

# GEO5

## Méthode des éléments finis : Digue en terre - Modélisation numérique des infiltrations en régime transitoire

### Résumé

L'objectif de ce manuel est de décrire la modélisation numérique des infiltrations dans une digue en terre en régime transitoire en utilisant la méthode des éléments finis.

Le fichier exemple correspondant est « Demo\_manual\_33.gmk ».

**ATTENTION** : Dans ce document, l'utilisateur sera guidé à travers toutes les étapes de définition et d'analyse d'un projet géotechnique, dans un contexte établi par l'auteur. L'utilisateur doit être informé que les réglages de l'analyse (onglet « Paramètres ») sont de sa responsabilité et doivent être vérifiés/adaptés avant de commencer tout nouveau projet.

## 1 Introduction

Cet exemple illustre une application du module Écoulement du programme GEO5-MEF dans le cadre de l'analyse des écoulements transitoires (dépendant du temps) à travers une digue en terre homogène. La géométrie et les paramètres du matériau sont les mêmes que dans le cahier technique n° 32. Par contre, pour ce cas, nous allons nous intéresser à l'évolution de la ligne phréatique au cours du temps. L'analyse fournira la position et la forme de la ligne phréatique, la distribution de la pression interstitielle, les vitesses d'écoulement de l'eau et les flux totaux aux limites du modèle à des moments spécifiés.

## 2 Projet

En reprenant les caractéristiques de la digue en terre décrite dans le cahier technique n° 32, déterminer la position et la forme de la ligne phréatique après une augmentation soudaine du niveau d'eau de 2 à 9 m dans le réservoir aux laps de temps suivants : 1 heure, 1 jour, 7 jours, 3 mois et 1 an. Déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'écoulement en régime permanent.

### 3 Solution

#### 3.1 Saisie des données d'entrée

L'exemple « Demo\_manual\_32.gmk » va nous fournir l'intégralité des caractéristiques géométriques et matérielles de l'étude. Par contre, dans le cadre « Paramètres », nous allons choisir « Écoulement transitoire » comme type de calcul et cocher l'option « Permettre de saisir l'eau dans la première phase en utilisant le calcul de l'écoulement permanent » afin de prendre en compte la nature différente du problème.

#### 3.2 Phase de calcul 1 : niveau d'eau à 2 m au dessus du fond du réservoir

Contrairement à l'analyse de l'écoulement d'eau en régime permanent, nous allons nous intéresser à l'évolution d'une certaine variable dans le temps à partir d'un état initial donné. Cet état doit être défini avant d'exécuter l'analyse transitoire réelle. En cochant l'option « Permettre de saisir l'eau dans la première phase en utilisant le calcul de l'écoulement permanent », le programme calcule la distribution de la pression interstitielle initiale obtenue en effectuant une analyse standard de l'écoulement d'eau à l'état d'équilibre dans la première phase de calcul à la fois en dessous (pression interstitielle) et au-dessus (suction) la ligne phréatique actuelle.

#### Conditions aux limites dans la phase de calcul 1 - Calcul de l'écoulement en régime permanent

Les conditions aux limites ainsi que les résultats d'analyse dans la première phase de calcul sont identiques à ceux obtenus dans la première phase de l'exemple Demo\_manual\_32.gmk. Les distributions initiales de la pression interstitielle et de l'aspiration sont représentées sur les deux figures suivantes.

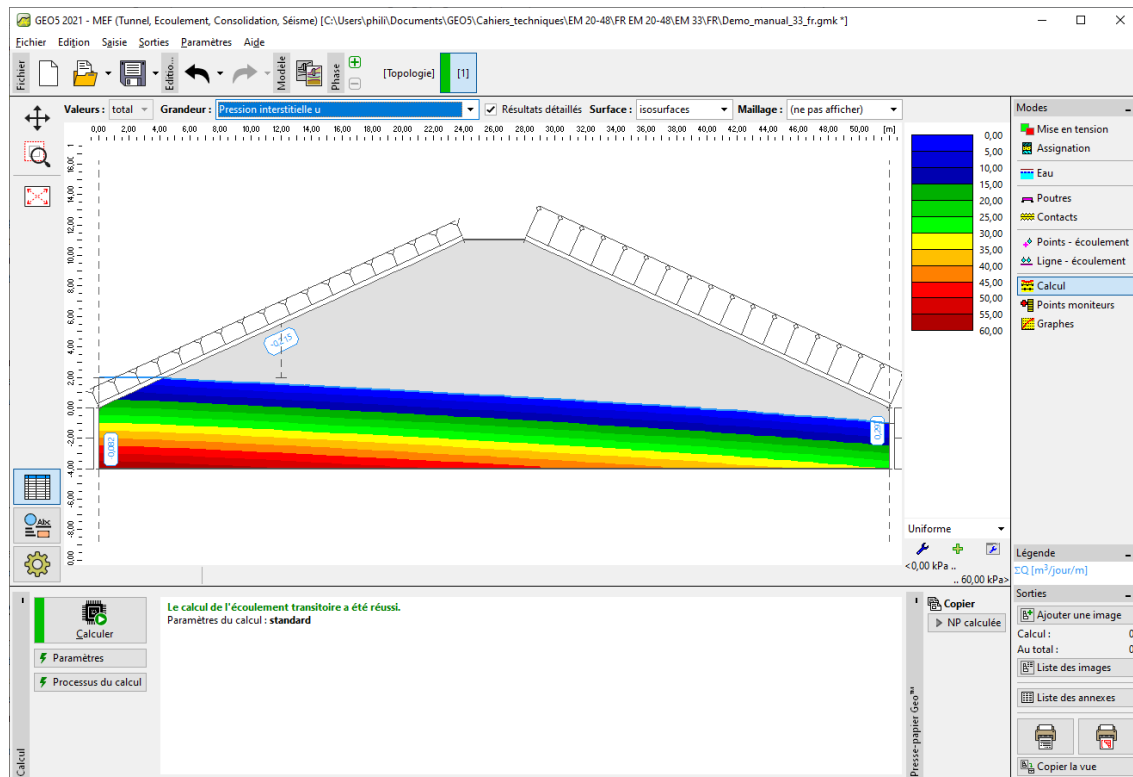


FIGURE 1 – Répartition de la pression interstitielle dans la 1ère étape de calcul - régime stationnaire initial

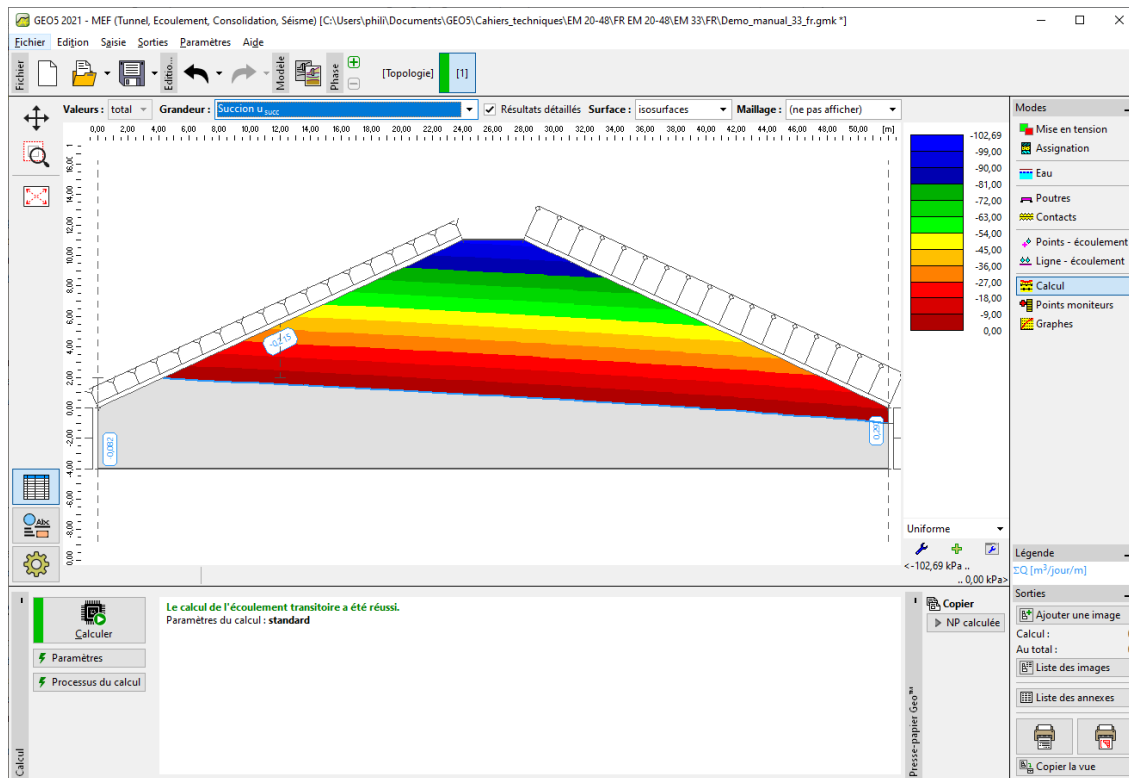


FIGURE 2 – Répartition de la succion dans la 1ère étape de calcul - régime stationnaire initial

### 3.3 Phase de calcul 2 : niveau d'eau à 9 m au dessus du fond du réservoir

Dans cette deuxième phase de calcul, nous allons considérer une remontée brutale du niveau d'eau dans le réservoir jusqu'à une hauteur de 9 m. Les types de conditions aux limites resteront les mêmes, nous allons seulement ajuster la hauteur de l'eau uniquement sur les lignes correspondant à la face amont des 2 m initiaux aux 9 m finaux.

#### Définition de la durée de la phase

Avant de soumettre le calcul, il convient de valoriser la durée de la phase et la manière dont les conditions aux limites d'écoulement doivent être introduites dans le calcul. Nous allons définir une durée initiale d'une heure (soit 0,04167 j cf. paramètres de calcul), les conditions aux limites étant introduites en début de phase.

*Remarque : le module Écoulement du programme GEO5-FEM permet d'introduire les conditions aux limites soit instantanément au début de l'étape, soit en leurs faisant subir une augmentation linéaire au cours de l'étape. Dans cet exemple, nous avons adopté la première option correspondant à une augmentation brutale du niveau d'eau dans le réservoir.*

#### Résultats

La figure ci-dessous montre clairement que pendant une durée aussi courte, le régime d'écoulement permanent n'a pas encore été atteint. Au lieu de cela, la ligne phréatique courante a progressé de seulement 1 m dans le domaine. La différence entre le débit entrant ( $1,05 + 44,89 \text{ m}^3/\text{j/m}$ ) et le débit sortant ( $0,29 \text{ m}^3/\text{j/m}$ ) suggère un taux d'infiltration élevé.

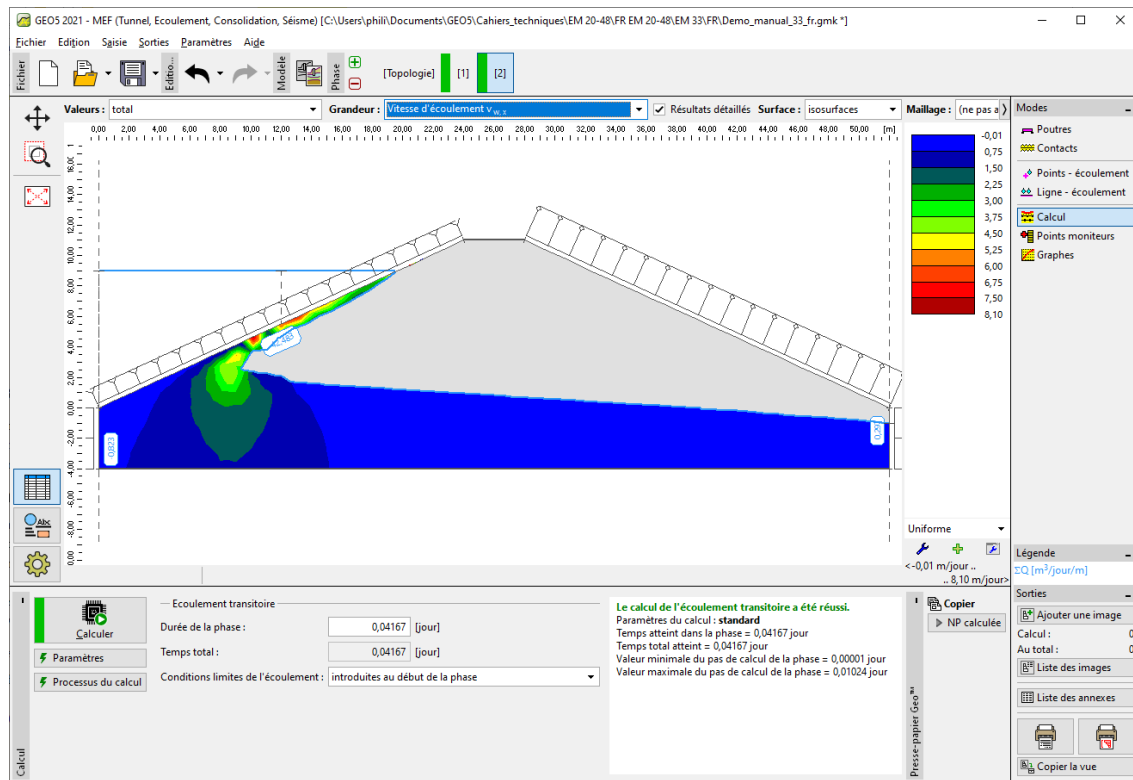


FIGURE 3 – Distribution de la composante horizontale de la vitesse après 1 h suite à une montée d'eau soudaine dans le réservoir

### 3.4 Phases de calcul suivantes

Les conditions aux limites resteront inchangées dans les étapes de calcul à venir. Dans les étapes 3 à 7, nous souhaitons obtenir les résultats à 1 jour, 7 jours, 28 jours, 90 jours et 365 jours. La durée d'une étape donnée correspond à la somme des durées affectées à toutes les étapes précédentes. La durée de la 3ème étape est ainsi fixée à 0,9583 jours, la 4ème étape à 6 jours, la 5ème étape à 21 jours, la 6ème étape à 62 jours. La dernière étape durera quant à elle 275 jours. Les figures ci-après illustrent le niveau des eaux souterraines pour chacune des phases précédemment décrites.

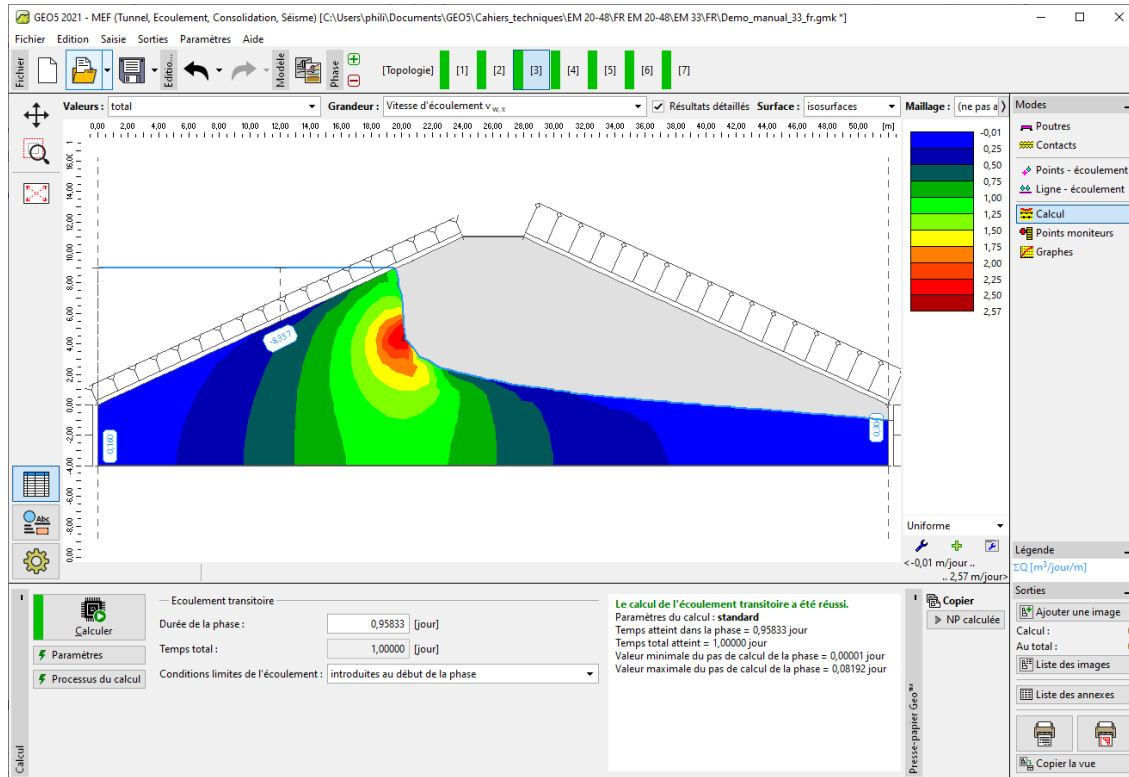


FIGURE 4 – Phase de calcul 3

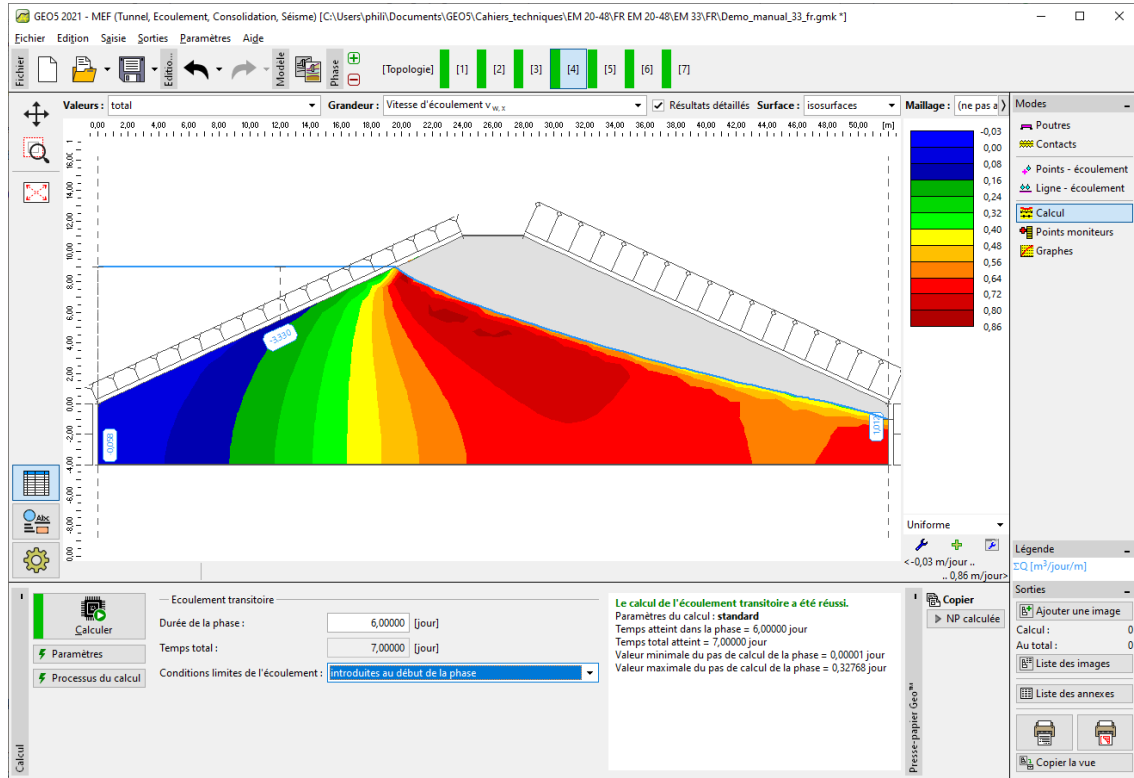


FIGURE 5 – Phase de calcul 4

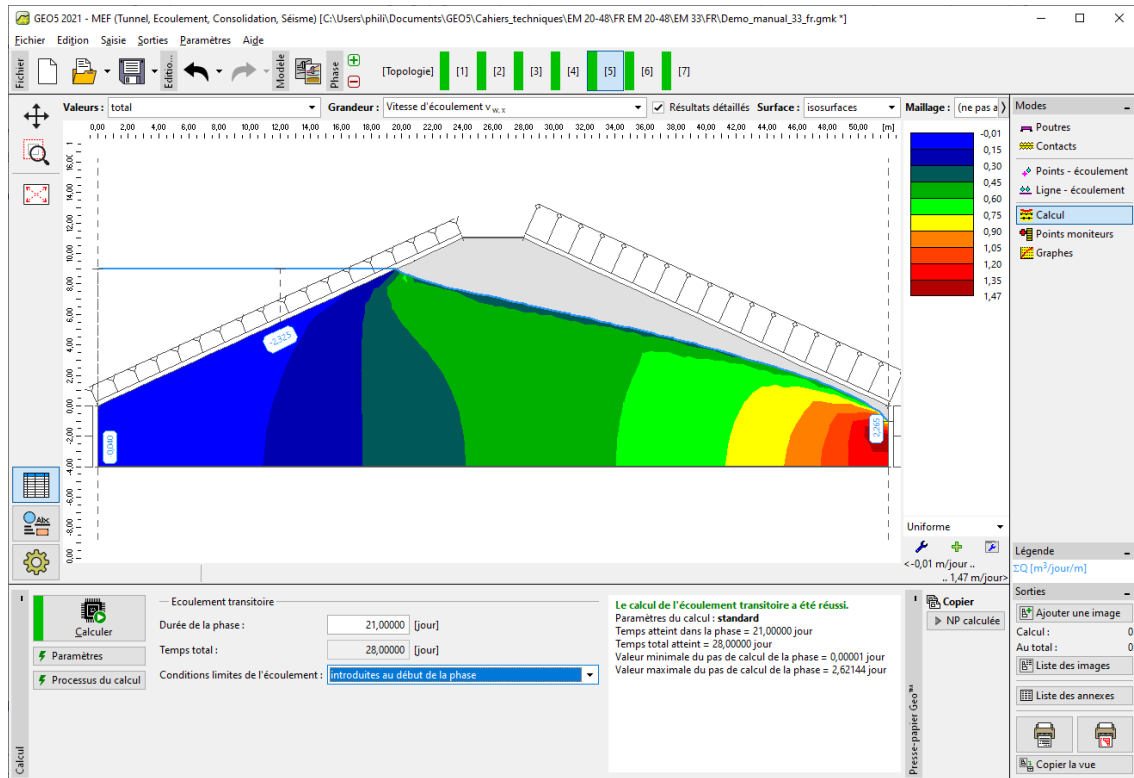


FIGURE 6 – Phase de calcul 5

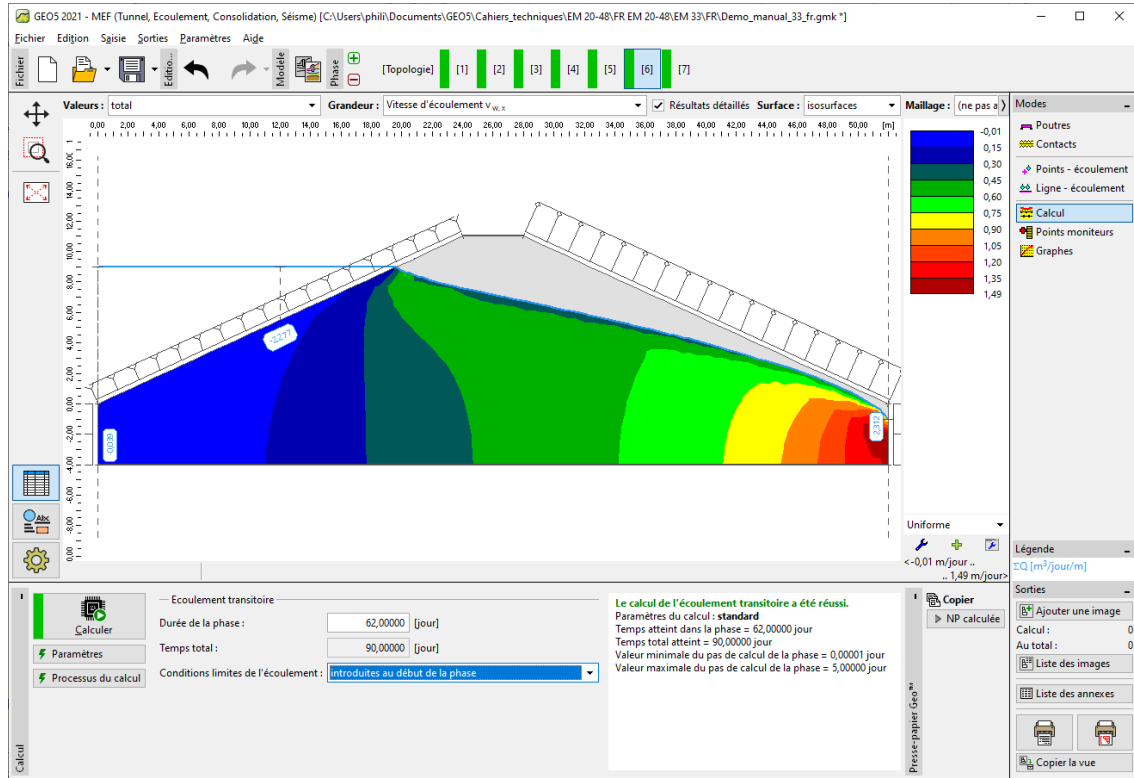


FIGURE 7 – Phase de calcul 6

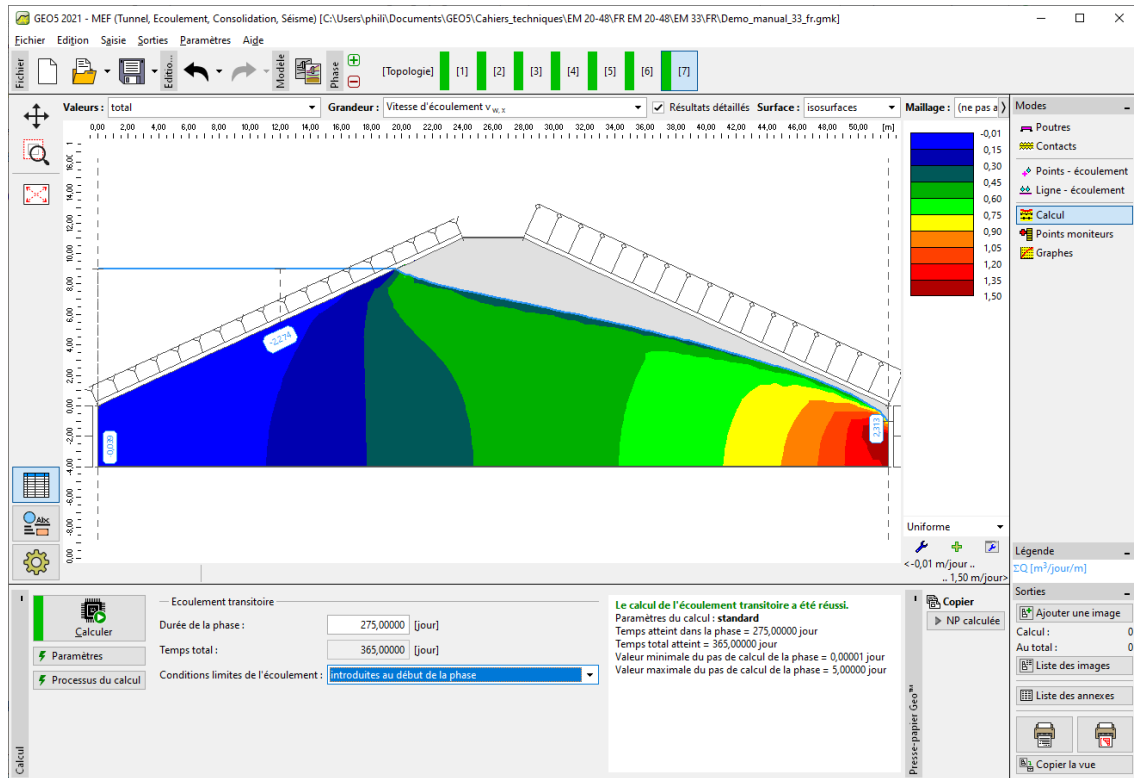


FIGURE 8 – Phase de calcul 7



Aucune évolution sensible de la ligne phréatique n'a lieu au cours des trois dernières phases de calcul et sa localisation tout comme sa forme correspondent pratiquement aux conditions du régime permanent, comme l'atteste aussi la comparaison de la quantité d'eau entrant et sortant du domaine. Le tableau suivant montre que lors des étapes initiales du calcul, l'infiltration d'eau est relativement rapide et que l'équilibre entre les flux entrant et sortant (les conditions de régime permanent) est atteint dans l'intervalle de 28 à 90 jours après l'élévation du niveau d'eau dans le réservoir.

Durée	Flux entrant $\text{m}^3/\text{j}/\text{m}$	Flux sortant $\text{m}^3/\text{j}/\text{m}$	Différence $\text{m}^3/\text{j}/\text{m}$
1 heure	45,94	0,288	45,652
1 jour	9,319	0,291	9,028
7 jours	3,561	0,719	2,842
28 jours	2,341	2,216	0,125
90 jours	2,286	2,284	0,002
365 jours	2,285	2,284	0,001

TABLE 1 – Quantité d'eau entrant et sortant du domaine pour une durée d'infiltration donnée

*Remarque : les résultats des deux dernières phases, que nous considérons être en régime permanent, sont identiques aux résultats obtenus lors de la résolution du problème d'écoulement stationnaire décrit dans le cahier technique précédent n° 32). Ici, la valeur du débit entrant dans le modèle est de  $2,284 \text{ m}^3/\text{j}/\text{m}$  et est exactement égale à la valeur du débit sortant du modèle.*

## 4 Conclusion

Les conditions de régime permanent sont atteintes après 90 jours d'infiltration. Du point de vue pratique, ces conditions sont déjà atteintes après 28 jours, car après cela, la position et la forme de la ligne phréatique ne sont modifiées que marginalement.