**TEREOS**

# Rapport

# Exploitation des bassins de la sucrerie d'Escaudœuvres (59)

## Cotes de sûreté et de danger

Additif au Rapport n°104929 – 29 avril 2021

Projet suivi par Maxime MARTHE – 06.22.64.64.84 – maxime.marthe@anteagroup.com

www.anteagroup.fr/fr

# Fiche signalétique

## Exploitation des bassins de la sucrerie d'Escaudœuvres (59)
## Cotes de sûreté et de danger

| CLIENT | SITE |
|---|---|
| TEREOS FRANCE | Sucrerie d'Escaudœuvres (59) |
| 11, Parvis de Rotterdam<br>59777 LILLE | 99, rue d'Erre<br>59161 ESCAUDŒUVRES |
| | M. David LECOMTE<br>Directeur Usine<br>david.lecomte@tereos.com |

| RAPPORT D'ANTEA GROUP | |
|---|---|
| Responsable du projet | Maxime MARTHE |
| Interlocuteur commercial | Maxime MARTHE |
| Implantation chargée du suivi du projet | Implantation de Lille<br>03.20.43.25.55<br>secretariat.lille-fr@anteagroup.com |
| Rapport n° | A104929 |
| Version n° | D |
| Votre commande et date | Commande n°4701126099 |
| Projet n° | NPCP200121 |

| | Nom | Fonction | Date | Signature |
|---|---|---|---|---|
| Rédaction | MARTHE | Ingénieur infrastructures | 29/14/2021 | |

# Suivi des modifications

| Indice Version | Date de révision | Nombre de pages | Nombre d'annexes | Objet des modifications |
|---|---|---|---|---|
| **A** | 30/10/2020 | 28 | 2 | Version initiale |
| **B** | 12/11/2020 | 28 | 2 | Règles d'abscisse et d'ordonnée plus précises dans les sorties graphiques SEEP<br>Correction du tableau 6 : données Iwuy Canal digue Est et Radicelle digue Est |
| **C** | 15/12/2020 | 28 | 2 | Page 6 : Rappel de l'agrément Antea Group pour les digues et barrages,<br>Page 26 : Modification de la cote de danger et de la cote de sûreté sur le bassin Iwuy Canal pour tenir compte d'un point altimétrique plus bas en digue Sud |
| **D** | 29/04/2021 | 27 | 2 | Mise à jour du calcul pour le bassin La Hutte (La Hutte 1 + La Hutte 2) avec une revanche de 1,0m<br>Ajout d'un calcul pour le bassin 10 |

# Synthèse

Les bassins de la sucrerie d'Escaudœuvres sont constitués de digues en terre. Ces ouvrages présentent des risques potentiels de rupture par érosion externe, par glissement ou par érosion interne. Dans les conditions d'exploitation et au regard de la conception actuelle des digues, l'érosion interne représente le critère majorant dans la caractérisation du niveau de sûreté.

Comme le recommande le guide du CFBR de 2015 pour les ouvrages anciens, il est recommandé de procéder à des modélisations hydrauliques pour évaluer leur comportement. Le calage des données est notamment assuré par les relevés des doublets piézométriques mis en œuvre sur chaque bassin.

Les modélisations hydrauliques sont réalisées dans le cas le plus défavorable envisageable dans la vie de l'ouvrage, à savoir un niveau de remplissage maximal constant et un niveau de nappe maintenu à son plus haut historique.

Pour certaines digues de bassins Radicelle, Bassin 11, Recyclage et bassin 10, les modélisations mettent en évidence un risque de suintement, et donc un risque d'érosion interne associé à cet écoulement. Pour ces 4 bassins, des travaux de masque granulaire sont à entreprendre pour gérer le risque identifié. Pour les autres digues, nous ne préconisons pas d'aménagements spécifiques autre que le traitement des hétérogénéités, spécifiquement les terriers d'animaux fouisseurs.

Tous les bassins d'Escaudœuvres et d'Iwuy Canal peuvent être exploités normalement, à l'exception du bassin 10 qui sera remis en eau après réception des travaux de masque granulaire et de renforcement de la digue de séparation avec le bassin 11. Le bassin La Hutte est actuellement exploité avec une revanche de 1,5 m. L'exploitation avec une revanche de 1,0 m sera admise après restauration de la digue de séparation entre les deux bassins et après renforcement de la digue extérieure de La Hutte 2.

# Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'étude ....6
1.1. Objectifs de la mission confiée à Antea Group ....6
1.2. Fonction et situation des bassins objets de l'étude ....6
1.2.1. Situation des bassins étudiés ....6
1.2.2. Configuration du site d'Escaudœuvres ....7
1.2.3. Configuration du site d'Iwuy ....8
2. Approche méthodologique des scénarios de rupture des remblais des bassins du site d'Escaudoeuvres ....9
2.1. Rupture par érosion externe ....9
2.2. Rupture par instabilité au glissement ....11
2.3. Rupture par érosion interne ....11
3. Niveaux piézométriques dans les digues ....13
3.1. Niveau de nappe et niveau de remplissage des bassins ....13
3.2. Mesures piézométriques au droit des digues ....15
4. Modélisations des écoulements ....18
4.1. Principe ....18
4.2. Méthodologie de calcul ....18
4.2.1. Outil de modélisation ....18
4.2.2. Choix de modélisation ....18
4.3. Hypothèses de calcul ....19
4.3.1. Perméabilités ....19
4.3.2. Niveau de remplissage des bassins ....19
4.3.3. Charge hydraulique à l'aval ....19
4.3.4. Maillage et conditions aux limites ....19
4.4. Résultats des modélisations ....20
5. Cotes de sûreté et de danger ....23
5.1. Définition de la cote de sûreté ....23
5.2. Stabilité au glissement ....23
5.3. Résistance à l'érosion interne ....23
5.4. Définition de la cote de danger ....25
5.5. Cotes retenues et actions à réaliser ....25

## Table des figures

Figure 1 : Plan de situation des sites par rapport à la sucrerie ..... 7
Figure 2 : Plan IGN et localisation des bassins en exploitation du site d'Escaudœuvres ..... 7
Figure 3 : Plan IGN et configuration du site d'Iwuy avec zones en cours d'exploitation ..... 8
Figure 4 : Piézométrie schématique de la nappe en avril 2019 sur fond de carte IGN ..... 13
Figure 5 : Fluctuations piézométriques entre 1992 et 2019 - Escaudœuvres ..... 14
Figure 6 : Coupe schématique de l'instrumentation piézométrique ..... 15
Figure 7 : Plan d'instrumentation pour le bassin d'Escaudoeuvres ..... 16
Figure 8 : Conditions aux limites et maillage du modèle - Profil Recyclage Ouest ..... 20

## Table des tableaux

Tableau 1 : Revanches calculées selon Mallet et Pacquan ..... 10
Tableau 2 : Hauteurs de pluies attendues sur 24h, occurrences de 5 à 100 ans ..... 10
Tableau 3 : Cotes de nappe et de niveau de remplissage des profils modélisés ..... 15
Tableau 4 : Données piézométriques ..... 17
Tableau 5 : Valeurs de perméabilité retenue dans les calculs ..... 19
Tableau 6 : Résultats synthétiques des modélisations SEEP ..... 22
Tableau 6 : Résultats synthétiques des modélisations SEEP ..... 22
Tableau 7 : Données sur les tuyauteries des bassins ..... 24
Tableau 8 : Cotes de sûreté et de danger pour chaque bassin ..... 26

## Table des annexes

Annexe I : Données hydrauliques et résultats de modélisation SEEP

Annexe II : Protocoles de surveillance et contrats d'astreinte

# 1. Contexte et objectifs de l'étude

## 1.1. Objectifs de la mission confiée à Antea Group

Tereos France, au sein de la sucrerie d'Escaudœuvres (59), stocke dans des bassins les terres issues du lavage des betteraves ainsi que les eaux de process.

Le 9 avril 2020, une brèche s'est créée dans le remblai du bassin d'Iwuy Canal, provoquant une perte de l'ordre de 100 000 $m^3$ d'eau. A la suite de cet évènement, un diagnostic visuel a été effectué par Antea Group le 14 avril 2020.

Conformément à l'arrêté préfectoral de mesures d'urgence du 29 avril 2020, une étude de stabilité géotechnique G5 a été réalisée afin notamment de déterminer la stabilité des bassins de la sucrerie. La dernière version de cette étude a été transmise au Préfet du Nord en août 2020 (rapport référencé A104929 version C du 12 août 2020).

Consécutivement à la transmission de ce rapport et aux compléments demandés par la DREAL auxquels l'exploitant a répondu par courriers en date des 14 et 17 août 2020, le Préfet du Nord a, par courrier en date du 21 septembre 2020, demandé à l'exploitant, concernant les cotes de danger et de sureté « *d'apporter des justifications complémentaires et spécifiques à chaque retenue, en veillant à évaluer ces cotes sur la base des tronçons les plus défavorables (ponts bas, profil géométrique, matériaux, dysfonctionnements, etc…) et des scénarios de défaillance les plus probables*. »

Des courriers apportant des réponses complémentaires ont été remis les 25 et 29 septembre 2020, en parallèle d'échanges avec le Préfet du Nord sur les modalités de calcul des cotes de danger et de sûreté.

C'est dans ce contexte qu'Antea Group a réalisé le présent rapport en vue d'évaluer les cotes de sûreté et de danger pour le remplissage des bassins, en lien avec le décret « digues et barrages » de 2015. Suivant l'arrêté du 29 octobre 2020 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, Antea Group est un organisme agréé pour les études, diagnostics et suivi de travaux pour les barrages de classe C et digues jusqu'au 30 décembre 2021.

## 1.2. Fonction et situation des bassins objets de l'étude

### 1.2.1. Situation des bassins étudiés

Les bassins objets de l'étude sont situés au nord-est de l'usine sucrière d'Escaudœuvres, à proximité de Cambrai dans le département du Nord (59).

L'établissement d'Escaudœuvres exerce entre autres des activités saisonnières de production de sucre par extraction de la betterave sucrière. Suivant le process de la sucrerie, les betteraves sont brassées dans un lavoir pour les séparer de la terre, de l'herbe et des pierres. Les eaux terreuses de lavage sont acheminées vers 2 sites de bassins de décantation.

Les 2 sites d'implantation des bassins sont dénommés bassins d'Escaudœuvres et bassins d'Iwuy. Ils sont situés sur différentes communes (Escaudœuvres, Eswars, Thun-Saint-Martin et Thun-l'Evêque).

**Figure 1 : Plan de situation des sites par rapport à la sucrerie**

## 1.2.2. Configuration du site d'Escaudœuvres

Le site d'Escaudœuvres est constitué de 10 bassins en exploitation :

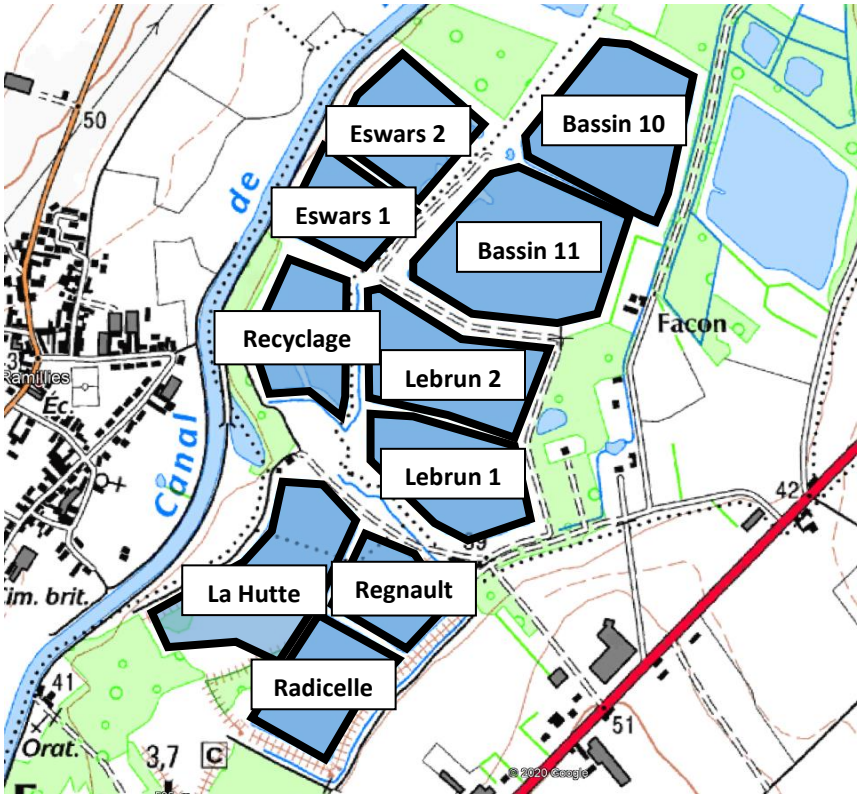



**Figure 2 : Plan IGN et localisation des bassins en exploitation du site d'Escaudœuvres**

### 1.2.3. Configuration du site d'Iwuy

Le site d'Iwuy est constitué de 2 bassins.

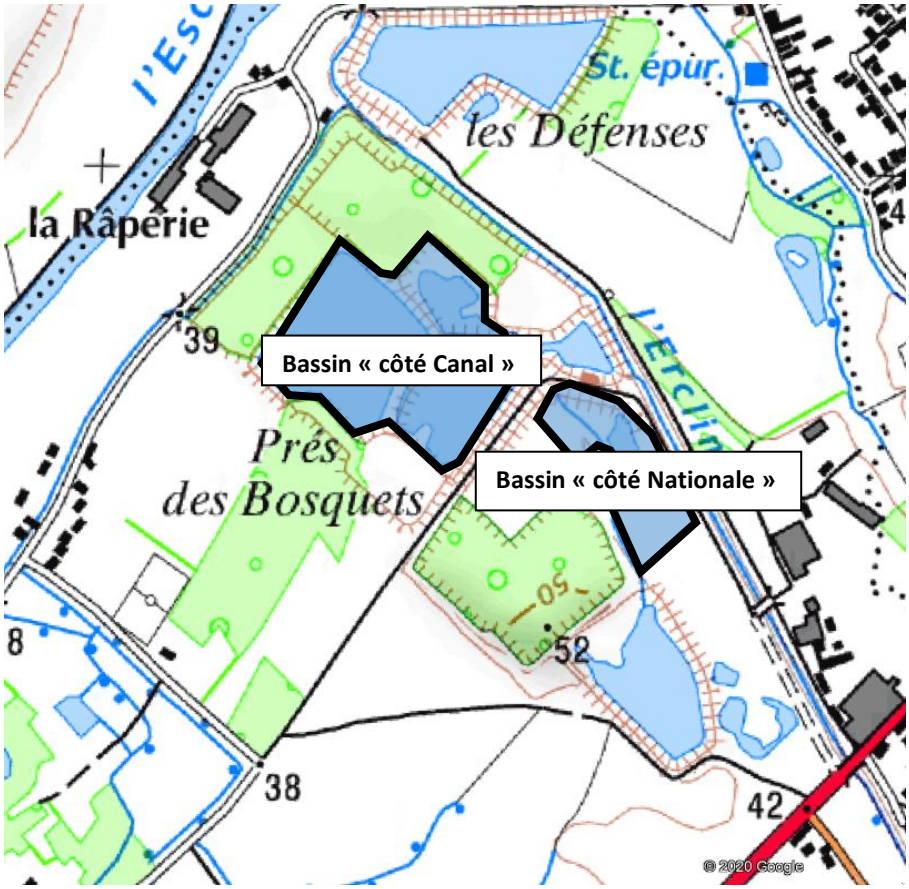



**Figure 3 : Plan IGN et configuration du site d'Iwuy avec zones en cours d'exploitation**

# 2. Approche méthodologique des scénarios de rupture des remblais des bassins du site d'Escaudoeuvres

Les modes de rupture principaux des remblais de bassin sont les suivants :

- L'érosion externe ;
- L'instabilité au glissement (y compris les phénomènes de boulance, liquéfaction et poinçonnement) ;
- L'érosion interne.

## 2.1. Rupture par érosion externe

Ce phénomène est lié au débordement de l'eau contenu dans le bassin. Compte tenu du fait que les bassins ne sont pas soumis aux phénomènes de crue car ils sont totalement déconnectés de cours d'eau, ce risque est géré par la hauteur de revanche retenue dans le cadre de l'exploitation des bassins.

D'après MALLET et PACQUAN, la hauteur des vagues, sous l'effet du vent, est donnée avec une assez bonne approximation par la formule :

$$H = 0{,}5 + \sqrt{(L)}/3$$

Avec L la longueur du plan d'eau en km

La vitesse de propagation des vagues en m/s est donnée par :

$$V = 3/2 + 2/3H$$

La revanche vis-à-vis des vagues est évaluée par la formule $R=V^2/2g$.

Il convient d'additionner H et R (H+R) pour obtenir la revanche de sécurité nécessaire.

| Bassin | L<br>Longueur interne du bassin<br>(km) | H<br>Hauteur vague<br>(m) | V<br>Vitesse de propagation des vagues<br>(m/s) | R<br>Revanche par rapport aux vagues<br>(m) | R Totale<br>(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| La Hutte | 0.42 | 0.72 | 1.98 | 0.20 | **0.91** |
| Radicelle | 0.27 | 0.67 | 1.95 | 0.19 | **0.86** |
| Regnault | 0.24 | 0.66 | 1.94 | 0.19 | **0.85** |
| Lebrun 1 | 0.38 | 0.71 | 1.97 | 0.19 | **0.90** |
| Lebrun 2 | 0.39 | 0.71 | 1.97 | 0.19 | **0.90** |
| Recyclage | 0.23 | 0.66 | 1.94 | 0.19 | **0.85** |
| Eswars 1 | 0.25 | 0.67 | 1.94 | 0.19 | **0.86** |
| Eswars 2 | 0.3 | 0.68 | 1.96 | 0.19 | **0.87** |
| Bassin 11 | 0.44 | 0.72 | 1.98 | 0.20 | **0.92** |
| Bassin 10 | 0.35 | 0.70 | 1.96 | 0.19 | **0.89** |
| Iwuy Canal | 0.33 | 0.69 | 1.96 | 0.19 | **0.88** |

**Tableau 1 : Revanches calculées selon Mallet et Pacquan**

A cette revanche de vague, il apparait pertinent de prendre une sécurité supplémentaire pour prendre en compte les pluies exceptionnelles. Prenant en compte les coefficients Montana de la station météo France de Cambrai, les hauteurs obtenues pour une pluie longue (24h) sont les suivantes :

**Poste Météo France Cambrai**

Pluie de 3h à 24 h

| | a | b | Pluie (mm) |
|---|---|---|---|
| **5 ans** | 10.68 | 0.81 | 42.53 |
| **10 ans** | 15.204 | 0.835 | 50.48 |
| **20 ans** | 21.555 | 0.863 | 58.38 |
| **30 ans** | 26.362 | 0.879 | 63.55 |
| **50 ans** | 34.296 | 0.902 | 69.95 |
| **100 ans** | 48.903 | 0.933 | 79.61 |

**durée de pluie:** **1440 min**

**Tableau 2 : Hauteurs de pluies attendues sur 24h, occurrences de 5 à 100 ans**

Une pluviométrie exceptionnelle pourra amener une hausse du niveau d'eau comprise entre 4 et 8 cm sur une journée, hausse qu'il convient rajouter à la revanche due aux vagues.

**Au regard de la hauteur potentielle de vagues et d'une pluviométrie exceptionnelle, la revanche de 1,0 m pour tous les bassins, tel que pratiqué par l'exploitant, est satisfaisante. Le risque d'érosion externe est jugé négligeable.**

## 2.2. Rupture par instabilité au glissement

L'instabilité au glissement des remblais est étudiée dans le rapport géotechnique A104929 indice du 12 août 2020. Les calculs effectués montrent que le coefficient de sécurité obtenu pour les remblais est satisfaisant. Les calculs sont menés avec le niveau maximal d'exploitation des bassins, soit 1,0 m de revanche.

Notons que les bassins ont été équipés récemment de piézomètres, comprenant un relevé deux fois par semaine. Cette surveillance, couplée avec une inspection visuelle quotidienne, permet de préciser le niveau de saturation réel des remblais, par rapport aux niveaux estimés à ce stade d'un point de vue théorique, qui constituent probablement des hypothèses très sécuritaires.

## 2.3. Rupture par érosion interne

L'érosion interne regroupe différents types de phénomènes, en fonction de la nature des écoulements au sein de la digue, de sa fondation, de la nature des terrains et de leur état de compacité.

1. L'érosion régressive, qui s'illustre par l'entrainement de matière depuis l'aval de la retenue et qui progresse vers celle-ci jusqu'à générer la rupture ;
2. L'érosion de conduit, c'est à dire le détachement de matière à travers un chemin préexistant (canalisation ou terrier) ;
3. La boulance des sols, à lier avec les écoulements hydrauliques ascendants au sein de la digue et/ou de sa fondation ;
4. La suffusion, qui est l'érosion sélective des particules fines à travers la matrice grossière.
5. L'érosion de contact et l'érosion de filtre.

Les modélisations hydrauliques, présentées en annexe du rapport, permettent d'écarter le risque d'érosion par boulance (pas de gradient hydraulique ascendant).

Le phénomène de suffusion n'est pas retenu. Les analyses granulométriques mettent en évidence des remblais fins, contenus uniquement dans la fraction inférieure à 2mm.

Il convient de noter que les remblais de bassin et les sols d'assises sont des matériaux de granulométrie très proches. En première approche, les phénomènes d'érosion de contact et d'érosion de filtre sont jugés négligeables.

Concernant le risque d'érosion régressive, comme présenté dans l'étude géotechnique A104929, il peut être évalué par une approche analytique simplifiée à partir du modèle de Lane. Ce modèle appréhende le risque d'érosion régressive en fonction de la charge hydraulique, de la longueur d'écoulement et d'un coefficient de fluage.
De par la nature silteuse des remblais, et en l'absence de barrière spécifique (étanchéité, filtration) au sein de l'ouvrage, le critère d'érosion interne n'est pas vérifié pour les remblais des bassins d'Escaudœuvres et d'Iwuy, considérant une méthode de Lane, simplifiée, mais très conservative.

**Approche retenue pour évaluer le risque d'érosion interne**

Le critère majorant dans le risque d'instabilité des remblais étant l'érosion interne, la cote de sûreté du niveau d'eau dans chaque bassin est définie à partir de ce critère.

L'analyse du risque d'érosion par la méthode simplifiée de l'abaque de Lane n'est pas jugée pertinente. L'approche de Lane est trop pessimiste car elle ne prend pas en compte la réalité des écoulements dans la digue, tel que les données piézométriques peuvent les mettre en évidence.

Il convient d'appréhender le risque d'une manière plus réaliste à partir des analyses suivantes :

- Réaliser des calculs d'écoulement au sein de la digue et des sols de fondations par l'intermédiaire d'une modélisation numérique aux éléments finis afin d'apprécier les lignes de saturation dans les remblais et la fondation. Les valeurs de perméabilité des terrains sont estimées par rétro-calage au niveau du bassin Recyclage, bassin avec une hauteur d'eau permanente et équipé de deux doublets piézométriques ;
- Comparer les lignes piézométriques calculées avec les données piézométriques disponibles ;
- Identifier les dispositions constructives nécessaires pour le niveau d'exploitation existant de chaque digue, sachant que le niveau de sureté doit être supérieur ou égal à ce niveau pour limiter les contraintes sur le fonctionnement de l'usine.

Cette approche est conforme aux préconisations du guide de « *Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai », publié par le Comité Français des barrages et Réservoirs* en 2015 :

***« 3.3.3 Cas des ouvrages anciens : calage des données***
*Dans les études de réhabilitation ou les diagnostics de sécurité d'ouvrages anciens, il est vivement recommandé de justifier la stabilité à partir d'une modélisation hydraulique. Cette modélisation doit permettre de retrouver et d'expliquer le comportement de l'ouvrage. À cette fin, le modèle doit être calé avec les séries chronologiques de mesures de pression interstitielle. Une erreur moyenne de 5 % sur les pressions est acceptable, à défaut il convient d'encadrer les mesures des piézomètres par une modélisation par excès. Si des mesures de débit sont disponibles, elles seront reproduites par le calage des perméabilités. »*

# 3. Niveaux piézométriques dans les digues

## 3.1. Niveau de nappe et niveau de remplissage des bassins

Du point de vue hydrogéologique, deux nappes sont présentes au droit du site :

- la nappe alluviale de la vallée de l'Escaut,
- la nappe contenue dans les formations crayeuses séno-turoniennes.

Etant donné l'absence d'horizon imperméable entre les formations alluviales et les formations crayeuses, ces deux aquifères constituent un système bicouche, au sein duquel les deux nappes sont en relation hydrodynamique étroite : les niveaux piézométriques seront donc considérés à la même cote dans les modélisations.

A titre d'information, la carte piézométrique d'avril 2019 au droit des bassins d'Escaudœuvres est fournie ci-après, avec un écoulement général de nappe vers le nord-est.

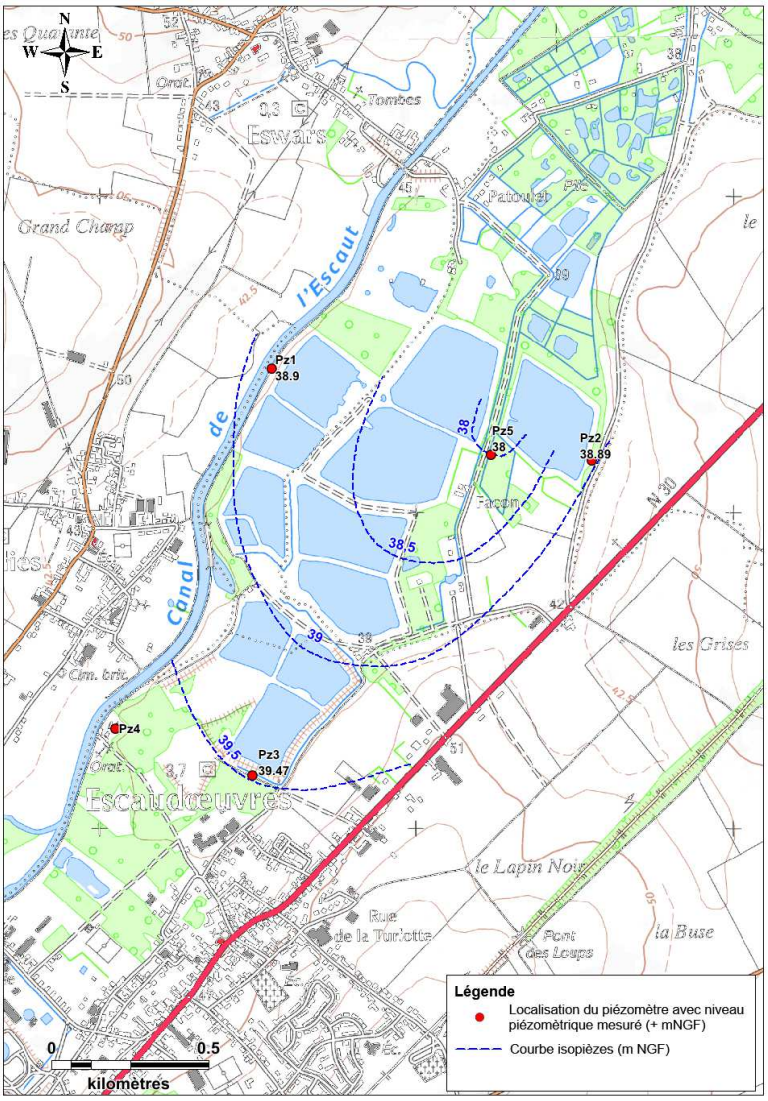



**Figure 4 : Piézométrie schématique de la nappe en avril 2019 sur fond de carte IGN**

Des relevés biannuels (hautes eaux, basses eaux) permettent d'appréhender les fluctuations de la nappe depuis 1992 jusqu'à septembre 2019. Il en ressort des amplitudes de fluctuations limitées, de l'ordre de 0,5 m. En Pz4, la fluctuation est plus marquée avec des niveaux extrêmes respectivement atteignant 38,8 m NGF et 40,2 m NGF.

Les niveaux les plus hauts de la nappe alluvionnaire (mars 2015) seront retenus dans les modélisations hydrauliques.

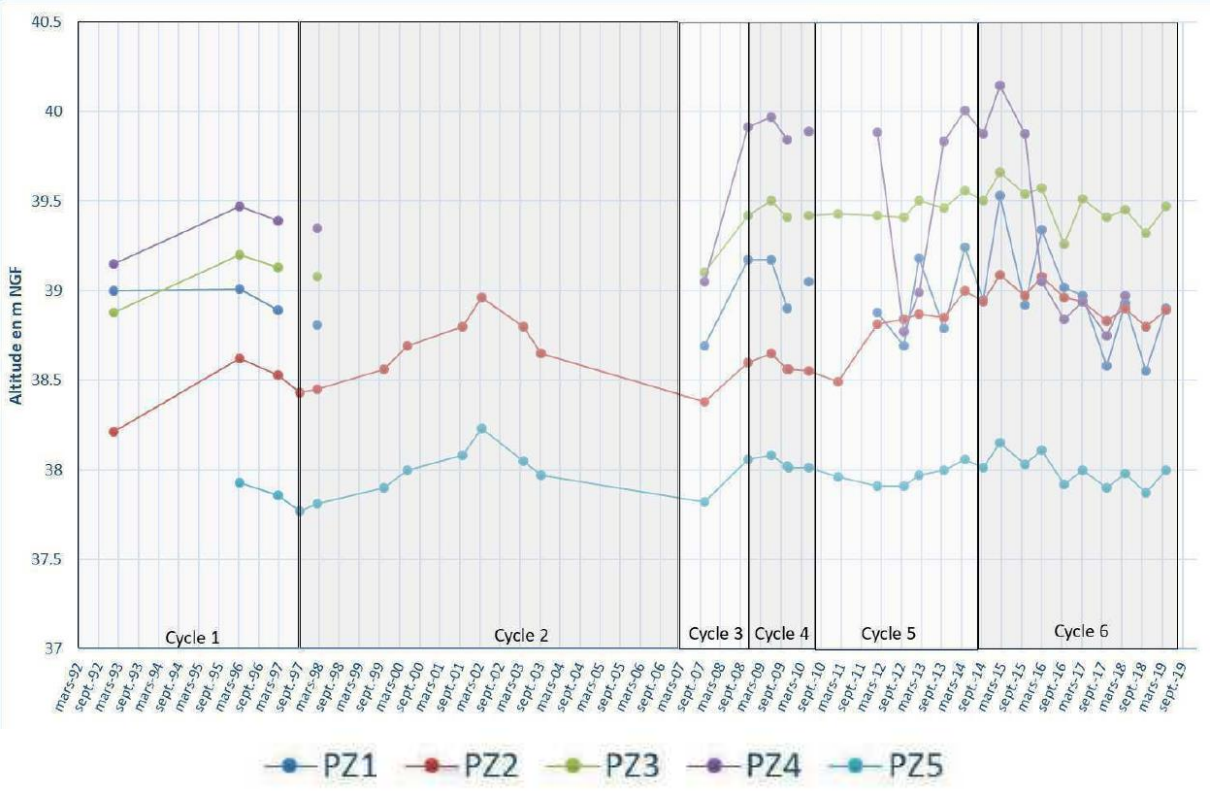



**Figure 5 : Fluctuations piézométriques entre 1992 et 2019 - Escaudœuvres**

Sur Iwuy, le niveau de plus hautes eaux de la nappe sera retenu égal à la cote du terrain attenant (pâtures), soit +37,5 m NGF.

Conformément à l'approche Eurocode 7, le niveau de plus hautes eaux de la nappe a été retenu dans les modélisations.
En première intention, les calculs sont menés avec le niveau de remplissage maximal du bassin, soit une revanche de 1,0 m.

| Profil Digue | NPHE (m NGF) | Niveau max. d'exploitation (m NGF) |
|---|---|---|
| Radicelle Est | 39.5 | 48.6 |
| Iwuy Canal | 37.5 | 41.6* |
| La Hutte (1 + 2) | 39.5 | 45.6 |
| Regnault | 39.2 | 45.8 |
| Lebrun 1 | 39.2 | 45.3 |
| Lebrun 2 | 39,0 | 45.3 |
| Bassin 11 | 39,0 | 48.2 |
| Recyclage Ouest | 39.7 | 45.0 |
| Recyclage Nord | 39.5 | 45.0 |
| Bassin 10 | 38.5 | 46.3 |

* Modélisation menée avec un remplissage à 42,0 m GF

**Tableau 3 : Cotes de nappe et de niveau de remplissage des profils modélisés**

## 3.2. Mesures piézométriques au droit des digues

Chaque bassin est équipé de 1 ou 2 doublets piézométriques depuis le début du mois d'octobre. Ces piézomètres ont été descendus jusqu'à 5 m sous la base des digues, permettant de capter la nappe alluviale.

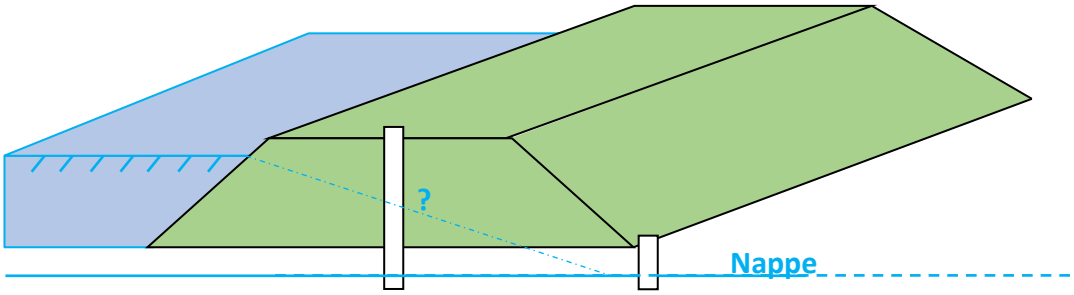



**Figure 6 : Coupe schématique de l'instrumentation piézométrique**

L'implantation des instruments est la suivante :

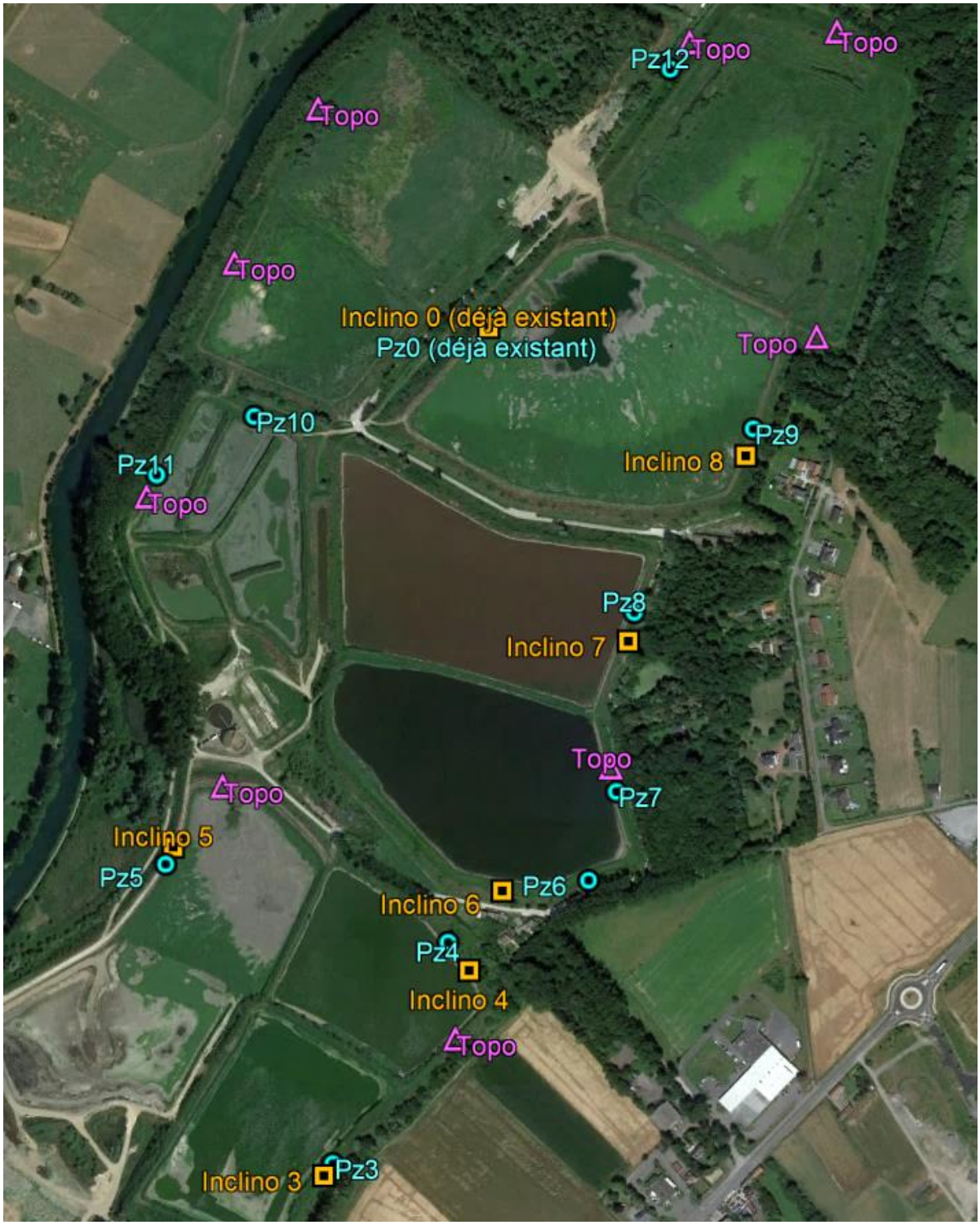



**Figure 7 : Plan d'instrumentation pour le bassin d'Escaudoeuvres**

Les données piézométriques, relevées par Antea Group, sont les suivantes :

| Bassin | Dénomination du piézomètre | Mesure en mètres (m) par rapport au terrain (crête ou pied de remblai) | Calage en m NGF | Date de relevé |
|---|---|---|---|---|
| Iwuy Canal Est | Pz1H | 5,24 | 37,8 | 11/09/2020 (fin de forage) |
| | Pz1B | 1,65 | 36,5 | 11/09/2020 (fin de forage) |
| | Pz2H | 4,98 | 38,0 | 11/09/2020 (fin de forage) |
| | Pz2B | 1,43 | 36,5 | 11/09/2020 (fin de forage) |
| La Hutte | Pz5H | - | - | Non relevé |
| | Pz5B | 1,9 | 39,5 | 16/10/2020 |
| Radicelle | Pz3H | 6,35 | 43,6 | 16/10/2020 |
| | Pz3B | 2,11 | 37,9 | 16/10/2020 |
| Regnault | Pz4H | 6,75 | 40,25 | 16/10/2020 |
| | Pz4B | 1,05 | 38,95 | 16/10/2020 |
| Lebrun 1 | Pz6H | 3,92 | 42,9 | 16/10/2020 |
| | Pz6B | 1,03 | 39,3 | 16/10/2020 |
| | Pz7H | 4,58 | 42,2 | 16/10/2020 |
| | Pz7B | 0,0 | 39,8 | 16/10/2020 |
| Lebrun 2 | Pz8H | 5,02 | 41,6 | 16/10/2020 |
| | Pz8B | 0,9 | 38,7 | 16/10/2020 |
| Recyclage | Pz10H | 5,51 | 41,39 | 08/10/2020 |
| | Pz10B | 0,93 | 38,82 | 08/10/2020 |
| | Pz11H | 6,52 | 40,63 | 08/10/2020 |
| | Pz11B | 1,29 | 39,21 | 16/10/2020 |
| Bassin 11 | Pz9H | 5,35 | 44,0 | 16/10/2020 |
| | Pz9B | 1,12 | 38,7 | 16/10/2020 |
| | Pz0H | 6,35 | 42,85 | 27/10/2020 |
| | Pz0B | 0,68 | 38,8 | 27/10/2020 |
| Bassin 10 | Pz12H | 4,1 | 43,6 | 19/03/2021 |
| | Pz12B | 0,0 | 39,0 | 19/03/2021 |

**Tableau 4 : Données piézométriques**

Ces données sont présentées sous forme de coupe schématique en annexe du rapport. Les relevés piézométriques menés par Tereos sont présentés en annexe.

Les niveaux de saturation actuels sont profonds.

Pour les bassins Lebrun 1 et Lebrun 2, respectivement vides depuis fin juillet et début août 2020, un niveau de saturation persistant à proximité du pied de digue est relevé. Un ressuyage lent, en lien avec la faible perméabilité des remblais de digue, est en cours.

# 4. Modélisations des écoulements

## 4.1. Principe

Le principe de la modélisation est d'évaluer les conditions d'écoulement hydraulique au sein du corps de digue et le risque d'érosion interne.

Les écoulements au sein du corps de digue ou dans le terrain d'assise peuvent être à l'origine de départ et de migration de matériaux lorsque le gradient hydraulique dépasse un certain seuil (appelé gradient critique des matériaux constituant la digue ou sa fondation).

L'érosion interne régressive correspond à l'arrachage de matériaux en sortie du réseau d'écoulement lorsque le gradient d'écoulement excède le gradient critique de flottabilité du sol. Un conduit peut se créer progressivement de l'aval vers l'amont amplifiant au cours du temps le gradient et les vitesses d'écoulement.

Les données et résultats des modélisations sont fournies en annexe.

## 4.2. Méthodologie de calcul

### 4.2.1. Outil de modélisation

Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel SEEP/W, version 2020, développé par Geostudio (www.geoslope.com), basé sur la méthode des éléments finis.
Il permet de modéliser des écoulements hydrauliques au sein des milieux poreux.

Les calculs sont réalisés en 2D en coupe et en régime permanent.

### 4.2.2. Choix de modélisation

Les calculs sont menés en régime permanent, ce qui signifie que le niveau maximal de remplissage est constant au cours du temps et que les écoulements au sein de la digue et des fondations ont eu le temps de s'établir à leur état final.
Cette approche calculatoire ne tient pas compte de l'exploitation réelle des bassins, avec leurs chroniques de remplissage.
Compte-tenu des faibles valeurs de perméabilité estimées pour les matériaux constituant les digues des bassins, cette approche de calcul est très sécuritaire car elle majore les pressions interstitielles au sein de la digue.

La nappe phréatique est maintenue en niveau NPHE, ce qui par définition est également très sécuritaire.

## 4.3. Hypothèses de calcul

### 4.3.1. Perméabilités

Les valeurs de perméabilités retenues dans les calculs sont basées sur les observations et les résultats des essais d'identification réalisés en laboratoire. Un rétro-calage a notamment été effectué au niveau du bassin Recyclage, bassin maintenu en eau et équipé de deux doublets piézométriques.

Compte-tenu de la nature des matériaux constituants les digues des bassins et le terrain d'assise, les perméabilités retenues sont les suivantes :

| | Perméabilité (m/s) | Facteur d'anisotropie |
|---|---|---|
| Corps de digue | $1.10^{-7}$ | 1 |
| Terrain d'assise | $1.10^{-7}$ | 1 |
| Trenchmix | $1.10^{-9}$ | 1 |
| Mur en béton | $1.10^{-9}$ | 1 |
| Palplanche | $5.10^{-9}$ | 1 |

**Tableau 5 : Valeurs de perméabilité retenue dans les calculs**

Ces hypothèses permettent d'appréhender le comportement hydrodynamique en masse des digues.

### 4.3.2. Niveau de remplissage des bassins

Pour l'ensemble des bassins modélisés, le niveau de remplissage considéré dans les calculs correspond au niveau maximal d'exploitation.

### 4.3.3. Charge hydraulique à l'aval

Conformément aux Eurocodes, pour l'ensemble des bassins modélisés la charge hydraulique imposée à l'aval correspond au niveau de nappe phréatique NPHE.

### 4.3.4. Maillage et conditions aux limites

Les conditions aux limites appliquées au modèle sont les suivantes :

- A gauche du modèle, côté bassin : charge imposée au niveau de remplissage ;
- A droite du modèle : charge imposée au niveau NPHE ou au niveau du dernier relevé piézométrique ;
- Sur les flancs aval de la digue : condition de suintement.

La dimension des mailles est égale à 0,2 m.

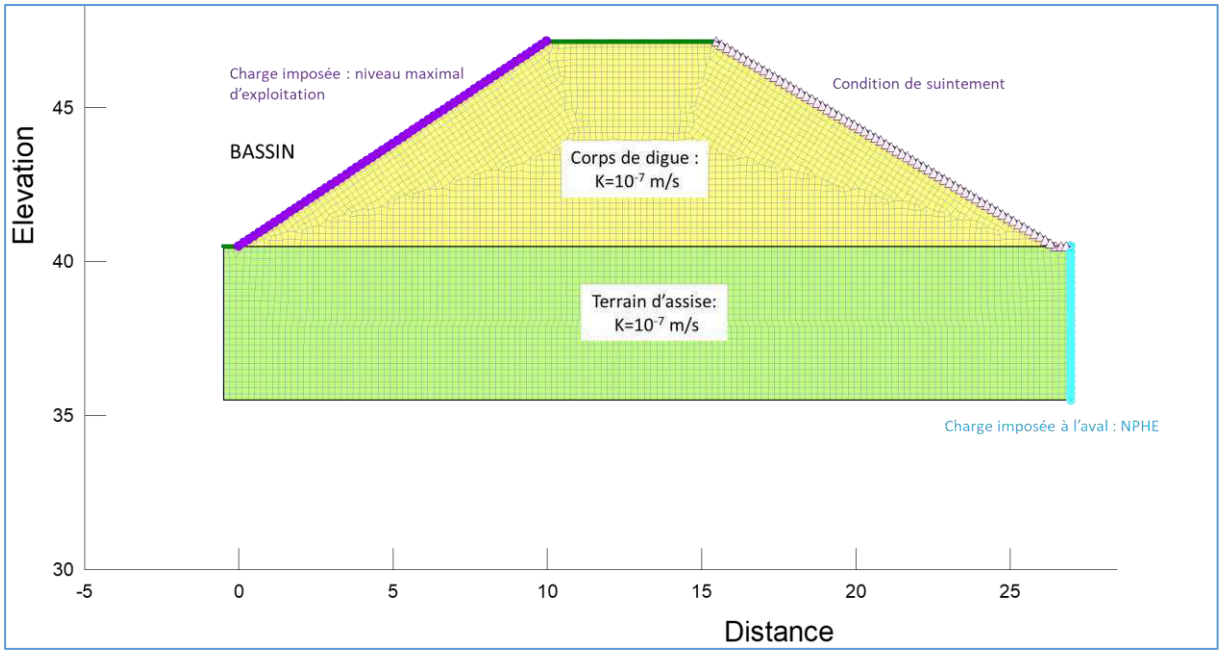



**Figure 8 : Conditions aux limites et maillage du modèle - Profil Recyclage Ouest**

## 4.4. Résultats des modélisations

Les résultats des modélisations sont récapitulés dans le tableau ci-après.
Pour les calculs montrant un suintement, d'autres situations calculatoires ont été étudiées pour appréhender l'influence du niveau de remplissage et de la nappe.

| Radicelle – Digue Est | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 48.6 | 39.5 | 46.8 | Oui (42,2 m NGF) | 0.4 |
| N°2 | 48.6 | 37.9 | 46.5 | non | 0.4 |
| N°3 | 45.5 | 39.5 | 44 | non | 0.2 |

| Iwuy Canal – Digue Est | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 42 | 37.5 | 39.9 | non | 0.3 |

| La Hutte – Digue Nord | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45.6 | 39.5 | 43.4 | non | 0.6 |

| Regnault – Digue Nord | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45.8 | 39.2 | 44 | non | 0.5 |

| Bassin 11 – Digues Est et Sud | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 48.2 | 39 | 45.9 | Oui *(41,8 m NGF)* | 0.7 |
| N°2 | 48.2 | 38.7 | 45.8 | non | 0.7 |

| Recyclage – Digue Ouest | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45 | 39.7 | 43.2 | non | 0.4 |

| Recyclage – Digue Nord | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45 | 39.5 | 43.0 | Oui *(41,3 m NGF)* | 0.4 |
| N°2 | 45 | 38.8 | 42.8 | non | 0.4 |
| N°3 | 43.9 | 39.5 | 42.1 | non | 0.3 |

| Lebrun 1 – Après travaux | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| Avec trenchmix | 45.3 | 39.2 | 42.4 | non | 0,3 |

| Lebrun 2 – Après travaux | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| Avec trenchmix | 45.3 | 39 | 42.4 | non | 0,4 |

**Tableau 6 : Résultats synthétiques des modélisations SEEP**

| Bassin 10 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Risque de Suintement en parement aval | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 46.3 | 38.5 | 44.3 | Oui (*39,8 m NGF)* | 0,6 |

**Tableau 7 : Résultats synthétiques des modélisations SEEP**

Les modèles numériques mettent en évidence un risque de suintement de la nappe sur le parement aval pour les hypothèses les plus sécuritaires pour 4 digues :

- Recyclage, digue Nord ;
- Radicelle, digue Est ;
- Bassin 11, digues Est et Sud ;
- Bassin 10, digue extérieure.

Notons que ces points de sortie de la ligne de saturation se trouvent entre 1,5 et 2,2 m au-dessus du pied de digue. Ces situations calculatoires avec de tels suintements n'ont jamais été observées sur le site dans le cadre des visites d'inspection réalisées ces dernières années. Le bassin Radicelle, qui présenterait le point de suintement le plus haut, ne présente pas d'historique de résurgence. Il serait pertinent de réaliser des analyses et calculs complémentaires pour obtenir des résultats moins pessimistes et davantage en accord avec les observations réalisées.

Néanmoins, en l'état, les résultats par excès de ces modélisations sont retenus pour apprécier de manière sécuritaire le niveau de sûreté des digues. Des travaux consistant à mettre en place un masque granulaire sont préconisés pour empêcher l'érosion interne, avec une remontée du masque de 1,0 m au-dessus du point de résurgence théorique identifié. Les digues concernées sont la digue Nord du bassin Recyclage, la digue Est du bassin Radicelle et les digues Est et Sud du bassin 11.
Les autres remblais ont soit, fait l'objet de travaux (Palplanche Bassin 11 Ouest, masque granulaire pour Radicelle Ouest) soit, présentent des configurations géométriques favorables (pentes et/ou hauteurs faibles).

# 5. Cotes de sûreté et de danger

Concernant les cotes de sûreté et de danger applicables aux bassins, le guide de « *Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai »,* de 2015, précise les points suivants :

- La cote de sûreté correspond au niveau des Plus Hautes Eaux (PHE) ;
- La cote de danger correspondant à la situation extrême de crue. Elle peut être déterminée pour un ouvrage en remblai homogène, semi homogène, comme la cote de la crête.

## 5.1. Définition de la cote de sûreté

**Pour les bassins d'Escaudœuvres, nous retiendrons comme niveau de sûreté, les conditions telles que le remblai est réputé stable. Par analogie avec les digues, on peut considérer que la probabilité de rupture est inférieure à 5% (ou digue sûre à 95%).**

## 5.2. Stabilité au glissement

Le niveau de sûreté de la digue vis-à-vis d'un glissement est vérifiée selon une approche déterministe. L'obtention d'un coefficient de sécurité suffisant permet de justifier la stabilité à long terme de la digue.

Les calculs de rupture ont été menés avec une revanche de 1,0 m, niveau maximal pratiqué par l'exploitant. Cette approche permet de se placer dans le cas de figure jugé le plus défavorable en exploitation.
Divers niveaux de saturation de la digue sont modélisés, indépendamment de la réalité. Cette méthodologie nous permet d'observer pour chaque profil le degré de stabilité en fonction du niveau de saturation de la digue.

## 5.3. Résistance à l'érosion interne

Pour justifier la sûreté à l'érosion interne vis-à-vis du niveau de remplissage maximal des bassins, des hypothèses calculatoires ont été prises :

- Modélisation en régime permanent (équivalent à un niveau d'eau maintenu durant plusieurs années au regard de la perméabilité des matériaux constitutifs des digues) ;
- Niveau de Nappe des alluvions à son niveau le plus haut historique en permanence ;
- Remblai homogène ;
- Non prise en compte d'une action de colmatage des flancs de bassin par décantation des matières en suspension issues du lavage des betteraves.

Les deux premières hypothèses nous placent dans un niveau d'aléa très faible et une approche pessimiste. **Il s'agit d'hypothèses qui nous placent dans le cas de figure le plus défavorable.**
Dans l'usage, le niveau de remplissage des bassins est variable. L'atteinte du niveau de remplissage maximal n'est atteint que temporairement dans l'année, à partir de Janvier et jusque Avril usuellement.

La nappe phréatique a été pris à son niveau le plus haut dans les modélisations, ce qui favorise la saturation du pied de digue sous cette condition. La nappe est sujette à des fluctuations saisonnières. L'atteinte de son niveau le plus haut ou s'en approchant est atteignable aux mois de mars ou avril.

Dans ces circonstances, nous proposons que le niveau de sûreté, tel que calculé et défini par le référentiel *digues et barrages*, soit appliqué à titre de précaution à partir de fin février 2021 pour les 3 bassins mentionnés au chapitre 4 :

- Bassin Recyclage (Digue Nord),
- Bassin Radicelle (Digue Est),
- Bassin 11 (Digues Sud et Est).

Pour ces digues pour lesquelles il existe une probabilité de résurgence à long terme, nous recommandons des mesures de protection par mise en place d'un masque granulaire.
**→ Ces travaux sont achevés à la date du 29/04/2021.**

**Concernant le bassin 10, les travaux sont en cours à la date du 29/04/2021. La réception de ces travaux sera prononcée d'ici la remise en eau du bassin 10 prévue vers Octobre 2021.**

Rappel du traitement des hétérogénéités

En accord avec le rapport d'étude géotechnique, des dispositions sont prises pour réduire les hétérogénéités pouvant affecter les digues. Pour rappel, il s'agit des actions suivantes :

- Réfection de parement (comblement de terrier) ;
- Equipement en grillage anti-fouisseur des parements extérieurs.

Un travail de rebouchage des terriers est engagé 1 fois par semaine, suivant les comptes-rendus d'inspection visuelle. TEREOS a passé un contrat avec une société de chasse pour maitriser la population de fouisseurs. Des actions de furetage ont été effectuées.

Notons également que le risque lié au passage de canalisation a été vérifié.

| Bassin | Digue | Conduite | Passage |
|---|---|---|---|
| Regnault | Digue Nord | Forage dirigé en PE - 350 | Sortie sous le niveau naturel en pied de digue |
| La Hutte | Digue Nord | Fosse équipée d'une pompe | Tuyauterie aérienne |
| Recyclage | Digue Sud | 3 X Forage dirigé en PE - 350 | Sortie sous le niveau naturel en pied de digue |
| Recyclage | Digue Est | Conduite Pont-à-Mousson Fonte - 350 | Traverse au niveau de fond de bassin d'origine |
| Lebrun 1 | Digue Ouest | Forage dirigé en PE - 350 | Forage dirigé en PE - 350 |
| Lebrun 2 | Digue Ouest | Conduite Pont-à-Mousson Fonte - 350 | Traverse au niveau de fond de bassin d'origine |
| Lebrun 1 - aérateurs | Digue Ouest | Forage dirigé en PE - 350 | Forage dirigé en PE - 350 |
| Lebrun 2 - aérateurs | Digue Ouest | Forage dirigé en PE - 350 | Forage dirigé en PE - 350 |

**Tableau 8 : Données sur les tuyauteries des bassins**

Pour le bassin Iwuy Canal, la tuyauterie de pompage en digue Est passe également sous le niveau du terrain naturel.

Au niveau du bassin 11, une fenêtre dans la palplanche et un dispositif anti-renard en béton ont été réalisés pour la canalisation de pompage en fonte.

## 5.4. Définition de la cote de danger

Suivant l'arrêté d'Août 2018 (AT barrage), qui ne trouve pas à s'appliquer aux bassins qui ne relèvent pas de la rubrique 3.2.5.0 de la nomenclature IOTA « *la cote de danger, intrinsèque à l'ouvrage, est la cote de retenue au-dessus de laquelle la stabilité de l'ouvrage n'est plus garantie* ». Dans la littérature, cette cote de danger est en lien avec les variations du niveau des cours d'eau et plans d'eau, alimentés par des bassins versants. Il s'agit des phénomènes de crue.
Cette logique de crue n'existe pas dans les bassins de stockage de la sucrerie. Ces bassins, hors sol, ne sont pas alimentés par des eaux de ruissellement, autre que les eaux de crête de digue.
L'industriel contrôle de manière précise le niveau d'eau stocké dans ses bassins, lui permettant de rester sous le niveau de revanche d'exploitation.

Au regard de la nature des digues, une surverse pourrait provoquer une érosion externe importante de la digue. Bien que très peu probable, cette situation correspond au danger de rupture le plus fort.

**→ Nous proposons de retenir comme cote de danger la cote de crête de digue.**

## 5.5. Cotes retenues et actions à réaliser

Le tableau synthétise les cotes de danger et de sûreté retenues pour le long terme des bassins. Les actions à mener sont précisées.

Tous les bassins peuvent être remis en eau dans l'immédiat.

| Bassin | Cote de danger (m NGF) | Cote de sûreté (m NGF) | Actions à réaliser |
|---|---|---|---|
| Iwuy Canal | **42,6*** | **41,6*** | **Toutes digues**<br>Surveillance régulière |
| La Hutte | **46,6** | **45,6** | **Toutes digues**<br>Traitement des hétérogénéités<br>Surveillance régulière et astreinte pour travaux d'urgence<br><br>**La Hutte 2**<br>Création de la digue de séparation avec La Hutte 1<br>Renforcement de la tête de digue extérieure |
| Radicelle | **49,6** | **48,6** | **Digue Est**<br>Equipement en masque granulaire jusqu'à une hauteur de 43,2 m NGF<br>**Toutes digues**<br>Traitement des hétérogénéités<br>Surveillance régulière et astreinte pour travaux d'urgence |
| Regnault | **46,8** | **45,8** | **Toutes digues** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | Traitement des hétérogénéités<br>Surveillance régulière et astreinte pour travaux d'urgence |
| Lebrun 1 | **46,3** | **45,3** | **Toutes digues**<br>Réception des travaux de paroi étanche |
| Lebrun 2 | **46,3** | **45,3** | **Toutes digues**<br>Réception des travaux de paroi étanche |
| Recyclage | **46,0** | **45,0** | **Digue Nord**<br>Equipement en masque granulaire jusqu'à une hauteur de 42,3 m NGF<br>**Toutes digues**<br>Traitement des hétérogénéités<br>Surveillance régulière et astreinte pour travaux d'urgence |
| Bassin 11 | **49,2** | **48,2** | **Digue Sud et Est**<br>Equipement en masque granulaire jusqu'à une hauteur de 42,8 m NGF<br>Traitement des hétérogénéités<br>Surveillance régulière et astreinte pour travaux d'urgence<br>**Digue Ouest**<br>Néant |
| Bassin 10 | **49,2** | **48,2** | **Digue extérieure**<br>Equipement en masque granulaire jusqu'à une hauteur de 41,5 m NGF<br>Traitement des hétérogénéités<br>Surveillance régulière et astreinte pour travaux d'urgence<br>**Digue de séparation B10/B11**<br>Réalisation d'un contrefort en terre |

* Localement, le point de crête le plus bas est égal à 42,6 m NGF sur Iwuy. Les calculs ont été menés, de manière sécuritaire, avec une altitude de crête à 43,0 m NGF

**Tableau 9 : Cotes de sûreté et de danger pour chaque bassin**

Notons que TEREOS a mis en œuvre une surveillance régulière des bassins actuellement exploités. Cette surveillance comprend :

- L'inspection visuelle de la crête, du parement et du pied de digue, à fréquence quotidienne ;
- Le relevé des doublets piézométriques, à fréquence bi-hebdomadaire.

Une procédure de surveillance a été rédigée en ce sens.

Depuis la fin de l'année 2020, en complément de la surveillance régulière mise en œuvre, des contrats d'astreinte (société de terrassement, pompage) et un protocole de travaux d'urgence ont été signés. Du matériel et des moyens de travaux sont mis à disposition sur le site.

## Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : https://www.anteagroup.fr/fr/annexes

# ANNEXES

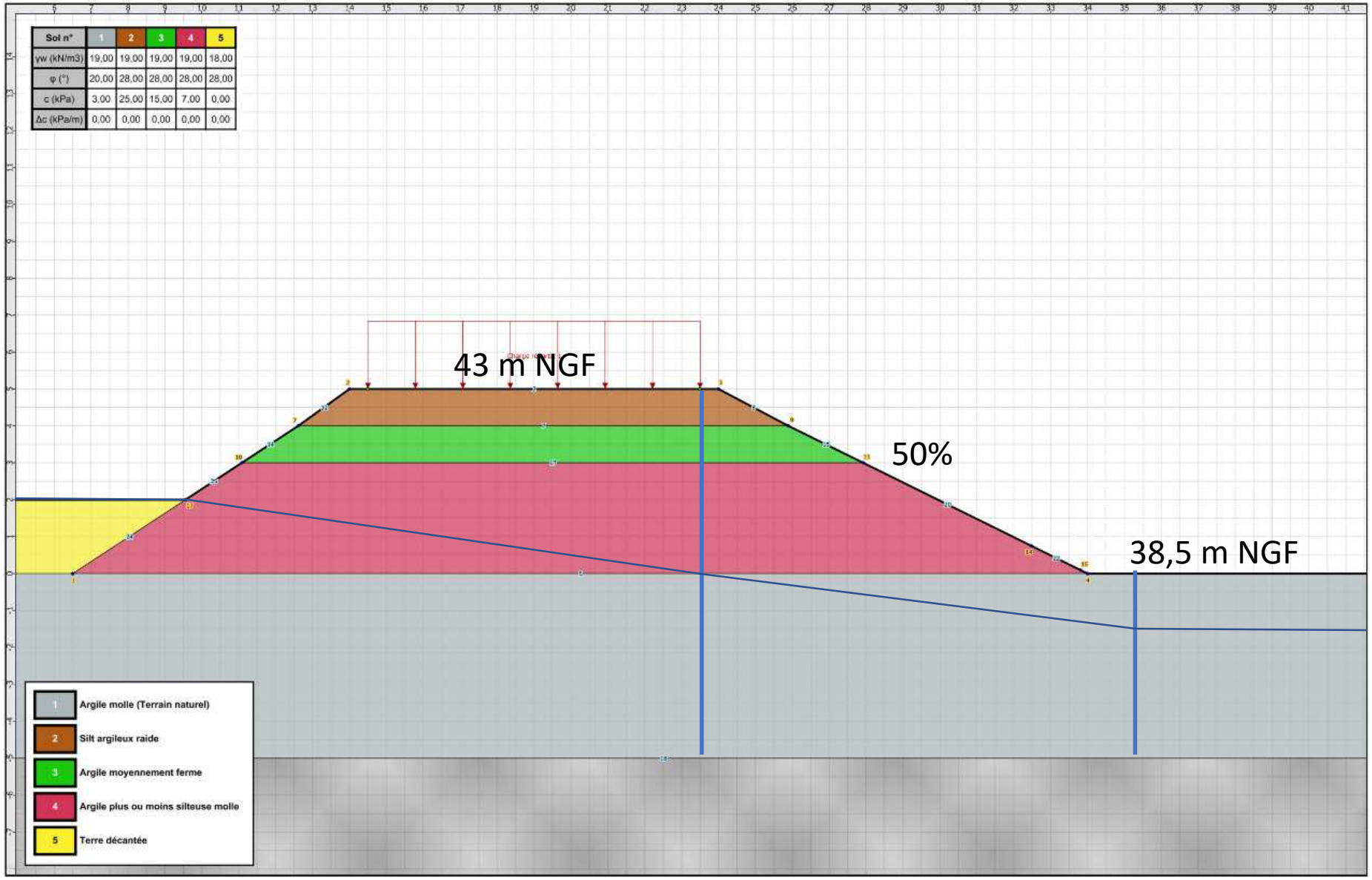
Annexe I :.....Données hydrauliques et résultats de modélisation SEEP

Annexe II :..... Protocoles de surveillance et contrats d'astreinte

# Annexe I : **Données hydrauliques et résultats de modélisation SEEP**

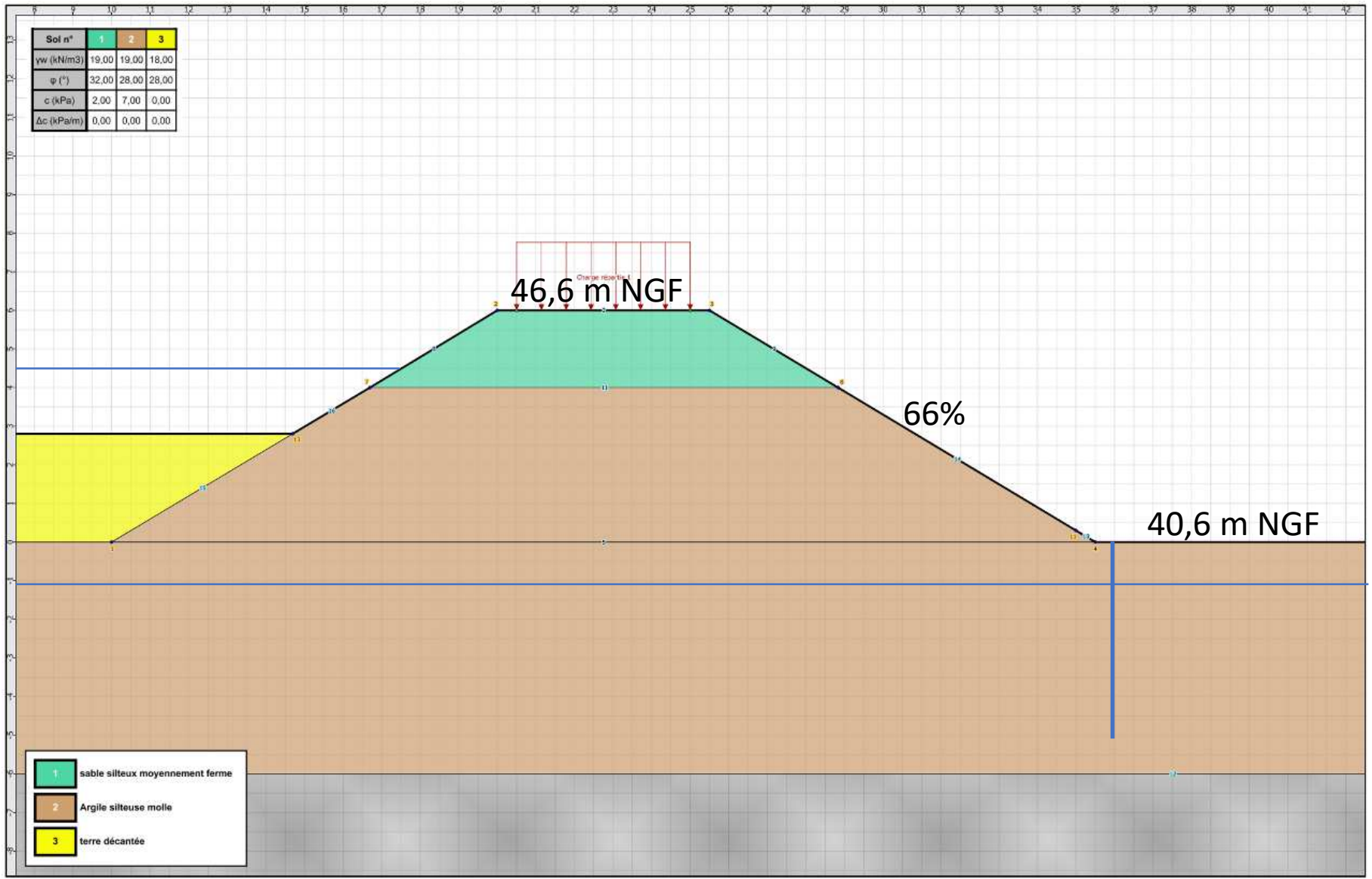
# Iwuy Canal (Digue Est)

- Nappe à 1,5 m sous le pied de digue, soit 36,5 m NGF (11/09/2020)
- Estimation NPHE nappe : 37,5 m NGF
- Crête à 43,0 m NGF
- Pied de digue 38,5 m NGF
- Largeur crête : 10 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 38,0 m NGF (le 11/09/2020)
- Niveau d'eau dans le bassin : Vide
- Niveau max d'exploitation : 42,0 m NGF



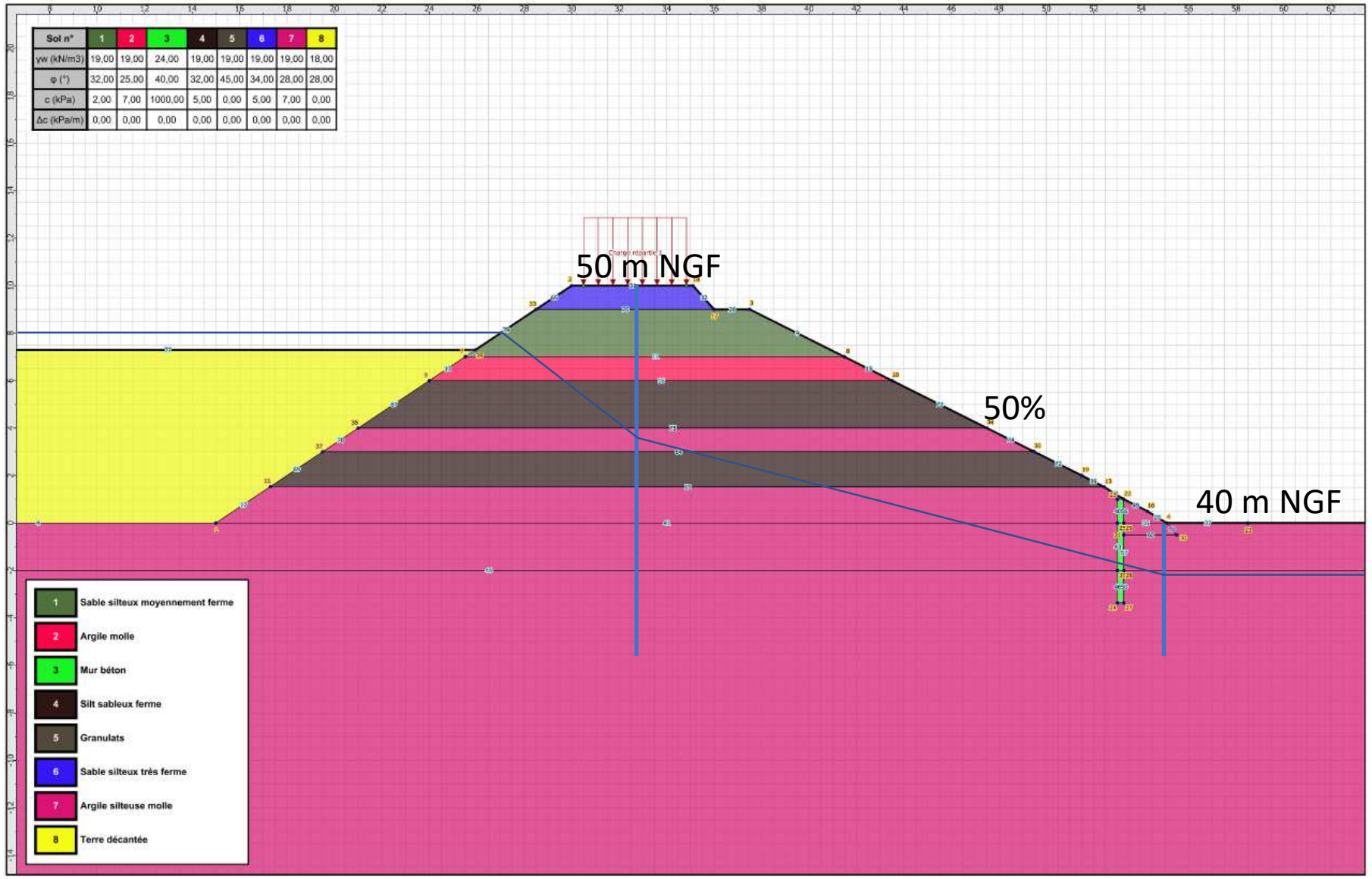
# La Hutte (Digue Nord)

- Nappe à 39,5 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,5 m NGF
- Crête à 46,6 m NGF
- Pied de digue 40,6 m NGF
- Largeur crête : 5,5 m
- Niveau d'eau dans le bassin : 1,35 m (échelle limnimétrique)
- Niveau max d'exploitation : 45,1 m NGF (suivant PAC de Sept 2020)



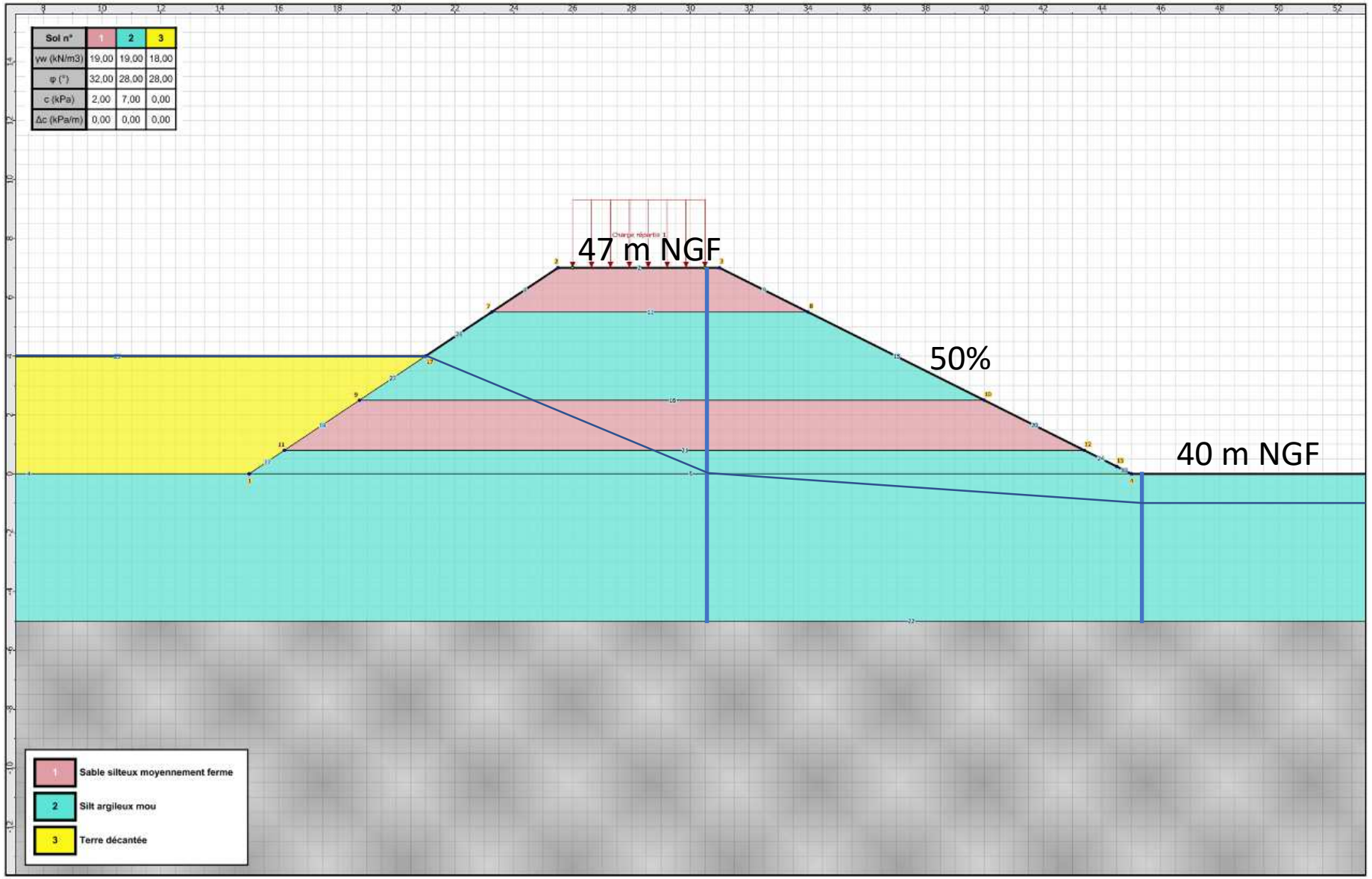
# Radicelle (Digue Est)

- Nappe à 2,1 m sous le pied de digue, soit 37,9 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,5 m NGF
- Crête à 50,0 m NGF
- Pied de digue 40,0 m NGF
- Largeur crête : 10 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo centre de crête) : 43,65 m NGF (le 16/10/2020)
- Niveau d'eau dans le bassin : 0,06 m (échelle limnimétrique)
- Niveau max d'exploitation : 48,6 m NGF
- Mur béton : 0,3 m épaisseur, 4,0 m de hauteur



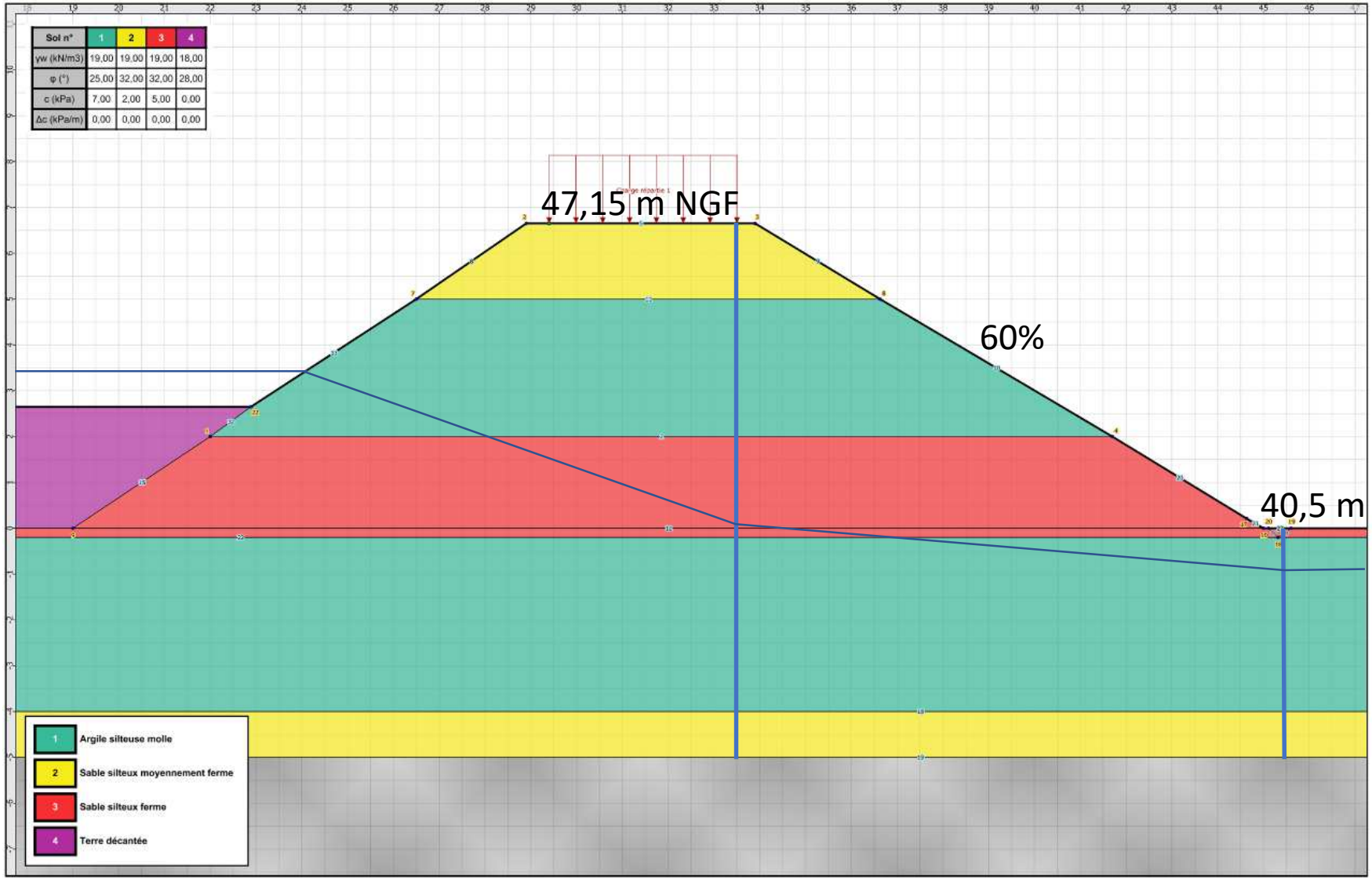
# Regnault (Digue Nord)

- Nappe à 1,05 m sous le pied de digue, soit 38,95 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,2 m NGF
- Crête à 47,0 m NGF
- Pied de digue 40,0 m NGF
- Largeur crête : 5,5 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 40,25 m NGF (le 16/10/2020)
- Niveau de remplissage : Vide
- Niveau max d'exploitation : 45,8 m NGF



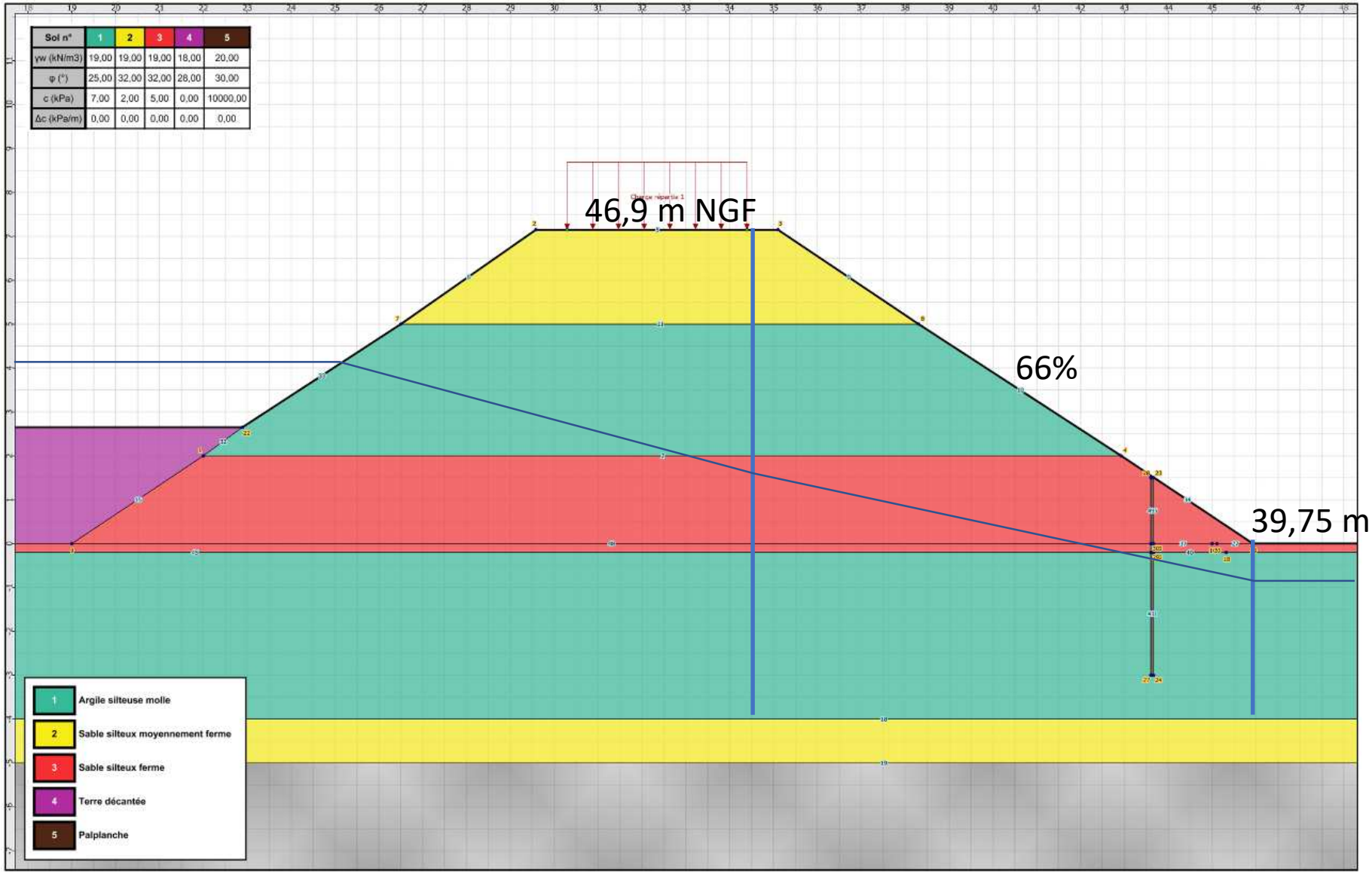
# Recyclage (Digue Ouest)

- Nappe à 1,29 m sous le pied de digue, soit 39,2 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,7 m NGF
- Crête à 47,15 m NGF
- Pied de digue 40,5 m NGF
- Largeur crête : 5,5 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 40,63 m NGF (le 08/10/2020)
- Niveau de remplissage : 43,9 m NGF (08/10/2020)
- Niveau max d'exploitation : 45,0 m NGF



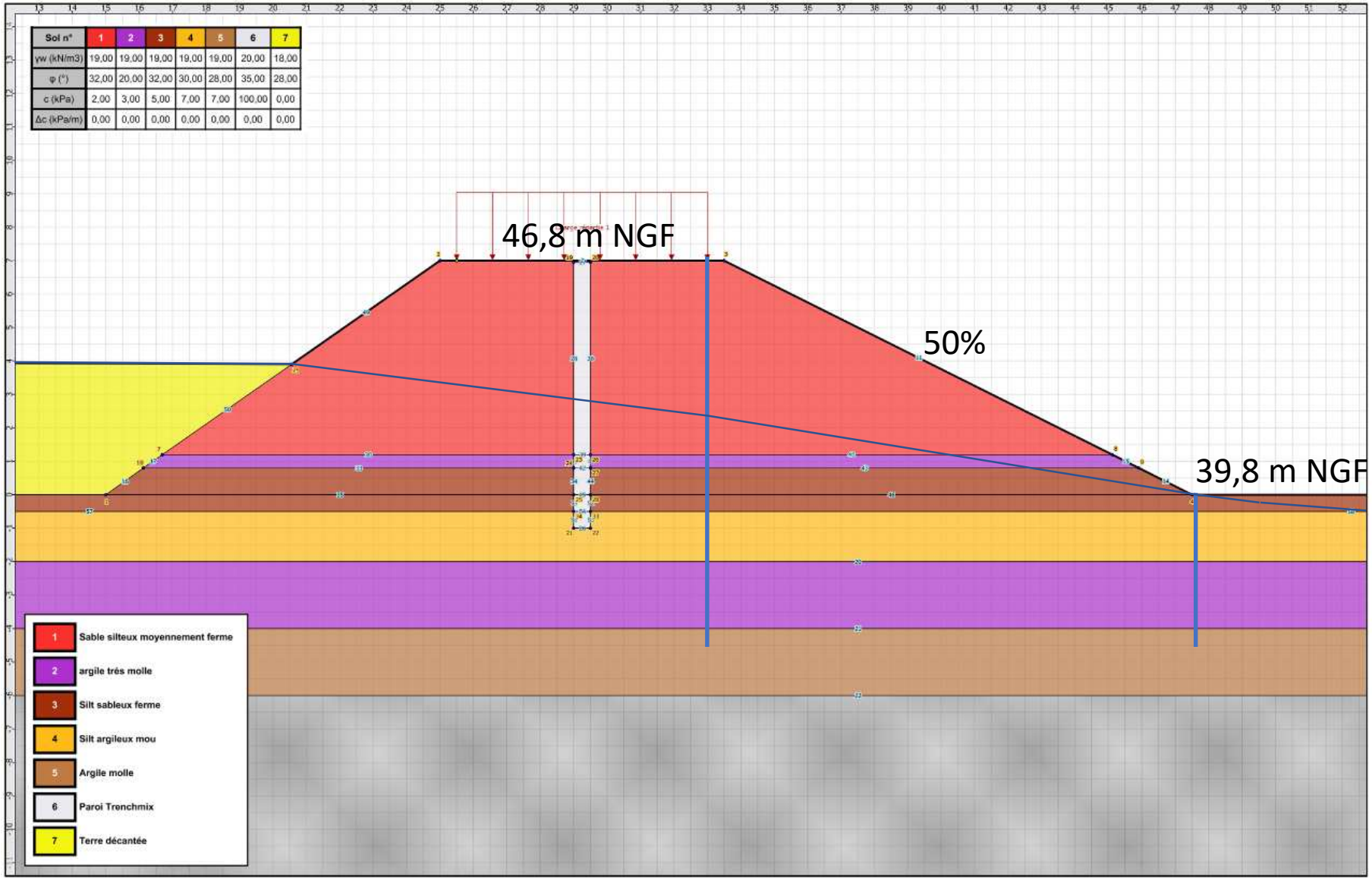
# Recyclage (Digue Nord)

- Nappe à 0,93 m sous le pied de digue, soit 38,82 m NGF (08/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,5 m NGF
- Crête à 46,9 m NGF
- Pied de digue 39,75 m NGF
- Largeur crête : 5,5 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 41,39 m NGF (le 08/10/2020)
- Niveau de remplissage : 43,9 m NGF (08/10/2020)
- Niveau max d'exploitation : 45,0 m NGF



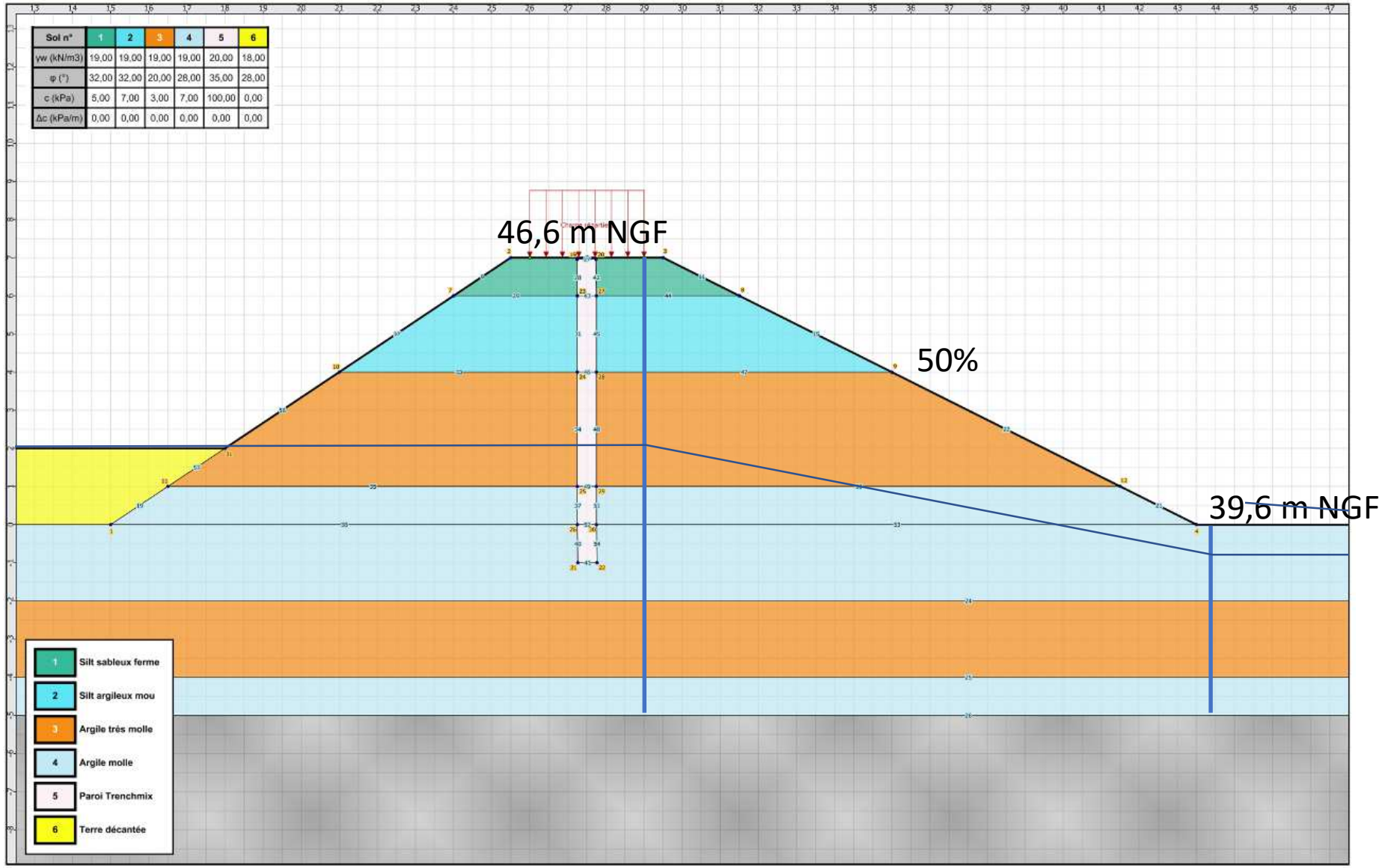
# Lebrun 1 (Digue Est)

- Nappe à 0,0 m sous le pied de digue, soit 39,8 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,2 m NGF
- Crête à 46,8 m NGF
- Pied de digue 39,8 m NGF
- Largeur crête : 8,5 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 42,2 m NGF (le 16/10/2020)
- Niveau de remplissage : Vide
- Niveau max d'exploitation : 45,3 m NGF



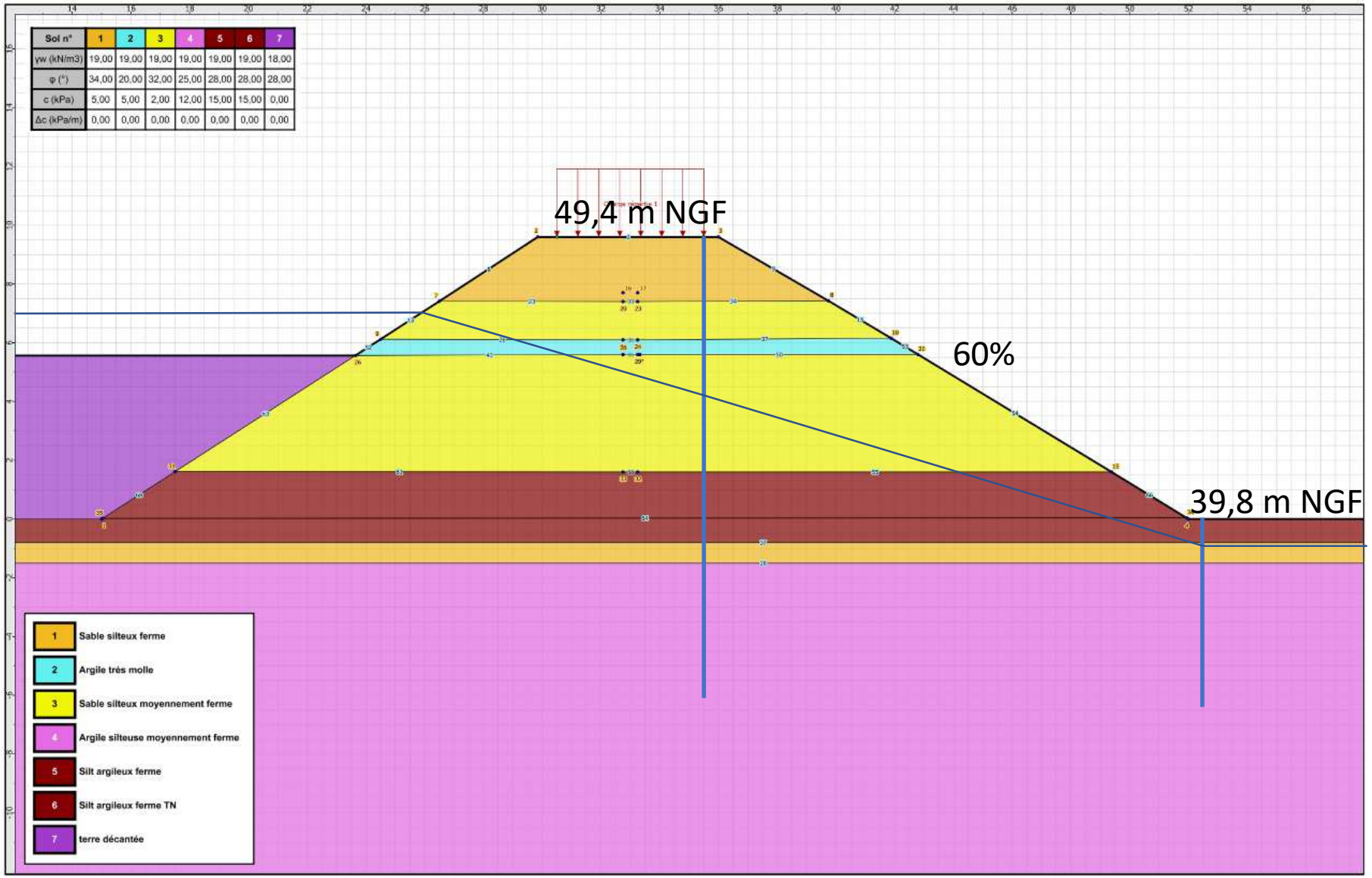
# Lebrun 2 (Digue Est)

- Nappe à 0,9 m sous le pied de digue, soit 38,7 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,0 m NGF
- Crête à 46,6 m NGF
- Pied de digue 39,6 m NGF
- Largeur crête : 4,0 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 41,6 m NGF (le 16/10/2020)
- Niveau de remplissage : Vide
- Niveau max d'exploitation : 45,3 m NGF



# Bassin 11 (Digue Est)

- Nappe à 1,1 m sous le pied de digue, soit 38,7 m NGF (16/10/2020)
- Estimation NPHE nappe : 39,0 m NGF
- Crête à 49,4 m NGF
- Pied de digue 39,8 m NGF
- Largeur crête : 6,0 m
- Niveau piézométrique (depuis piezo bord extérieur de crête) : 44,05 m NGF (le 16/10/2020)
- Niveau de remplissage : 1.15 m (échelle limnimétrique) ou 46,8 m NGF
- Niveau max d'exploitation : 48,2 m NGF



| Piezo | Bassin | Digue | Niveau | Date | Relevé |
|---|---|---|---|---|---|
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 05/10/2020 | 0.64 |
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 08/10/2020 | 1.51 |
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 16/10/2020 | 0.69 |
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 16/10/2020 | 1.74 |
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 20/10/2020 | 0.69 |
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 23/10/2020 | 0.70 |
| Pz0B | Bassin 11 | Ouest | Bas | 27/10/2020 | 0.68 |
| Pz0H | Bassin 11 | Ouest | Haut | 13/10/2020 | 6.25 |
| Pz0H | Bassin 11 | Ouest | Haut | 16/10/2020 | 6.37 |
| Pz0H | Bassin 11 | Ouest | Haut | 16/10/2020 | 5.06 |
| Pz0H | Bassin 11 | Ouest | Haut | 20/10/2020 | 6.26 |
| Pz0H | Bassin 11 | Ouest | Haut | 23/10/2020 | 6.34 |
| Pz0H | Bassin 11 | Ouest | Haut | 27/10/2020 | 6.35 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 03/10/2020 | 1.06 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 05/10/2020 | 1.10 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 08/10/2020 | 0.93 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 13/10/2020 | 1.98 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 16/10/2020 | 1.10 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 16/10/2020 | 1.02 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 20/10/2020 | 1.02 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 23/10/2020 | 1.06 |
| Pz10B | Recyclage | Nord | Bas | 27/10/2020 | 1.04 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 03/10/2020 | 4.46 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 05/10/2020 | 4.90 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 08/10/2020 | 5.51 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 13/10/2020 | 6.50 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 16/10/2020 | 5.50 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 16/10/2020 | 5.35 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 20/10/2020 | 5.35 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 23/10/2020 | 5.63 |
| Pz10H | Recyclage | Nord | Haut | 27/10/2020 | 5.63 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 08/10/2020 | 0.93 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 13/10/2020 | 1.07 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 16/10/2020 | 0.91 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 16/10/2020 | 1.98 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 20/10/2020 | 1.98 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 23/10/2020 | 1.96 |
| Pz11B | Recyclage | Ouest | Bas | 27/10/2020 | 1.95 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 08/10/2020 | 6.52 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 13/10/2020 | 5.36 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 16/10/2020 | 6.58 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 16/10/2020 | 6.68 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 20/10/2020 | 6.68 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 23/10/2020 | 6.63 |
| Pz11H | Recyclage | Ouest | Haut | 27/10/2020 | 6.70 |
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 08/10/2020 | 2.60 |
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 13/10/2020 | 2.55 |
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 16/10/2020 | 2.60 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 16/10/2020 | 2.64 |
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 20/10/2020 | 2.64 |
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 23/10/2020 | 2.55 |
| Pz3B | Radicelle | Est | Bas | 27/10/2020 | 2.55 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 03/10/2020 | 5.80 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 05/10/2020 | 6.07 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 08/10/2020 | 6.12 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 13/10/2020 | 6.42 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 16/10/2020 | 6.34 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 16/10/2020 | 6.28 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 20/10/2020 | 6.28 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 23/10/2020 | 6.35 |
| Pz3H | Radicelle | Est | Haut | 27/10/2020 | 6.30 |
| Pz4B | Regnault | Nord | Bas | 16/10/2020 | 1.53 |
| Pz4B | Regnault | Nord | Bas | 20/10/2020 | 1.53 |
| Pz4B | Regnault | Nord | Bas | 23/10/2020 | 1.54 |
| Pz4B | Regnault | Nord | Bas | 27/10/2020 | 1.53 |
| Pz4H | Regnault | Nord | Haut | 16/10/2020 | 6.84 |
| Pz4H | Regnault | Nord | Haut | 20/10/2020 | 6.84 |
| Pz4H | Regnault | Nord | Haut | 23/10/2020 | 7.15 |
| Pz4H | Regnault | Nord | Haut | 27/10/2020 | 7.45 |
| Pz7B | Lebrun 1 | Est | Bas | 13/10/2020 | 0.78 |
| Pz7H | Lebrun 1 | Est | Haut | 13/10/2020 | 4.58 |
| Pz8B | Lebrun 2 | Est | Bas | 13/10/2020 | 1.34 |
| Pz8H | Lebrun 2 | Est | Haut | 13/10/2020 | 4.80 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 08/10/2020 | 2.10 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 13/10/2020 | 1.82 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 16/10/2020 | 0.83 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 16/10/2020 | 0.69 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 20/10/2020 | 1.74 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 23/10/2020 | 1.20 |
| Pz9B | Bassin 11 | Est | Bas | 27/10/2020 | 1.28 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 05/10/2020 | 6.46 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 08/10/2020 | 6.50 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 13/10/2020 | 5.45 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 16/10/2020 | 5.40 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 16/10/2020 | 6.26 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 20/10/2020 | 5.06 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 23/10/2020 | 5.00 |
| Pz9H | Bassin 11 | Est | Haut | 27/10/2020 | 4.86 |

# Annexe II : **Protocoles de surveillance et contrats d'astreinte**

## 1.1. Radicelle Est

### 1.1.1. Configurations étudiées

Pour le bassin Radicelle digue Est, les configurations étudiées sont les suivantes :

- Configuration n°1 : remplissage au niveau maximal d'exploitation 48,6 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,5 m NGF) ;
- Configuration n°2 : remplissage au niveau maximal d'exploitation 48,6 m NGF et charge hydraulique à l'aval 37,9 m NGF correspondant au niveau du relevé piézométrique du 16/10/2020 ;
- Configuration n°3 : remplissage à 45,5 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,5 m).

### 1.1.2. Configuration n°1 :

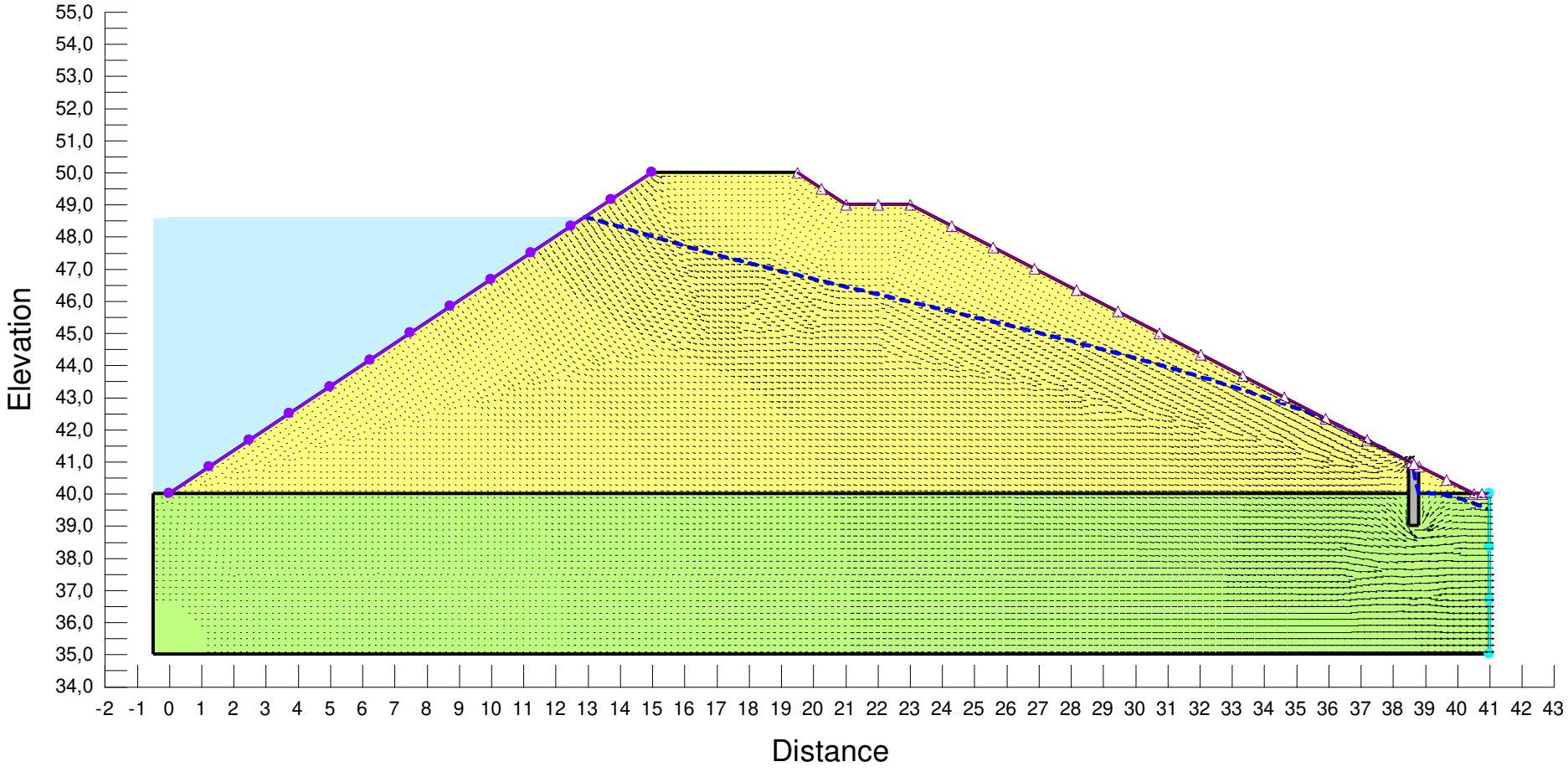



Figure 1 : Radicelle Est - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

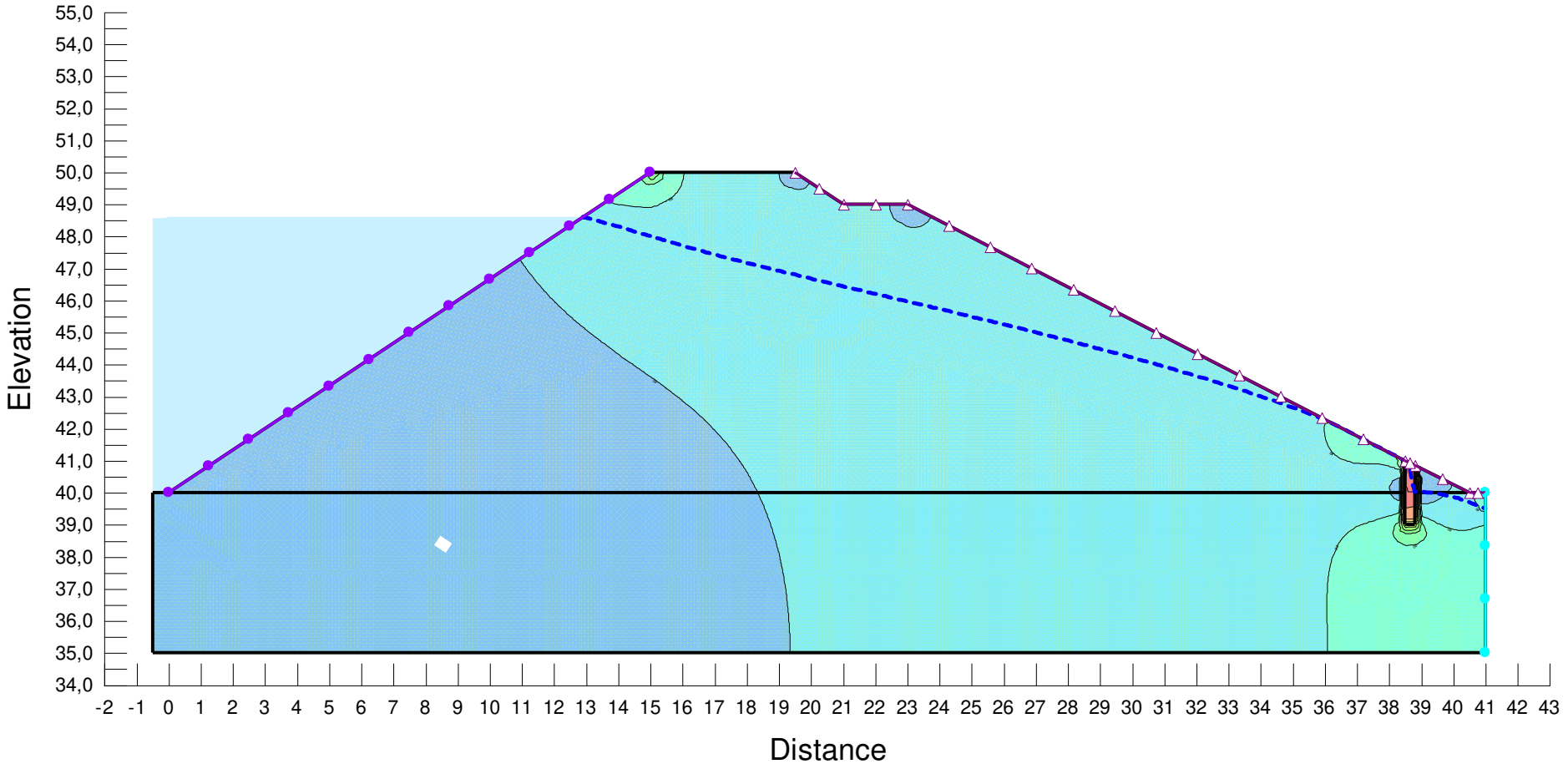



**Figure 2 : Radicelle Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation**

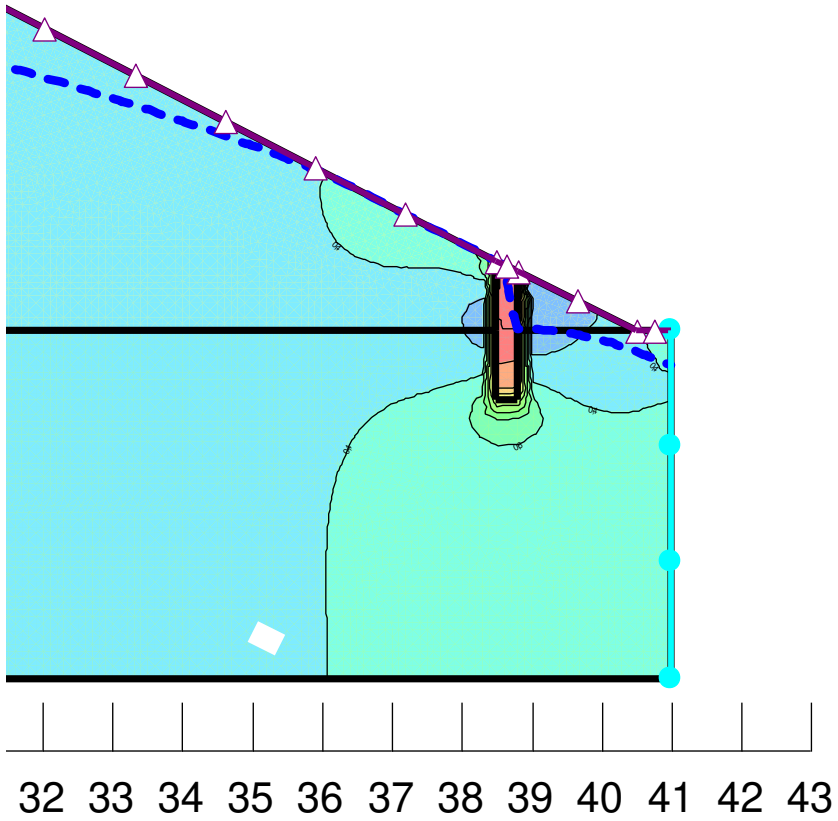



**Figure 3 : Radicelle Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.1.3. Configuration n°2 :

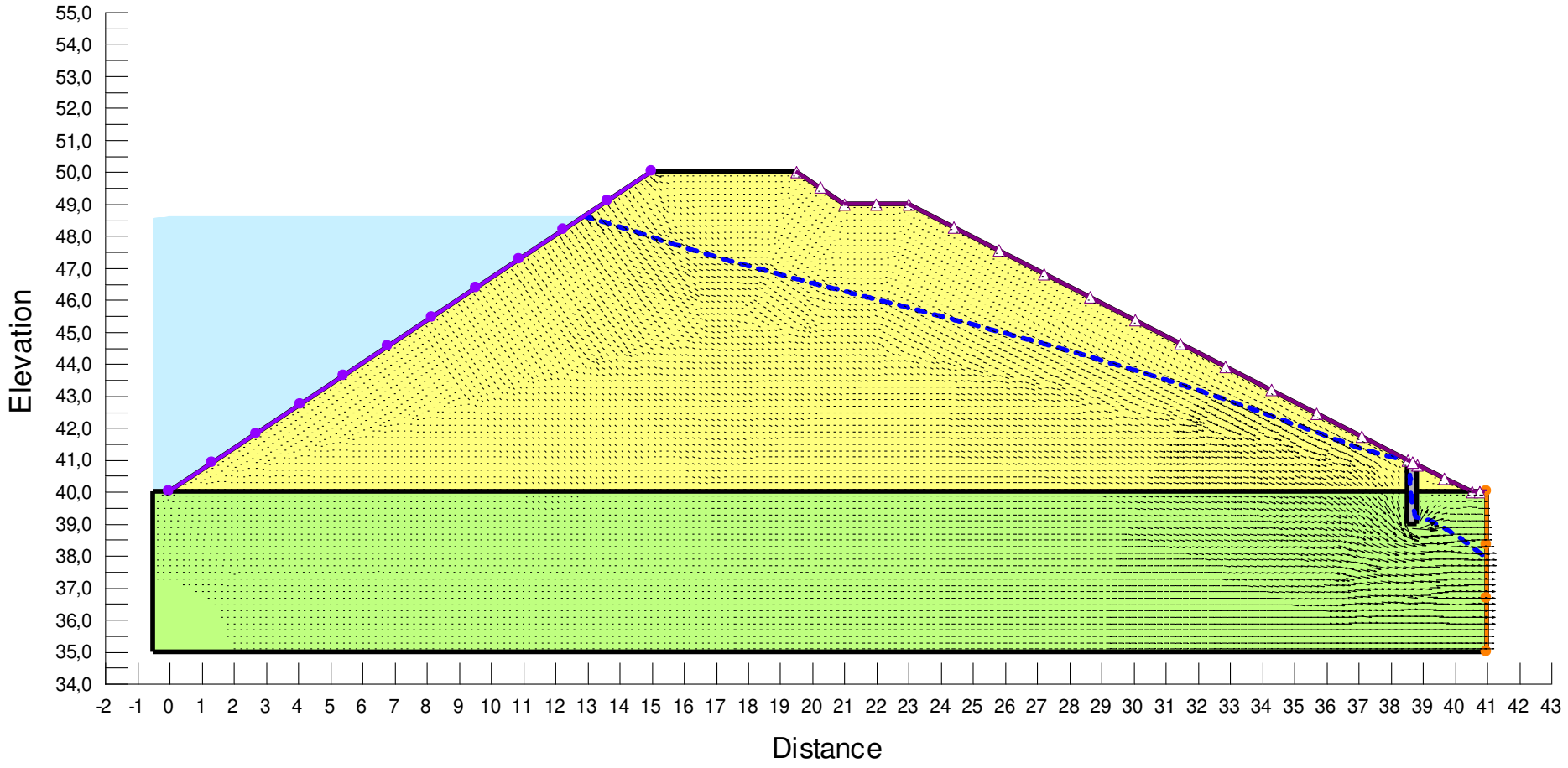



Figure 4 : Radicelle Est - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau 37,9 m NGF - Niveau maximum d'exploitation

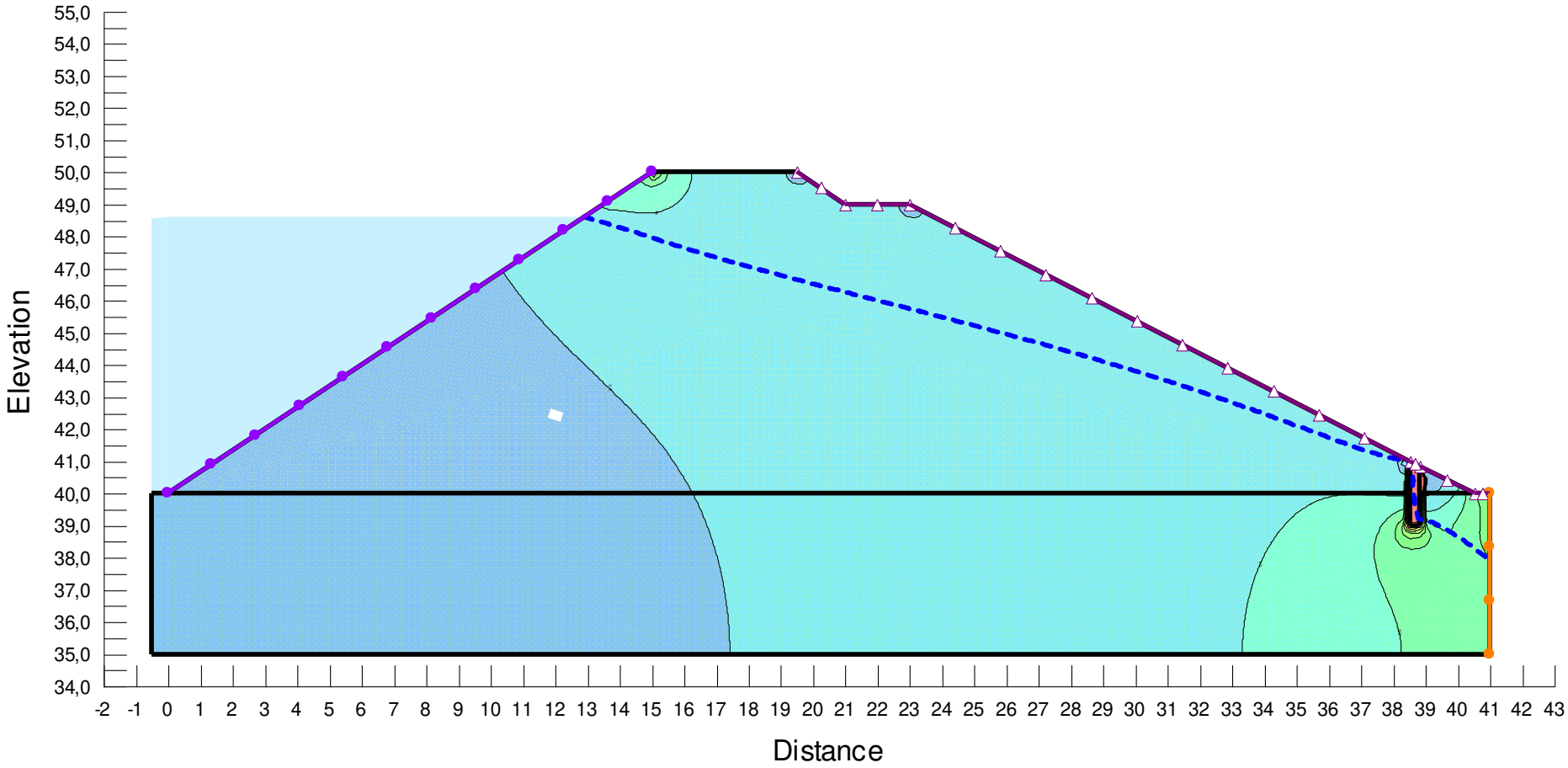



Figure 5 : Radicelle Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval 37,9 m NGF - Niveau maximum d'exploitation

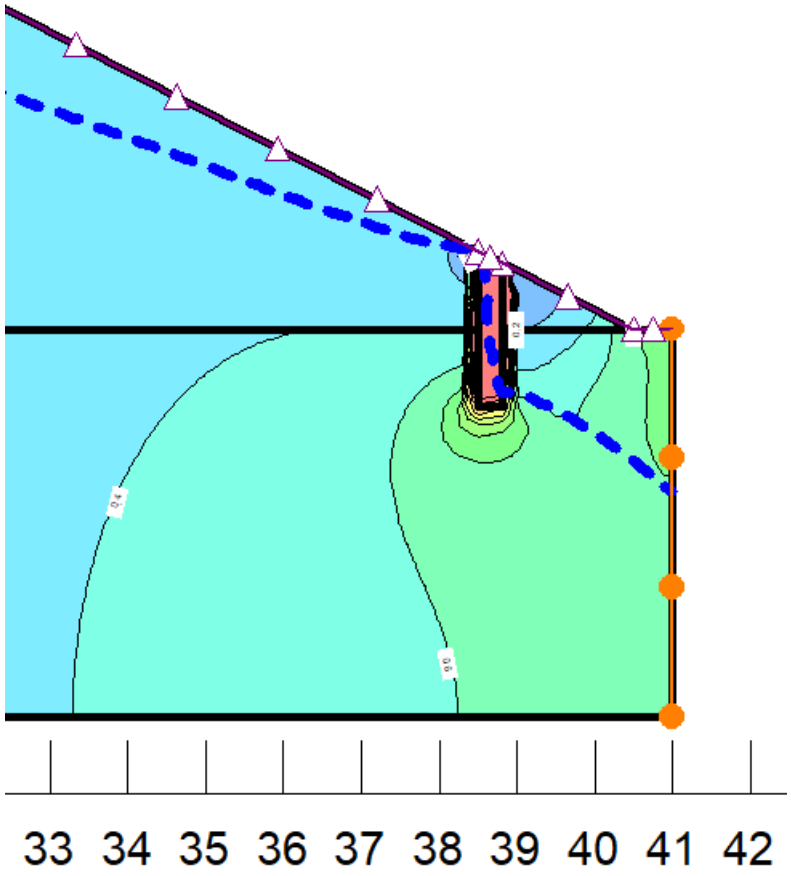



**Figure 6 : Radicelle Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau 37,9 m NGF - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.1.4. Configuration n°3 :

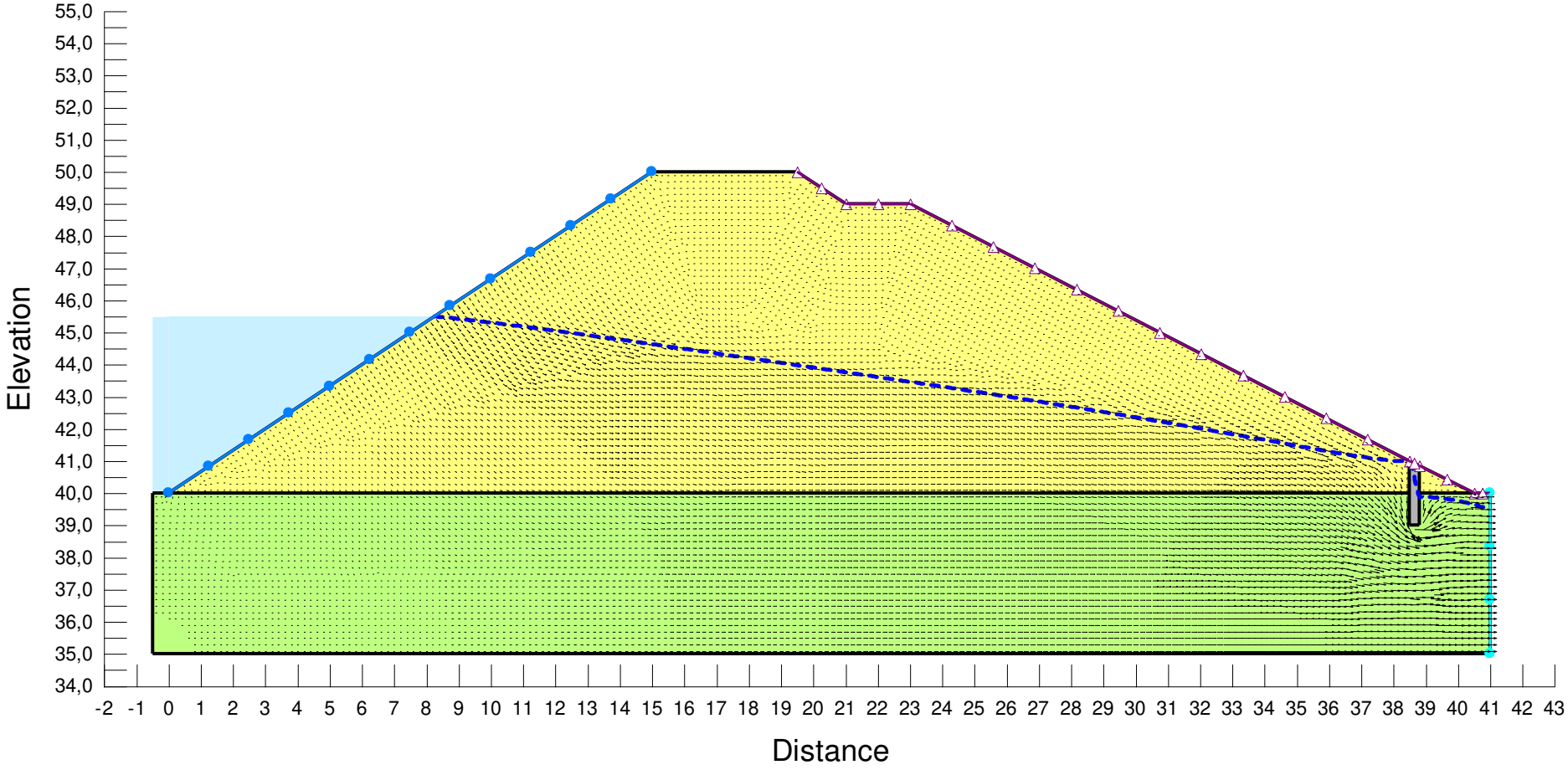



Figure 7 : Radicelle Est - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau de remplissage du bassin 45,5 m NGF

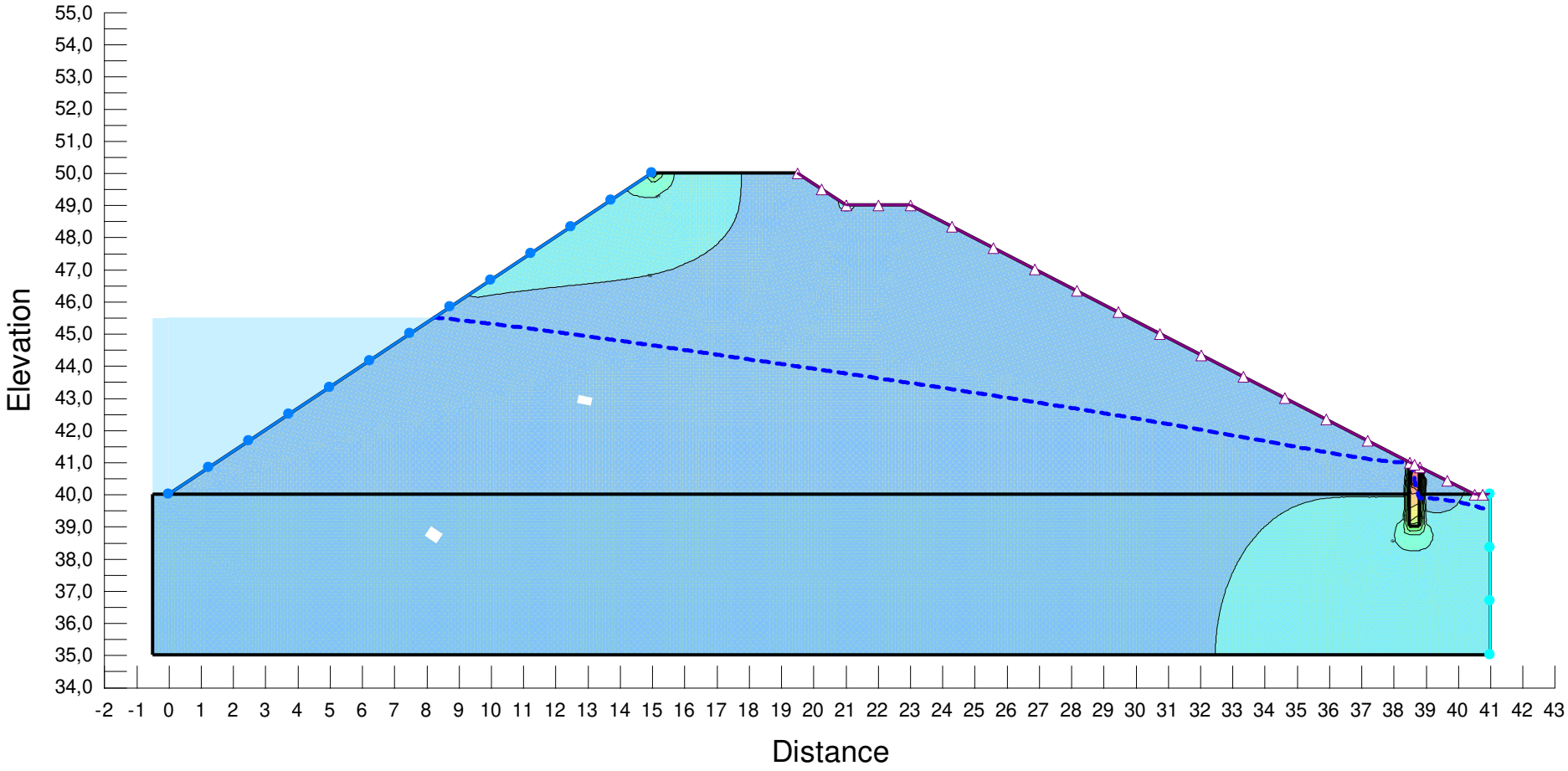



**Figure 8 : Radicelle Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau de remplissage du bassin 45,5 m NGF**

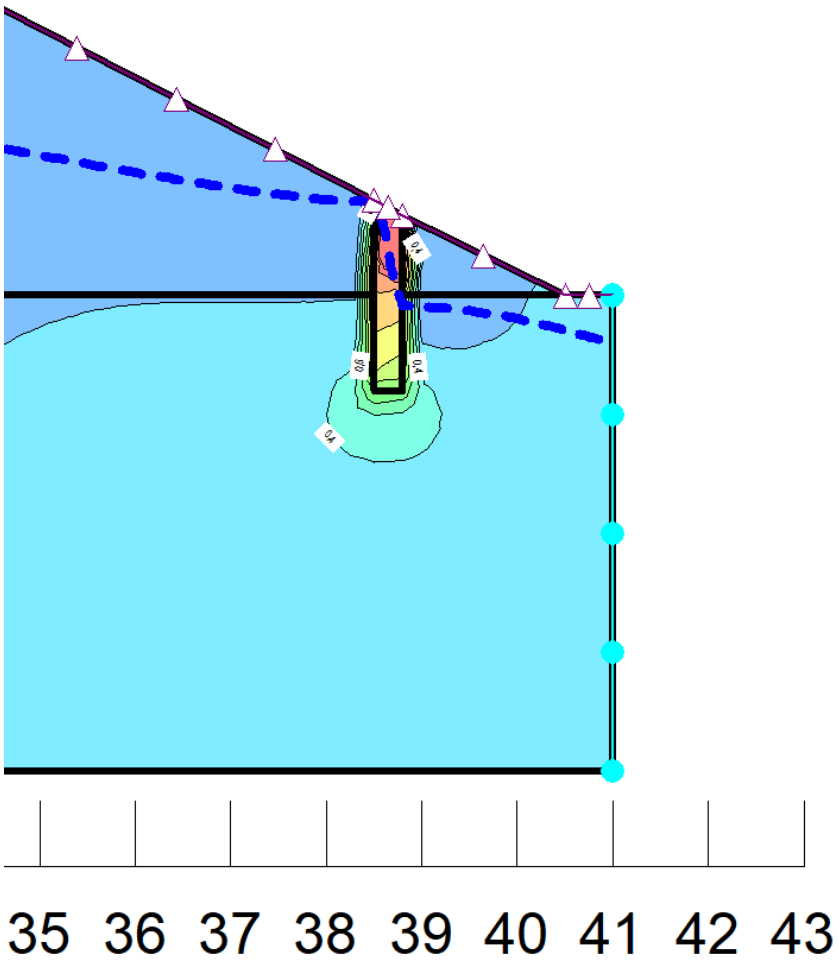



**Figure 9 : Radicelle Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau de remplissage du bassin 45,5 m NGF– Zoom**

### 1.1.5. Synthèse des résultats de calcul

| Radicelle Est | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Hauteur de suintement (m) | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 48.6 | 39.5 | 46.8 | oui | 1.6 (en amont du mur) | 0.4 |
| N°2 | 48.6 | 37.9 | 46.5 | non | / | 0.4 |
| N°3 | 45.5 | 39.5 | 44 | non | / | 0.2 |

**Tableau 1 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Radicelle Est**

## 1.1. Iwuy Canal (Secteur Bleu)

### 1.1.1. Configuration étudiée

Pour le bassin Iwuy Canal (secteur bleu), la configuration étudiée est la suivante :

- Remplissage au niveau maximal d'exploitation 42 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (37,5 m NGF) ;

### 1.1.2. Résultats

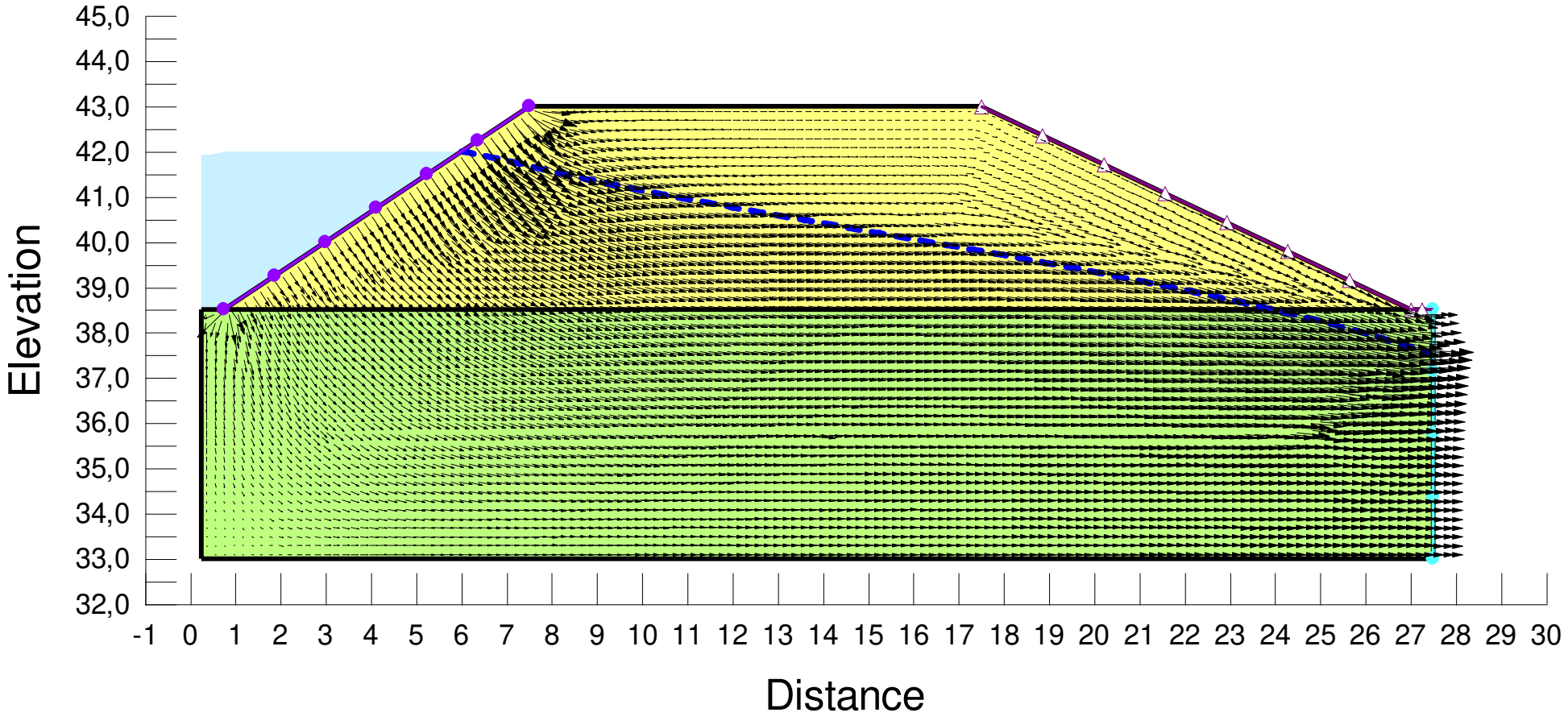



Figure 1 : Iwuy Canal - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

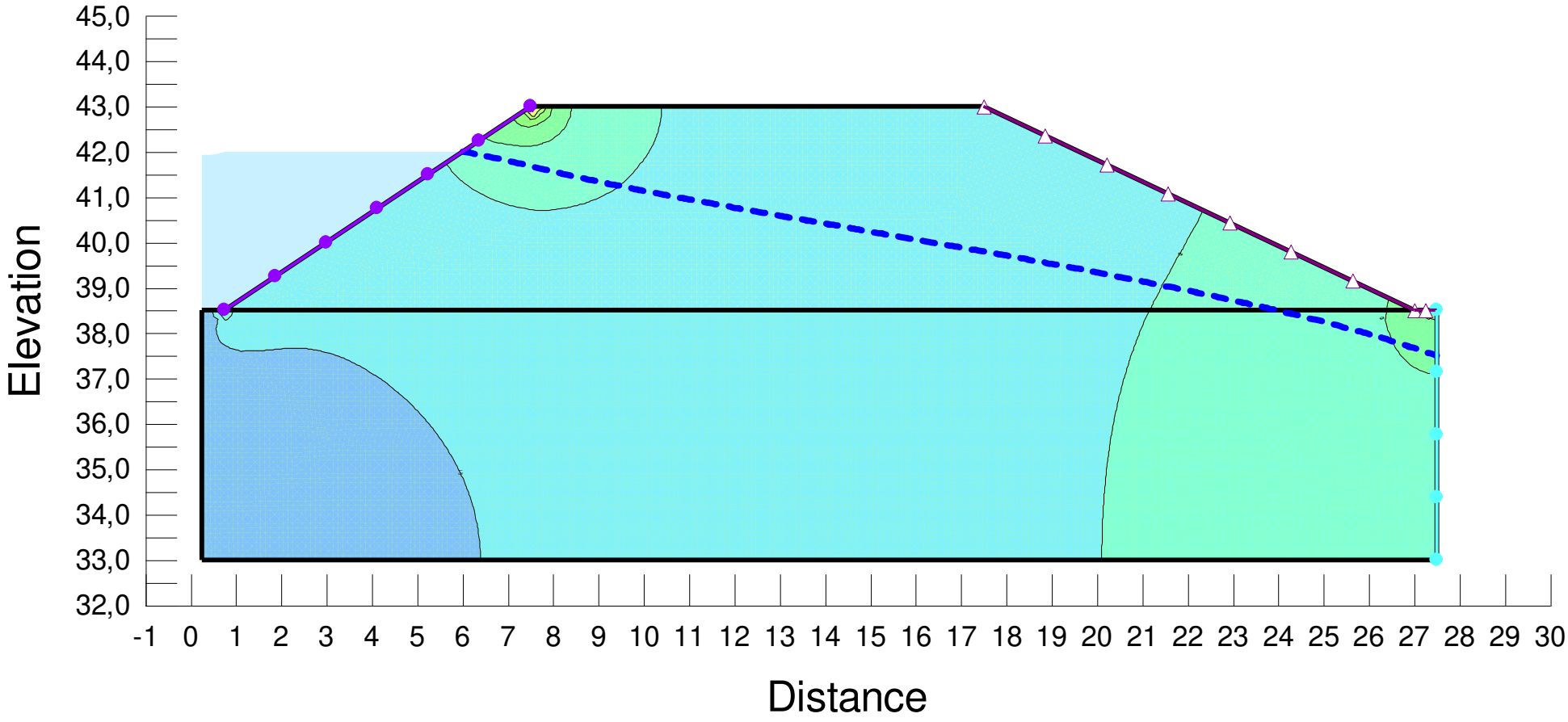



Figure 2 : Iwuy Canal – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

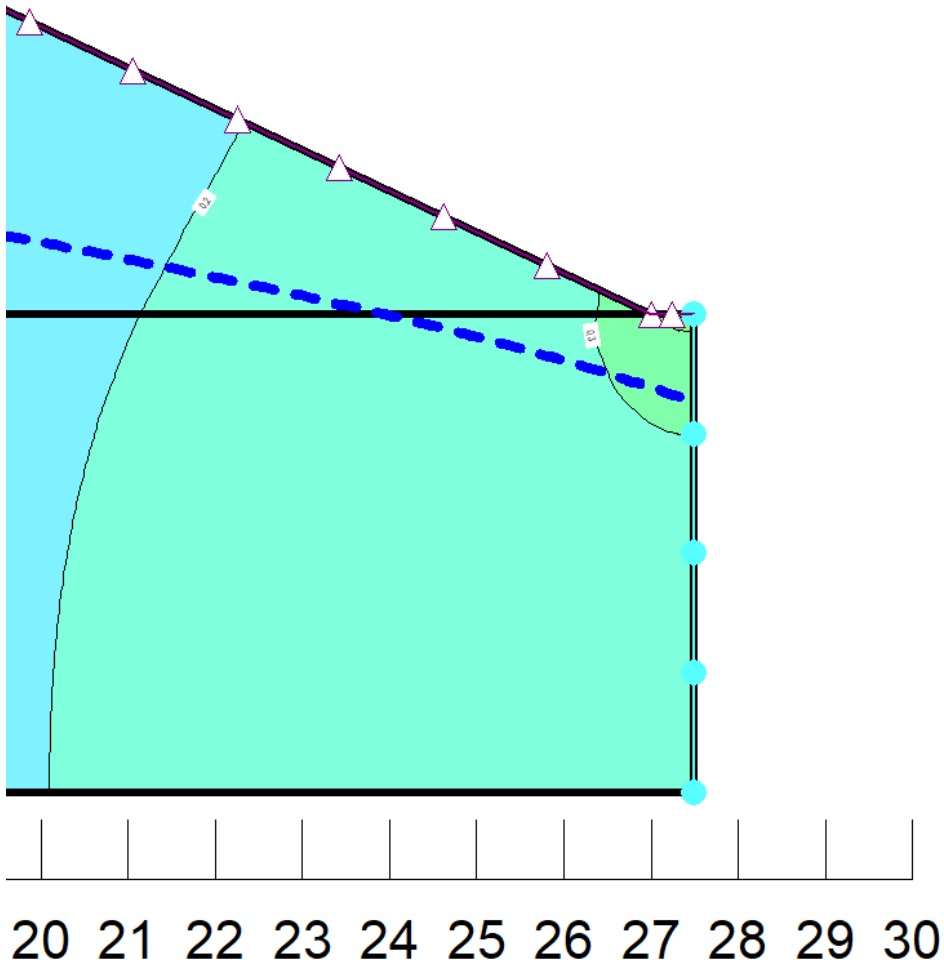



**Figure 3 : Iwuy Canal – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.1.3. Synthèse des résultats de calcul

| Iwuy Canal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 42 | 37.5 | 39.9 | non | 0.3 |

**Tableau 1 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Iwuy Canal**

## 1.2. La Hutte

### 1.2.1. Configuration étudiée

Pour le bassin La Hutte, la configuration étudiée est la suivante :

- Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45,6 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,5 m NGF)

### 1.2.2. Résultats

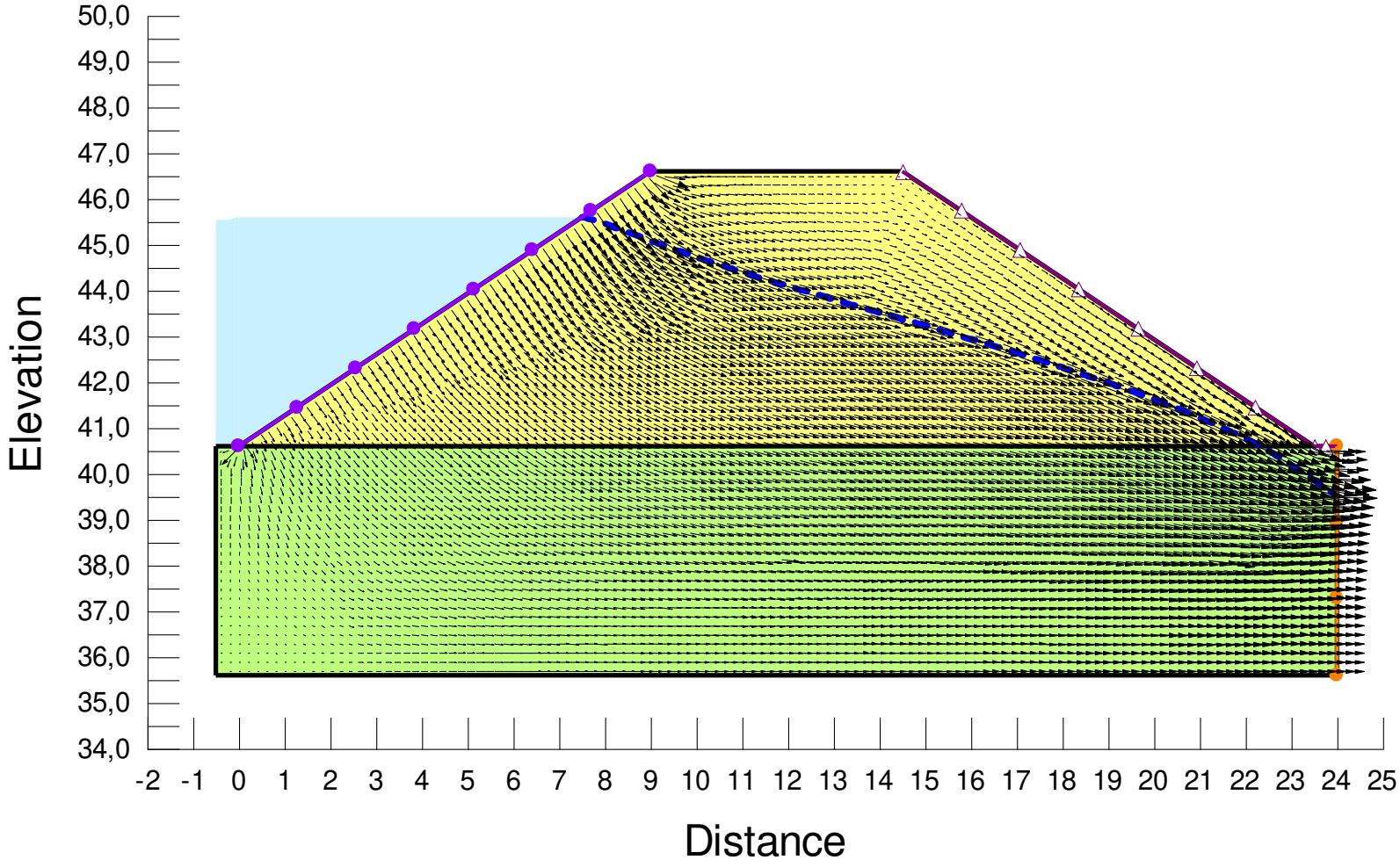



Figure 4 : La Hutte - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

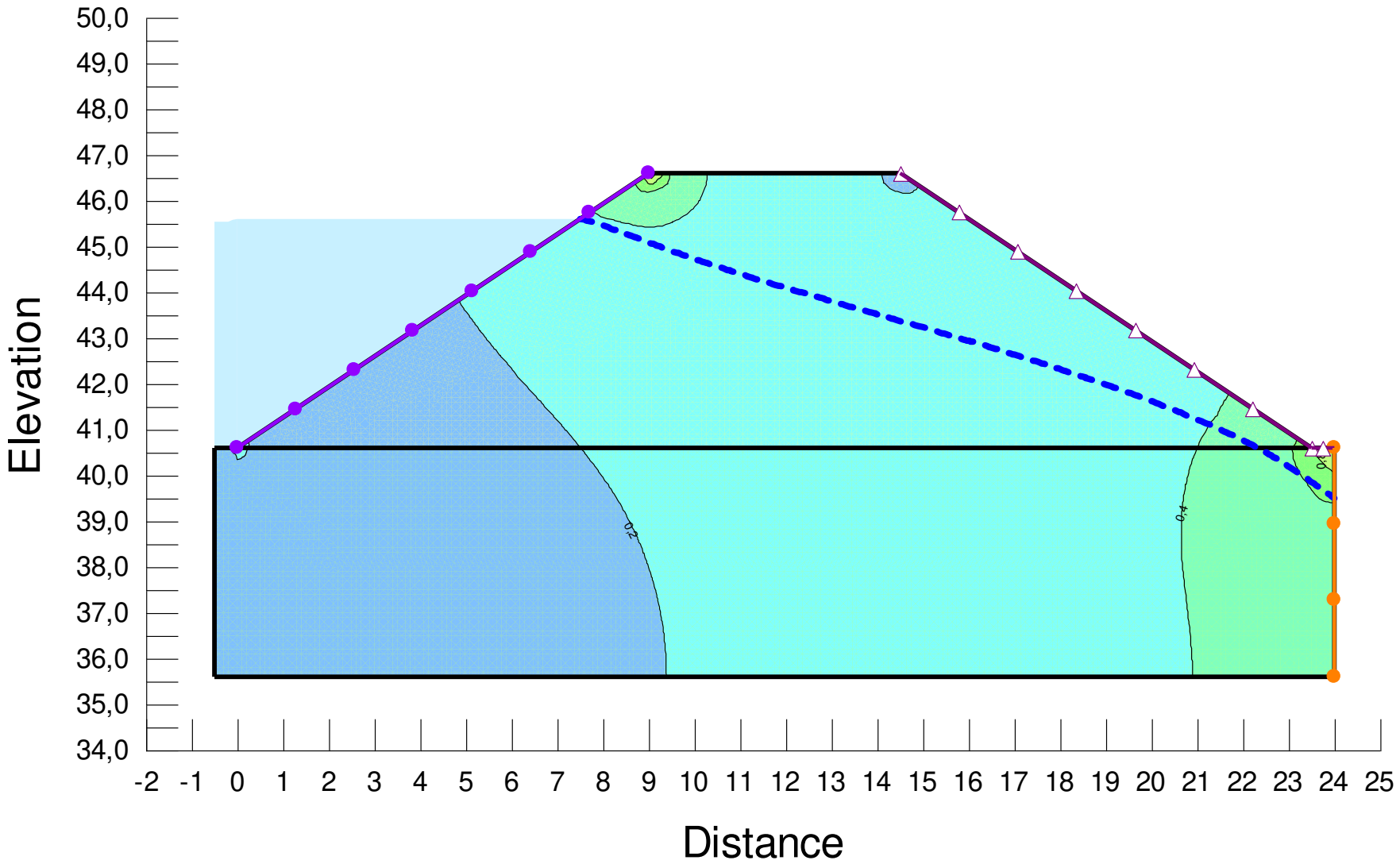



Figure 5 : La Hutte – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

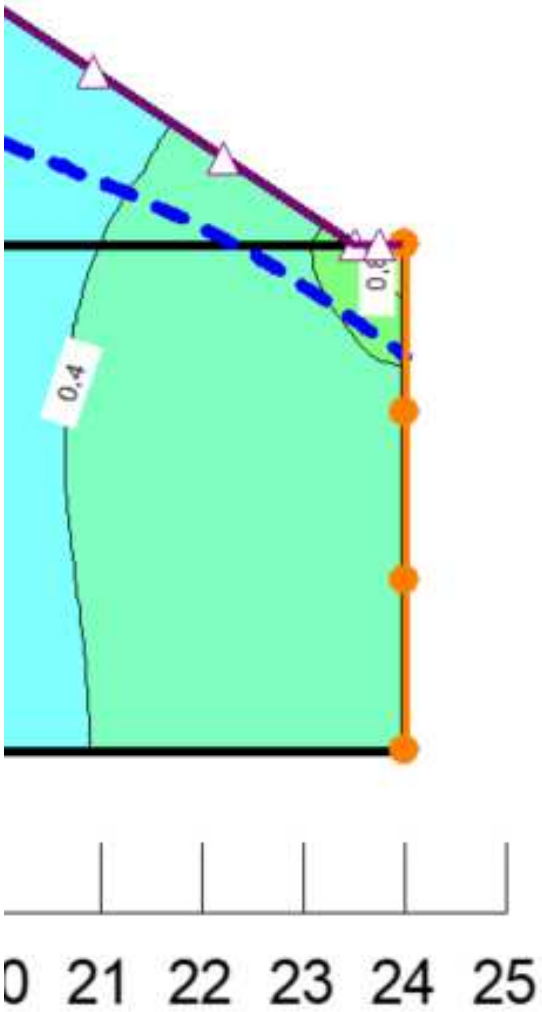



**Figure 6 : La Hutte – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.2.3. Synthèse des résultats de calcul

| La Hutte | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45.6 | 39.5 | 43.4 | non | 0.6 |

**Tableau 2 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil La Hutte**

## 1.3. Regnault

### 1.3.1. Configuration étudiée

Pour le bassin Regnault, la configuration étudiée est la suivante :

- Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45,8 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE 39,2 m NGF ;

### 1.3.2. Résultats

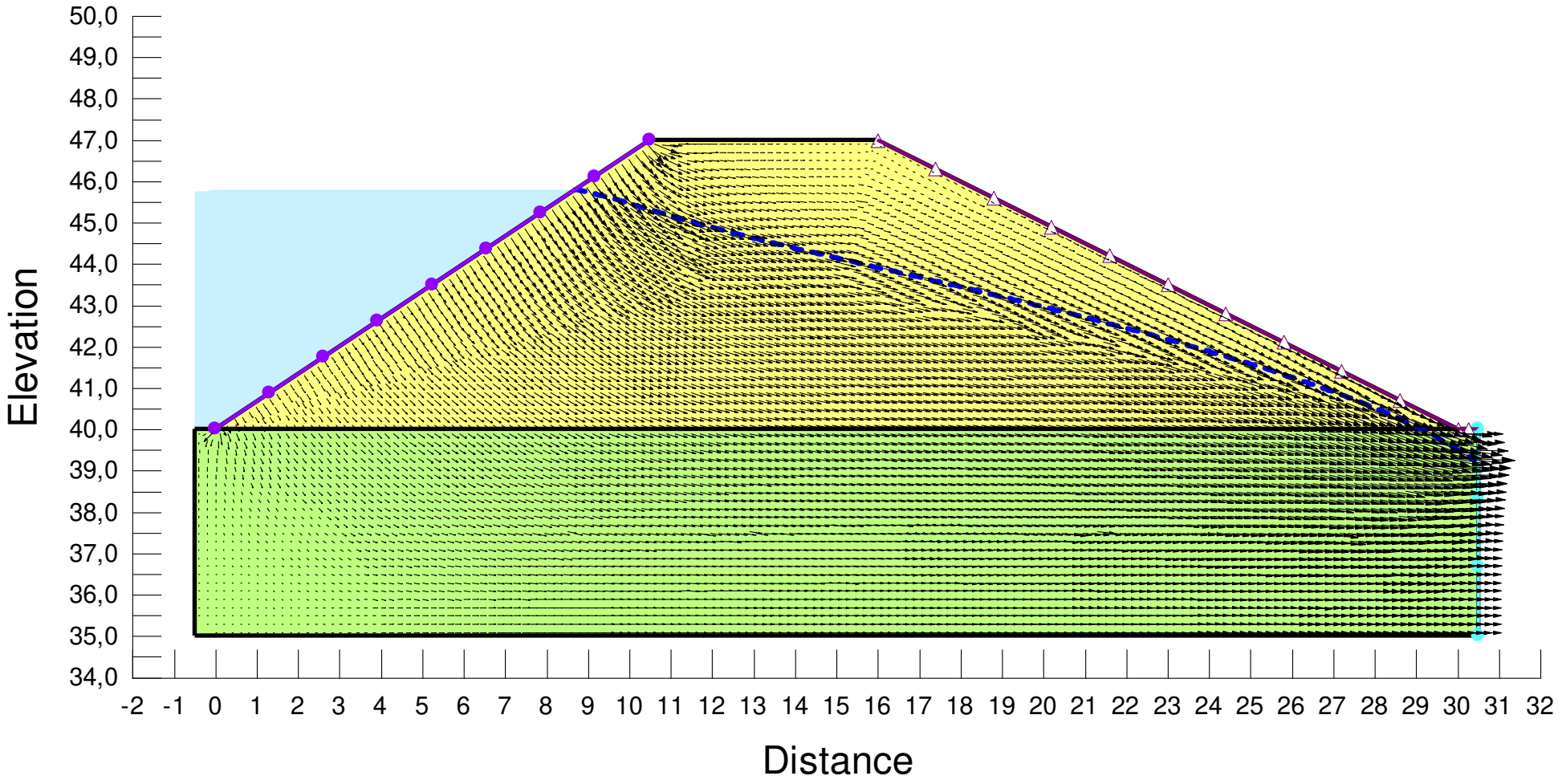



Figure 7 : Regnault - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

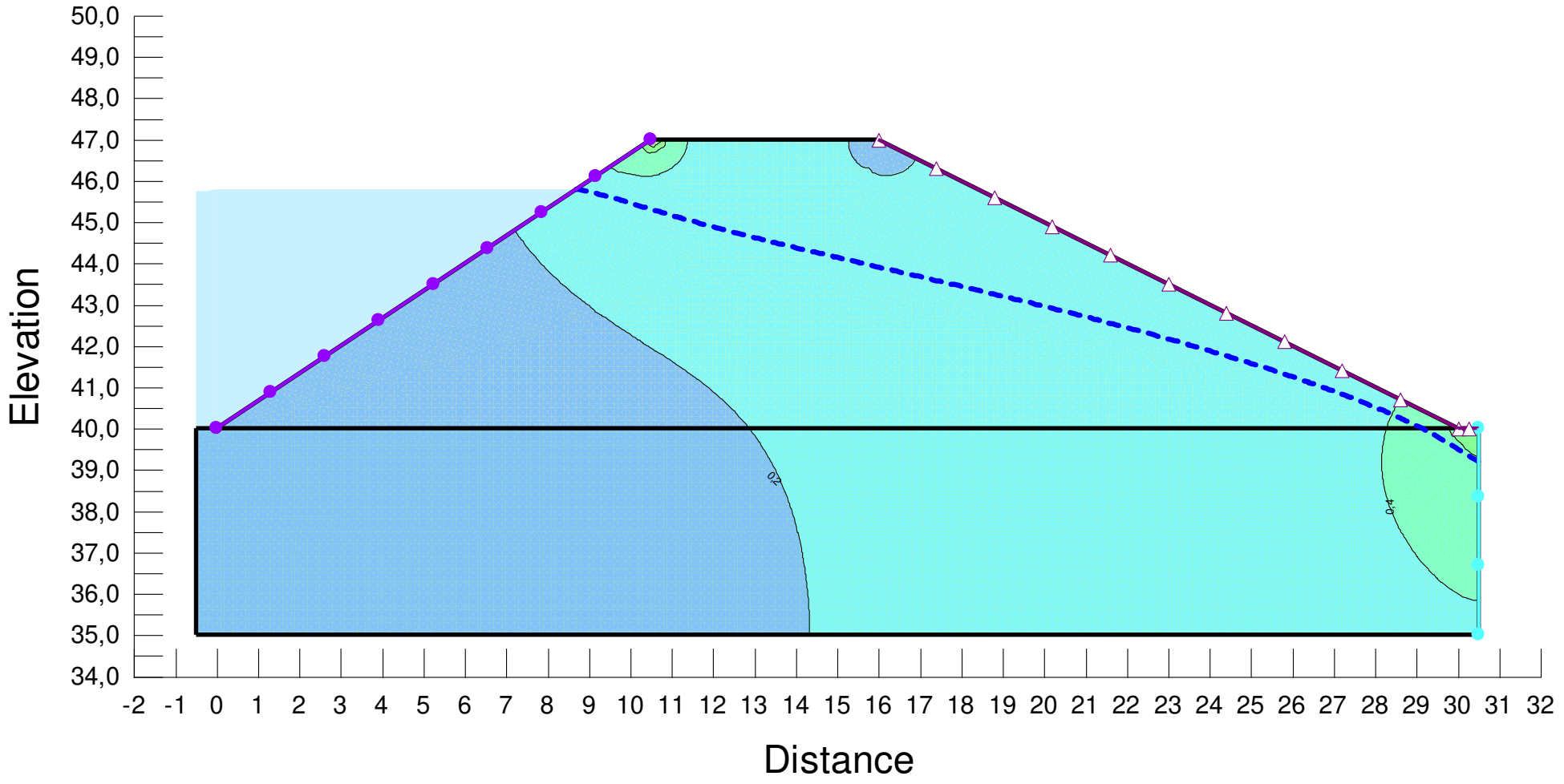



Figure 8 Regnault – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

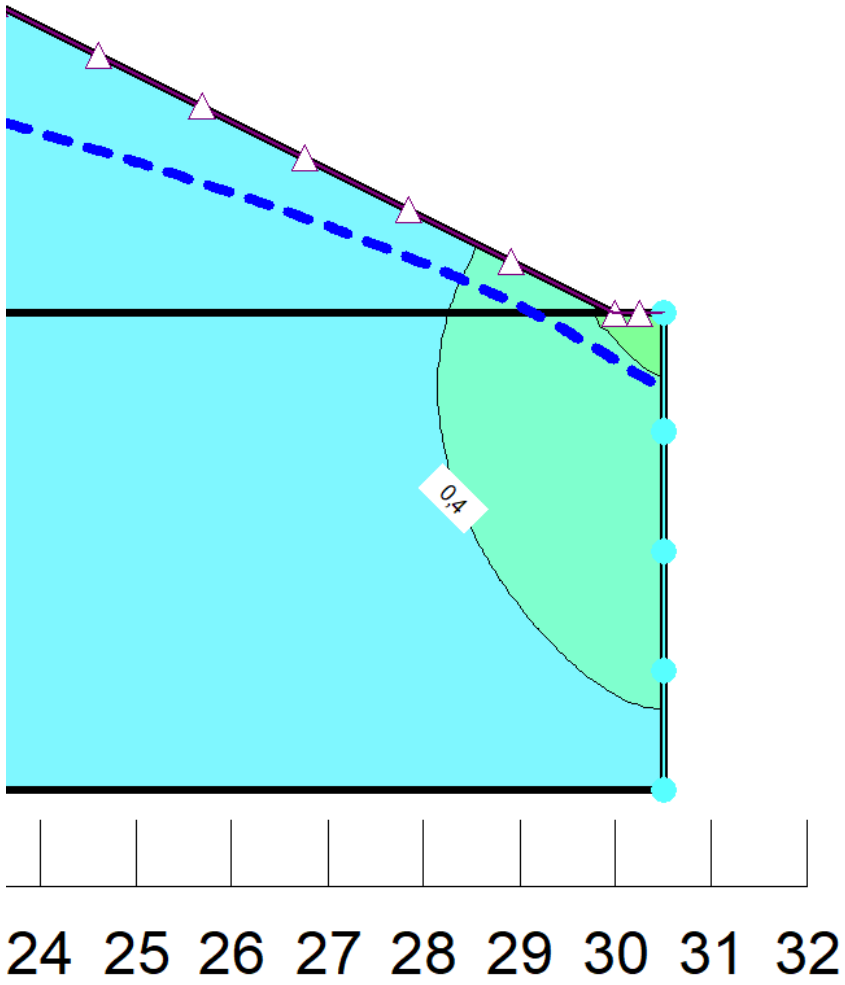



Figure 9 : Regnault – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom

### 1.3.3. Synthèse des résultats de calcul

| Regnault | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45.8 | 39,2 | 44 | non | 0.5 |

**Tableau 3 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Regnault**

## 1.4. Bassin 11 Est

### 1.4.1. Configurations étudiées

Pour le bassin Bassin 11 Est, les configurations étudiées sont les suivantes :

- Configuration n°1 : remplissage au niveau maximal d'exploitation 48,2 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39 m NGF) ;
- Configuration n°2 : remplissage au niveau maximal d'exploitation 48,2 m NGF et charge hydraulique à l'aval correspondant au relevé piézométrique du 16/10/2020 (38,7 m NGF) ;

### 1.4.2. Configuration n°1 :

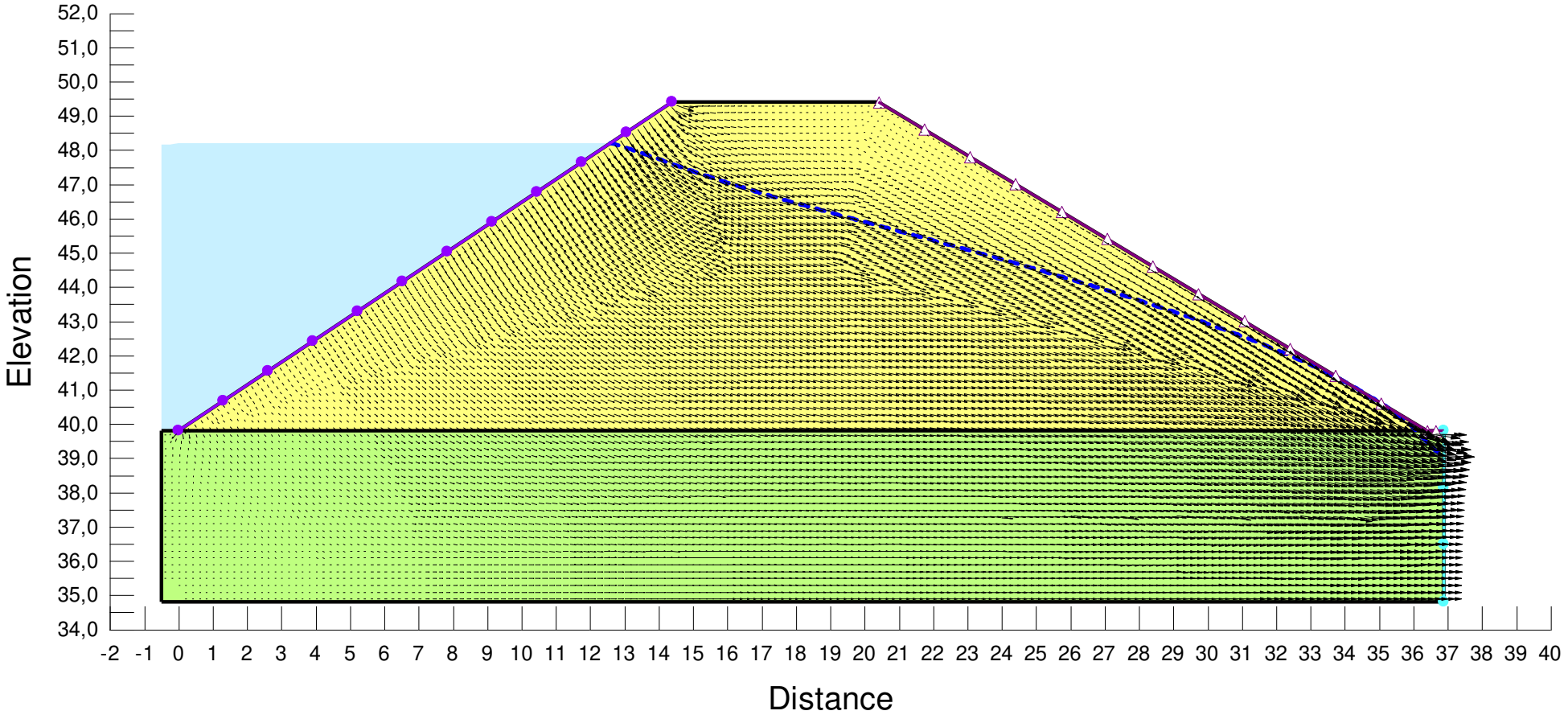



Figure 10 : Bassin 11 Est - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

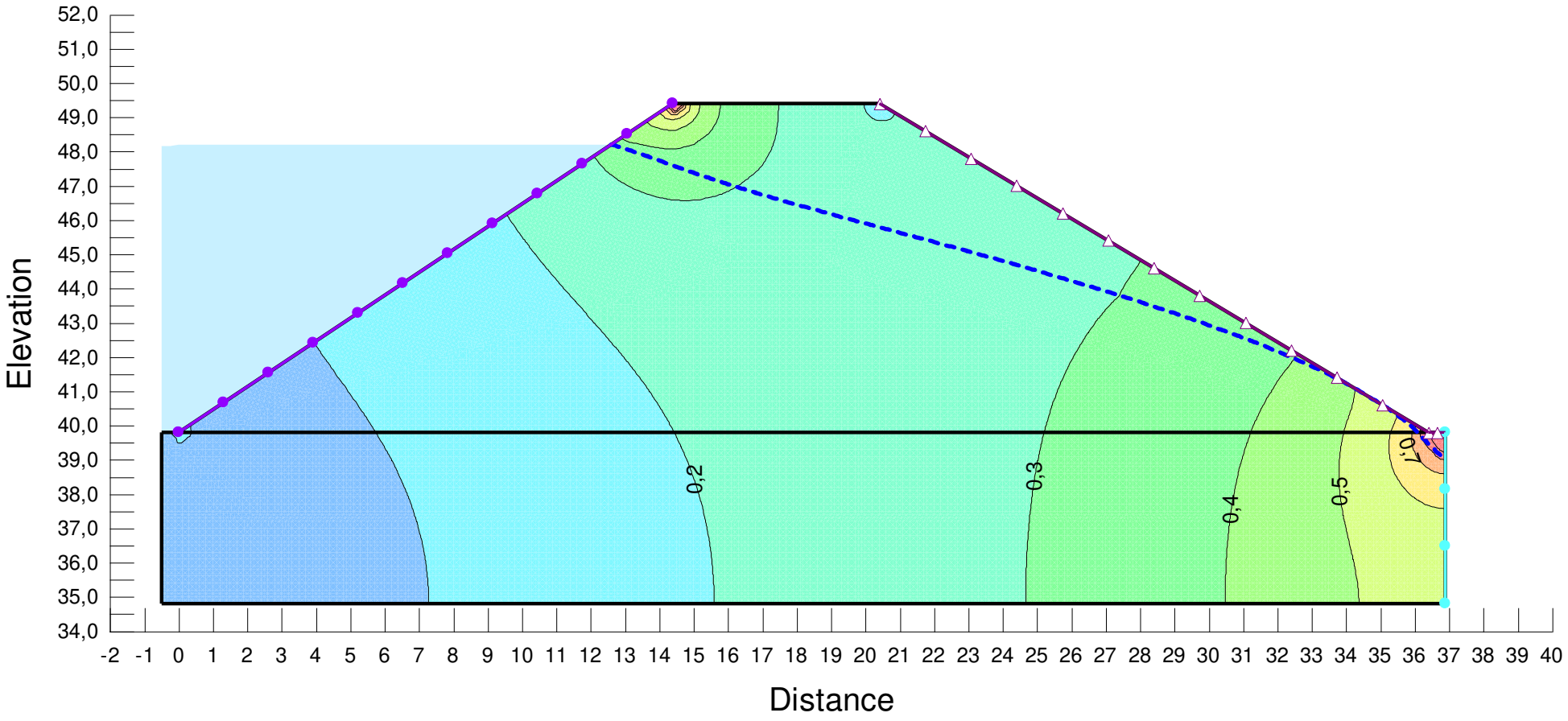



Figure 11 Bassin 11 Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

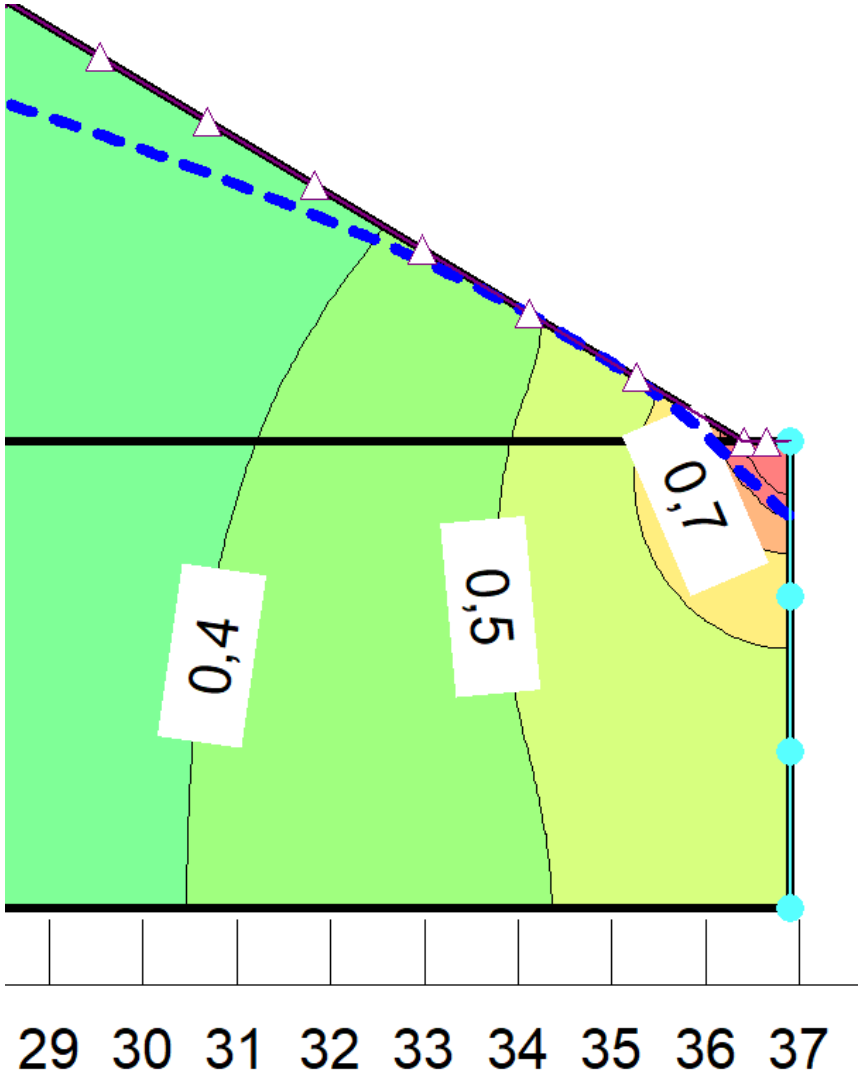



**Figure 12 : Bassin 11 Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.4.3. Configuration n°2 :

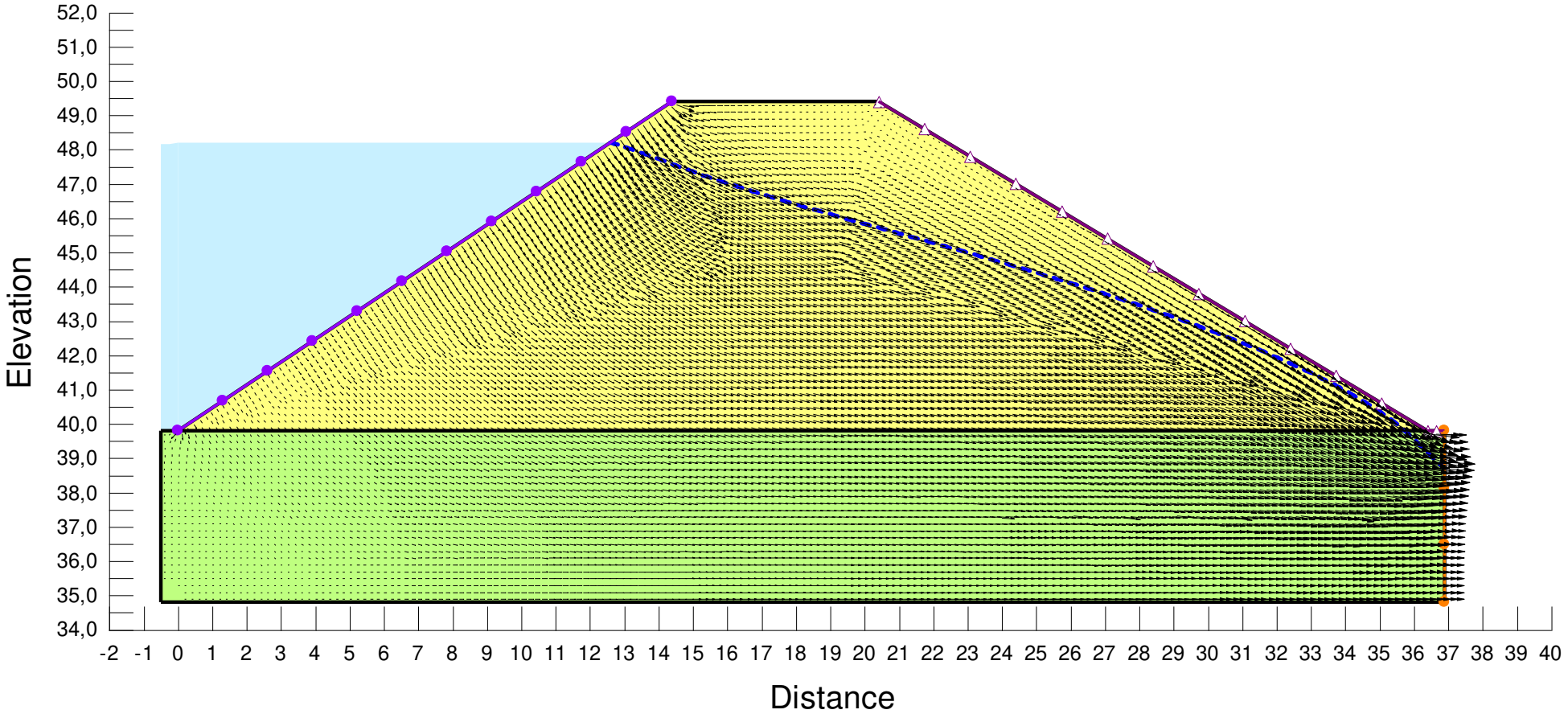



Figure 13 : Bassin 11 Est - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau 38,7 m NGF - Niveau maximum d'exploitation

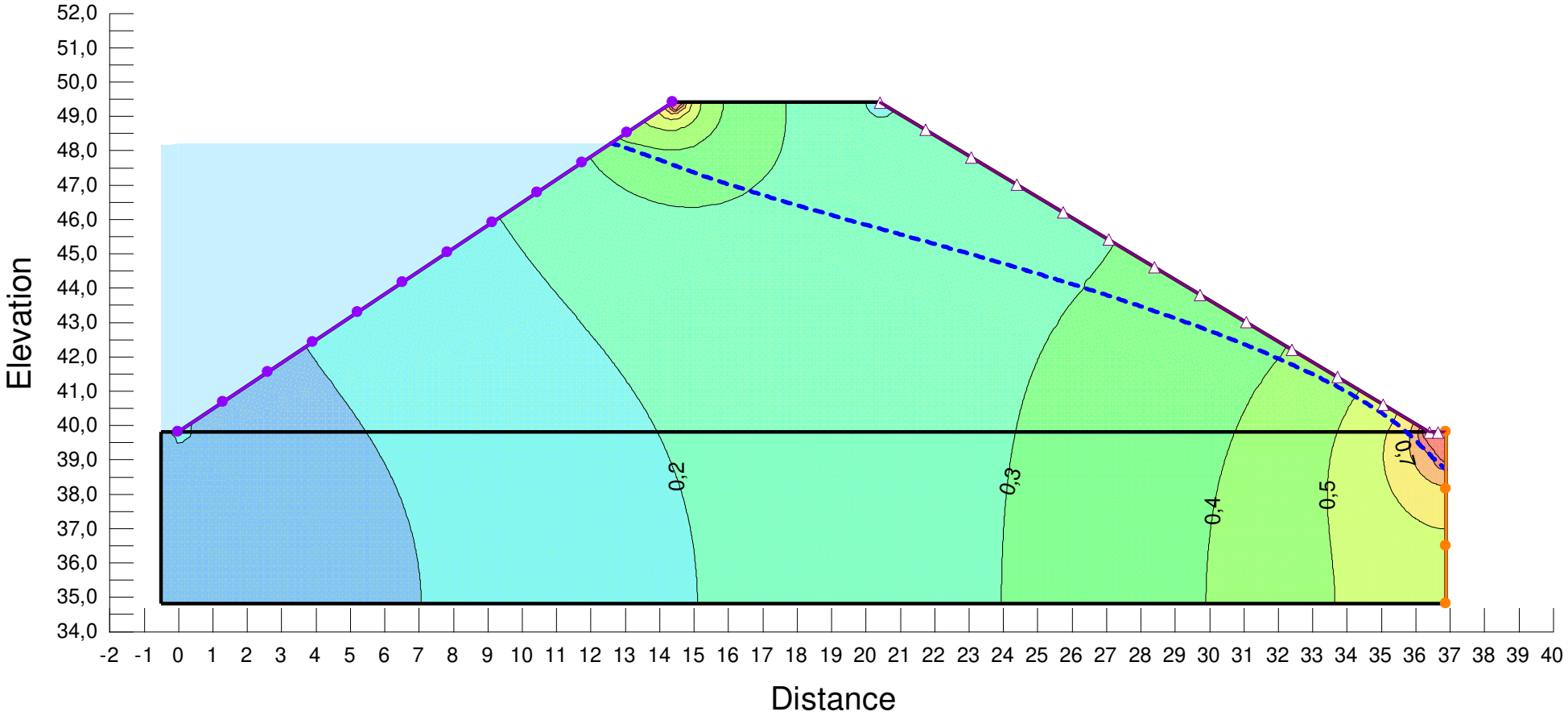



**Figure 14 Bassin 11 Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau 38,7 m NGF - Niveau maximum d'exploitation**

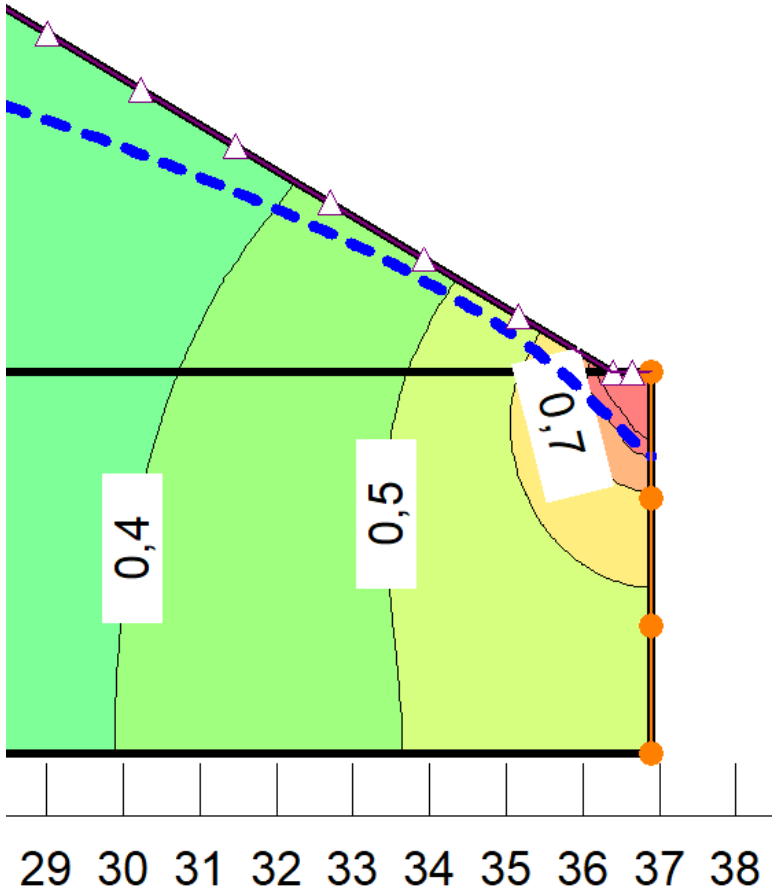



**Figure 15 : Bassin 11 Est – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau 38,7 m NGF - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.4.4. Synthèse des résultats de calcul

| Bassin 11 Est | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Hauteur de suintement (m NGF) | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 48.2 | 39 | 45.9 | oui | 41,8 m NGF<br>soit 2 m au-dessus du TN | 0.7 |
| N°2 | 48.2 | 38.7 | 45.8 | non | / | 0.7 |

**Tableau 4 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Bassin 11 Est**

## 1.5. Recyclage Ouest

### 1.5.1. Configuration étudiée

Pour le bassin Recyclage Ouest, la configuration étudiée est la suivante :

- Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,7 m NGF) ;

### 1.5.2. Résultats

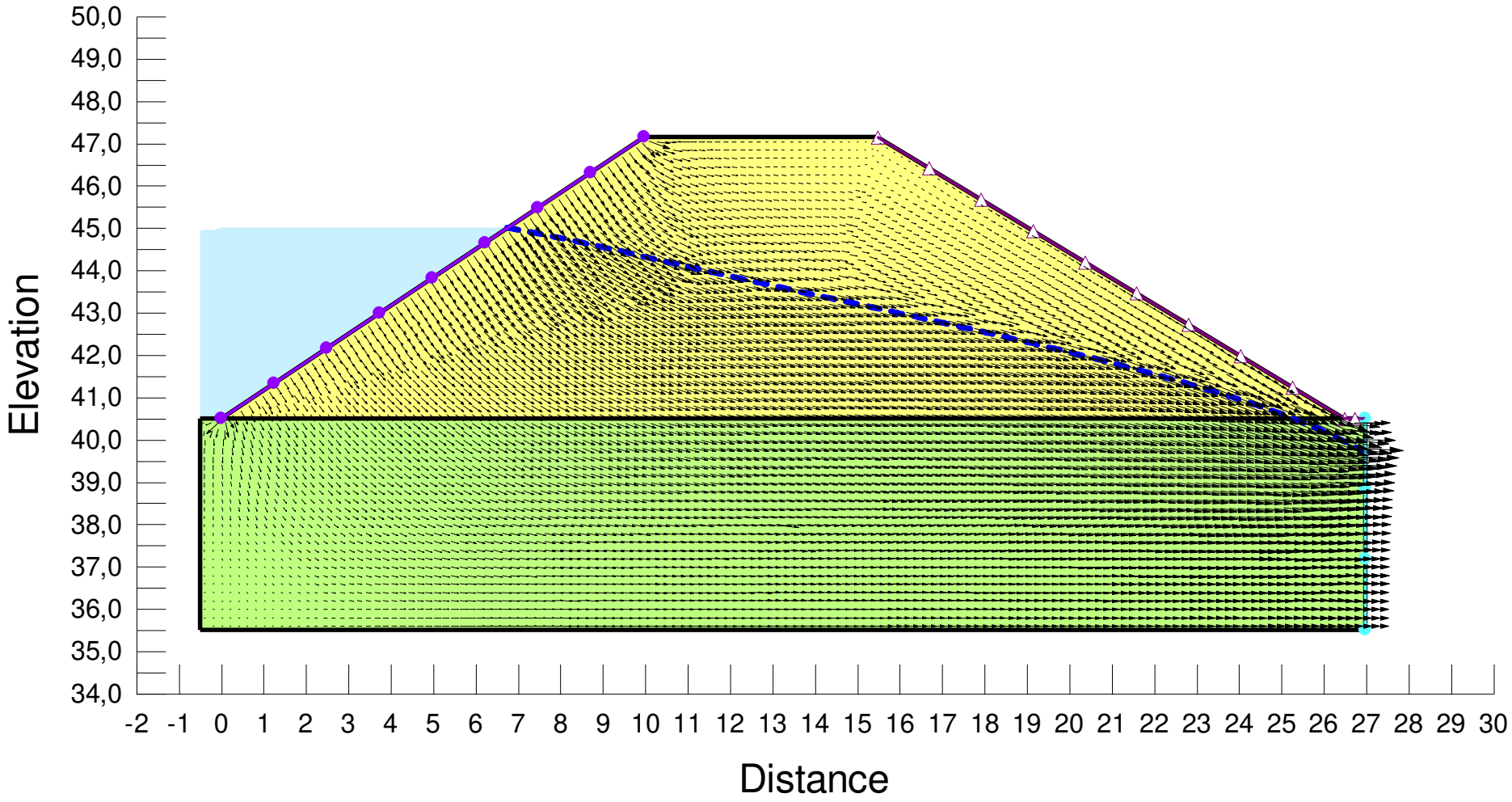



Figure 16 : Recyclage Ouest - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

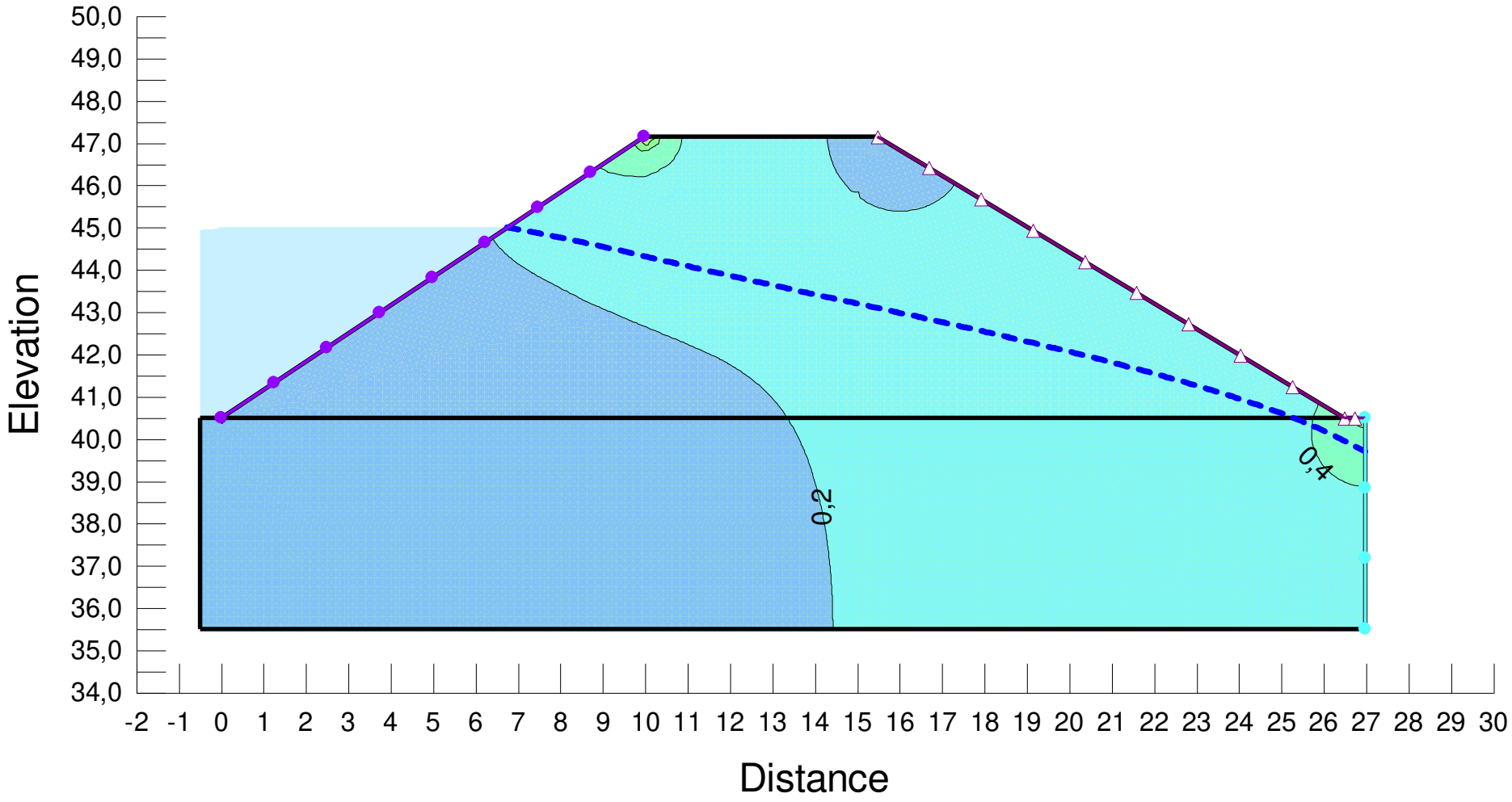



Figure 17 : Recyclage Ouest– Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

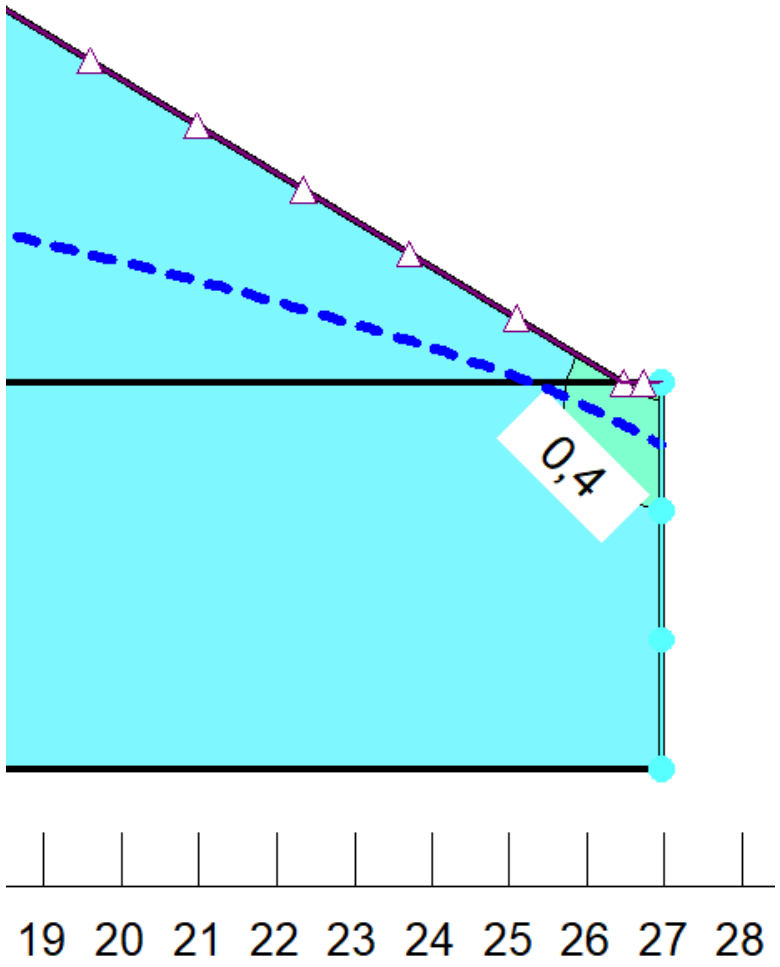



**Figure 18 : Recyclage Ouest – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.5.3. Synthèse des résultats de calcul

| Recyclage Ouest | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45 | 39.7 | 43.2 | non | 0.4 |

**Tableau 5 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Recyclage Ouest**

## 1.6. Recyclage Nord

### 1.6.1. Configurations étudiées

Pour le bassin Recyclage Nord, les configurations étudiées sont les suivantes :

- Configuration n°1 : remplissage au niveau maximal d'exploitation 45 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,5 m NGF) ;
- Configuration n°2 : remplissage au niveau maximal d'exploitation 45 m NGF et charge hydraulique à l'aval correspondant au relevé piézométrique du 08/10/2020 38,8 m NGF ;
- Configuration n°3 : remplissage au niveau 43,9 m NGF (correspondant au niveau de remplissage actuel) et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,5 m NGF) ;

### 1.6.2. Configuration n°1 :

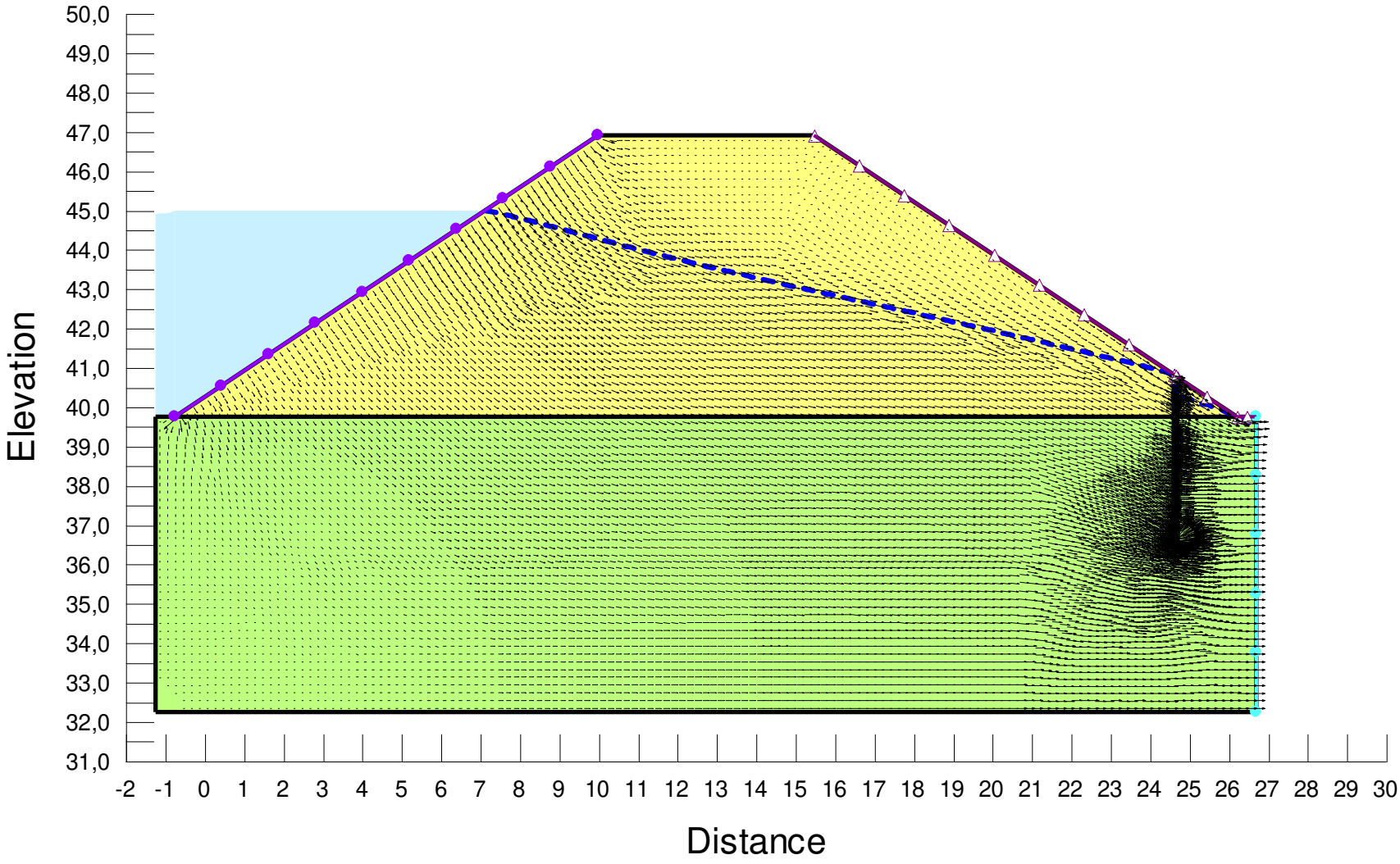



Figure 19 : Recyclage Nord - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

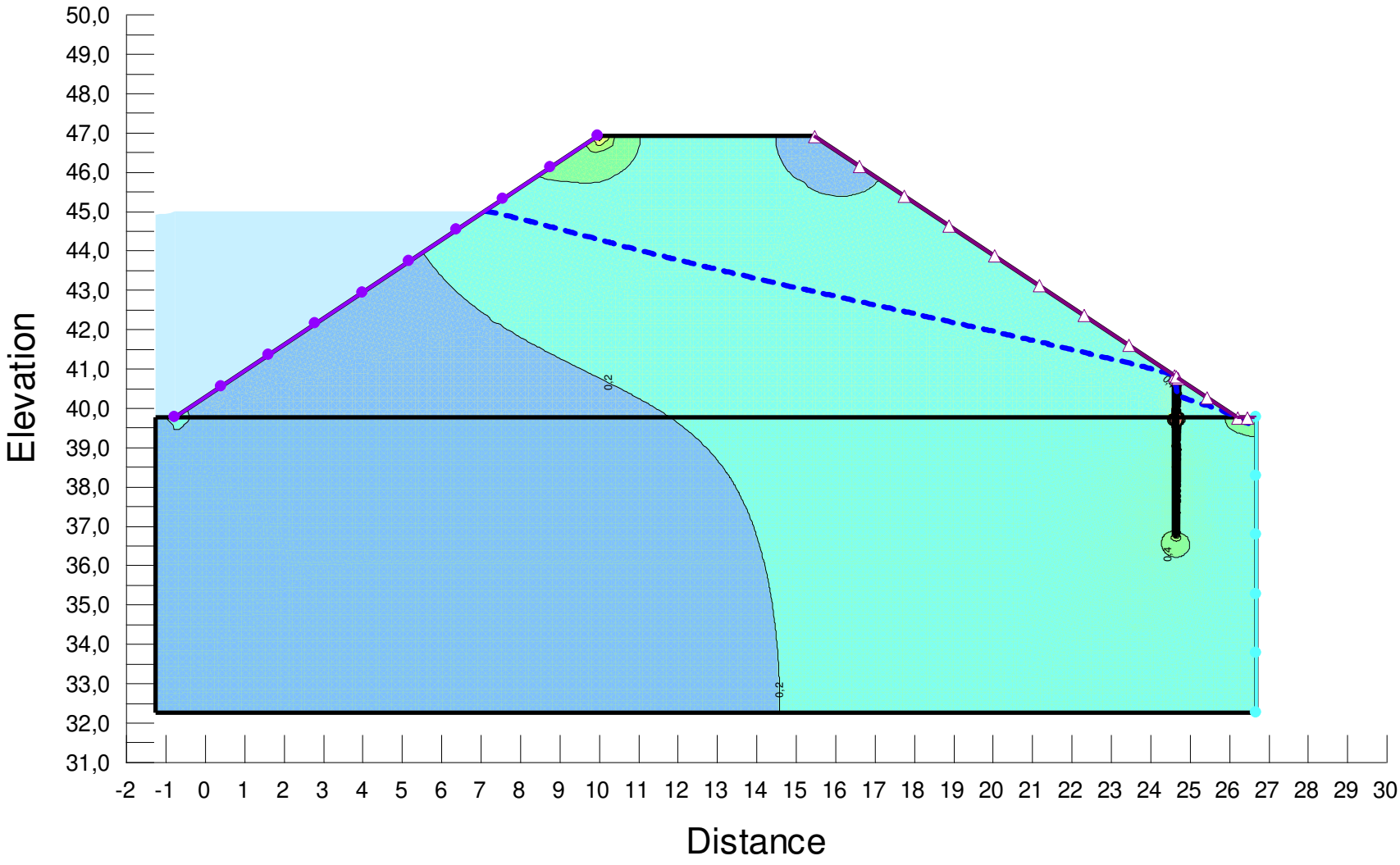



Figure 20 : Recyclage Nord– Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

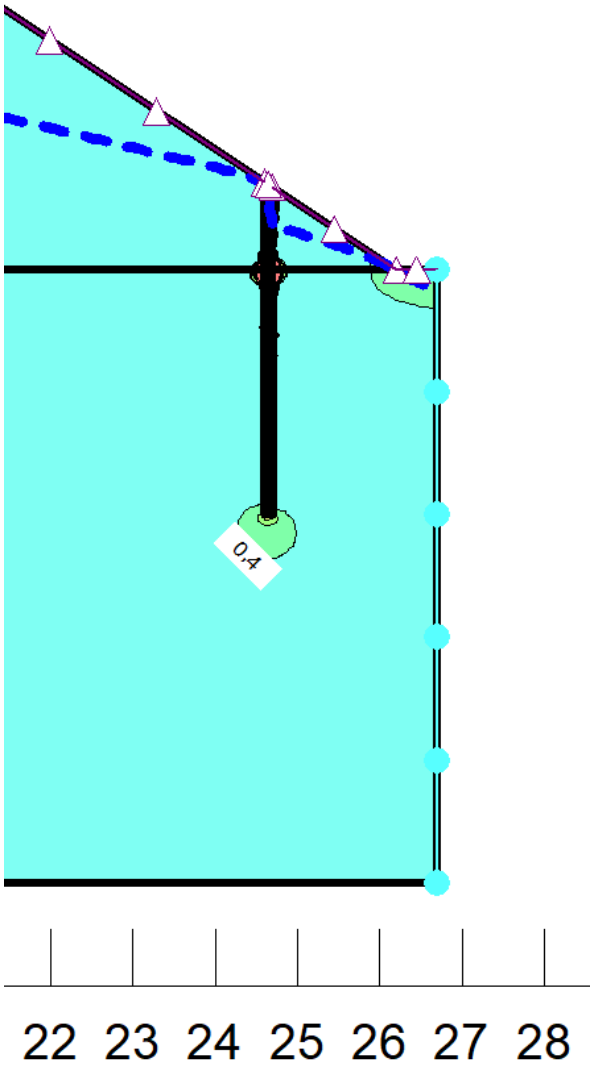



**Figure 21 : Recyclage Nord – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.6.3. Configuration n°2 :

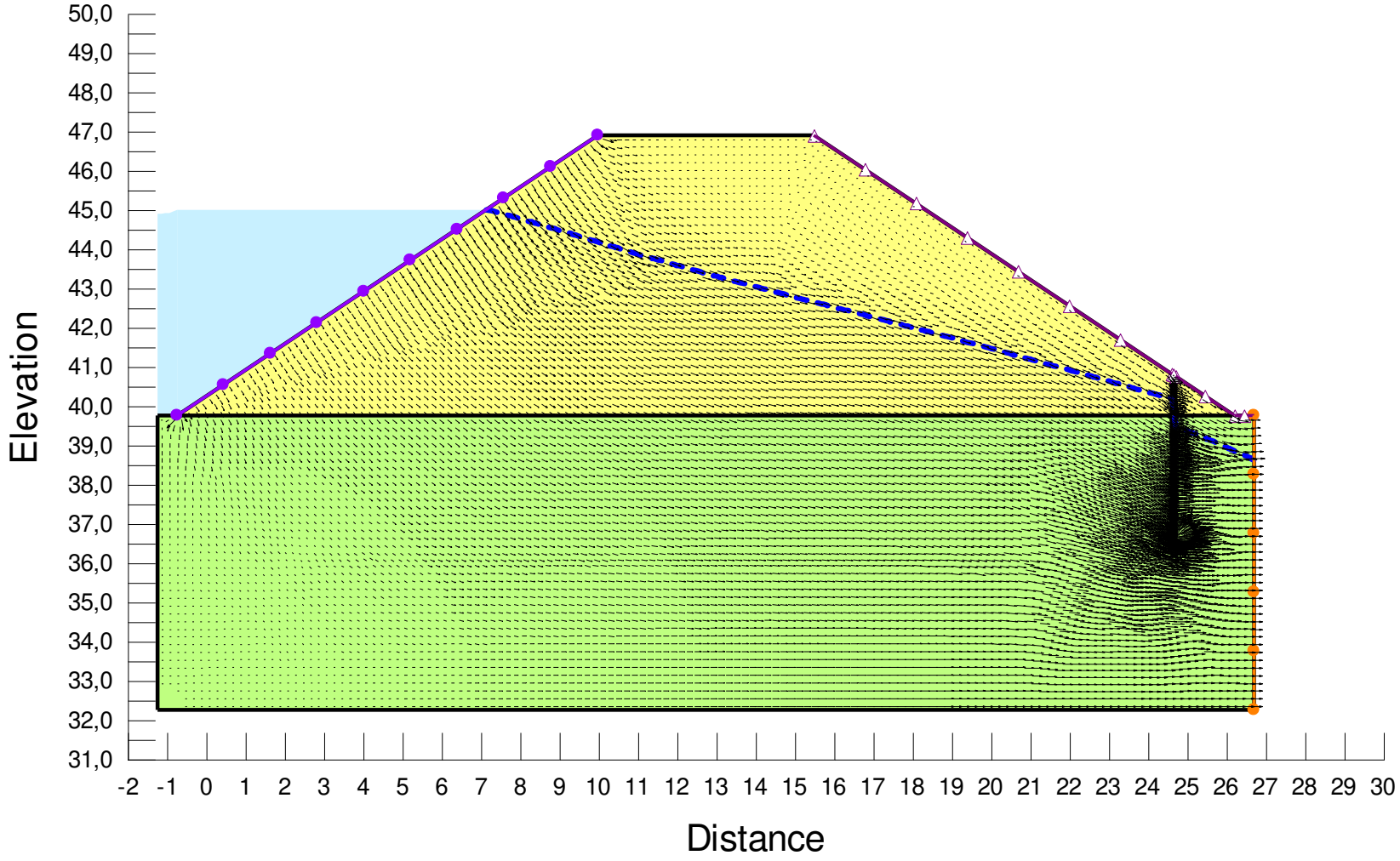



Figure 22 : Recyclage Nord - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau 38,8 m NGF - Niveau maximum d'exploitation

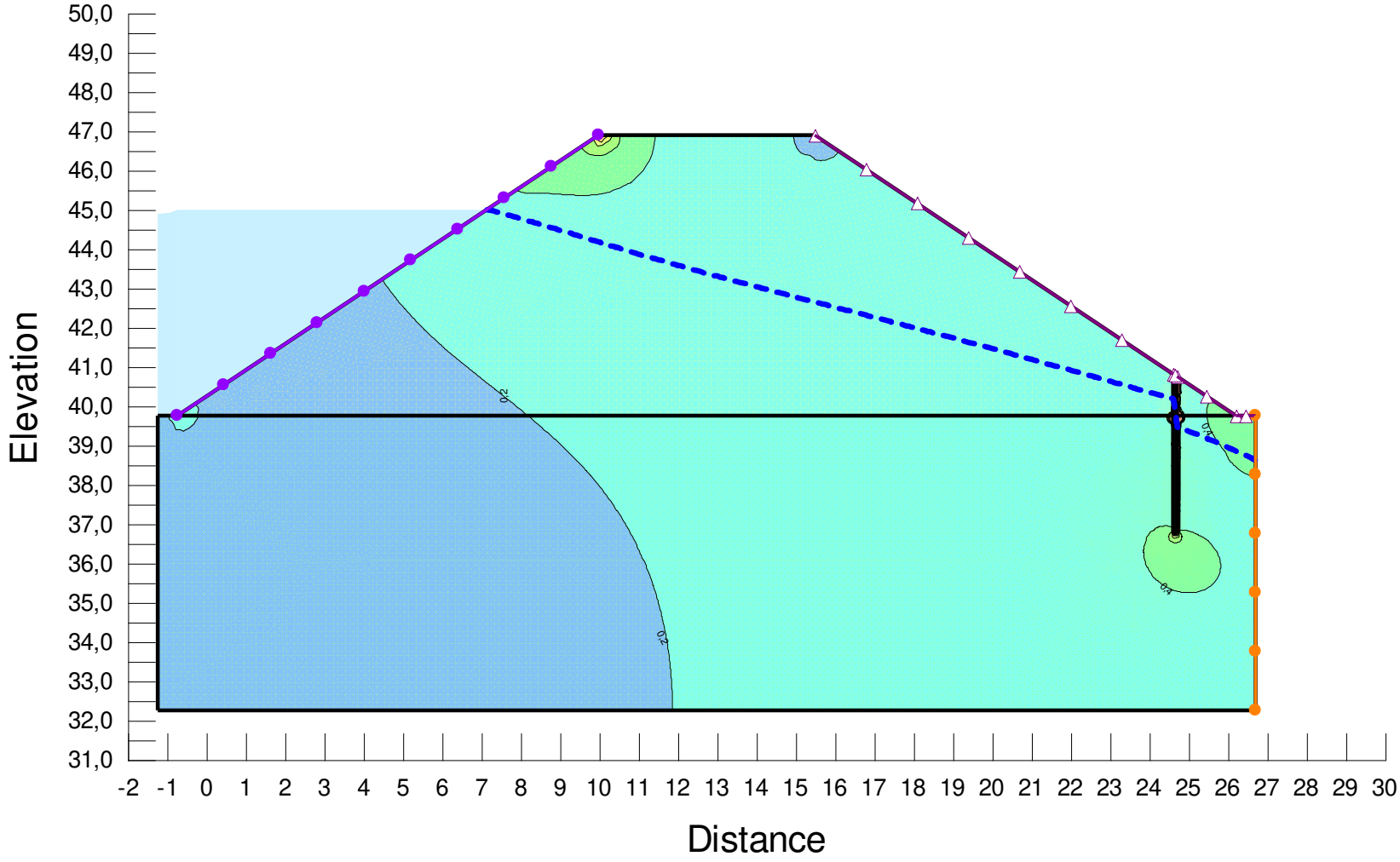



Figure 23 : Recyclage Nord– Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau 38,8 m NGF - Niveau maximum d'exploitation

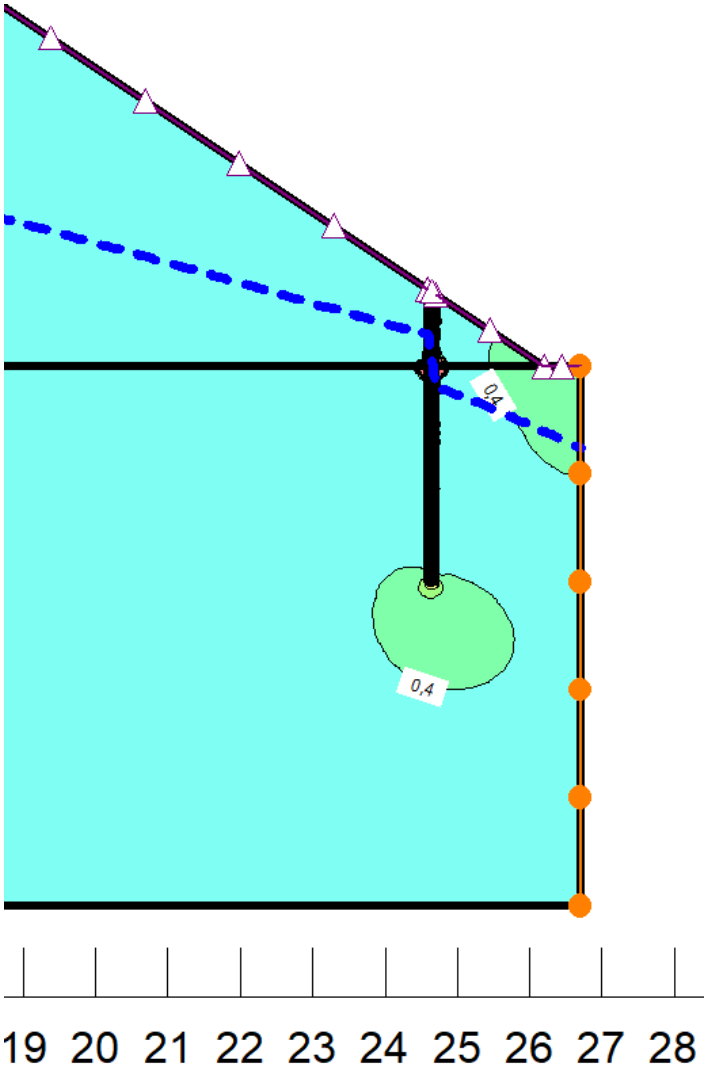



**Figure 24 : Recyclage Nord – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau 38,8 m NGF - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.6.4. Configuration n°3 :

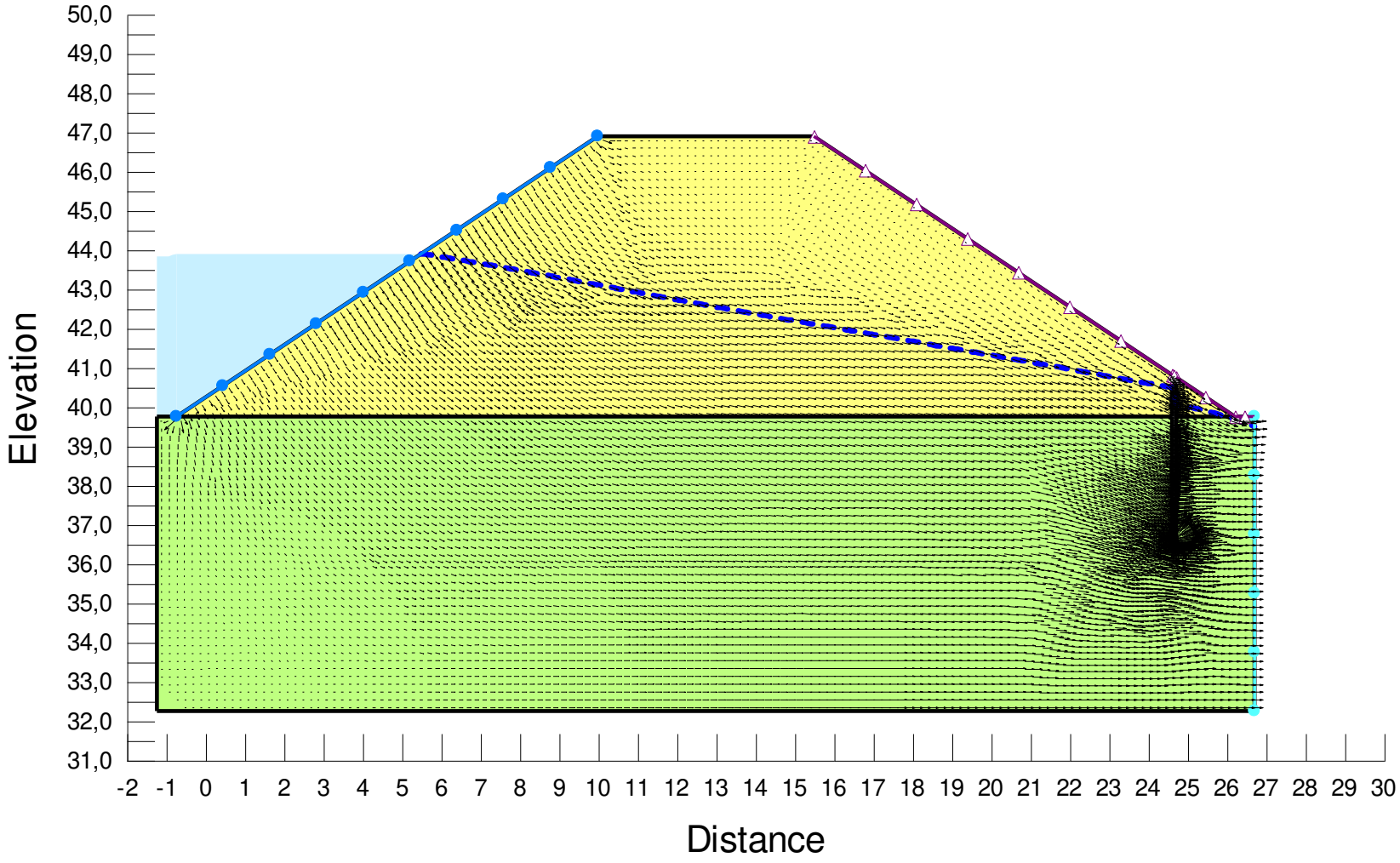



Figure 25 : Recyclage Nord - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau de remplissage 43,9 m NGF

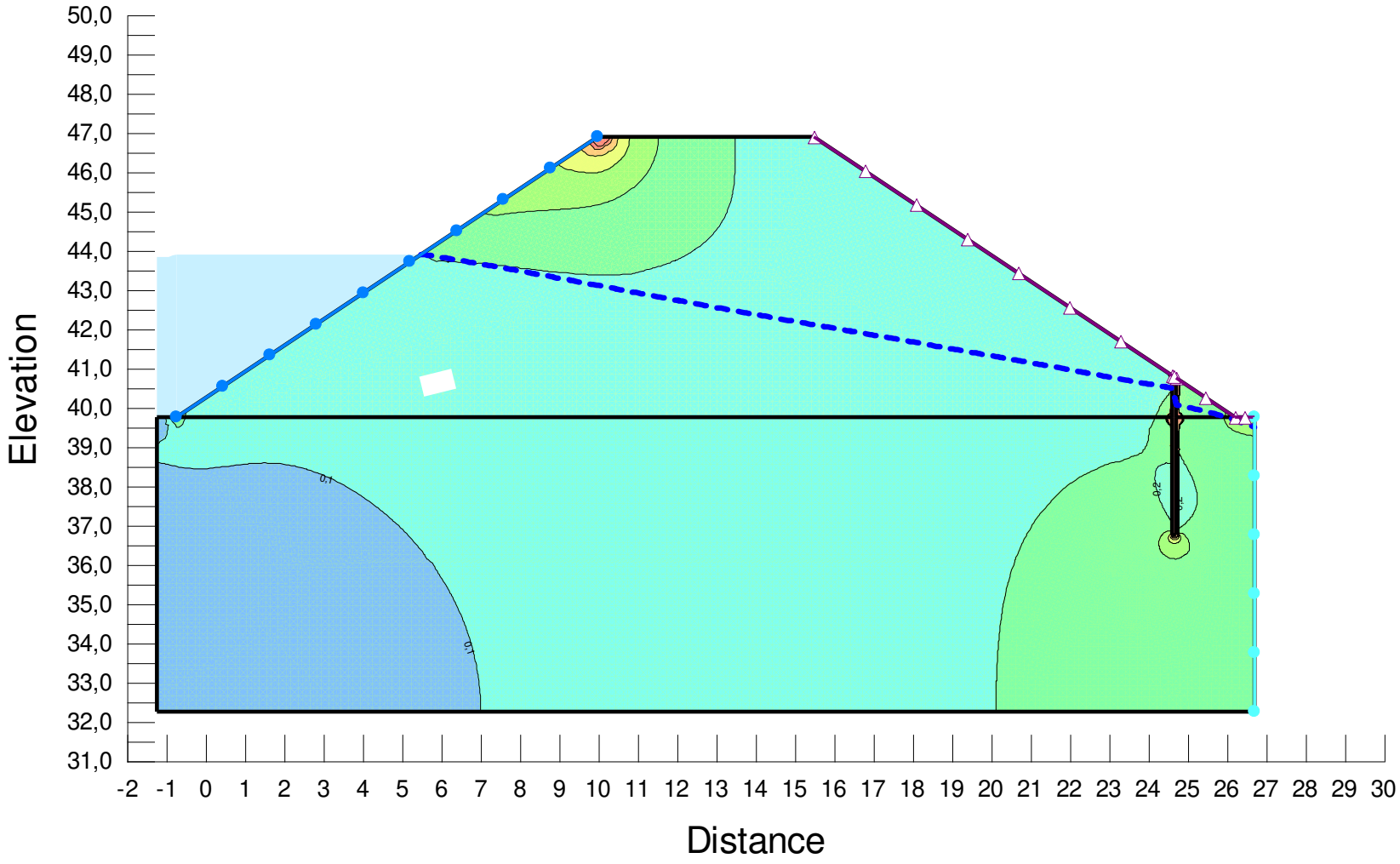



Figure 26 : Recyclage Nord– Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau de remplissage 43,9 m NGF

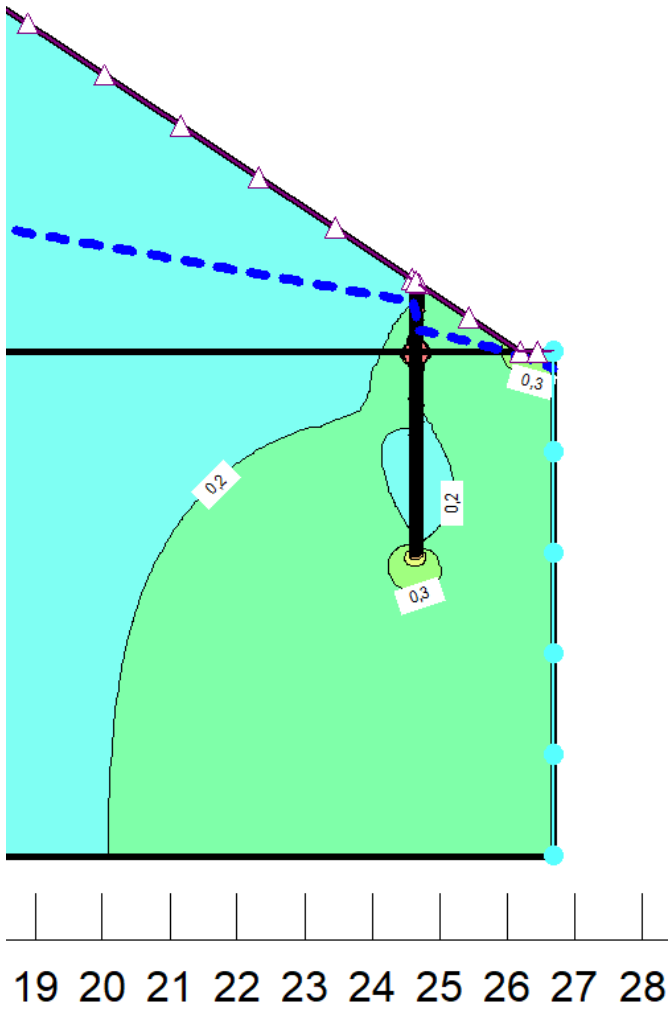



**Figure 27 : Recyclage Nord – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau de remplissage 43,9 m NGF – Zoom**

### 1.6.5. Synthèse des résultats de calcul

| Recyclage Nord | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Hauteur de suintement (m) | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 45 | 39.5 | 43 | oui | 0.1 (en amont de la palplanche) | 0.4 |
| N°2 | 45 | 38.8 | 42.8 | non | / | 0.4 |
| N°3 | 43.9 | 39.5 | 42.1 | non | / | 0.3 |

**Tableau 6 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Recyclage Nord**

## 1.7. Bassin 10

### 1.7.1. Configuration étudiée

Pour le bassin 10, la configuration étudiée est la suivante :

- Remplissage au niveau maximal d'exploitation 46,3 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (38,5 m NGF)

### 1.7.2. Résultats

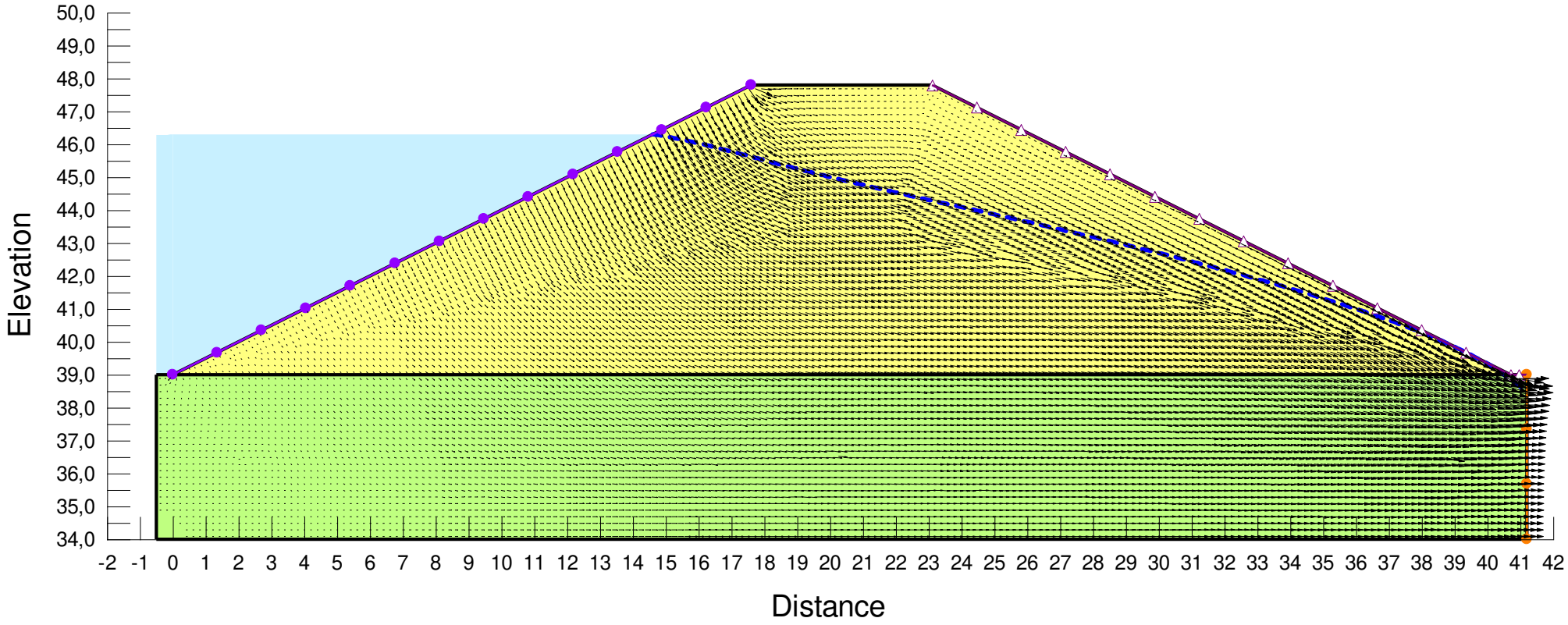



Figure 28 : Bassin 10 - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

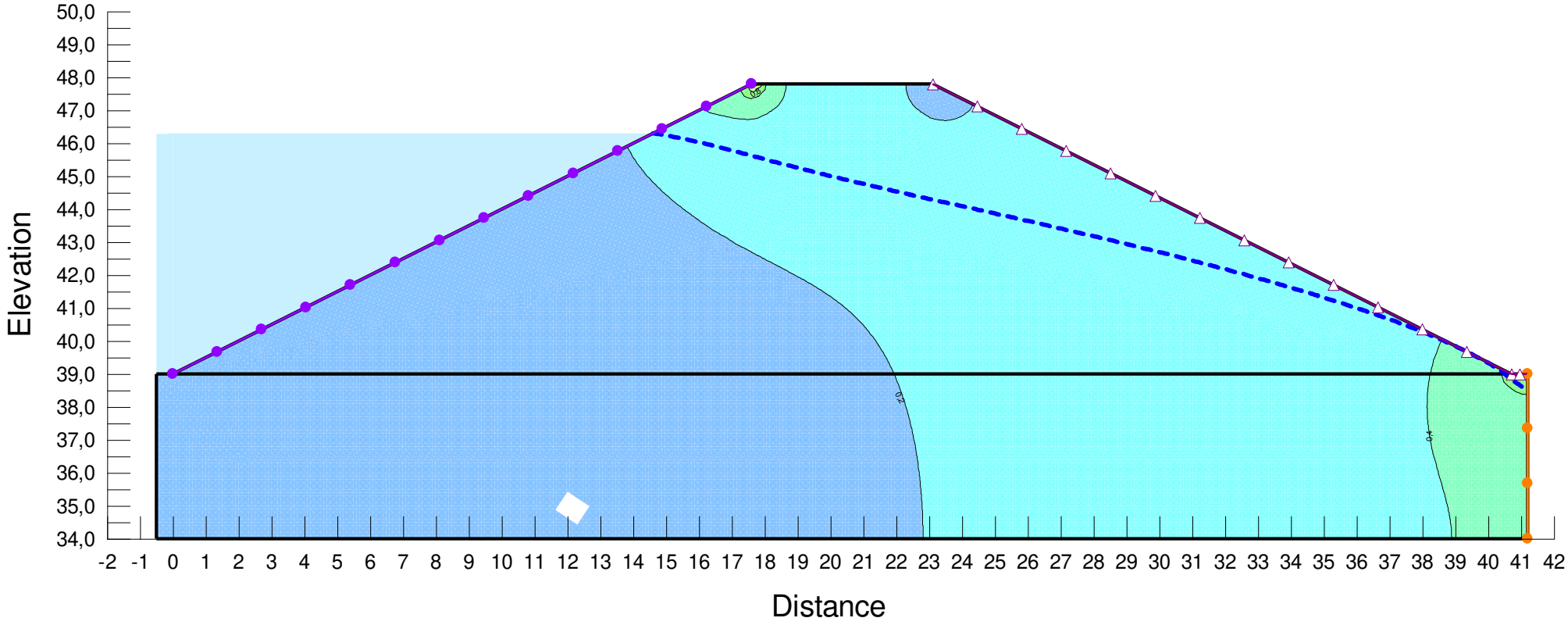



Figure 29 : Bassin 10 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation

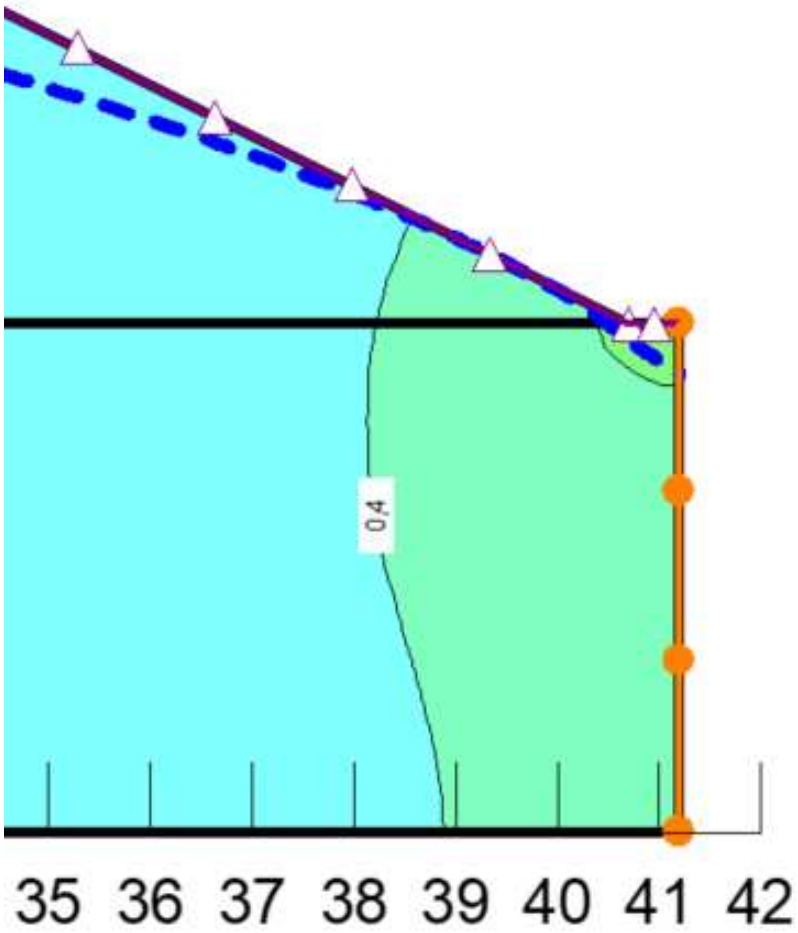



**Figure 30 : Bassin 10 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom**

### 1.7.3. Synthèse des résultats de calcul

| Bassin 10 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 | 46.3 | 38.5 | 44.4 | Oui (39.8 m NGF) | 0.6 |

**Tableau 7 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Bassin 10**

## 1.1. Lebrun 1

### 1.1.1. Configurations étudiées

Pour le bassin Lebrun 1, les configurations étudiées sont les suivantes :

- Configuration n°1 : Situation avant la mise en œuvre de la paroi Trenchmix :
  - Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45,3 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,2 m NGF) ;

- Configuration n°2 : Situation après la mise en œuvre de la paroi Trenchmix :
  - Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45,3 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39,2 m NGF) ;

### 1.1.2. Configuration n°1 : Sans paroi Trenchmix

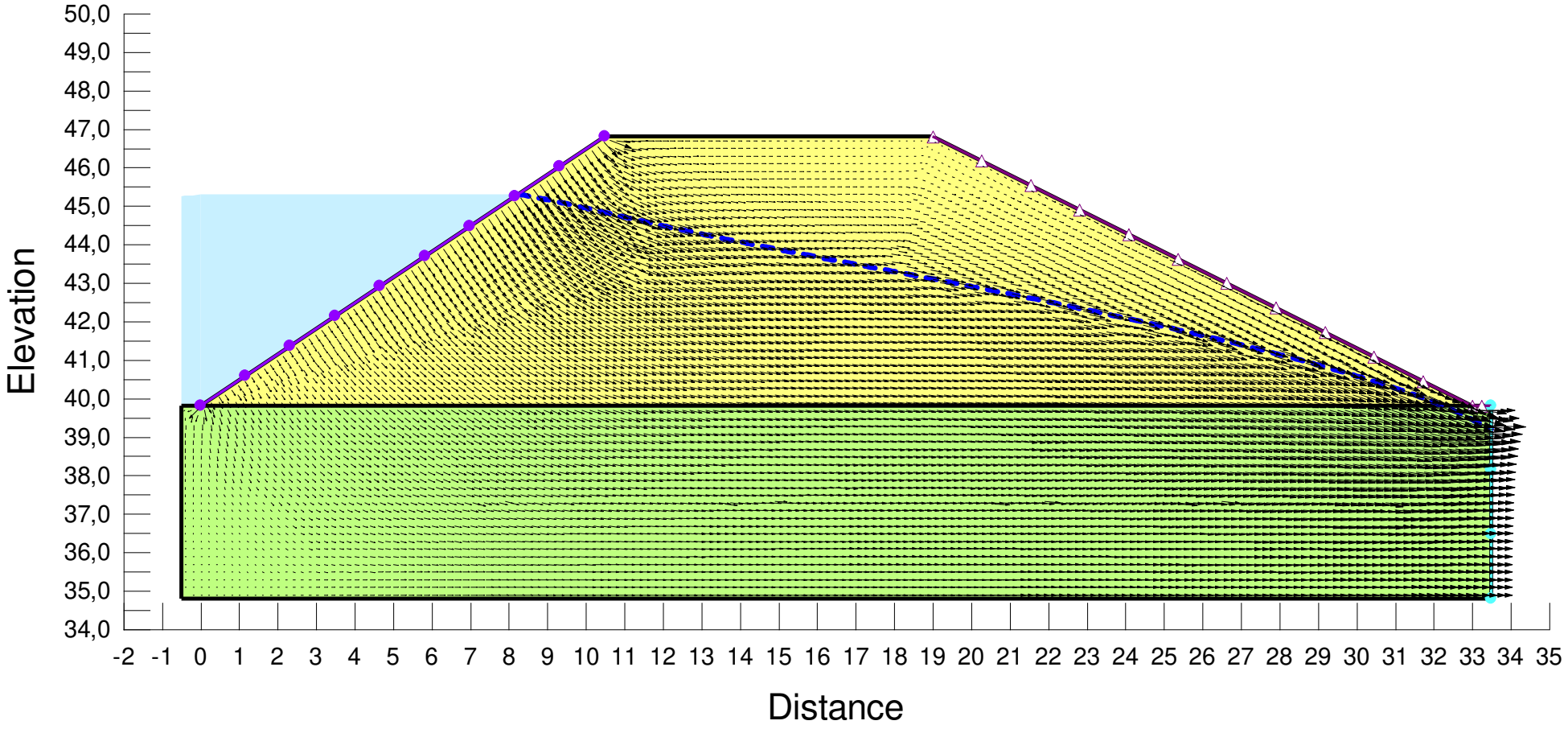



Figure 1 : Lebrun 1 - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Sans paroi Trenchmix

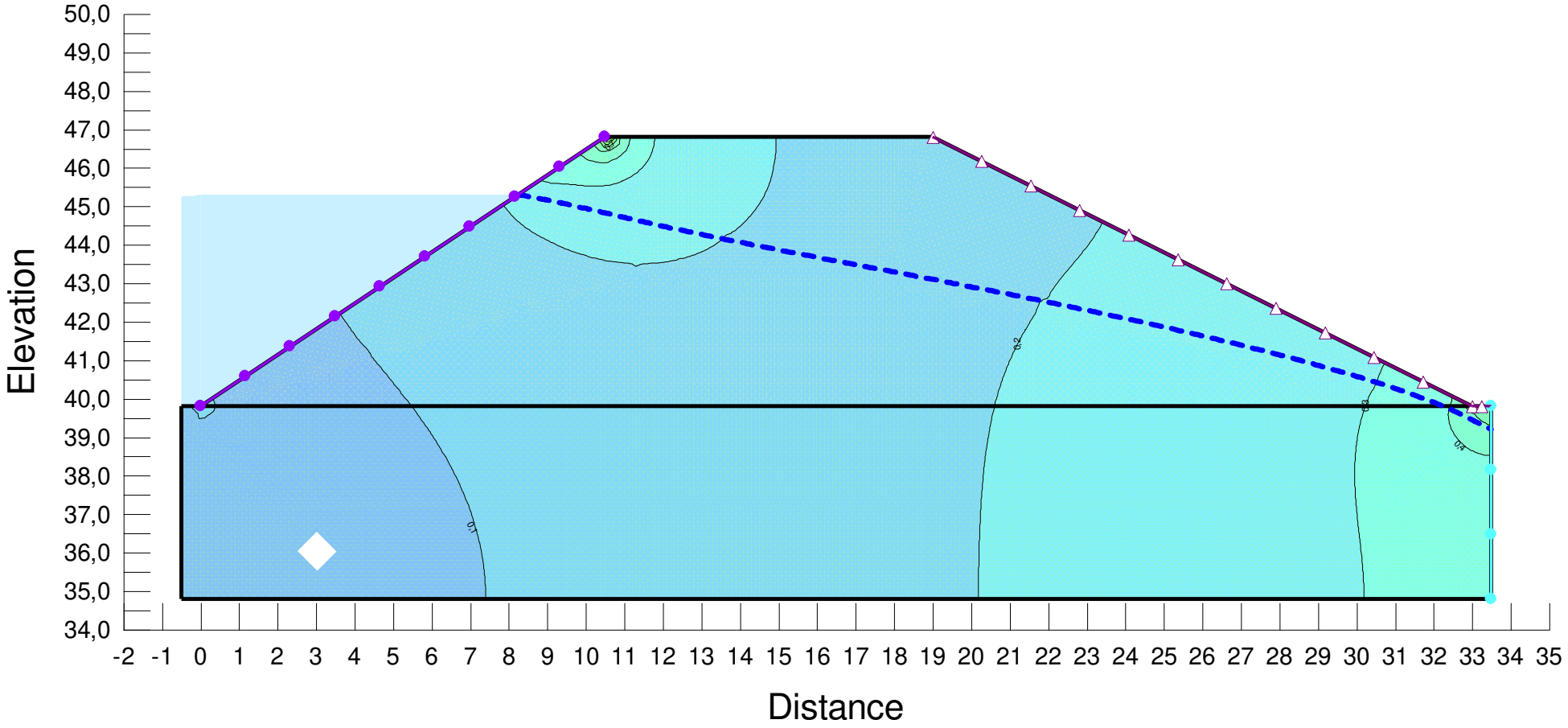



**Figure 2 : Lebrun 1 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Sans paroi Trenchmix**

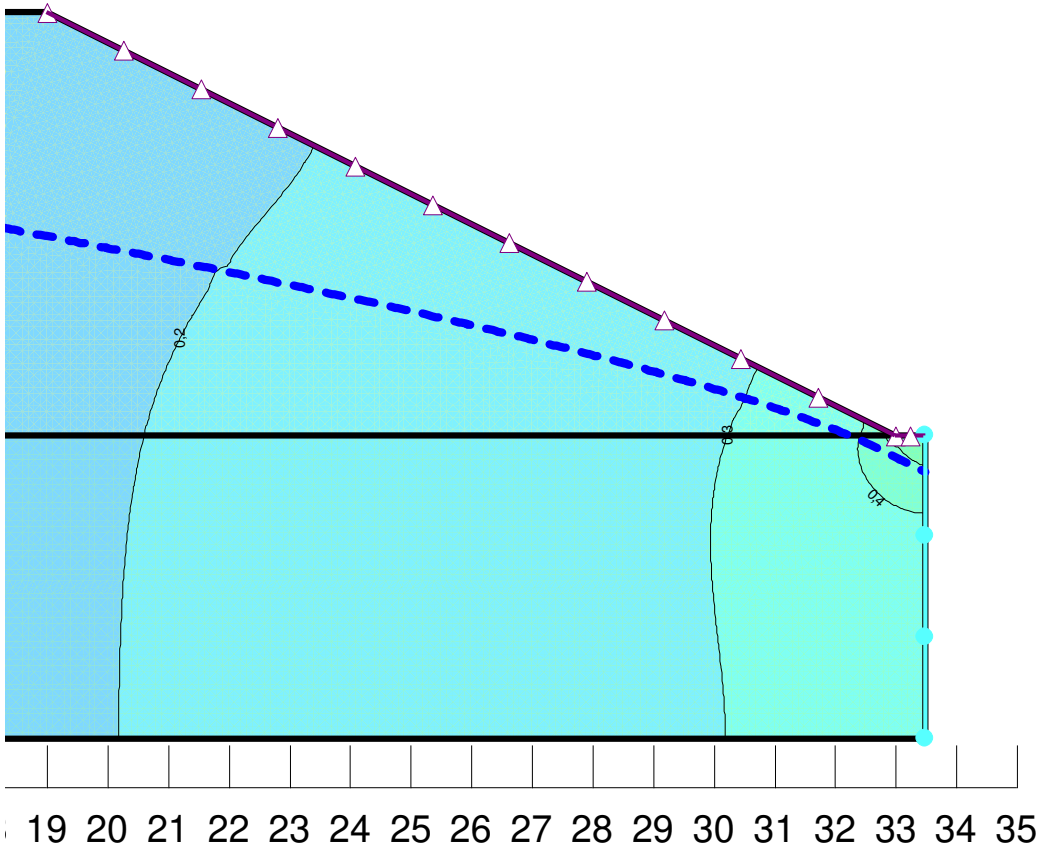



**Figure 3 : Lebrun 1 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom – Sans paroi Trenchmix**

### 1.1.3. Configuration n°2 : Avec paroi Trenchmix

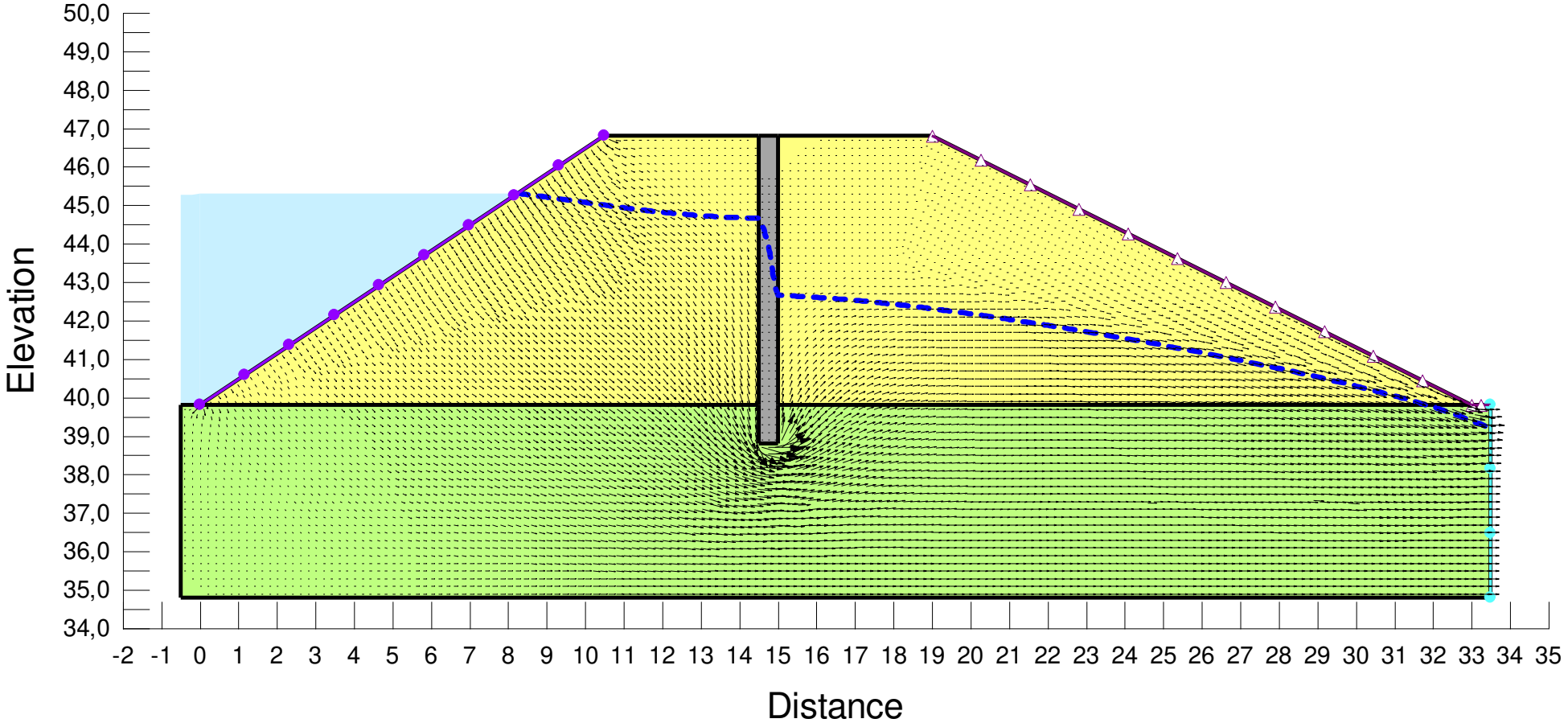



Figure 4 : Lebrun 1 - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Avec paroi Trenchmix

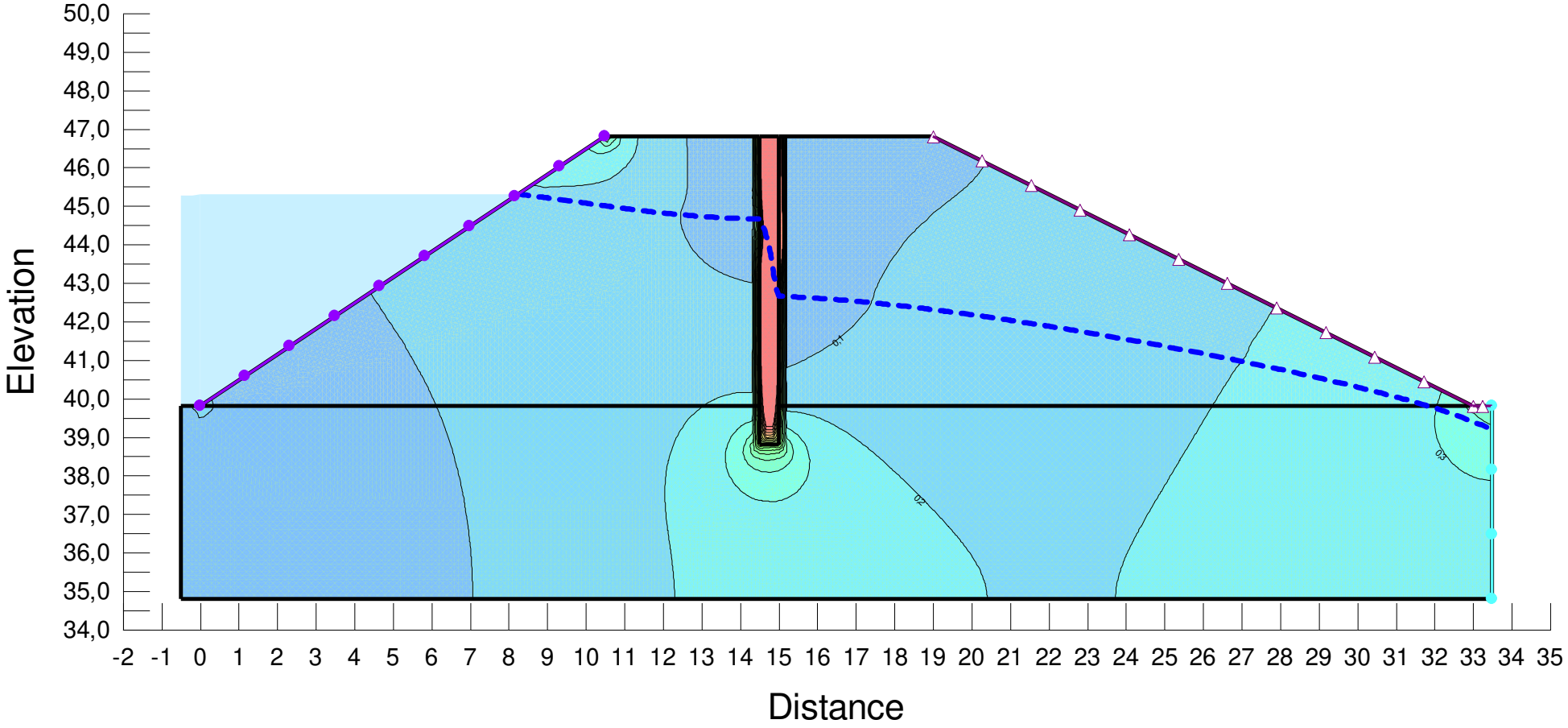



Figure 5 : Lebrun 1 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Avec paroi Trenchmix

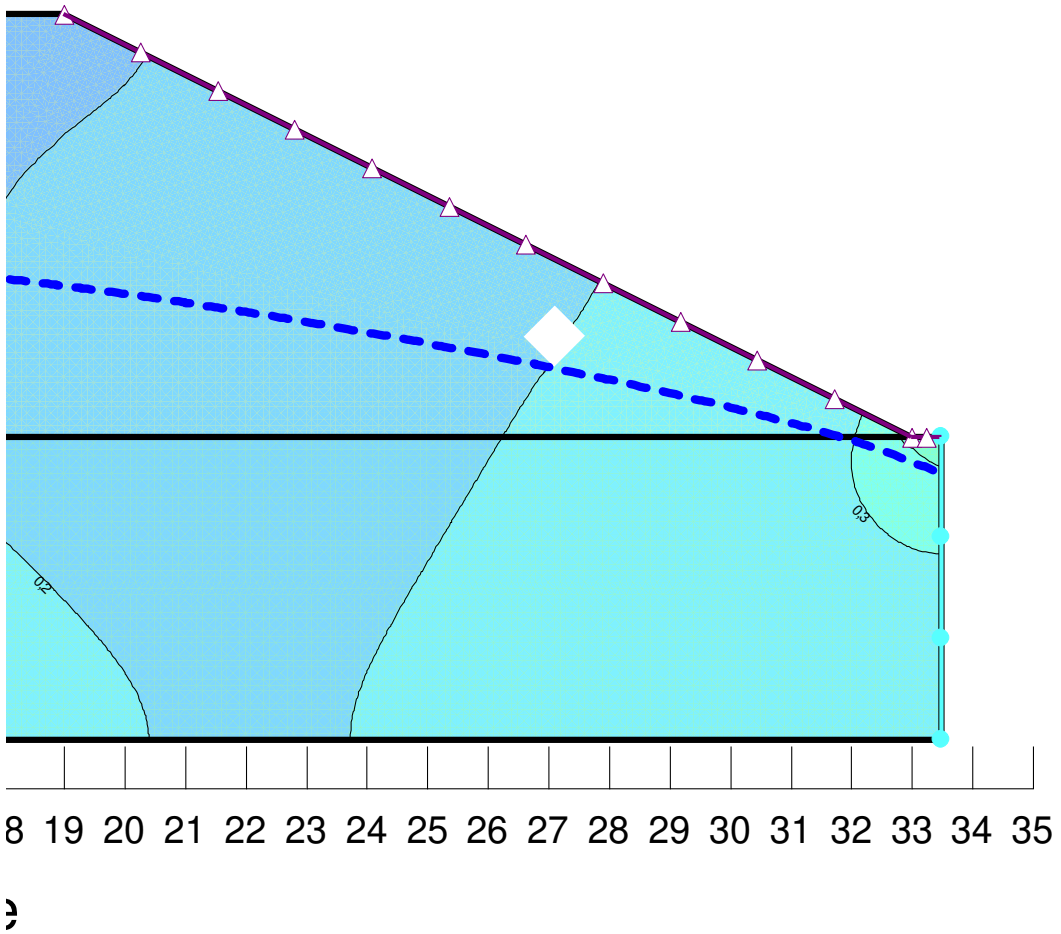



Figure 6 : Lebrun 1 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom – Avec paroi Trenchmix

### 1.1.4. Synthèse des résultats de calcul

| Lebrun 1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 : Sans paroi Trenchmix | 45.3 | 39.2 | 43.2 | non | 0.4 |
| N°2 : Avec paroi Trenchmix | | | 42.4 | non | 0.3 |

**Tableau 1 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Lebrun 1**

## 1.2. Lebrun 2

### 1.2.1. Configurations étudiées

Pour le bassin Lebrun 2, les configurations étudiées sont les suivantes :

- Configuration n°1 : Situation avant la mise en œuvre de la paroi Trenchmix :
    - Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45,3 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39 m NGF) ;

- Configuration n°2 : Situation après la mise en œuvre de la paroi Trenchmix :
    - Remplissage au niveau maximal d'exploitation 45,3 m NGF et charge hydraulique à l'aval NPHE (39 m NGF) ;

### 1.2.2. Configuration n°1 : Sans paroi Trenchmix

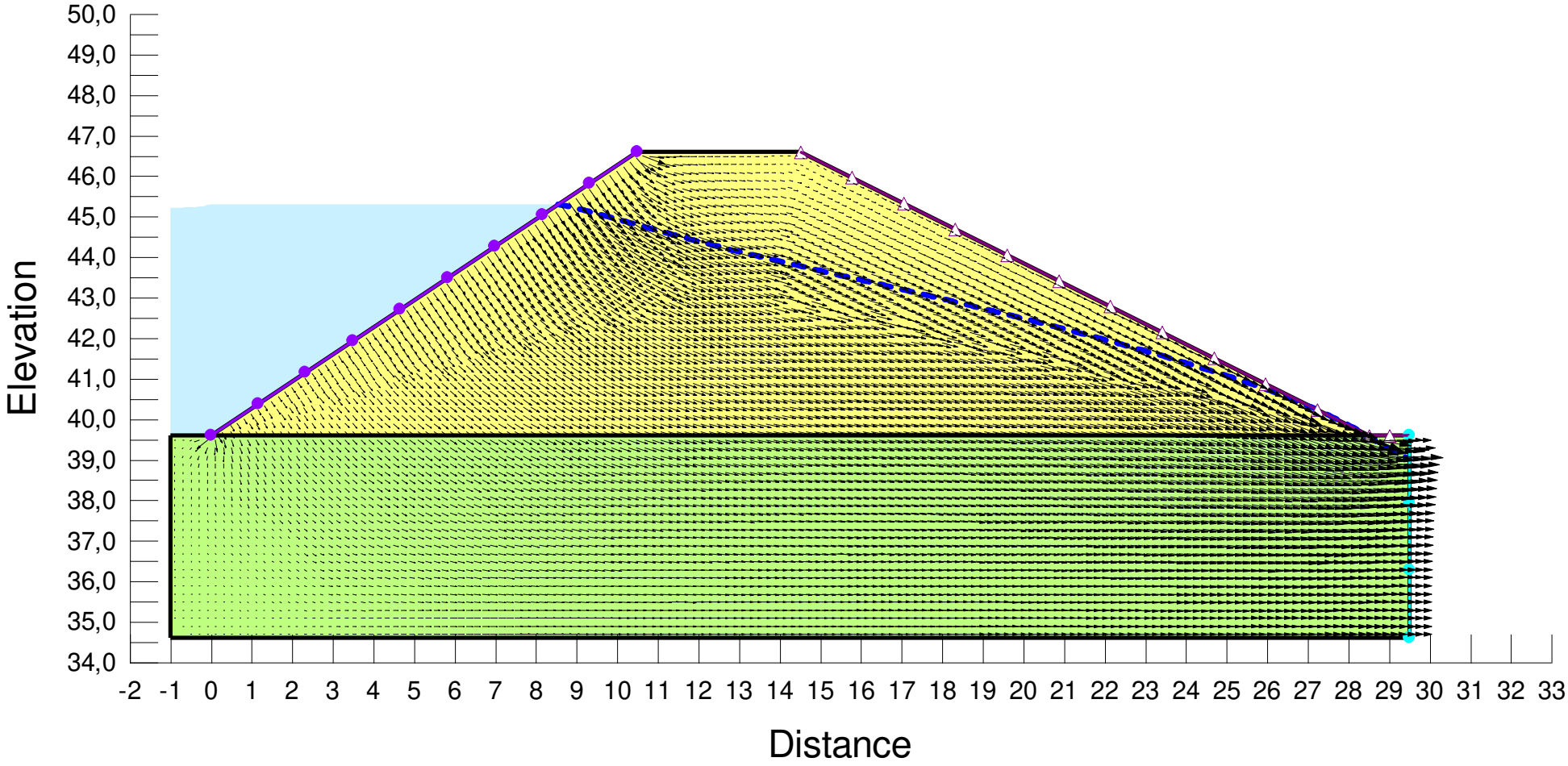



Figure 7 : Lebrun 2 - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Sans paroi Trenchmix

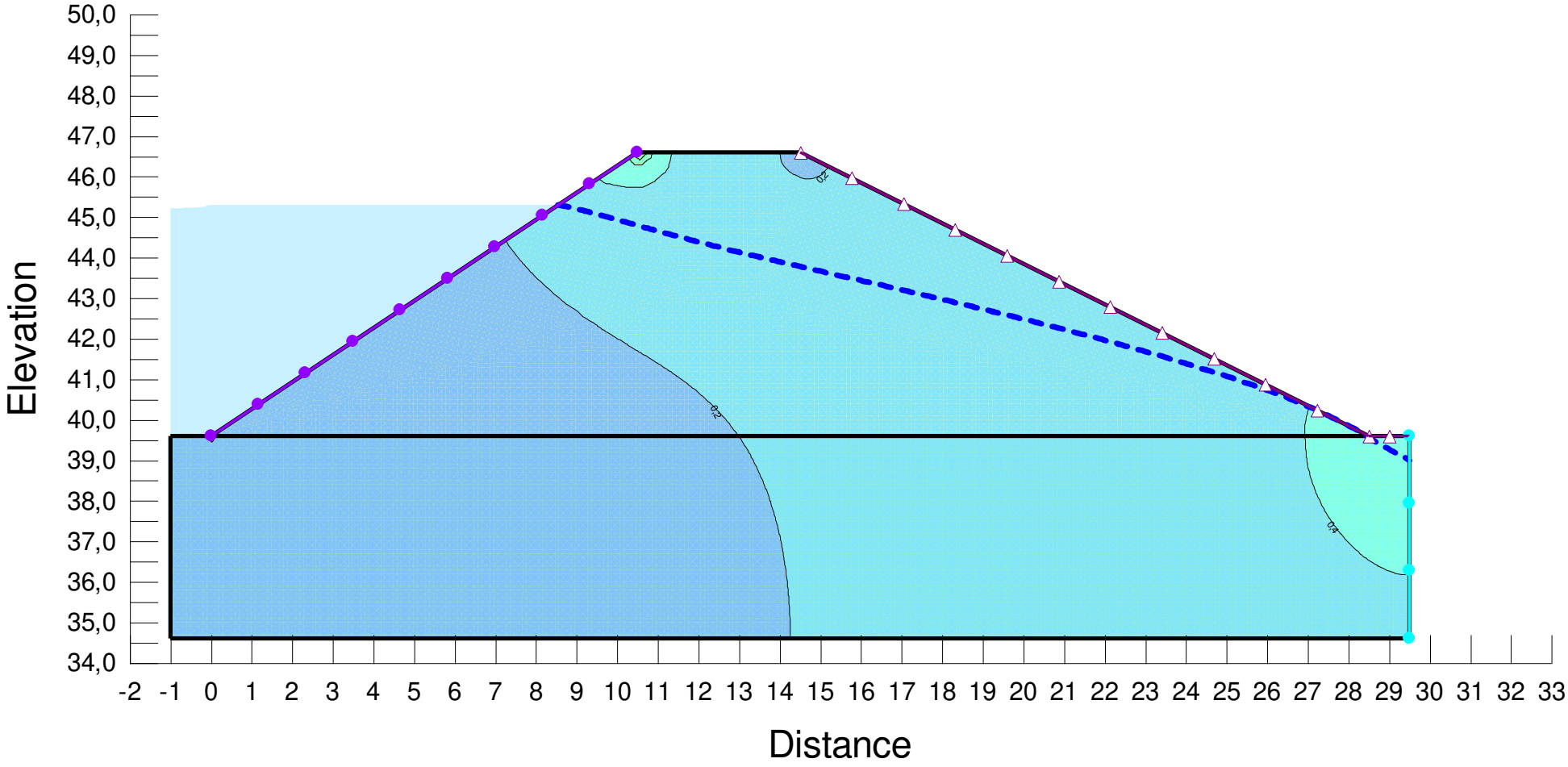



Figure 8 : Lebrun 2 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Sans paroi Trenchmix

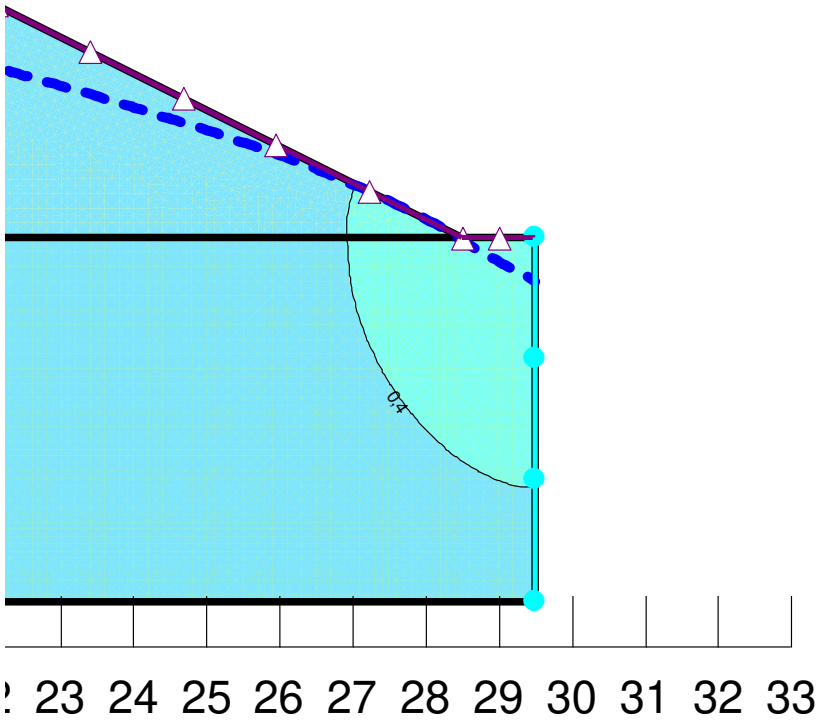



Figure 9 : Lebrun 2 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom – Sans paroi Trenchmix

### 1.2.3. Configuration n°2 : Avec paroi Trenchmix

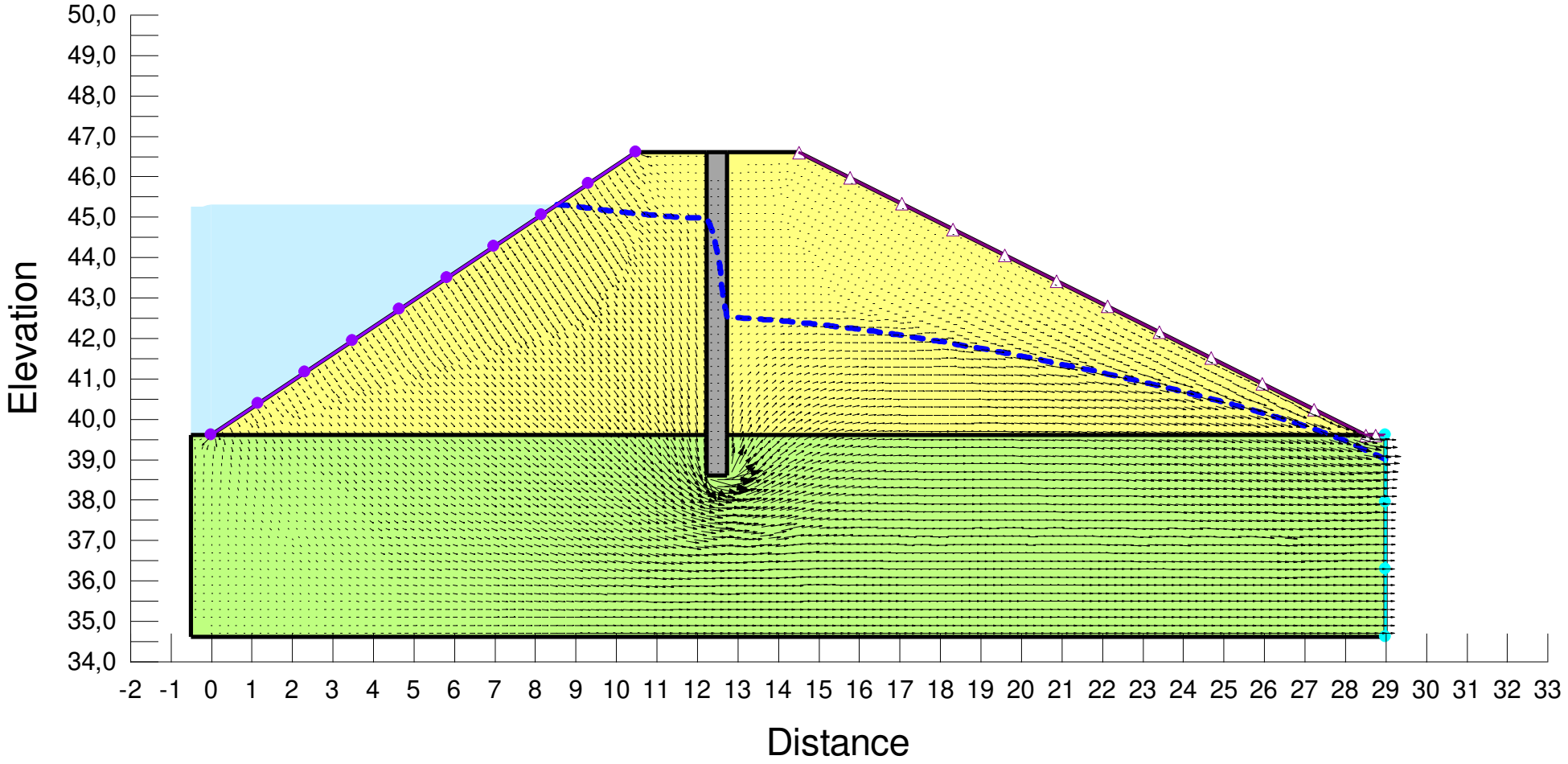



Figure 10 : Lebrun 2 - Ecoulements - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Avec paroi Trenchmix

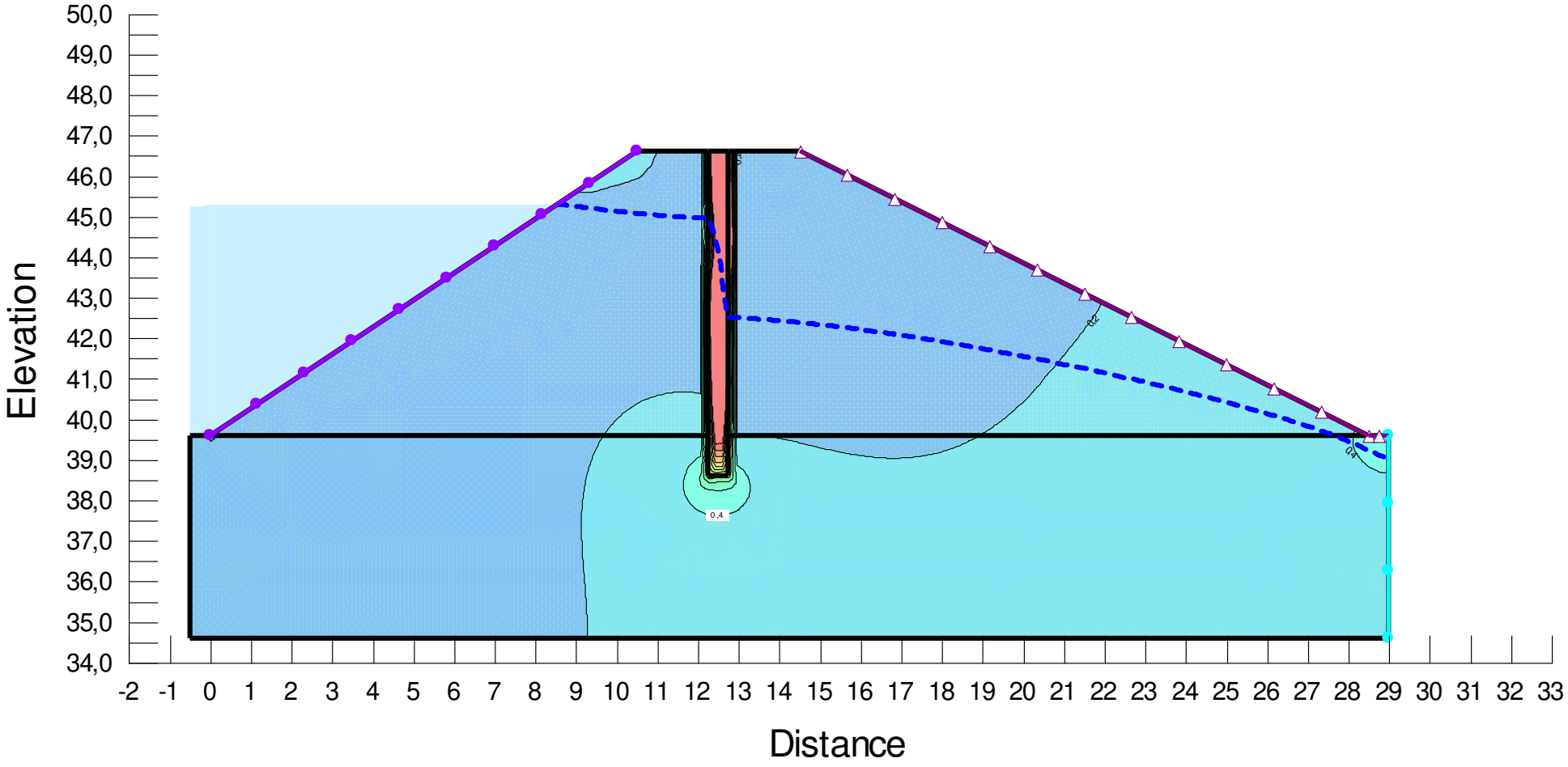



Figure 11 : Lebrun 2 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Avec paroi Trenchmix

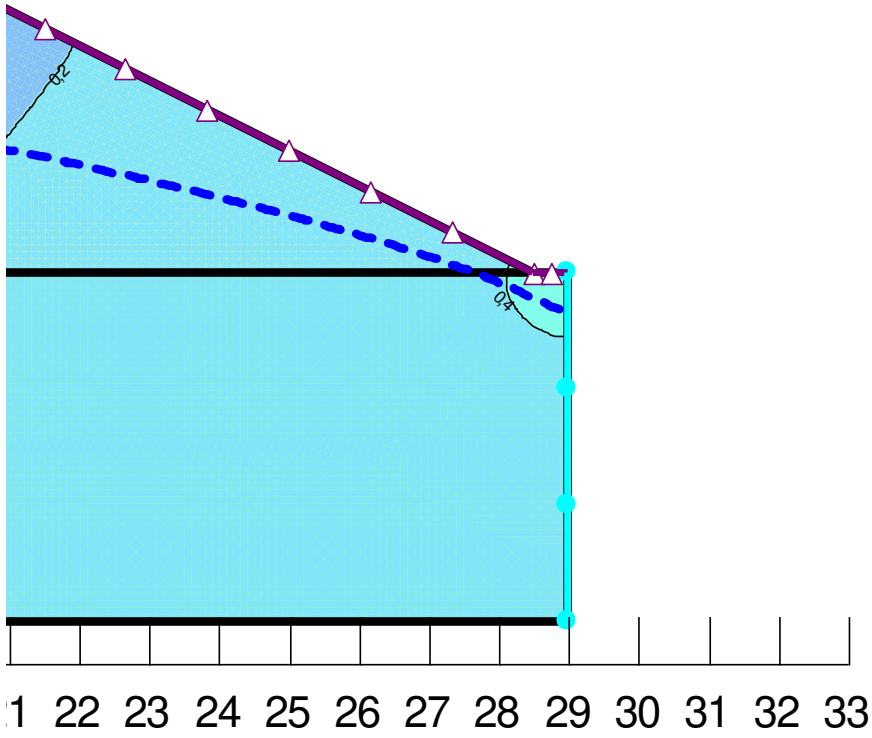



**Figure 12 : Lebrun 2 – Gradients hydrauliques - Charge à l'aval au niveau NPHE - Niveau maximum d'exploitation – Zoom – Avec paroi Trenchmix**

### 1.2.4. Synthèse des résultats de calcul

| Lebrun 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Configuration calcul | Charge amont - Remplissage (m NGF) | Charge aval (m NGF) | Niveau piézométrique dans le corps de digue (m NGF) | Suintements | Hauteur de suintement (m NGF) | Gradient hydraulique maximum |
| N°1 : Sans paroi Trenchmix | 45.3 | 39 | 43.9 | oui | 40.3 m NGF<br>Soit 0.7 m au-dessus du TN | 0.5 |
| N°2 : Avec paroi Trenchmix | | | 42.4 | non | / | 0.4 |

**Tableau 2 : Synthèse des résultats de calcul pour le profil Lebrun 2**

Acteur majeur de l'ingénierie de l'environnement et de la valorisation des territoires

## Mesure

Air ambiant
Air intérieur
Exposition professionnelle
Eau
Pollution atmosphérique

## Environnement

Due diligence et conseil stratégique
Sites et sols pollués
Travaux de dépollution
Dossiers réglementaires

## Eau

Traitement des effluents industriels
Eau ressource et géothermies
Eau potable et assainissement
Aménagement hydraulique

## Data

Systèmes d'information et data management
Solutions pour le data management environnemental

## Infrastructures

Déconstruction et désamiantage
Géotechnique
Fondations et terrassements
Ouvrages et structures
Risques naturels
Déchets et valorisation

## Aménagement du territoire

Projet urbain
L'environnement au cœur des stratégies et projets
Stratégie territoriale et planification

**Références :**

www.lne.fr

Portées communiquées sur demande