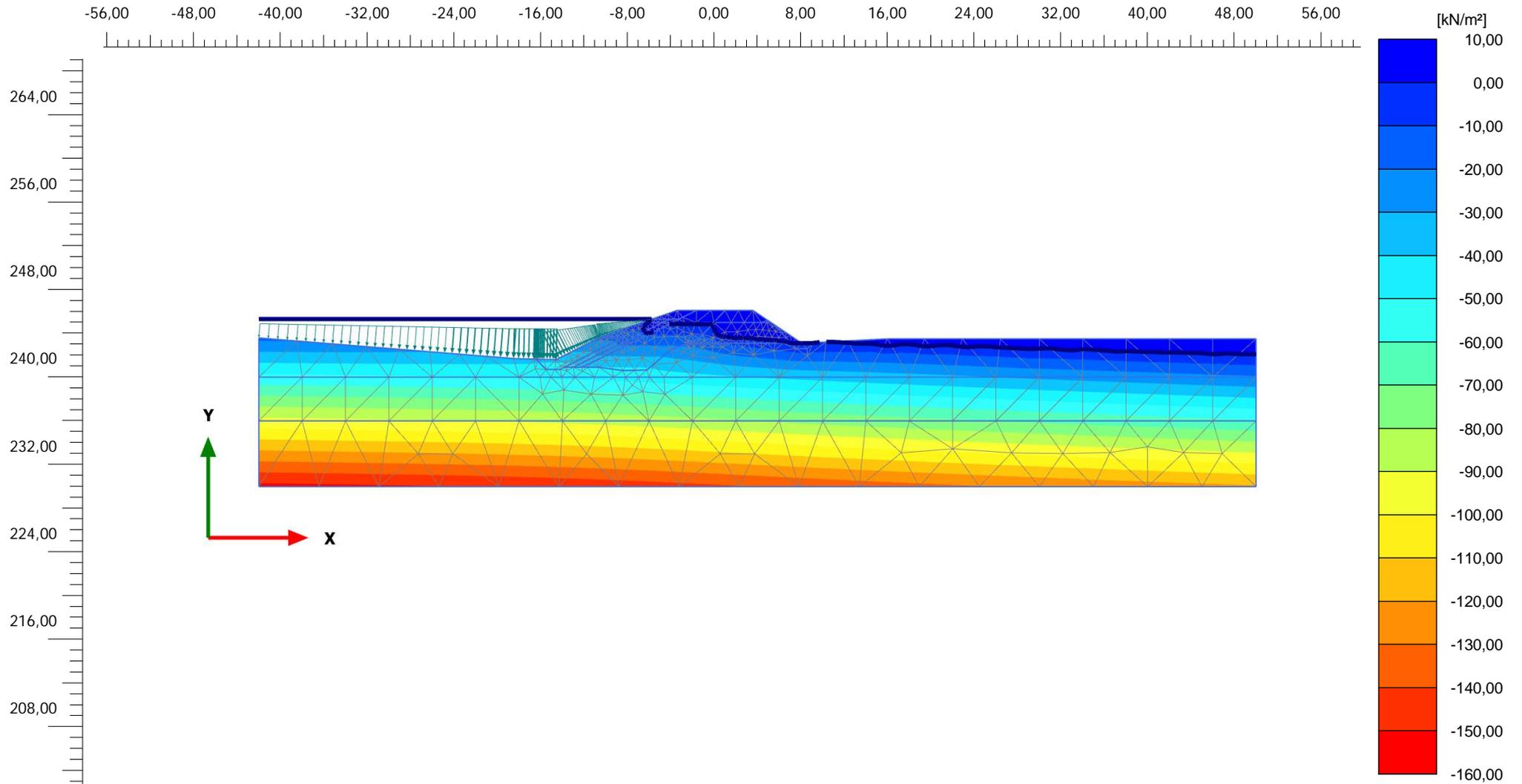
Project description
TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date
20/12/2022

Project filename
TEA220189 - Coupe 12

Step
8

Company
Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 29,83 h)

Maximum value = 9,056 kN/m² (Element 1 at Node 90)

Minimum value = -153,1 kN/m² (Element 554 at Node 2638)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

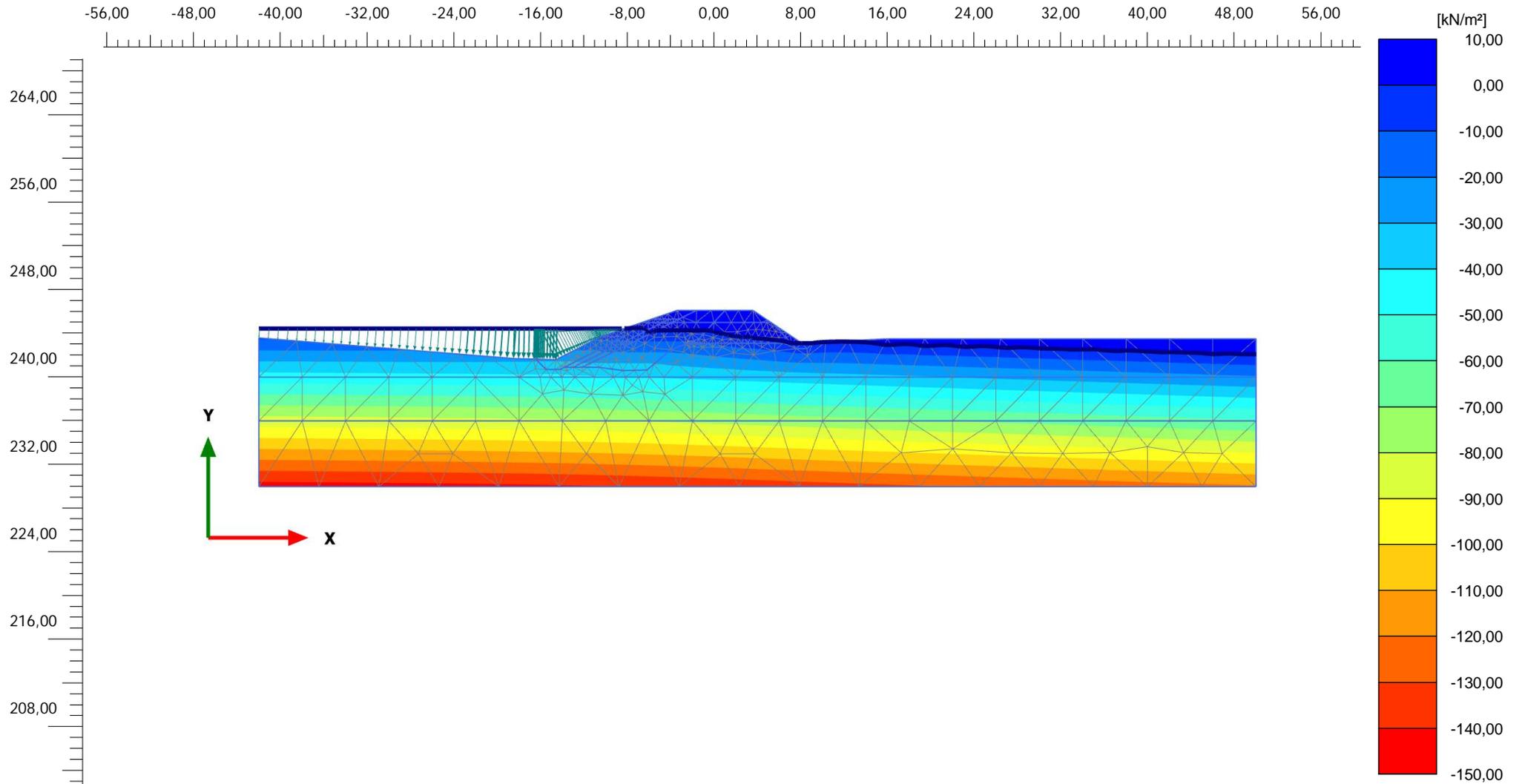
TEA220189 - Coupe 12

Step

132

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 40,50 h)

Maximum value = 8,963 kN/m² (Element 1 at Node 87)

Minimum value = -144,4 kN/m² (Element 554 at Node 2638)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

TEA220189 - Coupe 12

Step

7

Company

Technosol SA

Données du projet

Numéro d'affaire : TEA220189

Titre du calcul : Leysse aval - coupe 1

Lieu : Leysse aval - Courbure Viilarcher

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

yw : 10.0

Couches de sol

| | Nom | Couleur | γ | ϕ | c | Δc | qs clous | pl | KsB | Anisotropie | Favorable | Coefficients de sécurité spécifiques |
|----|-----------------------------|---------|----------|--------|-----|------------|----------|----|-----|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Confinement GSB | | 20,0 | 32,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 2 | Enrochements | | 20,0 | 45,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | 22,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | 20,0 | 33,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | 20,0 | 26,00 | 5,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 6 | Support GSB | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 7 | Tout venant | | 20,0 | 30,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | 20,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 10 | Clé drainante | | 22,5 | 37,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |

Couches de sol (cont.)

| | Nom | Couleur | $\Gamma\gamma$ | Γc | $\Gamma\tan(\phi)$ | Type de cohésion | Courbe |
|----|-----------------------------|---------|----------------|------------|--------------------|------------------|----------|
| 1 | Confinement GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 2 | Enrochements | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 6 | Support GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 7 | Tout venant | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 10 | Clé drainante | | - | - | - | Effective | Linéaire |

Points

| | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | -42,000 | 243,600 | 2 | -18,500 | 241,700 | 3 | -14,570 | 241,600 | 4 | -5,460 | 245,400 | 5 | -3,400 | 246,100 | 6 | -10,450 | 243,700 |
| 7 | -1,750 | 246,100 | 8 | 0,000 | 246,100 | 9 | 3,590 | 246,100 | 10 | 8,080 | 243,100 | 11 | 16,000 | 243,500 | 12 | 50,000 | 243,500 |
| 13 | -42,000 | 240,000 | 14 | -42,000 | 236,000 | 15 | 50,000 | 240,000 | 16 | 50,000 | 236,000 | 17 | -15,500 | 240,700 | 18 | -14,200 | 240,700 |
| 20 | -8,300 | 243,700 | 22 | -16,448 | 241,648 | 23 | -10,600 | 240,900 | 24 | -8,400 | 240,600 | 25 | -6,200 | 240,700 | 26 | -4,000 | 242,500 |
| 27 | -1,400 | 243,500 | 28 | 1,000 | 246,100 | 29 | -13,810 | 240,900 | 30 | -13,000 | 240,900 | 31 | -4,150 | 245,300 | 33 | -12,200 | 240,900 |
| 34 | -1,900 | 246,100 | 35 | -5,754 | 245,300 | 38 | -6,634 | 245,000 | 39 | -4,753 | 245,000 | 40 | -4,015 | 245,000 | 41 | -0,015 | 245,000 |
| 42 | 5,236 | 245,000 | 44 | -2,440 | 243,100 | 45 | -8,535 | 243,100 | 46 | -7,630 | 243,100 | 47 | -3,250 | 245,300 | 49 | -3,847 | 245,000 |
| 53 | -1,612 | 246,100 | 55 | 8,580 | 242,600 | 56 | 7,580 | 242,600 | 57 | 5,536 | 244,800 | 58 | 9,148 | 243,154 | 59 | 7,115 | 243,100 |

Segments

| | Point 1 | Point 2 |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | 5 | 4 | 5 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 15 | 13 | 14 | 16 | 15 | 22 | 2 |
| 16 | 22 | 3 | 17 | 22 | 17 | 18 | 17 | 18 | 20 | 20 | 6 | 21 | 8 | 28 | 22 | 9 | 28 | 23 | 18 | 29 |
| 24 | 20 | 29 | 26 | 23 | 24 | 27 | 24 | 25 | 28 | 25 | 26 | 31 | 29 | 30 | 33 | 23 | 33 | 34 | 30 | 33 |
| 35 | 5 | 34 | 36 | 7 | 34 | 39 | 31 | 35 | 41 | 35 | 4 | 43 | 38 | 35 | 44 | 38 | 6 | 45 | 38 | 39 |
| 47 | 39 | 31 | 48 | 39 | 40 | 52 | 41 | 27 | 53 | 41 | 28 | 54 | 41 | 42 | 55 | 42 | 9 | 58 | 44 | 26 |
| 59 | 44 | 27 | 64 | 46 | 49 | 65 | 49 | 40 | 66 | 49 | 41 | 72 | 45 | 39 | 73 | 33 | 46 | 74 | 45 | 46 |
| 79 | 53 | 7 | 80 | 53 | 8 | 81 | 53 | 47 | 82 | 47 | 49 | 83 | 31 | 47 | 84 | 30 | 45 | 85 | 42 | 57 |
| 86 | 10 | 57 | 88 | 58 | 10 | 89 | 58 | 11 | 90 | 58 | 55 | 91 | 55 | 56 | 92 | 56 | 59 | 93 | 59 | 10 |
| 94 | 59 | 44 | 95 | 59 | 57 | | | | | | | | | | | | | | | |

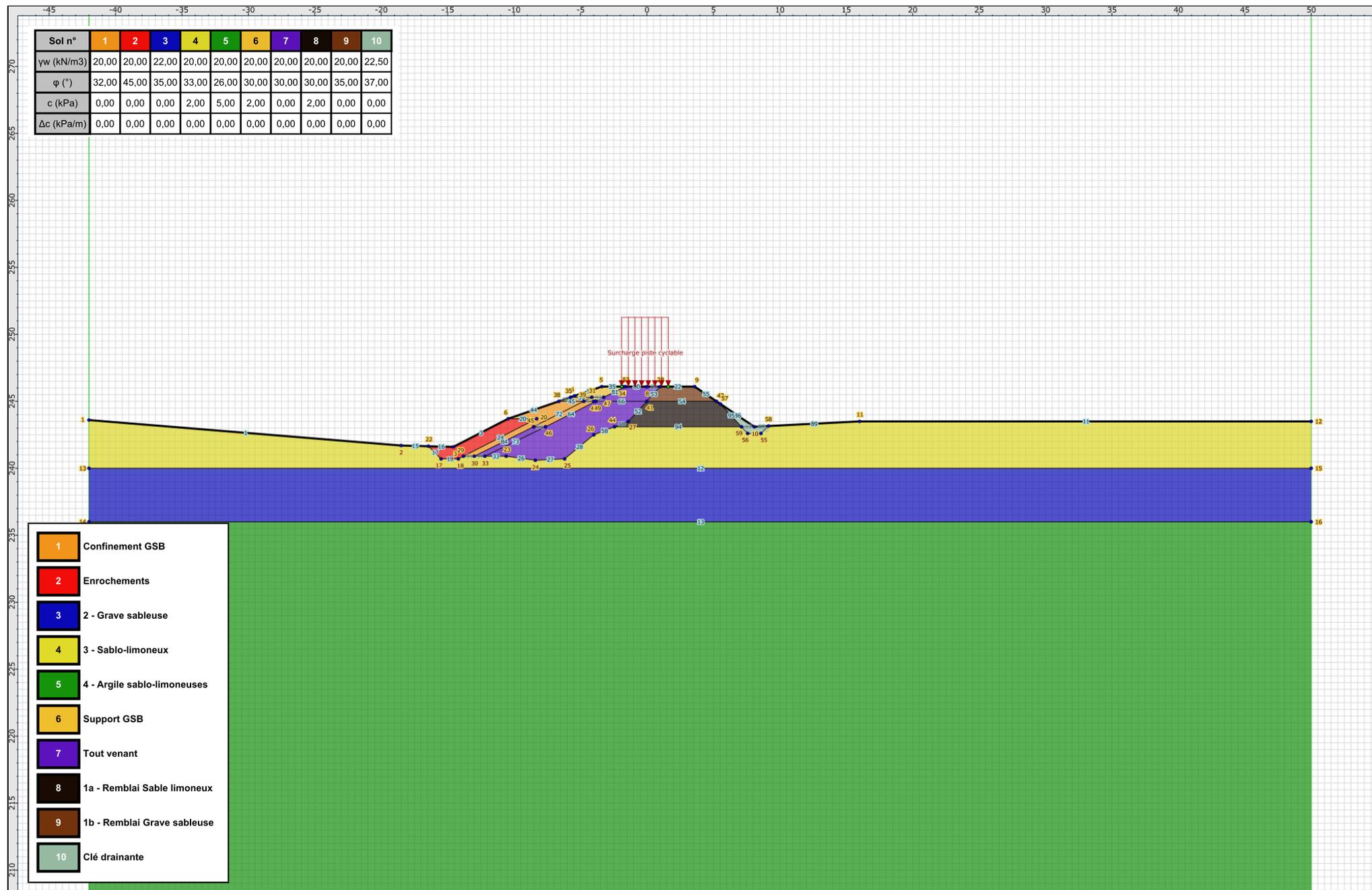
Surcharges réparties

| | Nom | X gauche | Y gauche | q gauche | X droite | Y droite | q droite | Ang/horizontale |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 1 | Surcharge piste cyclable | -1,900 | 246,100 | 10,0 | 1,600 | 246,100 | 10,0 | 90,00 |



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:43:36
Calcul réalisé par : TECHNOSOL
Projet : Leysse aval - coupe 1



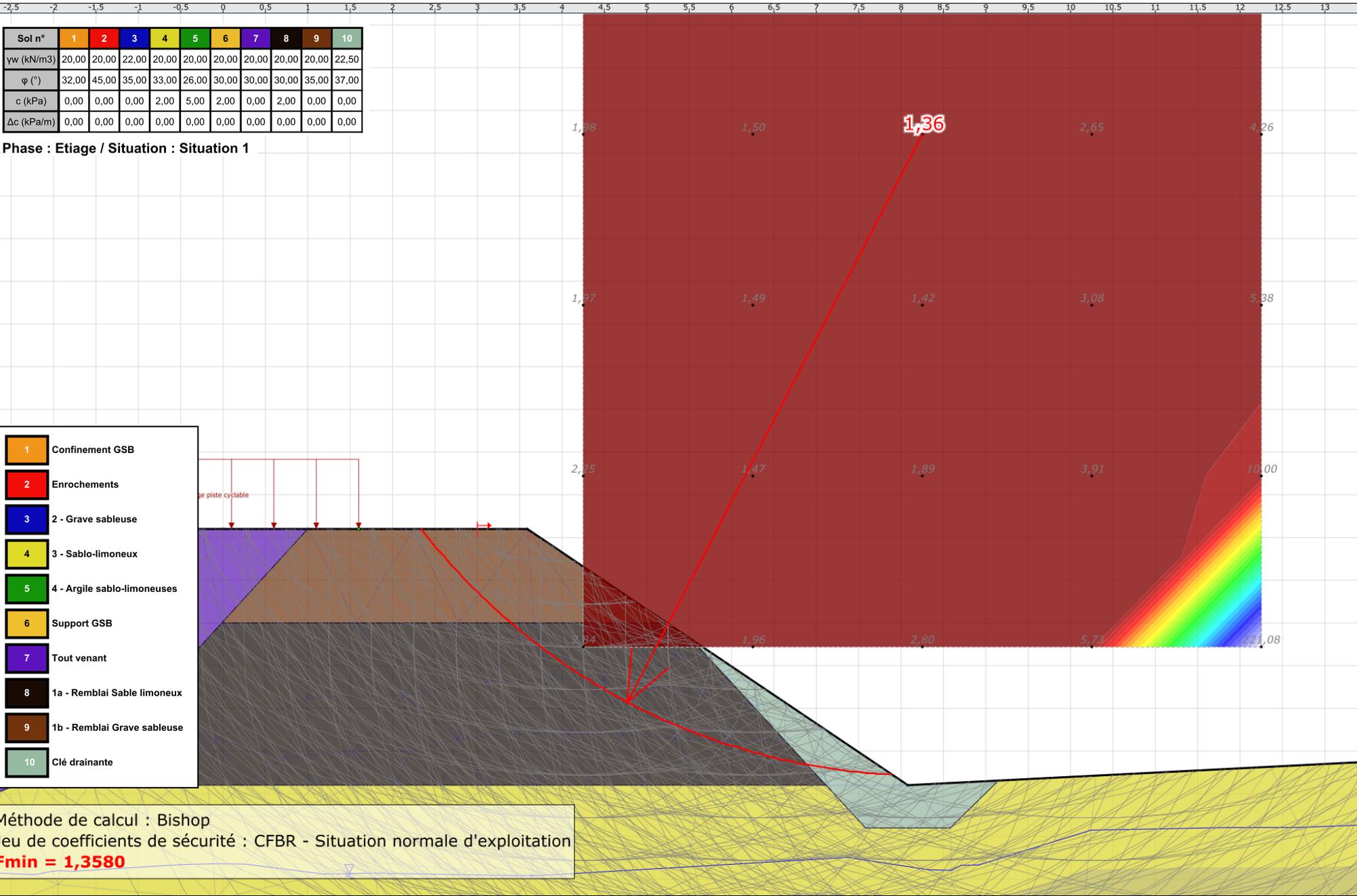
- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante



Talren v5
v5.2.10

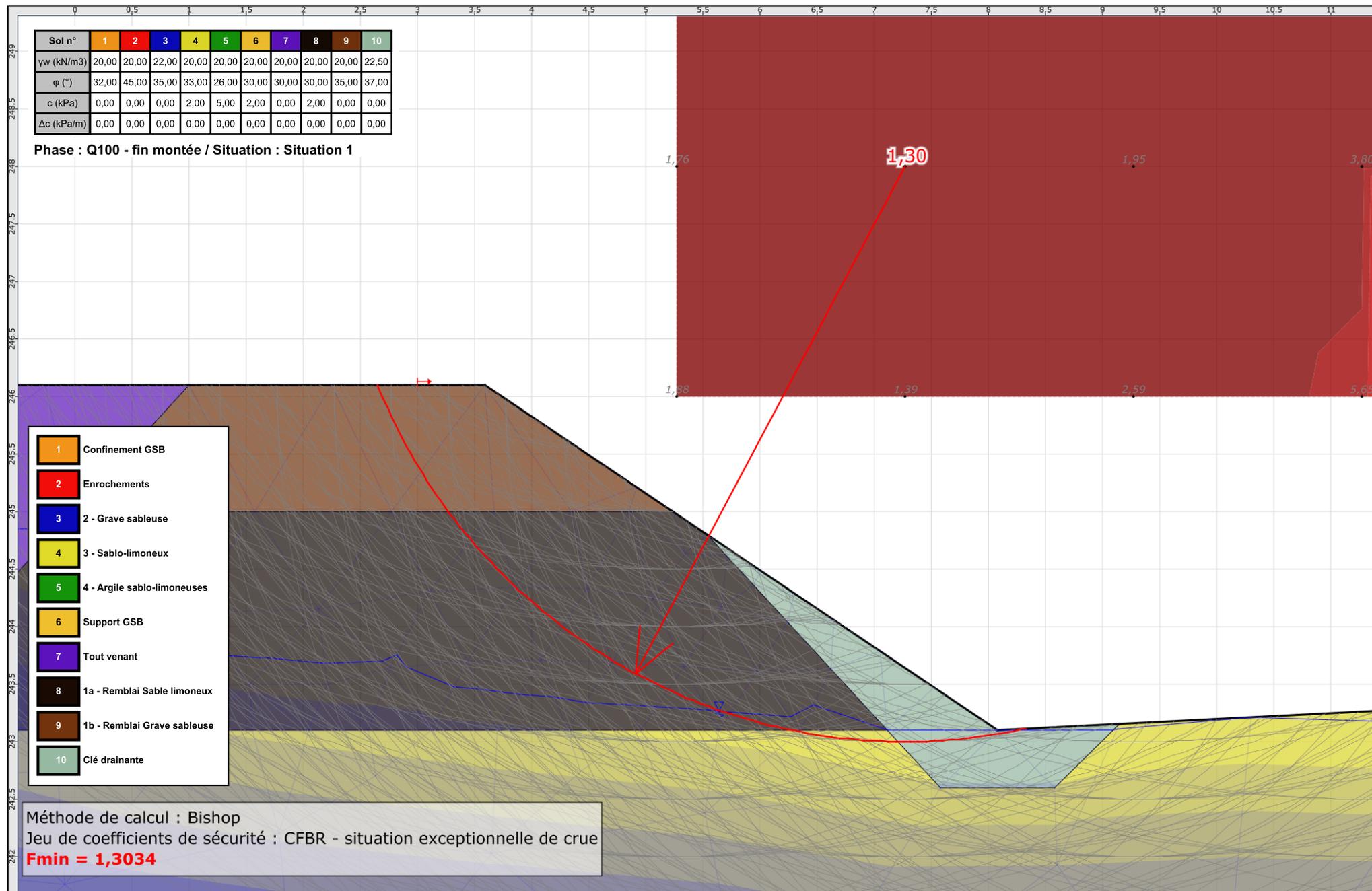
Imprimé le : 20 déc. 2022 08:43:37
Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Q100 - fin montée / Situation : Situation 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

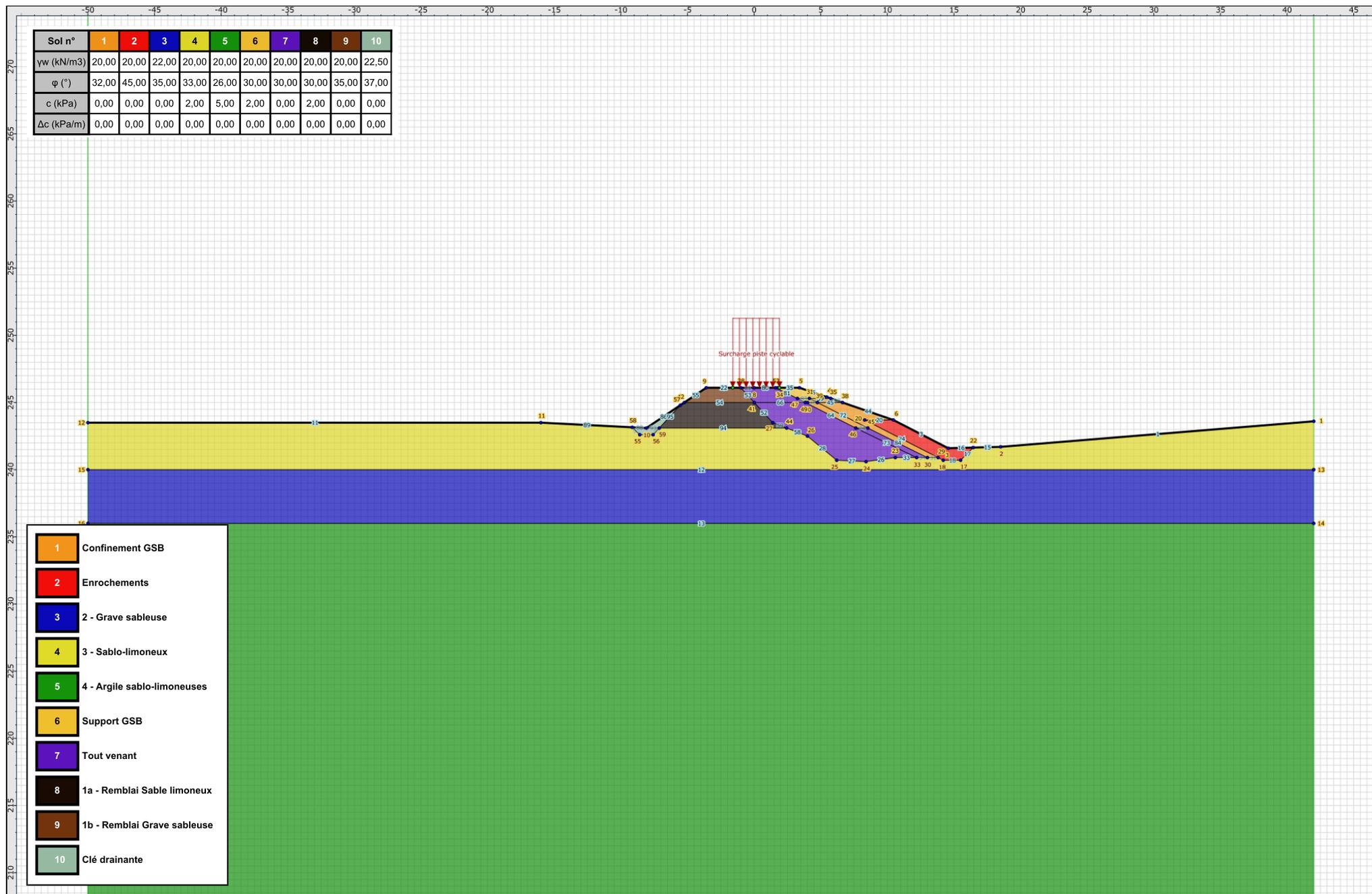
Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - situation exceptionnelle de crue
Fmin = 1,3034



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:43:37
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante



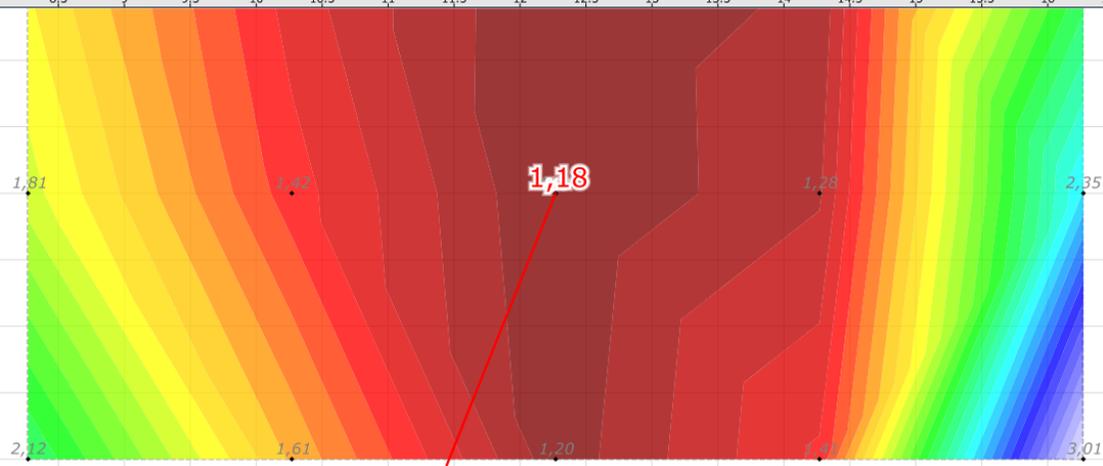
Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:44:39
Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Leysse aval - coupe 1

| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Etiage / Situation : Situation 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - Situation normale d'exploitation
Fmin = 1,1765



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:44:39
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

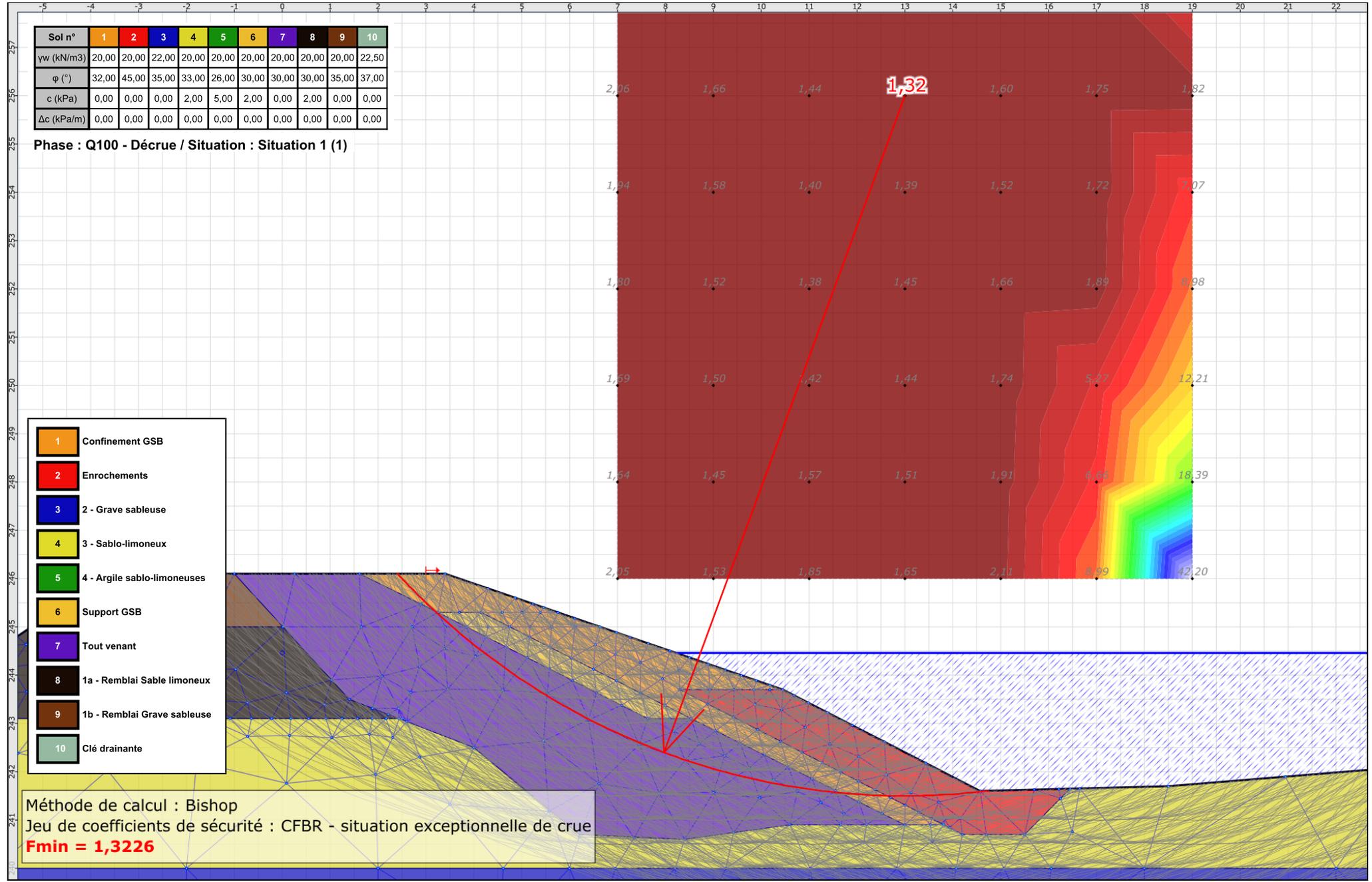
Projet : Laysse aval - coupe 1

| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Q100 - Décrue / Situation : Situation 1 (1)

- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

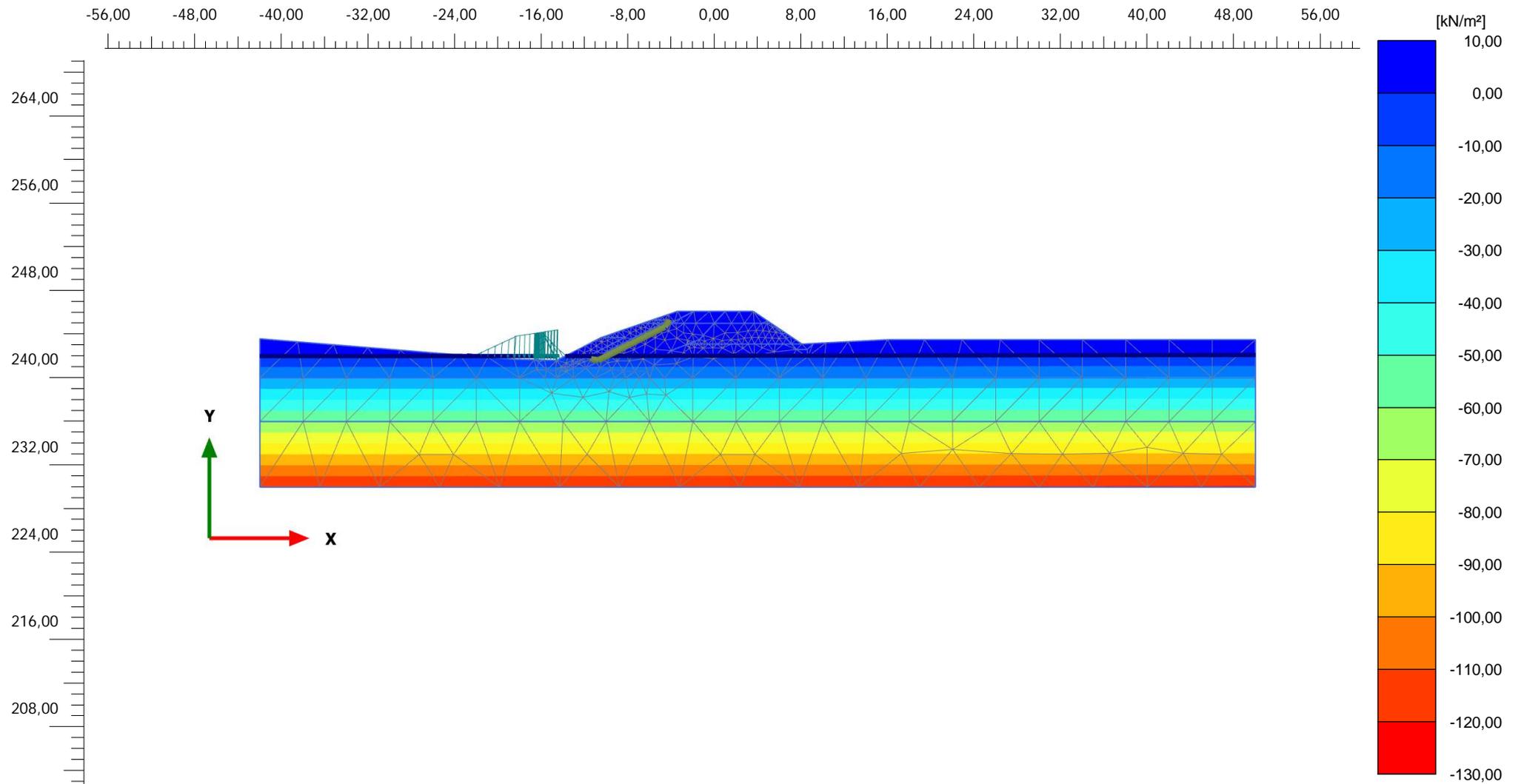
Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - situation exceptionnelle de crue
Fmin = 1,3226



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:44:39
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Leysse aval - coupe 1



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 0,000 h)

Maximum value = 9,139 kN/m² (Element 1 at Node 814)

Minimum value = -121,0 kN/m² (Element 552 at Node 4912)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

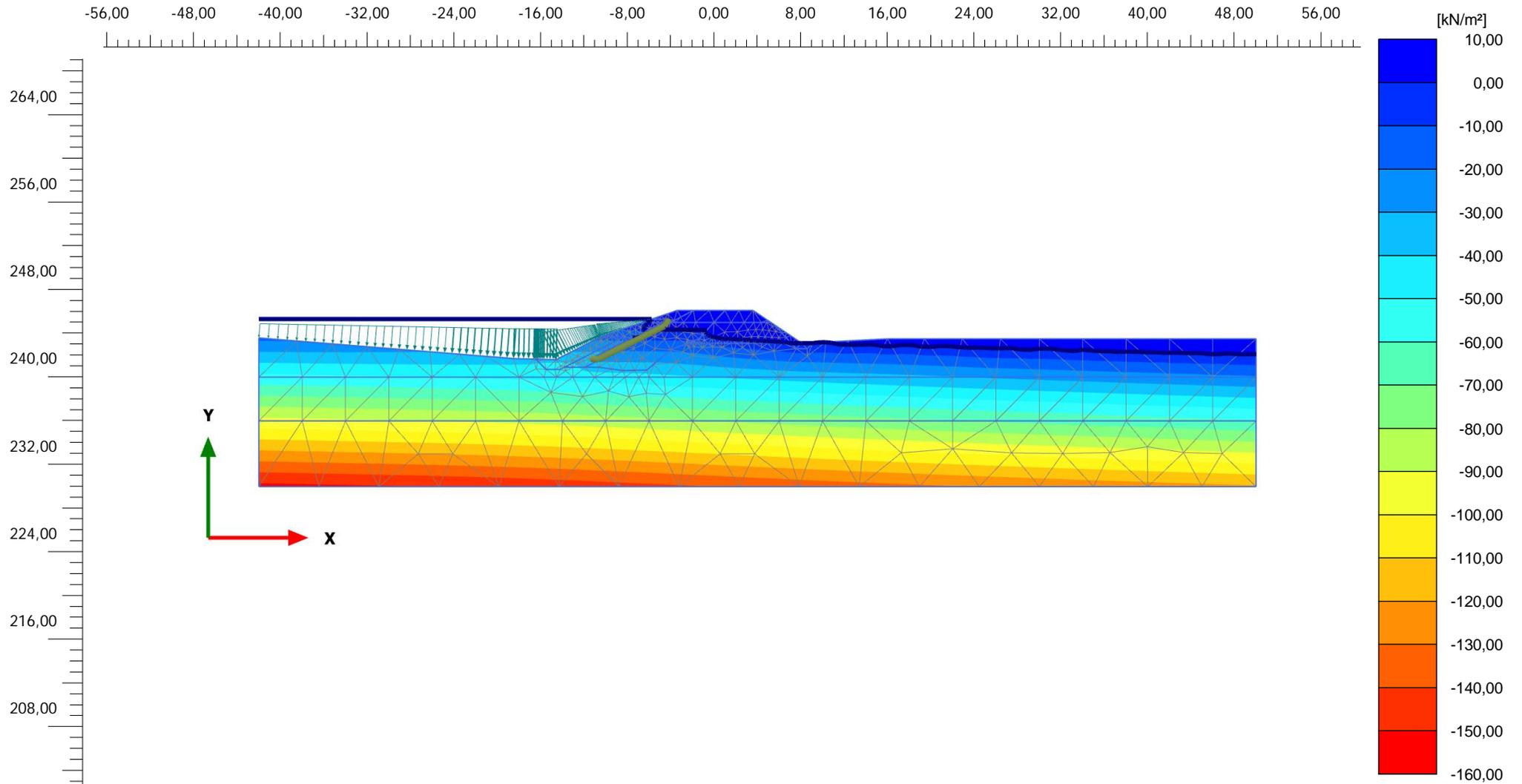
Coupe 13 L1

Step

64

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 29,83 h)

Maximum value = 9,032 kN/m² (Element 1 at Node 1380)

Minimum value = -153,1 kN/m² (Element 538 at Node 2609)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

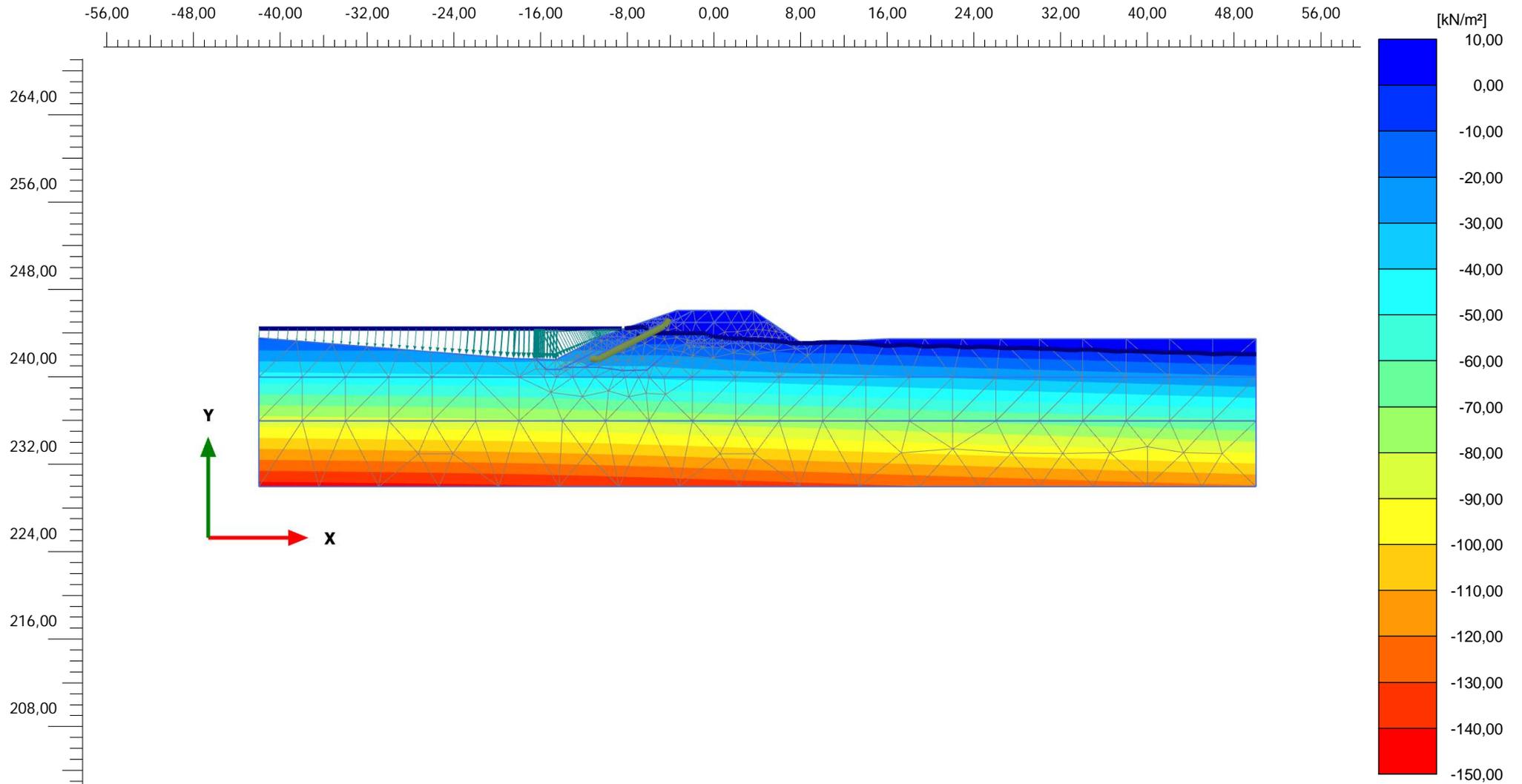
Coupe 13 L1

Step

57

Company

Technosol SA



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

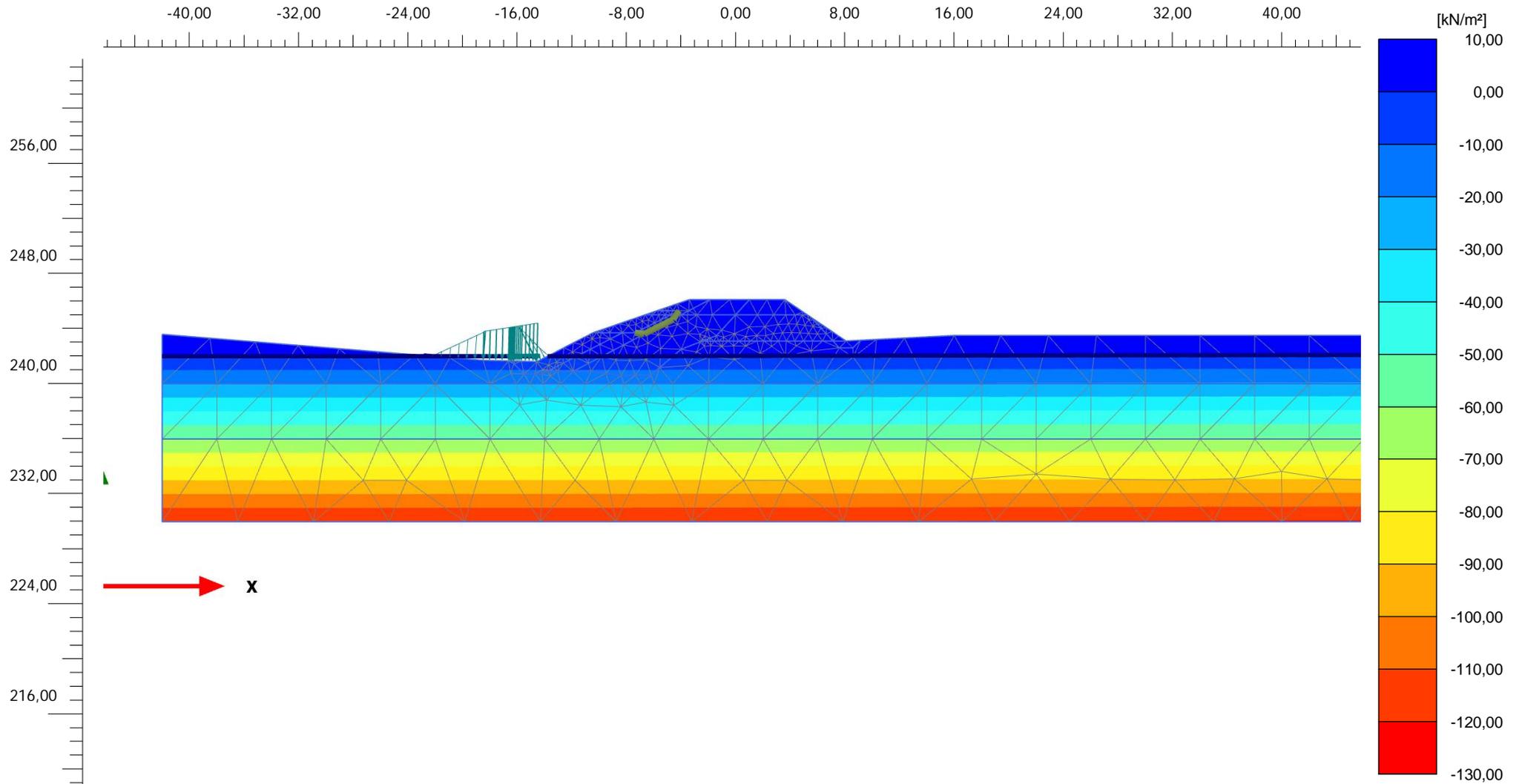
Coupe 13 L1

Step

63

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 0,000 h)

Maximum value = 9,155 kN/m² (Element 1 at Node 367)

Minimum value = -121,0 kN/m² (Element 518 at Node 4604)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

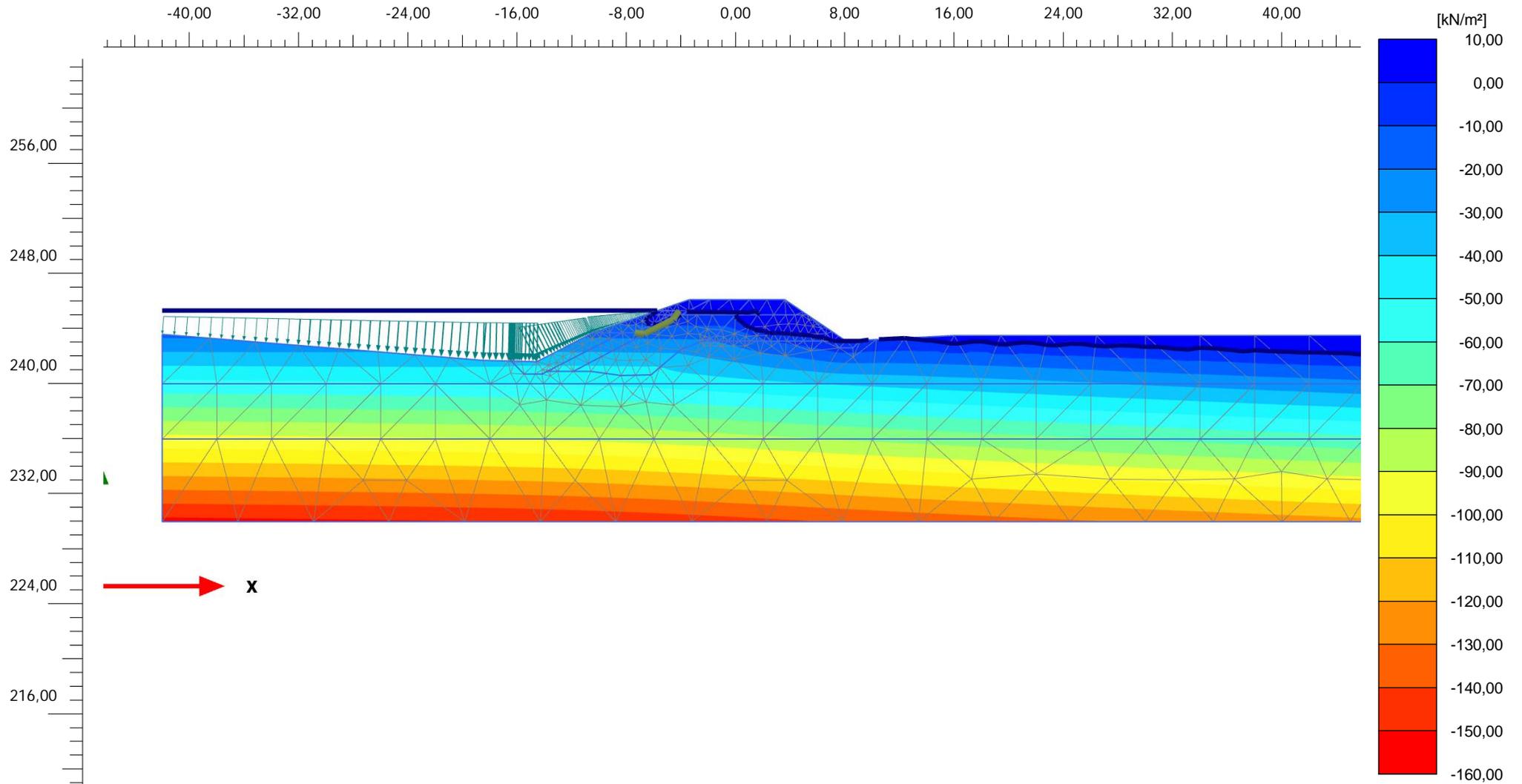
Coupe 13 L3

Step

9

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 29,83 h)

Maximum value = 9,169 kN/m² (Element 1 at Node 368)

Minimum value = -153,1 kN/m² (Element 504 at Node 2275)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date

20/12/2022

Project filename

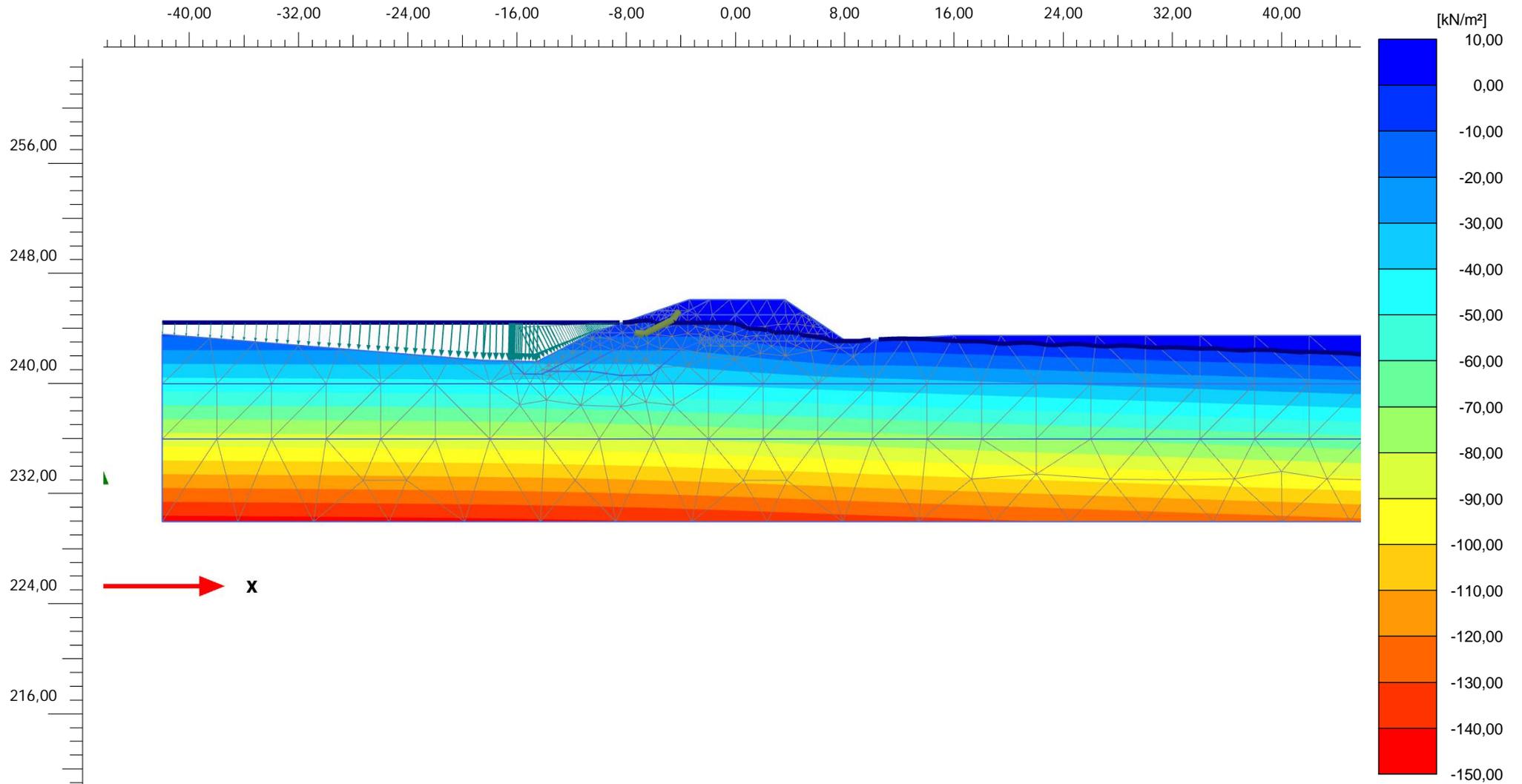
Coupe 13 L3

Step

130

Company

Technosol SA



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 40,50 h)

Maximum value = 9,131 kN/m² (Element 1 at Node 368)

Minimum value = -144,4 kN/m² (Element 504 at Node 2275)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description
TEA220189 - Leysse aval - Courbure Villarcher

Date
20/12/2022

Project filename
Coupe 13 L3

Step
8

Company
Technosol SA

Données du projet

Numéro d'affaire : TEA220189

Titre du calcul : Leysse aval - coupe 1

Lieu : Leysse aval - Courbure Viilarcher

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

yw : 10.0

Couches de sol

| | Nom | Couleur | γ | ϕ | c | Δc | qs clous | pl | KsB | Anisotropie | Favorable | Coefficients de sécurité spécifiques |
|----|-----------------------------|---------|----------|--------|-----|------------|----------|----|-----|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Confinement GSB | | 20,0 | 32,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 2 | Enrochements | | 20,0 | 45,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | 22,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | 20,0 | 33,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | 20,0 | 26,00 | 5,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 6 | Support GSB | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 7 | Tout venant | | 20,0 | 30,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | 20,0 | 30,00 | 2,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | 20,0 | 35,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |
| 10 | Clé drainante | | 22,5 | 37,00 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | Non | Non | Non |

Couches de sol (cont.)

| | Nom | Couleur | $\Gamma\gamma$ | Γc | $\Gamma \tan(\phi)$ | Type de cohésion | Courbe |
|----|-----------------------------|---------|----------------|------------|---------------------|------------------|----------|
| 1 | Confinement GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 2 | Enrochements | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 3 | 2 - Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 4 | 3 - Sablo-limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 5 | 4 - Argile sablo-limoneuses | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 6 | Support GSB | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 7 | Tout venant | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 8 | 1a - Remblai Sable limoneux | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 9 | 1b - Remblai Grave sableuse | | - | - | - | Effective | Linéaire |
| 10 | Clé drainante | | - | - | - | Effective | Linéaire |

Points

| | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y | | X | Y |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | -42,000 | 243,600 | 2 | -18,500 | 241,700 | 3 | -14,570 | 241,600 | 4 | -5,460 | 245,400 | 5 | -3,400 | 246,100 |
| 7 | -1,750 | 246,100 | 8 | 0,000 | 246,100 | 9 | 3,590 | 246,100 | 10 | 8,080 | 243,100 | 11 | 16,000 | 243,500 |
| 13 | -42,000 | 240,000 | 14 | -42,000 | 236,000 | 15 | 50,000 | 240,000 | 16 | 50,000 | 236,000 | 17 | -15,500 | 240,700 |
| 20 | -8,300 | 243,700 | 22 | -16,448 | 241,648 | 23 | -10,600 | 240,900 | 24 | -8,400 | 240,600 | 25 | -6,200 | 240,700 |
| 27 | -1,400 | 243,500 | 28 | 1,000 | 246,100 | 29 | -13,810 | 240,900 | 30 | -13,000 | 240,900 | 31 | -4,150 | 245,300 |
| 34 | -1,900 | 246,100 | 35 | -5,754 | 245,300 | 38 | -6,634 | 245,000 | 39 | -4,753 | 245,000 | 40 | -4,015 | 245,000 |
| 42 | 5,236 | 245,000 | 44 | -2,440 | 243,100 | 45 | 8,580 | 242,600 | 46 | 7,580 | 242,600 | 47 | 5,536 | 244,800 |
| 49 | 7,115 | 243,100 | 50 | -3,438 | 245,300 | 51 | -6,515 | 243,700 | 52 | -7,368 | 243,700 | | | |

Segments

| | Point 1 | Point 2 |
|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | 5 | 4 | 5 | 7 | 7 | 8 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 15 | 13 | 14 | 16 |
| 15 | 22 | 2 | 16 | 22 | 3 | 17 | 22 | 17 | 18 | 17 | 18 | 20 | 20 | 6 | 21 | 8 | 28 | 22 | 9 | 28 |
| 23 | 18 | 29 | 24 | 20 | 29 | 26 | 23 | 24 | 27 | 24 | 25 | 28 | 25 | 26 | 31 | 29 | 30 | 33 | 23 | 33 |
| 34 | 30 | 33 | 35 | 5 | 34 | 36 | 7 | 34 | 39 | 31 | 35 | 41 | 35 | 4 | 43 | 38 | 35 | 44 | 38 | 6 |
| 45 | 38 | 39 | 47 | 39 | 31 | 48 | 39 | 40 | 51 | 40 | 41 | 52 | 41 | 27 | 53 | 41 | 28 | 54 | 41 | 42 |
| 55 | 42 | 9 | 58 | 44 | 26 | 59 | 44 | 27 | 60 | 42 | 47 | 61 | 10 | 47 | 62 | 10 | 48 | 63 | 11 | 48 |
| 64 | 48 | 45 | 65 | 45 | 46 | 66 | 46 | 49 | 67 | 49 | 10 | 68 | 49 | 44 | 69 | 49 | 47 | 70 | 40 | 50 |
| 71 | 34 | 50 | 72 | 40 | 51 | 73 | 33 | 51 | 74 | 39 | 52 | 75 | 30 | 52 | 76 | 52 | 51 | 77 | 20 | 52 |

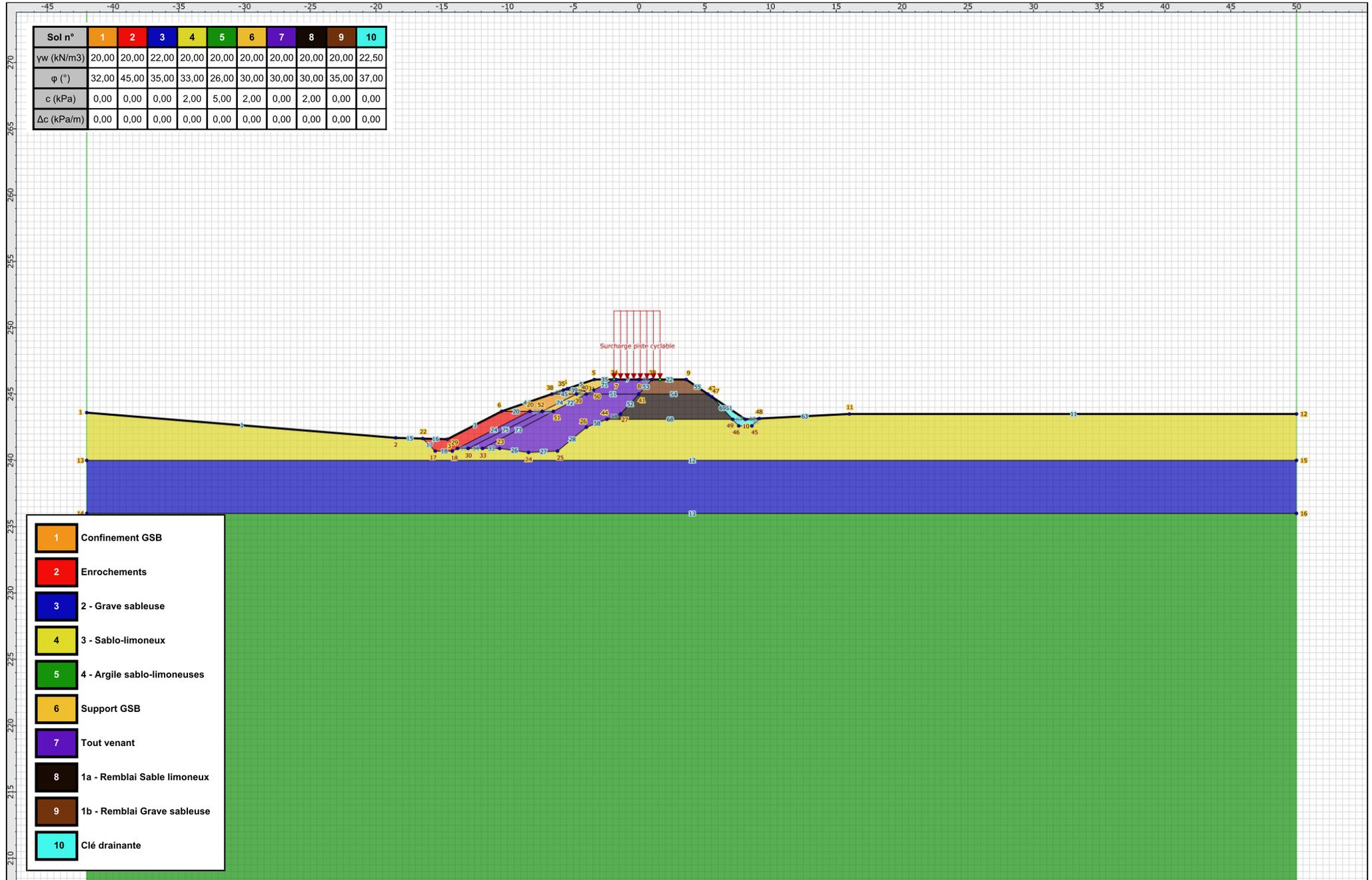
Surcharges réparties

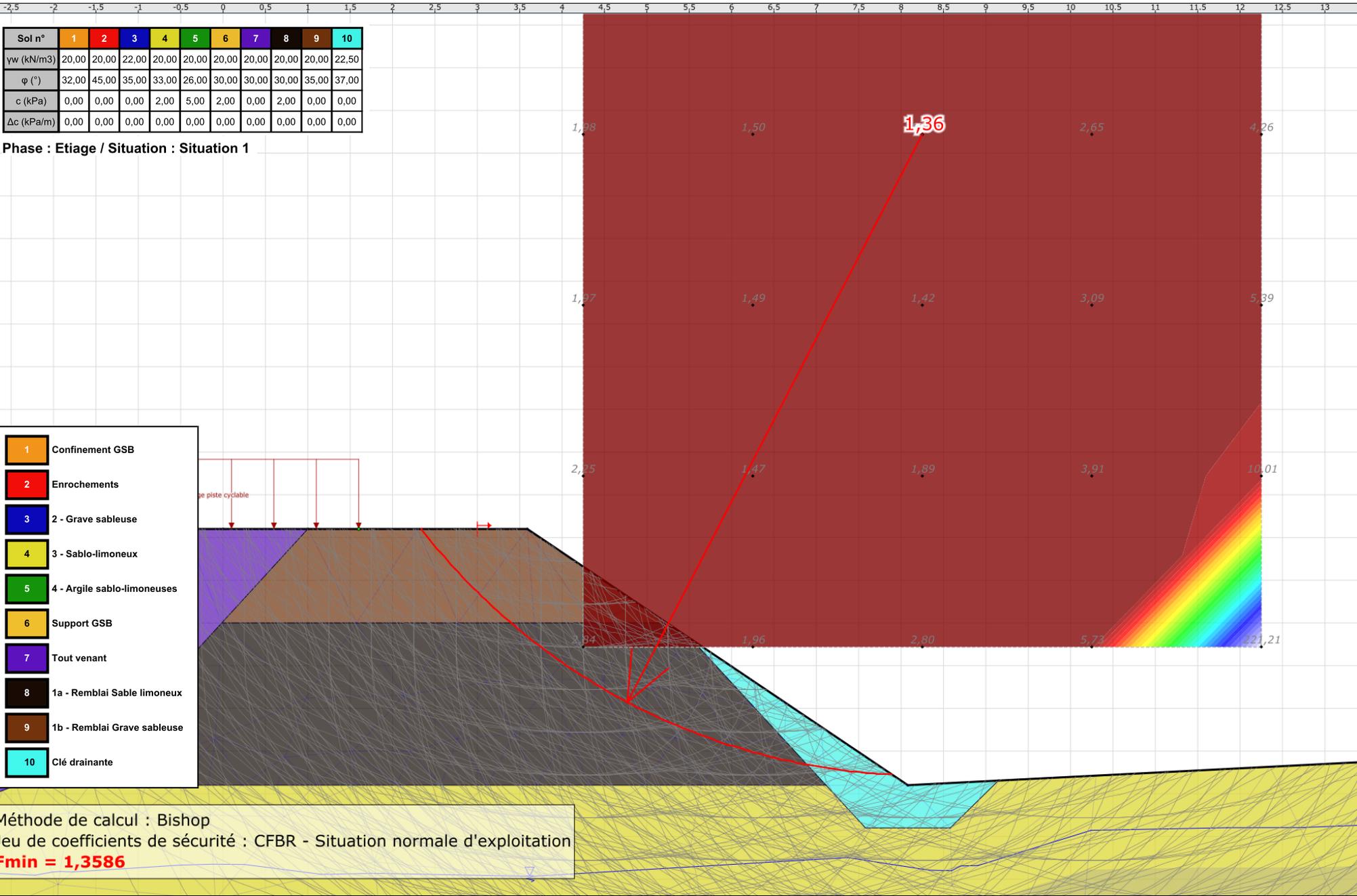
| | Nom | X gauche | Y gauche | q gauche | X droite | Y droite | q droite | Ang/horizontale |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 1 | Surcharge piste cyclable | -1,900 | 246,100 | 10,0 | 1,600 | 246,100 | 10,0 | 90,00 |



Talren v5
v5.2.10

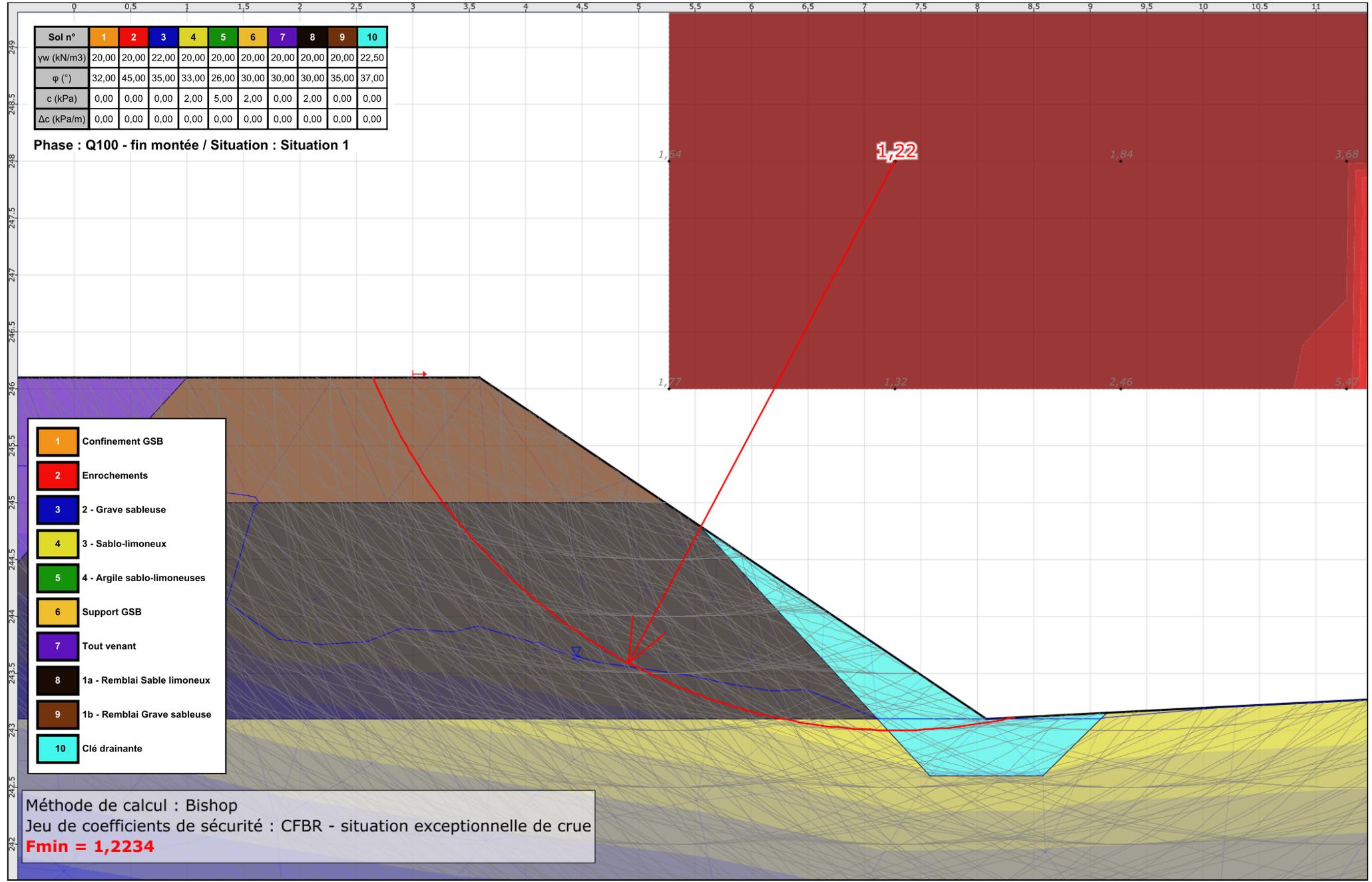
Imprimé le : 20 déc. 2022 08:51:25
Calcul réalisé par : TECHNOSOL
Projet : Leysse aval - coupe 1





| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Q100 - fin montée / Situation : Situation 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 - Grave sableuse
- 4 - Sablo-limoneux
- 5 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

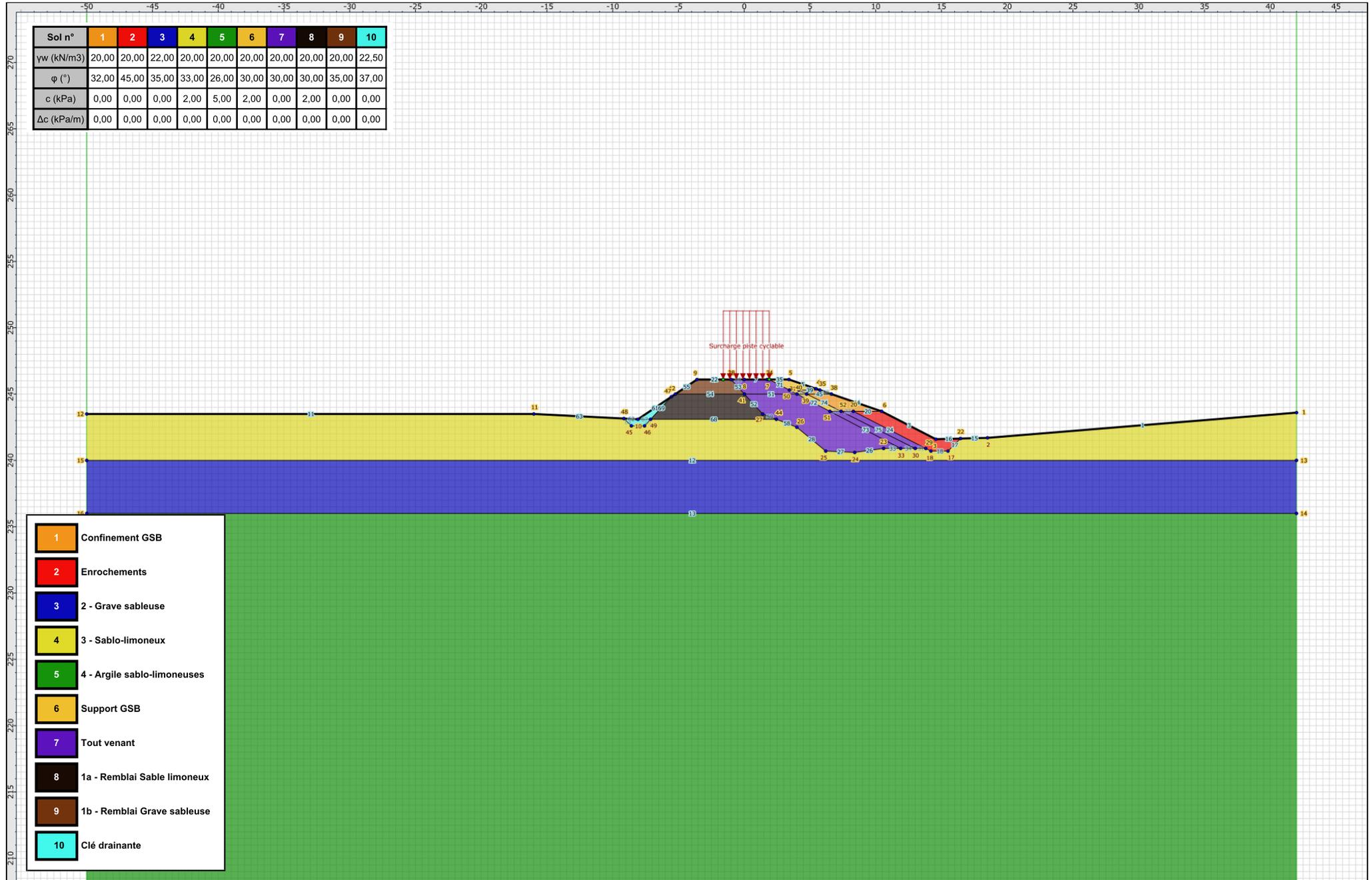
Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - situation exceptionnelle de crue
Fmin = 1,2234



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:51:26
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante



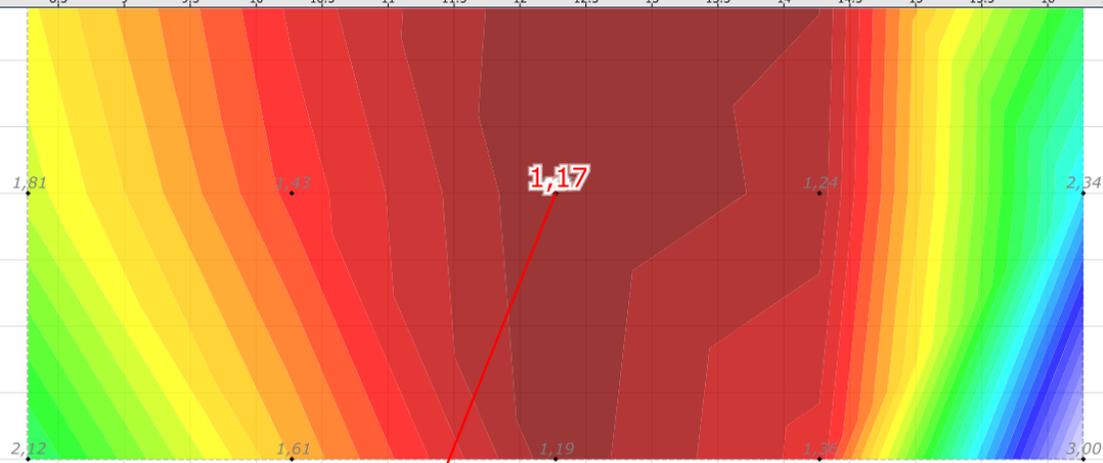
Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:52:37
Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Leysse aval - coupe 1

| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Etiage / Situation : Situation 1



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - Situation normale d'exploitation
Fmin = 1,1665



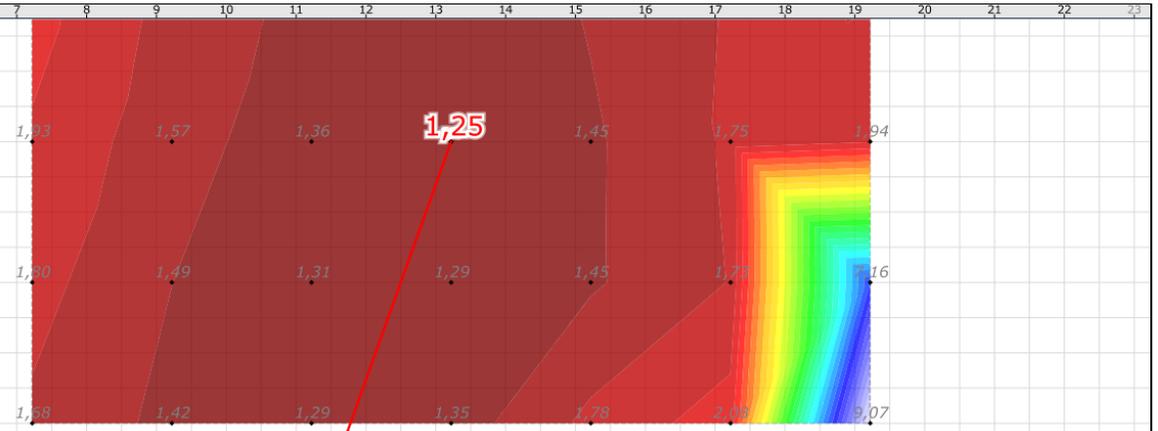
Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:52:37
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Laysse aval - coupe 1

| Sol n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γw (kN/m3) | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 22,50 |
| φ (°) | 32,00 | 45,00 | 35,00 | 33,00 | 26,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 35,00 | 37,00 |
| c (kPa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| Δc (kPa/m) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Phase : Q100 - Décrue / Situation : Situation 1 (1)



- 1 Confinement GSB
- 2 Enrochements
- 3 2 - Grave sableuse
- 4 3 - Sablo-limoneux
- 5 4 - Argile sablo-limoneuses
- 6 Support GSB
- 7 Tout venant
- 8 1a - Remblai Sable limoneux
- 9 1b - Remblai Grave sableuse
- 10 Clé drainante

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : CFBR - situation exceptionnelle de crue
Fmin = 1,2470



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 20 déc. 2022 08:52:37
 Calcul réalisé par : TECHNOSOL

Projet : Leysse aval - coupe 1



www.kaena.fr

Kaéna - Siège social - Parc d'Activités Eurékalp
L'Épicentre-38660 Saint Vincent de Mercuze
Tel 04 76 97 94 64 - Fax 04 76 97 94 65
contact@kaena.fr - www.kaena.fr

Kaéna - Pays de Savoie
12 avenue du Pont de Tasset
Meythet - 74960 Annecy
Tel 04 58 10 05 74 - paysdesavoie@kaena.fr

SAS au capital de 98 350,00 € - N° SIREN 510 277 478 - Code NAF 7112B RCS Grenoble - TVA FR 77510 277 478

