

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Société nationale de  
Génie civil et bâtiment

Département Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

---

Liaison ferroviaire Béchar–Tindouf : Études hydrologique et  
hydraulique du tronçon 01, du PK 639+000 au PK 669+000

---

**REGUIEG Ali & KHEDIM Mourad**

Sous la direction de **Pr. BERMAD Abdelmalek** ENP

Présenté et soutenu publiquement le (08/07/2025)

**Composition du jury :**

Président :	Pr. LEFKIR Abdelouaheb	ENSTP
Promoteurs :	Pr. BERMAD Abdelmalek	ENP
	Mr. FAOUCI Yacine	GCB Engineering
Examineurs :	Dr. OULBSIR Rafik	USTHB
	Mr. ALIANE Youcef	Univ. Annaba
Invité :	Mr. BOUAMAMA Abderaouf	BET INFRASOFT



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Société nationale de  
Génie civil et bâtiment

Département Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

---

Liaison ferroviaire Béchar–Tindouf : Études hydrologique et  
hydraulique du tronçon 01, du PK 639+000 au PK 669+000

---

**REGUIEG Ali & KHEDIM Mourad**

Sous la direction de **Pr. BERMAD Abdelmalek** ENP

Présenté et soutenu publiquement le (08/07/2025)

**Composition du jury :**

Président :	Pr. LEFKIR Abdelouaheb	ENSTP
Promoteurs :	Pr. BERMAD Abdelmalek	ENP
	Mr. FAOUCI Yacine	GCB Engineering
Examineurs :	Dr. OULBSIR Rafik	USTHB
	Mr. ALIANE Youcef	Univ. Annaba
Invité	Mr. BOUAMAMA Abderaouf	BET INFRASOFT

## الملخص

في إطار التنمية الإقليمية والاقتصادية المستدامة، تعمل الجزائر على توسيع شبكة السكك الحديدية نحو المناطق الصحراوية، الغنية بالموارد الطبيعية ولكنها ظلت لفترة طويلة على هامش محاور الاتصال الرئيسية. من بين هذه المشاريع الهيكلية، يبرز خط السكة الحديدية الذي يربط بشار بأم العسل كبنية تحتية استراتيجية، سواء لنقل الموارد المعدنية أو لإدماج المناطق المعزولة في الجنوب الغربي للبلاد.

في هذا الإطار، يركز هذا المشروع على الدراسة الهيدرولوجية والهيدروليكية للمقطع المحصور بين النقطة الكيلومترية 000+639 والنقطة الكيلومترية 050+669 من خط السكة الحديدية بشار - أم العسل. الهدف هو تحديد أحواض التصريف التي يعبرها المسار بطرق مختلفة (ArcGis، Google Earth)، وتحديد معدلات التدفق المميزة للفيضانات لفترات عودة مختلفة، وتصميم هياكل العبور اللازمة لحماية خط السكة الحديدية من المخاطر الهيدرولوجية.

من خلال دمج التحليلات الطبوغرافية المفصلة، والتقدير الدقيق لتدفقات الفيضانات، والنمذجة الهيدروليكية المتكيفة مع ظروف الموقع، يهدف هذا العمل إلى تصميم حلول تقنية فعالة تضمن حماية خط السكة الحديدية من المخاطر الهيدرولوجية، في بيئة ذات تقلبات هيدرولوجية عالية.

**الكلمات المفتاحية:** التصريف، خط السكة الحديدية، القناطر، الأنابيب، معدل التدفق، حوض التصريف،

ArcGis، Google Earth

---

## Abstract

In a context of sustained territorial and economic development, Algeria is working to extend its railway network towards the Saharan regions, rich in natural resources but long remained on the margins of major communication axes. Among these structural projects, the railway line connecting Béchar to Oum El Assel stands out as a strategic infrastructure, both for the transport of mining resources and for the integration of isolated areas in the southwest of the country.

Within this framework, the present project focuses on the hydrological and hydraulic study of the section between PK 639+000 and PK 669+050 of the Béchar-Oum El Assel railway line. The objective is to delineate the watersheds crossed by the railway using different methods (ArcGis, Google Earth), to determine the characteristic flood flows for different return periods, and to design the crossing structures necessary for protecting the railway against hydrological risks.

By combining detailed topographic analyses, precise flood flow estimation, and hydraulic modeling adapted to site conditions, this work aims to design effective technical solutions ensuring the protection of the railway against hydrological risks, in an environment with high hydrological variability.

**Keywords :** Drainage, Railway line, Culvert, Pipe, Flow rate, Watershed, ArcGis, Google Earth.

---

---

## Résumé

Dans un contexte de développement territorial et économique soutenu, l'Algérie œuvre à l'extension de son réseau ferroviaire vers les régions sahariennes, riches en ressources naturelles mais longtemps restées en marge des grands axes de communication. Parmi ces projets structurants, la ligne ferroviaire reliant Béchar à Oum El Assel s'impose comme une infrastructure stratégique, tant pour le transport des ressources minières que pour l'intégration des zones isolées du sud-ouest du pays.

Dans ce cadre, le présent projet porte sur l'étude hydrologique et hydraulique du tronçon compris entre le PK 639+000 et le PK 669+050 de la ligne ferroviaire Béchar-Oum El Assel. L'objectif est de délimiter les bassins versants traversés par le tracé par différentes méthodes (ArcGis, Google Earth), de déterminer les débits de crue caractéristiques pour différentes périodes de retour, et de dimensionner les ouvrages de franchissement nécessaires à la protection de la voie ferrée contre les risques hydrologiques.

En combinant des analyses topographiques détaillées, une estimation fine des débits de crue, ainsi qu'une modélisation hydraulique adaptée aux conditions du site, ce travail a pour objectif de concevoir des solutions techniques efficaces assurant la protection de la voie ferrée contre les risques hydrologiques, dans un environnement à forte variabilité hydrologique.

**Mots clés :** Drainage, Ligne ferroviaire, Dalot, Buse, Débit, Bassin Versant, ArcGis, Google Earth.

---

## Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté d'entamer et de terminer ce travail.

Nos vifs remerciements et notre reconnaissance s'adressent à Monsieur BER-MAD Abdelmalek professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique pour son encadrement, pour sa patience, son soutien, ses remarques et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur LEFKIR Abdelouahab, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics pour le grand honneur qu'il nous a fait de présider le Jury de soutenance.

Nous remercions également les membres du jury, pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer se projet.

Nous souhaitons adresser aussi nos remerciements à Mr.BOUAMAMA Abde-raouf ingénieur à BET INFRASOFT, et Mrs. FAOUCI Yassine et HADADOU Tarek ingénieurs GCB et et au corps professoral de département hydraulique pour la richesse et la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils nous ont transmises tout au long de notre formation .

Nous clôturons par remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

*REGUIEG Ali et KHEDIM Mourad.*

# Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

Liste des acronymes

<b>Introduction générale</b>	<b>16</b>
<b>1 Généralité sur le drainage</b>	<b>18</b>
1.1 Introduction . . . . .	18
1.2 Historique de drainage . . . . .	18
1.2.1 Le drainage ferroviaire dans le monde . . . . .	18
1.2.2 Drainage ferroviaire en Algérie . . . . .	19
1.3 L'effet de l'eau sur la ligne ferroviaire . . . . .	19
1.4 Le drainage . . . . .	20
1.4.1 Les types de drainage . . . . .	20
1.4.2 Le principe du drainage ferroviaire . . . . .	21
1.4.3 Les systèmes de drainage ferroviaire . . . . .	21
1.4.4 L'importance de drainage ferroviaire . . . . .	23
1.4.5 Les défis de la mise en place du drainage ferroviaire . . . . .	23
1.4.5.1 Variabilité météorologique . . . . .	23
1.4.5.2 Taille et étendue du réseau . . . . .	23
1.4.5.3 Infrastructures vieillissantes . . . . .	24
<b>2 Délimitation Des Bassins Versants</b>	<b>25</b>
2.1 Introduction . . . . .	25
2.2 Notions de Bassin versant . . . . .	25

2.2.1	Les caractéristiques d'un bassin versant . . . . .	26
2.2.1.1	La superficie . . . . .	26
2.2.1.2	Le périmètre . . . . .	26
2.2.1.3	La pente . . . . .	26
2.2.1.4	La longueur de talweg . . . . .	26
2.2.1.5	La hauteur d'un bassin versant . . . . .	26
2.2.1.6	Indice de compacité . . . . .	27
2.2.2	Le temps de concentration . . . . .	27
2.2.2.1	Formule de Giandotti : . . . . .	27
2.2.2.2	Formule de Ventura : . . . . .	28
2.2.2.3	Formule Passini : . . . . .	28
2.3	Présentation de la zone d'étude . . . . .	28
2.3.1	Localisation du tracé . . . . .	29
2.3.2	Réseau hydrographique des bassins versants de la zone d'étude . . . . .	30
2.4	Méthodes de délimitation des bassins versant . . . . .	32
2.4.1	Méthode manuelle avec logiciel Google Earth . . . . .	32
2.4.2	Méthode manuelle a partir d'une carte Topographique . . . . .	36
2.4.3	Méthode numérique (Arcgis) . . . . .	43
2.4.4	Résultats des caractéristiques morphologiques des bassins versants délimités . . . . .	48
<b>3</b>	<b>Étude Hydrologique</b>	<b>53</b>
3.1	Introduction . . . . .	53
3.2	Description climatique . . . . .	53
3.3	La pluviométrie . . . . .	55
3.3.1	Analyse pluviométrique . . . . .	56
3.3.2	Pluies journalières maximales . . . . .	56
3.3.3	L'ajustement des données pluviométriques . . . . .	57
3.3.4	Test d'adéquation . . . . .	58
3.3.5	Calcul des intensités . . . . .	60
3.4	Méthodes de calcul de débit . . . . .	64
3.4.1	La méthode rationnelle . . . . .	64

3.4.2	La méthode CRUPEDIX . . . . .	67
3.4.3	La méthode Sogreah-ANRH . . . . .	68
3.4.4	La méthode Mallet et Gautier . . . . .	68
3.4.5	La méthode intermédiaire Rationnelle - CRUPEDIX (Transition) . . . . .	69
3.4.6	les résultats de calcul des débits de projet sont dans le tableau ci-dessous	70
<b>4</b>	<b>Étude Hydraulique</b>	<b>74</b>
4.1	Introduction . . . . .	74
4.2	Les caractéristiques des écoulements à surface libre . . . . .	75
4.2.1	Hauteur de l'écoulement . . . . .	75
4.2.2	La pente . . . . .	75
4.2.3	Section mouillée . . . . .	76
4.2.4	Périmètre mouillé . . . . .	76
4.2.5	La vitesse de l'écoulement . . . . .	77
4.3	Formes des canalisations hydrauliques . . . . .	77
4.4	Les types d'ouvrages de franchissement . . . . .	78
4.4.1	Les buses . . . . .	78
4.4.2	Les dalots . . . . .	79
4.5	Principe de dimensionnement hydraulique des dalots . . . . .	83
4.6	Le débit capable des ouvrages de franchissements . . . . .	83
4.6.1	La méthode de DELORME . . . . .	83
4.7	Résultats des calculs de dimensionnement des ouvrages de franchissements . . . . .	84
4.8	Identification des zones inondables . . . . .	87
4.8.1	Exemple pour la détermination de NPHE pour la zone 3 : . . . . .	88
4.9	IV.8 Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages . . . . .	91
4.9.1	Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages pour un débit exceptionnel . . . . .	94
4.10	Aménagement des extrémités des ouvrages . . . . .	96
<b>5</b>	<b>Drainage longitudinale de la plateforme</b>	<b>98</b>
5.1	Introduction . . . . .	98
5.2	Réseaux de collecte longitudinaux . . . . .	98

5.2.1	Réseaux de crête de talus de déblais . . . . .	98
5.3	Types et formes des fossés existants . . . . .	102
5.4	Les avaloirs . . . . .	104
5.5	Les données essentielles pour le calcul des ouvrages d'assainissement . . . . .	105
5.6	Calcul hydraulique des ouvrages . . . . .	106
5.6.1	Calcul des débits à évacuer : . . . . .	106
5.6.2	Calculs hydrauliques des fossés : . . . . .	107
5.6.3	Calcul du débit capable de l'ouvrage (fossé en pieds de déblai ou remblai) :108	
5.6.4	Vérification des paramètres hydrauliques des fossés : . . . . .	110
<b>Conclusion générale</b>		<b>113</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>114</b>
Annexe chapitre 3		117
Annexe chapitre 4		128
Annexe chapitre 5		184

# Liste des tableaux

3.1	Pluviométrie annuelle enregistrée à Tindouf (1982–2023)(site :Tutiempo) . . . . .	54
3.2	L’humidité relative moyenne annuelle de la wilaya de Tindouf (Site : Nasa power data) . . . . .	54
3.3	Répartition mensuelle des vitesses de vent de la station de Tindouf. (Site : Nasa power data) . . . . .	55
3.4	Pluies totales annuelles d’après Tutiempo (site : Tutiempo). . . . .	55
3.5	Caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans cette étude. . . . .	56
3.6	Pluviométrie annuelle enregistrée à Tindouf (1982–2023)(site tutiempo) . . . . .	57
3.7	Ajustement à la Loi de Gumbel . . . . .	58
3.8	Test du Khi-deux . . . . .	59
3.9	Test de Kolmogorov-Smirnov . . . . .	60
3.10	Temps de concentration selon différentes formules . . . . .	62
3.11	Calcul des courbes IDF . . . . .	63
3.12	Intensités pour chaque bassin versant . . . . .	64
3.13	Valeurs du coefficient $C_1$ en fonction de la pente de bassin versant . . . . .	65
3.14	Coefficient $C_2$ dépendant de la nature du sol (perméabilité). . . . .	66
3.15	Valeurs du coefficient $C_3$ selon la couverture végétale . . . . .	66
3.16	Résultats de calcul du débit centennale ( $Q(T=100\text{ans})$ ) . . . . .	70
3.17	Résumé des caractéristiques hydrologiques par bassin versant . . . . .	72
4.1	Débits capables pour les dalots et les buses . . . . .	84
4.2	Résultats des calculs de dimensionnement . . . . .	85
4.3	PK des zones inondables . . . . .	87
4.4	Les débits des zones inondables. . . . .	88
4.5	Les NPHE de la zone inondable 01 . . . . .	90

---

4.6	Les NPHE de la zone inondable 02 . . . . .	91
4.7	Les NPHE de la zone inondable 03 . . . . .	91
4.8	Vérification des conditions d'écoulement . . . . .	93
4.9	Les résultats des calculs des débits exceptionnels . . . . .	95
4.10	Les ouvrages débordés à cause d'un débit extrême . . . . .	95
5.1	Résultats de dimensionnement pour le cas le plus défavorable . . . . .	107
5.2	<b>Les résultats de calculs des débits longitudinaux (rive droite)</b> . . . . .	109
5.3	<b>Les résultats de calculs des débits longitudinaux (rive gauche)</b> . . . . .	110
5.4	<b>Résultats de vérification des fossés</b> . . . . .	112

# Table des figures

1.1	Illustrations d'incidents graves : inondation et coulées boues (Ingénierie SNCF Infra). . . . .	20
1.2	Illustrations d'incidents graves : érosions de plateforme, de talus ou de remblais (Ingénierie SNCF Infra). . . . .	20
1.3	Drainage par fossée .[1] . . . . .	21
1.4	Création du dalot de Loulay.[2] . . . . .	22
2.1	Carte des limites de la wilaya de Tindouf[3] . . . . .	29
2.2	Localisation du tracé.[4] . . . . .	30
2.3	Les grands bassins versants Algériens.[5] . . . . .	30
2.4	Réseau hydrographique de la zone d'étude. . . . .	31
2.5	Identification de l'exutoire . . . . .	32
2.6	Création d'un repère . . . . .	33
2.7	Extraction du talweg . . . . .	33
2.8	Création d'un trajet . . . . .	34
2.9	Identification des points hauts . . . . .	34
2.10	Extraction du bassin versant . . . . .	35
2.11	Création d'un polygone . . . . .	35
2.12	Projection des bassins extraits dans une image satellitaire. . . . .	36
2.13	Les reliefs et leurs représentations dans une carte topographique[6] . . . . .	37
2.14	Les Courbes de niveaux . . . . .	37
2.15	L'orientation du sens des pentes[6] . . . . .	38
2.16	Exemple d'une carte topographique réelle [6] . . . . .	39
2.17	Les lignes des crêtes et des talwegs . . . . .	40
2.18	Carte topographique correspondant a notre cas d'étude (source :GCB . . . . .	40
2.19	Projection des bassins versants sur une carte topographique . . . . .	48

2.20	Pourcentage des surfaces des BV $< 10 \text{ km}^2 >$ . . . . .	51
2.21	Carte de distribution des élévations . . . . .	52
3.1	Carte des zones climatiques en Algérie . . . . .	53
3.2	Graphe représentatif des valeurs moyennes annuelles de l'humidité relative de la wilaya de Tindouf . . . . .	55
3.3	Graphe représentatif des valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie de la wilaya de Tindouf . . . . .	56
3.4	Graphe d'ajustement à la loi de Gumbel . . . . .	58
3.5	Courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) . . . . .	63
4.1	Profil de types d'écoulements à surface libre[7] . . . . .	75
4.2	Section mouillée d'un canal rectangulaire [8] . . . . .	76
4.3	Périmètre mouillé d'un canal rectangulaire [8] . . . . .	77
4.4	Profil de la vitesse d'écoulement à surface libre [9] . . . . .	77
4.5	Formes des canalisations hydrauliques [10] . . . . .	78
4.6	Buses en béton [11] . . . . .	79
4.7	Buse en béton ovales [12] . . . . .	79
4.8	Vue dessus d'un dalot [13] . . . . .	80
4.9	Dalot ordinaire avec dalle [14] . . . . .	81
4.10	Dalot Cadre [14] . . . . .	81
4.11	Dalot portique [14] . . . . .	82
4.12	Dalots triples [15] . . . . .	82
4.13	Zones inondables 01 et 02 . . . . .	87
4.14	Zone inondable 03 . . . . .	87
4.15	TIN de la zone 3 . . . . .	88
4.16	TIN de la zone 1 et 2 . . . . .	89
4.17	Les données géométrique présentées dans HEC-RAS . . . . .	89
4.18	NPHE dans une section de la zone 3 . . . . .	90
4.19	Le modèle 3D de la zone 3 . . . . .	90
4.20	Interface de modélisation d'un dalot circulaire sur hydraflow . . . . .	92
4.21	Exemple de calcul hydraulique d'un dalot 3.0*2.0 situé dans l'exutoire du PK 640+865.29 . . . . .	92

---

4.22	Schéma illustratif d'ouvrage débordé du PK 660+245 . . . . .	96
4.23	Schéma illustratif d'ouvrage réctifié du PK 660+245 . . . . .	96
5.1	Réseau de terre-plein central n'est pas revêtu avec un drain . . . . .	99
5.2	Réseau de terre-plein central revêtu . . . . .	99
5.3	réseau de crête de talus remblai . . . . .	100
5.4	Fossé revetu en béton au pied de talus en déblai [16] . . . . .	100
5.5	Différents réseaux d'assainissement longitudinaux [16] . . . . .	101
5.6	descente d'eau de surface [16] . . . . .	101
5.7	Fosses de forme triangulaire[12] . . . . .	102
5.8	Fosses de forme rectangulaire [12] . . . . .	103
5.9	Fosses de forme trapizoïdale [12] . . . . .	103
5.10	Fosses de forme cunettes [12] . . . . .	104
5.11	a) Avaloir sous la plate-forme de la voie b) avoir sous trottoir [16] . . . . .	105
5.12	: a) Avaloir a entrée verticale b) avoir à entrée latérale [16] . . . . .	105
5.13	Fossé en pieds de talus de remblais ou déblai. . . . .	108
5.14	Identification le point haut (le point de départ). . . . .	109
5.15	Interface de modélisation d'un fossé sur hydraflow. . . . .	111
5.16	Exemple de calcul hydraulique d'un fossé (rive gauche) du PK 642+600 à PK 642+790 . . . . .	111

# Liste des acronymes

- PK** : Point kilométrique
- °C** : Degré Celsius
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- SIG** : Système d'information géographique
- GCB** : la Société Nationale de Génie Civil et Bâtiment
- WGS84** : World Geodetic System 1984
- UTM** : Universal Transverse Mercator
- SRTM** : Shuttle Radar Topography Mission
- MNT** : Modèle Numérique de Terrain
- LiDAR** : Light Detection and Ranging
- BV** : Bassin Versant
- CAD** : Computer-Aided Design
- ASTM** : American Society for Testing and Materials
- ONM** : Office National de la Météorologie
- FND** : Fréquence De Non Dépassement
- IDF** : Intensité-Durée-Fréquence
- Ptc** : Pluie de courte durée
- T** : Période de retour
- Pjmax** : Pluie journalière maximale
- KS** : Kolmogorov-Smirnov
- Fr** : Nombre de Froude
- TPC** : Terre-Plein Central
- RH2M** : Humidité relative à 2 mètres
- NPHE** : les plus hautes d'eaux des zones inondables
- TIN** : Triangulated Irregular Network (réseau triangulé irrégulier)

# Introduction générale

Les chemins de fer font partie intégrante de notre réseau d'infrastructures mondial et constituent un élément indispensable de la solution de mobilité pour le transport de personnes et de matériaux. L'étude hydrologique et hydraulique d'une ligne ferroviaire représente une étape cruciale avant toute réalisation d'infrastructure. Elle permet d'assurer une gestion optimale des eaux superficielles afin d'éviter leur stagnation sur les voies, ce qui pourrait compromettre la stabilité et la durabilité des ouvrages. Un mauvais dimensionnement des systèmes de drainage peut entraîner des risques importants tels que des inondations, une usure prématurée des structures et des conditions dangereuses pour les trains. Le maintien d'un système ferroviaire hautement fonctionnel et la création de nouvelles voies ferrées de la manière la plus efficace possible sont essentiels dans le secteur des infrastructures de transport.

L'eau exerce un impact important sur les infrastructures ferroviaires. Parmi les effets les plus fréquents, on retrouve l'érosion des plateformes et talus, la submersion des voies, les coulées de boue, ainsi que le dépôt de matériaux sur les rails et équipements.

Pour faire face aux problèmes liés à l'eau, plusieurs dispositifs hydrauliques sont mis en place. Le drainage joue un rôle central : il s'appuie sur l'installation de drains enterrés, de caniveaux, de fossés et de réseaux de collecte destinés à capter et évacuer rapidement les eaux de surface et souterraines. Les dalots et buses sont des ouvrages essentiels pour assurer le drainage sous les voies ferrées, évitant ainsi la submersion de la plateforme. L'entretien régulier de ces infrastructures est également indispensable pour garantir leur efficacité. Il s'agit de prévenir et de supprimer les obstructions causées par les débris, sédiments ou végétation qui pourraient entraver l'écoulement des eaux.

Dans ce cadre, ce travail a pour objectif de mettre en place une approche méthodologique pragmatique visant à protéger le tronçon ferroviaire reliant Oum El Assel Béchar. Il s'agit, dans un premier temps, d'identifier les bassins versants traversés par l'axe ferroviaire et de déterminer leurs superficies, afin d'évaluer les débits caractéristiques des crues. Dans un second temps, l'étude consiste à proposer l'implantation d'ouvrages hydrauliques adaptés (tels que des dalots ou des buses) permettant d'assurer le rétablissement des écoulements naturels, tout en garantissant la sécurité et la durabilité de l'infrastructure.

Ce mémoire de fin d'études s'articule autour de cinq chapitres, précédés d'une introduction générale portant sur la thématique du drainage ferroviaire et la problématique traitée.

Le premier chapitre présente une synthèse des notions générales relatives au drainage des voies ferrées. Il retrace brièvement l'évolution historique de cette technique et met en lumière les principaux types de drainage et les différents problèmes techniques et environnementales à prendre en compte pour la conception d'un système de drainage efficace et durable.

Ce mémoire est structuré en 5 chapitres de la manière suivante :

1. **Chapitre 1** : Ce chapitre présente une synthèse des notions générales relatives au drainage des voies ferrées. Il retrace brièvement l'évolution historique de cette technique et met en lumière les principaux types de drainage et les différents problèmes techniques et environnementales à prendre en compte pour la conception d'un système de drainage efficace et durable.

2. **Chapitre 2** : Ce chapitre est consacré à la délimitation des bassins versants traversant le tracé ferroviaire. Cette étape constitue un préalable essentiel pour toute analyse hydrologique. Trois méthodes complémentaires ont été mobilisées pour cela :
  - La délimitation manuelle à l'aide de l'outil Google Earth,
  - L'exploitation de cartes topographiques classiques,
  - L'utilisation du logiciel ArcGIS via des outils SIG et des images satellitaires.
3. **Chapitre 3** : s'appuie sur les résultats issus des méthodes précédentes pour définir avec précision les limites des bassins versants. Cette analyse a permis de caractériser l'hydrologie locale et d'en déduire les débits de projet correspondant aux différents scénarios de crue.
4. **Chapitre 4** : l'attention est portée sur le dimensionnement des ouvrages hydrauliques transversaux (dalots, buses, ponceaux). Celui-ci repose sur les débits déterminés au préalable et vise à garantir la continuité des écoulements naturels tout en protégeant l'infrastructure ferroviaire. Ce chapitre inclut également une analyse critique des résultats obtenus.
5. **Chapitre 5** : est dédié au dimensionnement longitudinal du tracé ferroviaire, en particulier à l'intégration du système de drainage dans la géométrie du projet. Enfin, une conclusion générale récapitule les différentes étapes du travail accompli, tout en mettant en évidence les résultats clés issus de l'approche méthodologique adoptée.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par les principales conclusions et quelques perspectives.

# Chapitre 1

## Généralité sur le drainage

### 1.1 Introduction

Le drainage ferroviaire est un élément souvent négligé et pourtant essentiel de l'infrastructure de notre réseau ferroviaire. Il consiste en un ensemble de dispositifs et techniques destinés à collecter et évacuer les eaux de ruissellement et de pluie qui s'accumulent sur et autour des voies. Sans systèmes de drainage efficaces, l'intégrité et la fonctionnalité du réseau seraient compromises, ce qui pourrait entraîner des affaissements, des déformations des rails, voire des déraillements, provoquant ainsi des perturbations majeures du service. Avec l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, la gestion adéquate de ces eaux devient encore plus essentielle pour maintenir la stabilité des voies, prévenir les inondations et garantir la sécurité des circulations ferroviaires.

### 1.2 Historique de drainage

Le drainage ferroviaire implique un système spécialement conçu pour évacuer l'eau des voies ferrées. Bien que cela puisse paraître simple, l'efficacité de tout système de drainage dépend de sa capacité à détourner l'eau des zones critiques. Ce système complexe est essentiel au maintien des fondations et à la stabilité de la voie ferrée. Un système de drainage ferroviaire robuste garantit la fiabilité du réseau ferroviaire, permettant aux trains de circuler en toute sécurité dans diverses conditions météorologiques, notamment en cas de fortes pluies, de neige et d'inondations. Différents systèmes de drainage sont utilisés selon l'environnement, allant de simples fossés à des systèmes complexes avec pompes et drains. Bien que souvent méconnu, le drainage ferroviaire joue un rôle important dans notre quotidien.[17]

#### 1.2.1 Le drainage ferroviaire dans le monde

L'origine du drainage dans les chemins de fer est liée à la nécessité de gérer l'eau autour des infrastructures ferroviaires pour assurer la stabilité et la durabilité des voies. Dès les premières voies ferrées, il a été essentiel de concevoir des systèmes permettant d'évacuer l'eau afin d'éviter l'enlèvement, la dégradation des matériaux et les déformations de la plateforme ferroviaire. Historiquement, les premiers chemins guidés, comme ceux utilisés dans l'Antiquité (ornières en pierre, voies en bois), ont déjà intégré des principes de drainage pour protéger la voie et faciliter le roulement des véhicules. Avec l'évolution vers des rails en bois puis en métal au

XVIII<sup>e</sup> siècle, et l'apparition des locomotives à vapeur au début du XIX<sup>e</sup> siècle, la gestion de l'eau est devenue un enjeu technique majeur. Le drainage permettait de maintenir la portance du sol sous la voie, d'éviter la saturation en eau qui affaiblit la plateforme et de prévenir les déformations dues au gel ou à l'humidité.[18]

### 1.2.2 Drainage ferroviaire en Algérie

Le drainage ferroviaire en Algérie est une composante essentielle pour assurer la stabilité et la durabilité des infrastructures ferroviaires, notamment en raison des caractéristiques géologiques et climatiques locales. Il vise principalement à abaisser le niveau de la nappe phréatique et à évacuer les eaux d'infiltration vers des fossés ou ponceaux, évitant ainsi la saturation des sols et la dégradation de la plateforme ferroviaire .[19][20]

Les premiers systèmes de drainage ferroviaire en Algérie remontent à la période coloniale française. Les infrastructures construites entre 1860 et 1962 intégraient des éléments de drainage rudimentaires comme des caniveaux en pierre, des dalots et des fossés de drainage. Ces systèmes visaient principalement à protéger les voies ferrées des eaux de ruissellement et de l'érosion.

Après l'indépendance, la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) a hérité d'un réseau nécessitant une modernisation des systèmes de drainage. Durant cette période, on observe l'introduction de nouvelles techniques comme les drains en PVC et les géotextiles. Le rapport annuel de la SNTF de 1978 souligne les efforts entrepris pour améliorer la résistance des infrastructures aux intempéries, notamment par la construction de bassins de rétention le long des voies principales.

Les années 1990 marquent le début d'une approche plus systématique du drainage ferroviaire. Le ministère des Transports algérien a introduit de nouvelles normes techniques inspirées des standards internationaux. Le projet de réhabilitation de la ligne Alger-Oran (1995-2000) a notamment incorporé des systèmes de drainage modernes avec des regards de visite et des canalisations enterrées. Une étude commandée par le ministère en 2005 a démontré l'efficacité de ces nouveaux systèmes dans la réduction des incidents liés aux eaux pluviales. [21]

Plusieurs projets récents illustrent l'importance du drainage dans la construction et la modernisation des lignes ferroviaires en Algérie. Par exemple, la liaison ferroviaire Tizi Ouzou - Oued Aïssi intègre un système de drainage sophistiqué, en plus de tunnels, viaducs et stations, pour garantir la pérennité de la ligne dans un terrain souvent complexe. De même, la nouvelle ligne entre Tiaret et Saida, dans les Hauts-Plateaux, prend en compte un réseau hydrographique développé et des sols argileux peu perméables, nécessitant des aménagements spécifiques pour le drainage afin d'éviter la formation de bassins d'eau et assurer la stabilité de la voie .[22][23]

## 1.3 L'effet de l'eau sur la ligne ferroviaire

L'eau a un impact majeur sur les lignes ferroviaires, provoquant des phénomènes tels que l'érosion du ballast, la submersion des voies, et la création d'obstacles par des coulées de boue, qui compromettent la stabilité et la sécurité des infrastructures. Par exemple, lors d'intempéries violentes, des quantités d'eau importantes peuvent creuser des gouffres sous le ballast, entraînant l'interruption totale du trafic ferroviaire et la nécessité de limiter la vitesse des trains à la reprise, comme cela a été observé à la gare de Cannes où trois mètres d'eau ont noyé les installations et creusé un gouffre de cinq mètres de large sous la voie.[24]

L'eau peut aussi fragiliser les ouvrages d'art tels que les ponts, provoquer des ruptures, endommager les équipements électriques et de signalisation, et entraîner des glissements ou affaisse-

ments des remblais, ce qui réduit la capacité d'exploitation des lignes .[25]

Ces incidents sont souvent liés au ruissellement rapide des bassins versants interceptés par le réseau ferroviaire, aggravés par un mauvais fonctionnement ou une insuffisance des dispositifs hydrauliques de drainage, ce qui peut conduire à des déraillements, des arrêts complets de circulation ou des limitations temporaires de vitesse .[26]



FIGURE 1.1 – Illustrations d'incidents graves : inondation et coulées boues (Ingénierie SNCF Infra).



FIGURE 1.2 – Illustrations d'incidents graves : érosions de plateforme, de talus ou de remblais (Ingénierie SNCF Infra).

## 1.4 Le drainage

Le drainage est une technique essentielle dans la gestion hydraulique qui consiste à évacuer l'excès d'eau d'une zone donnée, que ce soit dans un contexte agricole, civil ou ferroviaire. Selon la définition hydraulique, le drainage peut être réalisé à l'aide de moyens naturels, comme les rivières ou marécages, ou par des installations artificielles telles que des réseaux de drains, des fossés ou des systèmes de pompage.[27][28]

Le drainage permet de réduire l'humidité du sol ou de stabiliser des infrastructures en évacuant rapidement l'eau superflue, notamment lors de précipitations abondantes ou de débordements de nappes phréatiques.[27]

Le drainage est utilisé dans de nombreux domaines. En agriculture, dans la construction et le génie civil, les routes et les voies ferrées, l'urbanisme et dans l'industrie.[28]

### 1.4.1 Les types de drainage

**Drainage pluvial :** Il concerne l'évacuation des eaux de pluie susceptibles de provoquer des inondations ou des dégâts matériels. Il s'appuie sur des réseaux de canalisations, fossés, bassins de rétention et systèmes de récupération d'eau pour diriger l'eau hors des zones sensibles.[29]

**Drainage urbain :** Le drainage urbain est un système qui vise à collecter et évacuer les eaux pluviales, usées et de ruissellement dans les villes, afin de prévenir inondations, dégradations et pertes humaines.[29]

**Drainage agricole :** Il est conçu pour préserver la santé des cultures, utilise des drains souterrains, canaux, fossés et puits de décharge pour évacuer l'excès d'eau du sol, évitant ainsi l'asphyxie des racines et la pourriture. [30]

**Drainage minier :** Le drainage minier est utilisé pour évacuer l'eau accumulée dans les mines ou carrières à l'aide de puits, canaux, pompes et bassins de rétention.[31]

**Drainage ferroviaire :** Le drainage ferroviaire est un système qui concerne la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement sur la plate-forme de la voie, essentiel pour assurer la sécurité, maintenir les fondations de la voie ferrée stables, réduire les risques d'inondation et limiter l'érosion.[32]

### 1.4.2 Le principe du drainage ferroviaire

Le drainage ferroviaire joue un rôle crucial dans la préservation de l'intégrité des infrastructures ferroviaires. Une gestion inadéquate des eaux peut entraîner divers problèmes, notamment des glissements de terrain, une instabilité de la voie, des affaissements, des déformations des rails, ainsi que des risques de déraillement et d'accidents.

Les bases essentielles du drainage ferroviaire reposent sur 3 principes clés :

**Collecte de l'eau :** Le drainage ferroviaire débute par la capture des eaux de ruissellement issues des surfaces des voies ferrées ainsi que des précipitations qui s'y accumulent. Ces eaux sont ensuite acheminées vers des systèmes de drainage[33]

**Transporter l'eau :** L'eau est ensuite acheminée vers des systèmes de drainage à l'aide de différentes techniques, incluant l'emploi de caniveaux, de fossés, de drains fabriqués en béton ou en plastique, ainsi que de réseaux souterrains de collecte et d'évacuation. Le choix de système varie en fonction de plusieurs critères, tels que le débit d'eau à transporter, la nature géologique et la topographie du site, ainsi que les contraintes budgétaires.[33]

**Évacuation de l'eau :** l'eau est enfin peut être évacuée en la déversant dans un réseau d'égouts existant ou en la dirigeant vers un cours d'eau.[33]

### 1.4.3 Les systèmes de drainage ferroviaire

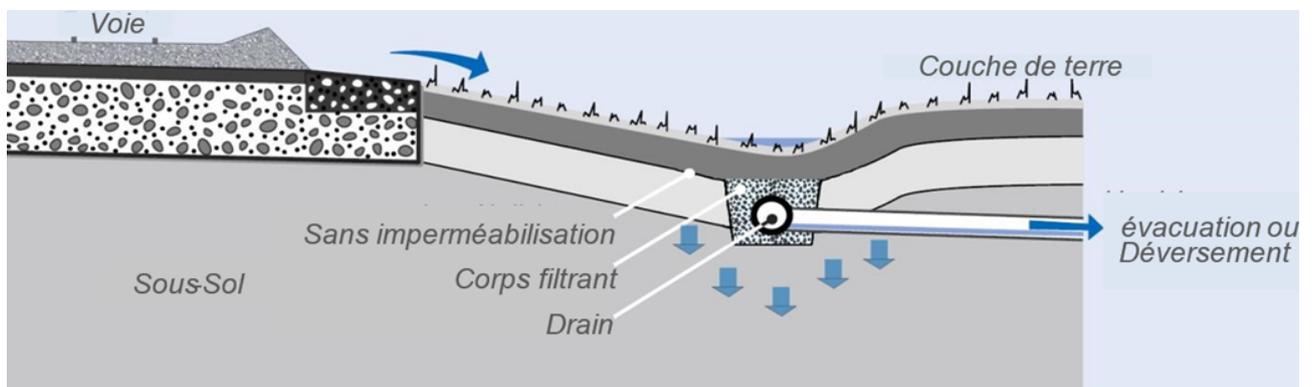


FIGURE 1.3 – Drainage par fossée .[1]

**Drainage longitudinal :** il recueille l'eau ruisselant de la voie ferrée, puis la canalise via un réseau de rigoles et de bornes de collecte disposés le long de la voie, avant de la diriger vers des

points de déversement .[33]

Les caniveaux peuvent être de différentes formes et tailles, et sont souvent en béton, en acier galvanisé ou en plastique renforcé. Les regards sont des boîtes en béton ou en métal qui servent de points de collecte et de rejet pour l'eau de pluie.[33]



FIGURE 1.4 – Création du dalot de Loulay.[2]

**Drainage transversal** :il consiste à recueillir l'eau de pluie qui s'écoule transversalement à la voie ferrée, puis à la canaliser vers des fossés, des canaux ou des réseaux d'égouts. Il est principalement employé sur des voies ferrées présentant une faible pente.[33]

Il préserve l'état de la surface de la voie ferrée en limitant l'érosion et l'usure causées par l'eau stagnante, afin d'assurer une meilleure durabilité et sécurité de la voie ferrée. [33]

Les différentes structures utilisées pour le drainage transversal ferroviaire comprennent :

- **Les buses** : des conduits tubulaires installés sous la plate-forme de la voie afin de faciliter l'écoulement de l'eau d'un côté à l'autre de la voie ferrée. Elles sont employées dans les secteurs où la voie ferrée traverse des sols humides ou marécageux.[33]
- **Les dalots** : des caniveaux en béton installés le long des côtés de la voie ferrée, conçus pour recueillir et évacuer l'eau de pluie. Ils sont particulièrement employés dans les régions où le débit d'eau est élevé.[33]
- **Les ponts** : des ouvrages conçus pour permettre à une voie ferrée de franchir des obstacles tels que des cours d'eau, des ravins ou des dépressions. Ils sont généralement constitués de piles et tabliers .[33]

**Drainage par infiltration** : Le drainage par infiltration est une méthode employée dans les zones urbaines qui permet à l'eau de s'infiltrer directement dans le sol. [33]

Le drainage par infiltration repose sur la mise en place d'une couche de gravier poreux sous la surface de la voie. Cette couche composée de granulats de tailles variées permet à l'eau de s'infiltrer progressivement dans le sol.[33]

Cependant, ce système nécessite un entretien régulier pour prévenir l'obstruction des pores, la contamination des sols et des eaux souterraines par les polluants issus de la voie ferroviaire, comme les hydrocarbures ou les produits chimiques .[33]

#### **1.4.4 L'importance de drainage ferroviaire**

Le drainage ferroviaire joue un rôle important dans la préservation et la sécurité des infrastructures ferroviaires.

Un système de drainage efficace assure l'interception, le transport et l'évacuation des eaux de surface et souterraines, protégeant ainsi la géométrie de la voie et garantissant la continuité du trafic ferroviaire.

En limitant la présence d'humidité dans la structure du ballast et du support, le drainage contribue également à réduire les coûts d'entretien et à prolonger la durée de vie des infrastructures.[34]

- Durée de vie prolongée des voies ferrées : Empêche les dégâts causés par l'eau, prolongeant ainsi la durée de vie des voies ferrées.
- Stabilité améliorée : réduit le risque de déraillement en maintenant la stabilité de la voie.
- Rentabilité : réduit le besoin de réparations et d'entretien coûteux.
- Efficacité opérationnelle : assure un fonctionnement fluide et ponctuel des trains.
- Amélioration de la sécurité : Protège la sécurité du personnel ferroviaire et des passagers.[34]

#### **1.4.5 Les défis de la mise en place du drainage ferroviaire**

##### **1.4.5.1 Variabilité météorologique**

Les conditions météorologiques imprévisibles, telles que les fortes pluies, la neige ou les inondations, représentent un défi majeur pour le drainage ferroviaire. Des épisodes de pluies violentes peuvent rapidement saturer les systèmes de drainage, provoquant des ruissellements excessifs et des inondations localisées qui menacent la stabilité des voies. De même, la neige et le gel peuvent affecter la capacité d'évacuation des eaux, tandis que les variations rapides de température entraînent des cycles de gel/dégel qui fragilisent les sols et les ouvrages. Ces contraintes météorologiques sont responsables d'un nombre important d'incidents sur le réseau, comme des affaissements ou des déformations de la voie.[35]

##### **1.4.5.2 Taille et étendue du réseau**

Le réseau ferroviaire national français s'étend sur plus de 10 000 kilomètres, ce qui complique la mise en œuvre uniforme de solutions de drainage adaptées. Chaque section du réseau présente des caractéristiques géographiques, géologiques et climatiques différentes. Cette diversité impose une grande flexibilité dans le choix des techniques, allant des fossés et caniveaux aux drains souterrains sophistiqués.

La gestion de ce vaste réseau implique également des coûts élevés pour la maintenance et la

modernisation des infrastructures de drainage, surtout dans les secteurs où le terrain est difficile d'accès ou où les infrastructures sont anciennes. [36]

#### **1.4.5.3 Infrastructures vieillissantes**

Une part importante du réseau ferroviaire repose sur des infrastructures anciennes, dont les systèmes de drainage sont souvent obsolètes ou insuffisants face aux exigences actuelles. Ces dispositifs anciens peuvent être dégradés, mal dimensionnés ou inadaptés aux nouveaux défis climatiques, ce qui accroît la vulnérabilité des voies aux infiltrations d'eau, affaissements et déformations. La vétusté des équipements complique leur entretien et leur rénovation, et nécessite des investissements importants pour moderniser les systèmes de drainage. Par ailleurs, la prise en compte du changement climatique dans la planification des travaux de renouvellement est encore limitée, ce qui retarde l'adaptation du réseau aux conditions météorologiques futures. [37]

# Chapitre 2

## Délimitation Des Bassins Versants

### 2.1 Introduction

La délimitation des bassins versants constitue une étape fondamentale en hydrologie, permettant de définir la zone géographique où convergent les eaux de ruissellement et d'infiltration vers un même exutoire, tel qu'un cours d'eau ou un lac. Cette zone est délimitée par des lignes de partage des eaux, généralement situées sur des crêtes topographiques, qui séparent les écoulements de surface entre bassins adjacents .[38]

Pour réaliser cette délimitation, les outils modernes comme les systèmes d'information géographique (SIG) et les modèles numériques de terrain (MNT) sont largement utilisés. Ils permettent d'analyser la topographie du terrain pour identifier les directions d'écoulement, extraire le réseau hydrographique et tracer précisément les limites des bassins et sous-bassins versants.[15]

Après avoir délimité les bassins versants, ceux-ci constituent une base essentielle pour diverses applications liées à la gestion des ressources hydriques. Ils permettent notamment d'estimer les débits d'eau à différents endroits du réseau hydrographique, d'analyser les risques d'inondation, d'anticiper la disponibilité en eau dans une zone spécifique, de concevoir des systèmes de drainage adaptés, ainsi que de planifier une gestion durable des bassins versants.[39]

### 2.2 Notions de Bassin versant

Un bassin versant est une zone géographique où toutes les eaux de pluie, de ruissellement et d'infiltration convergent vers un même point, appelé exutoire, qui peut être la confluence d'un cours d'eau, un lac ou la mer. Cette zone est délimitée en amont par des lignes de partage des eaux, souvent situées sur des crêtes, qui séparent les écoulements vers des bassins adjacents. Le bassin versant peut-être subdiviser en sous-bassins correspondant aux surfaces d'alimentation des affluents d'un cours principal .[40]

La notion de bassin versant joue un rôle crucial dans la gestion des ressources hydriques, la prévention des risques d'inondation et la préservation de l'environnement. Les activités humaines menées au sein d'un bassin versant, comme l'agriculture, l'urbanisation ou l'exploitation des ressources naturelles, peuvent fortement influencer les flux d'eau, altérer la qualité des eaux et affecter les équilibres écologiques locaux.[41]

## 2.2.1 Les caractéristiques d'un bassin versant

### 2.2.1.1 La superficie

C'est la surface totale drainée par un réseau hydrographique donné. Elle est généralement exprimée en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>). La superficie influe directement sur le volume d'eau collecté et écoulé par le bassin.[42]

### 2.2.1.2 Le périmètre

C'est la longueur totale du contour externe du bassin versant, c'est-à-dire la ligne de partage des eaux. Le périmètre, en relation avec la superficie, permet d'évaluer la forme du bassin (compacte ou allongée), ce qui influence la concentration des écoulements et la réponse hydrologique.[43]

### 2.2.1.3 La pente

La pente d'un bassin versant correspond à la mesure du changement d'altitude sur une zone donnée, généralement exprimée en degrés ou en pourcentage. Elle est calculée en prenant la différence d'altitude entre deux points du bassin, puis en la divisant par la distance horizontale qui les sépare. Cette inclinaison du terrain influence directement la vitesse d'écoulement de l'eau vers l'exutoire. Une pente élevée favorise un écoulement rapide et peut accentuer l'érosion des sols, tandis qu'une pente plus faible tend à ralentir le ruissellement, permettant ainsi une infiltration accrue de l'eau dans le sol.[39]

### 2.2.1.4 La longueur de talweg

La longueur de talweg d'un bassin versant est la distance mesurée le long du cours d'eau principal du bassin versant entre son plus haut point et son plus bas point. Cette mesure est importante pour l'analyse hydrologique pour la détermination de la pente moyenne du cours d'eau principal et l'estimation du temps de concentration.[39]

### 2.2.1.5 La hauteur d'un bassin versant

**a. Hauteur moyenne d'un bassin versant :** Il s'agit de la valeur moyenne de la différence d'altitude entre les points les plus élevés et les plus bas du bassin. Cette mesure, exprimée en mètres.[39]

**b. Hauteur maximale d'un bassin versant :** C'est la plus grande distance verticale entre le point le plus bas du bassin et son point culminant. Cette hauteur, indiquée en mètres ou en pieds.[39]

**c. Hauteur minimale d'un bassin versant :** Elle correspond à l'altitude du point le plus bas du bassin versant, généralement mesurée par rapport au niveau de la mer, exprimée en mètres ou en pieds. Cette donnée sert de référence pour situer le bassin dans son contexte topographique.[39]

### 2.2.1.6 Indice de compacité

L'indice de compacité, souvent appelé coefficient de compacité ou indice de Gravelius, est un paramètre morphométrique qui caractérise la forme d'un bassin versant. Cet indice compare le périmètre du bassin à celui d'un cercle ayant la même surface. Sa valeur est proche de 1 pour un bassin de forme circulaire, indiquant une forme compacte, et augmente à mesure que le bassin devient plus allongé ou irrégulier .[44]

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

- $K_c$  : Coefficient de compacité du bassin versant ,
- $P$  : Périmètre du bassin versant, en kilomètres (km),
- $A$  : Aire (ou superficie) du bassin versant, en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>).

## 2.2.2 Le temps de concentration

Le temps de concentration d'un bassin versant correspond au temps nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le trajet depuis le point le plus éloigné du bassin jusqu'à son exutoire. Il représente ainsi la durée maximale pour que l'ensemble des eaux de ruissellement atteigne ce point de sortie .[45]

Le temps de concentration dépend de plusieurs facteurs physiques du bassin versant, notamment : La longueur du parcours de l'eau, La pente moyenne du bassin, la rugosité du sol et la couverture végétale, le type de sol et son imperméabilité et l'intensité et la durée de la pluie .[45]

Il est généralement calculé à partir de formules empiriques adaptées au type de bassin (naturel, urbain, agricole) ou estimé à partir de données d'observation des crues, notamment :

### 2.2.2.1 Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{\Delta H}} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration du bassin versant (BV), en heures (h),
- $S$  : Surface du bassin versant, en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>),
- $L$  : Longueur du cours d'eau principal, en kilomètres (km),
- $\Delta H$  : Différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale du bassin versant, en mètres (m).

### 2.2.2.2 Formule de Ventura :

Elle est applicable pour des bassins à une pente moyenne faible et une surface inférieure à 5 km<sup>2</sup>.

$$T_c = \left(0,13 \cdot \frac{S}{I}\right)^{0,5} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration du bassin versant (BV), en heures (h),
- $S$  : Surface du bassin versant, en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>),
- $I$  : Pente moyenne du bassin versant, en pourcentage (%).

### 2.2.2.3 Formule Passini :

Elle est applicable pour des surfaces entre 5 et 25 km<sup>2</sup>.

$$T_c = 6,48 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration du bassin versant (BV), en heures (h),
- $S$  : Surface du bassin versant, en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>),
- $L$  : Longueur du cours d'eau principal, en kilomètres (km),
- $I$  : Pente moyenne du bassin versant, en pourcentage (%).

## 2.3 Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude concerne une liaison ferroviaire le long d'une distance de 31 Km qui est située entre Oum el assel et Tindouf, au Sud-Ouest de l'Algérie, dans la région Sahara. Elle est limitée par le Maroc au nord, par la wilaya de Béchar au nord-est, par la République Arabe Sahraouie Démocratique à l'ouest, par la wilaya d'Adrar au sud-est et par la Mauritanie au sud. Sa superficie totale est d'environ 12 192 km<sup>2</sup> et elle compte une population d'environ 1,1 million d'habitants.

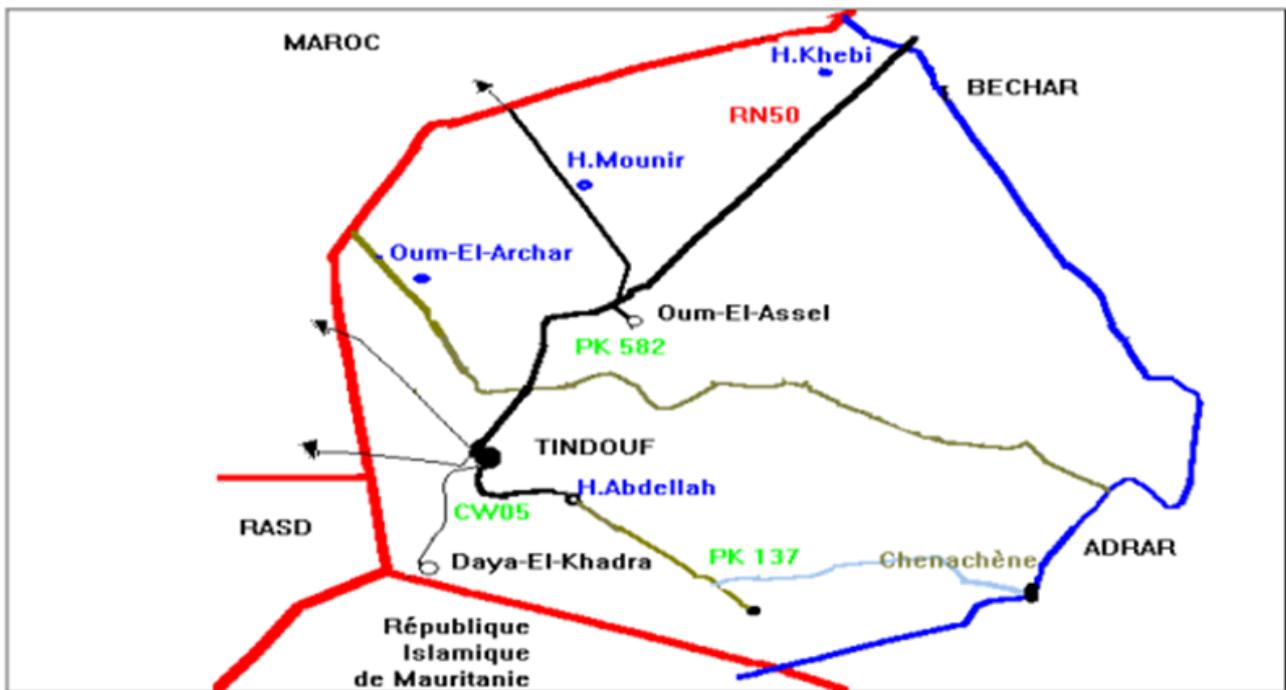


FIGURE 2.1 – Carte des limites de la wilaya de Tindouf[3]

### 2.3.1 Localisation du tracé

Le tracé de la ligne ferroviaire GARE DJEBILET(TINDOUF)-BECHAR-SECTION N°4 sur un linéaire de 98 km, il prend naissance au PK 639+00 au niveau de la ville de Oum Laasel wilaya de Tindouf au PK 737+000 au niveau de la ville de Hassi Ennaga wilaya de Tindouf. Il est d'orientation générale Nord-est / Sud-ouest, pratiquement parallèle à la route nationale RN50 qui relie ABADLA de la wilaya de BECHAR à CHENACHENE à la wilaya de TINDOUF. La totalité du tracé de la ligne ferroviaire Béchar/Tindouf/ GARE DJEBILET traverse des zones arides et désertique qui couvrent la totalité de la wilaya de Tindouf et le sud algérien en général. Le tracé est traversé souvent par des oueds et des écoulements temporaires qui constituent le principal obstacle à le trouver solution.

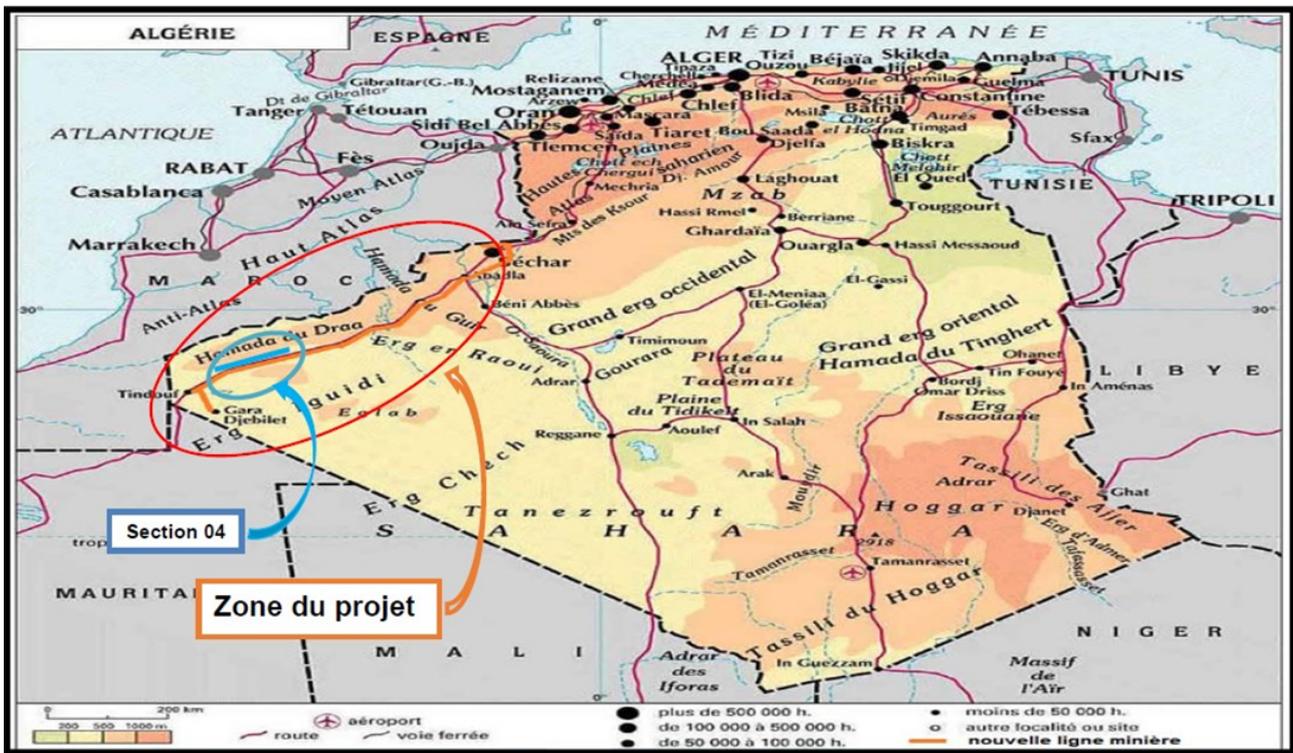


FIGURE 2.2 – Localisation du tracé.[4]

### 2.3.2 Réseau hydrographique des bassins versants de la zone d'étude

Hydrologiquement parlant et selon la codification des bassins versants établie par l'ANRH, l'ensemble du tracé de la voie ferrée concerné par cette étude s'inscrit dans le plus grand bassin versant en Algérie, il s'agit du bassin versant de Sahara (Code ANRH : 13)



FIGURE 2.3 – Les grands bassins versants Algériens.[5]

Les oueds situés dans la zone d'étude présentent un caractère hydrologique typique des régions désertiques arides et semi-arides. Leur régime est marqué par une forte irrégularité, étroitement liée aux conditions climatiques locales. Le réseau hydrographique de cette zone est fortement

dépendant des précipitations irrégulières et soumis à une atmosphère à fort pouvoir évaporant, ce qui confère aux oueds un caractère temporaire et discontinu. Cette dynamique rend la gestion des ressources en eau particulièrement délicate.

En effet, ces oueds connaissent un débit quasi nul pendant la majeure partie de l'année, souvent entre 6 et 10 mois, en raison des précipitations extrêmement faibles et sporadiques, qui atteignent en moyenne seulement 27 mm par an à Oum El Assel. Lors des rares épisodes pluvieux, notamment lors d'orages violents et soudains, ces oueds peuvent générer des crues intenses et abondantes, caractérisées par des écoulements puissants sur des courtes durées.

Cependant, cette énergie hydraulique se dissipe rapidement dans les parties basses des bassins versants, où la topographie relativement plate et l'évaporation très élevée — liée à un climat hyper-aride avec une évapotranspiration intense — contribuent à la disparition rapide des eaux de surface. Ce phénomène limite la continuité des écoulements et la recharge directe des nappes superficielles.[5]

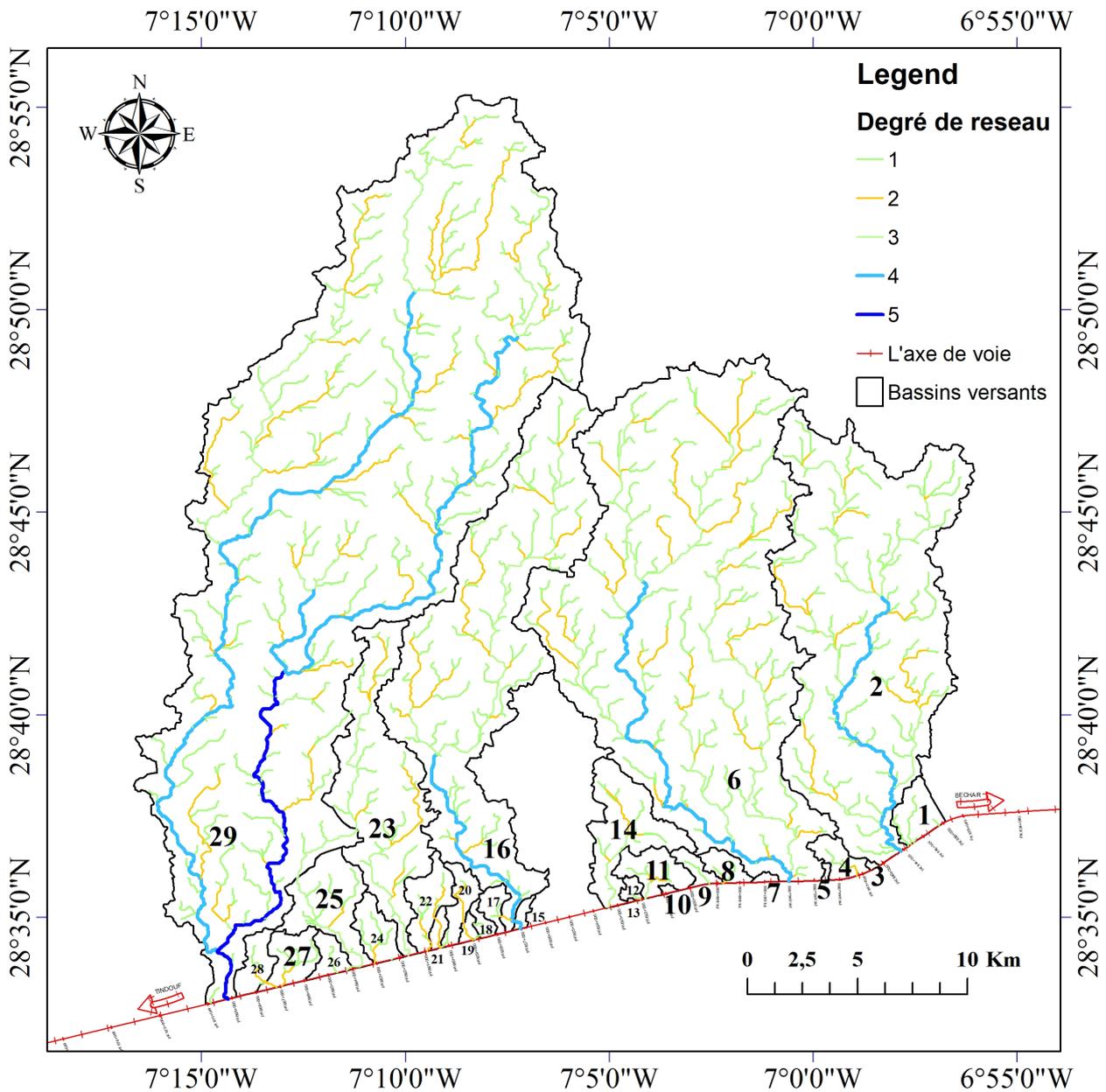


FIGURE 2.4 – Réseau hydrographique de la zone d'étude.

## 2.4 Méthodes de délimitation des bassins versant

### 2.4.1 Méthode manuelle avec logiciel Google Earth

Pour délimiter un bassin versant manuellement il faut passer par les étapes suivantes :

1. Identification de l'exutoire.
  2. Reconnaissance du réseau hydrographique (principal au minimum) rattaché à l'exutoire.
  3. Repérage du réseau hydrographique des bassins alentours (surtout en zones plates).
  4. Identification des points culminants sur la zone.
  5. Tracer du contour du bassin à 90° des Lignes de niveau (ligne de crêtes) : On contourne l'ensemble du tronçon amont, incluant tous ses tributaires. On revient au point de départ.[6]
- Parmi les outils assistés par ordinateur qu'on peut utiliser pour atteindre notre objectif, c'est le logiciel développé par Google, en l'occurrence Google Earth, qui peut s'avérer un outil utile pour la délimitation des bassins versants. Voici les étapes pour utiliser Google Earth pour cette tâche :

1. Utiliser l'outil de création pour créer un point ou un repère représente l'exutoire de bassin versant. On peut identifier cet exutoire par l'intersection entre le cours d'eau et l'axe de l'autoroute.

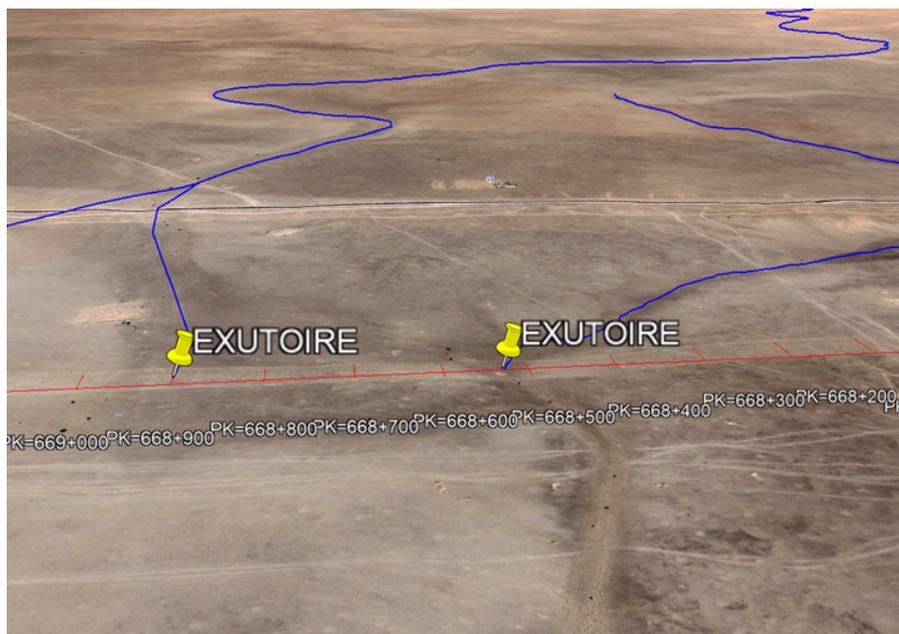


FIGURE 2.5 – Identification de l'exutoire

Dans la fenêtre des lieux on peut ajouter un repère qui caractérise l'exutoire utilisant l'outil suivant :

Ajouter → Repère → Nommer (Exemple : Exu 1)

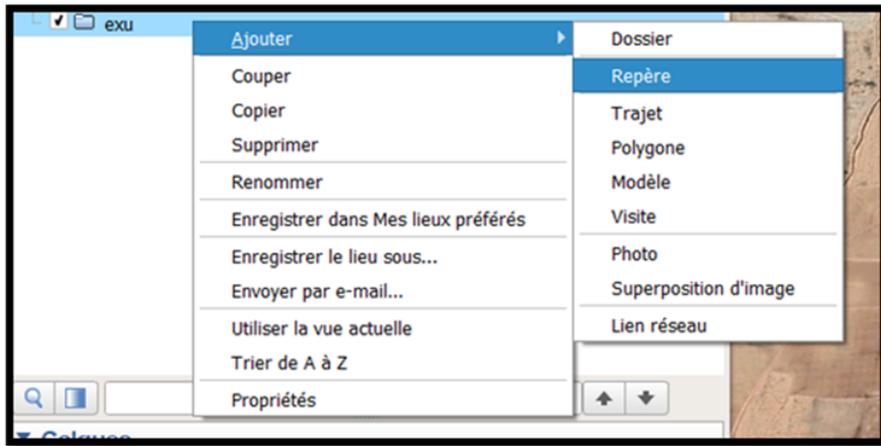


FIGURE 2.6 – Création d'un repère

1. Commençons par l'exutoire du cours d'eau, on peut suivre son chemin contre le sens de l'écoulement jusqu'à arriver au point de départ du cours d'eau, ce chemin sera le cours d'eau principale ou talweg.



FIGURE 2.7 – Extraction du talweg

Dans la fenêtre des lieux on peut ajouter un trajet qui caractérise le cours d'eau principal en utilisant l'outil suivant :

Ajouter → Trajet → Nommer (Exemple : Talweg 1)

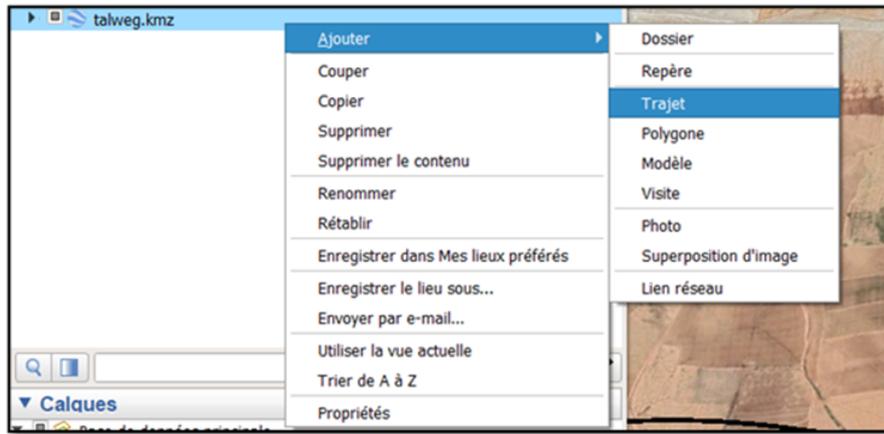


FIGURE 2.8 – Création d'un trajet

On doit vérifier l'unité du système de mesure :

Aller à mesure → choisir (Km) → OK

On peut modifier les paramètres de visualisation de trajet qu'on a créé.

Aller sur la barre des tâches → clic droit sur route → propriétés tableau → on peut changer la couleur et la largeur → OK.

3. Après on essaie de visualiser les points hauts à l'aide de la barre qui affiche la variation de l'altitude et on marque ces points afin de les relier pour déterminer la ligne de crête qui caractérise ce bassin versant.

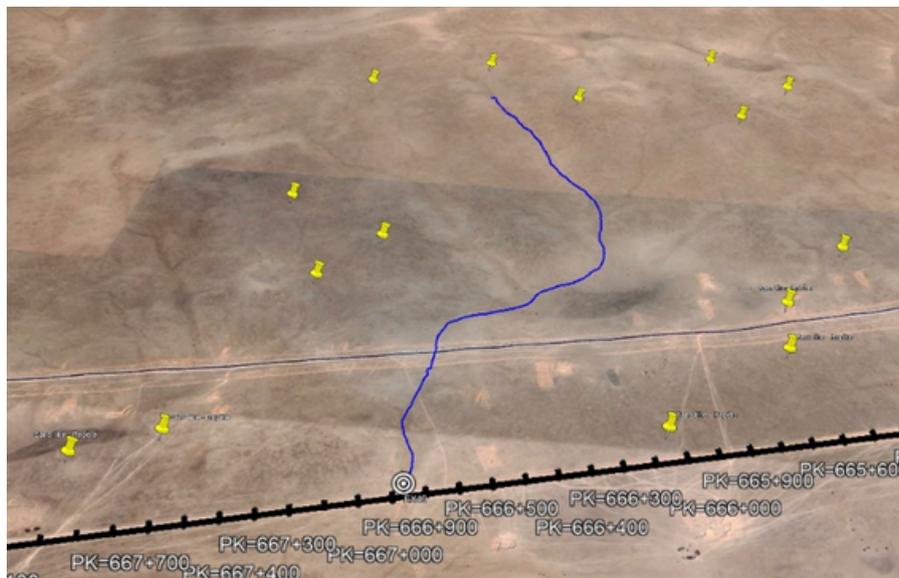


FIGURE 2.9 – Identification des points hauts

4. Enfin pour obtenir la forme finale du bassin versant on dessine un polygone qui passe par les points qu'on a déjà déterminé, en même temps, on suit la variation de l'altitude pour extraire le bassin versant le plus réel et éviter les erreurs qui peuvent influencer nos résultats dans les prochaines étapes.

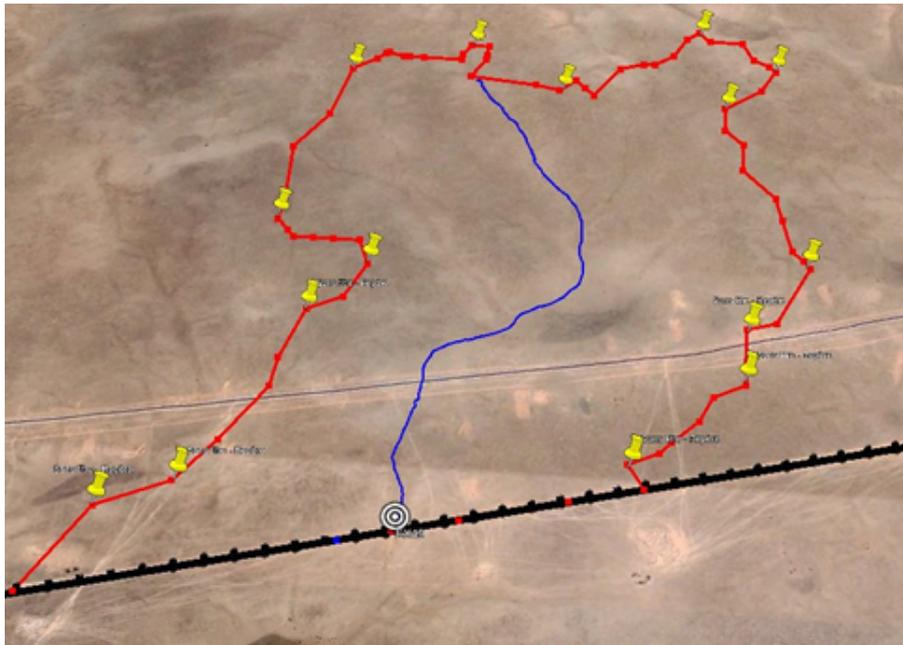


FIGURE 2.10 – Extraction du bassin versant

On peut créer un polygone à l'aide de l'outil ajouter un polygone :

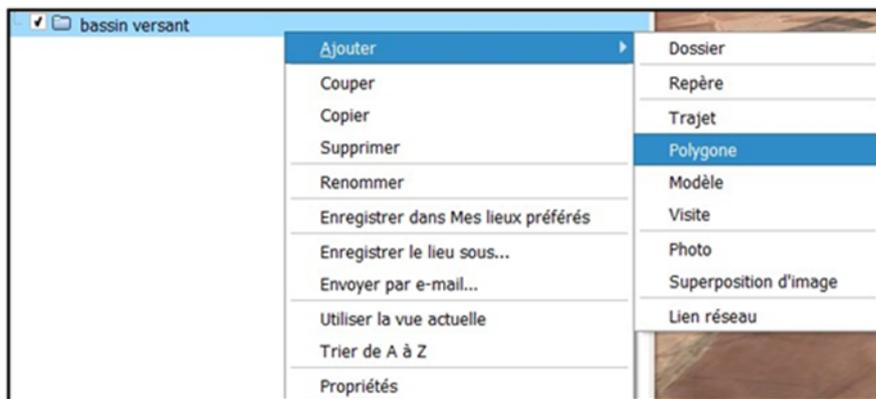


FIGURE 2.11 – Création d'un polygone

Et pour les autres bassins versants, on suit les mêmes étapes. Dans notre cas d'étude, on a pu extraire 29 bassins versants qui sont représentés dans la figure 2.12 ci-dessous

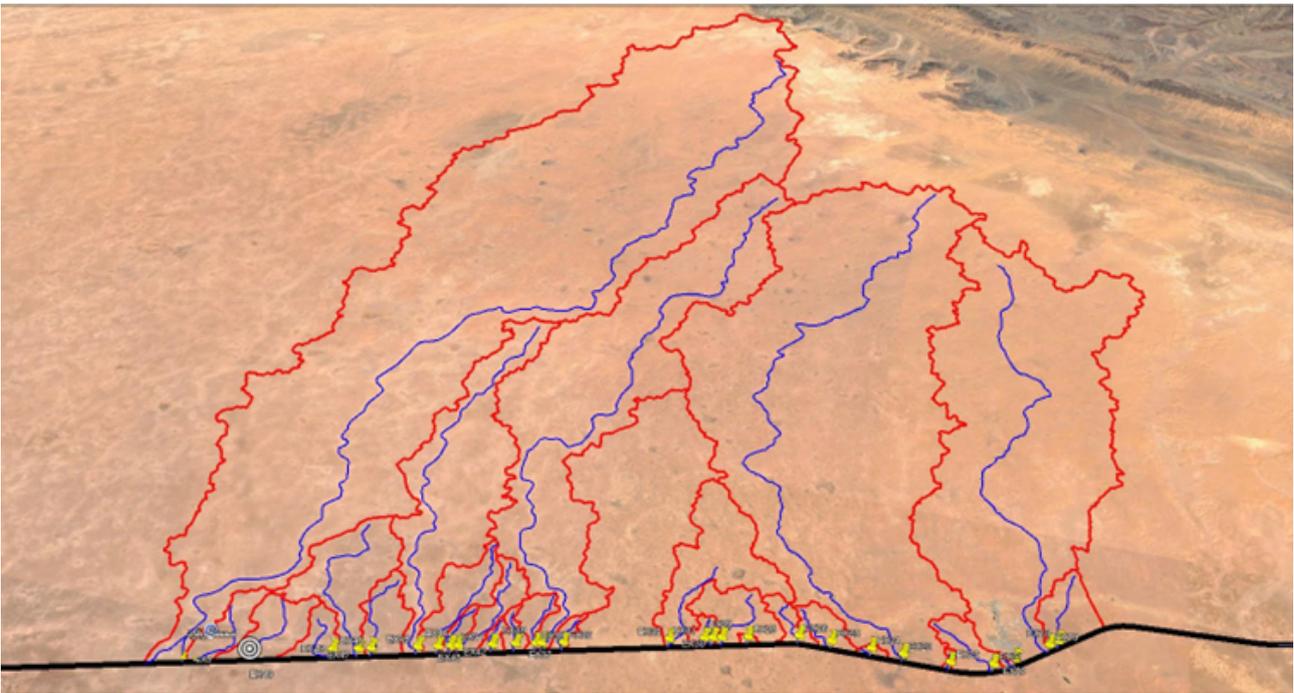


FIGURE 2.12 – Projection des bassins extraits dans une image satellitaire.

5. 5. Exporter les limites de la zone de drainage et les données de superficie dans un fichier pour une utilisation ultérieure.

Il est important de noter que cette méthode peut ne pas être aussi précise que d'autres méthodes plus spécialisées, telles que l'utilisation de SIG (Système d'Information Géographique). Cependant, l'utilisation de Google Earth peut fournir une estimation approximative de la limite du bassin versant et peut être utilisée comme outil préliminaire pour l'analyse hydrologique. L'extraction manuelle des bassins versants fait par Google Earth est représentée dans la figure 2.12.

## 2.4.2 Méthode manuelle a partir d'une carte Topographique

### Définition d'une carte topographique :

Une carte topographique représente de manière précise la configuration du terrain, incluant les reliefs, les formes du sol ainsi que divers éléments géographiques comme les cours d'eau, les routes, les constructions et les zones boisées. Elle fournit des informations essentielles sur les altitudes, les pentes et les lignes de niveau, permettant de visualiser la topographie de la surface terrestre. Ces cartes sont élaborées à partir de relevés directs sur le terrain, d'images aériennes ou de données satellitaires. Elles trouvent leur utilité dans de nombreux domaines, notamment l'arpentage, la gestion et l'aménagement du territoire, la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, ainsi que pour les activités de plein air comme la randonnée ou l'escalade.[46]

Les informations figurant sur une carte topographique sont représentées à l'aide de divers éléments graphiques tels que des symboles conventionnels, des lignes de contour (courbes de niveau), des couleurs spécifiques, ainsi que d'autres signes visuels. Ces éléments facilitent la lecture et l'interprétation des caractéristiques du terrain, en rendant visibles les reliefs, les cours d'eau, les infrastructures, et autres détails géographiques. Par ailleurs, la carte intègre souvent des coordonnées géographiques, une échelle de représentation et une légende explicative, qui permettent à l'utilisateur de localiser précisément les éléments cartographiés et de comprendre la signification des symboles employés.[6]

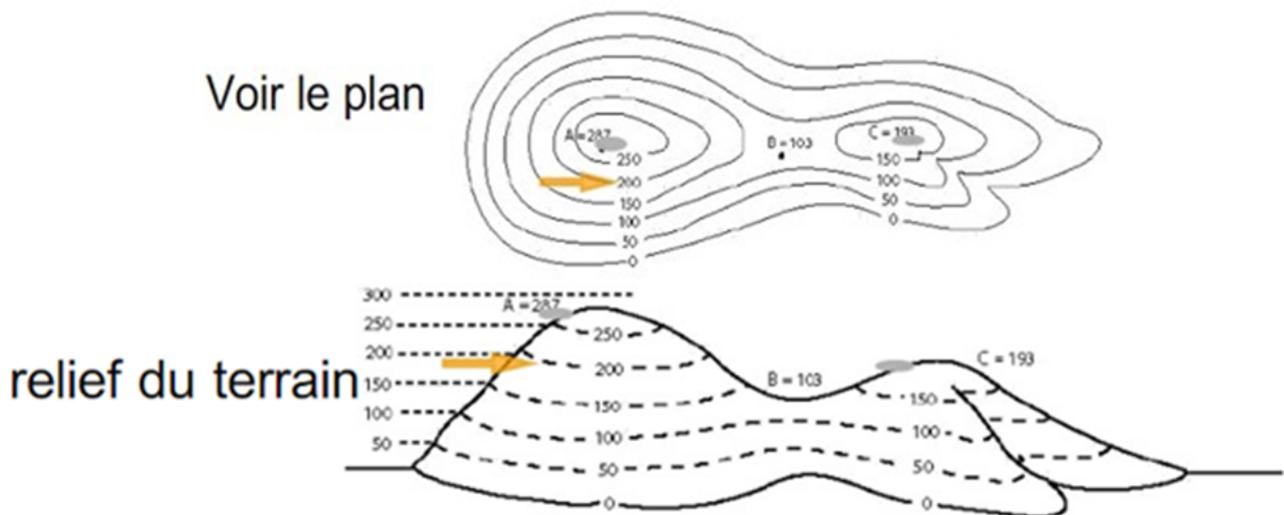


FIGURE 2.13 – Les reliefs et leurs représentations dans une carte topographique[6]

**Utilisation de la carte topographique pour la délimitation des bassins versants :**

Les courbes de niveaux se connectent toujours, mais pas toujours dans les limites de la carte. Comme il est représenté dans la figure 4.14.

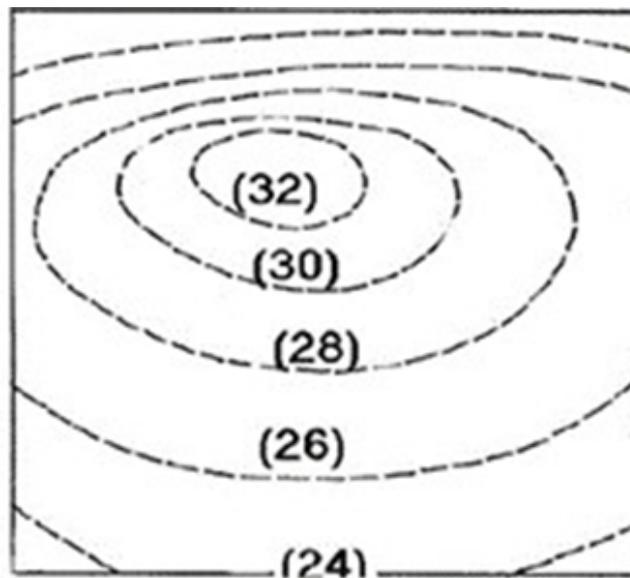


FIGURE 2.14 – Les Courbes de niveaux

Le sens de la pente est calculé et dirigé perpendiculairement aux courbes de niveaux (figure 2.15)

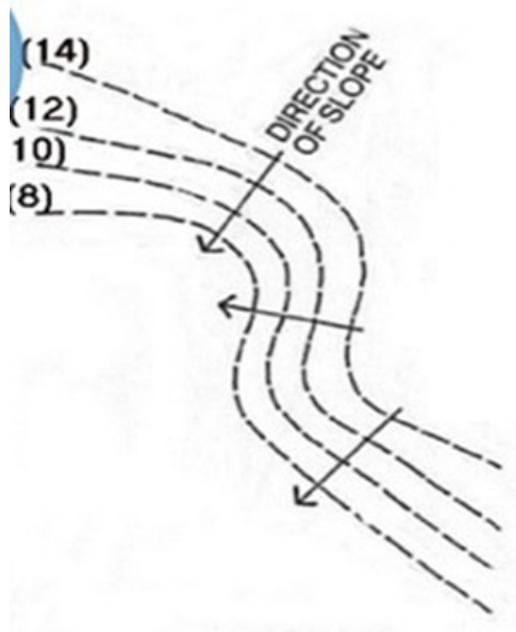


FIGURE 2.15 – L'orientation du sens des pentes[6]

On peut tirer les informations suivantes dans la carte qui se représente dessous (figure 2.16) :



FIGURE 2.16 – Exemple d’une carte topographique réelle [6]

- Les sommets sont indiqués par des courbes de niveaux fermées et plus petites.
- Chaque cinquième ligne de courbe de niveau est une courbe indice et est habituellement étiquetée.
- Les courbes de niveaux rapprochées indiquent une pente raide ou escarpement.
- Les courbes de niveaux éloignées indiquent une pente douce.
- Les courbes de niveaux ne se croisent jamais.
- Lorsque les courbes de niveaux traversent un cours d’eau, ils forment un « V » qui pointe toujours vers le haut.
- Lorsque les courbes de niveaux traversent une ligne de crête, ils forment un « V » qui pointe toujours vers le bas.
- Une selle est une zone, souvent sur une crête, entre deux zones de haute altitude.
- Les dépressions sont indiquées par des courbes de niveaux fermées avec des tiques ou une flèche pointant vers l’intérieur.[47]

#### Ligne de crêtes et de talweg :

- Passent par les extrêmes (crêtes : max / talwegs : min) et les cols de la surface.
- La courbure horizontale de la ligne de niveau y présente un maximum (la concavité est inversée entre lignes de crêtes et de talweg).[6]

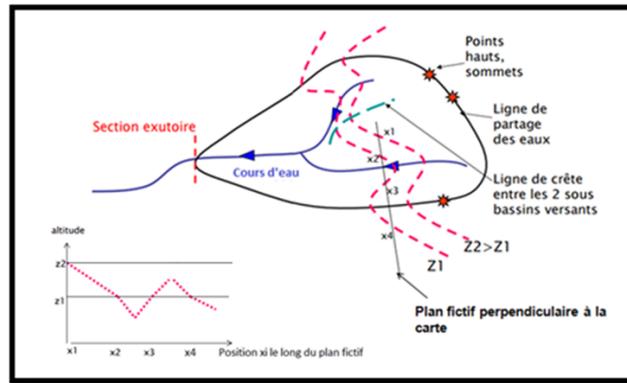


FIGURE 2.17 – Les lignes des crêtes et des talwegs

La carte topographique de notre cas d'étude est géoréférencée et est représentée dans la figure suivante :

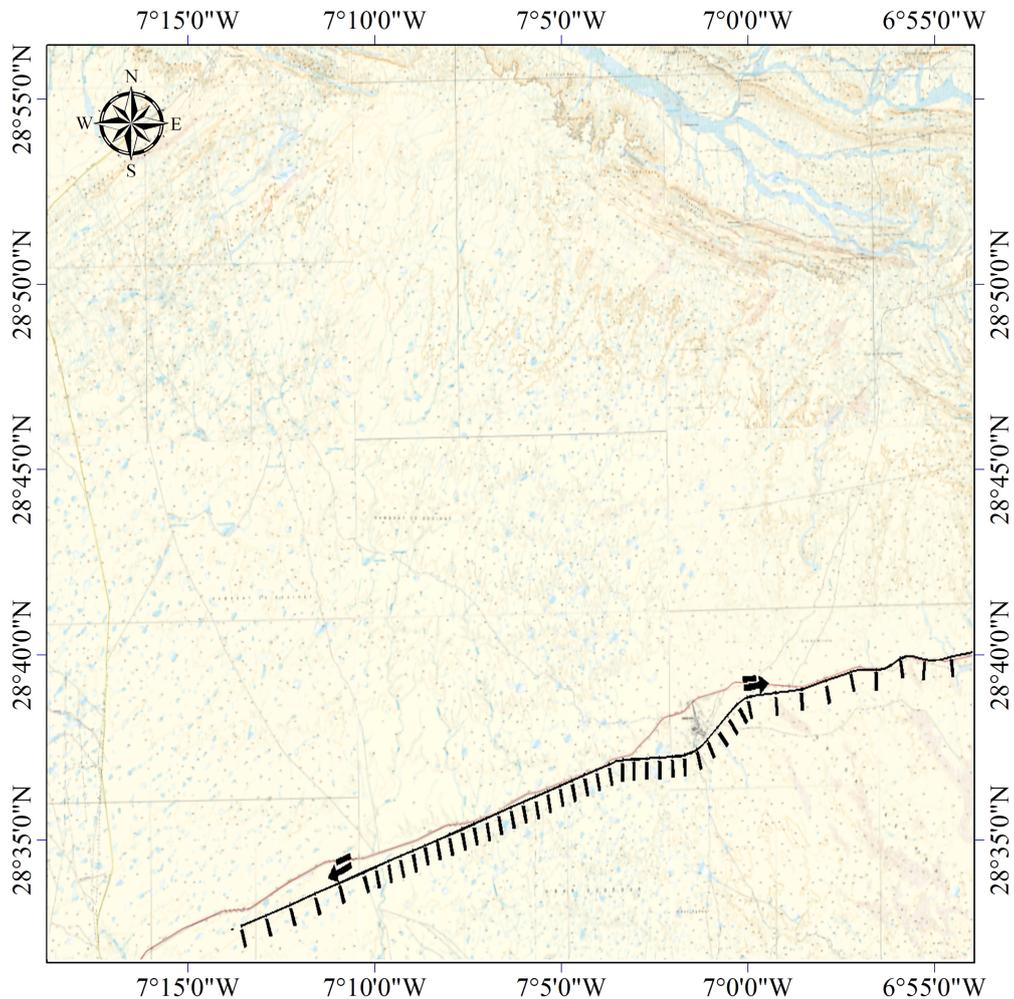
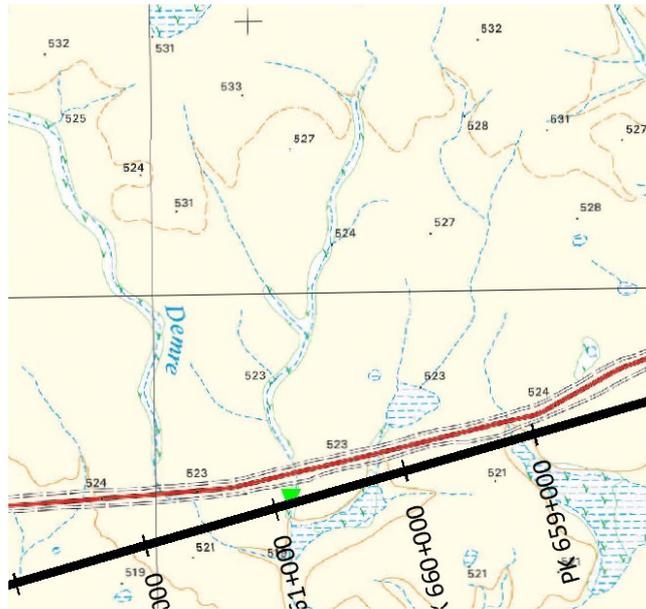


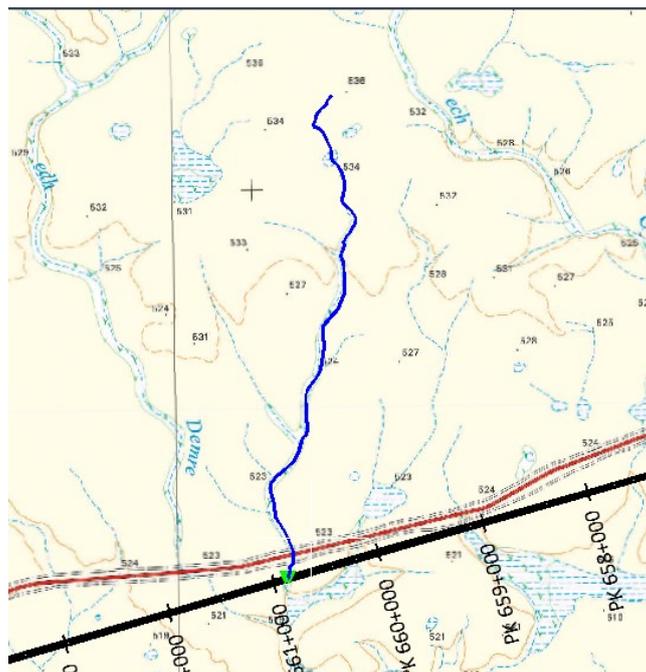
FIGURE 2.18 – Carte topographique correspondant a notre cas d'étude (source :GCB)

Pour la délimitation des bassins versants à partir d'une carte topographique, on doit passer par les mêmes étapes de délimitation manuelle citées dans la section précédente qui traite la procédure de délimitation en utilisant Google Earth :

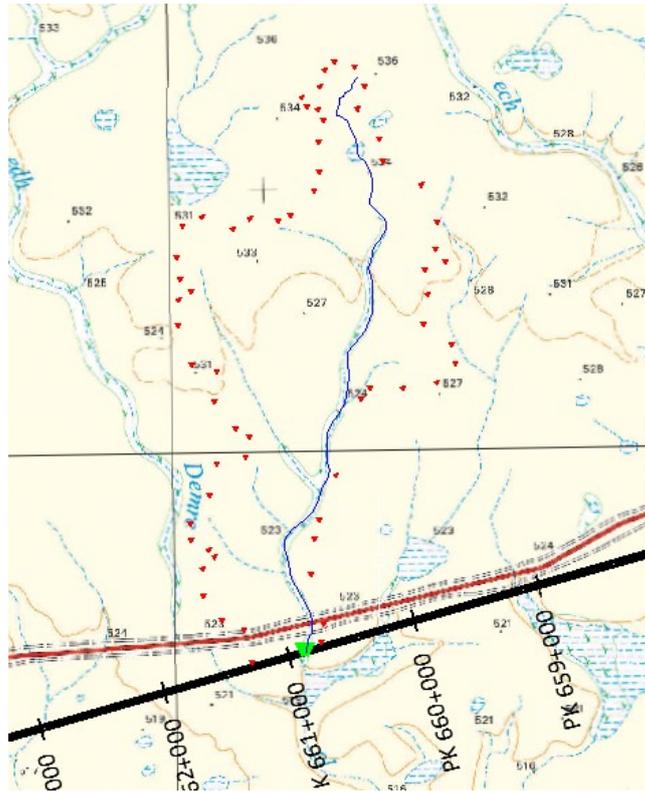
1. Identification de l'exutoire :



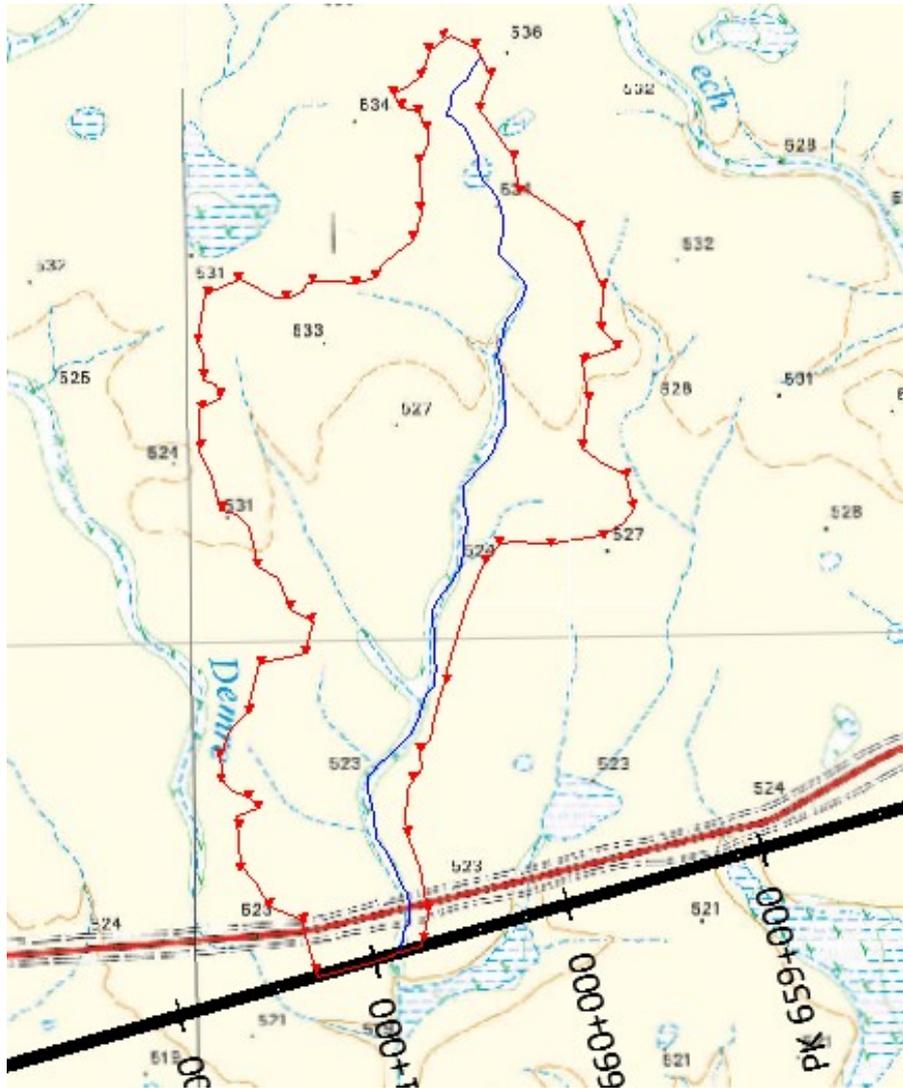
2. Reconnaissance du réseau hydrographique (principal au minimum) rattaché à l'exutoire.



3. Identification des points culminants (les point hauts) sur la zone.



4. Tracer du contour du bassin à  $90^\circ$  des Lignes de niveau (ligne de crêtes) : On contourne l'ensemble du tronçon amont, incluant tous ses tributaires. On revient au point de départ.
5. Lignes de niveau (ligne de crêtes) : On contourne l'ensemble du tronçon amont, incluant tous ses tributaires. On revient au point de départ.



Et on refait la même procédure pour les autres bassins versants.

### 2.4.3 Méthode numérique (Arcgis)

ArcGIS est une plateforme complète de systèmes d'information géographique (SIG) développée par Esri, qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, visualiser et partager des données géographiques. Utilisée mondialement par des professionnels de divers secteurs, elle facilite la création de cartes intelligentes, l'analyse spatiale avancée, la gestion de bases de données géographiques et la diffusion d'informations géographiques via des applications web, mobiles ou desktop .[48]

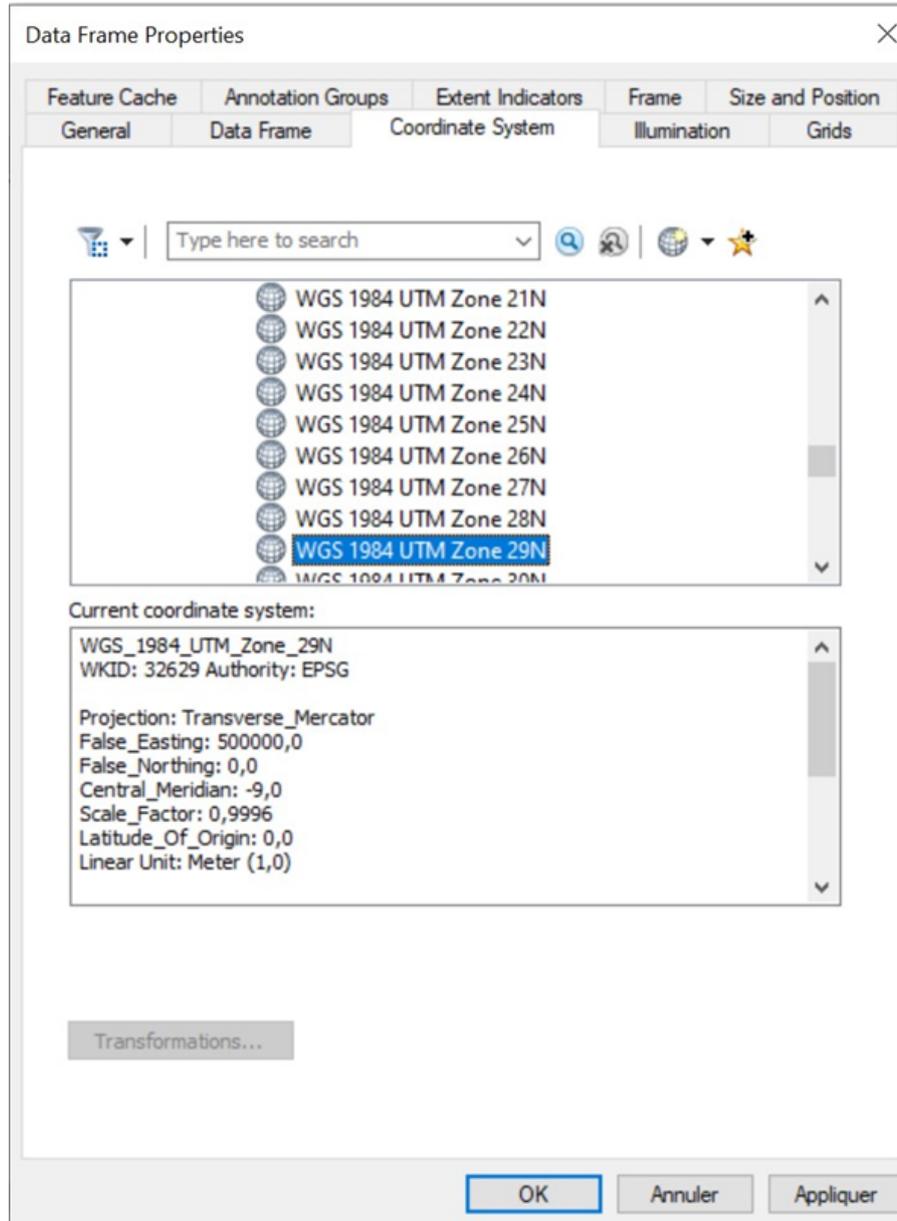
Arcgis prend en charge un large éventail de formats de données géospaciales, notamment les formats SIG les plus courants, tels que Shapefile, KML, GeoTIFF, etc. Il permet également d'exporter des données dans des formats courants ou spécifiques à une application .[48]

Ce logiciel est très efficace dans le coté traitement des données, il permet de fusionner, de découper, de convertir et de rééchantillonner des données géospaciales. Il offre également des outils pour la création de modèles de terrain, l'extraction de courbes de niveau, l'extraction des bassins versants et leurs réseaux hydrographiques, la création de profils de terrain, la classification de points LiDAR et la création de MNT (Modèles Numériques de Terrain).[48]

Les étapes à suivre pour l'extraction des sous bassins versants sont résumées comme suit :

### - Définition de système de projection

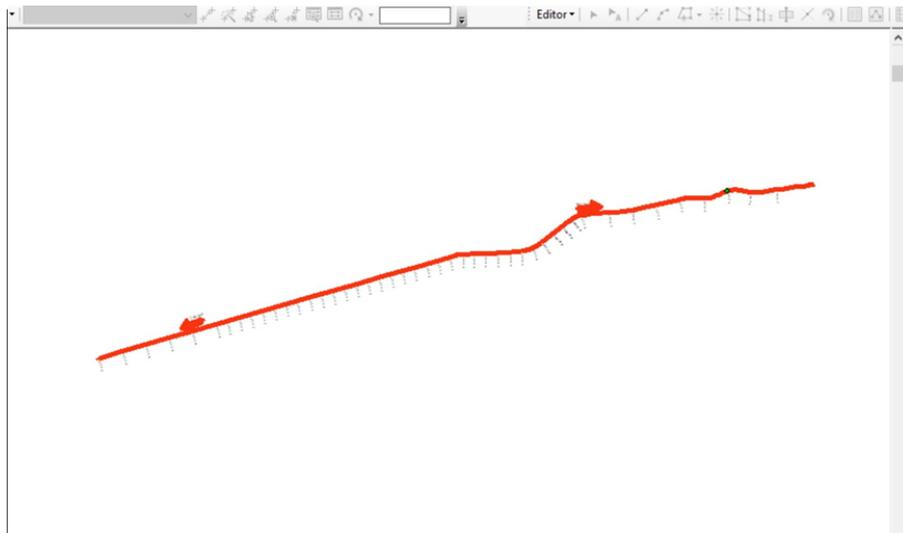
Après avoir ouvert ArcGIS, il faut faire un clic droit sur « Data Frame Properties » puis se rendre dans l'onglet « Projected Coordinate System ». Dans la catégorie « UTM – WGS 1984 – Northern Hemisphere » on sélectionne la zone correspondant à la localisation du projet, en l'occurrence la « zone 29N » dans notre cas.



### - Importation de l'axe de la route

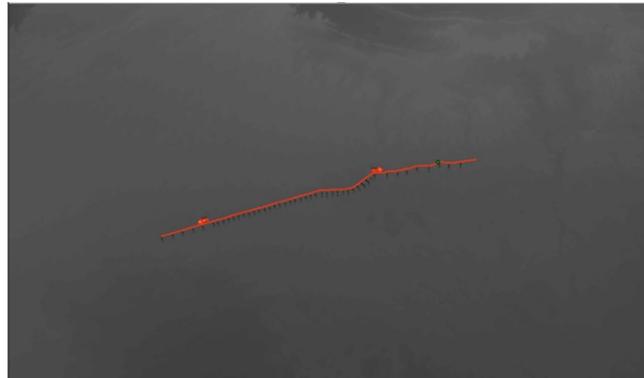
Dans ArcGIS :

- Menu Add Data Importer votre fichier KML, KMZ, Shapefile ou DWG (AutoCAD).
- Si le fichier est KML/KMZ :  
Utiliser l'outil KML to Layer (Conversion Tools From KML).
- Si le fichier est CAD :  
Utiliser directement les entités dans ArcGIS ou convertir en shapefile.
- Utiliser l'outil Zoom to Layer pour visualiser la route.



### - Téléchargement et préparation du MNT (Modèle Numérique de Terrain)

- Téléchargez un MNT depuis des sources comme :  
USGS EarthExplorer, SRTM, ASTER, ou autres. (Dans notre cas on a utilisé USGS)
- Importez-le MNT dans ArcGIS via Add Data.
- Vérifiez que le MNT couvre bien toute la zone du projet.
- Si ce n'est pas le cas :  
Télécharger un MNT plus large ou fusionner plusieurs MNT avec Mosaic To New Raster.



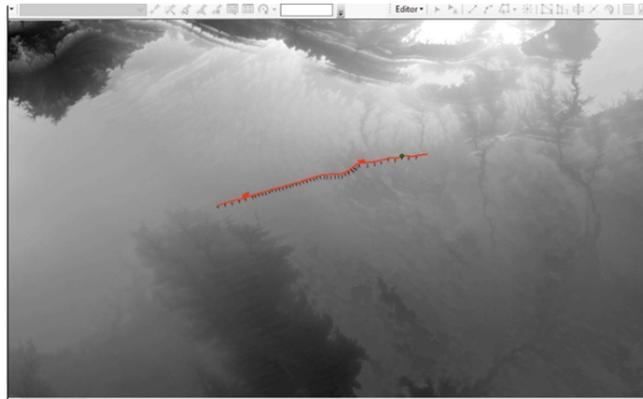
### - Délimitation de la zone d'étude (Zone des bassins)

- o Créez un polygone avec l'outil Create Feature Class (type polygon) Cette couche définira la zone de travail.
- o Utiliser l'outil Clip (Analysis Tools Extract Clip) pour restreindre le MNT à la zone du projet.
- o Cela permet d'éviter de générer des bassins inutiles hors zone

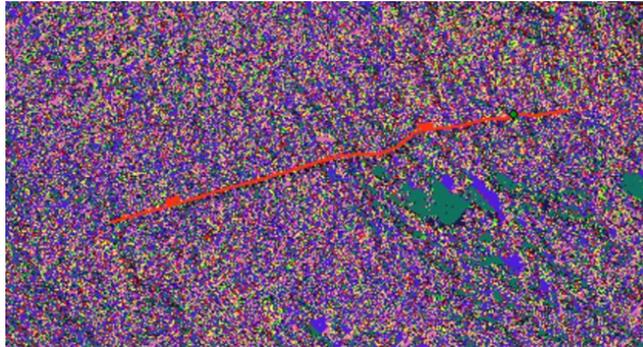
### - Génération des bassins versants

Dans ArcGIS, équivalent de l'étape "Generates Watershed" :

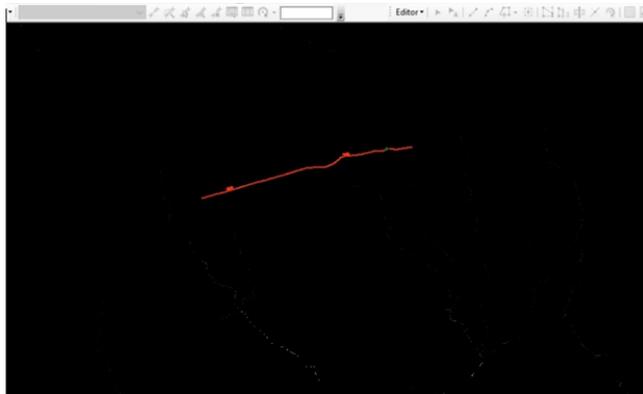
- o **Step 1 : Fill** Corrige les dépressions dans le MNT.



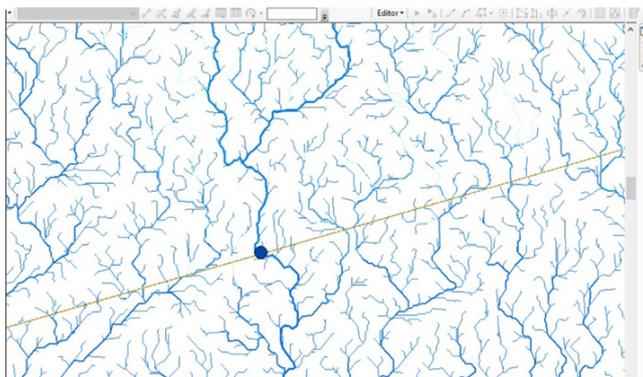
- **Step 2 : Flow Direction** Génère la direction des écoulements.



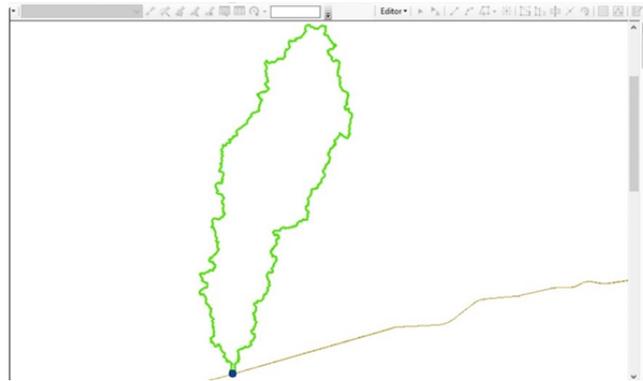
- **Step 3 : Flow Accumulation** Permet de visualiser les zones de concentration des écoulements.



- **Step 4 : Définition des exutoires** Utiliser une couche de points pour placer les exutoires manuellement ou les générer automatiquement à partir des zones d'accumulation.



- **Step 5 : Watershed** Délimite automatiquement les bassins versants à partir du raster de direction d'écoulement et des exutoires définis.

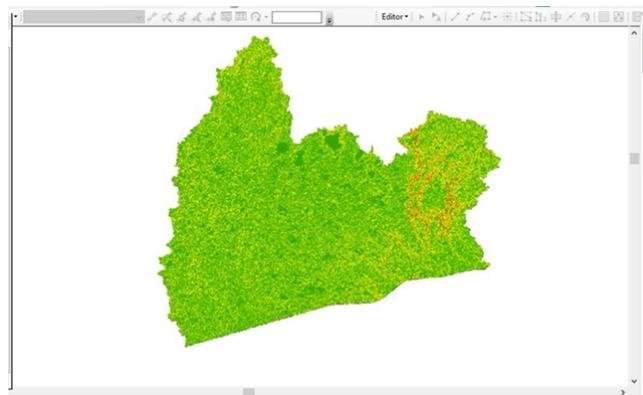


- **Exportation des résultats :**

- Export en Google Earth :  
Utiliser Layer To KML pour convertir en KML/KMZ.
- Export vers AutoCAD :  
Utiliser Export To CAD pour obtenir un fichier DWG.

- **Analyse des caractéristiques des bassins versants**

- Utiliser l'outil Zonal Statistics as Table pour obtenir :  
Altitudes min/max, pente moyenne, superficie...



- Pour la longueur d'écoulement la plus longue :  
Utiliser l'outil Measure en mode ligne et suivre le chemin le plus long à l'intérieur du bassin.
- Pour visualiser la zone inondée ou simuler le remplissage :  
Utiliser les outils de modélisation hydraulique comme ArcHydro Tools ou extension 3D Analyst pour visualiser en 3D et simuler la montée des eaux.

- **Exportation des résultats**

- Export en Google Earth :  
Utiliser Layer To KML pour convertir en KML/KMZ.
- Export vers AutoCAD :  
Utiliser Export To CAD pour obtenir un fichier DWG.

## 2.4.4 Résultats des caractéristiques morphologiques des bassins versants délimités

L'extraction des bassins versants dans notre zone d'étude a permis la délimitation de 29 bassins versants que l'on peut classer en trois catégories suivant leur surface, petit, moyen et grand. Pour les petits bassins il est recommandé de les délimiter manuellement, pour les bassins moyens, les deux méthodes manuelle et numérique peuvent être appliquées, mais concernant les grands bassins (dans notre cas le BV6 et BV29) la méthode numérique utilisant un logiciel SIG est préférable car plus précise.

L'objectif de cette tâche est d'étudier les caractéristiques de chaque bassin versant pour déterminer le débit à l'exutoire afin de dimensionner correctement l'ouvrage capable d'évacuer ce débit.

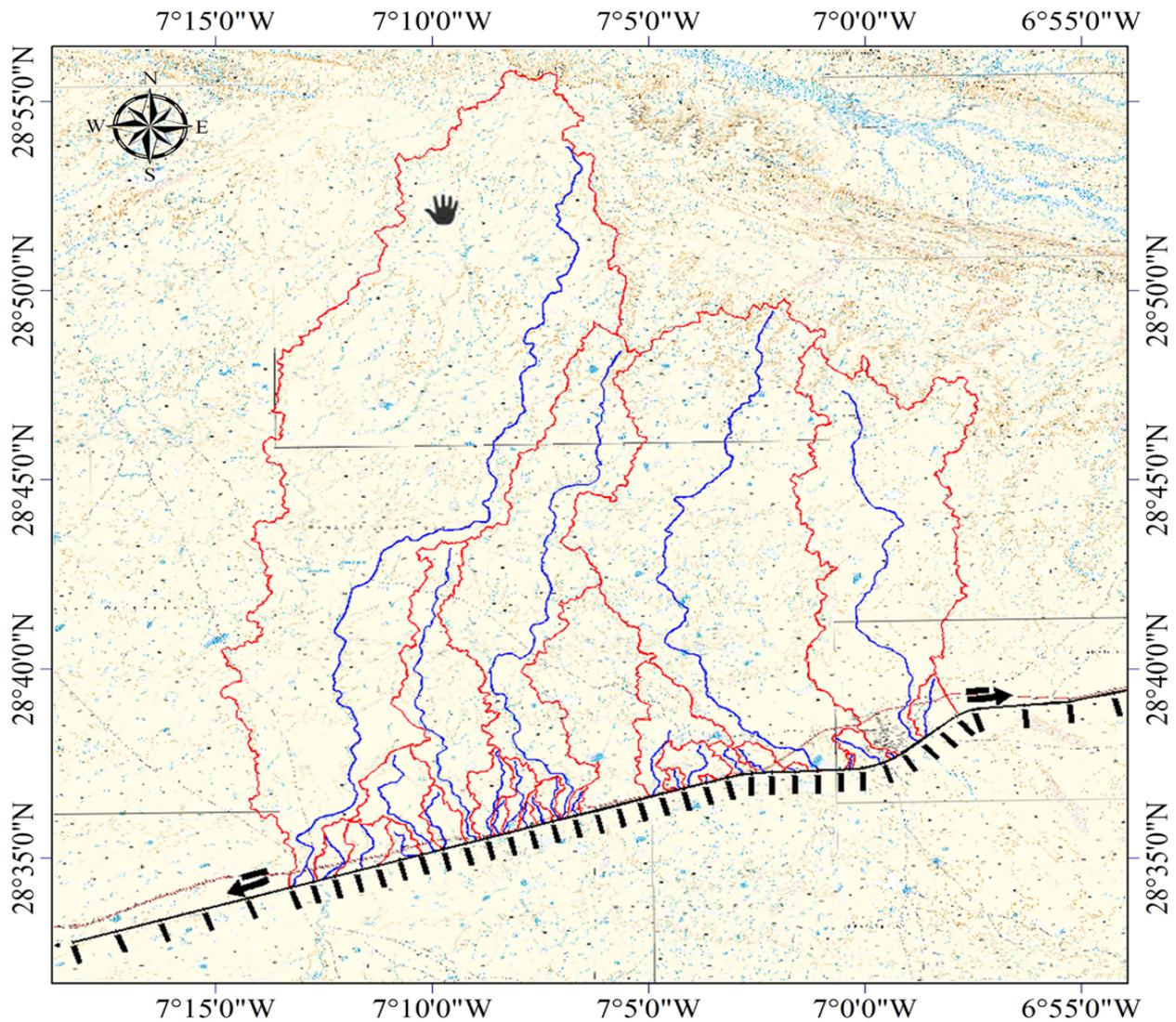


FIGURE 2.19 – Projection des bassins versants sur une carte topographique

L'analyse de ces différents bassins versants a permis de dégager leurs principales caractéristiques qui sont résumées dans le tableau 2.1 ci-dessous, sachant que celles-ci vont nous permettre d'estimer les différents débits de projet.

## Caractéristiques des bassins versants

Bassin	PK	S (km <sup>2</sup> )	P (km)	Alt min (m)	Alt max (m)	Alt moy (m)	Talweg (km)	Pente (%)	Kc	Type de bassin
1	640+865,29	3.885	8.781	521	542	531.5	3.133	2.455	1.25	très allongé
2	641+165,41	106.766	73.273	518	614	566.0	22.255	2.271	1.99	très allongé
3	642+435	0.147	1.716	522	534	528.0	0.455	4.308	1.25	très allongé
4	643+190	2.682	8.647	519	541	530.0	2.595	2.885	1.48	très allongé
5	644+565	0.209	2.333	522	532	527.0	0.860	2.415	1.43	très allongé
6	646+037,68	178.952	88.516	520	619	569.5	33.266	2.068	1.85	très allongé
7	647+050	0.361	2.897	522	532	527.0	0.437	2.516	1.35	très allongé
8	648+320	2.058	7.111	527	541	534.0	2.011	2.107	1.39	très allongé
9	649+374	1.511	7.571	527	542	534.5	1.951	2.421	1.72	très allongé
10	651+000	0.220	2.334	528	536	532.0	0.411	2.525	1.39	très allongé
11	651+847,18	4.430	11.899	527	542	534.5	2.828	2.133	1.58	très allongé
12	658+130	0.782	4.522	526	536	531.0	1.117	1.890	1.43	très allongé
13	652+400	0.049	0.975	527	534	530.5	0.158	3.488	1.23	très allongé
14	653+535	12.630	25.732	529	557	543.0	3.919	1.863	2.03	très allongé
15	656+900	0.690	4.665	524	533	528.5	1.556	1.964	1.57	très allongé
16	657+597,5	86.547	83.377	523	607	565.0	31.761	2.094	2.51	très allongé
17	657+787,3	1.605	6.897	523	535	529.0	2.412	2.163	1.52	très allongé
18	658+425	0.920	5.193	522	534	528.0	1.570	2.116	1.52	très allongé
19	659+150	0.696	4.350	520	530	525.0	1.324	1.900	1.46	très allongé
20	660+245	3.033	11.510	518	538	528.0	4.450	2.167	1.85	très allongé
21	660+475	0.933	4.838	518	529	523.5	2.118	1.653	1.40	très allongé
22	660+885,47	4.974	13.347	519	543	531.0	5.017	1.974	1.68	très allongé
23	661+517,24	32.840	48.617	520	571	545.5	17.868	2.089	2.38	très allongé
24	663+003,35	3.806	9.982	518	536	527.0	3.543	2.092	1.43	très allongé
25	663+393,13	10.501	18.999	517	542	529.5	7.115	2.181	1.64	très allongé
26	664+225,73	2.114	7.557	517	527	522.0	2.171	2.229	1.46	très allongé

<b>Bassin</b>	<b>PK</b>	<b>S (km<sup>2</sup>)</b>	<b>P (km)</b>	<b>Alt min (m)</b>	<b>Alt max (m)</b>	<b>Alt moy (m)</b>	<b>Talweg (km)</b>	<b>Pente (%)</b>	<b>Kc</b>	<b>Type de bassin</b>
27	666+769,17	4.400	10.998	517	531	524.0	2.817	2.066	1.47	très allongé
28	668+524	3.167	9.287	517	531	524.0	2.942	2.120	1.46	très allongé
29	668+900	331.101	134.325	516	653	584.5	50.826	2.335	2.07	très allongé
	670+074	331.101	134.325	516	653	584.5	51.400	2.335	2.07	très allongé

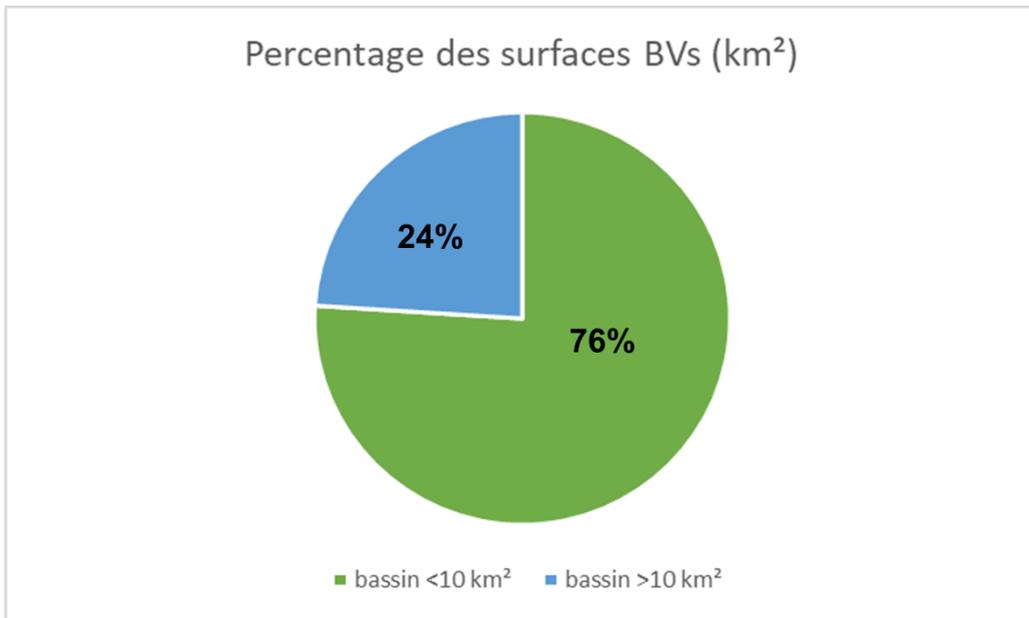


FIGURE 2.20 – Pourcentage des surfaces des BV < 10 km<sup>2</sup> >

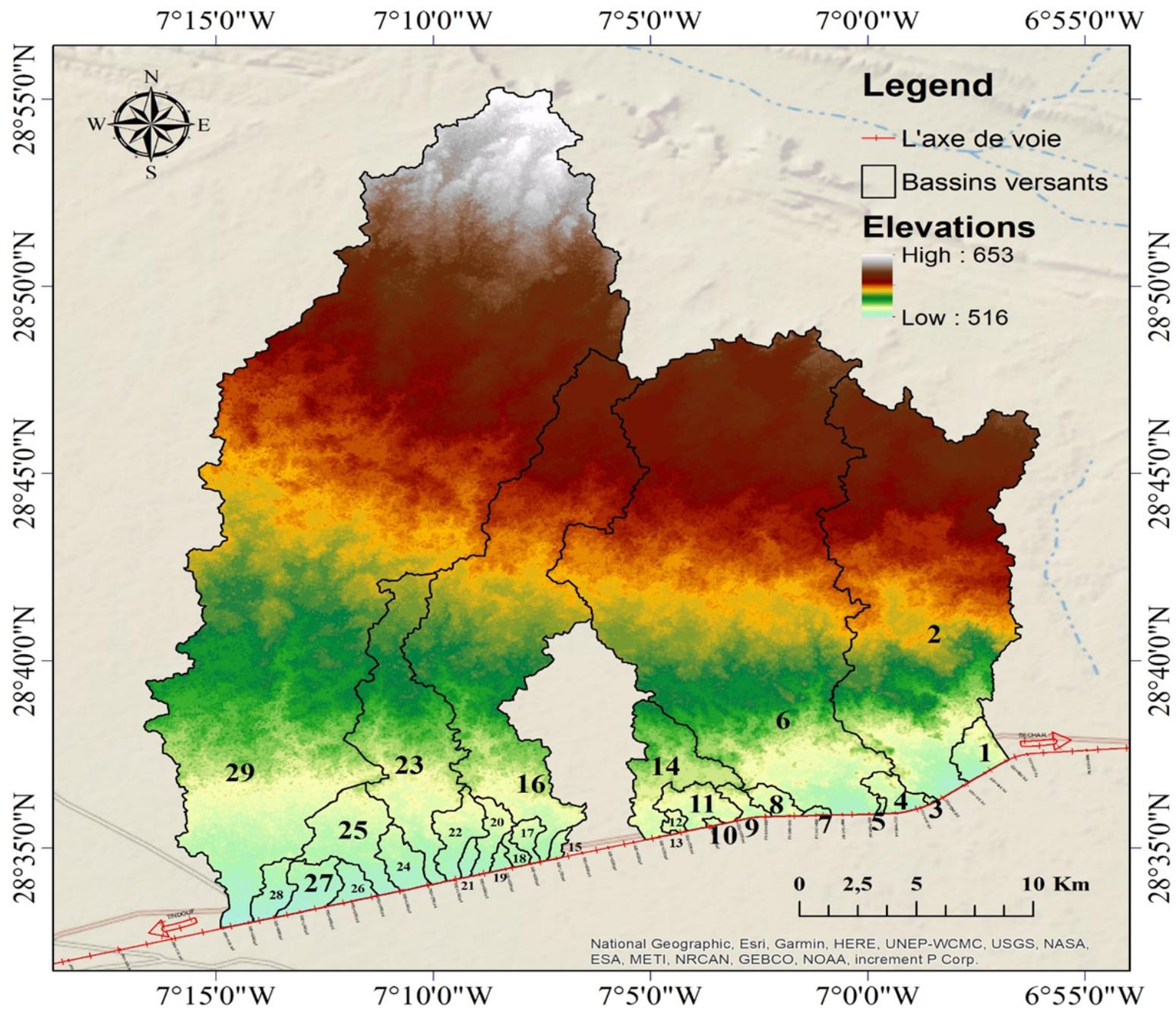


FIGURE 2.21 – Carte de distribution des élévations

# Chapitre 3

## Étude Hydrologique

### 3.1 Introduction

Une étude hydrologique consiste à examiner le cycle de l'eau dans une zone spécifique, généralement un bassin versant. Son but est de comprendre et de quantifier les phénomènes liés aux précipitations, à l'infiltration, à l'évaporation, au ruissellement ainsi qu'à la recharge des nappes souterraines. Cette analyse permet d'évaluer les ressources en eau disponibles, d'anticiper les crues et les périodes de basses eaux, et d'orienter la conception d'infrastructures adaptées à la gestion des eaux, telles que les bassins de rétention ou les réseaux de drainage [39].

### 3.2 Description climatique

#### Climat :

La région d'Oum El Assel, située dans la wilaya de Tindouf (Algérie), bénéficie d'un climat désertique chaud et hyper-aride, typique du Sahara central. La pluviométrie annuelle moyenne est très faible, d'environ 57 mm, avec des précipitations concentrées principalement en hiver, notamment en février, tandis que les mois d'été sont quasiment secs[49].

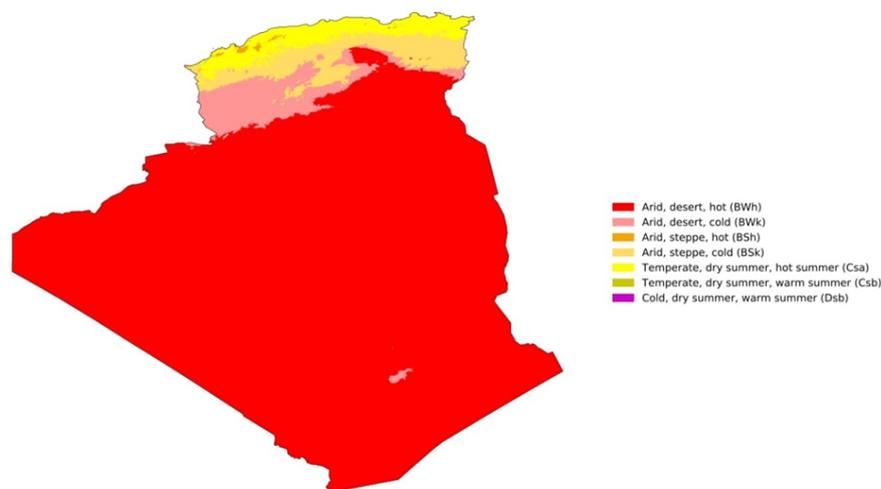


FIGURE 3.1 – Carte des zones climatiques en Algérie .

#### Les Températures :

Les températures moyennes mensuelles de la zone d'étude en (°C) sont présentées dans le tableau suivant :

TABLE 3.1 – Pluviométrie annuelle enregistrée à Tindouf (1982–2023)(site :Tutiempo)

<b>Année</b>	1982	1983	1985	1986	1987	1988	1989	1992	1993
<b>P (mm)</b>	191.53	10.94	164.34	201.67	81.32	151.92	115.85	29.71	178.56
<b>Année</b>	1994	1995	1996	1997	1998	2000	2003	2004	2006
<b>P (mm)</b>	189.48	73.93	192.54	74.68	39.38	54.87	86.37	62.72	166.62
<b>Année</b>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>P (mm)</b>	100.33	143.54	181.09	44.71	143.75	166.63	49.78	235.20	72.39
<b>Année</b>	2016	2017	2018	2020	2021	2022	2023		
<b>P (mm)</b>	107.95	43.69	72.39	47.50	47.24	51.03	30.49		

Le tableau représente les valeurs moyennes annuelles de l'humidité relative à 2 mètres dans la wilaya de Tindouf, en Algérie, de 2000 à 2023. En analysant globalement le tableau, on observe une fluctuation des valeurs d'humidité relative au fil des années, sans qu'une tendance claire ne se dégage sur l'ensemble de la période. Les valeurs oscillent entre un minimum de 26,9 % enregistré en 2017 et un maximum de 36,6 % observé en 2018. Cette évolution reflète un climat globalement semi-aride, marqué par quelques années plus humides, notamment entre 2015 et 2018. La tendance générale reste stable, sans indication nette d'augmentation ou de diminution de l'humidité sur le long terme.

TABLE 3.2 – L'humidité relative moyenne annuelle de la wilaya de Tindouf (Site : Nasa power data)

<b>Année</b>	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>RH2M (%)</b>	29.4	29.2	33.0	32.4	30.1	30.9	32.6	29.3	32.4	32.3	34.8	31.8
<b>Année</b>	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>RH2M (%)</b>	30.6	30.1	31.5	36.0	34.2	26.9	36.6	28.5	28.9	30.6	29.2	30.3

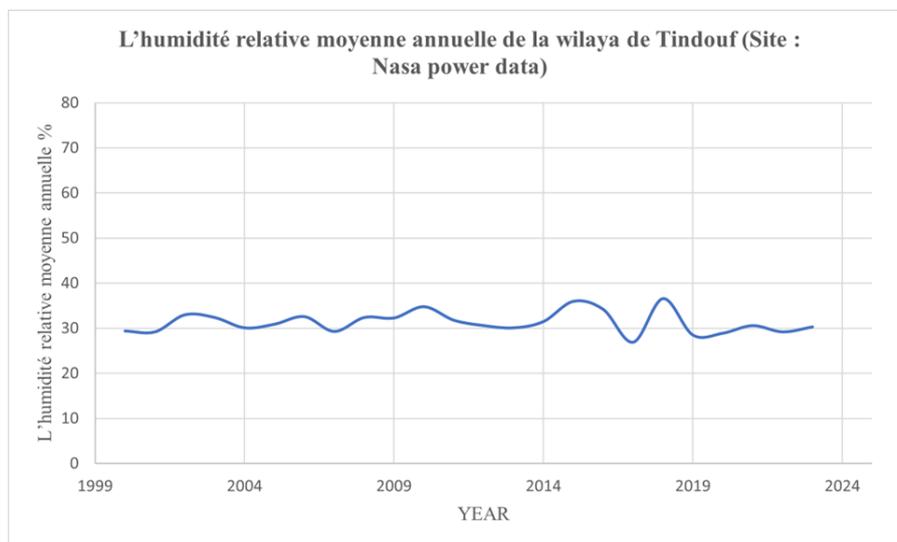


FIGURE 3.2 – Graphe représentatif des valeurs moyennes annuelles de l'humidité relative de la wilaya de Tindouf

### Les vents :

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent exprimées en (m/s), sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

TABLE 3.3 – Répartition mensuelle des vitesses de vent de la station de Tindouf. (Site : Nasa power data)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>Vitesse (m/s)</b>	2.6	3.71	2.18	2.67	3.88	4.14	3.2	3.22	3.38	3.34	2.42	3.1

La zone d'étude est traversée généralement par des vents calmes à modérés pendant toute l'année.

La vitesse moyenne maximale est enregistrée au mois de Juin avec une valeur de 4.14 m/s et la minimale est de 2.18m/s enregistrée au mois de Mars.

## 3.3 La pluviométrie

La pluie annuelle moyenne dans la région est 50.5 mm d'après la la station de Météorologie de Tindouf (Office National de la Météorologie). Cette dernière est établie sur des moyennes rapportées à 31 années s'étalant sur la période du 1<sup>er</sup> Janvier 1992 au 31 Décembre 2022 .

Le tableau ci-dessous représente les précipitations annuelles cumulées sur 16 ans mais non consécutives, certaines valeurs ne sont pas accessibles à partir la source (site : Tu-tiempo).

TABLE 3.4 – Pluies totales annuelles d'après Tut tiempo (site : Tut tiempo).

Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
P (mm)	94.74	4.57	41.90	74.93	90.95	40.89	26.68	26.17	214.10
Année	2015	2016	2017	2019	2020	2021	2022	2023	
P (mm)	144.28	68.07	8.89	41.65	9.40	23.86	11.94	35.81	

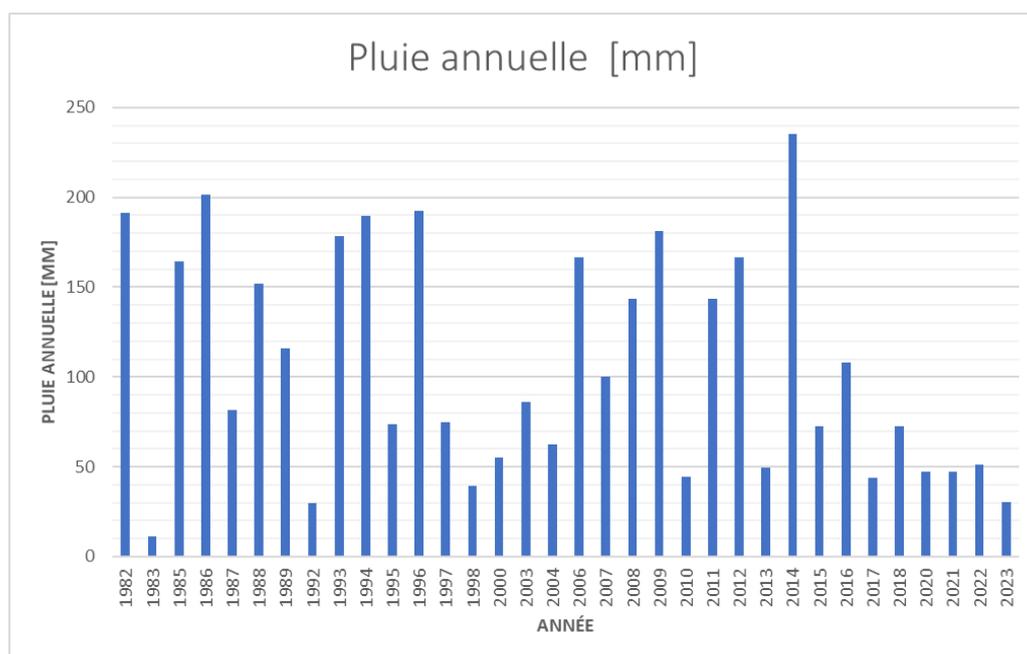


FIGURE 3.3 – Graphe représentatif des valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie de la wilaya de Tindouf

D'après les Données fournies par la station météorologique : 606560 (DAOF), la pluviométrie annuelle moyenne de la wilaya de Tindouf révèle une forte variabilité des quantités de pluie reçues chaque année. Certaines années, comme 2014 et 2015, se distinguent par des précipitations particulièrement abondantes, avec respectivement 214,10 mm et 144,28 mm, bien au-dessus de la moyenne, indiquant des épisodes pluvieux exceptionnels. D'autres années, telles que 2007, 2017, 2020 et 2022, enregistrent des valeurs très faibles, souvent inférieures à 15 mm, ce qui illustre la nature irrégulière et souvent sporadique des pluies dans cette région.

### 3.3.1 Analyse pluviométrique

Pour notre cas, l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau d'une seule station pluviométrique disponible pour le service de Office National de la Météorologie (station de Tindouf) concernant les données des pluies maximales journalières de la zone d'étude.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans cette étude.

TABLE 3.5 – Caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans cette étude.

Nom de la station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Pays
TINDOUF	27° 42' N	08° 10' W	442.00	Algérie

### 3.3.2 Pluies journalières maximales

Le tableau ci-dessous représente les précipitations journalières maximales sur 30 ans .

TABLE 3.6 – Pluviométrie annuelle enregistrée à Tindouf (1982–2023)(site tutiempo)

<b>Année</b>	1982	1983	1985	1986	1987	1988	1989	1992	1993
<b>P (mm)</b>	191.53	10.94	164.34	201.67	81.32	151.92	115.85	29.71	178.56
<b>Année</b>	1994	1995	1996	1997	1998	2000	2003	2004	2006
<b>P (mm)</b>	189.48	73.93	192.54	74.68	39.38	54.87	86.37	62.72	166.62
<b>Année</b>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>P (mm)</b>	100.33	143.54	181.09	44.71	143.75	166.63	49.78	235.20	72.39
<b>Année</b>	2016	2017	2018	2020	2021	2022	2023		
<b>P (mm)</b>	107.95	43.69	72.39	47.50	47.24	51.03	30.49		

D'après les Données fournies par la station météorologique, la pluviométrie Journalières maximales de la wilaya de Tindouf montre une grande variabilité d'une année à l'autre, caractéristique des régions arides. Les valeurs enregistrées oscillent entre des extrêmes très faibles, comme 2,3 mm en 1995 ou 3,9 mm en 2022, et des pics remarquablement élevés, tels que 90 mm en 1994 ou 50,9 mm en 2003. Cette irrégularité reflète la nature sporadique et souvent intense des précipitations dans cette zone, où les épisodes pluvieux sont rares mais parfois violents.

### 3.3.3 L'ajustement des données pluviométriques

#### L'ajustement à la loi de Gumbel :

C'est une loi très importante, qui sert dans l'analyse fréquentielle des valeurs extrêmes, et sera notamment l'ingrédient essentiel, en hydrologie opérationnelle, de la méthode du Gradex pour le calcul des crues de projet[6].

Pour l'étude des pluies extrêmes (ou n'importe quel autre événement d'une rare fréquence), on constitue un échantillon de N valeurs, chacune d'elles représentant la précipitation journalière la plus forte d'une des N années.

On parvient généralement à ajuster à cet échantillon la loi de Gumbel.[6]

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (\text{III.1})$$

Où :

- $F(x)$  : Fréquence au non dépassement (FND),
- $\alpha, \beta$  : Coefficients d'ajustement.

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} \quad (\text{III.2})$$

$$\beta = \mu - \frac{0,5772}{\alpha} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

- $\mu$  : Moyenne de l'échantillon,
- $\sigma$  : Écart type de l'échantillon,
- $\pi$  : Constante mathématique (environ 3,1416).

Pour notre étude on a trouvé les résultats suivants :

TABLE 3.7 – Ajustement à la Loi de Gumbel

T	FND	Pjmax (mm)	Intervalle de confiance (= 0.05)
10000.0	0.9999	149	96.5 – 201
2000.0	0.9995	125	81.4 – 168
1000.0	0.9990	115	74.9 – 154
200.0	0.9950	90.5	59.8 – 121
100.0	0.9900	80.1	53.2 – 107
50.0	0.9800	69.7	46.6 – 92.7
20.0	0.9500	55.8	37.7 – 73.8
10.0	0.9000	45.0	30.7 – 59.3
5.0	0.8000	33.8	23.3 – 44.4
3.0	0.6667	24.9	16.9 – 32.9
2.0	0.5000	16.9	10.6 – 23.2

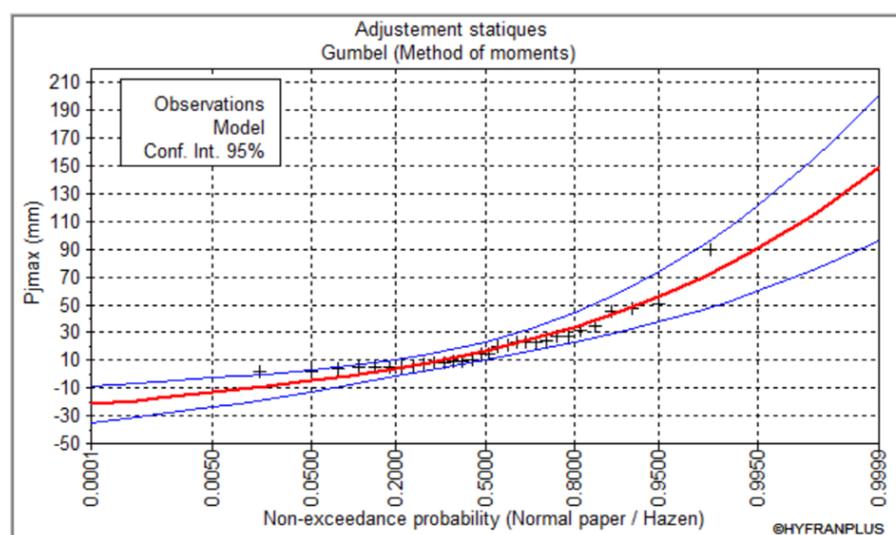


FIGURE 3.4 – Graphe d'ajustement à la loi de Gumbel

L'ajustement graphique des pluies maximales en 24h représenté dans la figure 3.4, montre à priori que les pluies maximales en 24h semblent bien être ajustées à la loi de Gumbel (droite) où nous constatons que les points sont relativement alignés. Nous n'observons pas un écartement significatif.

### 3.3.4 Test d'adéquation

En hydrologie, le test d'adéquation constitue un outil statistique permettant de juger si un ensemble de données observées suit une distribution conforme à celle proposée par un modèle théorique. Il s'agit de vérifier la validité de cette hypothèse de distribution afin d'apprécier

la pertinence du modèle choisi pour représenter les données. Lorsqu'il est concluant, ce test confirme que le modèle peut être utilisé en toute confiance pour des analyses ou des prévisions hydrologiques.

### Le test d'adéquation khi-2 :

C'est le test d'ajustement le plus célèbre car le plus souvent enseigné, malgré ses limites. Sa mission consiste à évaluer si une distribution observée peut être estimée ou non par une loi de probabilité. Il vérifie donc un ajustement, une adéquation. Il permet de juger de la qualité de l'ajustement d'une distribution théorique à une distribution expérimentale.

Le but de ce test est de comparer une distribution théorique d'un caractère à une distribution observée. Pour cela, le caractère doit prendre un nombre fini de valeurs, ou bien ces valeurs doivent être rangées en un nombre fini de classes.

- Test d'adéquation khi-carré à la loi Gumbel pour notre cas d'étude

TABLE 3.8 – Test du Khi-deux

N°	inf x(i-1)	sup x(i)	y(i-1)	y(i)	FND(i-1)	FND(i)	F(obs)	F(théo)	$\chi^2$	Somme $\chi^2$ : 18,133 Seuil $\chi^2$ : 3,141 ddl = 1, $\alpha = 0,05$ Décision : <b>On rejette</b>
1	1	6	-1,014	-0,748	0,155	0,227	8	2,156	15,839	
2	6	15	-0,748	-0,270	0,227	0,394	7	4,994	0,805	
3	15	23	-0,270	0,155	0,394	0,562	6	5,043	0,182	
4	23	90	0,155	3,717	0,562	1,000	9	13,145	1,307	

**Le test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov (K-S) :** C'est un test d'ajustement qui permet de comparer une distribution de valeurs observées à une distribution théorique. Ce test joue le même rôle que celui du khi-deux. Pour accepter ou rejeter l'hypothèse H0 que la loi choisie s'ajuste bien à notre échantillon, on considère la grandeur D qui caractérise la différence entre la répartition empirique et la répartition théorique.

La grandeur D peut être choisie de plusieurs façons. Cette grandeur D est elle-même une variable aléatoire dont la loi de répartition, dans certains cas, pour N suffisamment grand, ne dépend pratiquement pas de la fonction F(x).

Avec le test de Kolmogorov-Smirnov, on cherche la valeur maximale de la valeur absolue de la différence entre la fonction de répartition empirique FN(x) d'un échantillon de N valeurs et la fonction de répartition théorique F(x) correspondante soit :

$$D_N = D_{\max} = \max |F_N(x) - F(x)| \quad (\text{III.4})$$

Kolmogorov a montré que, quelque soit la fonction de répartition F(x) d'une variable continue x, lorsque le nombre d'observations augmente, la fonction de répartition de la grandeur  $D_N \sqrt{N}$  tend asymptotiquement vers :

$$P(D_N \sqrt{N}) \rightarrow K(y) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k e^{-2k^2 y^2} \quad (\text{III.5})$$

Les valeurs de cette probabilité ont été tabulées.

On rejettera l'hypothèse H0 que la loi choisie représente notre échantillon, au niveau de signification choisi, lorsque DN est supérieur ou égal à dn, qui est la valeur de l'écart théorique. Le test K-S permet de tester n'importe quelle distribution. Il est normalement plus puissant que le test du Khi-deux (i.e. il permet de rejeter plus facilement H0) et il a l'avantage de ne pas requérir de séparer arbitrairement le domaine en intervalles.

- Test K-S pour la loi Gumble :

TABLE 3.9 – Test de Kolmogorov-Smirnov

Rang	Pjmax (mm)	FND théorique	Y observé	FND Gumbel	D
1	2	0,033	0,017	-0,961	0,168
2	2,3	0,033	0,050	-0,945	0,172
3	3,9	0,033	0,083	-0,860	0,195
4	4,6	0,033	0,117	-0,823	0,205
5	4,8	0,033	0,150	-0,812	0,208
6	4,8	0,033	0,183	-0,812	0,208
7	5	0,033	0,217	-0,801	0,211
8	5,6	0,033	0,250	-0,770	0,221
9	7,5	0,033	0,283	-0,669	0,252
10	7,8	0,033	0,317	-0,653	0,257
11	8	0,033	0,350	-0,642	0,260
12	9,1	0,033	0,383	-0,583	0,280
13	9,4	0,033	0,417	-0,568	0,285
14	10	0,033	0,450	-0,536	0,296
15	14,2	0,033	0,483	-0,312	0,377
16	15,1	0,033	0,517	-0,265	0,396
17	20	0,033	0,550	-0,004	0,498
18	21,1	0,033	0,583	0,054	0,522
19	22,8	0,033	0,617	0,145	0,558
20	22,8	0,033	0,650	0,145	0,558
21	22,9	0,033	0,683	0,150	0,560
22	23,6	0,033	0,717	0,187	0,574
23	27,3	0,033	0,750	0,384	0,649
24	27,6	0,033	0,783	0,400	0,655
25	32	0,033	0,817	0,634	0,737
26	34,5	0,033	0,850	0,767	0,778
27	44,8	0,033	0,883	1,314	0,906
28	47,9	0,033	0,917	1,479	0,930
29	50,9	0,033	0,950	1,638	0,949
30	90	0,033	0,983	3,717	1,000

$D_{\max}$	0,154
Seuil D (N = 30, $\alpha = 0,05$ )	0,248
Décision	<b>On accepte</b>

### 3.3.5 Calcul des intensités

Le calcul des intensités de pluie est une étape essentielle dans l'étude hydrologique des infrastructures ferroviaires, car il permet de déterminer les débits de ruissellement à prendre en compte pour dimensionner les réseaux d'évacuation des eaux pluviales. L'intensité de la pluie, exprimée en millimètres par heure (mm/h), correspond à la quantité de précipitations tombée pendant une durée donnée et est souvent calculée à partir des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF), par exemple via la formule de Montana. Cette intensité sert à estimer le débit maximal à absorber par les ouvrages hydrauliques, en tenant compte du coefficient d'apport et de la surface drainée, selon des méthodes comme la méthode rationnelle [4].

#### **Courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) :**

Les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) sont des outils graphiques essentiels en hydrologie qui illustrent la relation entre l'intensité moyenne d'une pluie, sa durée et sa fréquence d'apparition (ou période de retour). Elles permettent de quantifier la probabilité qu'une pluie d'une certaine intensité et durée survienne dans une région donnée [50].

Les courbes IDF sont utilisées pour dimensionner les ouvrages hydrauliques (réseaux d'assainissement, bassins de rétention, canalisations) en calculant les débits de pointe à évacuer lors

d'événements pluvieux extrêmes. Elles sont particulièrement utiles en hydrologie urbaine et pour la gestion des infrastructures critiques, comme les voies ferrées, où la maîtrise des eaux pluviales est indispensable pour éviter les inondations et assurer la sécurité. Des formules mathématiques, telles que la formule de Montana, permettent de modéliser ces courbes en fonction des paramètres locaux[51] .

#### Les pluies de courte durée :

La pluie de courte durée (Ptc) est un type de précipitation qui dure généralement moins de 30 min et dans certains cas dure jusqu'à 60 min. Elle peut être causée par divers phénomènes météorologiques tels que des orages, des averses ou des nuages convectifs. Ce type de précipitation est souvent intense et peut causer des inondations soudaines et des dommages aux cultures et aux infrastructures. Il est important de surveiller la météo pour être préparé en cas de Ptc.[47]

#### Méthode de K-Body pour estimer la pluie de courte durée :

La méthode de K body est une méthode empirique utilisée pour prédire la pluie de courte durée. Elle est basée sur l'observation de l'évolution temporelle de la pluie et se base sur la corrélation entre la durée de la pluie et l'intensité maximale de la pluie.[47] On a :

$$P_{Tc} = P_{j\max} \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad (\text{III.3})$$

Tel que :

- $P_{Tc}$  : Pluie de courte durée ayant la même fréquence que  $P_{j\max}$ , en millimètres (mm),
- $P_{j\max}$  : Pluie journalière maximale de fréquence donnée (mm),
- $t$  : Durée de pluie considérée, en minutes (min),
- $b$  : Exposant climatique (pour la région étudiée,  $b = 0,14$ ).

$$I_{p\%} = \frac{P_{Tc(p\%)}}{T_c} \quad (\text{III.4})$$

Avec :

- $I_{p\%}$  : Intensité de pluie associée à une fréquence  $p\%$ , en millimètres par heure (mm/h),
- $P_{Tc(p\%)}$  : Pluie de courte durée associée à la fréquence  $p\%$ , en millimètres (mm),
- $T_c$  : Temps de concentration du bassin versant, en heures (h),
- $P_{j\max}$  : Pluie journalière maximale, en millimètres (mm).

Le tableau ci-dessous donne les temps de concentrations obtenus à partir de différentes formules empiriques pour les différents bassins versants de la zone d'étude .

TABLE 3.10 – Temps de concentration selon différentes formules

BV	$T_c$ Giandotti (h)	$T_c$ Ventura (h)	$T_c$ Passini (h)	$T_c$ Projet (h)
1	4,855	1,635	1,586	1,635
2	13,480	8,914	9,564	13,480
3	1,130	0,240	0,211	0,240
4	3,936	1,253	1,214	1,253
5	1,744	0,383	0,392	0,383
6	18,372	12,092	13,610	18,372
7	1,710	0,492	0,368	0,492
8	4,136	1,285	1,194	1,285
9	3,580	1,027	0,995	1,027
10	1,557	0,383	0,305	0,383
11	5,779	1,874	1,718	1,874
12	2,913	0,836	0,751	0,836
13	0,752	0,155	0,115	0,155
14	6,713	3,384	2,905	6,713
15	3,333	0,770	0,789	0,770
16	16,367	8,357	10,454	16,367
17	4,433	1,120	1,153	1,120
18	3,159	0,857	0,839	0,857
19	2,976	0,787	0,763	0,787
20	5,392	1,538	1,747	1,538
21	3,752	0,977	1,054	0,977
22	5,934	2,063	2,246	2,063
23	12,309	5,155	6,256	12,309
24	5,466	1,753	1,777	1,753
25	8,356	2,853	3,080	8,356
26	5,072	1,266	1,202	1,266
27	5,960	1,897	1,739	1,897
28	5,448	1,589	1,561	1,589
29	22,507	15,479	18,111	22,507
	22,637	15,479	18,179	22,637

**Interprétions et décisions :** D'après les résultats représentés dans le tableau ci-dessus, la méthode de Ventura est adaptée aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 5 km<sup>2</sup> et qui nous donne des résultats plus logiques par rapport aux autres formules comme Giandotti et Passini. Pour les bassins versants supérieurs à 5 km<sup>2</sup> et inférieurs à 25 km<sup>2</sup> on a utilisé la méthode de passini. Pour les grands bassins versants ayant une superficie supérieure à 25 km<sup>2</sup>, on a utilisé la méthode de Giandotti. Ensuite, on a étudié attentivement les caractéristiques différentes de l'ensemble des bassins versants pour déduire le temps de concentration de projet de chaque bassin.

TABLE 3.11 – Calcul des courbes IDF

Durée (min)	T (ans)	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
	Pjmax (mm)		17.1	33.8	44.8	55.4	69.1
5	Ptc (mm)	7.75	15.29	20.29	25.09	31.29	35.94
15		9.03	17.84	23.67	29.26	36.49	41.92
30		9.95	19.66	26.08	32.24	40.21	46.19
60		10.97	21.66	28.74	35.52	44.31	50.90
5	I (mm/h)	1.55	3.06	4.06	5.02	6.26	7.19
15		0.60	1.19	1.58	1.95	2.43	2.79
30		0.33	0.66	0.87	1.07	1.34	1.54
60		0.18	0.36	0.48	0.59	0.74	0.85

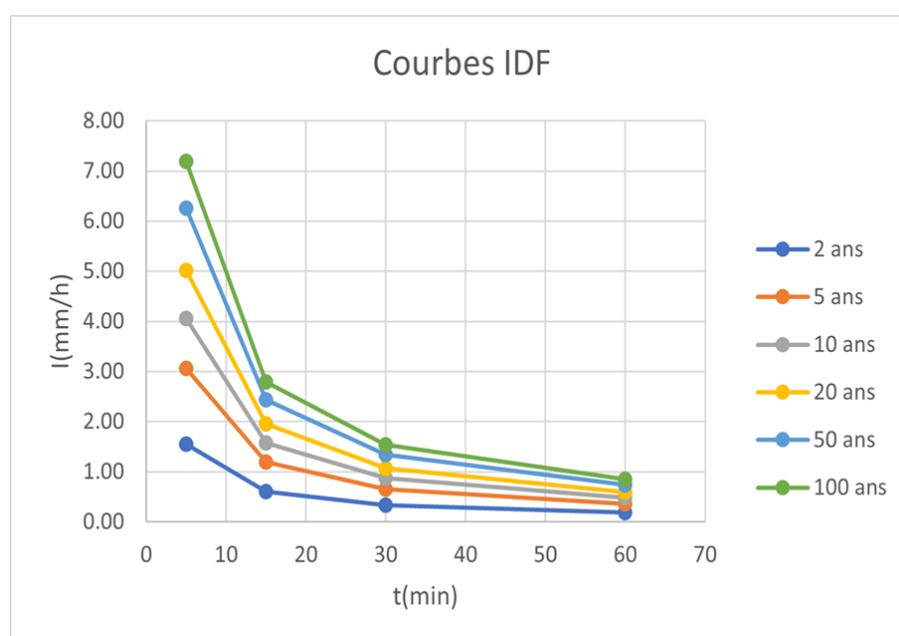


FIGURE 3.5 – Courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence)

Les résultats du calcul des intensités pour chaque bassin versant sont résumés dans le tableau suivant :

TABLE 3.12 – Intensités pour chaque bassin versant

Num BV	Tc projet (h)	Ptc (mm)	I (mm/h)
1	1,635	28,62	17,50
2	13,480	63,79	4,73
3	0,240	13,80	57,51
4	1,253	25,87	20,64
5	0,383	16,48	43,06
6	18,372	71,75	3,91
7	0,492	18,13	36,84
8	1,285	26,11	20,32
9	1,027	23,98	23,35
10	0,383	16,49	43,01
11	1,874	30,14	16,08
12	0,836	22,18	26,52
13	0,155	11,68	75,50
14	6,713	48,94	7,29
15	0,770	21,50	27,91
16	16,367	68,67	4,20
17	1,120	24,78	22,13
18	0,857	22,38	26,12
19	0,787	21,67	27,54
20	1,538	27,96	18,18
21	0,977	23,52	24,09
22	2,063	31,26	15,15
23	12,309	61,62	5,01
24	1,753	29,38	16,76
25	8,356	53,19	6,37
26	1,266	25,96	20,51
27	1,897	30,28	15,96
28	1,589	28,30	17,82
29	22,507	77,50	3,44
	22,637	77,67	3,43

## 3.4 Méthodes de calcul de débit

### 3.4.1 La méthode rationnelle

Au milieu du XIXe siècle, aux alentours de 1850, les premières tentatives d'élaboration d'une méthode permettant d'identifier la durée minimale d'une pluie capable d'affecter l'ensemble d'un bassin versant et d'en générer un débit significatif ont émergé. L'ingénieur Mulvany fut l'un des premiers à formaliser cette idée dans une publication de la revue des ingénieurs civils

d'Irlande. Il y mettait en évidence l'importance du laps de temps nécessaire à une averse, supposée d'intensité uniforme, pour produire un débit maximal en sortie de bassin, en fonction de la configuration spatiale, de la pente et de la forme du bassin.[52]

Plus tard, en 1889, l'ingénieur américain Kuichling développa cette approche dans un contexte urbain, en étudiant les débits aux exutoires des réseaux d'assainissement de la ville de Rochester (New York). Il observa que la variation des débits était intimement liée à celle de l'intensité des précipitations, mais qu'un certain délai s'imposait avant que ces changements ne se répercutent à l'exutoire. Il en conclut qu'il existe une durée caractéristique – correspondant au temps nécessaire à l'ensemble des eaux de ruissellement pour rejoindre l'exutoire – qu'il fallait prendre en compte pour dimensionner correctement les ouvrages d'évacuation.[52]

Ce concept fondamental est aujourd'hui connu sous le nom de temps de concentration ( $t_c$ ), défini comme le temps requis à une goutte d'eau, tombée au point hydrauliquement le plus éloigné de l'exutoire, pour l'atteindre. Ainsi, dans le cas d'une pluie de durée supérieure à ce temps de concentration, et en supposant un coefficient de ruissellement constant caractéristique du bassin, le débit de pointe en sortie peut être estimé de manière fiable.[52]

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (\text{III.5})$$

Avec :

- $Q$  : Débit de crue maximale en ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),
- $C$  : Coefficient de ruissellement du bassin (sans unité)
- $I$  : Intensité moyenne maximale sur la durée  $t_c$  pour une période de retour donnée en ( $\text{mm}/\text{h}$ ),
- $A$  : Aire du bassin versant en  $\text{km}^2$ .

**Le coefficient de ruissellement** : est un paramètre utilisé en hydrologie pour déterminer la quantité d'eau de pluie qui s'écoule sur une surface. Il est exprimé comme le rapport entre la quantité d'eau de pluie qui s'écoule sur une surface et la quantité totale de pluie tombée sur cette même surface.

#### Choix du coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

TABLE 3.13 – Valeurs du coefficient  $C_1$  en fonction de la pente de bassin versant

Pente	Coefficient $C_1$		
$\leq 3.5\%$	0.01	0.03	0.05
Entre 3.5% et 11%	0.06	0.08	0.10
Entre 11% et 35%	0.12	0.16	0.20
$> 35\%$	0.22	0.26	0.30

TABLE 3.14 – Coefficient C2 dépendant de la nature du sol (perméabilité).

Nature du sol	Coefficient $C_2$		
Imperméable	0.22	0.26	0.30
Peu perméable	0.10	0.15	0.20
Perméable	0.06	0.08	0.10
Très perméable	0.03	0.04	0.05

La valeur de C2 est de 0,22 qui est associée à un sol imperméable et il est considéré constante pour toute la région.

TABLE 3.15 – Valeurs du coefficient  $C_3$  selon la couverture végétale

Couverture végétale	Coefficient $C_3$		
Forêt et territoire sableux	0.03	0.04	0.05
Labours champs	0.06	0.08	0.10
Prairie	0.10	0.15	0.20
Rocheux	0.22	0.26	0.30

Alors :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,05 + 0,22 + 0,26 = 0,53 \quad (\text{V.4})$$

**Les hypothèses de la méthode rationnelle :** Les hypothèses de base de la méthode rationnelle sont, par conséquent, les suivantes :

- L'intensité de la pluie, III, est supposée uniforme dans le temps et identique sur toute la surface du bassin.
- Le débit de pointe, Qp (en m<sup>3</sup>/s), correspond à une fraction du débit précipité I×S, où S est la surface du bassin, sous l'effet d'une averse uniforme.
- Les pertes liées à l'infiltration, à la rétention et à l'évaporation sont agrégées dans un coefficient de ruissellement C, que l'on considère fixe quelles que soient la durée et l'intensité des averses.
- Le temps de concentration tc désigne la durée minimale nécessaire pour que toutes les eaux de ruissellement parviennent à l'exutoire ou au point de collecte.
- Avant d'atteindre tc, la zone contributive au ruissellement croît de façon linéaire, passant de zéro jusqu'à la surface totale S du bassin.[52]

**Formule de MONTANA** La formule de Montana décrit la relation existante entre l'intensité, la durée et la fréquence des pluies mais également entre la hauteur, la durée et la fréquence des pluies. Elle s'exprime par ;

$$i_T(d) = \frac{a}{d^b} \quad (\text{III.4})$$

Avec

- $i_T(d)$  : Intensité de la pluie pour une durée  $d$  et une période de retour  $T$ , en mm/min ou mm/h,

- $d$  : Durée de la pluie (généralement égale au temps de concentration), en minutes ou en heures,
- $a, b$  : Coefficients de Montana déterminés empiriquement pour la région étudiée.[5]

**Estimation des coefficients de Montana** Les coefficients de Montana varient selon les régions et la période de retour.

Ici  $a=27.54$  et  $b=0.84$  pour une période de retour de 10 ans.

Les intensités calculées pour une pluie décennale sont donc les suivantes :

27.54mm/h pour un temps de concentration de 1 heure.

1.9 mm/h pour un temps de concentration de 24 heures.[5]

### 3.4.2 La méthode CRUPEDIX

La méthode CRUPEDIX (1980-1982) permet l'estimation du débit de pointe décennal  $Q_{i10}$ . La formulation ci-après a été obtenue par une analyse statistique de 630 bassins versants de moins de 2000 km<sup>2</sup>

$$Q_{10} = R \left( \frac{P_{j\max 10}}{80} \right)^2 \cdot S^{0.8} \quad (\text{III.5})$$

Avec :

- $Q_{10}$  : Débit décennal en mètres cubes par seconde (m<sup>3</sup>/s),
- $R$  : Coefficient régional variant selon la nature du sol :
  - o  $R = 0,20$  pour des terrains perméables,
  - o  $R = 1,50$  à  $1,80$  pour des terrains imperméables,
  - o  $R = 1$  pour des terrains intermédiaires,
- $P_{j\max 10}$  : Pluie journalière maximale de période de retour 10 ans (en mm),
- $S$  : Superficie du bassin versant en kilomètres carrés (km<sup>2</sup>).

Evaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule de Crupedix, on obtient le débit centennal à partir de la corrélation :

$$Q_{100} = b' \cdot Q_{10} \quad \text{avec} \quad 1,4 \leq b' \leq 4 \quad (\text{III.6})$$

Le paramètre  $b'$  dépend de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 km<sup>2</sup> :

$b'$  est déterminé à l'aide de la formule rationnelle :

$$b' = \frac{Q_{r100}}{Q_{r10}}$$

- Au-delà de 20 km<sup>2</sup> :

$b'$  est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. A défaut,  $b' = 2$  au minimum.

### 3.4.3 La méthode Sogreah-ANRH

Cette formule a été élaborée en 1989 par la Sogreah et l'ANRH dans le cadre de l'étude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires et mise au point d'outils de calculs pratiques (à l'usage des directions de l'Hydraulique en Algérie).

Cette étude a concerné les bassins versants ayant des superficies inférieures à 200 km<sup>2</sup>

$$Q_p(100) = C_q \cdot (P_T - P_1) \quad (\text{III.7})$$

Avec :

- $Q_p(100)$  : Débit de pointe centennal en m<sup>3</sup>/s,
- $C_q$  : Coefficient de ruissellement statique,
- $P_T$  : Pluie journalière maximale de période de retour  $T$  (en mm),
- $P_1 = 20$  mm : Pluie initiale abstraite pour l'Algérie.

Le coefficient  $C_q$  est exprimé par :

$$C_q = \frac{S}{6 \cdot T_b^{0.77}} \quad (\text{III.8})$$

Avec :

- $S$  : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>,
- $T_b$  : Temps de base de la crue, en heures.

Le temps de base  $T_b$  est défini par la relation suivante :

$$T_b = T_c + \frac{L^{0.17} \cdot (P_a \cdot V_i)^{0.57}}{1000} \quad (\text{III.9})$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration du bassin versant, en heures,
- $L$  : Longueur du talweg principal, en kilomètres (km),
- $P_a$  : Pluie annuelle moyenne, en millimètres (mm),
- $V_i$  : Pente brute du bassin versant, en pourcentage (%).

### 3.4.4 La méthode Mallet et Gautier

Pour évaluer les débits max des bassins versants aux sites des franchissements, on utilise d'autres formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants; parmi ces méthodes on trouve la formule de MALLET et GAUTHIER qui permet de calculer les débits de projet.

$$Q_{\max} = \frac{2k \cdot \log(1 + aP) \cdot S}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \quad (\text{III.10})$$

Avec :

- $Q_{\max}$  : Débit de crue maximal de période de retour  $T$ , en m<sup>3</sup>/s,
- $P$  : Pluie annuelle moyenne (en mm), ici  $P = 50,50$  mm (voir annexe),

- $S$  : Superficie du bassin versant en  $\text{km}^2$ ,
- $L$  : Longueur du talweg principal en kilomètres (km),
- $T$  : Période de retour en années,
- $a$  : Coefficient empirique, égal à 25 pour l'Algérie,
- $k$  : Coefficient dépendant de la pente du bassin versant (entre 0,50 et 6), ici on prend  $k = 2$ .

### 3.4.5 La méthode intermédiaire Rationnelle - CRUPEDIX (Transition)

Il s'agit d'une pondération entre les deux formules pour les bassins versant de superficie comprise entre 10 et 50  $\text{Km}^2$

$$Q_T = \alpha \cdot Q_R + \beta \cdot Q_C \quad (\text{III.11})$$

Avec :

- $Q_T$  : Débit de projet de période de retour  $T$  (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ),
- $Q_R$  : Débit obtenu par la formule rationnelle (période de retour  $T$ ),
- $Q_C$  : Débit obtenu par la méthode CRUPEDIX (période de retour  $T$ ),
- $\alpha, \beta$  : Coefficients de pondération dépendants de la superficie  $S$  du bassin versant.

Les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont définis comme suit :

$$\alpha = \frac{50 - S}{40} \quad ; \quad \beta = 1 - \alpha \quad (\text{III.12})$$

### 3.4.6 les résultats de calcul des débits de projet sont dans le tableau ci-dessous

TABLE 3.16 – Résultats de calcul du débit centennale ( $Q(T=100\text{ans})$ )

BV	S (km <sup>2</sup> )	QSog-ANRH	Qrat	QCru	QM-Gautier	QTran	Qprojet
1	3,885	26,115	23,217	3,731	9,029	-	23,217
2	106,766	142,465	108,462	47,443	84,755	-	142,465
3	0,147	4,116	4,397	0,271	0,968	-	4,397
4	2,682	22,050	20,039	2,774	6,914	-	20,039
5	0,209	4,216	4,237	0,361	0,996	-	4,237
6	178,952	188,205	140,162	71,715	114,311	-	188,205
7	0,361	6,036	5,909	0,557	2,377	-	5,909
8	2,058	16,643	15,060	2,244	6,066	-	15,060
9	1,511	14,471	13,345	1,753	4,557	-	13,345
10	0,220	4,429	4,438	0,375	1,510	-	4,438
11	4,430	26,864	23,613	4,144	10,800	-	23,613
12	0,782	8,774	8,206	1,034	3,166	-	8,206
13	0,049	1,926	2,139	0,114	0,566	-	2,139
14	12,630	28,814	23,045	9,580	25,432	22,160	22,160
15	0,690	8,228	7,756	0,936	2,374	-	7,756
16	86,547	99,482	74,699	40,107	57,886	-	99,482
17	1,605	14,402	13,182	1,839	4,347	-	13,182
18	0,920	10,116	9,456	1,178	3,129	-	9,456
19	0,696	8,179	7,691	0,943	2,598	-	7,691
20	3,033	21,362	19,082	3,060	5,952	-	19,082
21	0,933	9,302	8,593	1,191	2,732	-	8,593
22	4,974	28,009	24,446	4,546	9,076	-	24,446
23	32,840	46,997	36,009	18,473	30,144	25,996	30,144
24	3,806	24,273	21,450	3,670	8,322	-	21,450
25	10,501	20,241	15,941	8,265	15,772	15,845	20,241
26	2,114	17,281	15,662	2,293	5,994	-	15,662
27	4,400	26,429	23,206	4,121	10,749	-	23,206
28	3,167	21,776	19,388	3,168	7,635	-	19,388
29	331,101	297,852	218,675	117,325	167,684	-	167,684
	331,101	296,535	217,620	117,325	166,745	-	166,745

Les critères de sélection entre les cinq formules de calcul du débit sont basés sur la superficie du bassin versant. Pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 10 km<sup>2</sup>, la formule rationnelle est utilisée. En revanche, pour les bassins versants dont la superficie est comprise entre 10 et 50 km<sup>2</sup>, la formule de Transition est employée. Et pour les superficies comprises

entre 50 et 200 km<sup>2</sup>, on utilise la formule de Sorgeah-ANRH. Et pour les superficies supérieures à 200 km<sup>2</sup>, on utilise la formule de Mallet et Gautier.

TABLE 3.17 – Résumé des caractéristiques hydrologiques par bassin versant

N° BV	Pk	S (km <sup>2</sup> )	Tc (h)	Ptc (mm)	I (mm/h)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)
1	640+865,29	3,885	1,635	28,62	17,50	23,217
2	641+165,41	106,766	13,480	63,79	4,73	142,465
	641+215					Fil d'eau
3	642+435	0,147	0,240	13,80	57,51	4,397
4	643+190	2,682	1,253	25,87	20,64	20,039
5	644+565	0,209	0,383	16,48	43,06	4,237
6	644+998	178,952	18,372	71,75	3,91	Fil d'eau
	645+179					Fil d'eau
	646+037,68					188,205
	646+571					Point bas
	647+050					Fil d'eau
7	647+050	0,361	0,492	18,13	36,84	5,909
8	648+322,69	2,058	1,285	26,11	20,32	15,060
9	649+373,5	1,511	1,027	23,98	23,35	13,345
10	651+000	0,220	0,383	16,49	43,01	4,438
11	651+851	4,430	1,874	30,14	16,08	23,613
12	652+130	0,782	0,836	22,18	26,52	8,206
13	652+396,58	0,049	0,155	11,68	75,50	2,139
14	653+535	12,630	6,713	48,94	7,29	22,160
15	654+175	0,690	0,770	21,50	27,91	7,756
16	654+880	86,547	16,367	68,67	4,20	99,482
17	656+899,5	1,605	1,120	24,78	22,13	13,182
18	657+597,5	0,920	0,857	22,38	26,12	9,456
19	657+787,3	0,696	0,787	21,67	27,54	7,691
	658+425					
	659+150					
20	659+175	3,033	1,538	27,96	18,18	19,082
	659+200					
	660+245					
21	660+260	0,933	0,977	23,52	24,09	8,593
22	660+275	4,974	2,063	31,26	15,15	24,446
23	660+474,2	32,840	12,309	61,62	5,01	30,144
24	660+902	3,806	1,753	29,38	16,76	21,450
25	661+517,24	10,501	8,356	53,19	6,37	20,241
26	663+038,82	2,114	1,266	25,96	20,51	15,662
27	663+393,13	4,400	1,897	30,28	15,96	23,206
28	664+225,73	3,167	1,589	28,30	17,82	19,388
29	666+775,5	331,101	22,507	77,50	3,44	167,684
	668+524		22,637	77,67		166,745

**Remarque 1 :** Les points kilométriques, également connus sous le nom de bornes kilométriques ou PK, sont des repères utilisés pour mesurer les distances le long des routes, des autoroutes, des voies ferrées ou d'autres voies de transport. Chaque point kilométrique représente un kilomètre de distance à partir d'un point de référence spécifique, généralement le point de départ de la voie. Dans notre cas le point de référence c'est le point de début de chantier dans la wilaya de Tindouf, et chaque Pk représente un exutoire de bassin versant.

# Chapitre 4

## Étude Hydraulique

### 4.1 Introduction

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques associés à une ligne ferroviaire revêt une importance cruciale pour garantir la continuité des écoulements et la stabilité de la plateforme. Ces structures (dalots, ponceaux, buses ou fossés latéraux ...) doivent être précisément calibrées pour laisser passer les crues sans compromettre la géométrie de la voie ni la sécurité du trafic. Leur conception repose sur une expertise en hydrologie et en hydraulique ferroviaire, afin de déterminer les débits de crue, les hauteurs et vitesses d'eau, puis de choisir les sections et pentes adéquates. L'objectif est d'assurer que chaque ouvrage résiste aux forces exercées par l'eau, limite son impact environnemental et préserve l'intégrité de l'infrastructure sur le long terme.

- **Écoulement fluvial (subcritique)** : lorsque  $Fr < 1$ , la vitesse de l'écoulement est inférieure à la vitesse des ondes de surface. L'écoulement est alors lent, profond et stable, dit « piloté par l'aval », car les conditions en aval influencent le comportement de l'écoulement. La profondeur d'eau est supérieure à la profondeur critique. Ce régime correspond à des situations fréquentes dans les rivières à faible pente .[7]
- **Écoulement critique** : lorsque  $Fr = 1$ , l'écoulement atteint un état limite où la vitesse est égale à la vitesse des ondes de surface. La profondeur d'eau est appelée profondeur critique. Ce régime marque la transition entre écoulement fluvial et torrentiel. Il est caractérisé par une énergie minimale et est important dans la conception des ouvrages hydrauliques .[7]
- **Écoulement torrentiel (supercritique)** : lorsque  $Fr > 1$ , la vitesse de l'écoulement dépasse celle des ondes de surface. L'écoulement est rapide, peu profond et instable, dit « piloté par l'amont », car il est peu influencé par les conditions en aval. La profondeur d'eau est inférieure à la profondeur critique. Ce régime est typique des torrents ou des canaux à forte pente .[7]

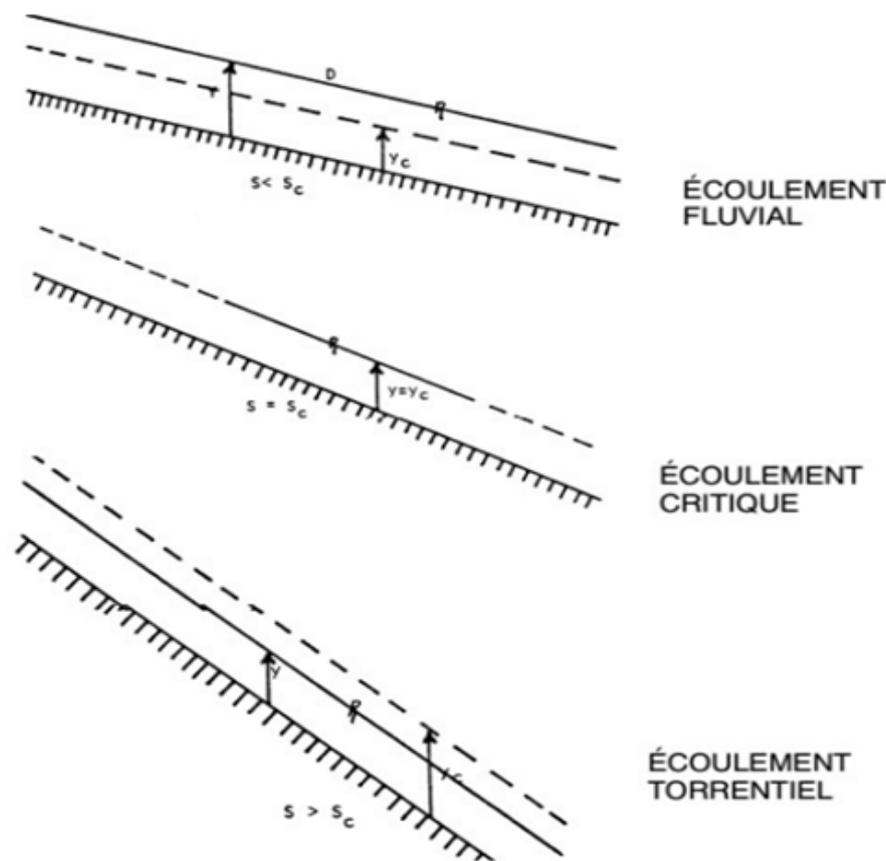


FIGURE 4.1 – Profil de types d'écoulements à surface libre[7]

Le passage d'un régime torrentiel à un régime fluvial dans un canal ou un cours d'eau s'accompagne d'un ressaut hydraulique (élévation du niveau d'eau) et d'une dissipation d'énergie. Dans un cours d'eau naturel, cette dissipation d'énergie peut avoir lieu en sortie de rapide, où le régime passe de torrentiel (rapides) à fluvial. En génie civil, les ouvrages reproduisant ce phénomène sont souvent nommés « fosse de dissipation ».[7]

## 4.2 Les caractéristiques des écoulements à surface libre

### 4.2.1 Hauteur de l'écoulement

La hauteur de l'écoulement, également appelée profondeur ou le tirant d'eau, fait référence à la distance verticale entre la surface libre du fluide et une référence donnée, généralement le fond du canal ou du lit de la rivière. La hauteur de l'écoulement peut varier le long de la direction d'écoulement en raison des changements de pente, de la rugosité du lit et d'autres facteurs [47]

### 4.2.2 La pente

La pente dans l'écoulement à surface libre est une mesure de la variation de hauteur d'eau par unité de distance horizontale le long d'un canal ou d'une rivière. Elle est souvent exprimée en pourcentage, en degrés ou en fraction, la pente est un facteur important qui détermine la vitesse et le débit de l'eau dans un écoulement à surface libre. En général, plus la pente est grande,

plus l'eau s'écoule rapidement et plus le débit est élevé. Cela est dû à la gravité qui agit sur l'eau et entraîne un mouvement descendant de l'eau vers des altitudes plus basses.[47]

### 4.2.3 Section mouillée

Elle correspond à la surface transversale d'un canal, d'une rivière ou d'un ouvrage hydraulique qui est effectivement occupée par l'eau en écoulement. Autrement dit, c'est la portion de la section perpendiculaire à l'écoulement délimitée par le fond et les parois du canal ainsi que la surface libre de l'eau. Elle est exprimée en mètres carrés ( $m^2$ ) et varie en fonction de la hauteur d'eau. [8]

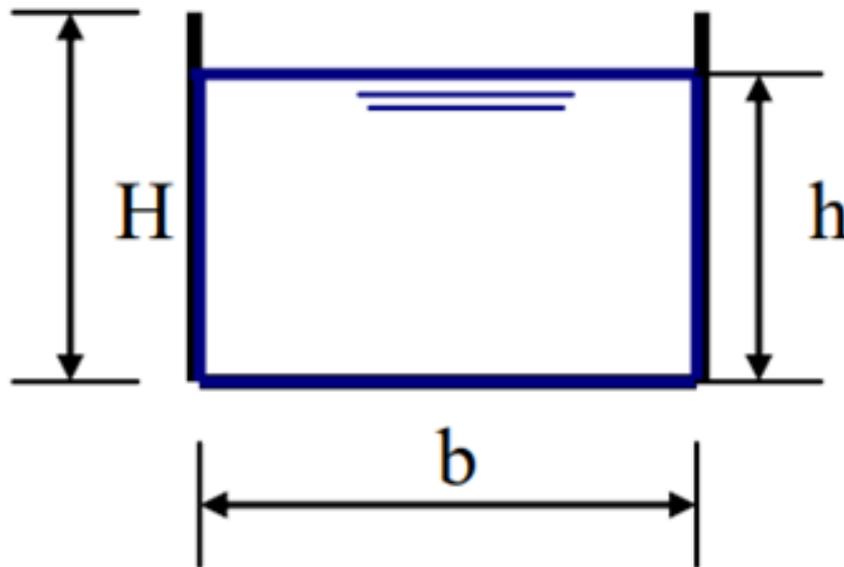


FIGURE 4.2 – Section mouillée d'un canal rectangulaire [8]

### 4.2.4 Périmètre mouillé

Le périmètre mouillé est défini comme la longueur totale du contact entre le fluide (eau) et les parois solides du canal ou de la conduite, mesurée dans une section transversale perpendiculaire à l'écoulement. Il exclut donc la largeur de la surface libre en contact avec l'air [8]

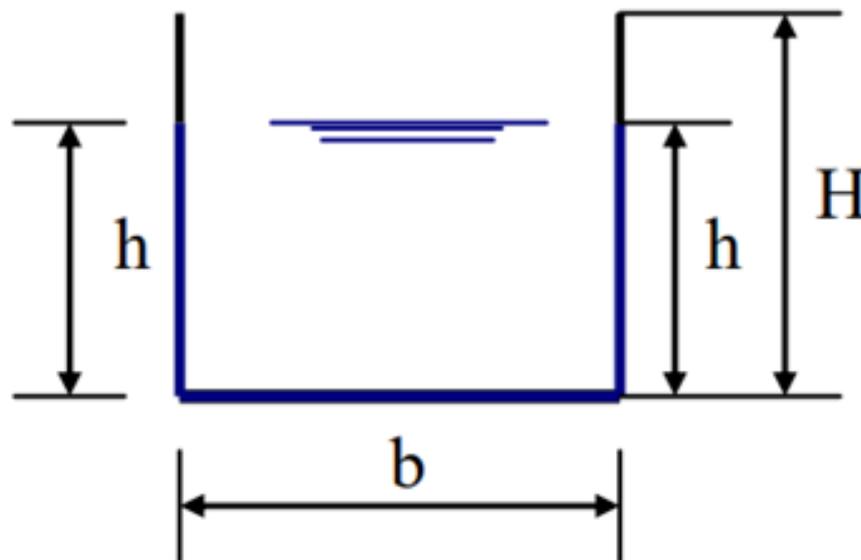


FIGURE 4.3 – Périmètre mouillé d'un canal rectangulaire [8]

#### 4.2.5 La vitesse de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement à surface libre peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la pente du lit, la géométrie du canal, la rugosité de la surface, les forces de la gravité, etc. La vitesse peut être mesurée à différents points de l'écoulement et peut varier à différents endroits en fonction de ces facteurs, dans un écoulement à surface libre, le profil de vitesse décrit la variation de la vitesse du fluide le long de la section transversale de l'écoulement. Habituellement, la vitesse est maximale à la surface libre et diminue progressivement vers le fond en raison des forces de frottement avec le lit.[47]

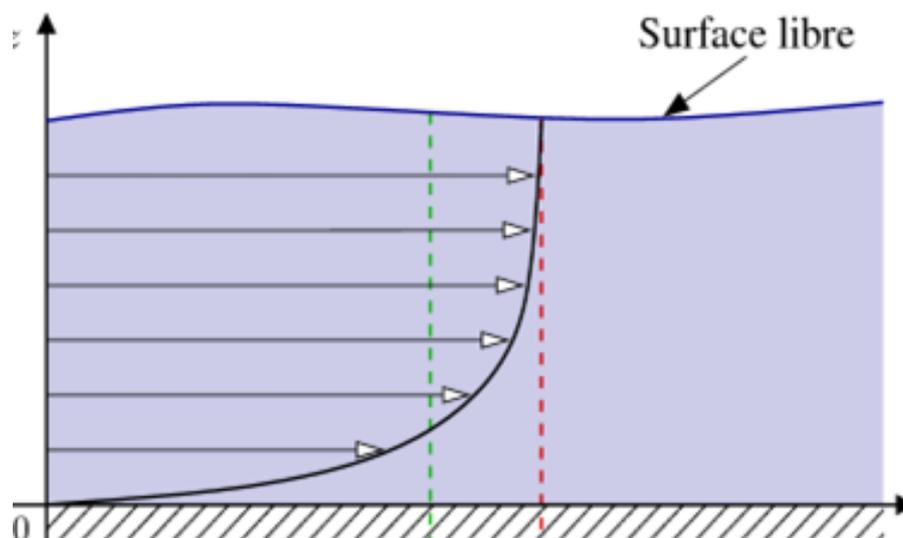


FIGURE 4.4 – Profil de la vitesse d'écoulement à surface libre [9]

### 4.3 Formes des canalisations hydrauliques

Les canalisations hydrauliques peuvent être classées en deux catégories : ouvertes ou fermées ((voir figure IV.4). Les canalisations à contour ouvert se présentent principale- ment sous forme

rectangulaire ou voûtée. Quant aux canalisations fermées, elles peuvent adopter des formes rectangulaires, circulaires, elliptiques ou arquées. Les canalisations rectangulaires sont généralement construites en béton, parfois en bois. Les formes circulaires font appel à des tuyaux en acier ondulé, en béton ou, pour les petits conduits, en polyéthylène ondulé. Les formes elliptiques, arquées et voûtées sont généralement réalisées en acier ondulé. Dans le cas des canalisations à contour ouvert, la base de la structure repose généralement sur une semelle ou un radier en béton.[47]

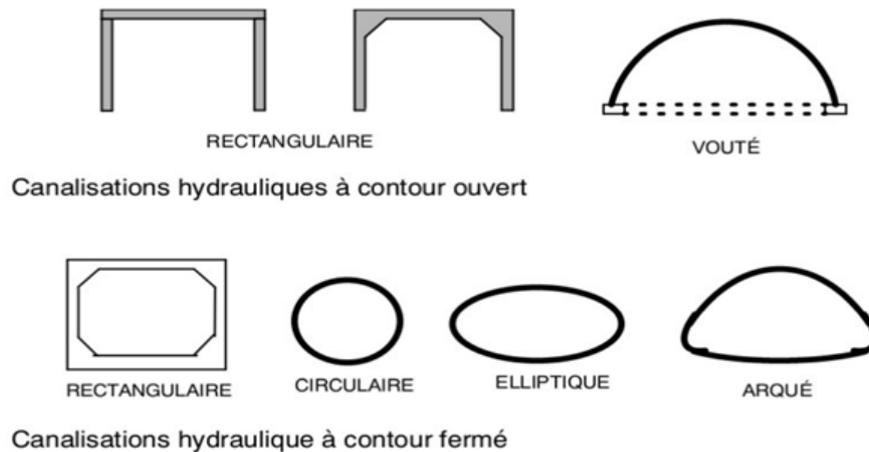


FIGURE 4.5 – Formes des canalisations hydrauliques [10]

## 4.4 Les types d'ouvrages de franchissement

### 4.4.1 Les buses

Les buses sont des ouvrages hydrauliques conçus pour faire passer l'eau sous ou à travers les voies ferrées. Elles servent à évacuer les eaux de surface, à franchir des cours d'eau ou des fossés, et à drainer des zones humides.[12]

Ces buses peuvent être fabriquées en béton, métal ou plastique. Leur taille est choisie en fonction des caractéristiques du site, notamment le débit maximal attendu, la pente de la conduite, la hauteur de remplissage, le matériau utilisé, la résistance à l'érosion et à la corrosion, ainsi que les conditions du sol et les charges de trafic.[12]

Pour dimensionner une buse, on utilise des modèles mathématiques qui prennent en compte la géométrie de la conduite, les propriétés du sol et les paramètres hydrauliques comme la vitesse d'écoulement. Aujourd'hui, les buses en béton et en métal sont les plus courantes.[12]

A. Les buses métalliques circulaires : Ces buses sont utilisées pour de petits ouvrages hydrauliques comme les fossés, les passages sous routes rurales ou voies ferrées. Elles sont légères, faciles à transporter et rapides à installer. Leur structure ondulée leur donne une certaine flexibilité, mais leur durée de vie est limitée, notamment à cause de la corrosion.

B. Les buses en béton préfabriqué : Ces buses conviennent aux ouvrages plus importants nécessitant une grande résistance. Fabriquées en usine, elles sont transportées puis assemblées sur site. Elles sont plus lourdes et durables que les buses métalliques, offrant une meilleure résistance à l'usure et aux charges élevées.[12]



FIGURE 4.6 – Buses en béton [11]

C. Les buses ovales : Les buses ovales offrent plusieurs avantages par rapport aux buses circulaires traditionnelles. Leur forme ovale permet une plus grande surface d'écoulement, ce qui améliore la capacité de collecte et d'évacuation des eaux. De plus, leur profil bas réduit les risques d'endommagement liés au passage du trafic et facilite l'accès pour l'entretien et le nettoyage. Enfin, elles bénéficient généralement d'une durée de vie plus longue que les buses circulaires grâce à leur conception optimisée. [12]



FIGURE 4.7 – Buse en béton ovales [12]

#### 4.4.2 Les dalots

Les dalots sont des ouvrages d'art en béton armé qui permettent aux cours d'eau de passer sous les routes, assurant un écoulement continu. Ils sont souvent rectangulaires ou en tunnel, particulièrement adaptés aux routes concaves, remplaçant avantageusement les ponts. Plus économiques que les ponts, surtout sous remblais élevés, ils garantissent solidité et sécurité. Leur conception assure une gestion efficace des eaux tout en supportant le poids de la plate-forme

de la voie.[12]

Près de 90 % des ouvrages d'assainissement routiers sont constitués de dalots. Ils ont l'avantage d'être facilement construits par rapport aux ponts. Pour un même débit d'évacuation, le coût de la réalisation d'un dalot est moins élevé par rapport à la construction d'un pont[12]

#### Les éléments principaux d'un dalot :

- Une dalle inférieure appelée radier,
- Des piédroits perpendiculaires au radier,
- Une dalle supérieure appelée tablier
- Deux murs de tête.
- Quatre murs en aile en amont et en aval
- L'enrochement de protection amont et aval.
- Les remblais d'accès.[13]

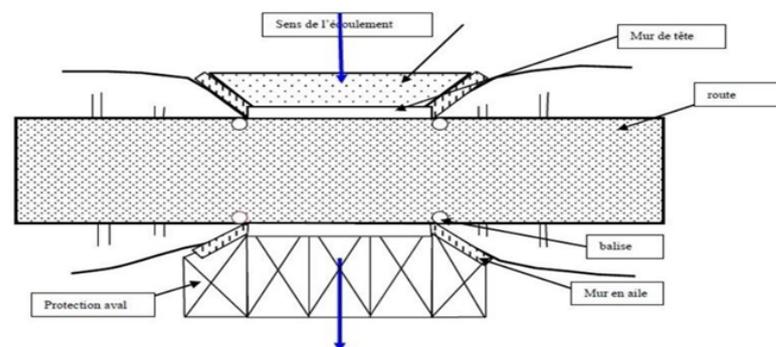


FIGURE 4.8 – Vue dessus d'un dalot [13]

**Les types des dalots Les dalots ordinaires avec dalle :** Les dalots ordinaires avec dalle sont constitués de piédroits verticaux reposant sur une semelle ou un radier indépendant, surmontés d'une dalle en béton armé qui forme la surface supérieure. Cette dalle offre une plateforme solide pour la circulation des véhicules, tandis que les parois latérales et le fond assurent le passage de l'eau. Ce type de dalot est adapté aux zones où les débits sont faibles à modérés et où une bonne résistance structurelle est nécessaire. Grâce à leur conception, ils combinent robustesse et facilité d'entretien, tout en assurant un écoulement efficace sous les voies ferrées.[12]

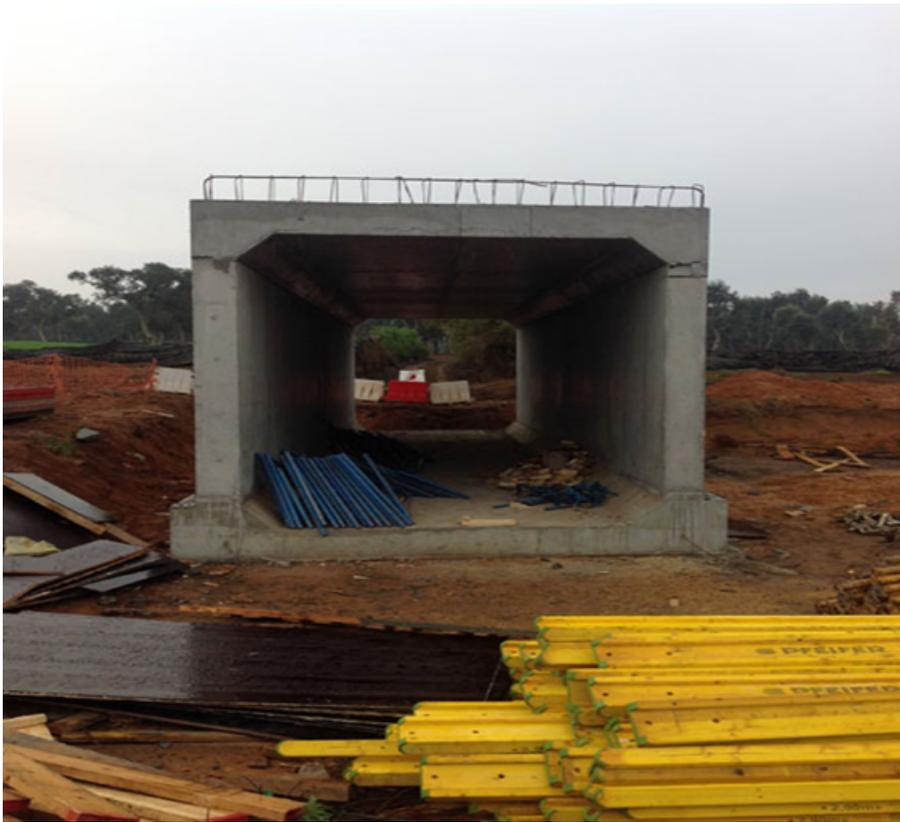


FIGURE 4.9 – Dalot ordinaire avec dalle [14]

**Dalot cadre (structure rigide)** : conçue pour permettre le passage d'un cours d'eau sous une route, une voie ferrée ou toute autre infrastructure. Il se compose généralement d'un cadre métallique rigide en acier ou en béton armé, avec des parois latérales et un fond. Ce type de dalot est conçu pour supporter des charges lourdes et résister à la pression de l'eau.[12]



FIGURE 4.10 – Dalot Cadre [14]

**Dalots portiques** : Les dalots portiques sont souvent utilisés pour franchir des cours d'eau plus larges ou pour créer des passages souterrains dans les zones urbanisées. Ils sont généralement constitués de plusieurs dalots en série, soutenus par des piliers ou des murs porteurs, formant ainsi une structure en arc ou en portique. Cette conception permet de franchir de plus grandes distances tout en supportant des charges importantes. Les dalots portiques peuvent présenter

différents designs adaptés aux contraintes du site et aux besoins spécifiques du projet.[12]



FIGURE 4.11 – Dalot portique [14]

**Les dalots triples :** conçus pour gérer efficacement de forts débits d'eau en offrant une capacité hydraulique supérieure à celle des dalots simples ou doubles. Ils sont fréquemment utilisés dans les systèmes de drainage routier, les canaux agricoles, les cours d'eau et les stations d'épuration. Leur structure robuste leur permet de supporter des charges lourdes, ce qui les rend adaptés aux zones à trafic intense ou où circulent des véhicules lourds. Grâce à leur triple ouverture, ils assurent un écoulement optimal et une meilleure résistance mécanique pour les infrastructures concernées [12]



FIGURE 4.12 – Dalots triples [15]

**La mise en œuvre des dalots Préparation du terrain :** Avant la pose des dalots, il faut bien préparer le terrain en nivelant et en compactant le sol pour garantir une base stable. Il est aussi nécessaire d'enlever toute végétation ou obstacle qui pourrait gêner l'installation.[12]

**Pose des dalots :** Ensuite, les dalots, souvent préfabriqués en béton ou plastique, sont posés en formant une structure continue pour laisser passer l'eau. [12]

**Finition :** Enfin, les espaces autour sont remplis avec du sable ou du gravier, puis compactés pour assurer la stabilité et éviter les affaissements.[12]

## 4.5 Principe de dimensionnement hydraulique des dalots

Le dimensionnement hydraulique des dalots consiste à déterminer le débit maximal que la structure peut supporter, à le comparer avec le débit attendu sur le site, à contrôler la vitesse d'écoulement de l'eau, puis à calculer la hauteur d'eau nécessaire pour assurer un passage optimal et sécurisé.

**Calcul du débit maximal :** Il s'agit d'estimer le débit d'eau maximal que le dalot devra évacuer, en tenant compte des caractéristiques du bassin versant, de la pluviométrie, du coefficient d'écoulement, et du temps de concentration. Ce débit correspond souvent à une pluie de fréquence donnée

**Comparaison des débits :** Le débit maximal calculé est comparé au débit que la structure peut effectivement supporter, déterminé par la section hydraulique, la pente et la rugosité du dalot. C'est pour vérifier si le dalot est dimensionné pour gérer les débits attendus sans risque de débordement

**Vérification de la vitesse et le régime d'écoulement :** La vitesse de l'eau dans le dalot est calculée à partir du débit et de la section mouillée. Elle doit rester dans des limites pour éviter l'érosion (vitesse trop élevée) ou la sédimentation (vitesse trop faible). Le régime d'écoulement (fluvial ou torrentiel) est aussi déterminé pour garantir un écoulement stable

**Détermination de la hauteur de remplissage :** Cette hauteur correspond à la profondeur d'eau dans le dalot sous débit maximal. Elle est calculée pour assurer que le dalot ne soit pas submergé et que l'écoulement soit optimal. On prend en compte la hauteur spécifique, incluant les pertes de charge et la hauteur d'eau en amont et aval.[12]

## 4.6 Le débit capable des ouvrages de franchissements

### 4.6.1 La méthode de DELORME

La méthode de DELORME est une approche couramment utilisée pour le prédimensionnement hydraulique des dalots et buses. Elle permet d'estimer rapidement la capacité maximale d'un ouvrage à évacuer un débit d'eau donné. La formule s'écrit généralement [53] **Pour les buses :**

$$Q_c = 2,464 \cdot R \cdot D^{5/2} \quad (\text{III.13a})$$

**Pour les dalots :**

$$Q_c = 1,5 \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (\text{III.13b})$$

Avec :

- $Q_c$  : Débit critique évacué, en  $\text{m}^3/\text{s}$ ,
- $R$  : Rayon de la buse, en mètres (m),
- $D$  : Diamètre intérieur de la buse, en mètres (m),
- $L$  : Ouverture droite du dalot (largeur utile), en mètres (m),
- $H$  : Hauteur des piédroits sous dalle, en mètres (m).

TABLE 4.1 – Débits capables pour les dalots et les buses

Type d'ouvrage	Dimensions (L×H ; )	Qc (m <sup>3</sup> /s)
Buse	1000 mm	1,232
Buse	1500 mm	3,395
Dalot	(2×2) m	8,485
Dalot	(3×2) m	12,728

## 4.7 Résultats des calculs de dimensionnement des ouvrages de franchissements

TABLE 4.2 – Résultats des calculs de dimensionnement

N° BV	PK	S (Km <sup>2</sup> )	I (mm/h)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Num	(L×H)/d	Type	Q <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	640+865,29	3.885	17.50	23.217	3	3x2	dalot	38.184
2	641+165,41	106.766	4.73	142.465	1	4.83	Ouvrage d'art	
	641+215			Fil d'eau	1	1500	buse	3.395
3	642+435	0.147	57.51	4.397	2	1500	buse	6.790
4	643+190	2.682	20.64	20.039	3	3x2	dalot	38.184
5	644+565	0.209	43.06	4.237	2	1500	buse	6.790
6	644+998	178.952	3.91	Fil d'eau	1	1500	buse	3.395
	645+179			Fil d'eau	1	1500	buse	3.395
	646+037,68			188.205	1	5.36	Ouvrage d'art	
	646+571			Point bas	1	1500	buse	3.395
7	647+050	0.361	36.84	5.909	3	1500	buse	10.185
8	648+322,69	2.058	20.32	15.060	1	1500	buse	3.395
9	649+373,5	1.511	23.35	13.345	1	1500	buse	3.395
10	651+000	0.220	43.01	4.438	2	1500	buse	6.790
11	651+851	4.430	16.08	23.613	3	3x2	dalot	38.184
12	652+130	0.782	26.52	8.206	4	1500	buse	13.580
13	652+396,58	0.049	75.50	2.139	1	1500	buse	3.395
14	653+535	12.630	7.29	22.160	3	3x2	dalot	38.184
-	654+175	-	-	Fil d'eau	1	1500	buse	3.395
-	654+880	-	-	Fil d'eau	1	1500	buse	3.395
15	654+175	0.690	27.91	7.756	4	1500	buse	13.580
16	654+880	86.547	4.20	99.482	1	4.22	Ouv d'art	

N° BV	PK	Surface (Km <sup>2</sup> )	I projet	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Nombre	L*H/d	Type	Qc (m <sup>3</sup> /s)
17	656+899,5	1.605	22.13	13.182	2	3x2	dalot	25.456
18	657+597,5	0.920	26.12	9.456	2	3x2	dalot	25.456
19	657+787,3	0.696	27.54	7.691	2	1500	buse	6.790
	658+425				2	1500	buse	6.790
	659+150				2	1500	buse	6.790
20	659+175	3.033	18.18	19.082	3	1500	buse	10.185
	659+200				3	1500	buse	10.185
	660+245				3	1500	buse	10.185
21	660+260	0.933	24.09	8.593	1	3x2	dalot	12.728
22	660+275	4.974	15.15	24.446	3	3x2	dalot	38.184
23	660+474,2	32.840	5.01	30.144	4	3x2	dalot	50.912
24	660+902	3.806	16.76	21.450	3	3x2	dalot	38.184
25	661+517,24	10.501	6.37	20.241	3	3x2	dalot	38.184
26	663+038,82	2.114	20.51	15.662	1	1500	buse d'éq	3.395
27	663+393,13	4.400	15.96	23.206	3	3x2	dalot	38.184
28	664+225,73	3.167	17.82	19.388	3	3x2	dalot	38.184
29	666+775,5	331.101	3.44	167.684	1	5.15	Ouvrage d'art	-
	668+524		3.43	166,745	1	5.15	Ouvrage d'art	-

## 4.8 Identification des zones inondables

D'après l'étude topographique des cartes d'état majeure on a pu identifier plusieurs zones inondables au niveau du tracé du projet. Ce sont des zones très évasées qui sont inondées en période de crues. Le niveau général des eaux reste bas mais il représente un risque sur la voie. Entre le PK 639+00 au PK 669+100, 03 zones inondables ont été identifiées dont les PK (Voir annexes) sont les suivantes :

TABLE 4.3 – PK des zones inondables

Zone	PK début	PK fin
Zone 01	648+200	648+435
Zone 02	649+219	649+408
Zone 03	664+000	664+309

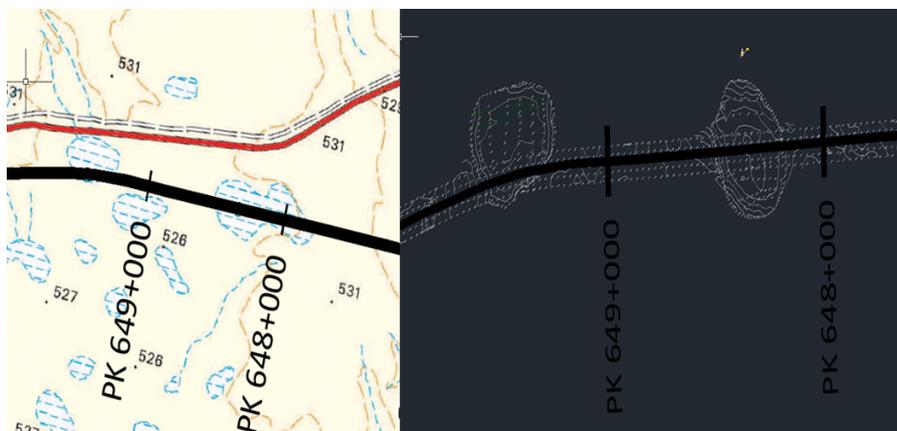


FIGURE 4.13 – Zones inondables 01 et 02

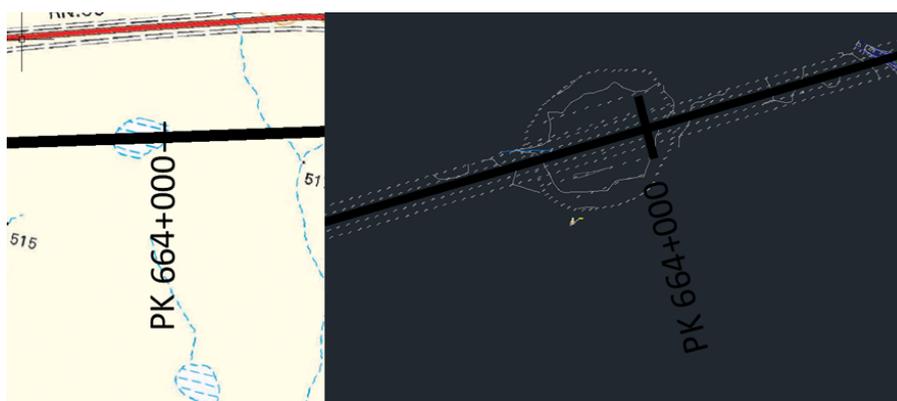


FIGURE 4.14 – Zone inondable 03

Suite au calcul hydrologique des débits dans la partie précédente on constate que les débits des zones inondables sont les suivants :

TABLE 4.4 – Les débits des zones inondables.

Zone	BV	PK	$Q_{\text{projet}}$ (m <sup>3</sup> /s)
01	08	Du PK 648+200 au PK 648+435	15,06
02	09	Du PK 649+219 au PK 649+408	13,345
03	06	Du PK 664+000 au PK 664+309	15,662

#### 4.8.1 Exemple pour la détermination de NPHE pour la zone 3 :

Les étapes à suivre sont les suivantes :

- Importer le levé topographique correspondant à la zone 3 dans ArcGIS.
- Calculer le TIN (c'est un modèle de surface 3D utilisé dans ArcGIS pour représenter des terrains ou d'autres surfaces continues, basé sur une série de triangles reliés par des points de données irréguliers.)
- Dessiner l'axe du cours d'eau et le lit mineur et le lit majeur
- Créer les sections en vert dans la figure IV.15 avec un espacement entre chaque section de 25m
- Exporter RASDATA de format GIS en utilisant l'extension HEC-GEORAS dans Arcgis

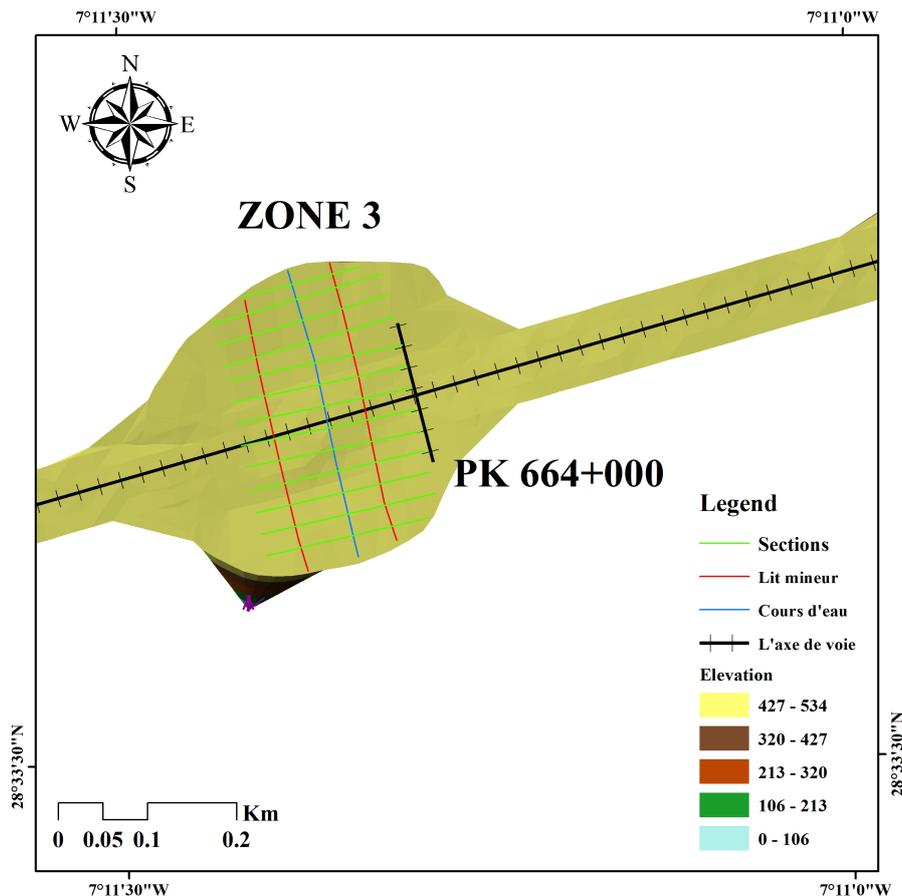


FIGURE 4.15 – TIN de la zone 3

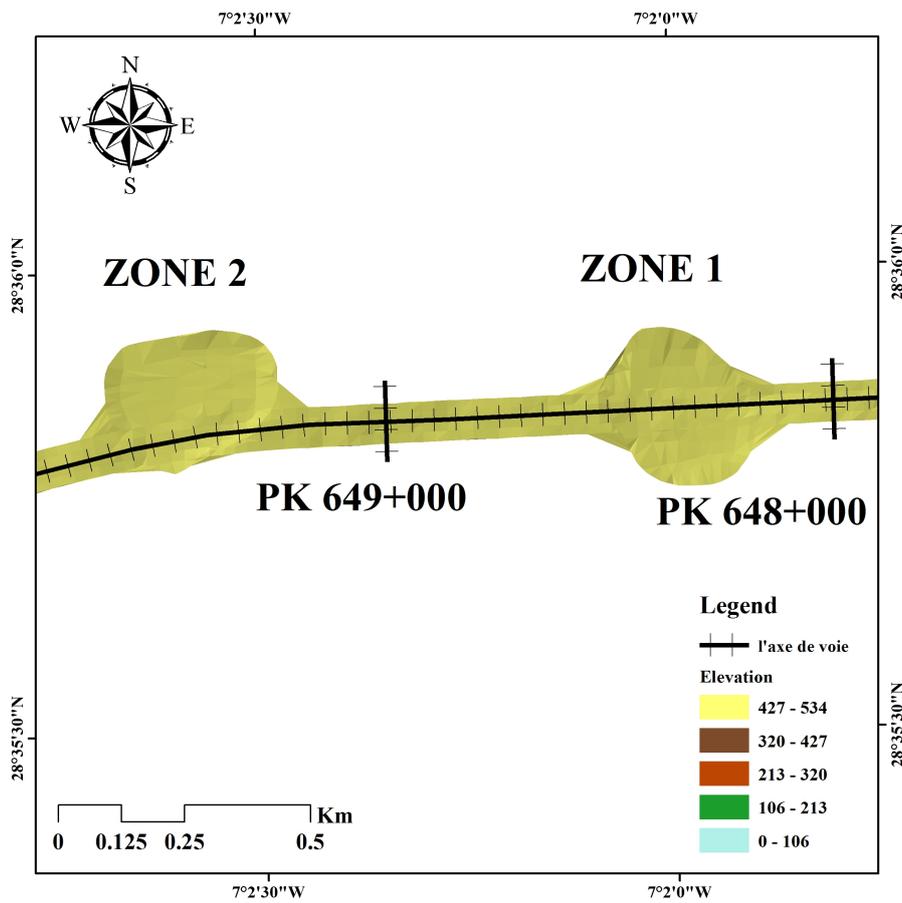


FIGURE 4.16 – TIN de la zone 1 et 2

- Ouvrir Hecras et importer géométric data .

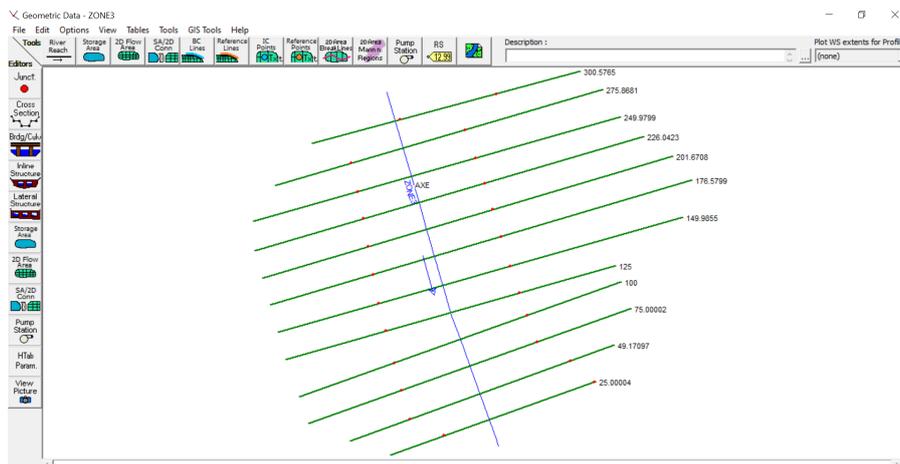


FIGURE 4.17 – Les données géométrique présentées dans HEC-RAS

- Introduire le débit du projet et lancer la simulation, les résultats pour un tel profil est présenté dans la figure suivante :

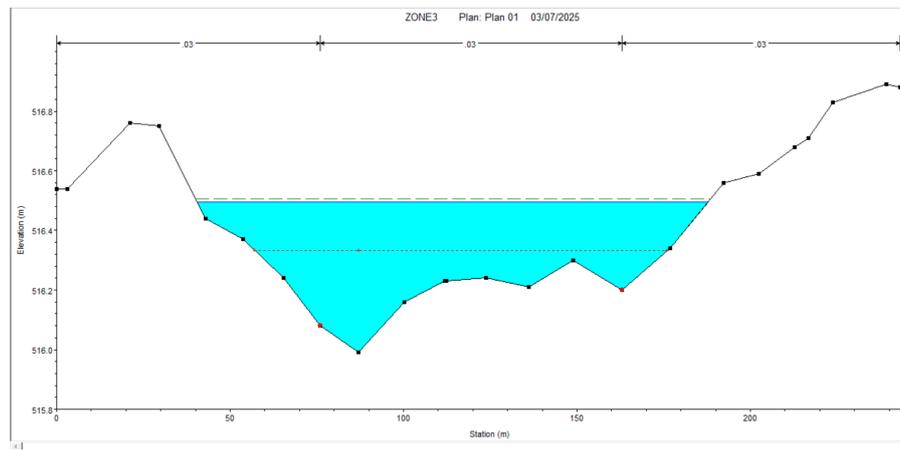


FIGURE 4.18 – NPHE dans une section de la zone 3

Le modèle 3D est présenté sur la figure suivante :

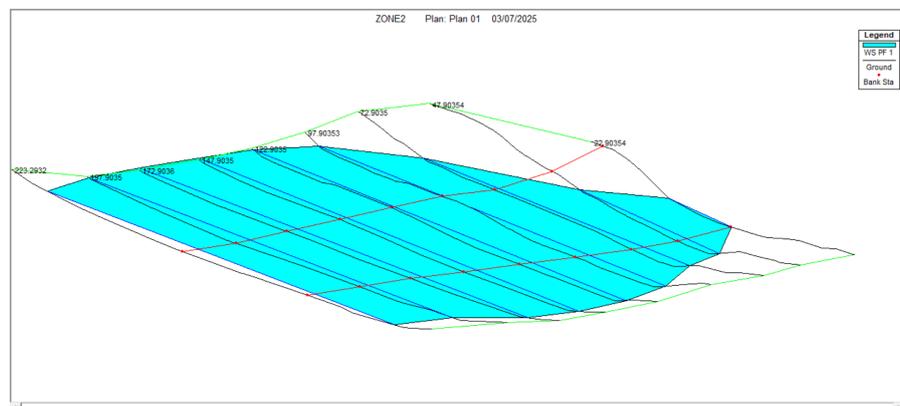


FIGURE 4.19 – Le modèle 3D de la zone 3

- • Pour les autres zones inondables, on suivre les mêmes étapes.

Les résultats suivants représentent les NPHE de chaque zone inondable :

TABLE 4.5 – Les NPHE de la zone inondable 01

Profil	Q (m <sup>3</sup> /s)	Cote TN (m)	NPHE (m)	Hauteur d'eau (m)	Pente (m/m)	V (m/s)	Su (m <sup>2</sup> )	Largeur SL (m)	Fr
PF 1	15.06	523.21	523.55	0.34	0.008047	1.04	15.17	86.97	0.73
PF 2	15.06	522.87	523.55	0.68	0.000141	0.28	60.81	135.16	0.12
PF 3	15.06	522.79	523.55	0.76	0.000054	0.19	87.72	161.42	0.07
PF 4	15.06	522.75	523.55	0.80	0.00012	0.22	73.69	180.64	0.10
PF 5	15.06	522.73	523.55	0.82	0.00011	0.22	71.79	162.79	0.10
PF 6	15.06	522.73	523.55	0.82	0.000142	0.24	63.94	140.47	0.11
PF 7	15.06	522.86	523.55	0.69	0.000385	0.34	42.16	104.65	0.18
PF 8	15.06	523.15	523.55	0.40	0.016105	1.29	11.43	65.78	0.36

TABLE 4.6 – Les NPHE de la zone inondable 02

Profil	Q (m <sup>3</sup> /s)	Cote TN (m)	NPHE (m)	Hauteur d'eau (m)	Pente (m/m)	V (m/s)	Su (m <sup>2</sup> )	Largeur SL (m)	Fr
PF 1	13.35	524.55	525.46	0.91	0.000015	0.10	141.21	247.73	0.04
PF 2	13.35	524.45	525.46	1.01	0.000012	0.09	157.32	259.73	0.03
PF 3	13.35	524.71	525.46	0.75	0.000009	0.08	174.28	277.36	0.03
PF 4	13.35	524.60	525.46	0.86	0.000010	0.08	176.01	280.62	0.03
PF 5	13.35	524.54	525.46	0.92	0.000015	0.10	148.73	275.26	0.04
PF 6	13.35	524.50	525.46	0.96	0.000021	0.11	124.33	236.98	0.05
PF 7	13.35	524.64	525.46	0.82	0.000056	0.13	86.37	196.81	0.07
PF 8	13.35	524.66	525.46	0.80	0.000107	0.22	59.30	112.74	0.10
PF 9	13.35	524.99	525.46	0.47	0.015750	1.39	9.60	50.89	0.09

TABLE 4.7 – Les NPHE de la zone inondable 03

Profil	Q (m <sup>3</sup> /s)	Cote TN (m)	NPHE (m)	Hauteur d'eau (m)	Pente (m/m)	V (m/s)	Su (m <sup>2</sup> )	Largeur SL (m)	Fr
PF 1	15.66	516.20	516.50	0.30	0.000907	0.37	38.07	147.42	0.25
PF 2	15.66	515.66	516.50	0.84	0.000027	0.13	140.94	298.75	0.05
PF 3	15.66	515.18	516.50	1.32	0.000003	0.07	269.60	312.33	0.02
PF 4	15.66	515.07	516.50	1.43	0.000002	0.05	349.05	346.15	0.01
PF 5	15.66	515.16	516.50	1.34	0.000001	0.05	395.38	375.12	0.01
PF 6	15.66	515.21	516.50	1.29	0.000002	0.04	375.19	382.47	0.01
PF 7	15.66	515.23	516.50	1.27	0.000002	0.05	320.91	354.21	0.02
PF 8	15.66	515.15	516.50	1.35	0.000002	0.05	307.08	300.00	0.02
PF 9	15.66	514.99	516.50	1.51	0.000001	0.05	350.03	300.00	0.01
PF 10	15.66	515.32	516.50	1.18	0.000004	0.07	249.76	296.40	0.02
PF 11	15.66	515.83	516.50	0.67	0.000056	0.16	105.06	246.74	0.07
PF 12	15.66	516.17	516.50	0.33	0.018802	1.05	14.11	118.99	0.09

## 4.9 IV.8 Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages

Dans cette partie on va vérifier les paramètres hydrauliques des ouvrages tels que la vitesse, le taux de remplissages et la pente critique... etc.

Dans le cadre de la vérification des ouvrages hydrauliques projetés, le logiciel **Autodesk Civil 3D** a été utilisé en combinaison avec l'extension **HydraFlow Express**. Cet outil permet une modélisation et une vérification rapide des différents dispositifs de drainage, notamment les dalots, les buses et les fossés. À partir des caractéristiques géométriques des ouvrages (section, longueur, pente) et des données hydrologiques issues du dimensionnement (débits de pointe), HydraFlow Express permet de simuler le comportement hydraulique des structures. L'objectif est de s'assurer que les ouvrages sélectionnés sont capables d'évacuer les débits attendus sans provoquer de surcharge ni de débordement. Les résultats fournis par le logiciel, notamment le niveau d'eau amont et aval, la capacité d'écoulement et le taux de remplissage, ont permis de valider les dimensions retenues pour les différents ouvrages hydrauliques le long du tracé ferroviaire, garantissant ainsi leur bon fonctionnement en conditions réelles.

**Remarque :** le paramètre le plus important à vérifier c'est le taux de remplissage, il faut que cette grandeur soit inférieure à 75 % pour les dalots et 80 % pour les buses, par mesure de sécurité et aussi pour garantir que l'écoulement soit en à surface libre.

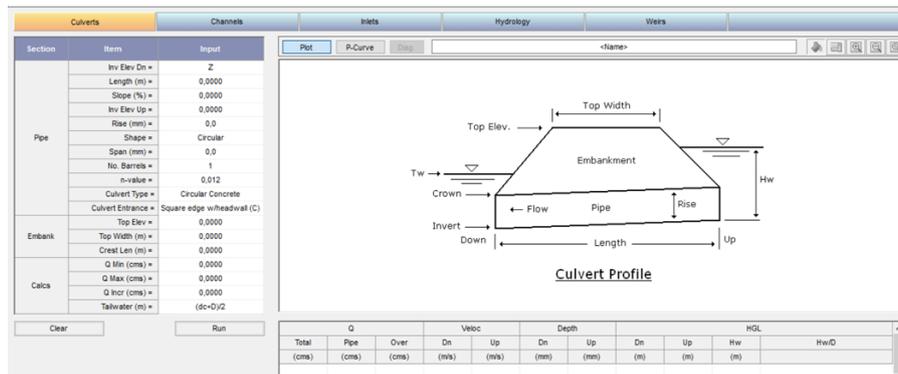


FIGURE 4.20 – Interface de modélisation d'un dalot circulaire sur hydraflow

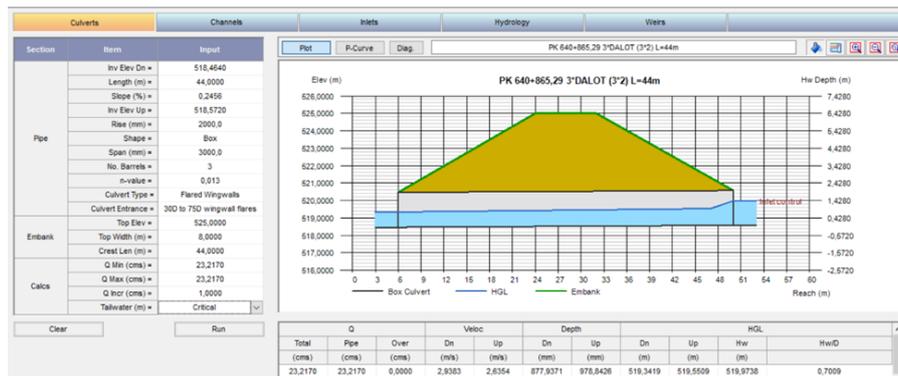


FIGURE 4.21 – Exemple de calcul hydraulique d'un dalot 3.0\*2.0 situé dans l'exutoire du PK 640+865.29

TABLE 4.8 – Vérification des conditions d'écoulement

N°BV	Hydrologie		Calcul Hydraulique															
	PK	Qtotale (m³/s)	Cote File d'eau		L OH(m)	Pente OH(%)	Vitesse (m/s)		Hauteur d'eau OH (m)		HGL (m)			Rh < 1.2	Type OH	DIM (L×H,d)	NBR	Qc (m³/s)
			Aval(m)	Amont(m)			Aval (Vs)	Amont (Ve)	Sortie (Ys)	Entrée (Ye)	NPHE							
											Sortie OH	Entrée OH	Amont OH					
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)											
1	640+865,29	23.217	518.464	518.572	44.00	0.25	2.94	2.63	0.878	0.979	519.3419	519.5509	519.5509	0.70	dalot	3*2	3	38.184
3	642+435	4.397	520.860	521.172	27.30	1.14	2.43	2.43	0.763	0.763	521.6229	521.9349	522.2955	0.73	buse	1500	2	6.790
4	643+190	20.039	517.355	518.224	43.66	1.99	4.71	2.79	0.472	0.795	517.8275	519.0200	519.4733	0.62	dalot	3*2	3	38.184
5	644+565	4.237	520.130	520.772	30.20	2.13	2.40	2.40	0.748	0.748	520.8783	521.5203	521.8727	0.72	buse	1500	2	6.790
7	647+050	5.909	522.267	522.540	16.00	1.71	3.48	2.35	0.535	0.721	522.8020	523.2605	523.5970	0.70	buse	1500	3	10.185
10	651+000	4.438	524.182	524.524	19.20	1.78	2.44	2.44	0.767	0.767	524.9487	525.2906	525.6533	0.75	buse	1500	2	6.790
11	651+851	23.613	523.300	523.651	28.20	1.24	4.12	2.95	0.637	0.888	523.9370	524.5389	525.0592	0.70	dalot	3*2	3	38.184
12	652+130	8.206	524.053	524.353	27.10	1.11	2.38	2.38	0.736	0.736	524.7888	525.0889	525.4343	0.72	buse	1500	4	13.580
13	652+396,58	2.139	526.498	526.653	22.70	0.68	2.41	2.41	0.752	0.752	527.2496	527.4047	527.7590	0.73	buse	1500	1	3.395
14	653+535	22.160	525.757	526.285	19.60	2.69	4.64	2.89	0.530	0.851	526.2874	527.1361	527.2496	0.67	dalot	3*2	3	38.184
15	656+899,5	7.756	521.056	521.146	24.50	0.37	2.33	2.31	0.715	0.718	521.7706	521.8643	522.1746	0.68	buse	1500	4	13.580
17	657+787,3	13.182	520.718	520.895	21.10	0.84	3.50	2.78	0.628	0.789	521.3459	521.6839	522.1443	0.62	dalot	3*2	2	25.456
18	658+425	9.456	520.590	520.625	16.20	0.22	2.49	2.26	0.632	0.697	521.2224	521.3217	522.6245	0.49	dalot	3*2	2	25.456
19	659+150	7.691	518.521	518.731	19.00	1.11	2.86	2.05	0.451	0.575	519.3479	519.5579	519.9547	0.55	buse	1500	2	6.790
	659+175		518.472	518.717	19.00	1.29	2.99	2.05	0.436	0.575	519.2989	519.5439	519.9407	0.55	buse	1500	2	6.790
	659+200		518.474	518.627	19.00	0.80	2.66	2.05	0.474	0.575	519.3009	519.4539	519.8507	0.55	buse	1500	2	6.790
20	660+245	19.082	517.438	517.610	16.70	1.03	2.41	2.41	0.749	0.749	518.1866	518.3586	518.7111	0.73	buse	1500	3	10.185
	660+260		517.450	517.500	16.70	0.30	2.41	2.41	0.749	0.749	518.1987	518.2524	518.6011	0.73	buse	1500	3	10.185
	660+275		517.432	517.512	16.70	0.479	2.41	2.41	0.749	0.749	518.1807	518.2607	518.6131	0.73	buse	1500	3	10.185
21	660+474,2	8.593	516.961	517.333	16.70	2.23	4.50	3.04	0.637	0.941	517.5980	518.2744	518.8197	0.74	dalot	3*2	1	12.728
22	660+902	24.446	517.288	517.363	22.00	0.34	3.04	2.99	0.893	0.909	518.1811	518.2719	518.8145	0.73	dalot	3*2	3	38.184
23	661+517,24	30.144	517.036	517.296	31.30	0.83	3.75	2.91	0.670	0.862	517.7056	518.1586	518.6666	0.68	dalot	3*2	4	50.912
24	663+038,82	21.450	515.984	516.048	32.90	0.20	2.86	2.48	0.832	0.958	516.8169	517.0062	517.3760	0.66	dalot	3*2	3	38.184
25	663+393,13	20.241	515.703	515.814	32.90	0.33	2.87	2.80	0.783	0.802	516.4863	516.6156	517.0887	0.63	dalot	3*2	3	38.184
27	666+775,5	23.206	514.688	514.843	37.30	0.42	3.20	2.94	0.808	0.878	515.4957	515.7207	516.2426	0.70	dalot	3*2	3	38.184
28	668+524	19.388	514.691	514.794	40.00	0.26	2.77	2.53	0.779	0.852	515.4696	515.6461	516.0322	0.62	dalot	3*2	3	38.184

D'après les résultats du tableau IV.4 on peut conclure que les conditions d'écoulement sont vérifiées, et que notre dimensionnement est acceptable, notons que :

- La vitesse d'écoulement dans les dalots est entre 2.48 m/s et 4.71 m/s
- Le taux de remplissage maximal qu'on a trouvé c'est de 75 % qui est bien inférieur ou égale à 75 % donc on peut garder ces combinaisons des ouvrages

#### **4.9.1 Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages pour un débit exceptionnel**

Dans le domaine de l'assainissement ferroviaire, le débit exceptionnel fait référence au débit d'eau pluviale estimé lors d'un événement de précipitations exceptionnelles, comme une forte pluie ou une tempête. Il s'agit d'un débit de ruissellement considéré comme rare et qui dépasse le débit centennale ou prévu dans les conditions de dimensionnement.

Le débit exceptionnel est exprimé par :

$$Q_{\text{exp}} = 1,5 \cdot Q_{\text{projet}} \quad (\text{III.14})$$

TABLE 4.9 – Les résultats des calculs des débits exceptionnels

N°BV	Hydrologie		Calcul Hydraulique															
	PK	Qtotale (m³/s)	Cote File d'eau		L OH(m)	Pente OH(%)	Vitesse (m/s)		Hauteur d'eau OH (m)		HGL (m)			Rh < 1.2	Type OH	DIM (L*H,d)	NBR	Qc (m³/s)
			Aval(m)	Amont(m)			Aval (Vs)	Amont (Ve)	Sortie (Ys)	Entrée (Ye)	NPHE							
											Sortie OH	Entrée OH	Amont OH					
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)													
1	640+865.29	34.826	518.464	518.572	44.00	0.25	3.36	3.00	1.150	1.290	519.3419	519.5509	519.5509	0.93	dalot	3*2	3	38.184
3	642+435	6.595	520.860	521.172	27.30	1.14	2.81	2.81	0.942	0.942	521.6229	521.9349	522.2955	0.96	buse	1500	2	6.790
4	643+190	30.059	517.355	518.224	43.66	1.99	5.19	3.20	0.643	1.040	517.8275	519.0200	519.4733	0.83	dalot	3*2	3	38.184
5	644+565	6.356	520.130	520.772	30.20	2.13	2.77	2.77	0.924	0.924	520.8783	521.5203	521.8727	0.93	buse	1500	2	6.790
7	647+050	8.863	522.267	522.540	16.00	1.71	2.70	2.70	0.890	0.890	522.8020	523.2605	523.5970	0.89	buse	1500	3	10.185
10	651+000	6.657	524.182	524.524	19.20	1.78	2.83	2.83	0.948	0.948	524.9487	525.2906	525.6533	0.97	buse	1500	2	6.790
11	651+851	35.419	523.300	523.651	28.20	1.24	4.54	3.38	0.865	1.163	523.9370	524.5389	525.0592	0.93	dalot	3*2	3	38.184
12	652+130	12.309	524.053	524.353	27.10	1.11	2.74	2.74	0.909	0.909	524.7888	525.0889	525.4343	0.92	buse	1500	4	13.580
13	652+396.58	3.209	526.498	526.653	22.70	0.68	2.78	2.78	0.929	0.929	527.2496	527.4047	527.7590	0.95	buse	1500	1	3.395
14	653+535	33.240	525.757	526.285	19.60	2.69	5.09	3.31	0.725	1.114	526.2874	527.1361	527.2496	0.88	dalot	3*2	3	38.184
15	656+899.5	11.634	521.056	521.146	24.50	0.37	2.68	2.67	0.883	0.886	521.7706	521.8643	522.1746	0.87	buse	1500	4	13.580
17	657+787.3	19.774	520.718	520.895	21.10	0.84	3.90	3.18	0.844	1.033	521.3459	521.6839	522.1443	0.82	dalot	3*2	2	25.456
18	658+425	14.184	520.590	520.625	16.20	0.22	2.85	2.59	0.828	0.910	521.2224	521.3217	522.6245	0.66	dalot	3*2	2	25.456
19	659+150	11.537	518.521	518.731	19.00	1.11	3.07	2.25	0.534	0.675	519.3479	519.5579	519.9547	0.63	buse	1500	2	6.790
	659+175		518.472	518.717	19.00	1.29	3.07	2.25	0.534	0.675	519.3479	519.5579	519.9547	0.63	buse	1500	2	6.790
	659+200		518.474	518.627	19.00	0.80	3.07	2.25	0.534	0.675	519.3479	519.5579	519.9547	0.63	buse	1500	2	6.790
21	660+474.2	12.560	516.961	517.333	16.70	2.23	4.88	3.45	0.856	1.212	517.5980	518.2744	518.8197	0.96	dalot	3*2	1	12.728
22	660+902	36.670	517.288	517.363	22.00	0.34	3.42	3.41	1.190	1.193	518.1811	518.2719	518.8145	0.96	dalot	3*2	3	38.184
23	661+517.24	45.216	517.036	517.296	31.30	0.83	4.17	3.33	0.902	1.129	517.7056	518.1586	518.6666	0.91	dalot	3*2	4	50.912
24	663+038.82	32.175	515.984	516.048	32.90	0.20	3.27	2.86	1.091	1.249	516.8169	517.0062	517.3760	0.87	dalot	3*2	3	38.184
25	663+393.13	30.362	515.703	515.814	32.90	0.33	3.24	3.21	1.042	1.050	516.4863	516.6156	517.0887	0.84	dalot	3*2	3	38.184
27	666+775.5	34.809	514.688	514.843	37.30	0.42	3.59	3.36	1.075	1.149	515.4957	515.7207	516.2426	0.92	dalot	3*2	3	38.184
28	668+524	29.082	514.691	514.794	40.00	0.26	3.17	2.87	1.020	1.123	515.4696	515.6461	516.0322	0.81	dalot	3*2	3	38.184

TABLE 4.10 – Les ouvrages débordés à cause d'un débit extrême

Num Bv	PK	Q ex (m3/s)	L (m)	pente OH	Type	d (mm)	Num OUV	Num ouv rectifié	Vitesse (m/s)		Hauteur d'eau OH (m)		tc	tc rectifié
									Aval (Vs)	Amont (Ve)	Sortie (Ys)	Entrée (Ye)		
20	660+245	36.670	16.70	0.5	buse	1500.00	3	4	2.73	2.73	0.906	0.906	1.12	0.89
	660+260			0.30	buse	1500.00	3	4	2.73	2.73	0.906	0.906	1.12	0.89
	660+275			0.479	buse	1500.00	3	4	2.73	2.73	0.906	0.910	1.12	0.89

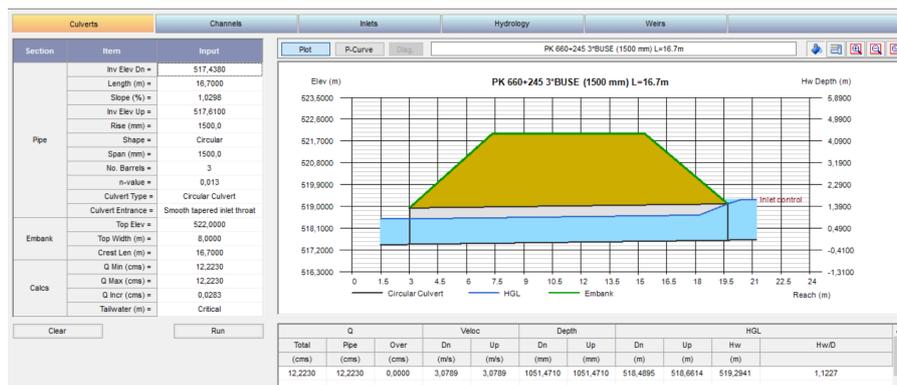


FIGURE 4.22 – Schéma illustratif d'ouvrage débordé du PK 660+245

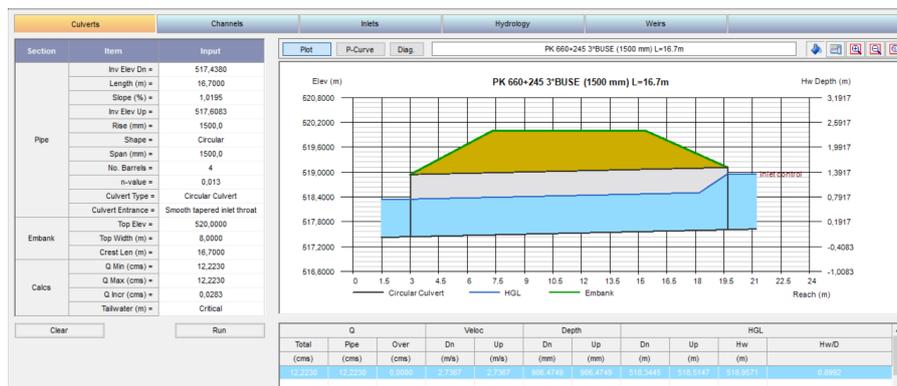


FIGURE 4.23 – Schéma illustratif d'ouvrage réctifié du PK 660+245

## 4.10 Aménagement des extrémités des ouvrages

Les extrémités des ouvrages hydrauliques sont soumises à des sollicitations variées : pression et vitesse de l'eau pouvant endommager la structure, érosion et affouillement des talus, colmatage par les sédiments et difficulté d'évacuation en cas de concentration des dépôts. Pour garantir la pérennité et le bon fonctionnement de ces ouvrages, il est essentiel de traiter ces problématiques en assurant la stabilisation des berges, la maîtrise de l'énergie hydraulique, le piégeage des particules en suspension et la facilitation des opérations de maintenance.[32]

Les aménagements en tête d'entrée des ouvrages hydrauliques ferroviaires combinent plusieurs dispositifs pour assurer une transition en douceur entre le talus et la section d'eau tout en protégeant la structure. Un mur vertical « para-fouille » associé à des gradins bétonnés sur la face aval dissipe l'énergie de l'eau incidente et prévient le sous-creusement. Un profil arrondi sur le linteau de la buse limite les turbulences et l'accumulation de débris, améliorant ainsi l'efficacité d'aspiration. Dans les zones où la vitesse d'approche est faible, un bec de prise d'eau saillant accroît la captation et réduit le risque de colmatage par sédimentation. Enfin, sur les pentes très prononcées ou en cas de déblai, la tête amont peut être remplacée par un puisard d'admission à fond incliné, conçu pour piéger les sables et limons transportés par l'écoulement.[32]

Du côté de la sortie, plusieurs protections combinées garantissent la stabilité de l'ouvrage et du talus adjacent. Un radier débordant prolongé en amont, protégé par un enrochement ou des gabions, empêche l'érosion du pied de l'ouvrage. Lorsque la pente entre la sortie et le lit naturel

est marquée, une succession de marches ou un bassin dissipateur ralentit l'écoulement avant restitution dans le cours d'eau. Enfin, des wingwalls maçonnés encadrent le jet, guidant l'eau et protégeant les talus latéraux contre l'affouillement.[32]

# Chapitre 5

## Drainage longitudinale de la plateforme

### 5.1 Introduction

Lors de la réalisation des ouvrages routiers, l'un des problèmes techniques le plus important auquel doit faire attention. Il s'agit essentiellement de la collecte et l'évacuation de ces eaux sur l'emprise de la route, vers les petits ouvrages de franchissements (buses, dalots, ...). Seulement, il est recommandé d'assurer une surveillance et un entretien permanent de ces ouvrages d'évacuation des eaux, afin de les maintenir en bon état. Où ces réseaux de collecte d'eau longitudinaux sont essentiels pour gérer ces eaux. Ils se composent de caniveaux ou de conduites installés parallèlement aux voies comme les caniveaux, les fossés, les bordures et de bourrelets. Ils comprennent également des dispositifs de concentration des eaux, tels que des avaloirs, des regards, des raccordements et des conduits d'eau, qui recueillent et dirigent l'eau vers des points de traitement ou d'évacuation. Leur conception vise à assurer un écoulement rapide afin d'éviter les inondations et les débordements [16]

### 5.2 Réseaux de collecte longitudinaux

#### 5.2.1 Réseaux de crête de talus de déblais

Le rôle de l'assainissement d'un tel type d'ouvrage se limite à un rôle de prévention et d'entretien contre l'érosion (lente, mais certaine) des talus pour maintenir pendant longtemps leur stabilité, mais aussi contre l'infiltration dans le talus. Ce réseau dit réseau de crête de talus en déblai, est un réseau longitudinal constitué de façon générale de fossés profond, doit être placé à 1 ou 2 m de la crête du talus avec un espace nécessaire pour ses entretiens. [16]

#### Réseau de pied de talus de déblais

C'est un réseau longitudinal constitué de fossés peu profonds appelés fossés plats comme par exemple des cunettes aux formes douces pour améliorer la sécurité ou des caniveaux profonds revêtue, chargés de récupérer les eaux issues de la plate-forme de la voie, du talus et de l'accotement. Les eaux récupérées par ce réseau sont rejetées dans un collecteur revêtu. [16]

Des regards et avaloirs associés sont des ouvrages de concentration qui assurent la transmission des eaux recueillies par les ouvrages de collecte vers les dispositifs d'évacuation situés hors de la plateforme. [16]

Si les eaux de ruissellement sont collectées à différents niveaux sur le talus en crête sur les risbermes, il faudra prévoir des ouvrages de raccordements tels que les raccordements de descente d'eau à cunette ou encore de descente d'eau à collecteur. [16]

### Réseau du terre-plein central

C'est un réseau qui a pour rôle de protéger toute la plate-forme, surtout lorsque le terre-plein central n'est pas revêtu. En alignement droit le ruissellement sera canalisé par un ouvrage superficiel de transport longitudinal (revêtu ou pas) de type fossé plat ou caniveau préfabriqué. Ce dispositif de surface sera complété par la mise en place d'un drainage principal (décaler par rapport à l'axe du terreplein central (pour tenir compte de la présence de zones plantées et de glissières) pour protéger le corps de plate-forme de la voie de la migration des eaux au travers du TPC vers les structures de plate-forme de la voie et sol support. En déblai, pour une plate-forme assez large, il faudra prévoir une tranchée drainante profonde devrait permettre de contribuer au rabattement d'éventuelle nappe. [16]

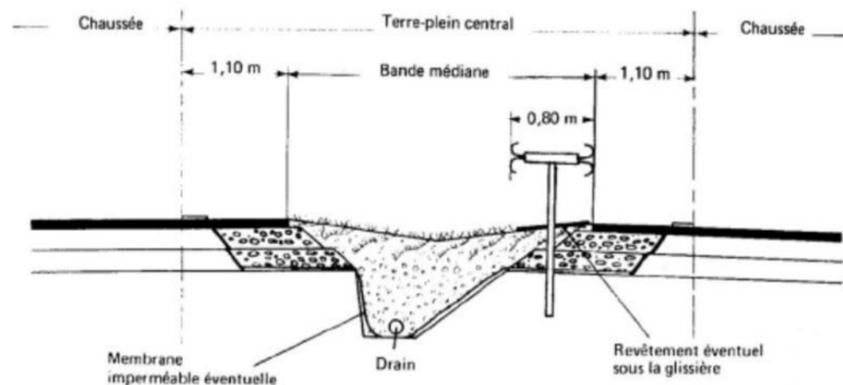


FIGURE 5.1 – Réseau de terre-plein central n'est pas revêtu avec un drain

Lorsque le terre-plein central est revêtu, un caniveau situé dans la partie basse du terre-plein central va permettre de drainer les eaux de la plate-forme de la voie et de la plate-forme gravitairement vers les rives extérieures de la plate-forme de la voie.[16]

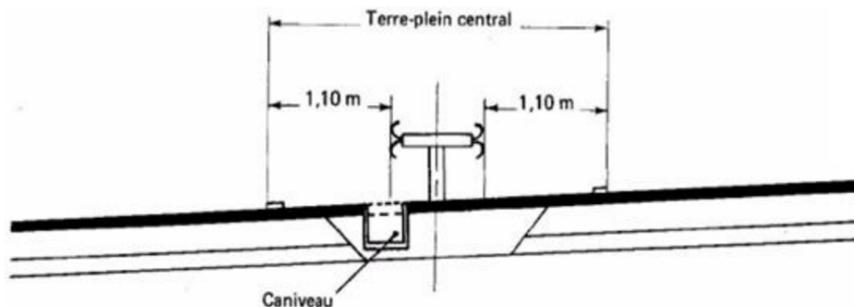


FIGURE 5.2 – Réseau de terre-plein central revêtu

### Réseau de crête de talus de remblais

Un réseau également longitudinal, pour empêcher les eaux de se ruisseler directement sur le talus, le but étant de les diriger (grâce à un raccordement aux descentes d'eau) vers des emplacements aménagés en conséquence, c'est-à-dire les descentes d'eau qui sont placées en moyenne tous les 30 m pour les régions de forte intensité de pluie, et de 50 m pour les régions de faible intensité de pluie. Si la zone est caractérisée par les averses de fortes intensités, ce réseau de descente est nécessaire dès que les talus dépassent 2 m, et pour les pluies moins intenses il est nécessaire pour les talus qui dépassent 4 m.[16]

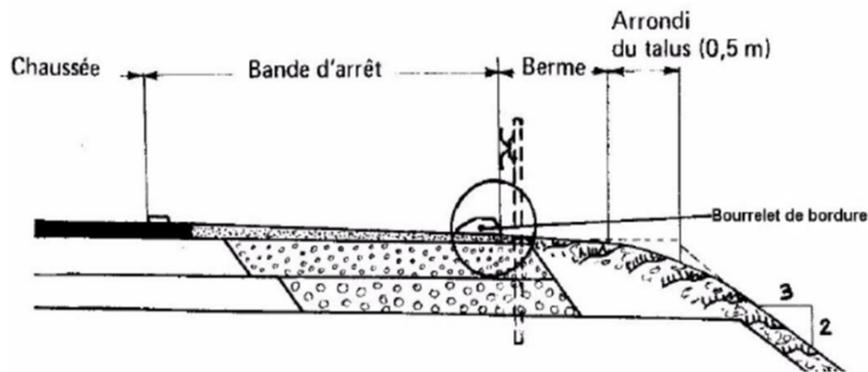


FIGURE 5.3 – réseau de crête de talus remblai

### Le réseau de pied de talus de remblais

C'est un réseau qui permet de récupérer les eaux interceptées par le réseau de crête de talus de remblai et collectées par les descentes d'eau, ce réseau disposé au moins de 1 à 2 m du pied de talus. L'ouvrage de pied de talus de remblai est généralement un fossé trapézoïdal ou triangulaire enherbé à forte capacité hydraulique, ou un fossé revêtu lorsque des risques d'érosion sont à craindre (la pente critique est souvent de l'ordre de 3,5 ‰).[16]

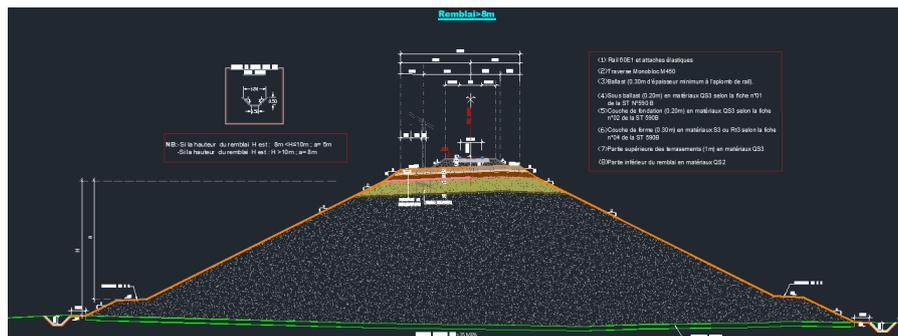


FIGURE 5.4 – Fossé revêtu en béton au pied de talus en déblai [16]



FIGURE 5.5 – Différents réseaux d’assainissement longitudinaux [16]

## La descente d’eau

Une descente d’eau est un ouvrage préfabriqué mis en place à la surface d’un talus ou enterrée. Les descentes d’eau de surface sont constituées d’éléments emboîtés (tuiles) ou d’éléments en arc de cercle (tôle ondulée galvanisée).

En plus de la partie descendante, elles comprennent un ouvrage de tête (entonnement) et un ouvrage de raccordement avec l’ouvrage inférieur (généralement fossé). Cet ouvrage sert, en outre, de butoir et de calage pour les descentes d’eau.

Les descentes d’eau enterrées sont constituées d’une canalisation avec un avaloir à la partie supérieure et un ouvrage de raccordement à la partie inférieure. Un regard intermédiaire permet d’assurer la jonction entre la canalisation et l’ouvrage de raccordement.

Les descentes d’eau permettent de canaliser les eaux provenant d’un niveau haut vers un ouvrage situé en bas.[16]

Les ouvrages utilisés sont des caniveaux préfabriqués pour les débits faibles, et des ouvrages coulés sur place pour les débits plus importants. On distingue les descentes d’eau suivant :

- **Descentes d’eau de talus de remblais** : Ce sont les plus fréquentes. Elles permettent à l’eau collectée en bord de la plate-forme de la voie de rejoindre un fossé ou un autre ouvrage situé en contrebas du remblai.[16]
- **Descentes d’eau de talus de déblais** : Elles permettent aux eaux collectées en haut des talus de déblais de s’écouler vers les ouvrages d’assainissement qui bordent la route.[16]

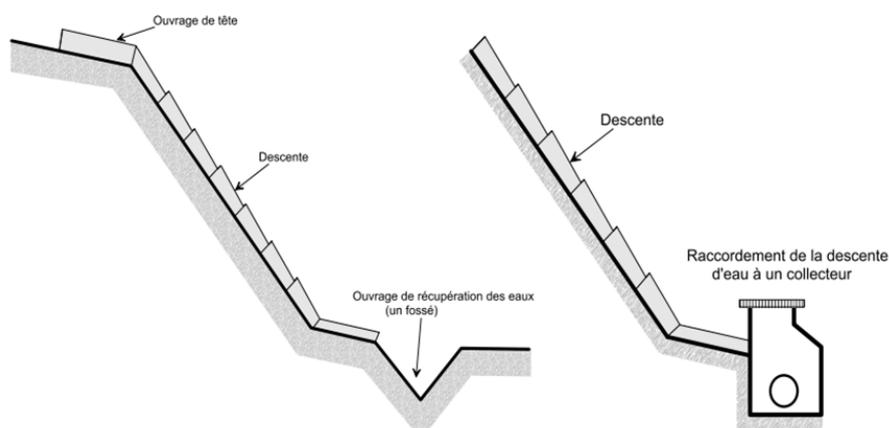


FIGURE 5.6 – descente d’eau de surface [16]

### 5.3 Types et formes des fossés existants

Un fossé est creusé parallèlement à la route pour faciliter l'écoulement des eaux superficielles. Les fossés ont un rôle principal, de recueillir les eaux de ruissellement de la surface de plateforme de la voie et les évacuer pour qu'elles ne nuisent pas à la plate-forme de la voie, la voie ferrée et autres ouvrages (remblais, talus de déblais,). Le fossé doit conserver son gabarit et ne pas présenter de points bas qui entraîneraient des stagnations d'eau. Les fossés ont souvent aussi un rôle important d'interception des eaux de l'environnement extérieur à la route. [16]

On distingue en général deux types de fossés selon son emplacement :

- Les fossés extérieurs destinés à collecter principalement les eaux provenant du bassin versant extérieur ;
- Les fossés latéraux situés dans les deux rives de la route, ou dans un seul côté de la route sont destinés à collecter principalement les eaux de la plate-forme routière et des zones du talus, bande d'arrêt ...

Les fossés peuvent être de forme :

**Fossés triangulaires :** confectionnés par exemple à une niveleuse. C'est le plus communément rencontré. Les pentes des talus sont en général 1/2 et 2/1 ou bien 2/3 et 3/2 . [16]

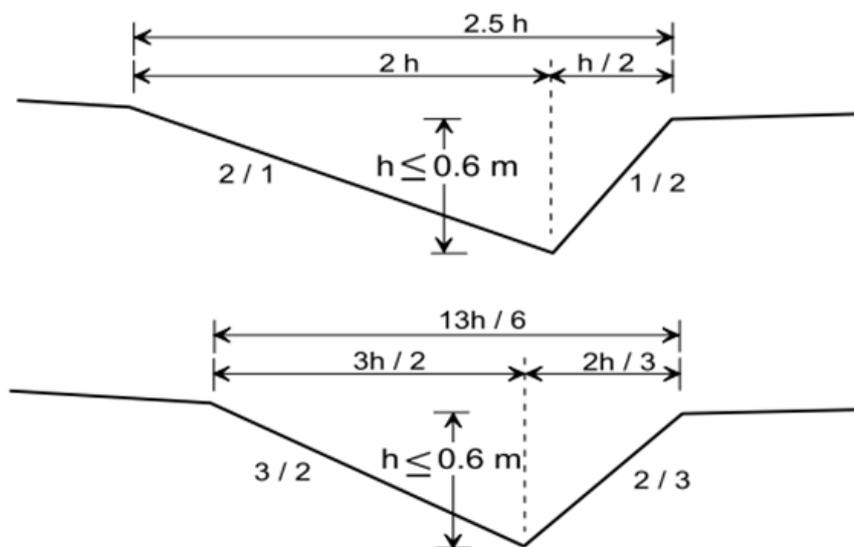


FIGURE 5.7 – Fossés de forme triangulaire[12]

#### Fossés rectangulaires

Les fossés rectangulaires sont des ouvrages creusés en forme de canal à section rectangulaire, utilisés principalement pour recueillir et évacuer les eaux de ruissellement le long des routes ou dans les zones agricoles. Leur forme permet une bonne capacité d'écoulement et facilite l'entretien comparé aux fossés aux formes plus irrégulières. [54]

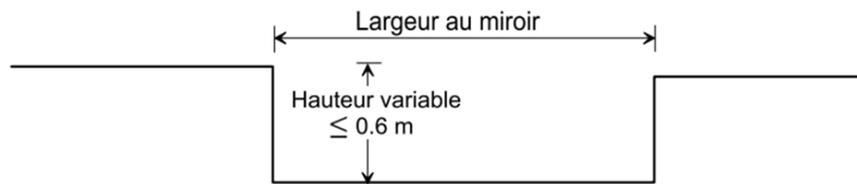


FIGURE 5.8 – Fosses de forme rectangulaire [12]

### Les fossés trapézoïdaux

Les fossés trapézoïdaux sont des canaux à ciel ouvert, souvent en béton, utilisés pour recueillir et évacuer les eaux de ruissellement le long des routes, voies ferrées ou terrains agricoles. Leur forme trapézoïdale offre une bonne capacité d'écoulement tout en limitant le ravinement lors de fortes pluies, ce qui réduit l'entretien comparé aux fossés en terre. Ces fossés sont confectionnés par exemple par la niveleuse ou par la pelle mécanique en terrain rocheux. Les pentes de talus peuvent être 1/2, 1/1, 2/1 ou 3/2 suivant la stabilité des talus, voire plus raide en terrain rocheux.[16]

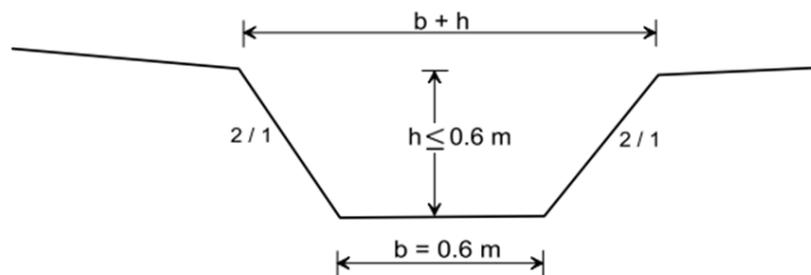


FIGURE 5.9 – Fosses de forme trapézoïdale [12]

### Les fossés Circulaires (ou cunettes)

Les fossés circulaires sont des canaux de drainage à section circulaire, conçus pour recueillir et évacuer de façon concentrée les eaux de ruissellement tout en limitant les zones de stagnation et les risques d'érosion des berges. Ils sont confectionnés par exemple par la niveleuse, avec une hauteur généralement  $< 0.6$  m et des longueurs variables, elles sont parfois revêtues en béton/béton armé, en pierre, et parfois elles sont en terre. [16]

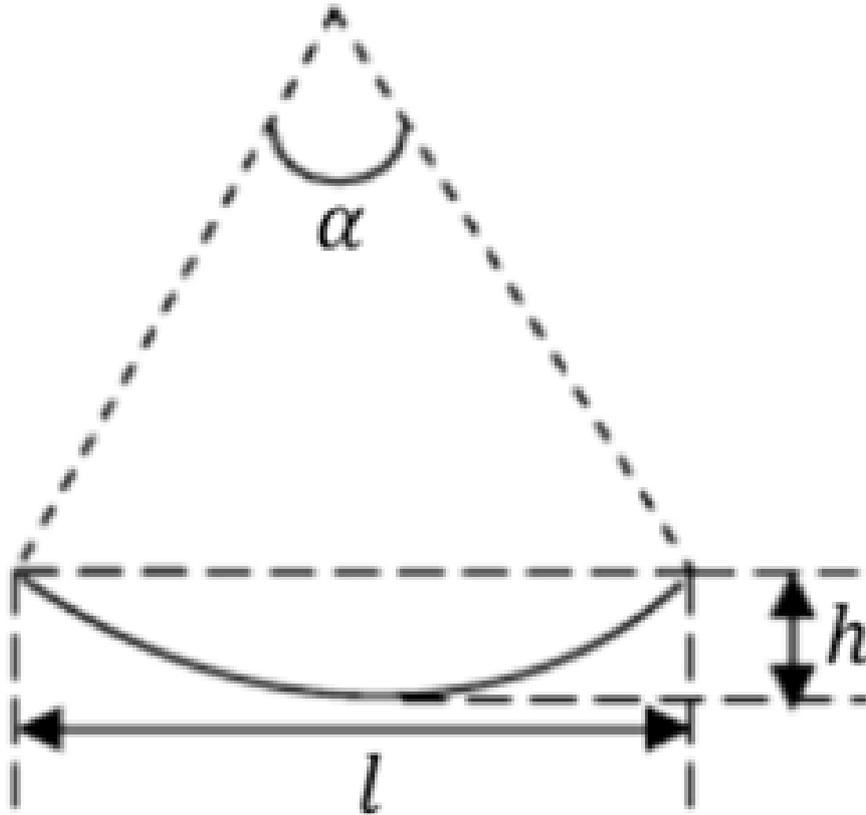


FIGURE 5.10 – Fosses de forme cunettes [12]

**Remarque :** Les dimensions peuvent être très variables, notamment pour les fossés extérieurs qui peuvent être amenés à véhiculer des débits importants, mais généralement les profondeurs sont comprises entre 0,5 m  $h$  1,0 m. Pour les fossés latéraux (intérieurs), on ne dépasse pas en général une profondeur de 0,6 m

## 5.4 Les avaloirs

Un avaloir est un ouvrage qui reçoit l'eau d'un caniveau, et permet à l'eau de descendre dans un ouvrage situé à un niveau inférieur, généralement enterré (collecteur, buse de traversée, ...). Le rôle principal des avaloirs est de capter toute l'eau superficielle d'écoulement, descendre l'eau à un niveau inférieur, arrêter les déchets solides emportés par l'eau, faire décanter les particules fines en bas de l'avaloir.[16]

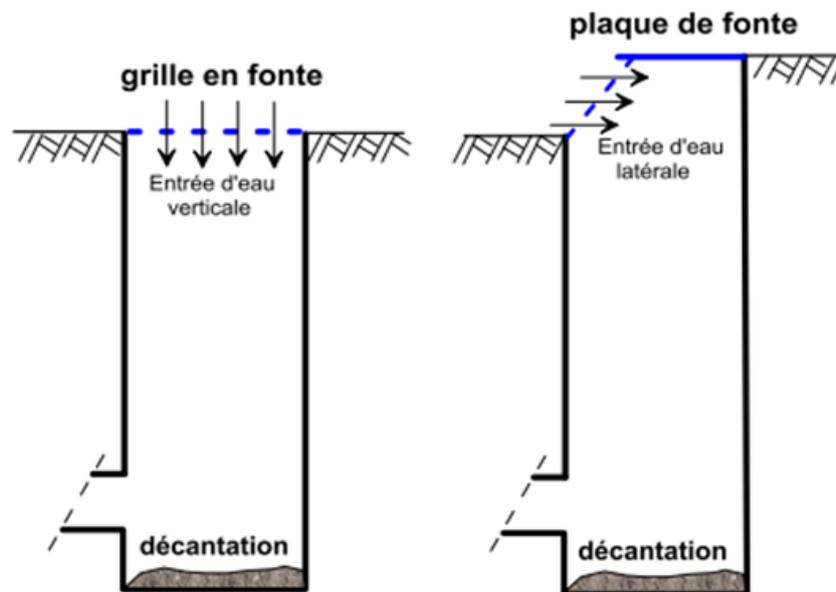


FIGURE 5.11 – a) Avaloir sous la plate-forme de la voie b) avoir sous trottoir [16]



FIGURE 5.12 – : a) Avaloir a entrée verticale b) avoir à entrée latérale [16]

## 5.5 Les données essentielles pour le calcul des ouvrages d'assainissement

La pluviométrie de la zone de projet et l'une des données les plus importantes pour le dimensionnement des ouvrages et différents réseaux de drainage, en plus de ces données la topographie est essentielle et devrait permettre d'identifier les exutoires. Le tracé combiné et le profil en long de la route est la pièce fondamentale sur laquelle est basé le dimensionnement des réseaux d'assainissement de la route.[47]

## 5.6 Calcul hydraulique des ouvrages

### 5.6.1 Calcul des débits à évacuer :

On détermine d'abord les débits moyens et de pointe à partir des caractéristiques du bassin versant, de la pluviométrie, du nombre d'usagers et des coefficients de ruissellement. **Coefficient de ruissellement** : Le coefficient de ruissellement dépend principalement de la nature des terrains, de la pente du bassin, de l'intensité de la pluie, et des conditions atmosphériques antérieures ; il varie au cours de la pluie.

Dans notre cas d'étude on prend les valeurs suivantes de coefficient de ruissellement de chaque partie.

- C = 1 pour les plate-formes de la voie et parties revêtues (imperméable) ;
- C = 0,8 pour accotement en grave stabilisé traitée ;
- C = 0,5 pour accotement en grave stabilisé non traitée ;
- C = 0,7 pour la terre végétale engazonnée recevant l'eau de la plate-forme de la voie ;
- C = 0,3 pour la terre végétale ne recevant pas l'eau de la plate-forme de la voie et pour les talus hors région méditerranéenne.
- C = 0,5 pour la terre végétale ne recevant pas l'eau de la plate-forme de la voie et les talus en région méditerranéenne fréquence de I.

Pour notre projet on prend C = 0.9 pour la plateforme de la voie et C= 0.7 pour les talus (remblais et déblais) en appliquant la relation suivante [32] :

$$C = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} \quad (\text{V.1})$$

Avec :

- $A_i$  : les aires respectivement, des aires des éléments correspondantes aux coefficients  $C_i$ .

#### 1. Choix des sections et des pentes :

En connaissant les débits et la pente des ouvrages, on choisit la section hydraulique adaptée à l'aide de formules d'écoulement, comme la formule de Chezy ou celle de Manning-Strickler, qui intègrent la rugosité des matériaux et la géométrie de la section.

#### 2. Vérification de la vitesse d'écoulement :

La vitesse calculée doit rester dans des limites pour éviter l'érosion (vitesse trop élevée) ou la sédimentation (vitesse trop faible), assurant ainsi un auto-curage du réseau.

En fonction de la nature de l'ouvrage, la vitesse d'écoulement croît avec la hauteur d'eau dans le fossé, au-delà d'une certaine hauteur la vitesse d'eau dépasse la limite supportable par un sol sans érosion, dans ces conditions l'ouvrage commence par se dégrader il y'a donc lieu d'imposer une vitesse limite à ne pas dépasser ; on prend pour les fossés en béton  $v = 3.5 \text{ m/s}$ .

Si la vitesse maximale dépasse le seuil de 3.5 m/s donc y'aura pas de solution spéciale pour protéger nos ouvrages contre les dégradations.

Le débit maximal admissible doit être évalué en premier temps avant toute autre démarche, sa valeur est donnée par :  $Q_{\text{cmax}} = V_{\text{max}} * S$  ; S étant la section mouillée de l'ouvrage à dimensionner, cette première indication guide le choix de l'ouvrage.

Dès lors que cette condition est respectée et que l'ouvrage est choisi, il s'agit de le dimensionner, c'est-à-dire trouver la longueur sur laquelle s'étendra.

Le débit ruisselé calculé par la formule rationnelle dépend de la longueur L et de l'intensité I et de la surface de la plateforme A cette dernière est la somme de la surface de la

partie revêtue de la plate-forme de la voie ainsi que celle des talus que ce soit en déblais ou en remblais.

Le dimensionnement consiste à calculer ce qui va être appelé la longueur de saturation de l'ouvrage, c'est-à-dire la longueur de la plateforme pour laquelle le débit ruisselé va équivaloir au débit capable.

Lorsque l'intensité de pluie est déterminée pour le temps d'équilibre  $T_e$  ou  $T_c$  calculé par la formule de KIRPICH alors :

- Si  $Q(L) < Q_c$  : l'ouvrage choisi convient bien au débit ruisselé.
- Si  $Q(L) > Q_c$  : la longueur d'équilibre est inférieure à la longueur  $L$  du réseau il est alors saturé on lui associe alors un ouvrage plus performant en modifiant les dimensions de l'ouvrage courant ou tout simplement on recommence le calcul avec un autre type d'ouvrage. [47]

### 3. Dimensionnement des éléments complémentaires :

On détermine également les diamètres des canalisations, la profondeur d'enfouissement, ainsi que les caractéristiques des regards, branchements et autres ouvrages associés, en respectant les normes et contraintes techniques.[55]

## 5.6.2 Calculs hydrauliques des fossés :

Les fossés plats ou encore fossés peu profonds sont les fossés les plus utilisés en pieds de talus de déblais et remblais.

Pour notre projet, le cas le plus défavorable est de pk 649+856 jusqu'à pk 650+874 donc on va calculer le débit max de ce cas-là :

On choisit donc un fossé en béton de forme trapézoïdale ( $0,5 \times 0,5$  m), et maintenant, on

TABLE 5.1 – Résultats de dimensionnement pour le cas le plus défavorable

Rive	PK (Point Kilométrique)	Type de surface	S ( $\text{km}^2$ )	C	$T_c$ (min)	I (mm/h)	Q10 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Rive droite	du 649+856,5 au 650+874	Talus	0,00330	0,83	84,60	32,03	0,257
		Plateforme	0,00636				
Rive gauche	du 649+856,5 au 650+874	Talus	0,00357	0,84	76,28	34,94	0,340
		Plateforme	0,00803				

calcule le débit admissible pour ce fossé en utilisant la formule de Manning. La profondeur du fossé pieds de talus en déblais est de 0.5 m.

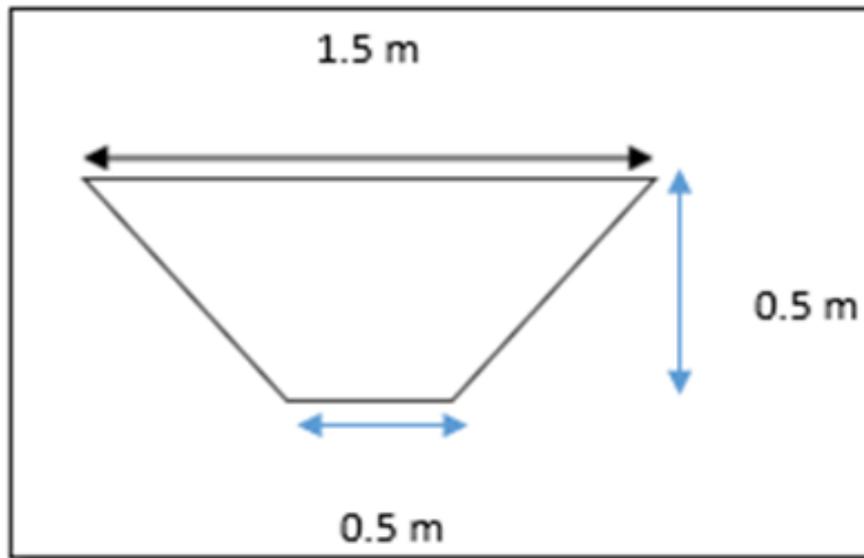


FIGURE 5.13 – Fossé en pieds de talus de remblais ou déblai.

### 5.6.3 Calcul du débit capable de l'ouvrage (fossé en pieds de déblai ou remblai) :

Pour trouver le débit capable on utilise la formule Manning-Strikler :

$$Q = \frac{1}{n} \cdot S \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (\text{V.2})$$

$Q$  : débit du drain en  $\text{m}^3/\text{s}$

$n$  : rugosité pour le béton lisse  $n=0,013$

$R_h$  : est le rayon hydraulique (m)

$i$  : est la pente hydraulique (%) on prend une valeur de 0,1%

AN :

$$Q = \frac{1}{0,013} \cdot (0,36) \cdot (0,221)^{2/3} \cdot (0,001)^{1/2} = 0,32 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{V.3})$$

**Note :** Le débit capable maximal du fossé,  $Q_c \text{ max}=0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspond à la capacité hydraulique utile du fossé. Cela signifie que ce fossé est dimensionné pour évacuer l'ensemble des débits maximaux prévus dans le cadre de notre projet. **Implantations des fossés des pieds de talus du PK 649+856 au PK 650+874 :**

L'implantation des fossés à gauche ou à droite du tracé de la route se fait suivant la topographie du terrain en aval, si cette dernière est plate il est nécessaire d'implanter un fossé aux pieds de talus pour éviter la stagnation des eaux et si le terrain en aval présente une pente dans ce cas l'implantation d'un fossé est inutile.



TABLE 5.3 – Les résultats de calculs des débits longitudinaux (rive gauche)

Pk départ	Pk fin	L (m)	S tot (ha)	Dénivelé (m)	Pente (%)	Tc (Kirpich) (min)	C	I (mm/h)	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
642+600	642+790	190	0.183	0.328	0.173	12.261	0.840	162.224	0.69	0.249
643+720	643+924	210	0.211	0.449	0.214	12.209	0.849	162.801	0.81	0.292
644+757	644+809	65	0.051	0.734	1.129	2.630	0.870	591.262	0.74	0.265
645+330	645+411	81	0.092	0.106	0.131	7.065	0.869	257.754	0.57	0.205
647+435	647+972	565	0.489	0.519	0.092	36.065	0.855	65.543	0.76	0.274
648+475	648+780	305	0.231	0.471	0.154	18.416	0.869	115.271	0.64	0.231
648+965	649+017	181	0.135	0.374	0.207	11.032	0.871	177.283	0.58	0.209
649+060	649+189	129	0.131	0.133	0.103	11.069	0.874	176.778	0.56	0.203
649+437	649+650	213	0.184	0.088	0.041	23.053	0.864	95.453	0.42	0.152
649+856,5	650+874	1077.5	1.160	0.510	0.047	76.278	0.838	34.935	0.94	0.340
651+105	651+338,5	270	0.216	0.426	0.158	16.630	0.868	125.584	0.65	0.236
651+484	651+625	141	0.112	0.507	0.360	7.374	0.873	248.666	0.67	0.242
652+550	652+720	170	0.137	0.010	0.006	40.646	0.868	59.280	0.20	0.070
652+789	653+014	225	0.178	0.423	0.188	13.521	0.870	149.432	0.64	0.232
653+037	653+139	102	0.077	0.175	0.172	7.613	0.875	242.100	0.45	0.164
653+710	653+760	50	0.039	0.070	0.140	4.750	0.876	359.811	0.34	0.121
653+893	654+030	137	0.104	0.445	0.325	7.496	0.875	245.250	0.62	0.223
654+244	654+320	76	0.057	0.162	0.213	5.589	0.876	313.860	0.44	0.158
655+538	655+600	62	0.046	0.295	0.476	3.521	0.874	462.638	0.52	0.187
659+635	659+880	245	0.191	0.398	0.162	15.261	0.873	134.981	0.62	0.225
660+000	660+072	72	0.066	0.197	0.274	4.876	0.875	351.994	0.56	0.203

Avec :

- **PK départ** : Le point kilométrique de départ qui représente par un point haut
- **PK fin** : Le point kilométrique d'arrivée qui représenté par un point bas
- **Dénivelé** : La différence de côte en valeur absolue entre le point de départ et le point d'arrivée en m
- **L** : La longueur du fossé en m
- **S tot** : La surface à drainée (plateforme + Talus) en ha
- **I** : L'intensité de pluie estimée par la formule de Montana en mm/h
- **Q** : Le débit de projet de chaque surface en m<sup>3</sup>/s
- **Tc** : Le temps de concentration de la surface drainée en min

#### 5.6.4 Vérification des paramètres hydrauliques des fossés :

Dans cette partie nous procéderons à la vérification des paramètres hydrauliques des fossés, notamment la vitesse d'écoulement, la hauteur utile, la surface mouillée, le périmètre mouillé ainsi que la pente.... etc.

On a utilisé aussi le logiciel CIVIL 3D comme la partie de la vérification des ouvrages hydrauliques

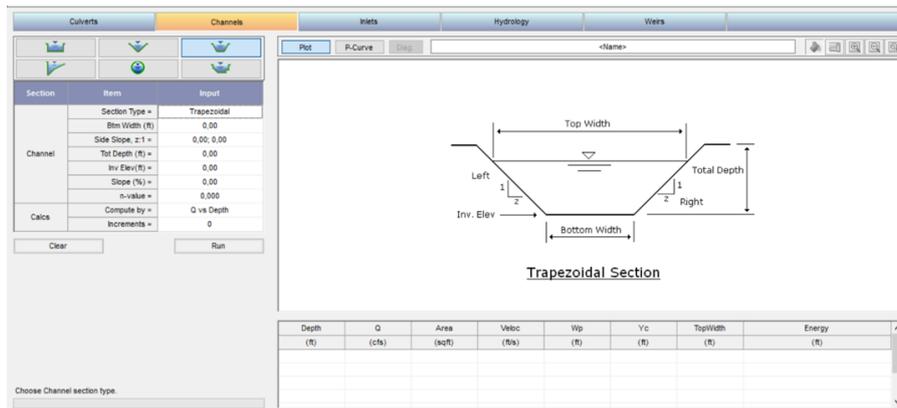


FIGURE 5.15 – Interface de modélisation d'un fossé sur hydraflow.

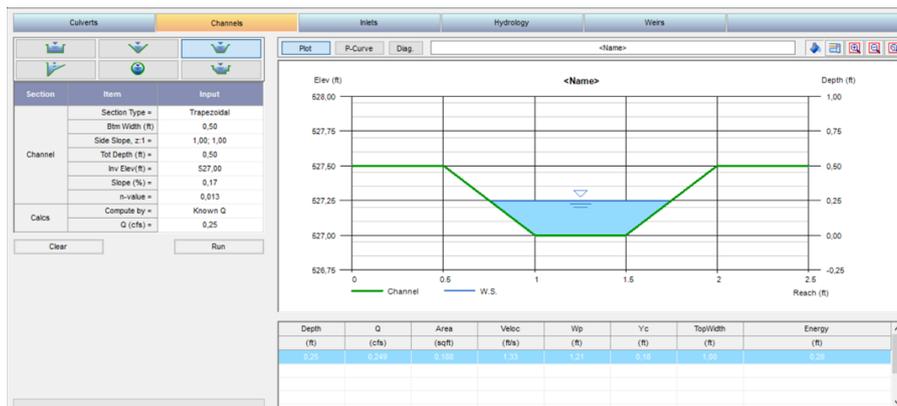


FIGURE 5.16 – Exemple de calcul hydraulique d'un fossé (rive gauche) du PK 642+600 à PK 642+790 .

TABLE 5.4 – Résultats de vérification des fossés

Rive	PK départ	PK fin	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	b (m)	h (m)	h <sub>u</sub> (m)	S <sub>u</sub> (m <sup>2</sup> )	P <sub>u</sub> (m)	R (m)	Pente (%)	V (m/s)	Type de fosse
Droite	642+594	642+785	0.151	0.5	0.5	0.27	0.203	1.250	0.162	0.11	0.74	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	643+725	643+918,5	0.242			0.23	0.169	1.155	0.146	0.45	1.42	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	644+766,5	644+800	0.242			0.14	0.100	0.900	0.111	2.52	2.62	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	645+340	645+381,5	0.202			0.16	0.109	0.965	0.113	0.26	1.85	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	647+441,5	647+967,5	0.154			0.26	0.194	1.220	0.159	0.13	0.80	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	648+490	648+684	0.248			0.25	0.187	1.210	0.155	0.36	1.32	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	648+956	649+017	0.181			0.24	0.181	1.190	0.152	0.21	0.99	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	649+060	649+179	0.152			0.26	0.203	1.250	0.162	0.11	0.75	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	649+437	649+612	0.177			0.28	0.225	1.310	0.172	0.11	0.79	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	649+856,5	650+864	0.257			0.45	0.430	1.790	0.240	0.04	0.59	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	651+115,5	651+338,5	0.180			0.27	0.206	1.260	0.163	0.15	0.87	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	651+489	651+598	0.214			0.19	0.130	1.030	0.126	0.73	1.64	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	652+563	652+719	0.100			0.33	0.276	1.440	0.192	0.02	0.36	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	652+794	653+020	0.165			0.27	0.203	1.250	0.162	0.13	0.81	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	653+030	653+130	0.134			0.22	0.155	1.112	0.139	0.18	0.86	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	653+914	653+967,5	0.071			0.21	0.147	1.086	0.135	0.06	0.48	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	654+263	654+305,5	0.105			0.15	0.099	0.930	0.106	0.38	1.06	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	655+549	655+566	0.104			0.15	0.099	0.931	0.106	0.37	1.05	Fosse de pied de talus de déblai
Droite	659+661	659+817,5	0.135			0.24	0.181	1.189	0.152	0.12	0.74	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	643+720	643+924	0.292			0.32	0.259	1.400	0.185	0.21	1.13	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	644+757	644+809	0.265			0.19	0.130	1.035	0.126	1.13	2.04	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	645+330	645+411	0.205			0.30	0.239	1.345	0.178	0.13	0.86	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	647+435	647+972	0.274			0.38	0.336	1.577	0.213	0.09	0.82	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	648+475	648+780	0.231			0.30	0.245	1.360	0.180	0.15	0.94	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	648+965	649+017	0.209			0.27	0.203	1.250	0.162	0.21	1.03	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	649+060	649+189	0.203			0.32	0.259	1.396	0.186	0.10	0.78	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	649+437	649+650	0.152			0.35	0.294	1.480	0.199	0.04	0.52	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	649+856,5	650+874	0.340			0.49	0.490	1.900	0.258	0.05	0.69	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	651+105	651+338,5	0.236			0.30	0.242	1.350	0.179	0.16	0.98	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	651+484	651+625	0.242			0.25	0.184	1.198	0.154	0.36	1.31	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	652+550	652+720	0.070			0.33	0.276	1.439	0.192	0.01	0.25	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	652+789	653+014	0.232			0.29	0.225	1.310	0.172	0.19	1.03	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	653+037	653+139	0.164			0.24	0.181	1.189	0.152	0.17	0.90	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	653+710	653+760	0.121			0.22	0.158	1.120	0.141	0.14	0.77	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	653+893	654+030	0.223			0.24	0.181	1.189	0.152	0.32	1.23	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	654+244	654+320	0.158			0.23	0.164	1.138	0.144	0.21	0.97	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	655+538	655+600	0.187			0.20	0.138	1.060	0.130	0.48	1.35	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	659+635	659+880	0.225			0.30	0.235	1.336	0.176	0.16	0.96	Fosse de pied de talus de déblai
Gauche	660+000	660+072	0.203			0.24	0.181	1.189	0.152	0.27	1.13	Fosse de pied de talus de déblai

# Conclusion générale

Les lignes ferroviaires constituent des infrastructures de transport essentielles au développement économique, social et territorial en Algérie. Le désenclavement des régions isolées et le transport des ressources naturelles. En Algérie, l'extension du réseau vers les zones sahariennes, comme la liaison Béchar – Oum El Assel, constitue un axe stratégique majeur. Dans ce domaine, où les enjeux de sécurité, de longévité et de rentabilité sont majeurs, la qualité de l'analyse hydrologique et hydraulique est importante.

A cet égard, ce projet s'est porté sur l'étude hydrologique et hydraulique sur le tronçon ferroviaire situé entre les points kilométriques PK 639+000 et PK 669+050, dans la wilaya de Tindouf.

Dans un premier temps, l'étude bibliographique de drainage a montré que c'est un système complexe présents dans différentes parties des infrastructures de transport. C'un élément fondamental dans la conception de ces lignes ferroviaires. Il permet d'assurer l'évacuation efficace des eaux de ruissellement, de limiter l'érosion des talus, de prévenir l'affouillement des ouvrages et de garantir la stabilité de la plateforme. Une mauvaise gestion des eaux peut entraîner des dégradations importantes de la voie, voire compromettre la sécurité de l'exploitation ferroviaire. Par la suite, Une reconnaissance de terrain a permis de délimiter et connaître notre zone d'étude. Après, une étude climatologique a montré que notre zone d'étude a un climat désertique extrême se caractérise par des précipitations rares mais parfois très intenses, générant des crues soudaines et localisées.

Une étude hydrologique a révélé qu'on a 52 bassins versants dans la zone d'étude et qui a fait ressortir les différents débits de projet ou crue de projet à évacuer par chaque ouvrage bien positionné.

Ces données m'ont permis de faire une étude hydraulique qui a un but de dimensionner les ouvrages hydrauliques nécessaires (notamment les dalots, buses et fossés) de pouvoir évacuer les débits en périodes de crues exceptionnelles, en tenant compte des spécificités du terrain.

Parallèlement au dimensionnement, une vérification des vitesses d'écoulement a été effectuée dans les ouvrages proposés, afin de s'assurer qu'elles restent dans des limites acceptables. Une partie essentielle de cette étude a également concerné les fossés de drainage, La mise en place de ces fossés le long du tracée de la voie ferrée a été pensée de manière à garantir un écoulement contrôlé vers les ouvrages de franchissement, tout en limitant l'érosion des talus.

À travers ces études, nous avons obtenu des résultats concrets qui ont été utilisés dans le but de garantir une évacuation des eaux optimale le long du tracée, la sécurité, la stabilité et la pérennité de la voie ferrée.

# Bibliographie

- [1] Directive Évacuation des eaux des installations ferroviaires.
- [2] BTPS Atlantique. Création du dalot de loulay, ligne 500000 de chartres à bordeaux, au km 449+137.
- [3] ENSTP. Étude de pont ferroviaire sur le tronçon oum el assel – tindouf sur 175 km du pk796+150 au pk796+500. Master’s thesis, École Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2024.
- [4] Anonyme. Rapport d’étude hydrologique hydraulique du pk 639+000 au pk 669+050, 2024.
- [5] Yacine Faouci. Rapport technique gcb. Technical report, 2024.
- [6] Abdelmalek Bermad. Les bassin versant (polycopie de cours), 2023.
- [7] Guy Bernadotte. *La méthode rationnelle généralisée : analyse de sensibilité et performance du modèle*. PhD thesis, École de technologie supérieure, 2006.
- [8] Belhadri Mazouri ep. Kouadri Habbaz. Hydraulique fluviale, 2021.
- [9] Abdelouaheb Toumi. Hydraulique à surface libre, 2016.
- [10] Marc Honnorat. *Assimilation de données lagrangiennes pour la simulation numérique en hydraulique fluviale*. PhD thesis, Université Toulouse III, 2007.
- [11] Robert Lagacé. Les ponceaux et traverses agricoles : aspects hydrauliques et autres. Technical report, 2014.
- [12] BEMACO. Buse en béton – tuyau béton à joint intégré, 2025.
- [13] V. Nguyen. *Hydraulique routier*. Eyrolles, 1981.
- [14] Anonyme. Dimensionnement et ferrailage des éléments d’un dalot en béton armé à deux ouvertures à l’aide du logiciel autodesk robot structural analysis.
- [15] Jean-Pierre et Muteb Joseph Kalombo, Mweze et Kabanda. Utilisation du système d’information géographique et modèle numérique de terrain dans l’analyse des caractéristiques hydro-morphométriques des sous-bassins versants de la rivière tshopo. *La Houille Blanche*, 6, 2015.
- [16] Abdelkader Bouderbala. Polycoié de cours hydraulique, 2017.
- [17] RWB Group. The essential guide to rail drainage : Unveiling the crucial infrastructure behind safer and reliable train travel, 2024.
- [18] Techniques de l’Ingénieur. Voie ferrée : composants, construction et maintenance. Technical report, 2012.
- [19] Institut des Technologies de la Plasturgie. Guide drainage, 2020.
- [20] Institut des Technologies de la Plasturgie. Drainage – nos produits, 2025.
- [21] Conseil National Économique et Social (CNES). Le chemin de fer en algérie : Pour une dynamique nouvelle, 1978.
- [22] OZGUN İNŞAAT (Groupement ETRHB–Ozgun İnşaat). Réalisation de la liaison ferroviaire tizi ouzou – oued aïssi, 2025.

- 
- [23] Kheir Eddine Khaled Cherier. Étude d'un tronçon ferroviaire du pk 30 au pk 35 de la nouvelle ligne ferroviaire saïda-tiaret. Master's thesis, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2023.
- [24] Établissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF). Étude d'impact des risques liés au changement climatique sur l'exploitation ferroviaire. Technical report, 2024.
- [25] Établissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF). L'impact des aléas climatiques liés à l'eau, le vent et les masses solides sur l'infrastructure ferroviaire. Technical report, 2024.
- [26] RIP. Analyse des risques liés aux écoulements sur l'infrastructure ferroviaire. *La Houille Blanche*, 6, 2015.
- [27] Aquagir. Drainage : définition, questions et sources d'informations.
- [28] Yuanping et Zhang Peng et Jin Kan et Cui Jie et Du He Jiang, Jingyu et Cheng. Cbm drainage engineering challenges and the technology of mining protective coal seam in the dalong mine, tiefa basin, china. *Journal of Natural Gas Science et Engineering*, 24 :412–424, 2015.
- [29] IFSTTAR. Les sédiments de l'assainissement pluvial routier et urbain. Technical report.
- [30] MAPAQ. Le drainage de surface. Technical report, 2009.
- [31] Yuanping et Zhang Peng et Jin Kan et Cui Jie et Du He Jiang, Jingyu et Cheng. Cbm drainage engineering challenges and the technology of mining protective coal seam in the dalong mine, tiefa basin, china. *Journal of Natural Gas Science et Engineering*, 24, 2015.
- [32] David Gaillard. Assainissement routier. Technical report, 2006.
- [33] C. et al. Sheldon. Highway drainage design for sustainability. Technical report, 2017.
- [34] RWB Group UK. The essential guide to rail drainage, 2024.
- [35] Cour des Comptes. L'adaptation du réseau ferroviaire national au changement climatique. Technical report, 2024.
- [36] Imuntanya. Les défis des travaux dans des environnements ferroviaires, 2025.
- [37] Drenotube. Drainage pour les infrastructures ferroviaires. Technical report, 2024.
- [38] Université de Batna 2, Département de géotechnique. Introduction à l'hydrologie de surface, 2025.
- [39] R.D. et Redding Todd E. et Spittlehouse David L. et Carlyle-Moses Darryl E. et Smerdon Brian D. Winkler, Rita D. et Moore. *Hydrologic processes and watershed response*. BC Ministry of Forests, 2021.
- [40] GROBEC. Qu'est-ce qu'un bassin versant ? définition d'un bassin versant, 2025.
- [41] Sylvain Payraudeau. *Modélisation distribuée des flux sur des petits bassins versants méditerranéens*. PhD thesis, ENGREF (AgroParisTech), 2002.
- [42] David R. et Mays Larry W. Chow, Ven Te et Maidment. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 1988.
- [43] Robert E. Horton. Drainage-basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13 :350–361, 1932.
- [44] P. Dubreuil. Les caractères physiques et morphologiques des bassins versants. *Cahiers ORSTOM*, 1966.
- [45] Nicolas Stämpfli. Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du québec. Technical report, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2007.
- [46] J.P. Laborde. *Éléments d'hydrologie de surface*. 1999.
- [47] J.P. Laborde. Les bassins versant. In *Éléments d'hydrologie de surface*, page 9. 1999.
- [48] M. Bouamama, M. et Boucetta. Liaison autoroutière est-ouest batna, Études hydrologique et hydraulique. Technical report, ENP, 2023.
- [49] ESRI. Premiers pas avec arcgis – guide de démarrage, 2025.
-

- [50] Bureau d'études B02. Rapport d'étude hydrologique et hydraulique du pk 639+000 au pk 669+050. Technical report, 2024.
- [51] Ministère de la Transition écologique. Intensité-durée-fréquence / idf (hu), 2024.
- [52] Données Climatiques Canada. Courbes idf 101 – donnéesclimatiques.ca, 2025.
- [53] A. Delorme. Nouvelles considérations sur les débouchés des petits ouvrages sous routes. *Bulletin des Ponts et Chaussées*, 1959.
- [54] Nadia Mechrouk. Modèle d'aide à la programmation des travaux d'entretien des dispositifs de drainage. Master's thesis, École Nationale des Travaux Publics, 2003.
- [55] Bruno Kerloc'h. Le dimensionnement des réseaux d'assainissement des agglomérations. Technical report, 2014.
- [56] Anonyme. Mobilisation des eaux de surface : Commentaires généraux sur les barrages en algérie dans le passé, le présent et le futur, 2023.
- [57] Belkacem Belkhire. Dimensionnement de la station d'épuration de la ville de tindouf. Master's thesis, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2022.
- [58] GIFEX. Climat de l'algérie, 2025.
- [59] A. C. Biaou. Cours d'hydraulique routière, 2009.

# **Annexe Chapitre 3**

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

## وزارة النقل

### Ministère des Transports



الدائرة الجهوية "بشار"  
Département Régional  
"Béchar"

#### STATISTIQUES CLIMATOLOGIQUES :

- Des pluies maximales en 24 heures
- Les durées de retour de 2 ans, 5ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans.
- Calcul du Coefficient de Montana
- Les durées de pluies de 1h à 24.

Pour la station météorologique de TINDOUF:

Période : 1992-2022

#### ❖ COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DE LA STATION

	<u>Latitude</u>	<u>Longitude</u>	<u>Altitude</u>	<u>période</u>
TINDOUF	27° 42' N	08° 10' W	442,00 m	1992- 2022

Pour le compte de : « **SOCIETE ALGERIENNE DES ETUDES TECHNIQUES D'INFRASTRUCTURES** »  
Bon de commande n° : « **032/2023 du 04/04/2023** »

Etablie par : Mme F.KERTALI

Ingénieur d'état en statistiques

Vérifié par : Mme S.TEMMAR

Le Chef de Département de la Climatologie/Pi.

Validé par : Mr H.BÉNYAGOUB

Chef Département Météorologique Régional de Béchar P/i (D.M.R.B).

رئيس دائرة المقياس الوطني للأرصاد الجوية  
بشار  
بن بيشير

AVRIL 2023



Boulevard Colonel CHABOU-BECHAR  
TEL / FAX : 049 23 92 89  
Site web : www.meteo.dz

## Introduction :

L'analyse des valeurs extrêmes modélise le comportement des extrêmes en ajustant aux valeurs observées une distribution de probabilité qui lui coïncide. On associe aux distributions de valeurs extrêmes des hypothèses telles que la stationnarité et l'indépendance des valeurs.

Les trois distributions de valeurs extrêmes les plus connues sont les lois : de Gumbel, de Fréchet et de Weibull ; la loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV) combine ces trois lois sous une seule formulation qui se caractérise par un paramètre de forme.

Les données auxquelles on adapte notre modèle de distribution de valeurs extrêmes sont des valeurs maximales quotidiennes observées pendant une longue période,

Une période de retour correspond à la fréquence moyenne à laquelle on s'attend à ce qu'une valeur soit égalisée ou dépassée (une fois tous les vingt ans par exemple)

Les durées de retour de précipitations sont estimées au Centre Climatologique National au moyende la méthode GEV (loi généralisée des extrêmes) et de son cas particulier :la distribution de Gumbel, qui permet d'obtenir des ajustements de niveaux de retour à partir des maxima annuels.

Pour rappel, La fonction de répartition de la loi GEV est donnée par l'expression suivante :

$$\begin{aligned} \text{CDF}(x) &= \text{EXP} (-[1 + \text{Eta}*(x - \text{Mu})/\text{Sigma}]^{**} (-1/\text{Eta})), \text{Eta} \neq 0 \\ &= \text{EXP} (-\text{EXP} (-(x - \text{Mu})/\text{Sigma})), \text{Eta} = 0 \end{aligned}$$

**N.B :** Si Eta =0 alors la série s'ajuste à une loi Gumbel



La série des pluies maximales annuelles obtenue est ajustée par la loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV), l'estimation des paramètres (Mu, Sigma, Eta) de la loi de probabilité est réalisée par la méthode des moments ; les résultats sont présentés dans le tableau n° :2.

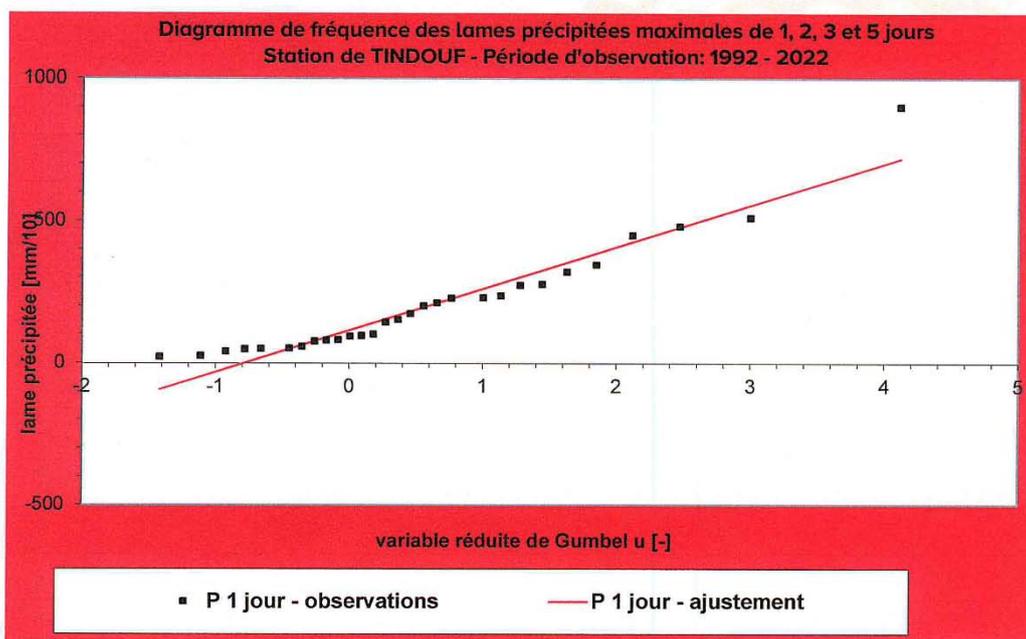
**Tableau N°2 :** Estimation des paramètres de la loi de probabilité des pluies maximales en 24 heures :

Paramètre de la loi	RR-24
<b>Mu</b>	11.5
<b>Segma</b>	14.7
<b>Eta</b>	0



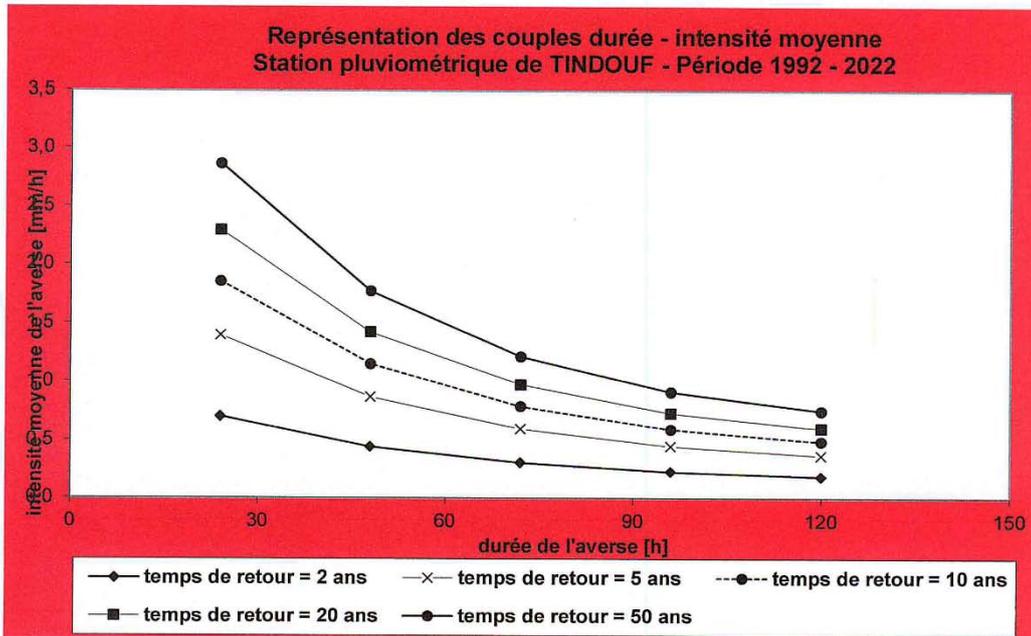
Etant donné la valeur du paramètre Eta est **égale à zéro** la série des pluies maximales annuelles semble être ajustée par la loi **Gumbel**

L'ajustement graphique des pluies maximales en 24h représenté dans la figure n°1, montre à priori que les pluies maximales en 24h semblent bien être ajustées à la loi de **Gumbel** (droite) où nous constatons que les points sont relativement alignés. Nous n'observons pas un écartement significatif, aucun point ne semble non plus se démarquer des autres.



Q-Q Plot pour la série RR24

Figure1: Ajustement graphique de la série par la loi de Gumbel



**N.B :** T= temps de retour en année

**Figure 2 :** Représentation des couples durée – intensité maximale déterminées à la station météorologique de **TINDOUF**

### Modélisation des courbes IDF par le modèle de Montana:

La formule de MONTANA décrit la relation existant entre l'intensité, la durée et la fréquence des pluies mais également entre la hauteur, la durée et la fréquence des pluies. Elle s'exprime par :

$$i_T(d) = \frac{a}{d^b}$$

. It = Intensité durant le temps t en mm/min (ou mm/heure)

. d = durée de la pluie équivalente au temps de concentration (en minutes ou en heures). a et b = coefficients de MONTANA

#### Estimation des coefficients de Montana

Les coefficients de MONTANA varient selon les régions et la période de retour.

Ici a = 27.54 et b = 0,84 pour une période de retour de 10 ans.

Les intensités calculées pour une pluie décennale sont donc les suivantes :

- 27.54 mm/h pour un temps de concentration de 1 heure.

- 1.9 mm/h pour un temps de concentration de 24 heures

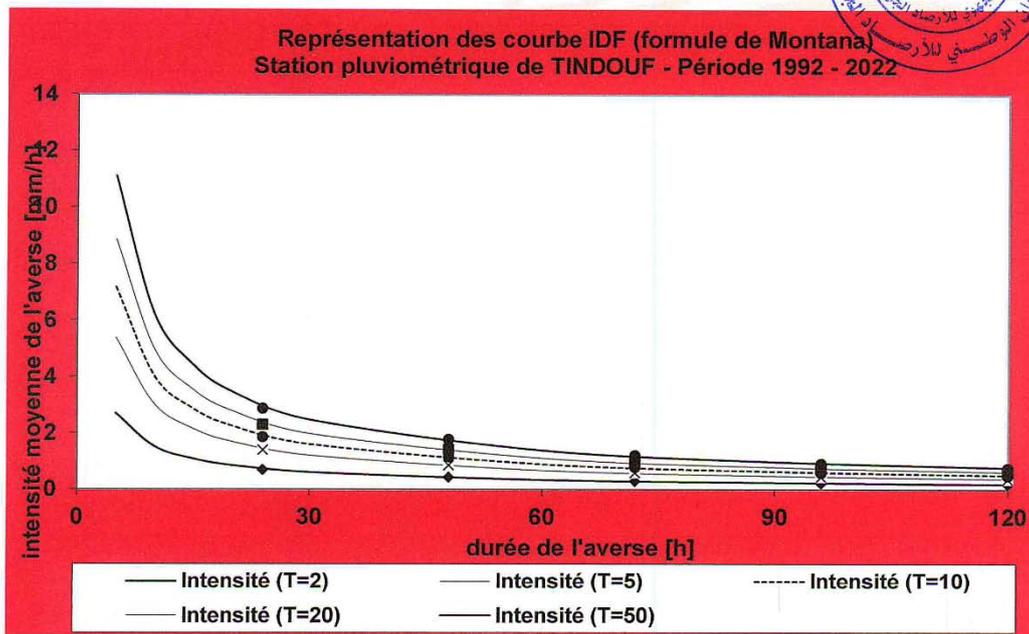


**Tableau N°5 :** Estimation des coefficients de Montana :

Coefficient de Montana	Temps de retour				
	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans
b	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84
a	10,21	20,64	27,54	34,16	42,74

**Tableau N°6:** Estimation des intensités maximales par le model de Montana, en mm/h, à la station pluviométrique de **TINDOUF** pour différents temps de retour.

Durée d (h)	Intensité de Montana en mm/h				
	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans
24	0,7	1,5	1,9	2,4	3,0
48	0,4	0,8	1,1	1,3	1,7
72	0,3	0,6	0,8	1,0	1,2
96	0,2	0,5	0,6	0,7	0,9
120	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8



**Figure 3 :** Représentation des couples durée – intensité de Montana déterminées à la station météorologique de **TINDOUF** pour la période **1992– 2022**.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة النقل  
Ministère des Transports



الدائرة الجهوية "بشار"  
Département Régional  
"Béchar"

**STATISTIQUES CLIMATOLOGIQUES :**

➤ **MOYENNE ANNUELLE DES PRECIPITATIONS**

Pour les stations météorologiques de BECHAR et TINDOUF:  
Période : 1992-2022

❖ COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DE LA STATION

	<u>Latitude</u>	<u>Longitude</u>	<u>Altitude</u>	<u>période</u>
BECHAR	31°39'N	02°15'W	808,64m	1992-2022
TINDOUF	27° 42' N	08° 10' W	442,00 m	1992- 2022

Pour le compte de : « **SOCIETE ALGERIENNE DES ETUDES TECHNIQUES D'INFRASTRUCTURES** »  
Bon de commande n° : « **032/2023 du 04/04/2023** »

*Etablie et Vérifié par : Mr M.BENTAIB*  
*Chargé de l'assistance climatologique et du commercial / D.M.R.B*

*Validé par : Mr H.BENYAGOUR*  
*Département Météorologique Régional de Béchar (D.M.R.B).*

رئيس قسم المقياس للأرصاد الجوية  
بشار  
بن يعقوب حسين



**AVRIL 2023**

Boulevard Colonel  
CHABOU-BECHAR  
TEL / FAX : 049 23 92 89  
Site web : www.meteo.dz

## MOYENNE ANNUELLE DES PRECIPITATIONE DE TINDOUF

### Introduction :

Située à une altitude moyenne de 430 mètres entre le 25 et 30ème parallèle de latitude Nord et entre 05 et 10° de longitude Ouest, la région de Tindouf est bordée à l'ouest et au nord ouest par la Hamada de Tindouf qui s'étend au-delà des frontières avec le Maroc et le Saha occidentale, au Nord-est par la Sebkhha de Tindouf, à l'est par Hamadet Ed-douakhel et au Sud par hamadet Aroueida. Cette région est caractérisée par un régime pluviométrique très variable d'une année à une autre. La période pluvieuse est celle allant du mois d'Août au mois de Mars. L'importance de la côte pluviométrique du mois d'Août vient du fait de la saison des pluies tropicales qui affecte souvent la région en été .



Station	Période d'observation	Nombre d'années d'observation	Moyenne Annuelle (mm)
TINDOUF	1992- 2022	31 années	<b>50,5</b>



**DONNEES CLIMATOLOGIQUES :**

**N° : 024/0441/018/2023**

**De la station météorologique de TINDOUF :**

Période : du 01<sup>er</sup> janvier 1993 au 31 Décembre 2022

**1. Précipitation journalière maximale (PJMAX) :**

Pour le compte de :

**SOCIETE NATIONALE DE GENIE CIVIL ET BATIMENT –GCB-**

Bon de commande N° : 31/TECH/DEP/GCB/2023 du 16/10/2023

F.P N° 100/0441/2023

Elaboré le 18/10/2023 par

**Mme F.KERTALI**

Ingénieur d'état en statistiques.

Vérifier par :

Chef de Département de la Climatologie/Pi

**Mme S.TEMMAR :**

Valider par :

Le Directeur de la Direction de la Climatologie et Coordination Réseaux/Pi.

**Mr S.SAHABI ABED**



**OCTOBRE 2023**



**MétéoAlgérie**

الديوان الوطني للأرصاد الجوية  
Office National de la Météorologie

1, Avenue Mohamed Khemisti BP 153 Dar el Beida, Alger 16011

Tel : 023 67 39 39 / 023 67 39 08

Fax : 023 67 39 99 / 023 67 37 56

Site web : www.meteo.dz

➤ **Précipitation journalière maximale PJMAX (en mm) de 1993 à 2007 :**

Année	PJMAX	Date
1993	8,0	23 Novembre
1994	90,0	30 Octobre
1995	2,3	28 Mars
1996	21,1	15 Septembre
1997	4,6	18 Octobre
1998	10,0	10 Février
1999	27,6	09 Octobre
2000	20,0	25 Aout
2001	5,0	09 Décembre
2002	14,2	30 Mars
2003	50,9	21 Octobre
2004	5,6	20 Février
2005	15,1	22 Décembre
2006	47,9	10 Février
2007	2,0	10 Octobre





➤ **Précipitation journalière maximale PJMAX (en mm) de 2008 à 2022 :**

Année	PJMAX	Date
2008	9,1	27 Septembre
2009	32,0	27 Mars
2010	27,3	19 Septembre
2011	22,8	14 Mai
2012	7,8	11 Avril
2013	7,5	4 Décembre
2014	23,6	28 Novembre
2015	44,8	16 Octobre
2016	22,9	6 Novembre
2017	4,8	11 Décembre
2018	34,5	11 Septembre
2019	22,8	28 Aout
2020	4,8	05 Juin
2021	9,4	18 Novembre
2022	3,9	30 Aout



# Annexe Chapitre 4

# Culvert Report

## PK 640+865,29 3\*DALOT (3\*2) L=44m

Invert Elev Dn (m)	=	518,4640
Pipe Length (m)	=	44,0000
Slope (%)	=	0,2456
Invert Elev Up (m)	=	518,5720
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

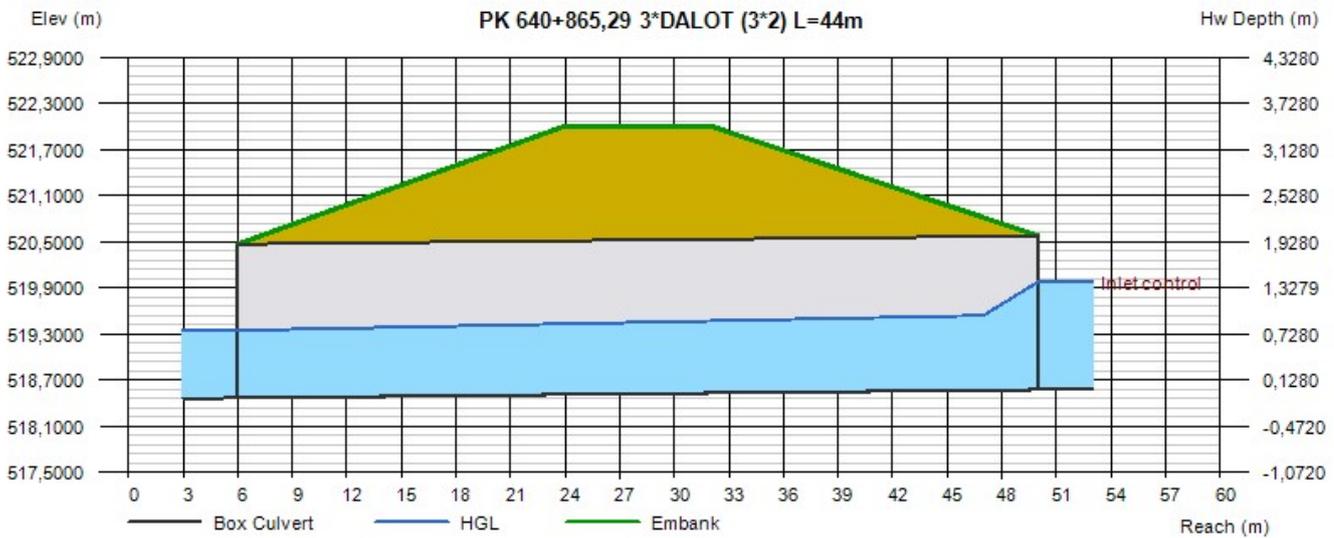
Qmin (cms)	=	23,2170
Qmax (cms)	=	23,2170
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	23,2170
Qpipe (cms)	=	23,2170
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,9383
Veloc Up (m/s)	=	2,6354
HGL Dn (m)	=	519,3419
HGL Up (m)	=	519,5509
Hw Elev (m)	=	519,9738
Hw/D (m)	=	0,7009
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	44,0000



# Culvert Report

## PK 642+435 2\*BUSE (1500mm) L=27,3m

Invert Elev Dn (m)	=	520,8600
Pipe Length (m)	=	27,3000
Slope (%)	=	1,1429
Invert Elev Up (m)	=	521,1720
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	2
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

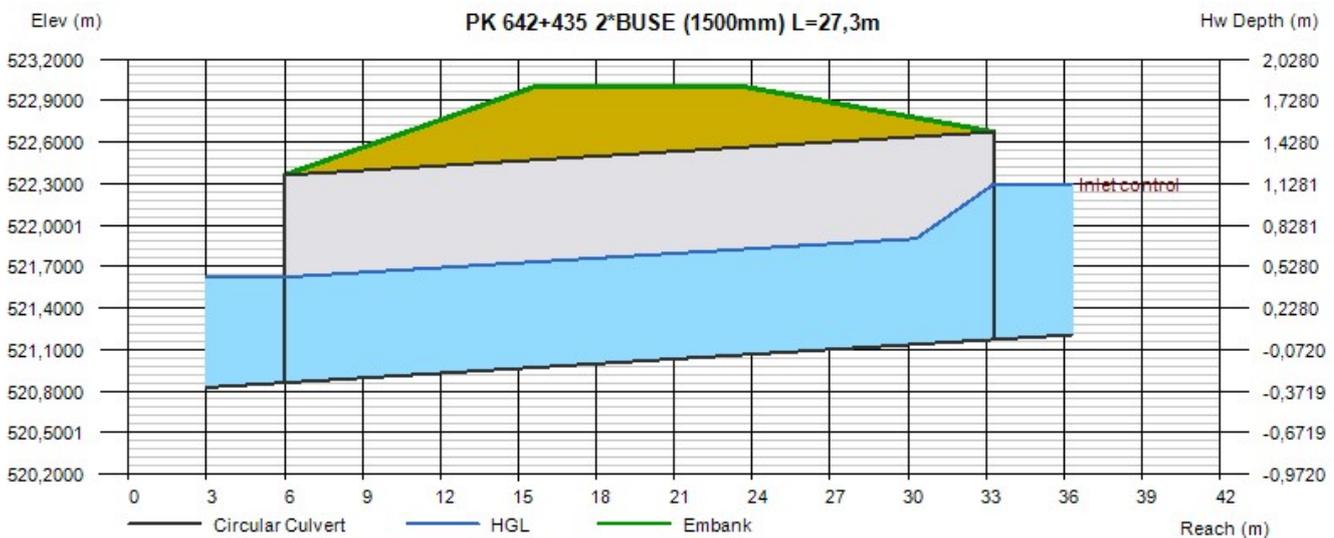
Qmin (cms)	=	4,3970
Qmax (cms)	=	4,3970
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	4,3970
Qpipe (cms)	=	4,3970
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,4349
Veloc Up (m/s)	=	2,4349
HGL Dn (m)	=	521,6229
HGL Up (m)	=	521,9349
Hw Elev (m)	=	522,2955
Hw/D (m)	=	0,7490
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	523,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	27,3000



# Culvert Report

## PK 643+190 2\*DALOT (3\*2)(m) L=43,66m

Invert Elev Dn (m)	= 517,3550
Pipe Length (m)	= 43,6600
Slope (%)	= 1,9904
Invert Elev Up (m)	= 518,2240
Rise (mm)	= 2000,0
Shape	= Box
Span (mm)	= 3000,0
No. Barrels	= 2
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Flared Wingwalls
Culvert Entrance	= 30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

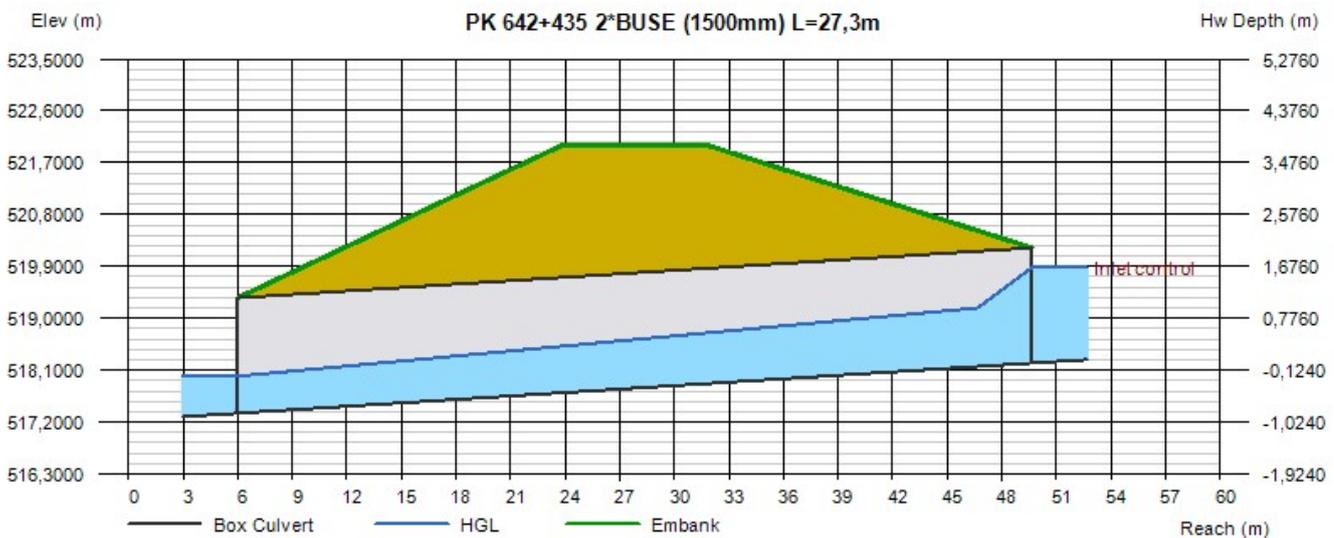
Qmin (cms)	= 20,0390
Qmax (cms)	= 20,0390
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 20,0390
Qpipe (cms)	= 20,0390
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 5,1931
Veloc Up (m/s)	= 3,2030
HGL Dn (m)	= 517,9981
HGL Up (m)	= 519,2667
Hw Elev (m)	= 519,8813
Hw/D (m)	= 0,8286
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 522,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 43,6600



# Culvert Report

## PK 644+565 2\*BUSE (1500mm) L=30,2m

Invert Elev Dn (m)	=	520,1300
Pipe Length (m)	=	30,2000
Slope (%)	=	2,1257
Invert Elev Up (m)	=	520,7720
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	2
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

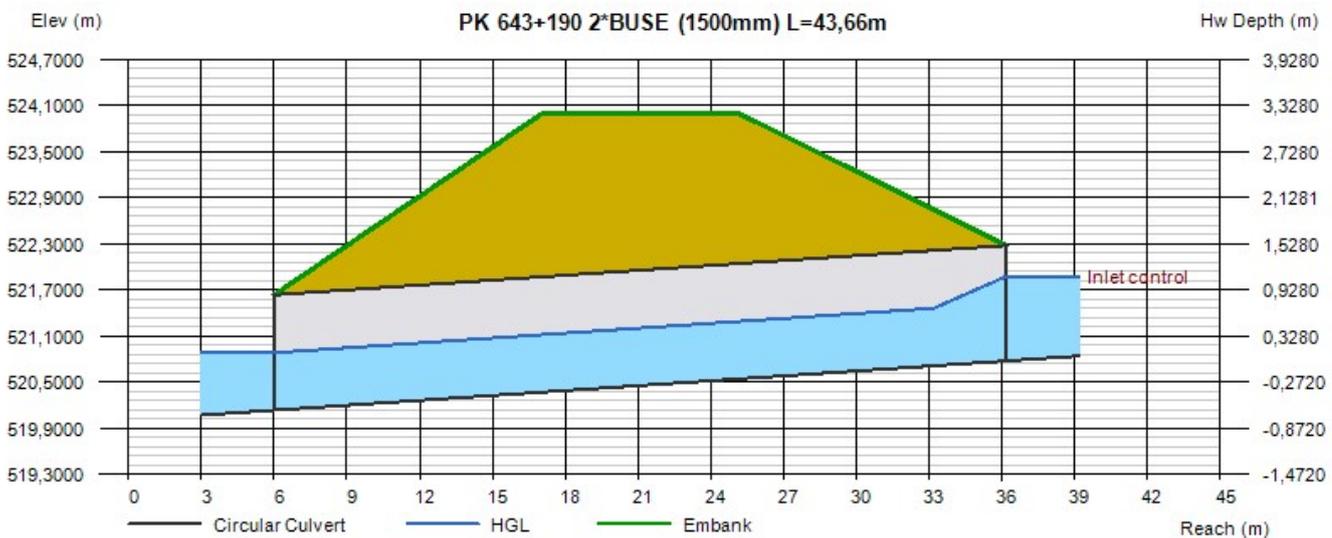
Qmin (cms)	=	4,2370
Qmax (cms)	=	4,2370
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	4,2370
Qpipe (cms)	=	4,2370
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,4047
Veloc Up (m/s)	=	2,4047
HGL Dn (m)	=	520,8783
HGL Up (m)	=	521,5203
Hw Elev (m)	=	521,8727
Hw/D (m)	=	0,7338
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	524,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	30,2000



# Culvert Report

## PK 647+050 3\*BUSE (1500mm) L=16m

Invert Elev Dn (m)	=	522,2670
Pipe Length (m)	=	16,0000
Slope (%)	=	1,7059
Invert Elev Up (m)	=	522,5400
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

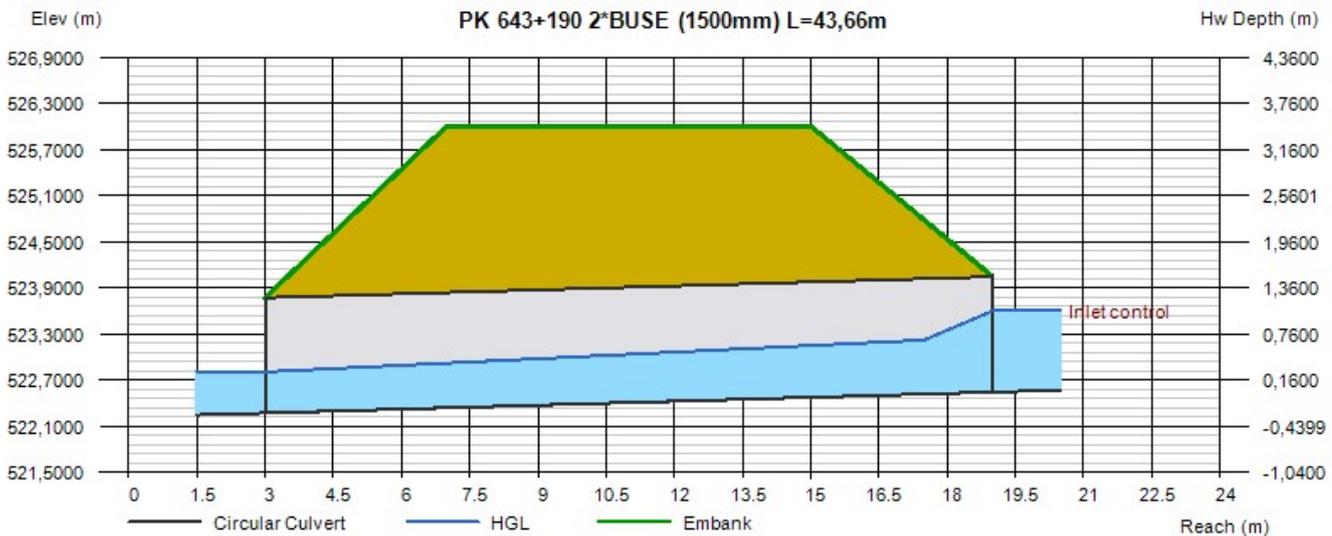
Qmin (cms)	=	5,9090
Qmax (cms)	=	5,9090
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	5,9090
Qpipe (cms)	=	5,9090
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	3,4831
Veloc Up (m/s)	=	2,3466
HGL Dn (m)	=	522,8020
HGL Up (m)	=	523,2605
Hw Elev (m)	=	523,5970
Hw/D (m)	=	0,7047
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	526,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	16,0000



# Culvert Report

## PK 651+000 2\*BUSE (1500mm) L=19,2m

Invert Elev Dn (m)	=	524,1820
Pipe Length (m)	=	19,2000
Slope (%)	=	1,7811
Invert Elev Up (m)	=	524,5240
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	2
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

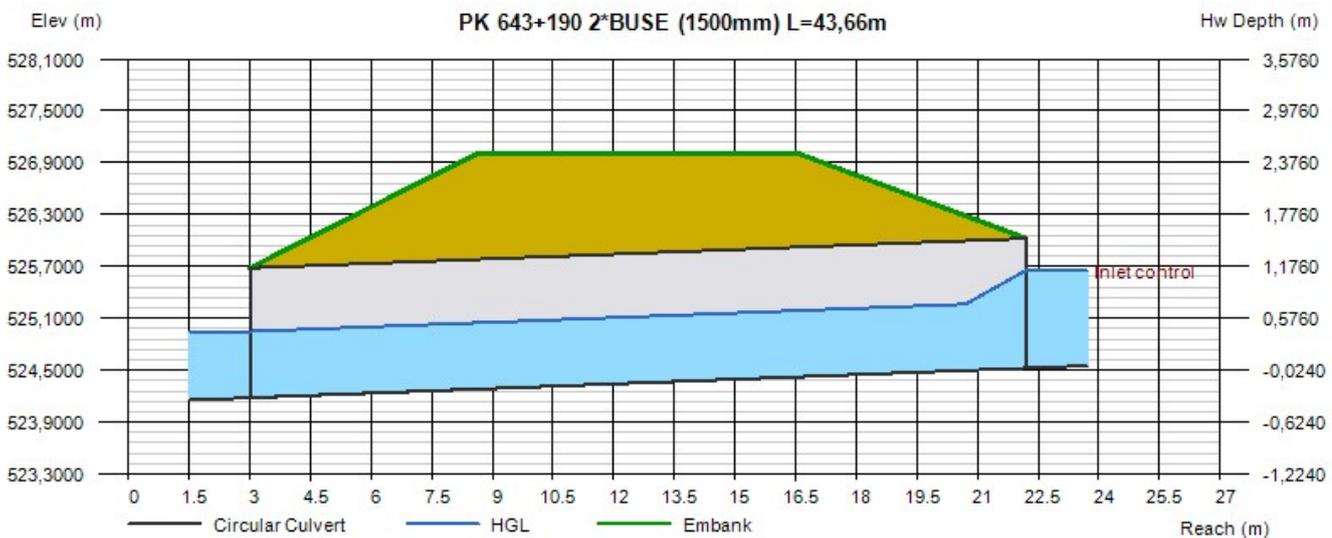
Qmin (cms)	=	4,4380
Qmax (cms)	=	4,4380
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	4,4380
Qpipe (cms)	=	4,4380
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,4423
Veloc Up (m/s)	=	2,4424
HGL Dn (m)	=	524,9487
HGL Up (m)	=	525,2906
Hw Elev (m)	=	525,6533
Hw/D (m)	=	0,7529
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	527,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	19,2000



# Culvert Report

## PK 651+851 3\*DALOT (3\*2)(m) L=28,2m

Invert Elev Dn (m)	=	523,3000
Pipe Length (m)	=	28,2000
Slope (%)	=	1,2447
Invert Elev Up (m)	=	523,6510
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

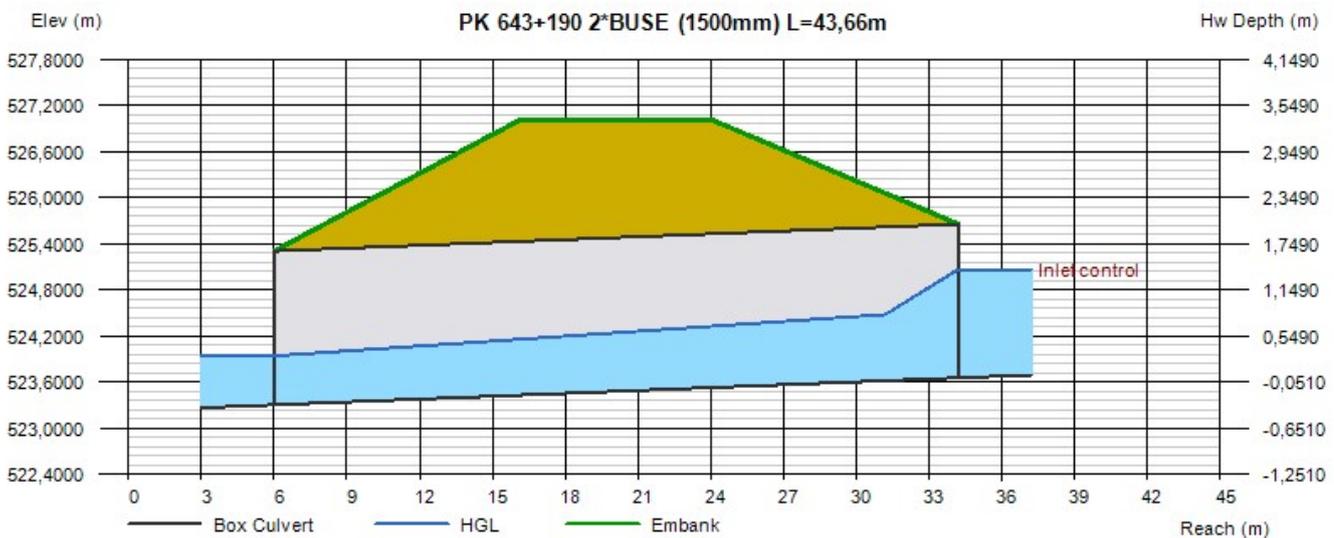
Qmin (cms)	=	23,6130
Qmax (cms)	=	23,6130
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	23,6130
Qpipe (cms)	=	23,6130
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	4,1186
Veloc Up (m/s)	=	2,9549
HGL Dn (m)	=	523,9370
HGL Up (m)	=	524,5389
Hw Elev (m)	=	525,0592
Hw/D (m)	=	0,7041
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	527,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	28,2000



# Culvert Report

## PK 652+130 4\*BUSE (1500mm) L=27,1m

Invert Elev Dn (m)	=	524,0530
Pipe Length (m)	=	27,1000
Slope (%)	=	1,1073
Invert Elev Up (m)	=	524,3530
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	4
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

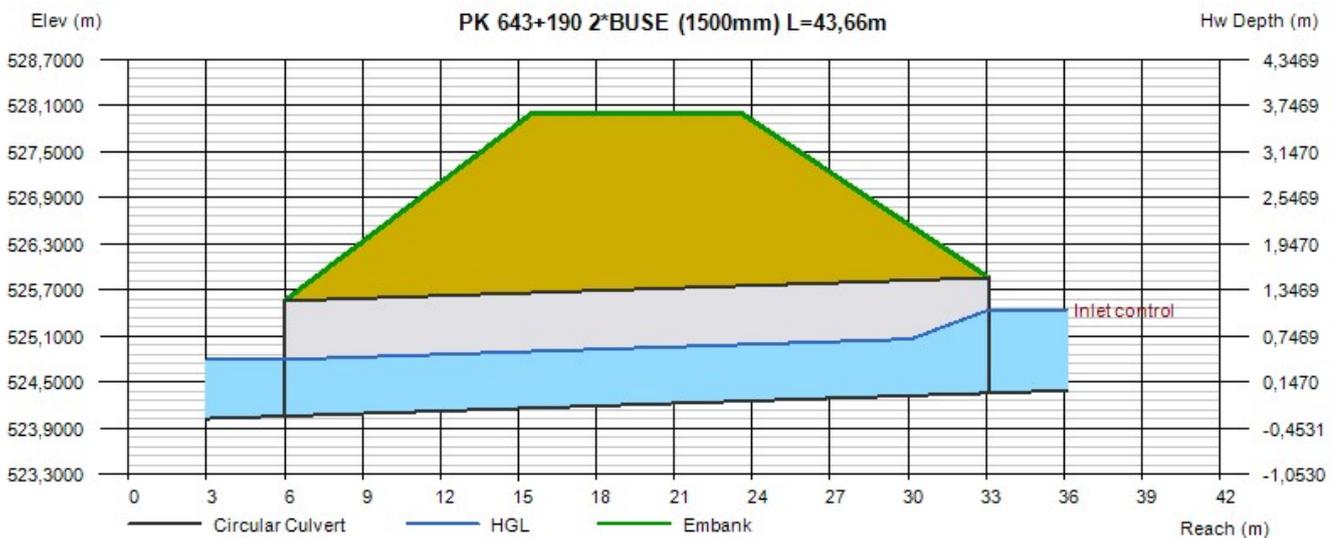
Qmin (cms)	=	8,2060
Qmax (cms)	=	8,2060
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	8,2060
Qpipe (cms)	=	8,2060
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,3788
Veloc Up (m/s)	=	2,3788
HGL Dn (m)	=	524,7888
HGL Up (m)	=	525,0889
Hw Elev (m)	=	525,4343
Hw/D (m)	=	0,7208
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	528,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	27,1000



# Culvert Report

## PK 652+396,58 1\*BUSE (1500mm) L=22,7m

Invert Elev Dn (m)	= 526,4980
Pipe Length (m)	= 22,7000
Slope (%)	= 0,6830
Invert Elev Up (m)	= 526,6530
Rise (mm)	= 1500,0
Shape	= Circular
Span (mm)	= 1500,0
No. Barrels	= 1
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Circular Culvert
Culvert Entrance	= Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

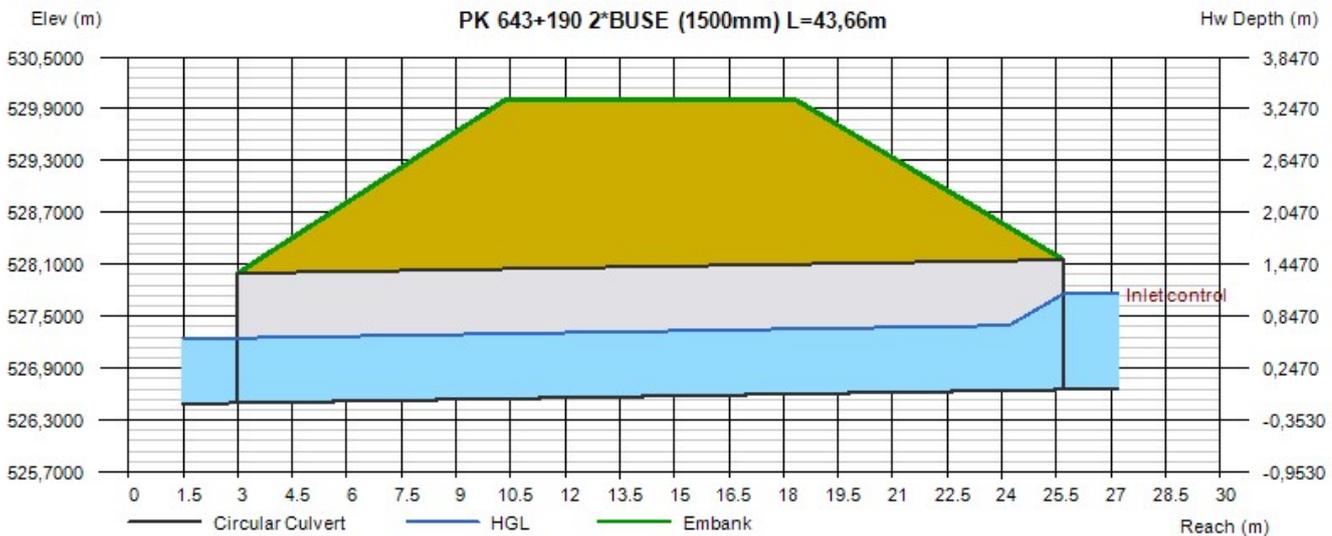
Qmin (cms)	= 2,1370
Qmax (cms)	= 2,1370
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 2,1370
Qpipe (cms)	= 2,1370
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 2,4119
Veloc Up (m/s)	= 2,4119
HGL Dn (m)	= 527,2496
HGL Up (m)	= 527,4047
Hw Elev (m)	= 527,7590
Hw/D (m)	= 0,7373
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 530,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 22,7000



# Culvert Report

## PK 653+535 3\*DALOT (3\*2)(m) L=19,6m

Invert Elev Dn (m)	=	525,7570
Pipe Length (m)	=	19,6000
Slope (%)	=	2,6937
Invert Elev Up (m)	=	526,2850
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

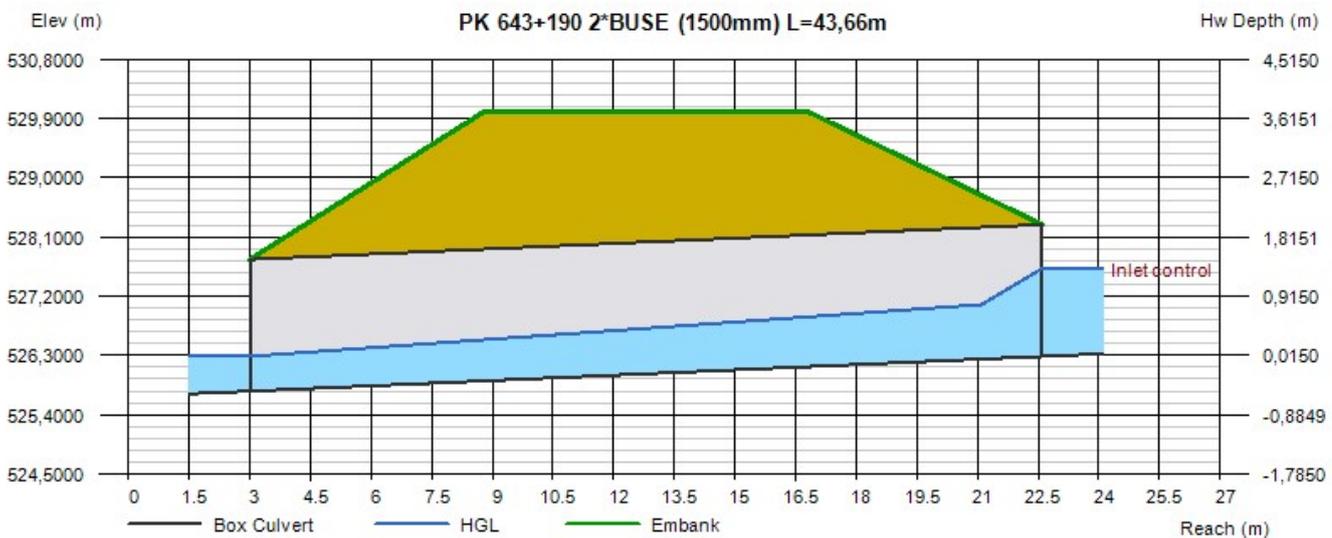
Qmin (cms)	=	22,1600
Qmax (cms)	=	22,1600
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	22,1600
Qpipe (cms)	=	22,1600
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	4,6426
Veloc Up (m/s)	=	2,8929
HGL Dn (m)	=	526,2874
HGL Up (m)	=	527,1361
Hw Elev (m)	=	527,6180
Hw/D (m)	=	0,6665
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	530,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	19,6000



# Culvert Report

## PK 656+899,5 3\*BUSE (1500mm) L=24,5m

Invert Elev Dn (m)	=	521,0560
Pipe Length (m)	=	24,5000
Slope (%)	=	0,3672
Invert Elev Up (m)	=	521,1460
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

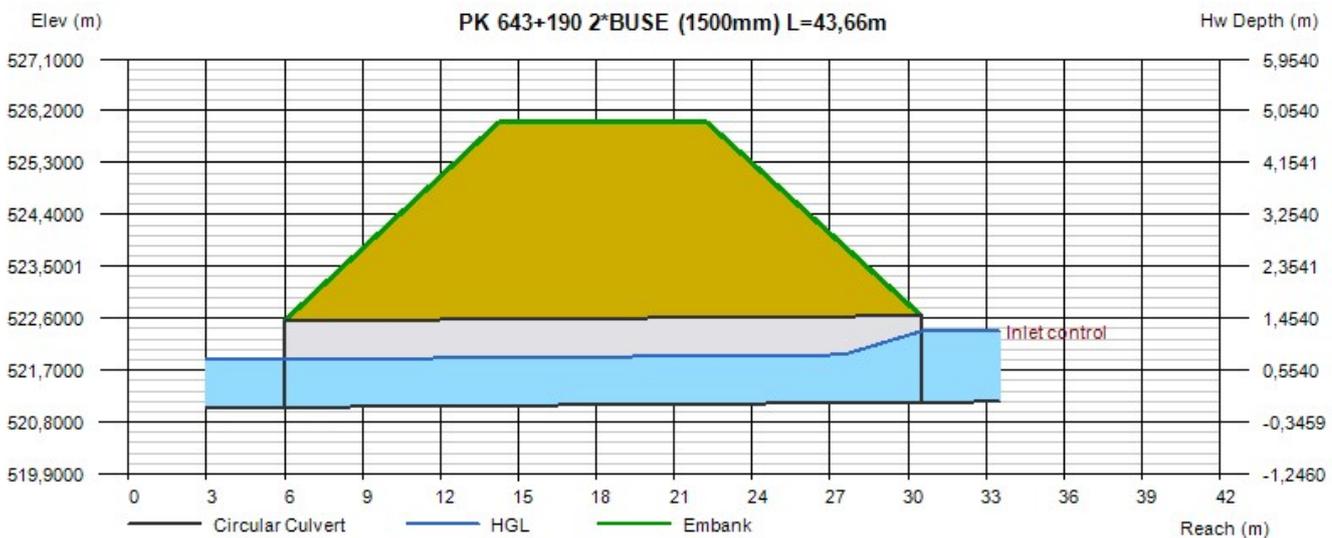
Qmin (cms)	=	7,7560
Qmax (cms)	=	7,7560
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	7,7560
Qpipe (cms)	=	7,7560
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,5744
Veloc Up (m/s)	=	2,5602
HGL Dn (m)	=	521,8866
HGL Up (m)	=	521,9803
Hw Elev (m)	=	522,3753
Hw/D (m)	=	0,8195
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	526,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	24,5000



# Culvert Report

## PK 657+787,3 2\*DALOT (3\*2)(m) L=21,1m

Invert Elev Dn (m)	=	520,7180
Pipe Length (m)	=	21,1000
Slope (%)	=	0,8388
Invert Elev Up (m)	=	520,8950
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	2
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

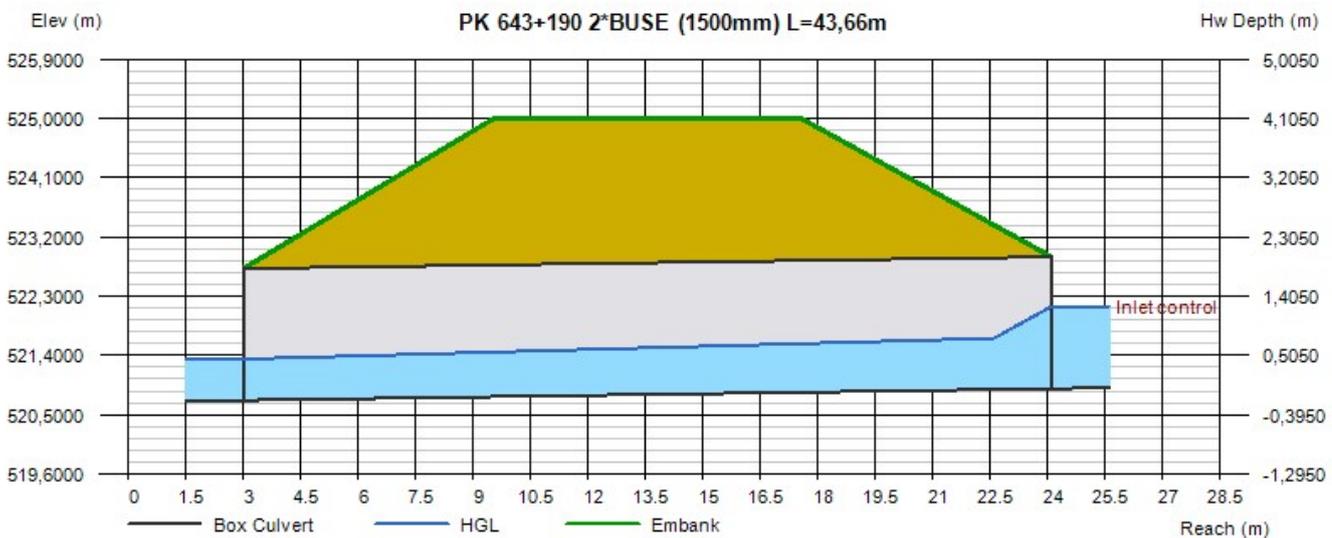
Qmin (cms)	=	13,1820
Qmax (cms)	=	13,1820
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	13,1820
Qpipe (cms)	=	13,1820
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	3,4990
Veloc Up (m/s)	=	2,7849
HGL Dn (m)	=	521,3459
HGL Up (m)	=	521,6839
Hw Elev (m)	=	522,1443
Hw/D (m)	=	0,6246
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	525,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	21,1000



# Culvert Report

## PK 658+425 1\*DALOT (3\*2)(m) L=16,2m

Invert Elev Dn (m)	= 520,5900
Pipe Length (m)	= 16,2000
Slope (%)	= 0,2159
Invert Elev Up (m)	= 520,6250
Rise (mm)	= 2000,0
Shape	= Box
Span (mm)	= 3000,0
No. Barrels	= 1
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Flared Wingwalls
Culvert Entrance	= 30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

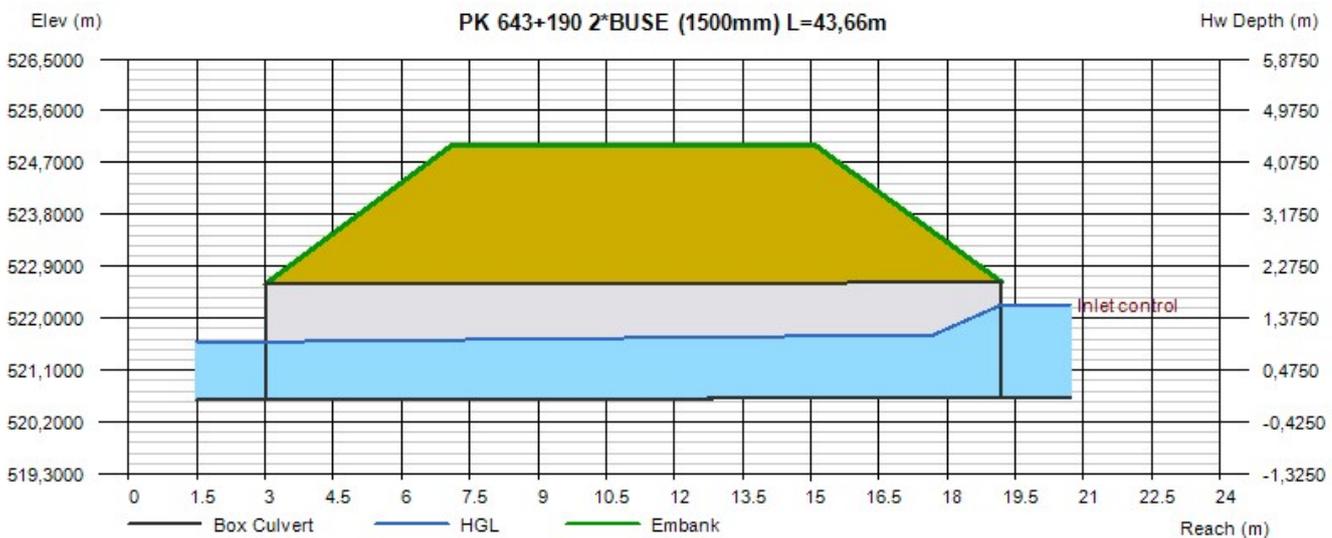
Qmin (cms)	= 9,4560
Qmax (cms)	= 9,4560
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 9,4560
Qpipe (cms)	= 9,4560
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 3,1417
Veloc Up (m/s)	= 2,8625
HGL Dn (m)	= 521,5933
HGL Up (m)	= 521,7261
Hw Elev (m)	= 522,2346
Hw/D (m)	= 0,8048
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 525,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 16,2000



# Culvert Report

## PK 659+150 1\*BUSE (1500 mm) L=19m

Invert Elev Dn (m)	=	518,5210
Pipe Length (m)	=	19,0000
Slope (%)	=	1,1054
Invert Elev Up (m)	=	518,7310
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	1
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

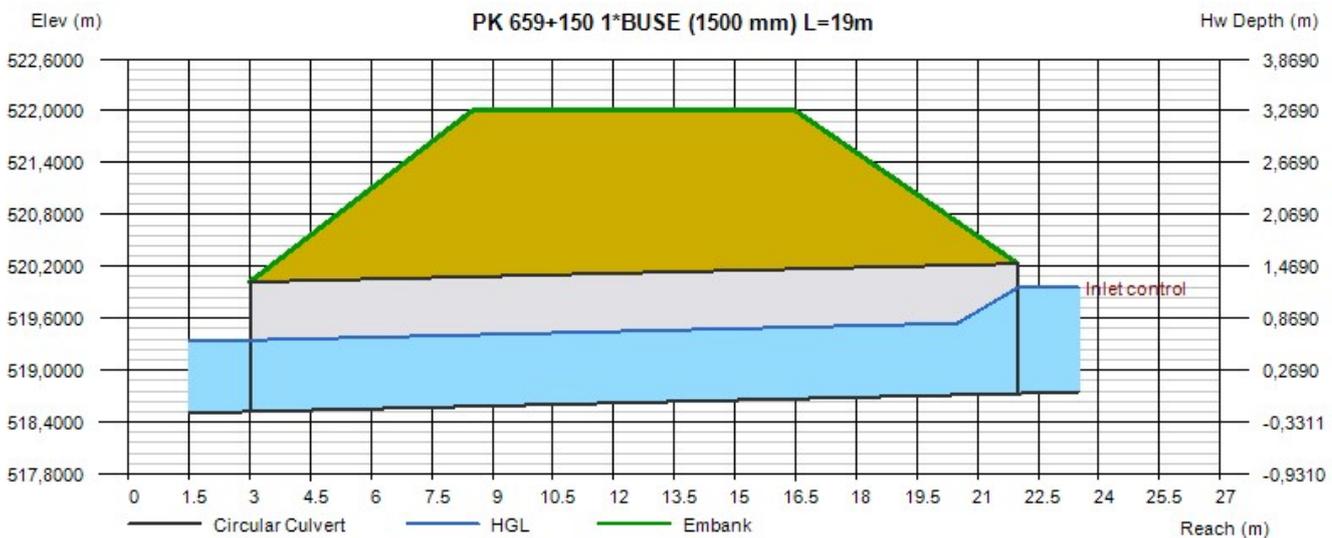
Qmin (cms)	=	2,5640
Qmax (cms)	=	2,5640
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	2,5640
Qpipe (cms)	=	2,5640
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,5673
Veloc Up (m/s)	=	2,5674
HGL Dn (m)	=	519,3479
HGL Up (m)	=	519,5579
Hw Elev (m)	=	519,9547
Hw/D (m)	=	0,8158
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	19,0000



# Culvert Report

## PK 659+175 1\*BUSE (1500 mm) L=19m

Invert Elev Dn (m)	=	518,4720
Pipe Length (m)	=	19,0000
Slope (%)	=	1,2895
Invert Elev Up (m)	=	518,7170
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	1
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

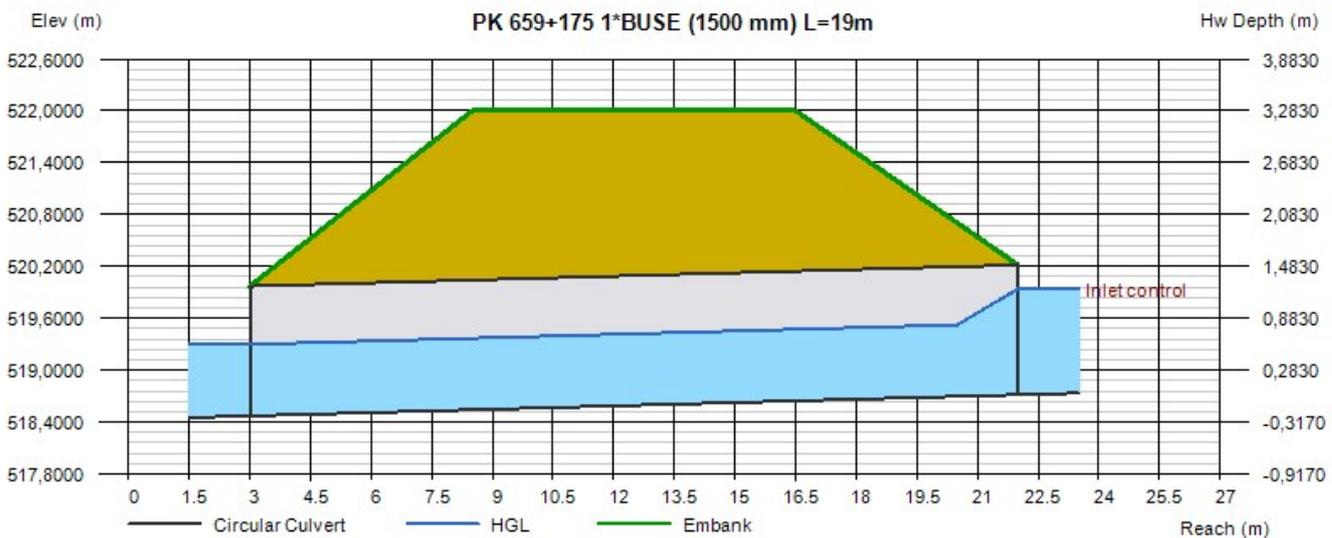
Qmin (cms)	=	2,5640
Qmax (cms)	=	2,5640
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	2,5640
Qpipe (cms)	=	2,5640
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,5673
Veloc Up (m/s)	=	2,5674
HGL Dn (m)	=	519,2989
HGL Up (m)	=	519,5439
Hw Elev (m)	=	519,9407
Hw/D (m)	=	0,8158
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	19,0000



# Culvert Report

## PK 659+200 1\*BUSE (1500 mm) L=19m

Invert Elev Dn (m)	=	518,4740
Pipe Length (m)	=	19,0000
Slope (%)	=	0,8054
Invert Elev Up (m)	=	518,6270
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	1
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

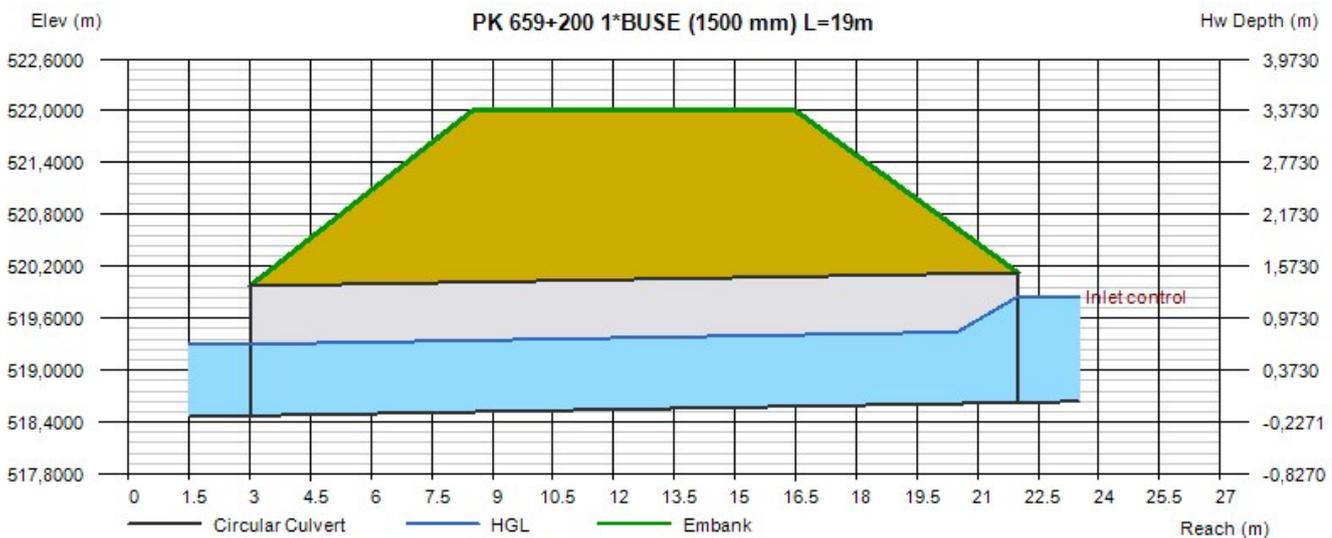
Qmin (cms)	=	2,5640
Qmax (cms)	=	2,5640
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	2,5640
Qpipe (cms)	=	2,5640
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,5673
Veloc Up (m/s)	=	2,5674
HGL Dn (m)	=	519,3009
HGL Up (m)	=	519,4539
Hw Elev (m)	=	519,8507
Hw/D (m)	=	0,8158
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	19,0000



# Culvert Report

## PK 660+245 3\*BUSE (1500 mm) L=16.7m

Invert Elev Dn (m)	=	517,4380
Pipe Length (m)	=	16,7000
Slope (%)	=	1,0298
Invert Elev Up (m)	=	517,6100
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

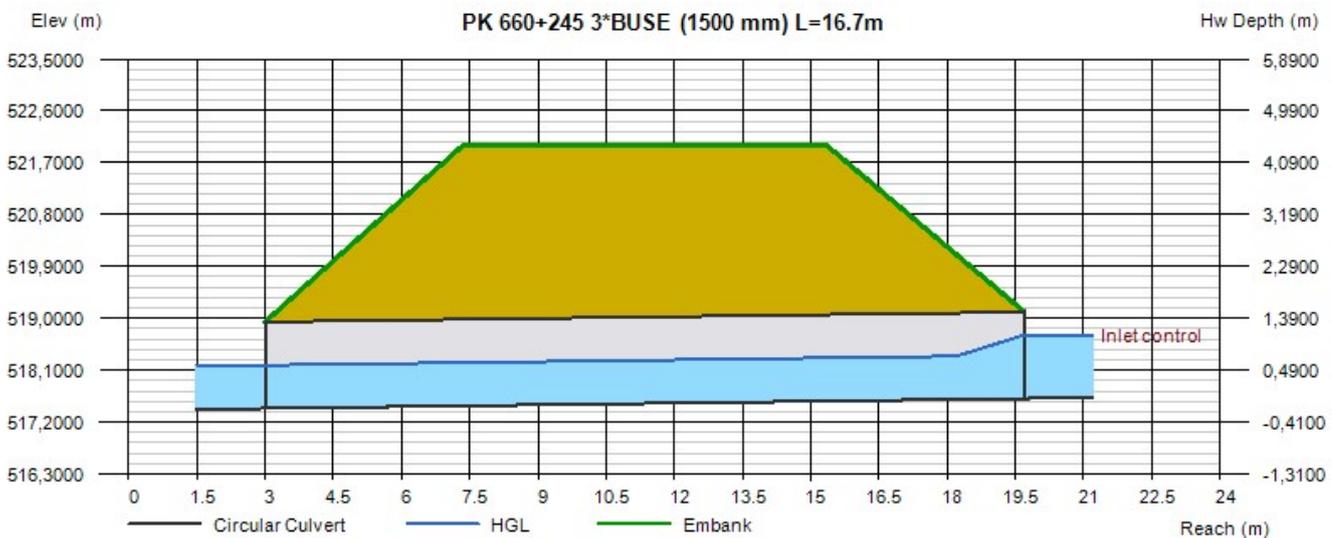
Qmin (cms)	=	6,3600
Qmax (cms)	=	6,3600
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	6,3600
Qpipe (cms)	=	6,3600
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,4049
Veloc Up (m/s)	=	2,4049
HGL Dn (m)	=	518,1866
HGL Up (m)	=	518,3586
Hw Elev (m)	=	518,7111
Hw/D (m)	=	0,7340
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	16,7000



# Culvert Report

## PK 660+260 3\*BUSE (1500 mm) L=16.7m

Invert Elev Dn (m)	= 517,4500
Pipe Length (m)	= 16,7000
Slope (%)	= 0,2992
Invert Elev Up (m)	= 517,5000
Rise (mm)	= 1500,0
Shape	= Circular
Span (mm)	= 1500,0
No. Barrels	= 3
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Circular Culvert
Culvert Entrance	= Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

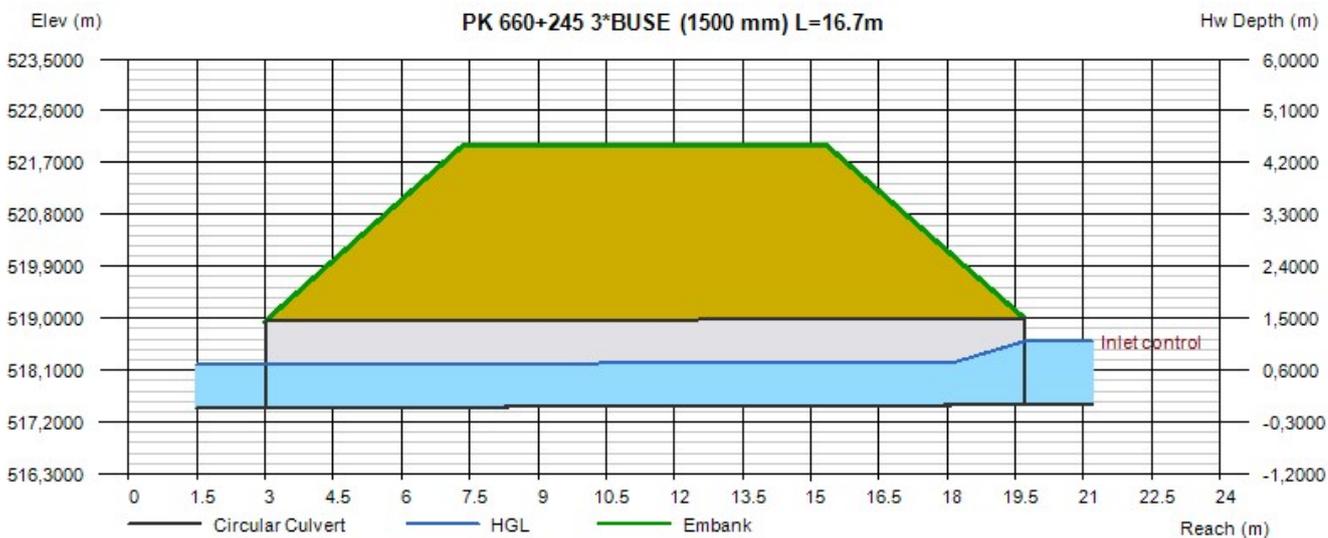
Qmin (cms)	= 6,3600
Qmax (cms)	= 6,3600
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 6,3600
Qpipe (cms)	= 6,3600
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 2,4049
Veloc Up (m/s)	= 2,3897
HGL Dn (m)	= 518,1987
HGL Up (m)	= 518,2524
Hw Elev (m)	= 518,6011
Hw/D (m)	= 0,7340
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 522,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 16,7000



# Culvert Report

## PK 660+275 3\*BUSE (1500 mm) L=16.7m

Invert Elev Dn (m)	=	517,4320
Pipe Length (m)	=	16,7000
Slope (%)	=	0,4790
Invert Elev Up (m)	=	517,5120
Rise (mm)	=	1500,0
Shape	=	Circular
Span (mm)	=	1500,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Circular Culvert
Culvert Entrance	=	Smooth tapered inlet throat
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,534, 0,555, 0,0196, 0,9, 0,2

### Calculations

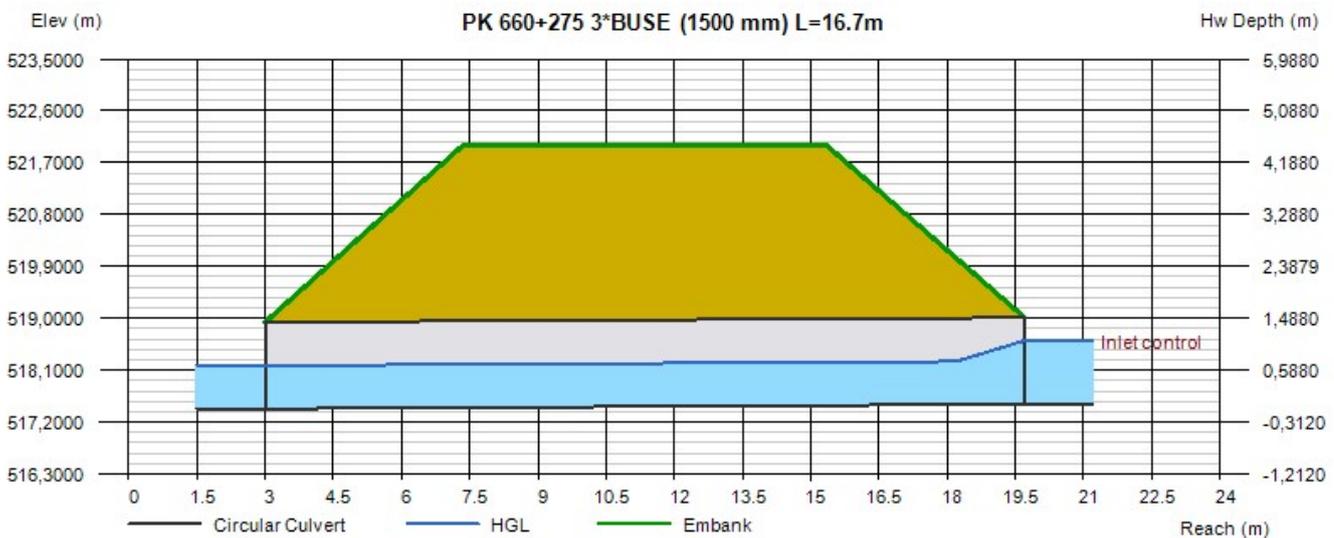
Qmin (cms)	=	6,3600
Qmax (cms)	=	6,3600
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	6,3600
Qpipe (cms)	=	6,3600
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	2,4049
Veloc Up (m/s)	=	2,4049
HGL Dn (m)	=	518,1807
HGL Up (m)	=	518,2607
Hw Elev (m)	=	518,6131
Hw/D (m)	=	0,7340
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	16,7000



# Culvert Report

## PK 660+474,2 1\*DALOT (3\*2)(m) L=16,7m

Invert Elev Dn (m)	=	516,9610
Pipe Length (m)	=	16,7000
Slope (%)	=	2,2275
Invert Elev Up (m)	=	517,3330
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	1
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

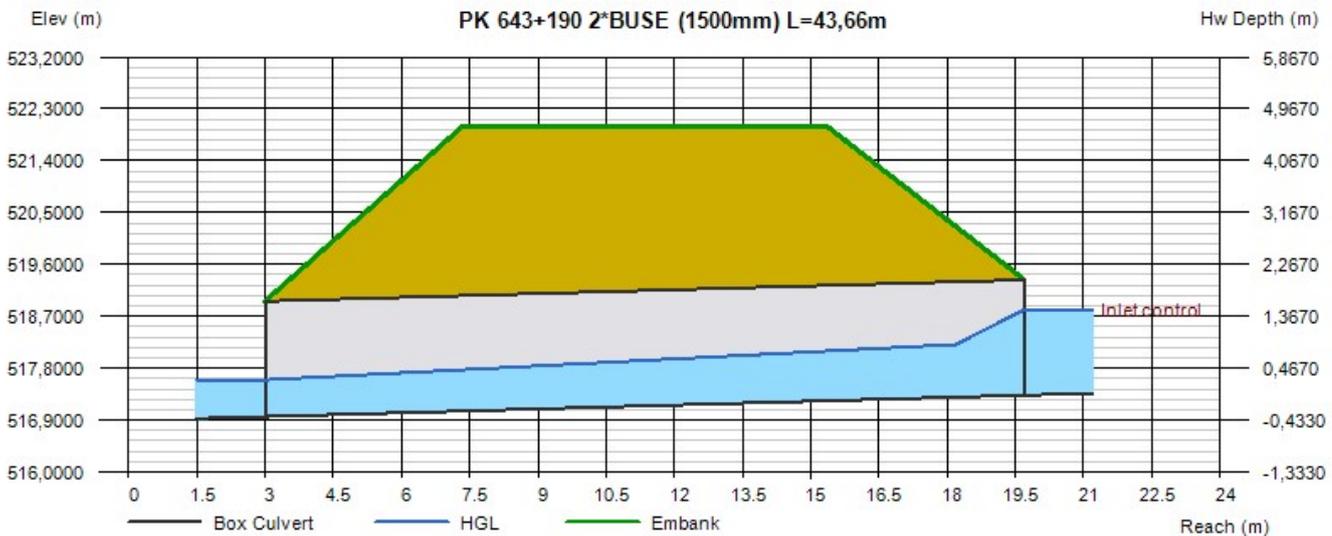
Qmin (cms)	=	8,5930
Qmax (cms)	=	8,5930
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	8,5930
Qpipe (cms)	=	8,5930
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	4,4964
Veloc Up (m/s)	=	3,0428
HGL Dn (m)	=	517,5980
HGL Up (m)	=	518,2744
Hw Elev (m)	=	518,8197
Hw/D (m)	=	0,7433
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	522,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	16,7000



# Culvert Report

## PK 660+902 3\*DALOT (3\*2)(m) L=22m

Invert Elev Dn (m)	= 517,2880
Pipe Length (m)	= 22,0000
Slope (%)	= 0,3408
Invert Elev Up (m)	= 517,3630
Rise (mm)	= 2000,0
Shape	= Box
Span (mm)	= 3000,0
No. Barrels	= 3
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Flared Wingwalls
Culvert Entrance	= 30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

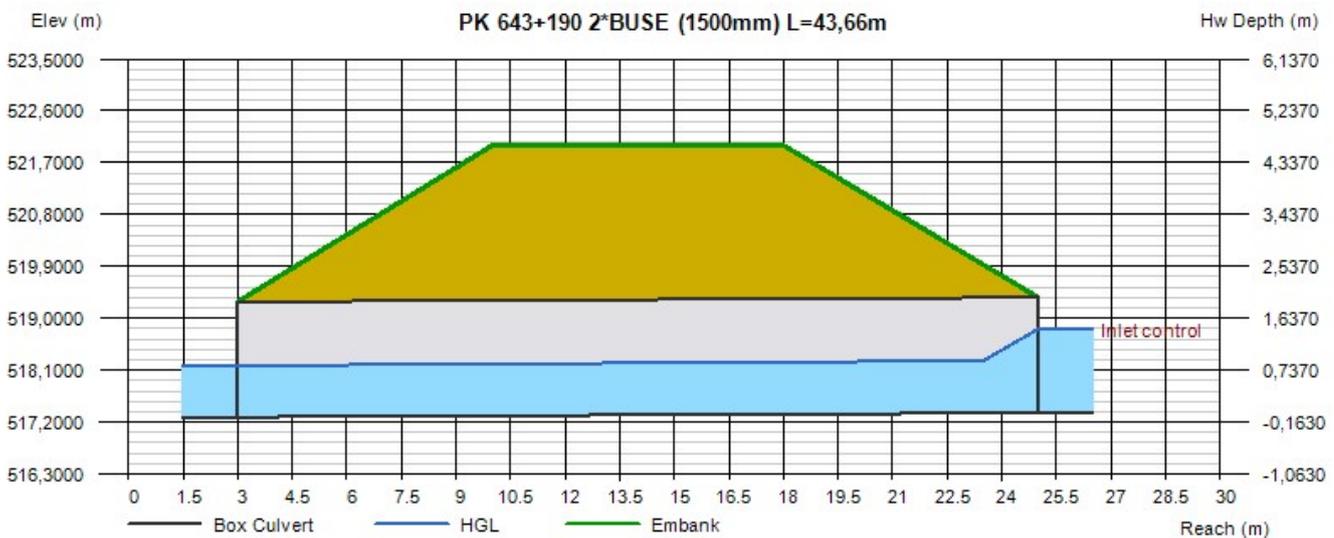
Qmin (cms)	= 24,4460
Qmax (cms)	= 24,4460
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 24,4460
Qpipe (cms)	= 24,4460
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 3,0415
Veloc Up (m/s)	= 2,9884
HGL Dn (m)	= 518,1811
HGL Up (m)	= 518,2719
Hw Elev (m)	= 518,8145
Hw/D (m)	= 0,7257
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 522,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 22,0000



# Culvert Report

## PK 661+517,24 3\*DALOT (3\*2)(m) L=31,3m

Invert Elev Dn (m)	= 517,0360
Pipe Length (m)	= 31,3000
Slope (%)	= 0,8307
Invert Elev Up (m)	= 517,2960
Rise (mm)	= 2000,0
Shape	= Box
Span (mm)	= 3000,0
No. Barrels	= 4
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Flared Wingwalls
Culvert Entrance	= 30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

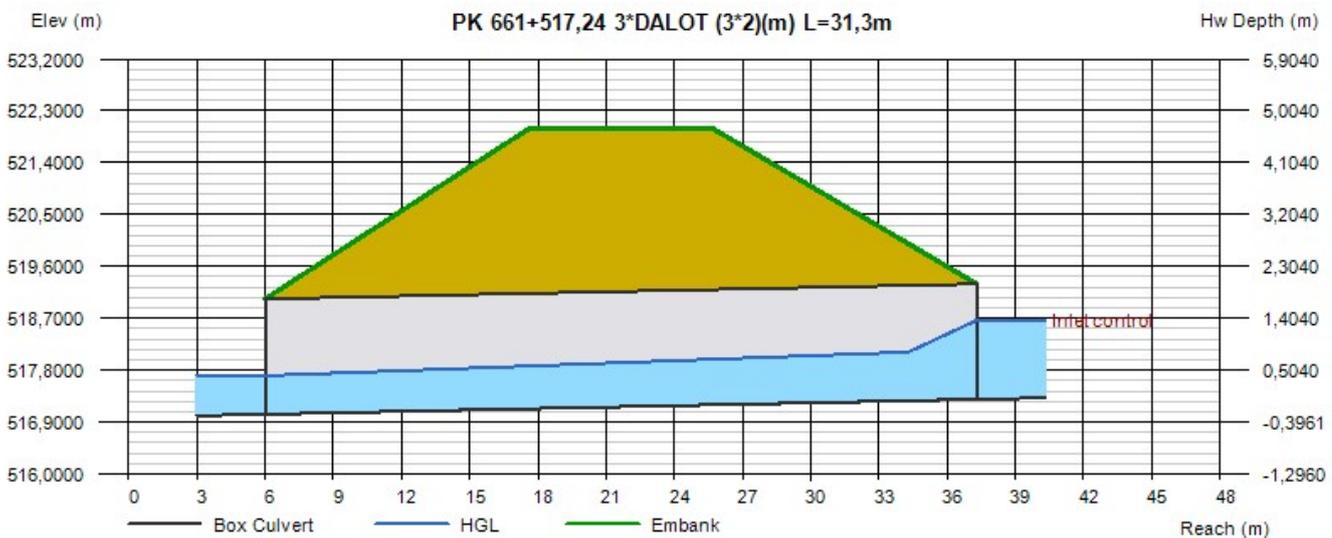
Qmin (cms)	= 30,1440
Qmax (cms)	= 30,1440
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 30,1440
Qpipe (cms)	= 30,1440
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 3,7461
Veloc Up (m/s)	= 2,9123
HGL Dn (m)	= 517,7065
HGL Up (m)	= 518,1586
Hw Elev (m)	= 518,6666
Hw/D (m)	= 0,6853
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 522,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 31,3000



# Culvert Report

## PK 663+038,82 3\*DALOT (3\*2)(m) L=32,9m

Invert Elev Dn (m)	= 515,9840
Pipe Length (m)	= 32,9000
Slope (%)	= 0,1945
Invert Elev Up (m)	= 516,0480
Rise (mm)	= 2000,0
Shape	= Box
Span (mm)	= 3000,0
No. Barrels	= 3
n-Value	= 0,013
Culvert Type	= Flared Wingwalls
Culvert Entrance	= 30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

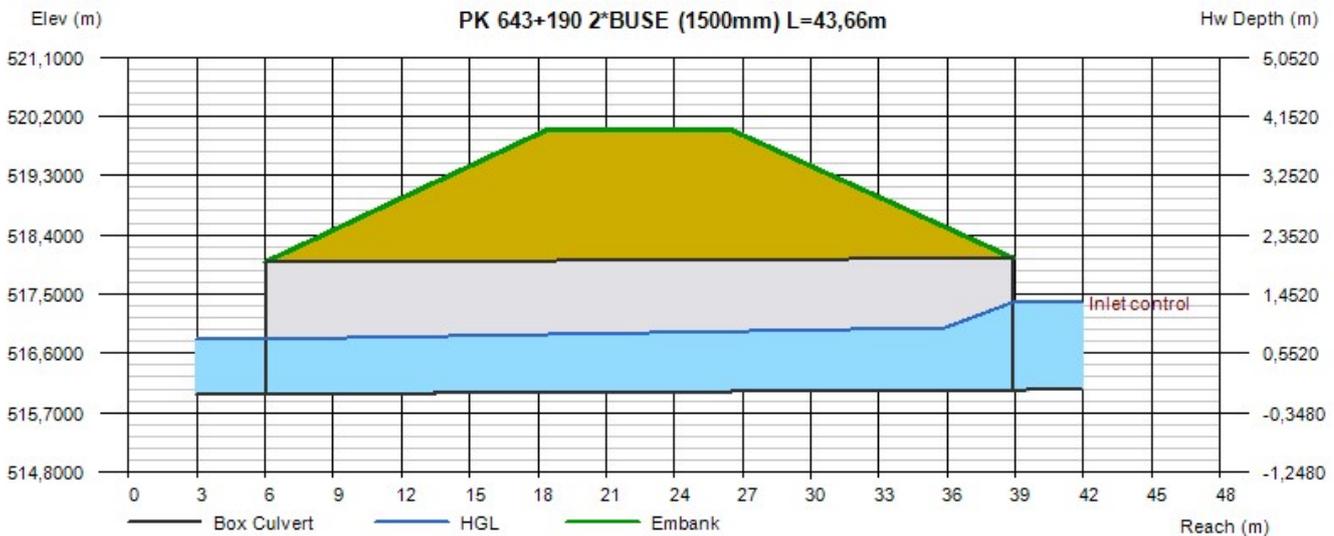
Qmin (cms)	= 21,4500
Qmax (cms)	= 21,4500
Tailwater Elev (m)	= Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	= 21,4500
Qpipe (cms)	= 21,4500
Qovertop (cms)	= 0,0000
Veloc Dn (m/s)	= 2,8615
Veloc Up (m/s)	= 2,4874
HGL Dn (m)	= 516,8169
HGL Up (m)	= 517,0062
Hw Elev (m)	= 517,3760
Hw/D (m)	= 0,6640
Flow Regime	= Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	= 520,0000
Top Width (m)	= 8,0000
Crest Width (m)	= 32,9000



# Culvert Report

## PK 663+393,13 2\*DALOT (3\*2)(m) L=32,9m

Invert Elev Dn (m)	=	515,7030
Pipe Length (m)	=	32,9000
Slope (%)	=	0,3375
Invert Elev Up (m)	=	515,8140
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	2
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

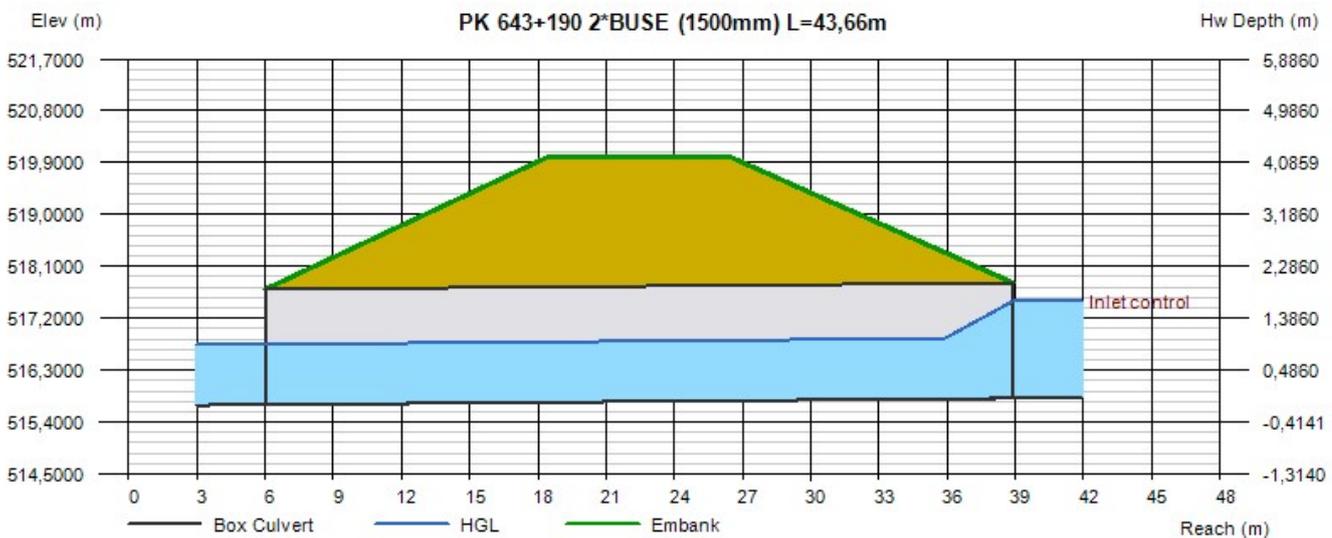
Qmin (cms)	=	20,2410
Qmax (cms)	=	20,2410
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	20,2410
Qpipe (cms)	=	20,2410
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	3,2268
Veloc Up (m/s)	=	3,2128
HGL Dn (m)	=	516,7485
HGL Up (m)	=	516,8641
Hw Elev (m)	=	517,4995
Hw/D (m)	=	0,8427
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	520,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	32,9000



# Culvert Report

## PK 666+775,5 3\*DALOT (3\*2)(m) L=37.3m

Invert Elev Dn (m)	=	514,6880
Pipe Length (m)	=	37,3000
Slope (%)	=	0,4156
Invert Elev Up (m)	=	514,8430
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	3
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

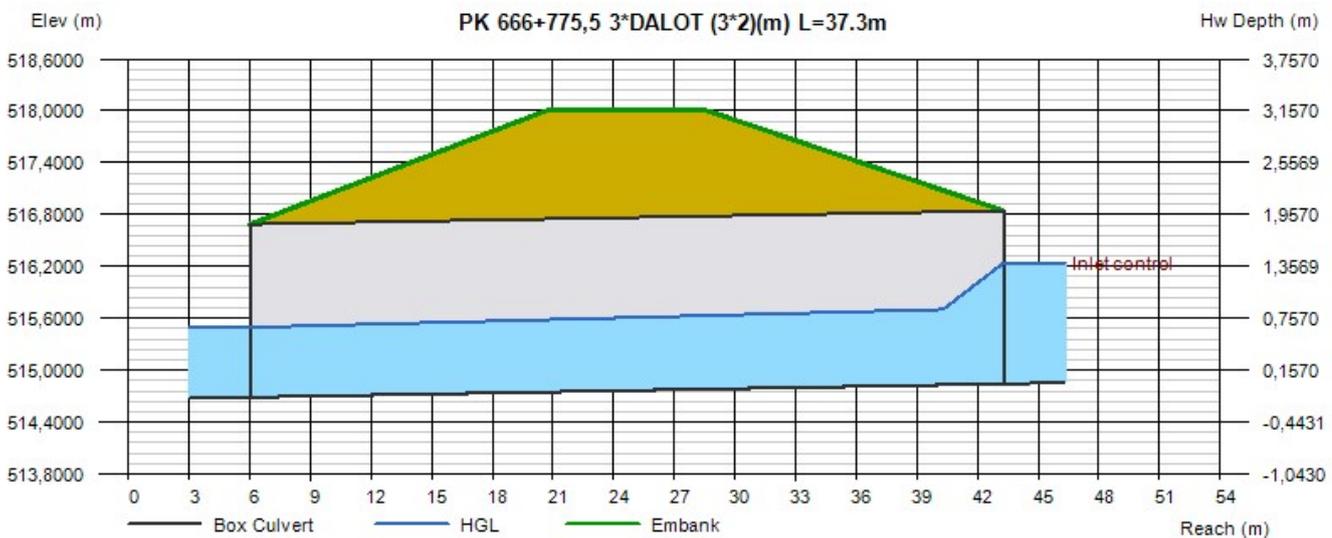
Qmin (cms)	=	23,2060
Qmax (cms)	=	23,2060
Tailwater Elev (m)	=	Critical

### Highlighted

Qtotal (cms)	=	23,2060
Qpipe (cms)	=	23,2060
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	3,1922
Veloc Up (m/s)	=	2,9378
HGL Dn (m)	=	515,4957
HGL Up (m)	=	515,7207
Hw Elev (m)	=	516,2426
Hw/D (m)	=	0,6998
Flow Regime	=	Inlet Control

### Embankment

Top Elevation (m)	=	518,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	37,3000



# Culvert Report

## PK 668+524 2\*DALOT (3\*2)(m) L=40m

Invert Elev Dn (m)	=	514,6910
Pipe Length (m)	=	40,0000
Slope (%)	=	0,2576
Invert Elev Up (m)	=	514,7940
Rise (mm)	=	2000,0
Shape	=	Box
Span (mm)	=	3000,0
No. Barrels	=	2
n-Value	=	0,013
Culvert Type	=	Flared Wingwalls
Culvert Entrance	=	30D to 75D wingwall flares
Coeff. K,M,c,Y,k	=	0,026, 1, 0,0347, 0,81, 0,4

### Calculations

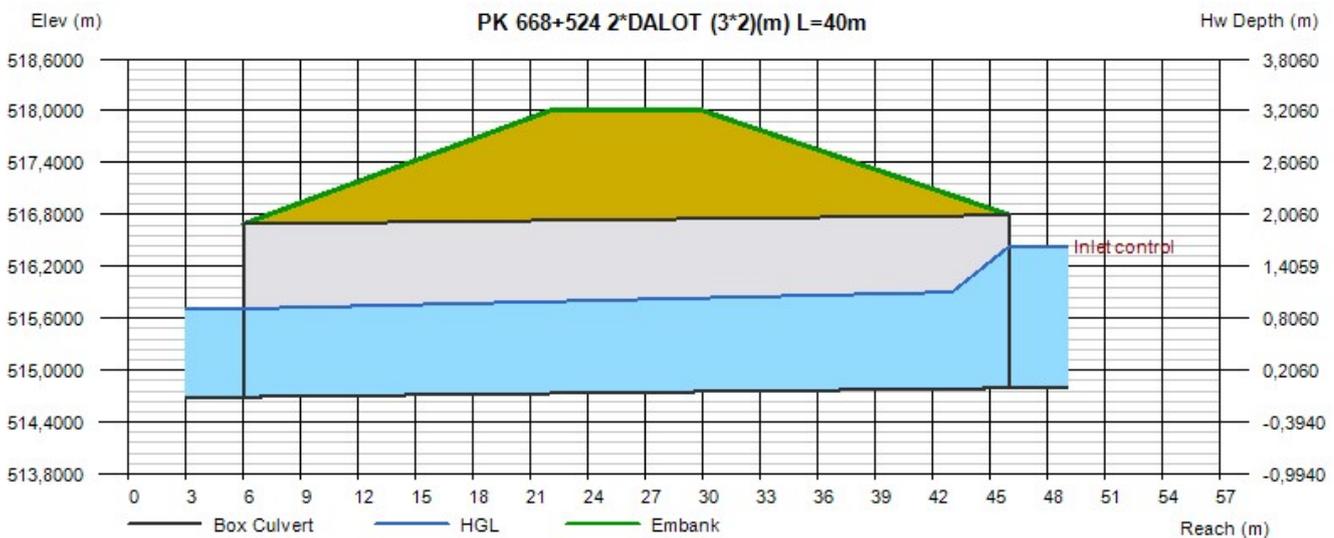
Qmin (cms)	=	19,3880
Qmax (cms)	=	19,3880
Tailwater Elev (m)	=	Critical

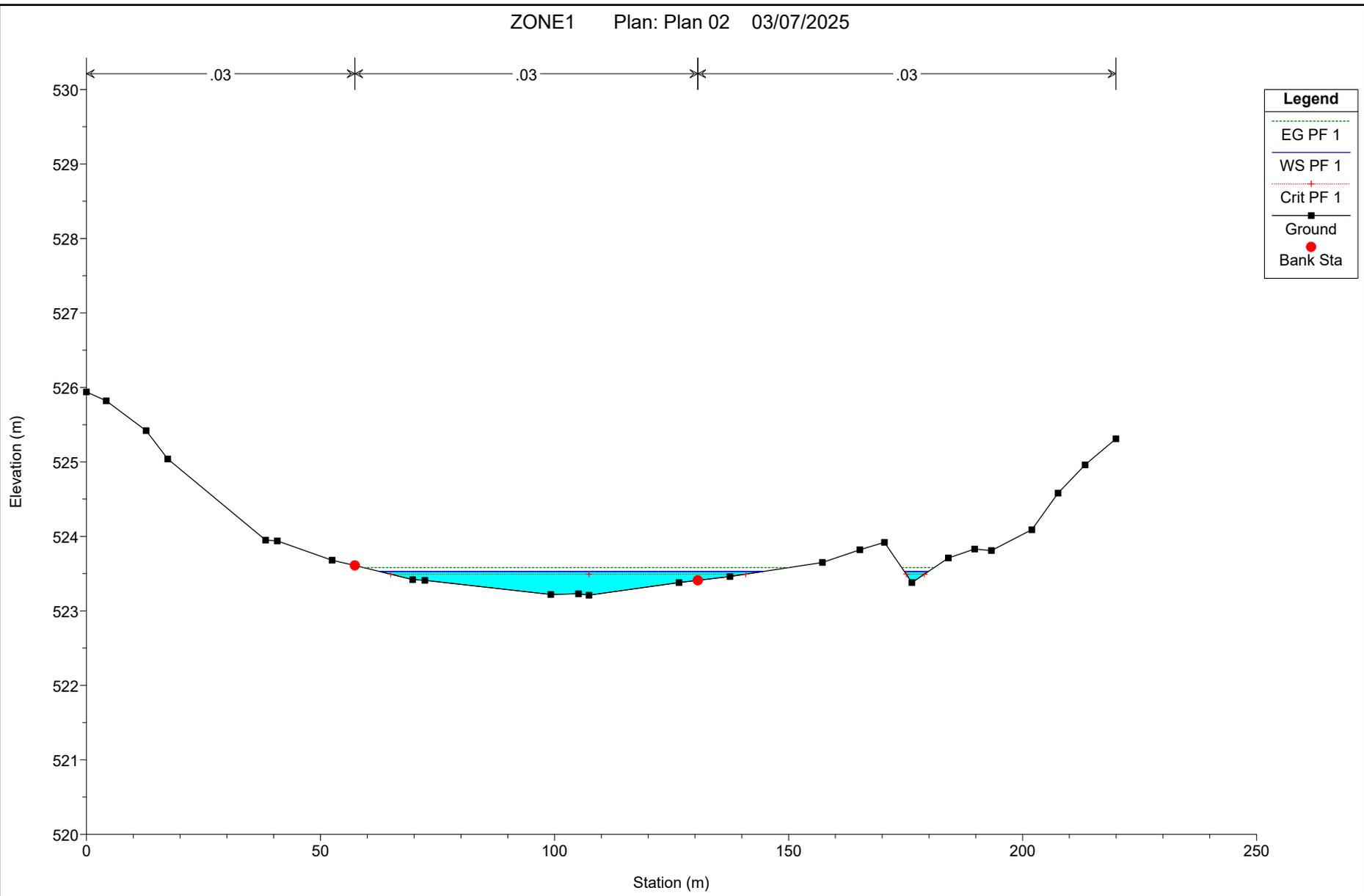
### Highlighted

Qtotal (cms)	=	19,3880
Qpipe (cms)	=	19,3880
Qovertop (cms)	=	0,0000
Veloc Dn (m/s)	=	3,1679
Veloc Up (m/s)	=	2,8749
HGL Dn (m)	=	515,7110
HGL Up (m)	=	515,9180
Hw Elev (m)	=	516,4310
Hw/D (m)	=	0,8185
Flow Regime	=	Inlet Control

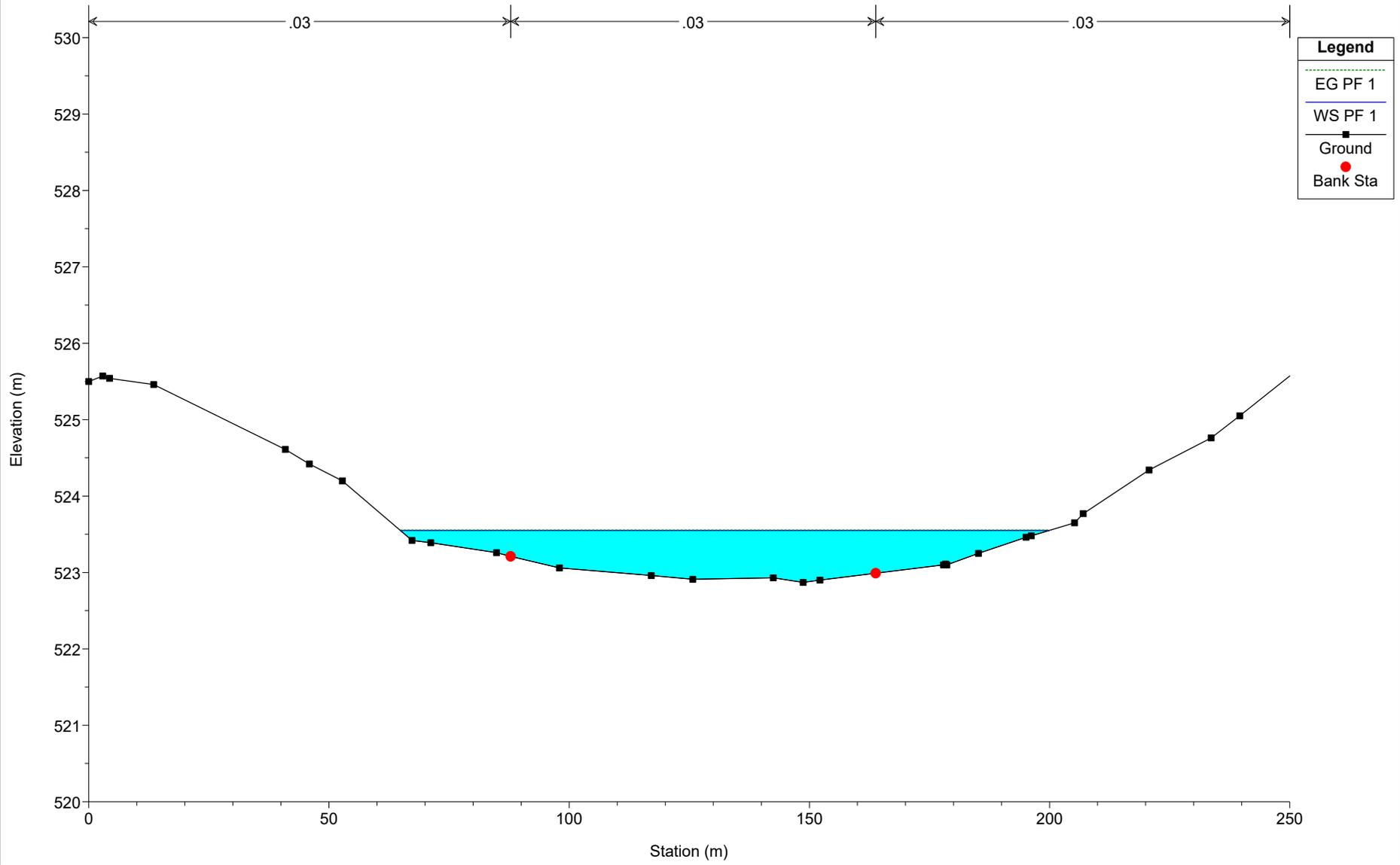
### Embankment

Top Elevation (m)	=	518,0000
Top Width (m)	=	8,0000
Crest Width (m)	=	40,0000

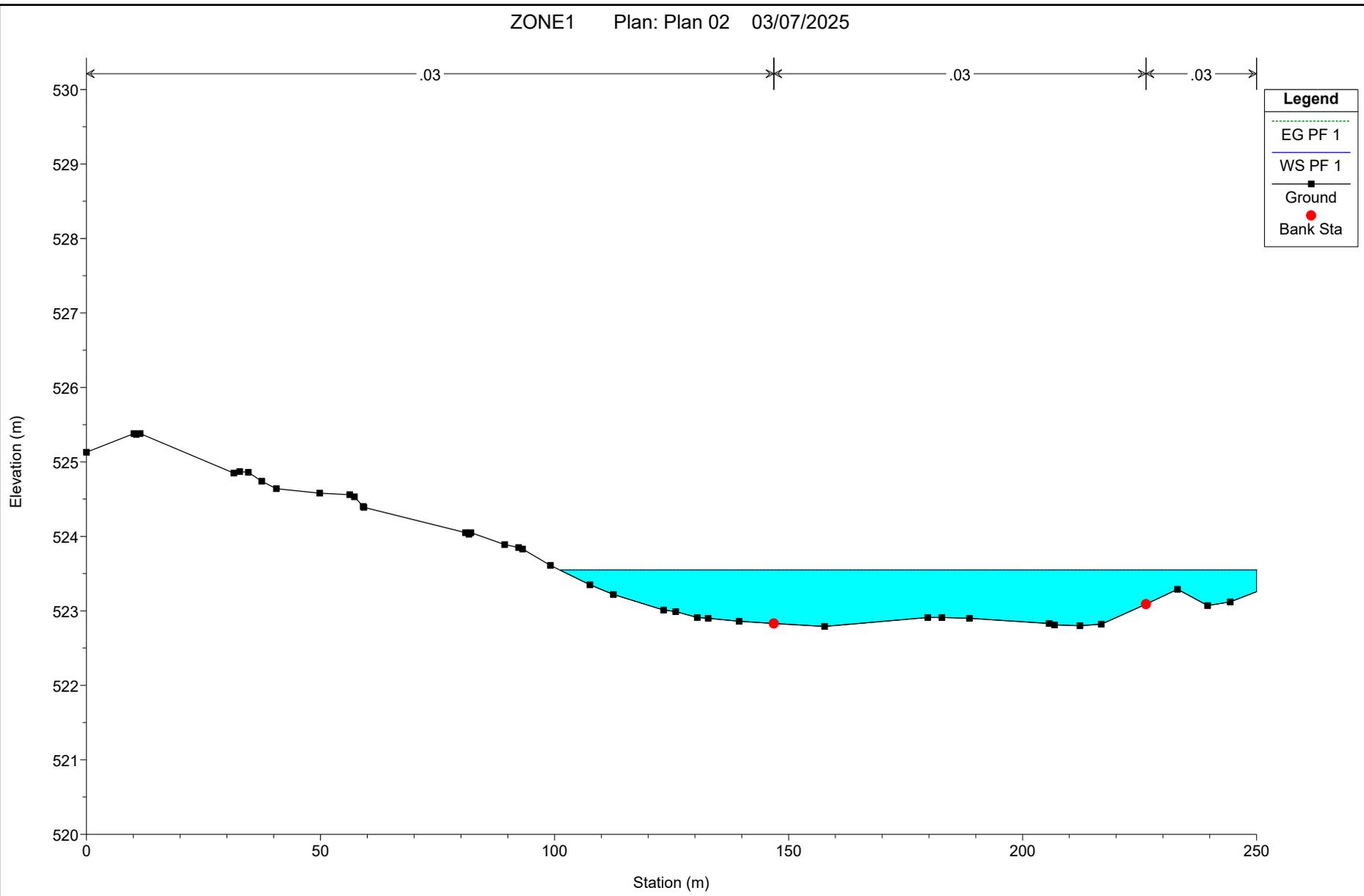


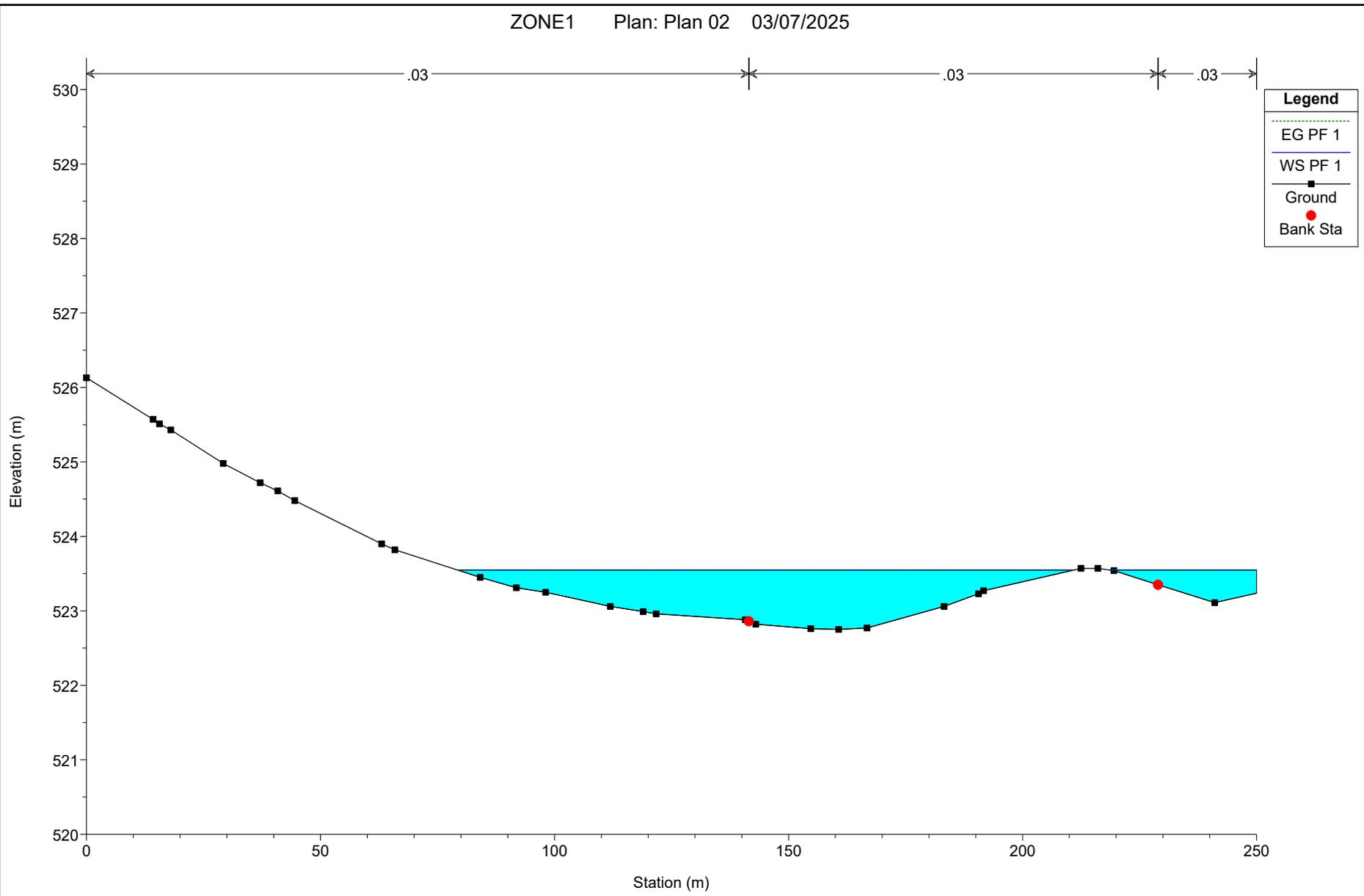


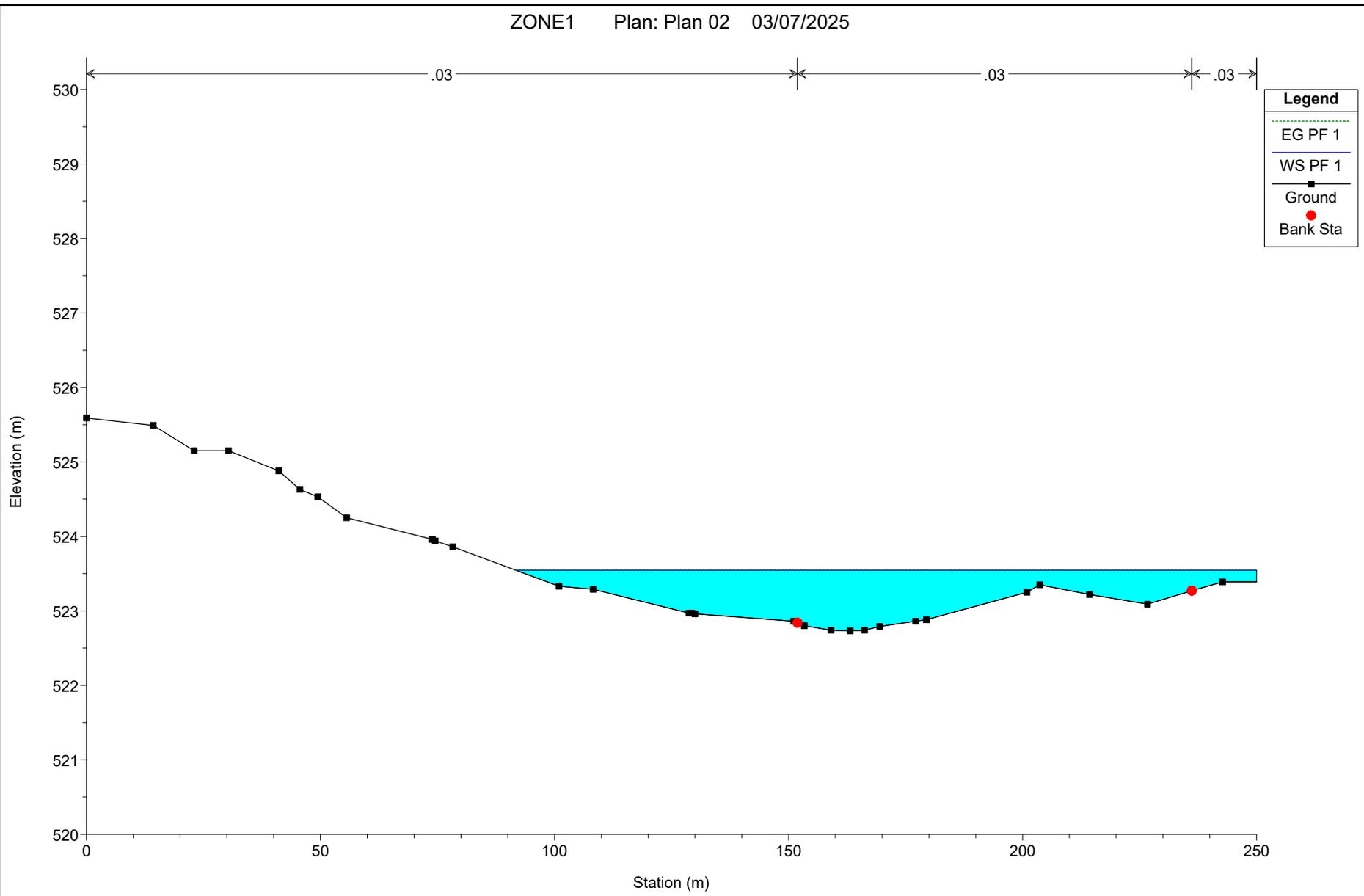
ZONE1 Plan: Plan 02 03/07/2025



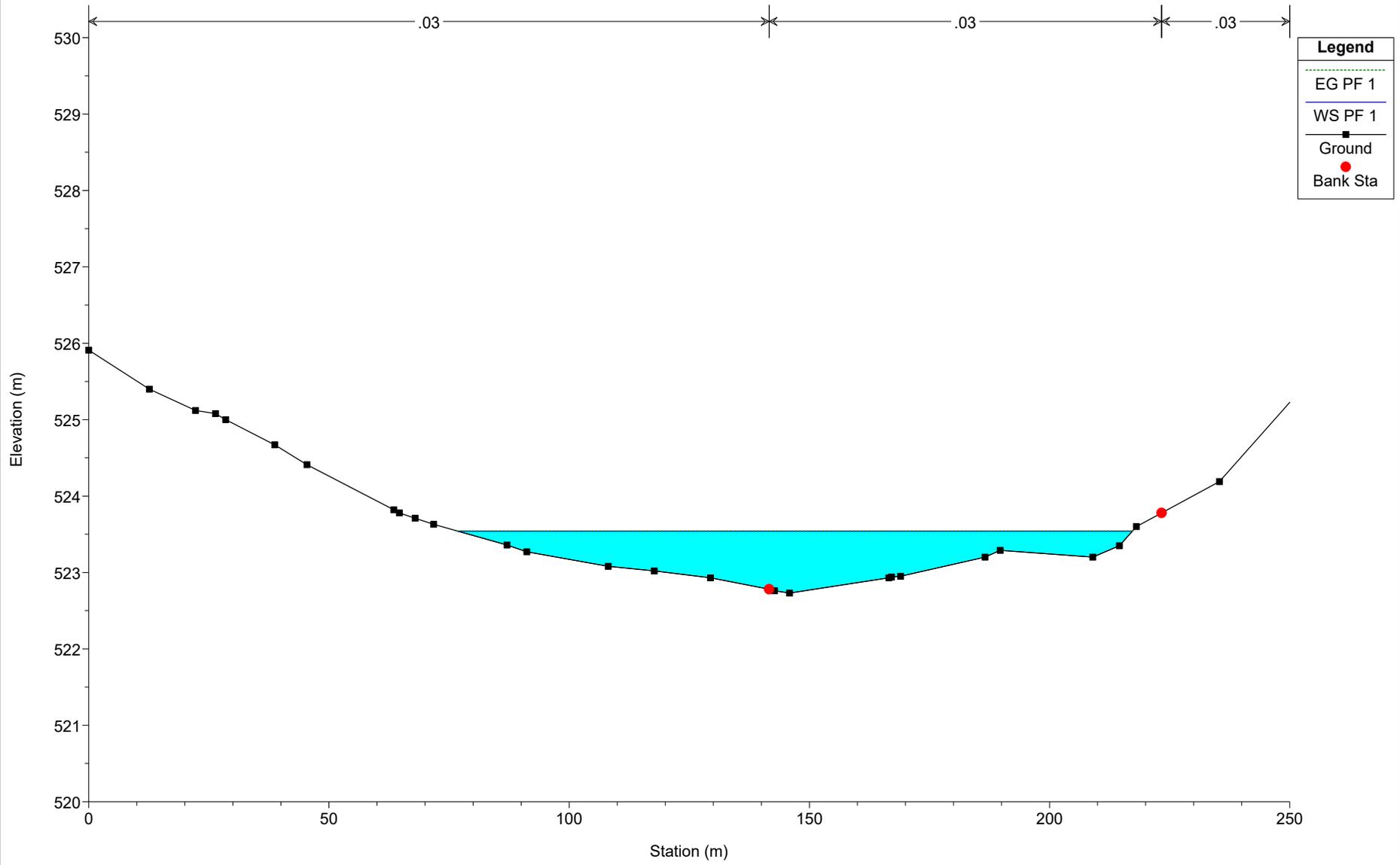
ZONE1 Plan: Plan 02 03/07/2025

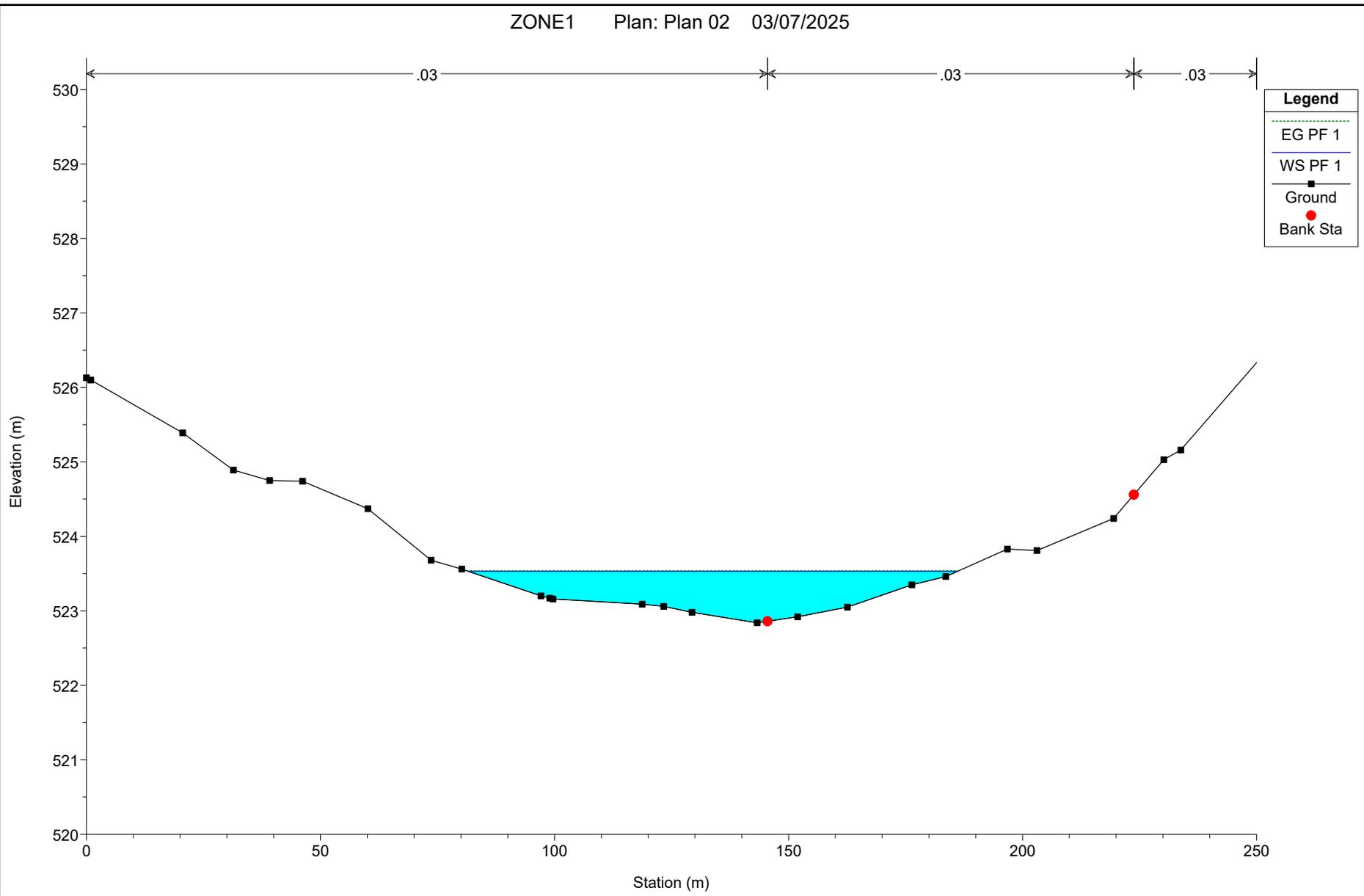




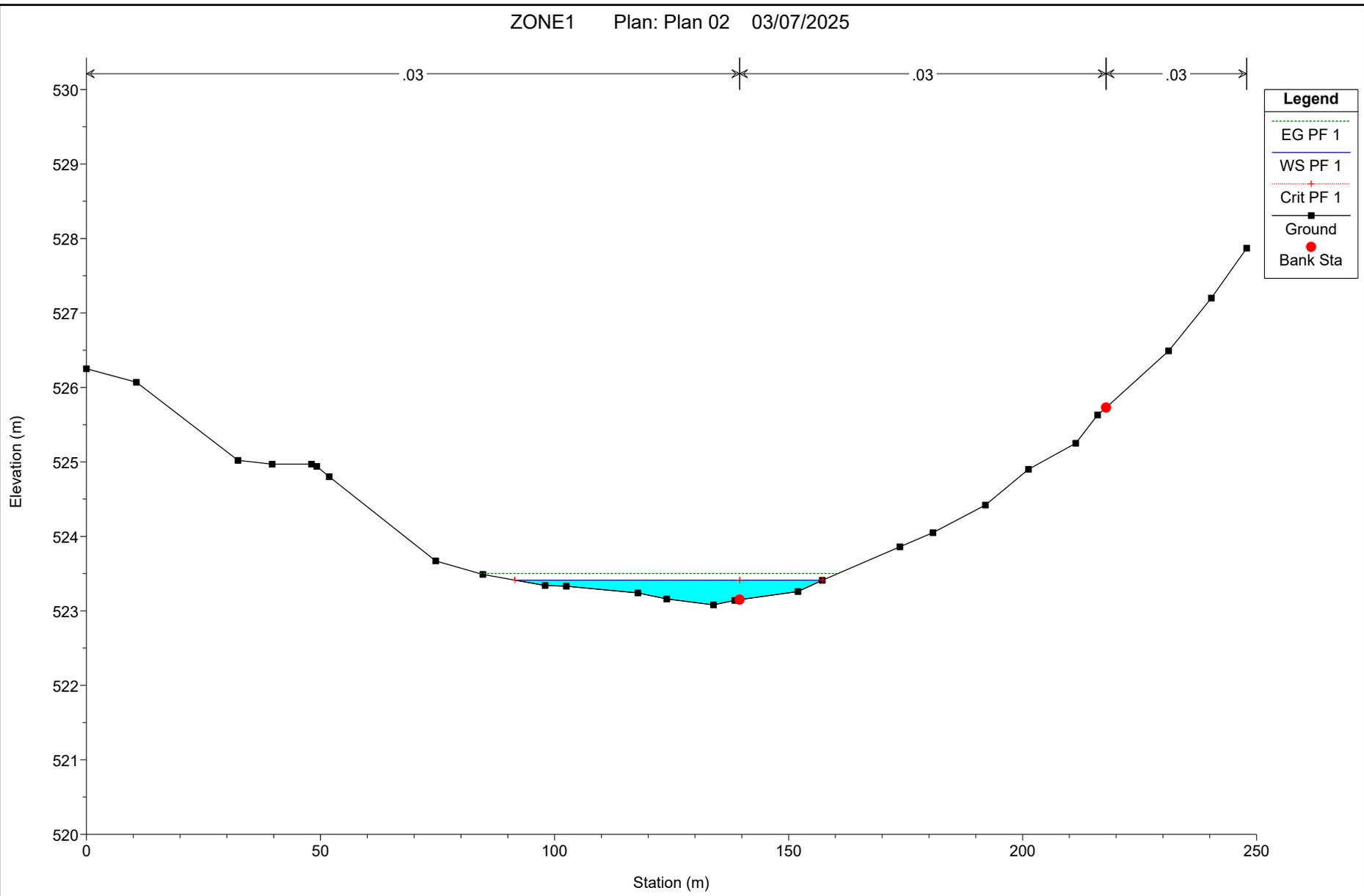


ZONE1 Plan: Plan 02 03/07/2025

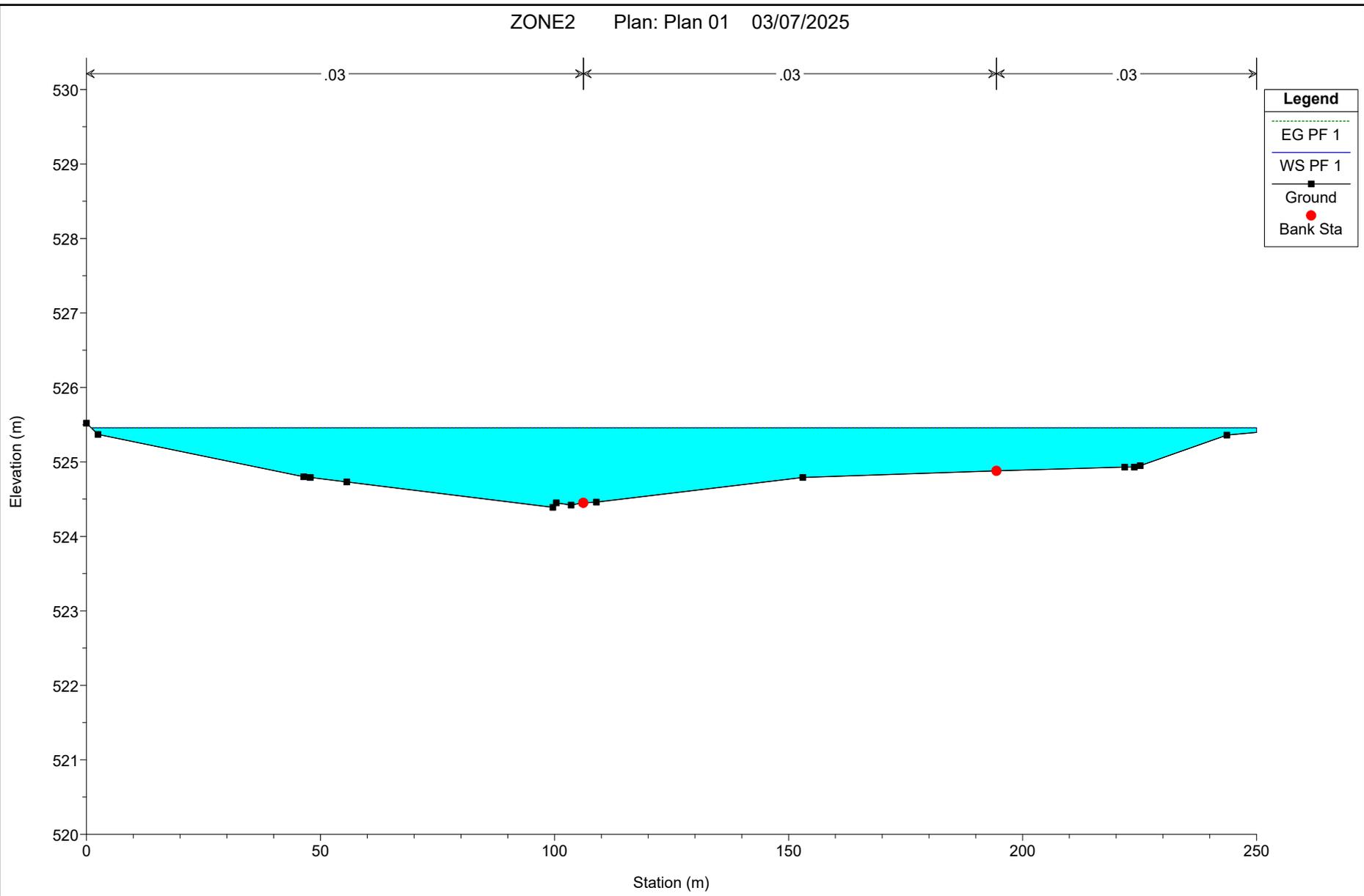


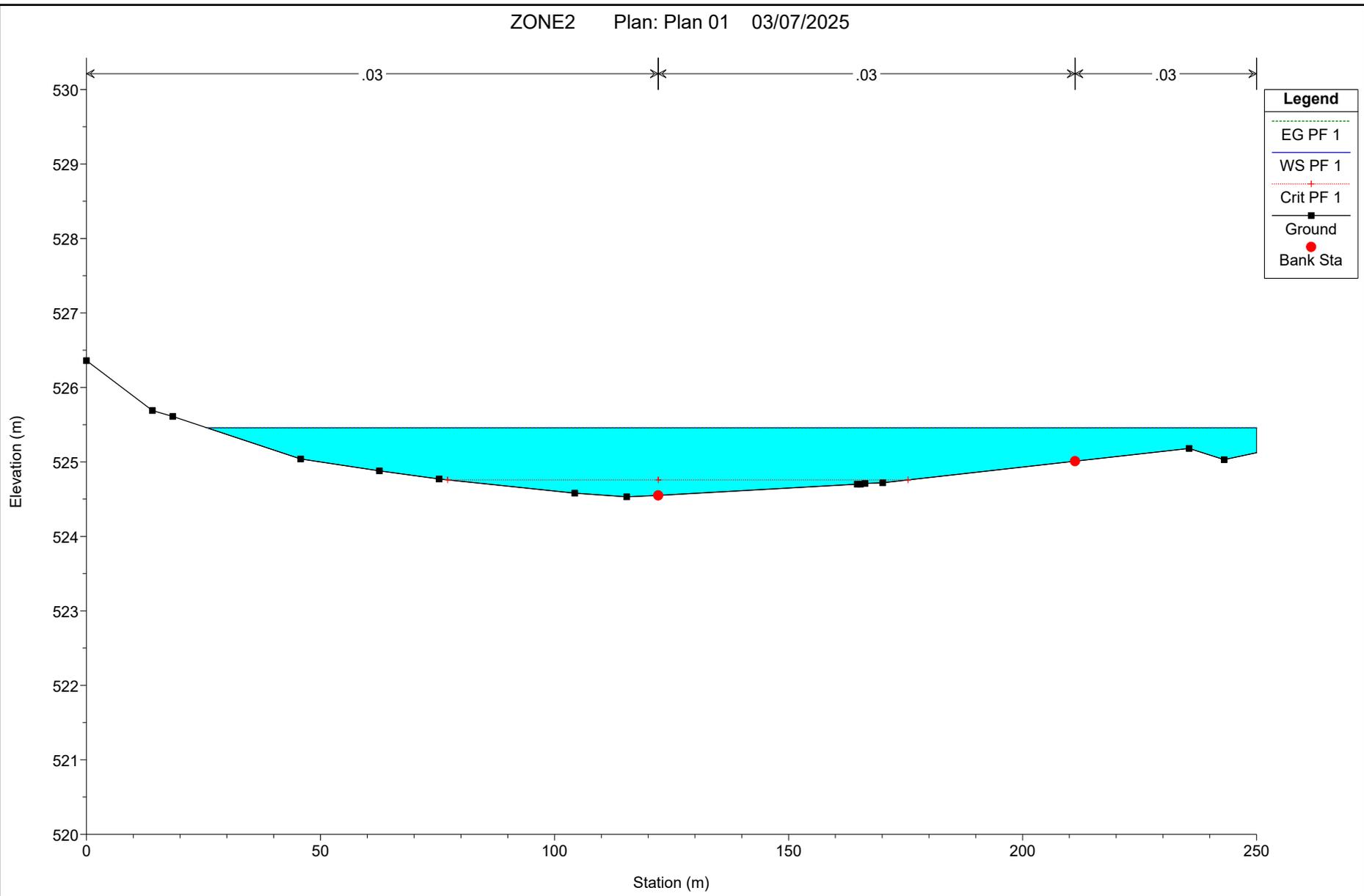


ZONE1 Plan: Plan 02 03/07/2025

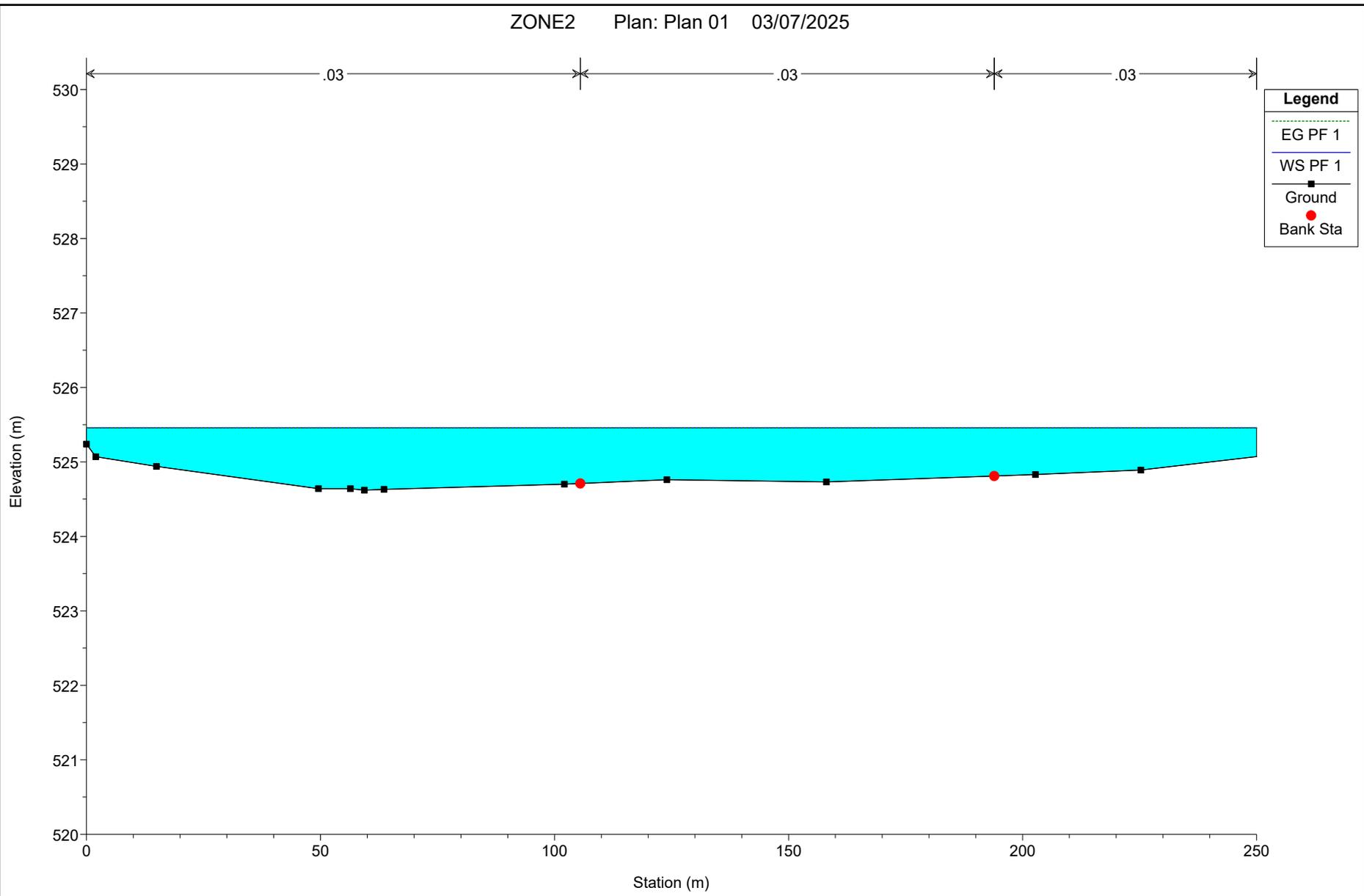


ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025

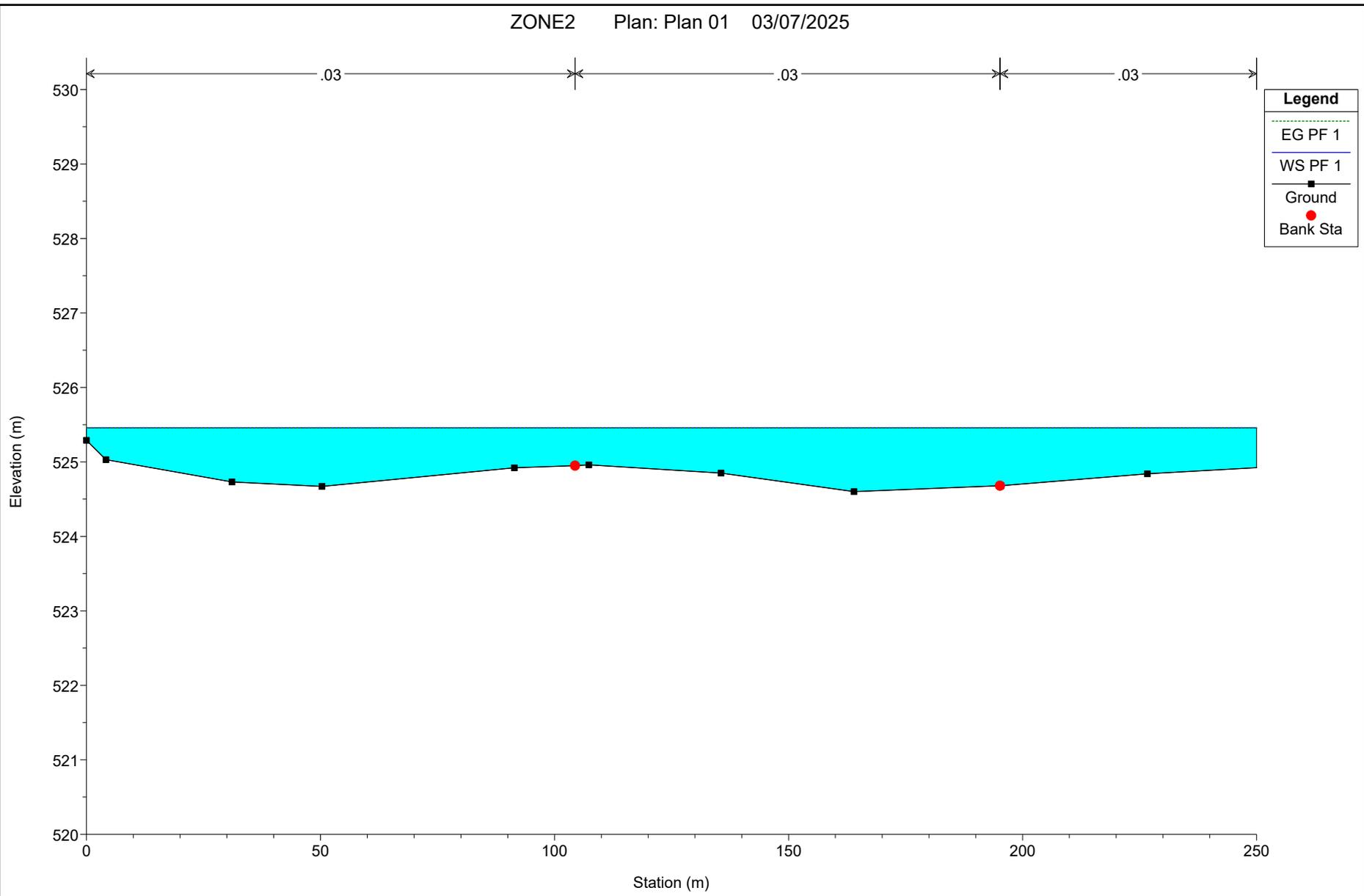




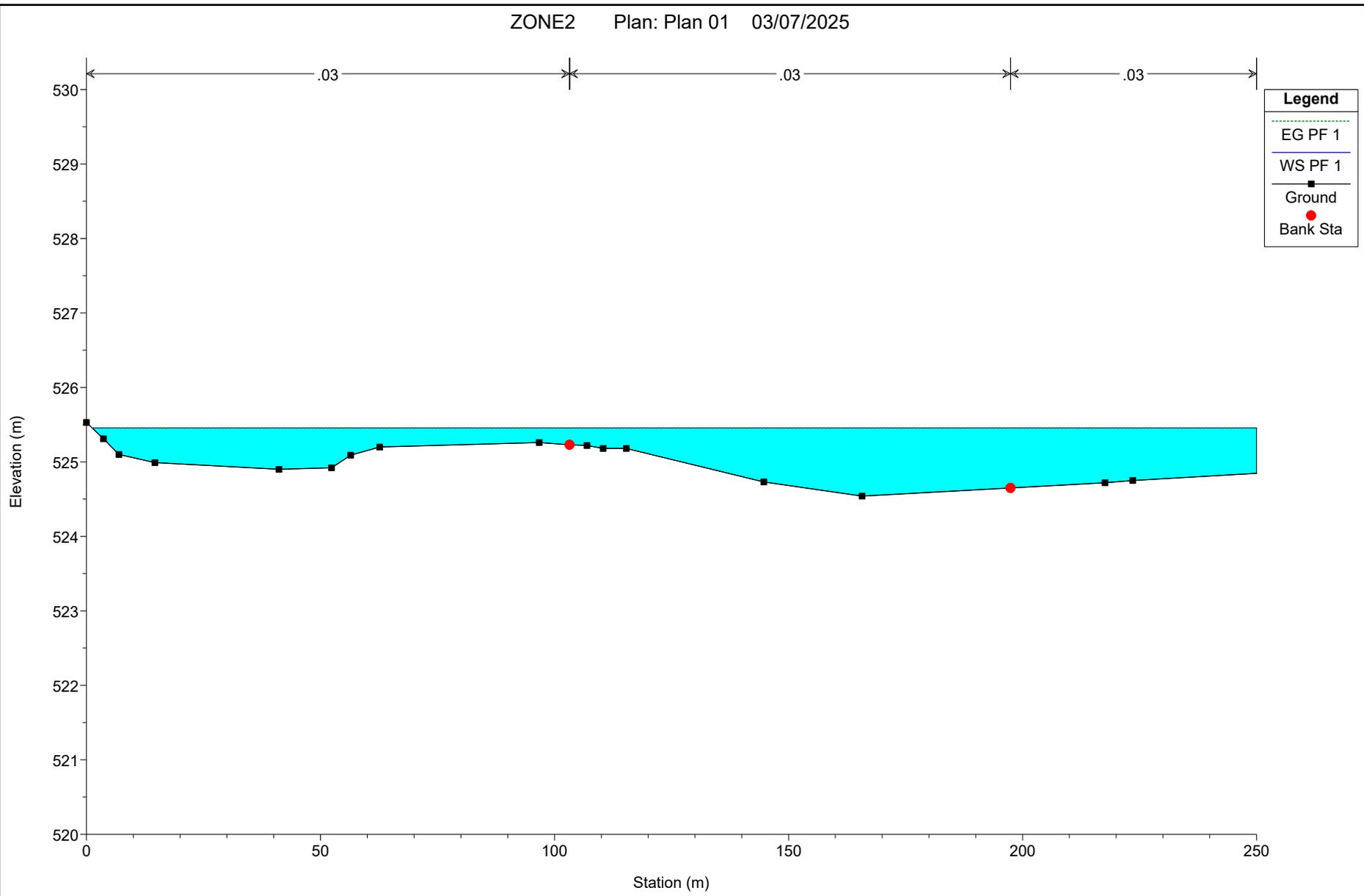
ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025



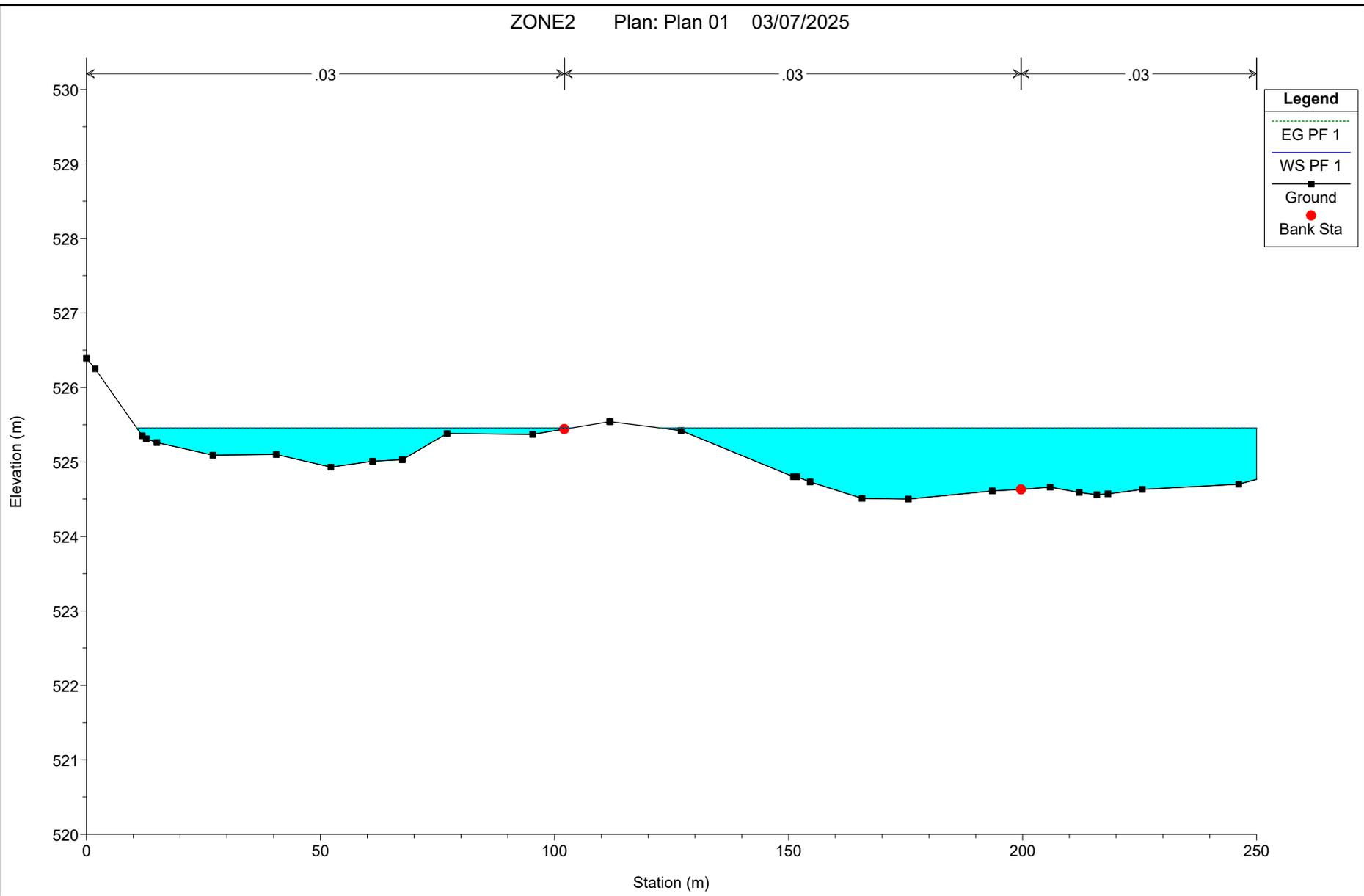
ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025



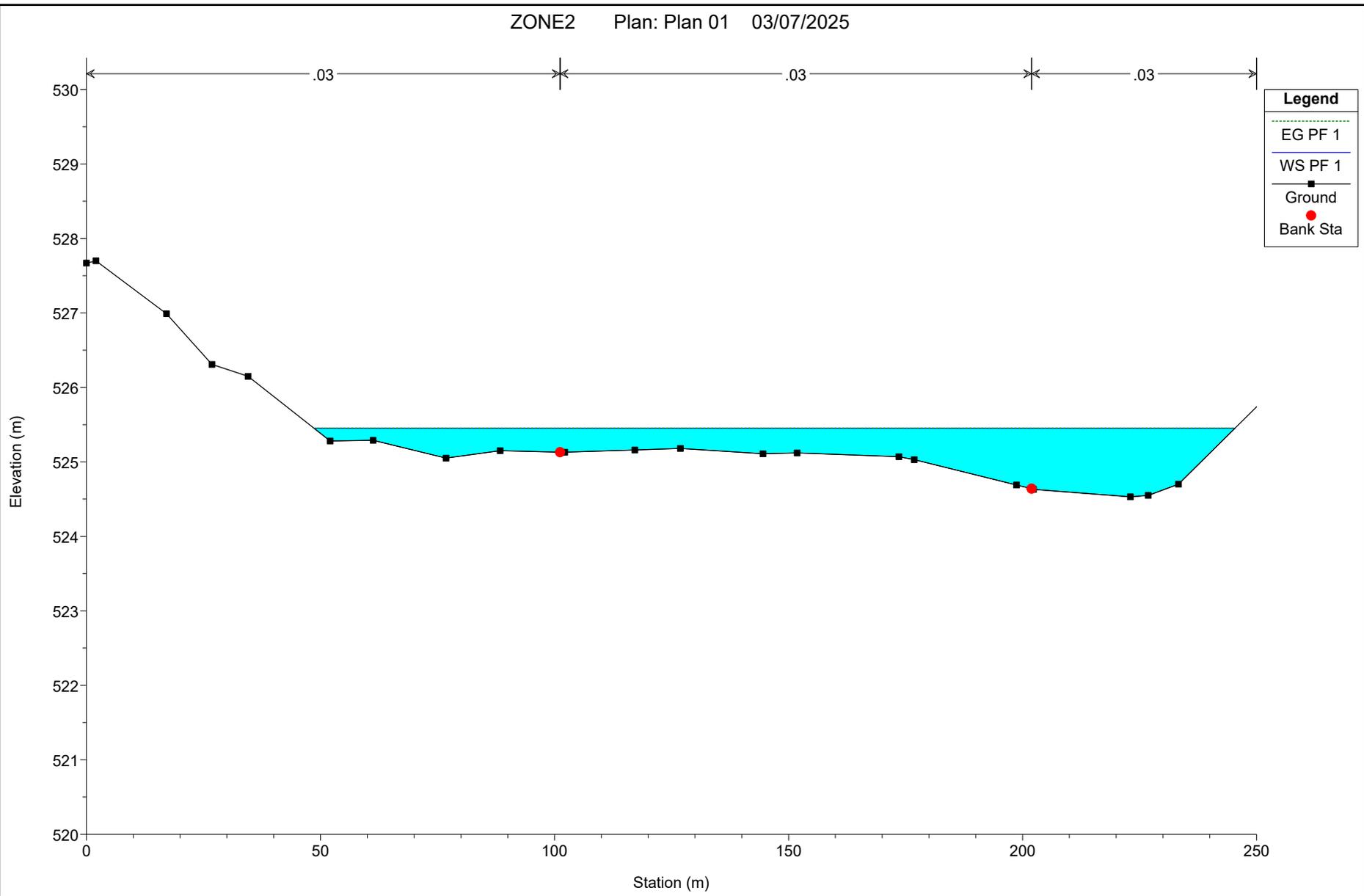
ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025



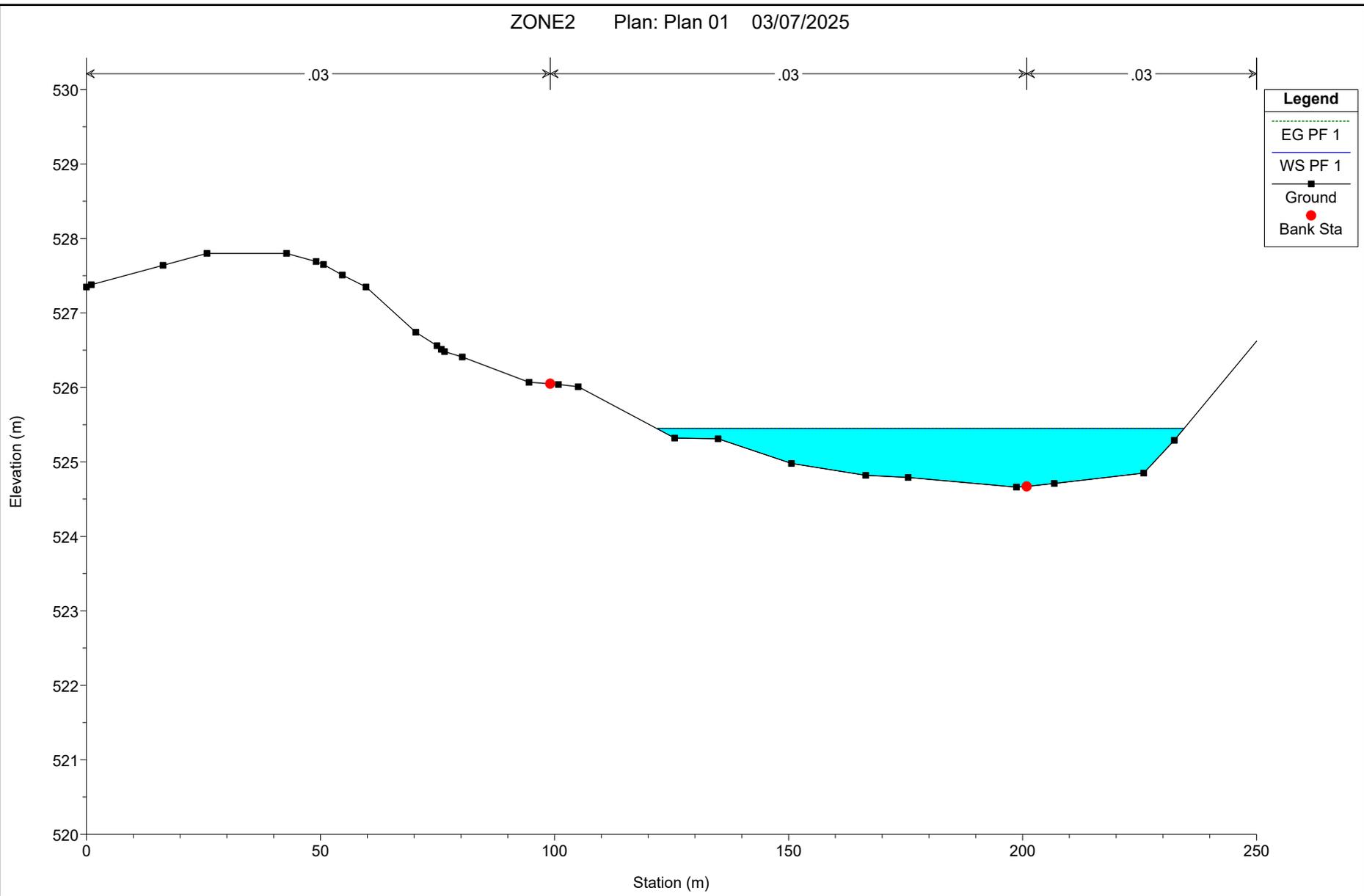
ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025

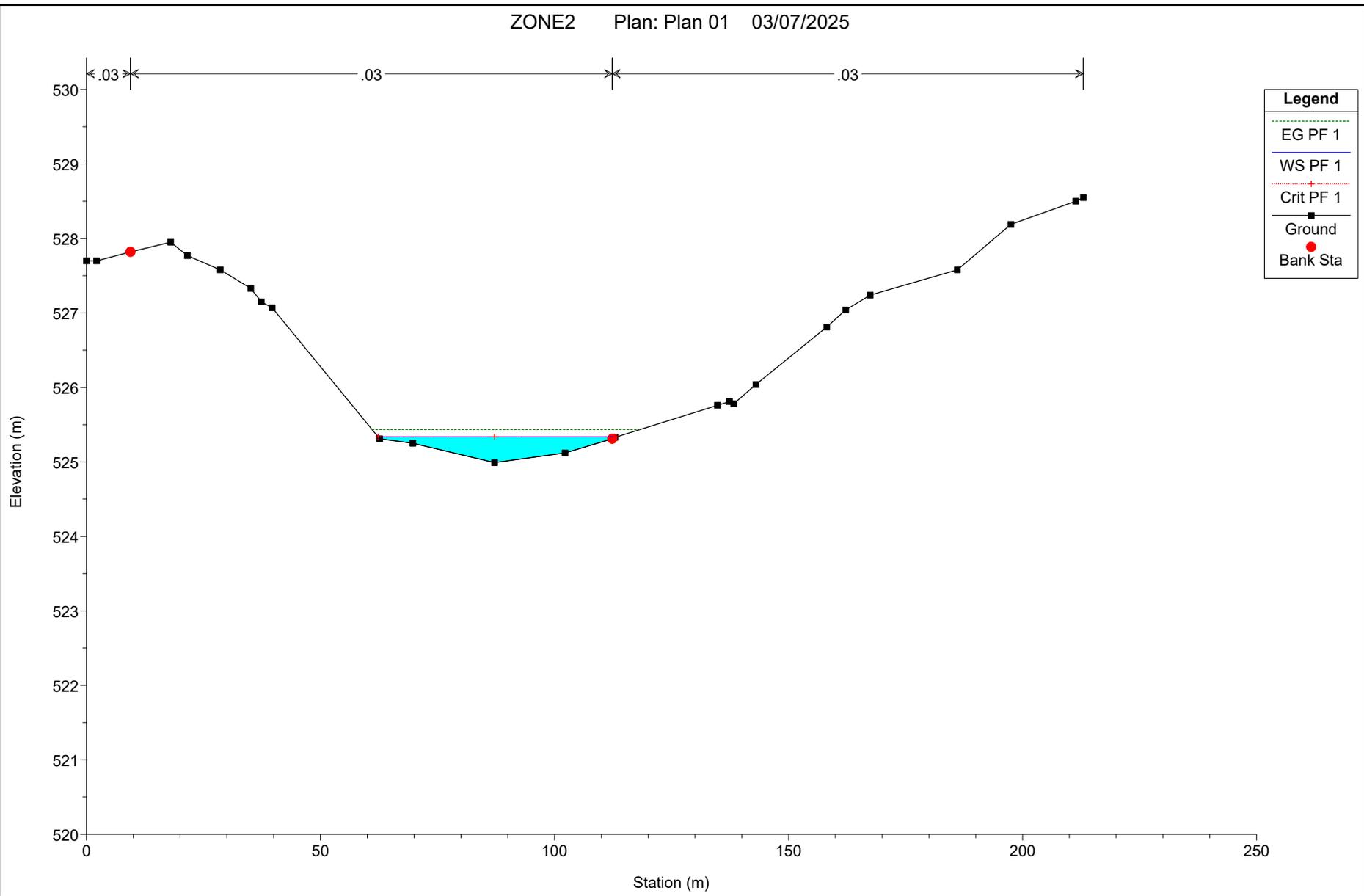


ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025

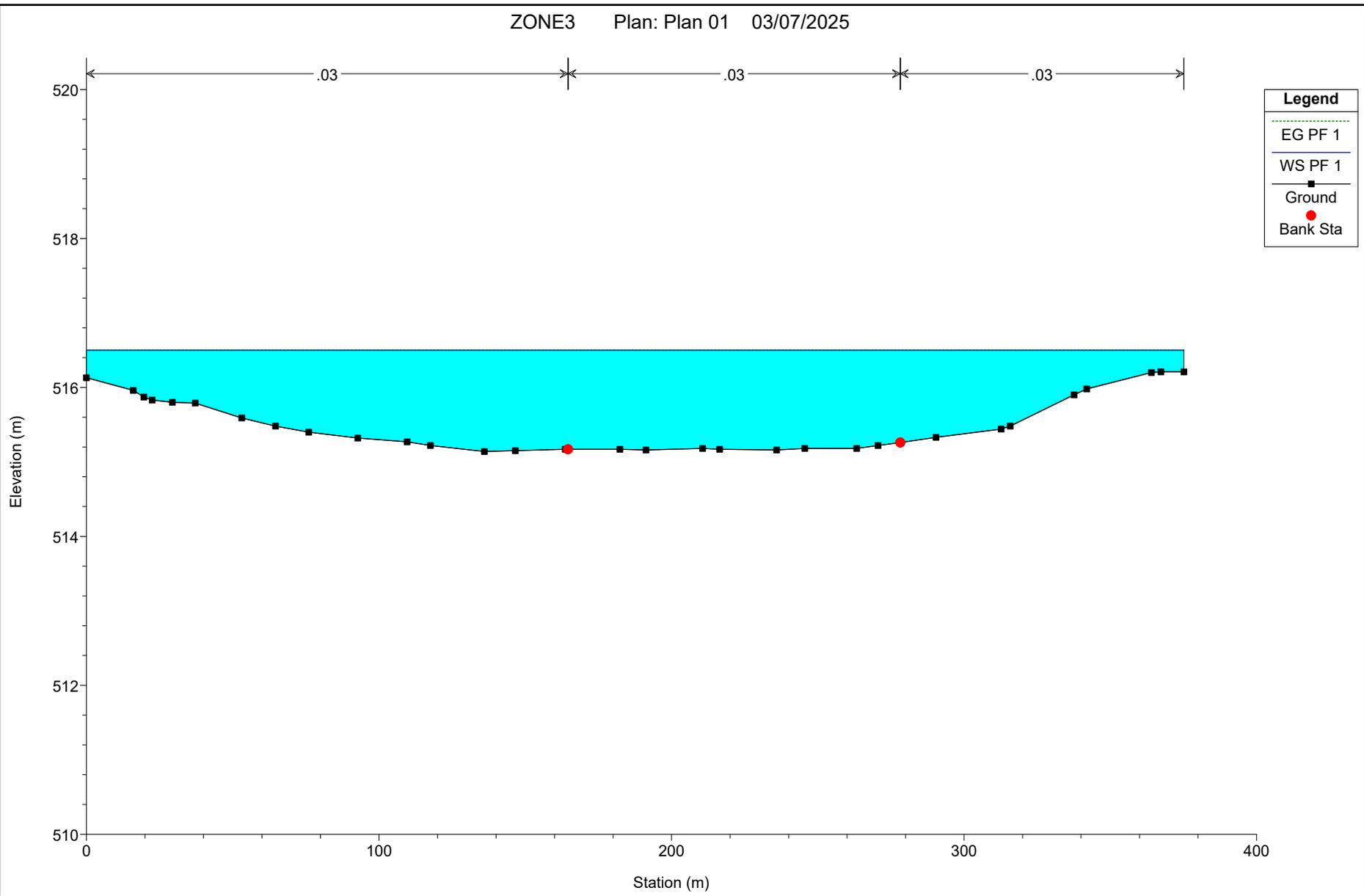


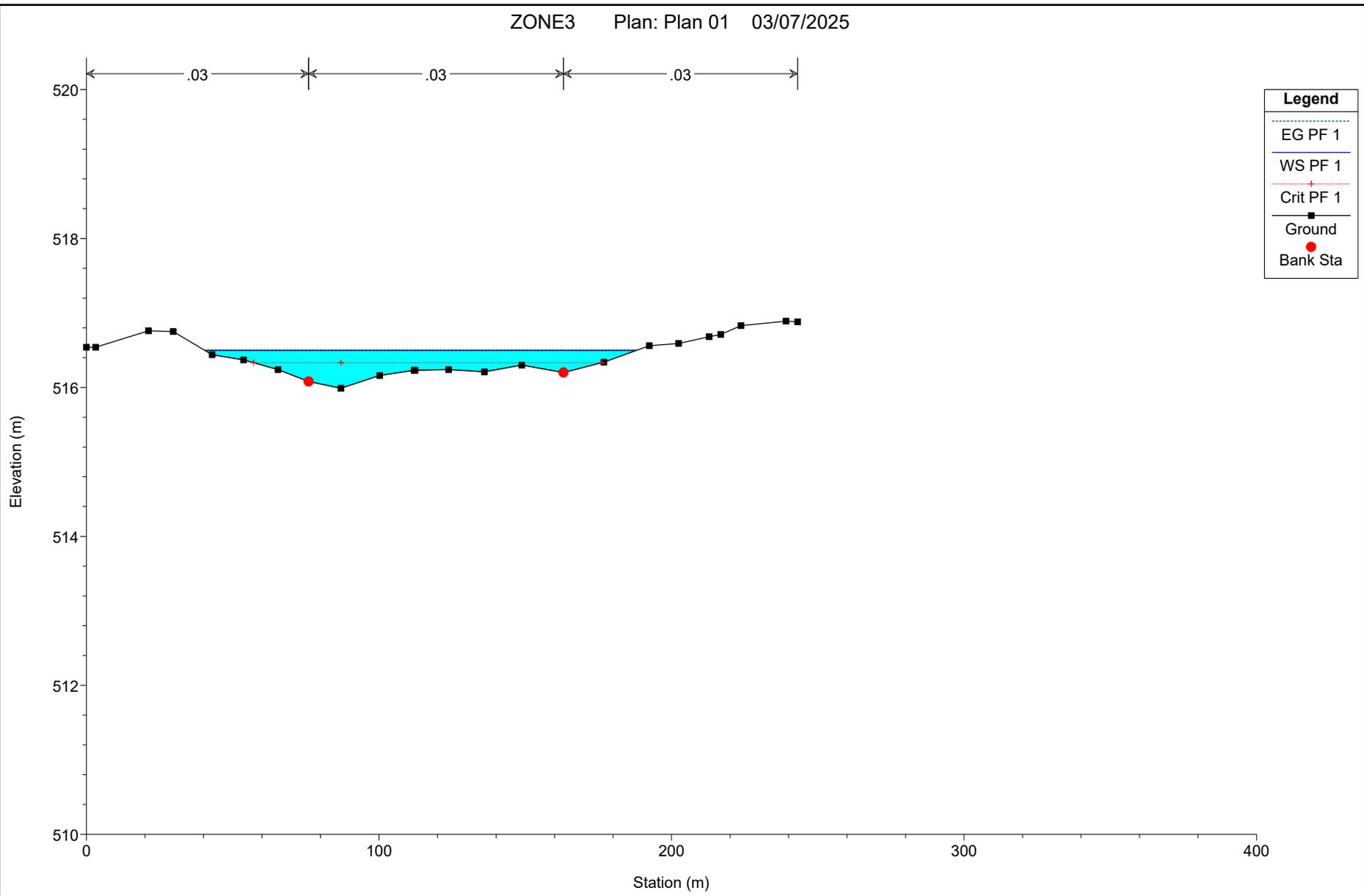
ZONE2 Plan: Plan 01 03/07/2025



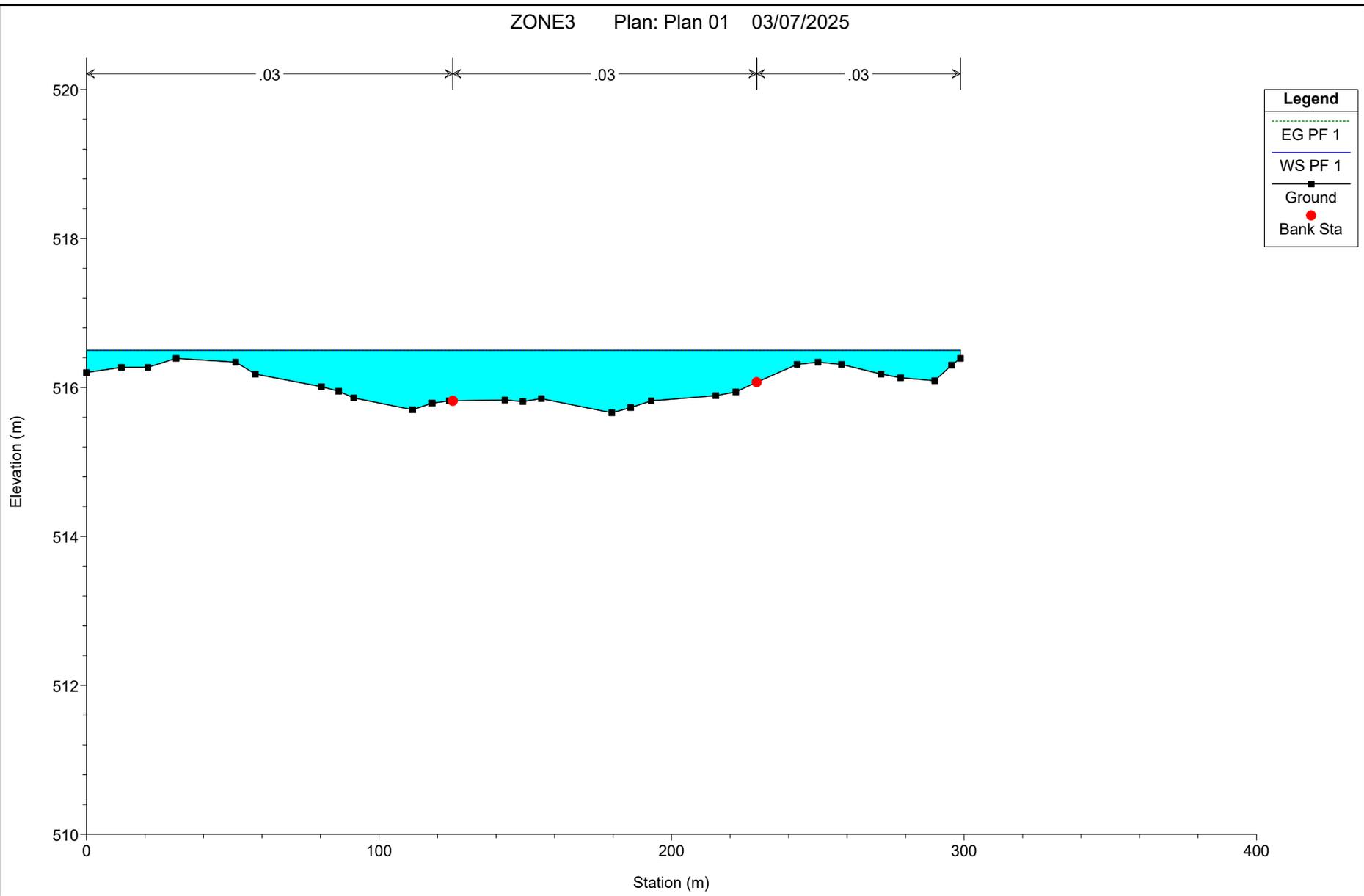


ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025



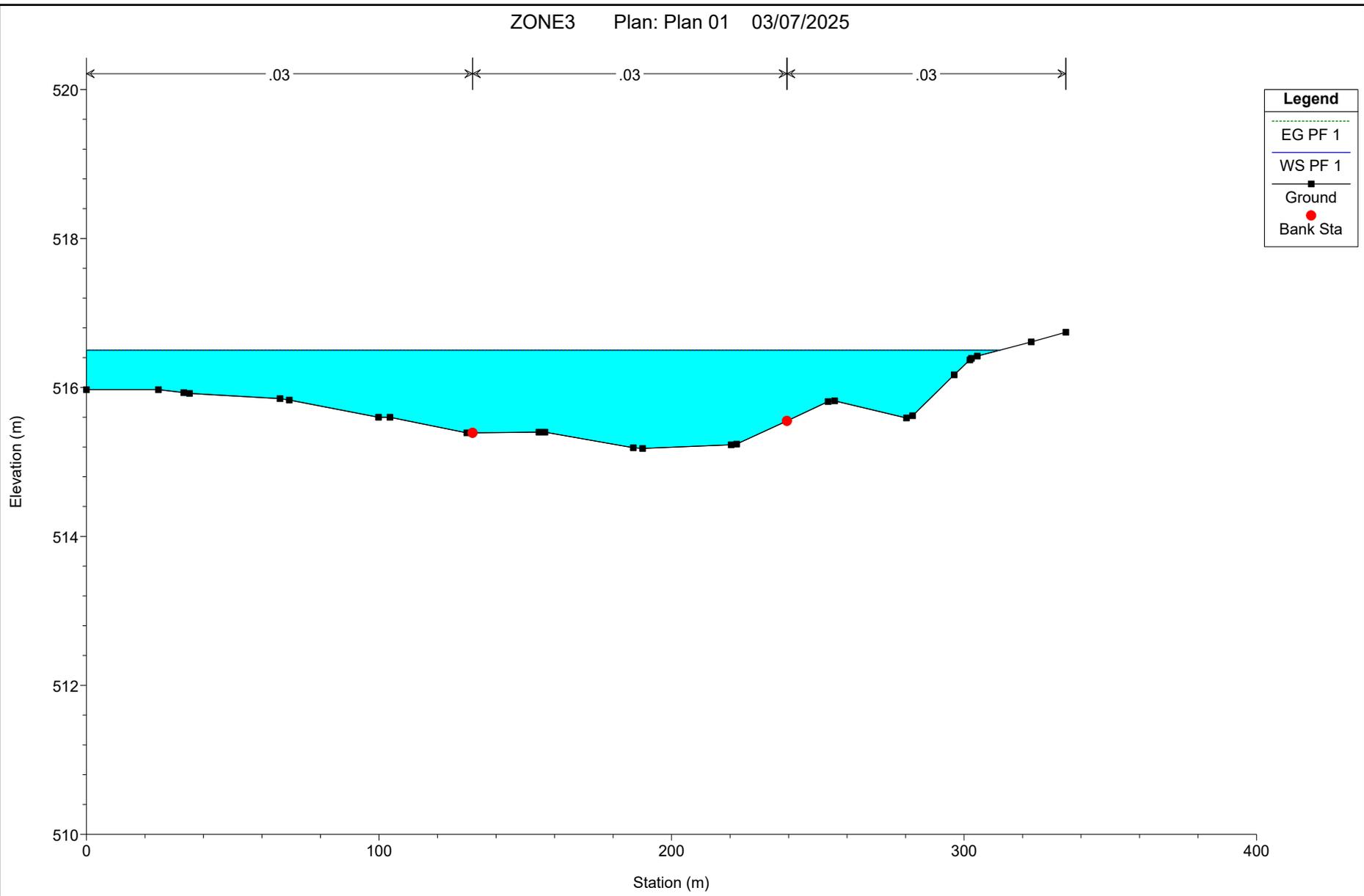


ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025

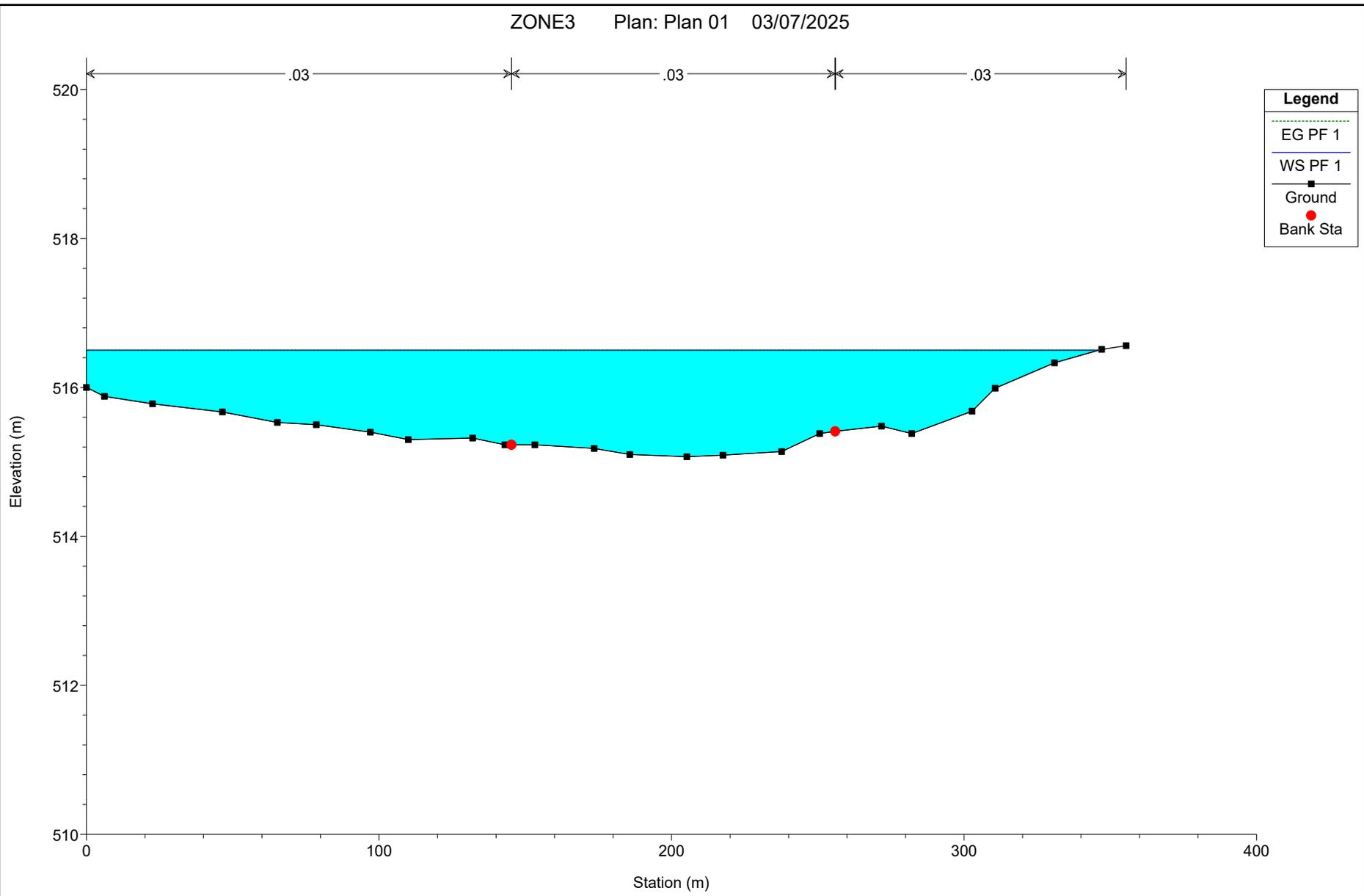


Legend	
EG PF 1	--- (dashed green line)
WS PF 1	— (solid blue line)
Ground	■ (black square)
Bank Sta	● (red circle)

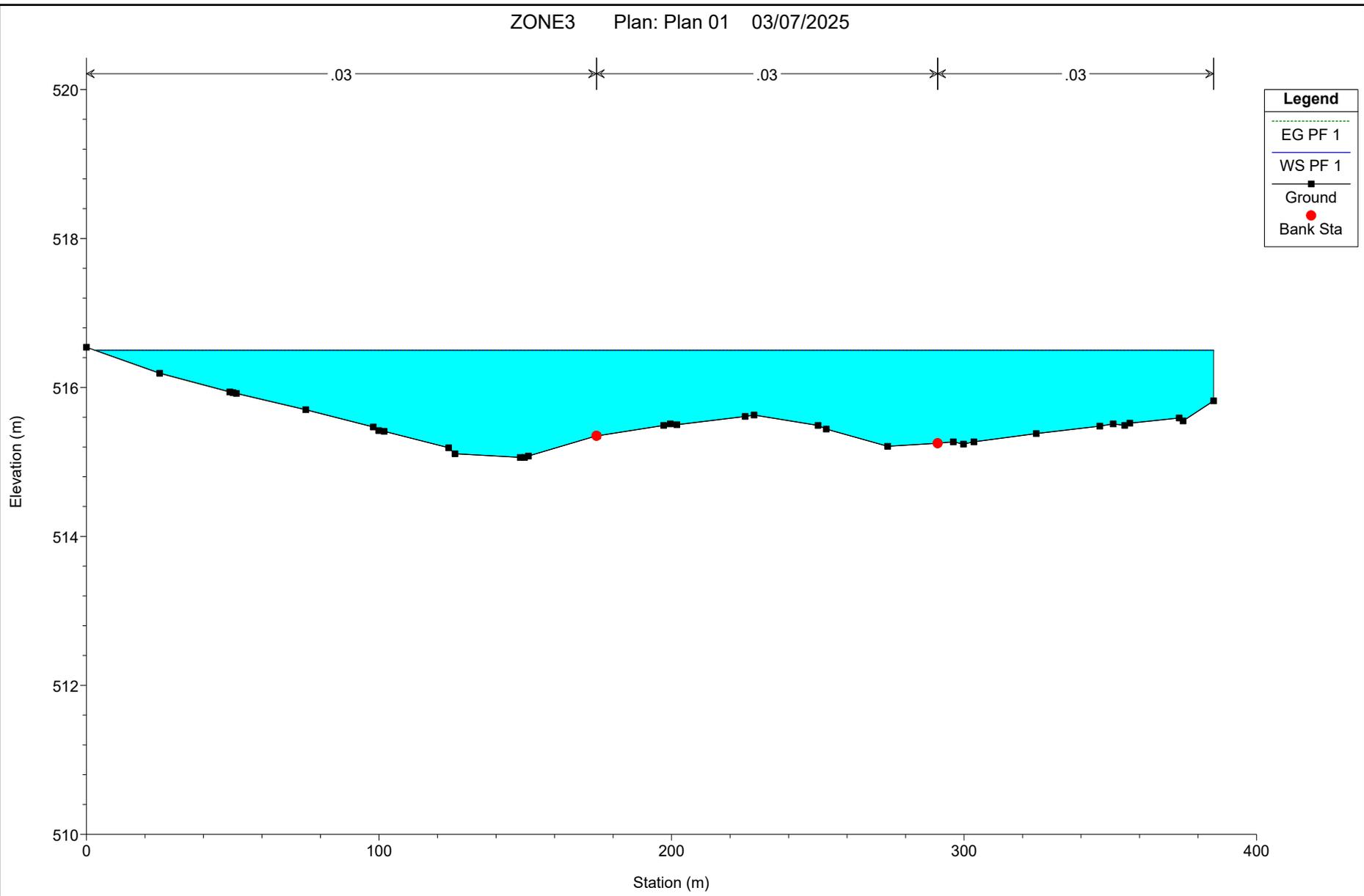
ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025



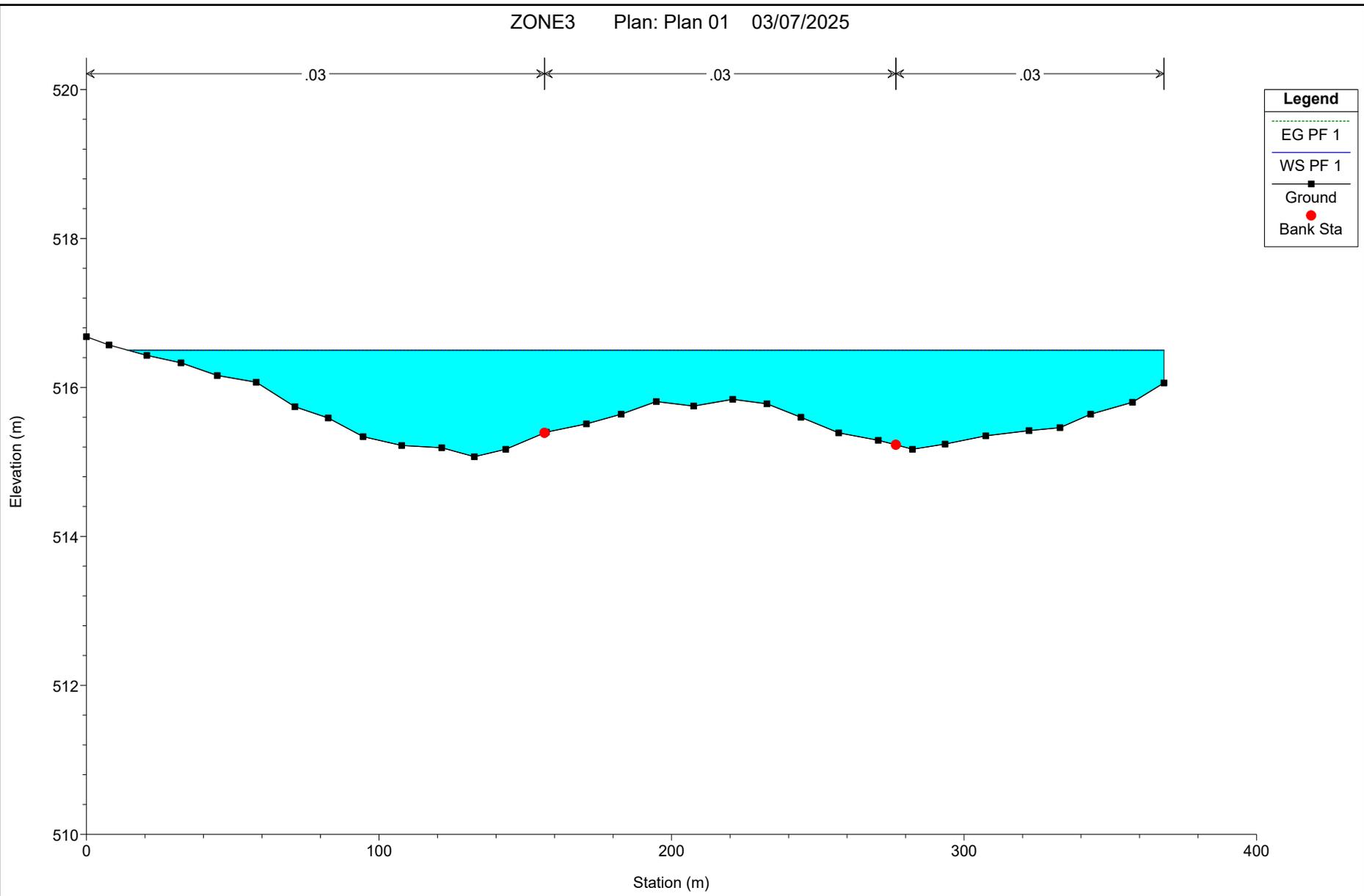
ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025



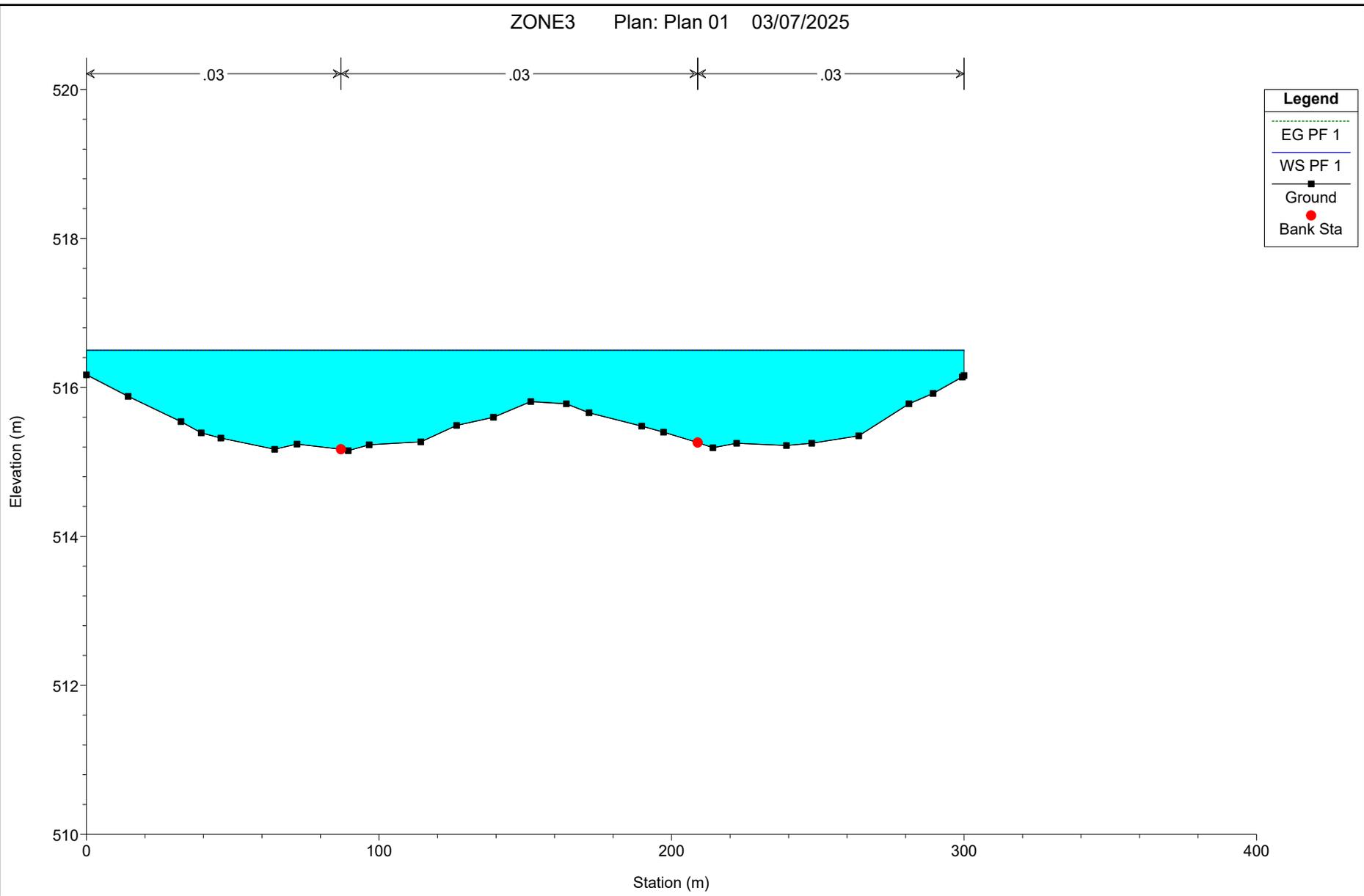
ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025



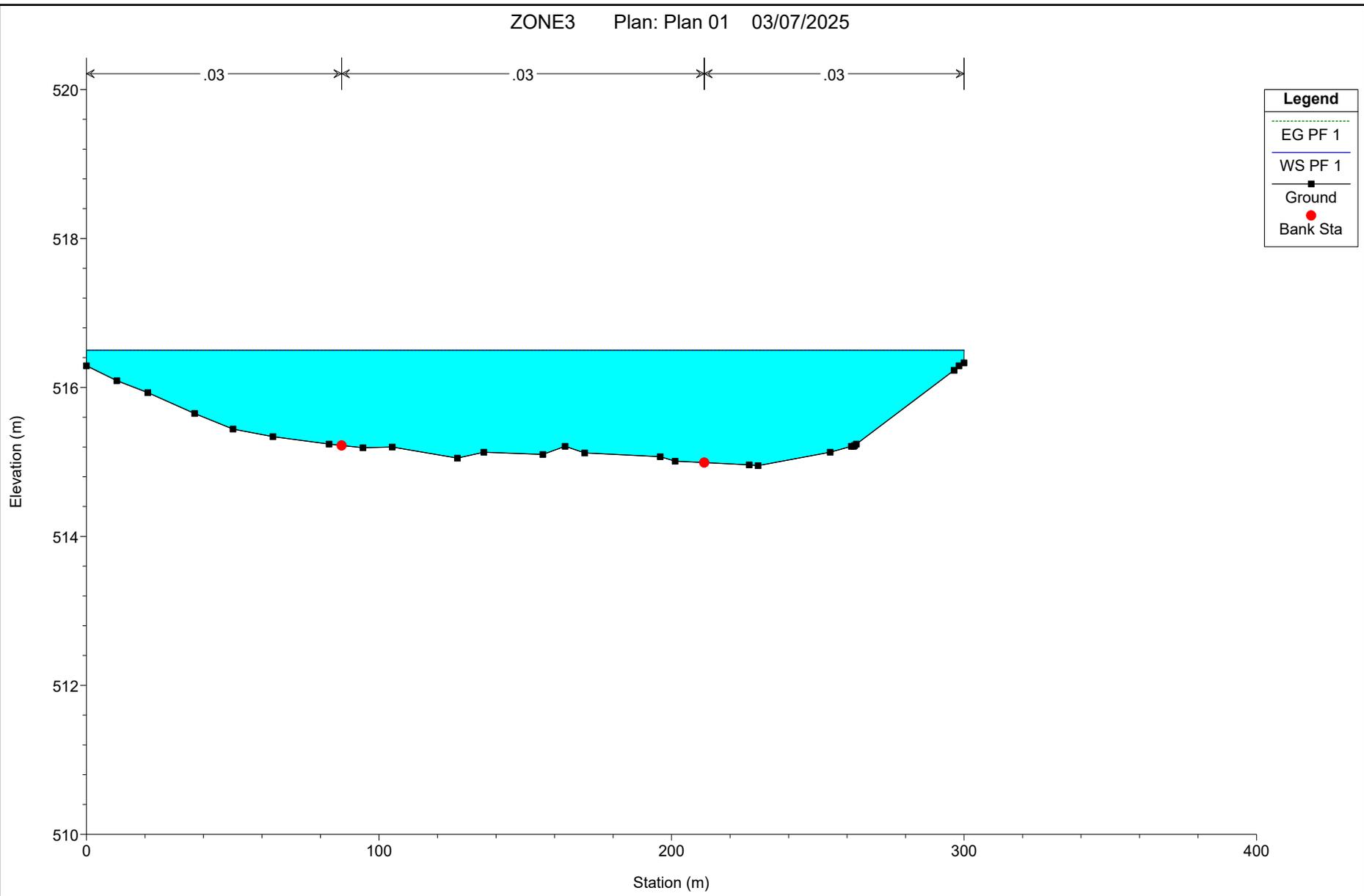
ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025



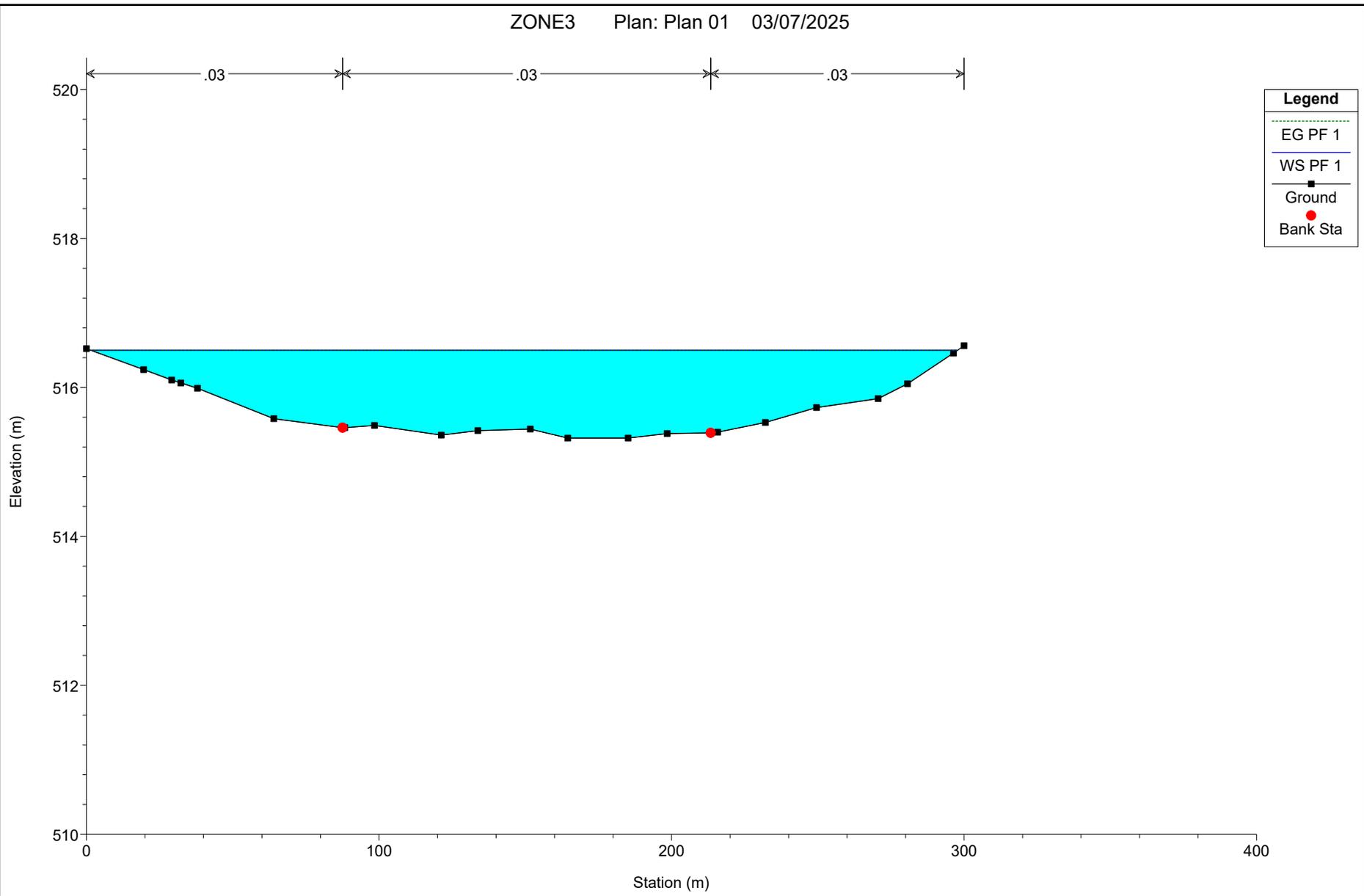
ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025

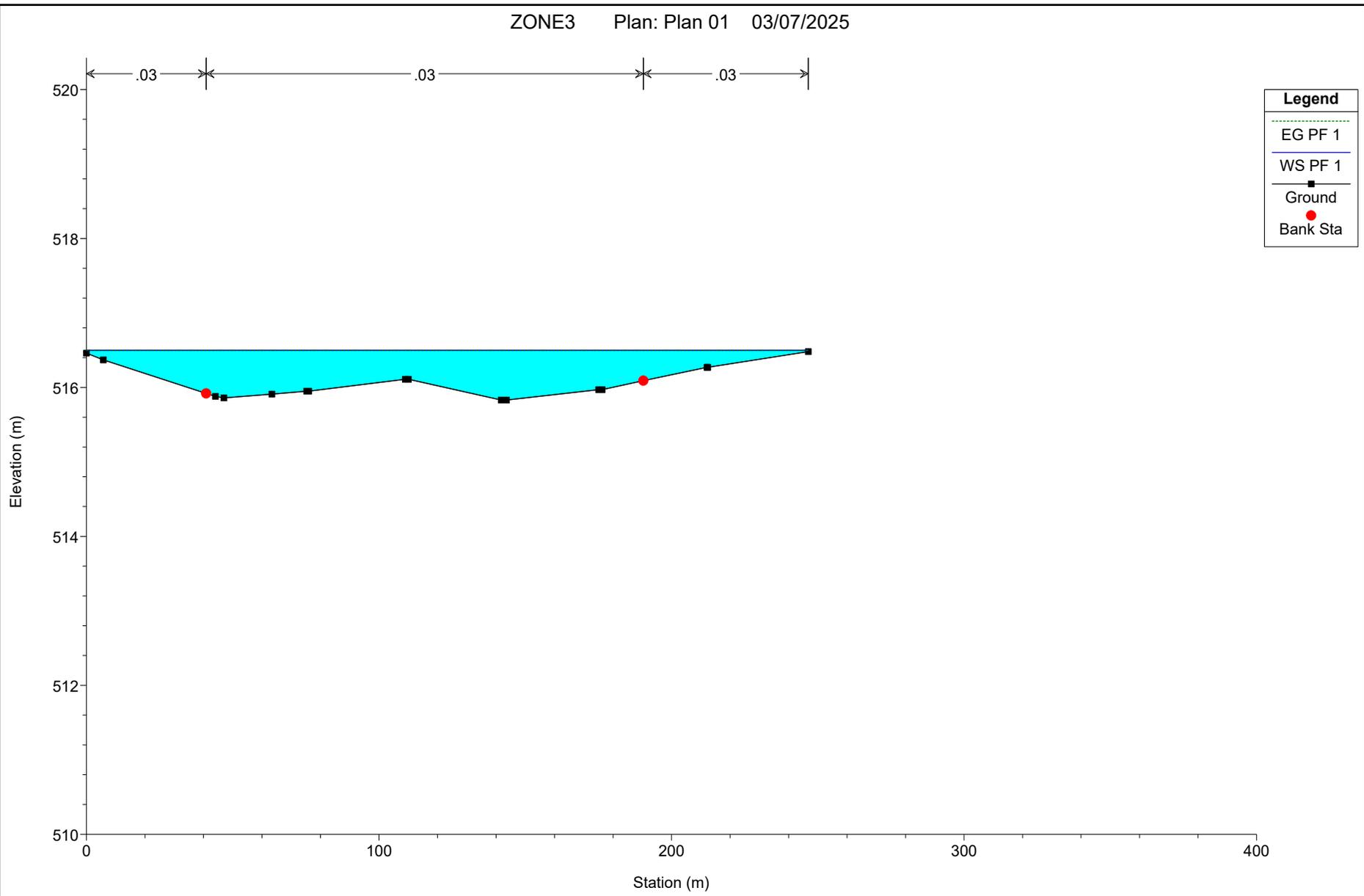


ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025

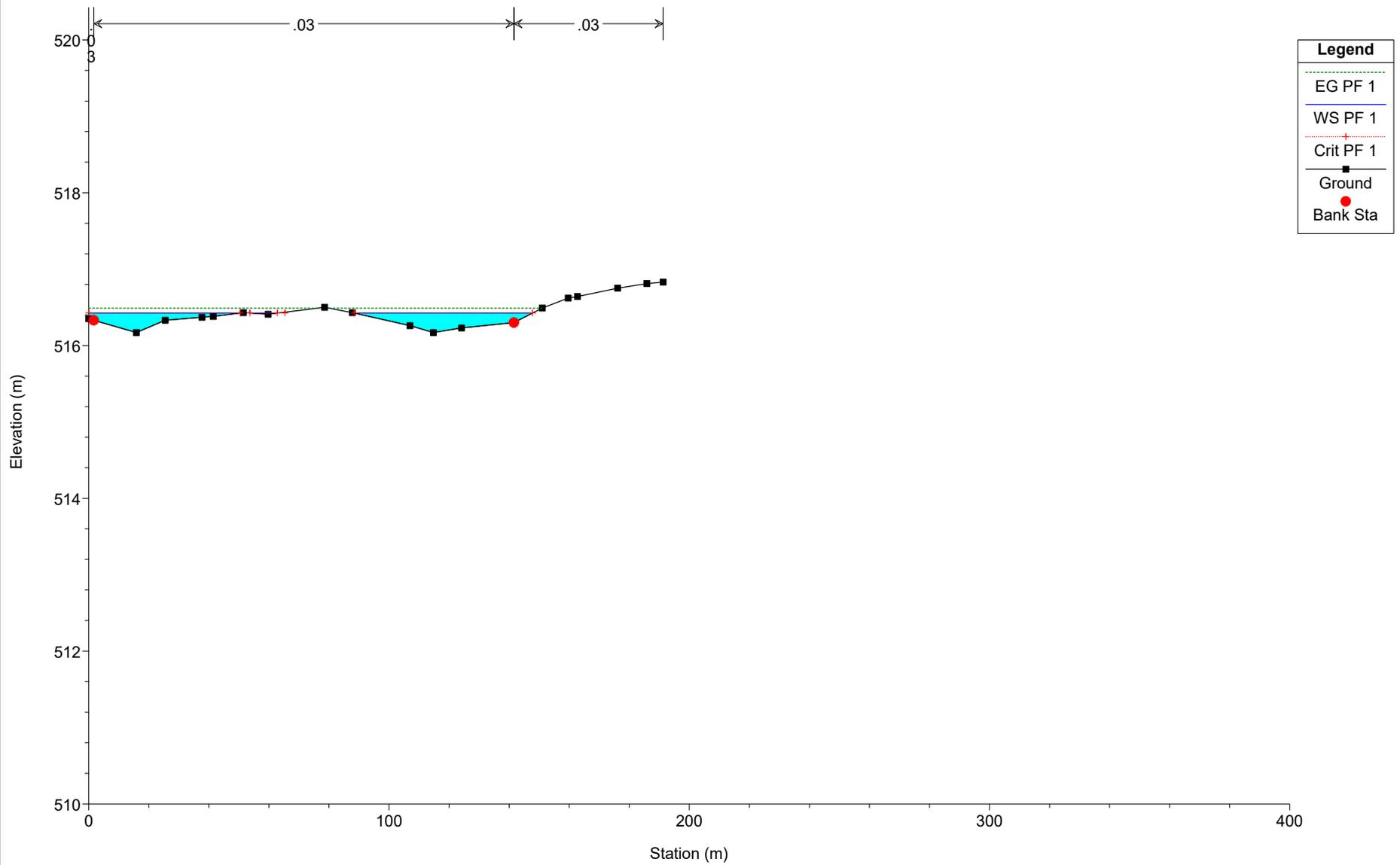


ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025





ZONE3 Plan: Plan 01 03/07/2025



# Annexe Chapitre 5

# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 642+594 au PK 642+785 RD

### Trapezoidal

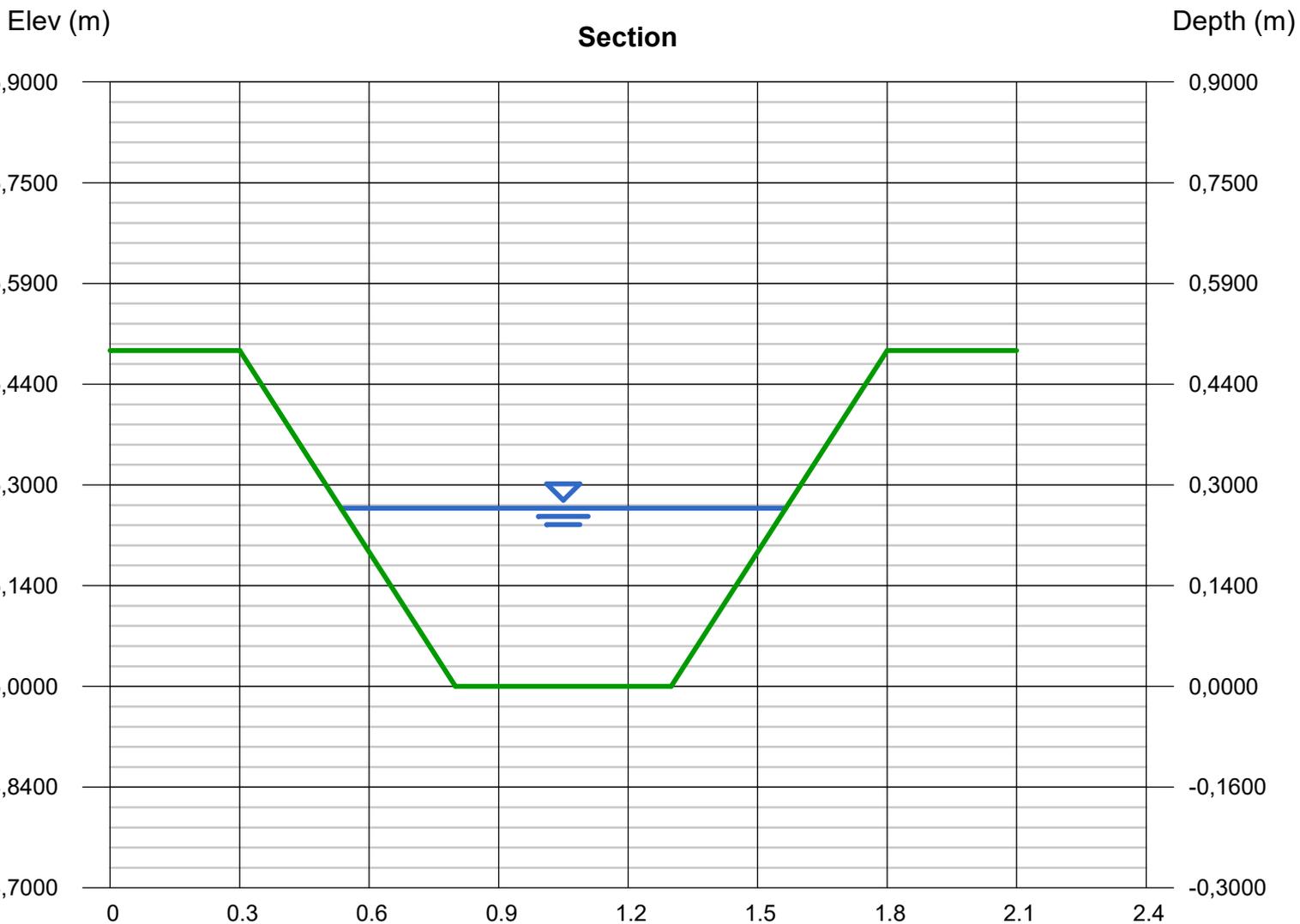
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2652
Q (cms)	= 0,151
Area (sqm)	= 0,2029
Velocity (m/s)	= 0,7442
Wetted Perim (m)	= 1,2500
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1859
Top Width (m)	= 1,0304
EGL (m)	= 0,2934

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1510



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 643+725 au PK 643+918,5 RD

### Trapezoidal

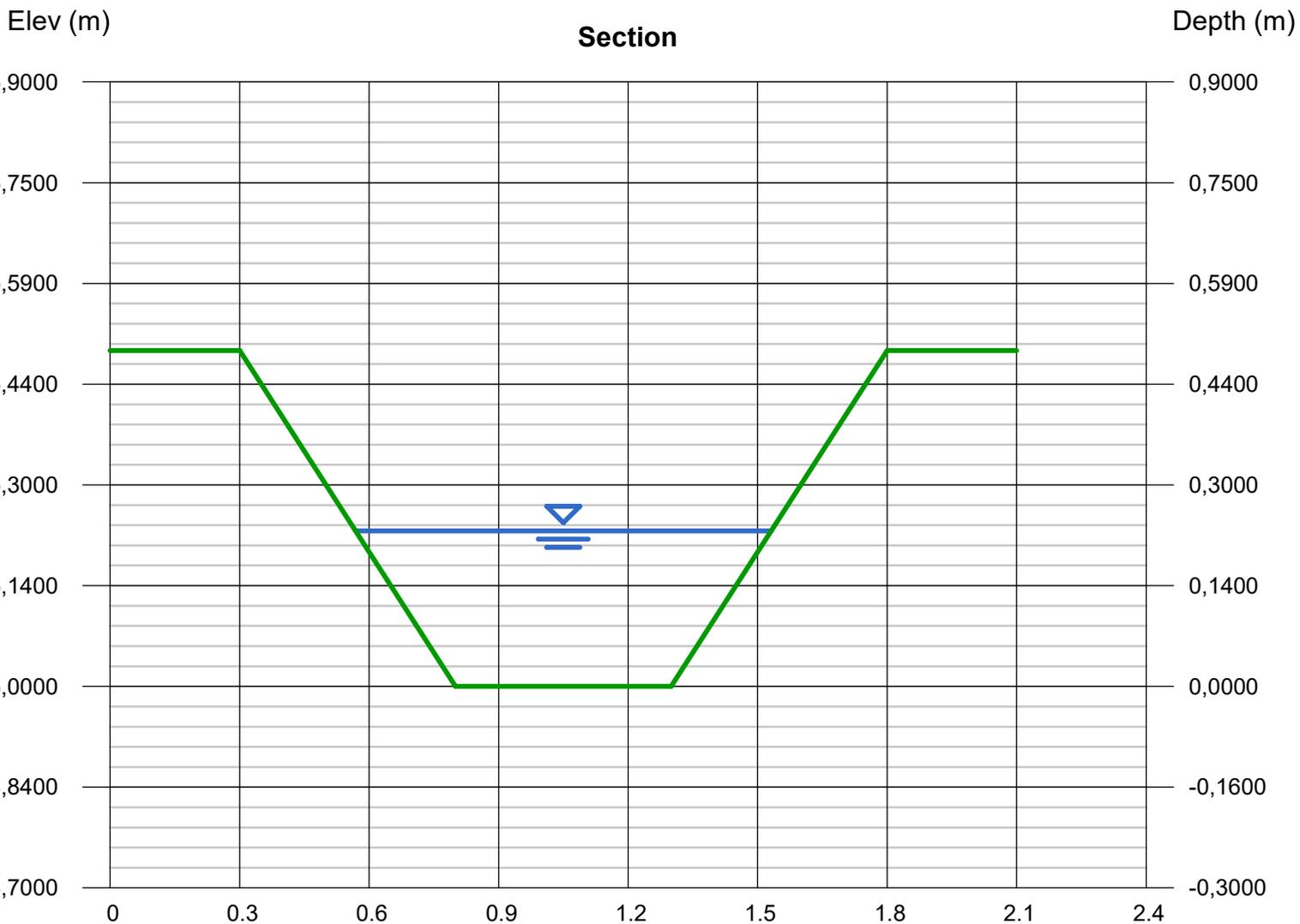
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,4500
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2316
Q (cms)	= 0,242
Area (sqm)	= 0,1695
Velocity (m/s)	= 1,4279
Wetted Perim (m)	= 1,1552
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2438
Top Width (m)	= 0,9633
EGL (m)	= 0,3356

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2420



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 644+766,5 au PK 644+800 RD

### Trapezoidal

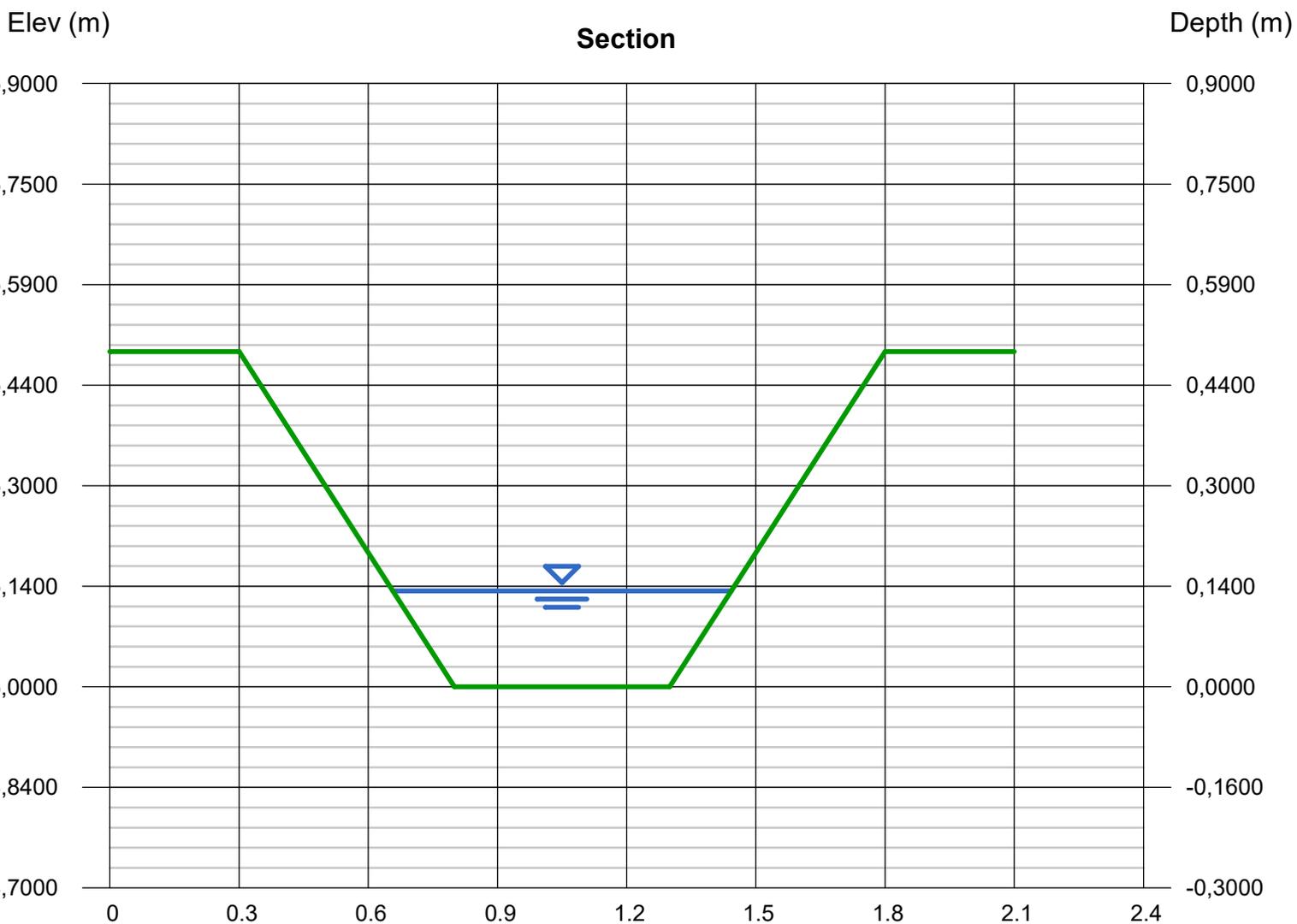
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 2,5200
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1433
Q (cms)	= 0,242
Area (sqm)	= 0,0922
Velocity (m/s)	= 2,6261
Wetted Perim (m)	= 0,9052
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2438
Top Width (m)	= 0,7865
EGL (m)	= 0,4950

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2420



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 645+340 au PK 645+381,5 RD

### Trapezoidal

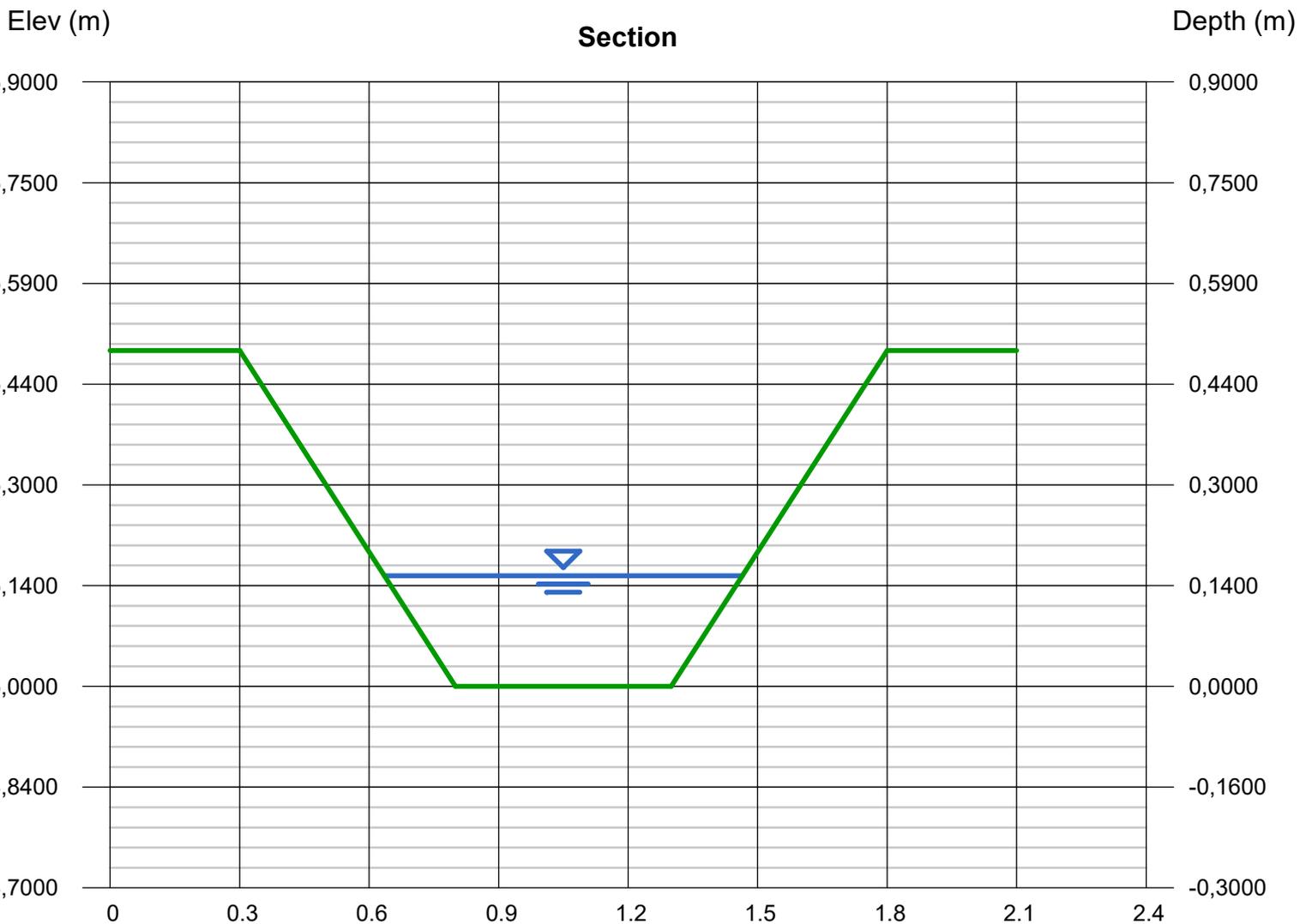
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 1,1100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1646
Q (cms)	= 0,202
Area (sqm)	= 0,1094
Velocity (m/s)	= 1,8467
Wetted Perim (m)	= 0,9655
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2195
Top Width (m)	= 0,8292
EGL (m)	= 0,3385

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2020



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 647+441,5 au PK 647+967,5 RD

### Trapezoidal

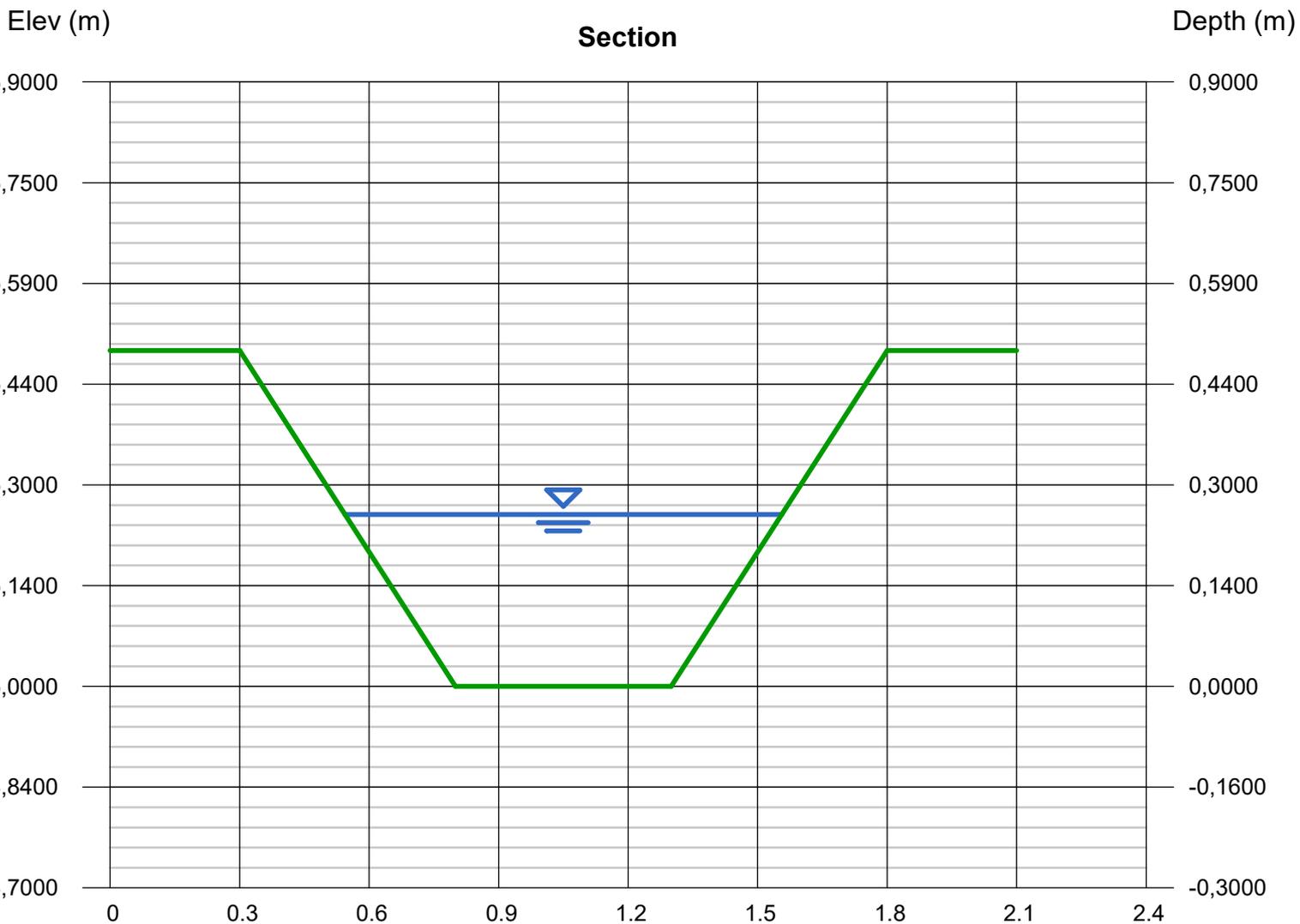
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1300
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2560
Q (cms)	= 0,154
Area (sqm)	= 0,1936
Velocity (m/s)	= 0,7956
Wetted Perim (m)	= 1,2242
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1890
Top Width (m)	= 1,0121
EGL (m)	= 0,2883

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1540



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 648+490 au PK 648+684 RD

### Trapezoidal

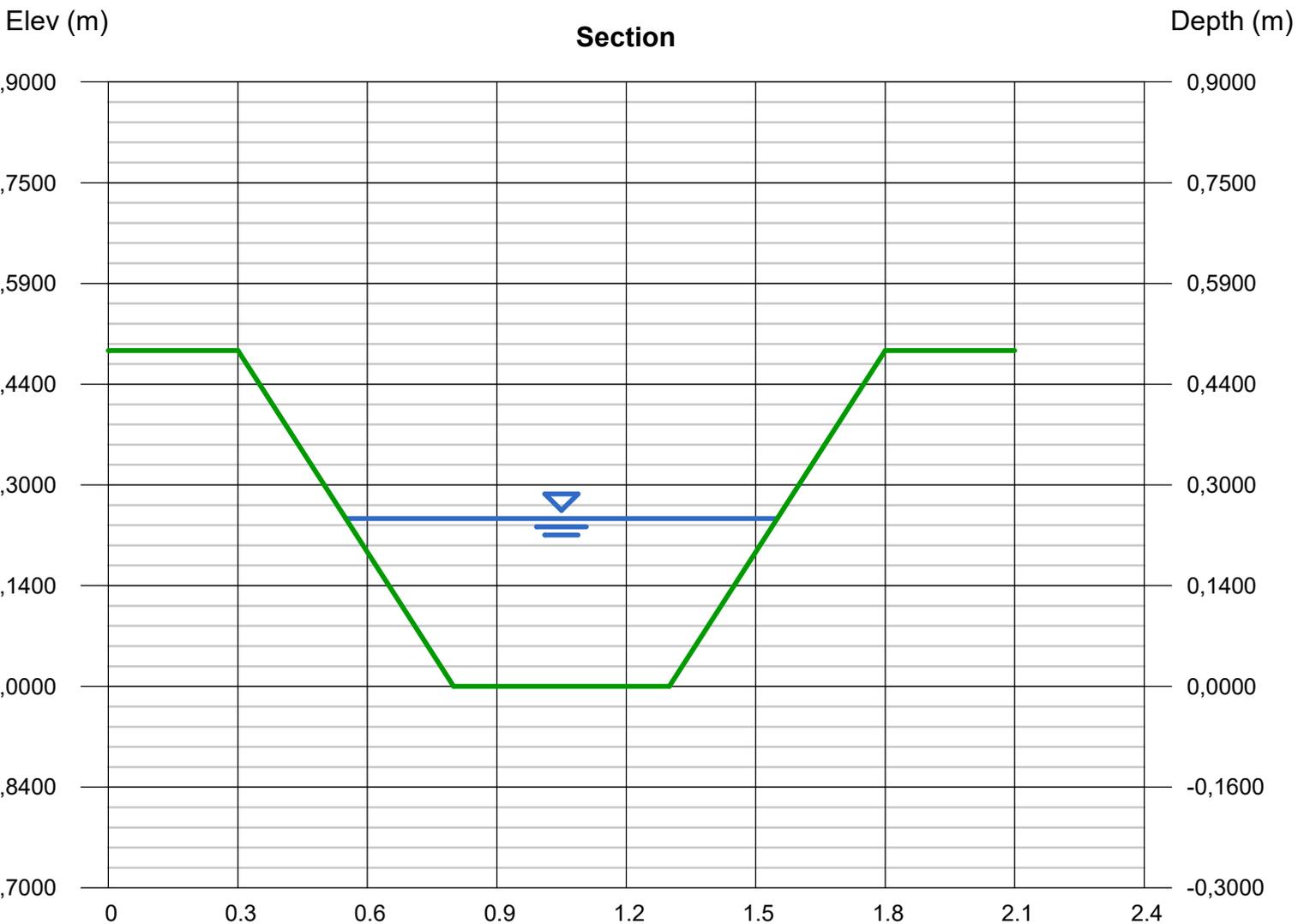
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,3600
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2499
Q (cms)	= 0,248
Area (sqm)	= 0,1874
Velocity (m/s)	= 1,3231
Wetted Perim (m)	= 1,2069
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2469
Top Width (m)	= 0,9999
EGL (m)	= 0,3392

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2480



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 648+956 au PK 649+017 RD

### Trapezoidal

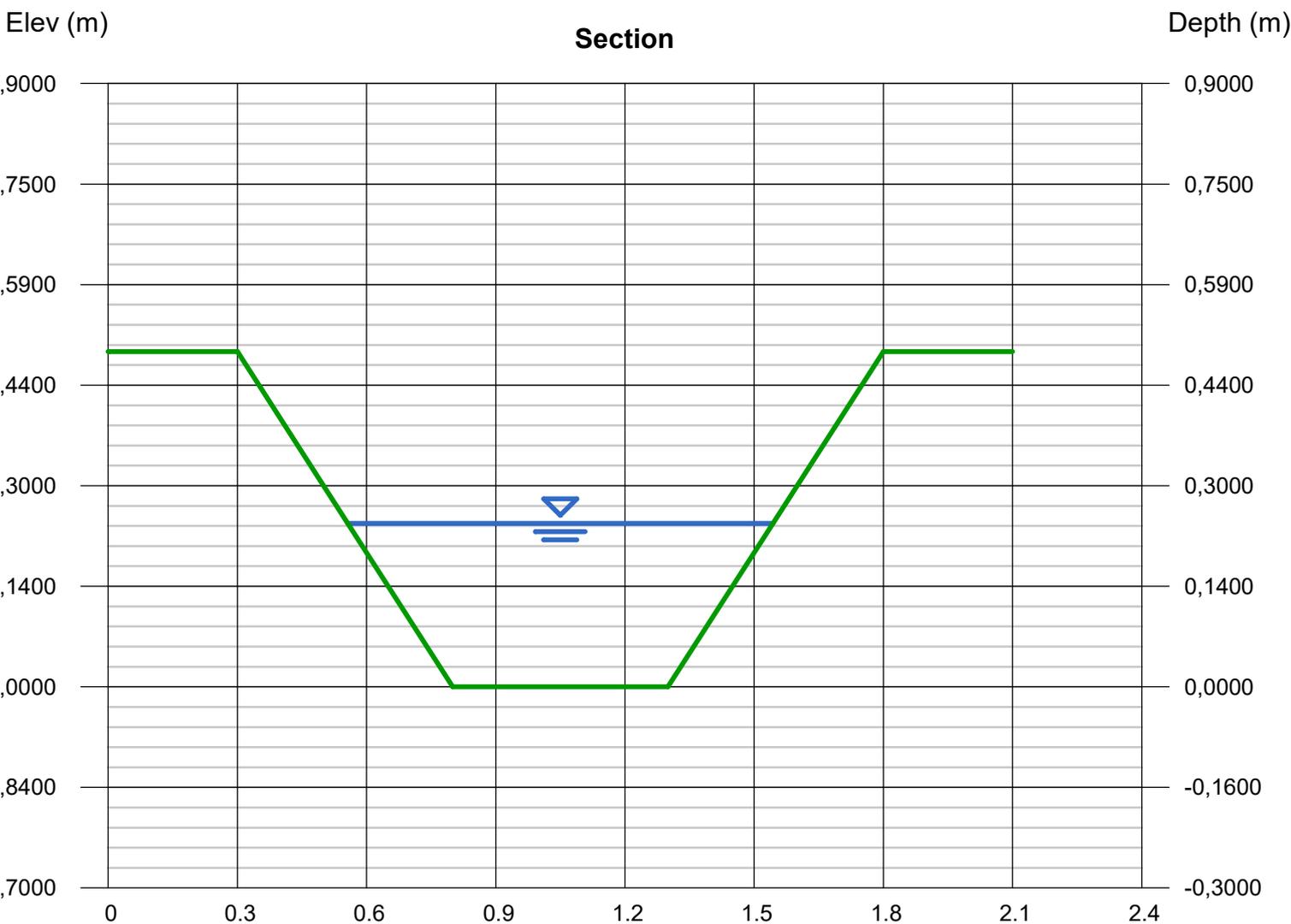
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,2100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2438
Q (cms)	= 0,181
Area (sqm)	= 0,1814
Velocity (m/s)	= 0,9979
Wetted Perim (m)	= 1,1897
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2073
Top Width (m)	= 0,9877
EGL (m)	= 0,2946

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1810



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 649+060 au PK 649+179 RD

### Trapezoidal

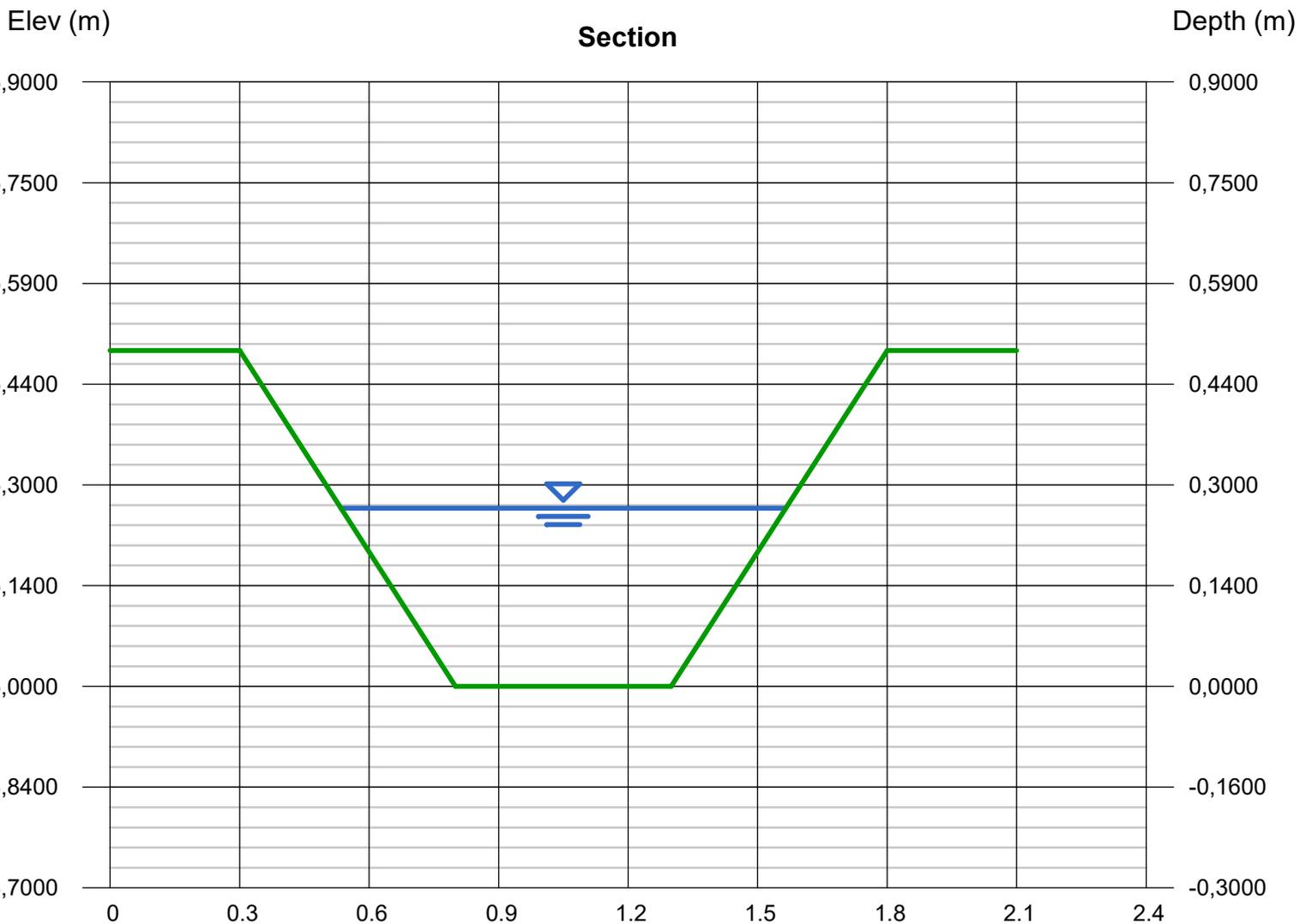
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2652
Q (cms)	= 0,152
Area (sqm)	= 0,2029
Velocity (m/s)	= 0,7491
Wetted Perim (m)	= 1,2500
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1859
Top Width (m)	= 1,0304
EGL (m)	= 0,2938

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1520



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 649+437 au PK 649+612 RD

### Trapezoidal

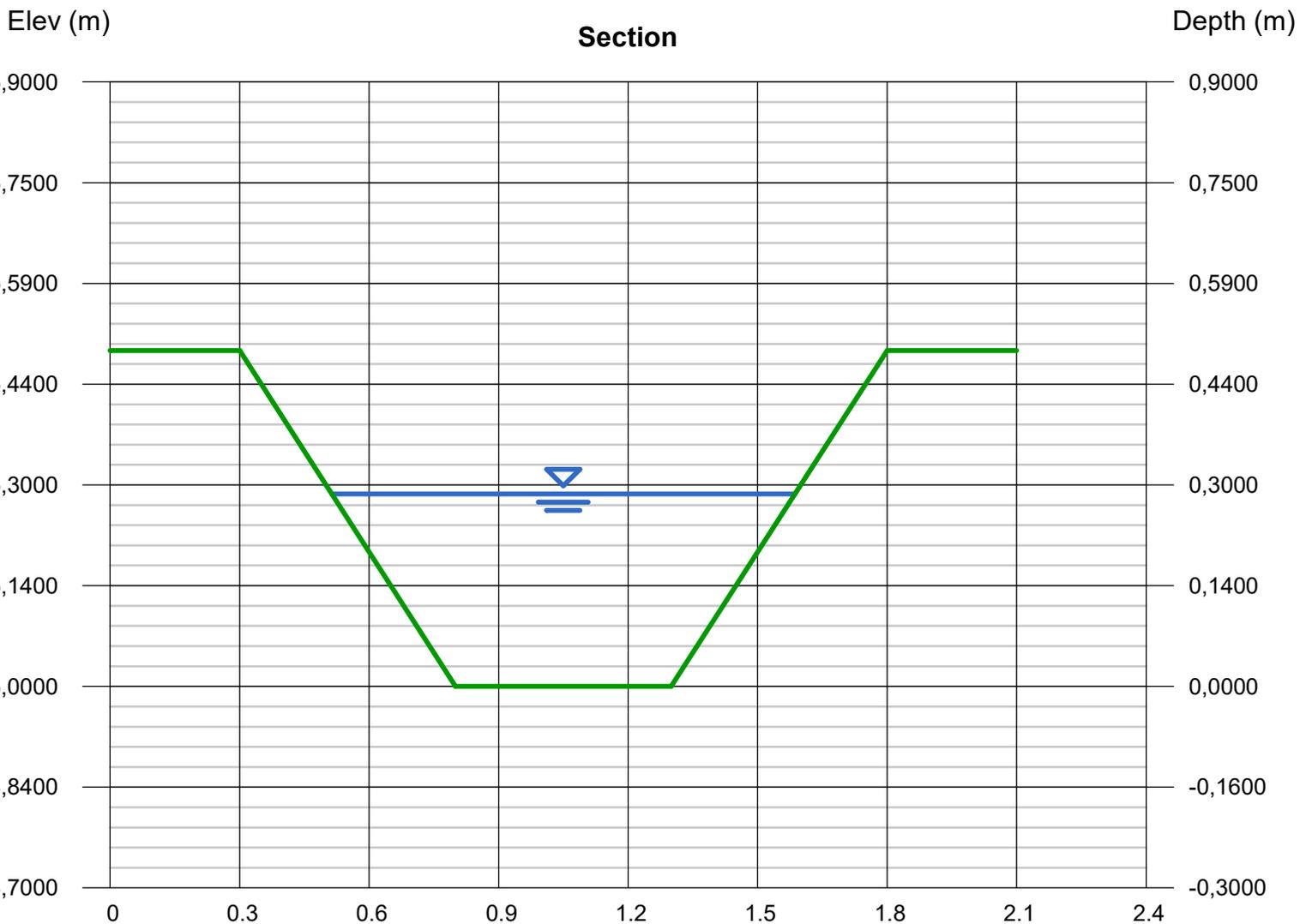
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2865
Q (cms)	= 0,177
Area (sqm)	= 0,2253
Velocity (m/s)	= 0,7855
Wetted Perim (m)	= 1,3104
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2042
Top Width (m)	= 1,0730
EGL (m)	= 0,3180

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1770



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 649+856, 5 au PK 650+864 RD

### Trapezoidal

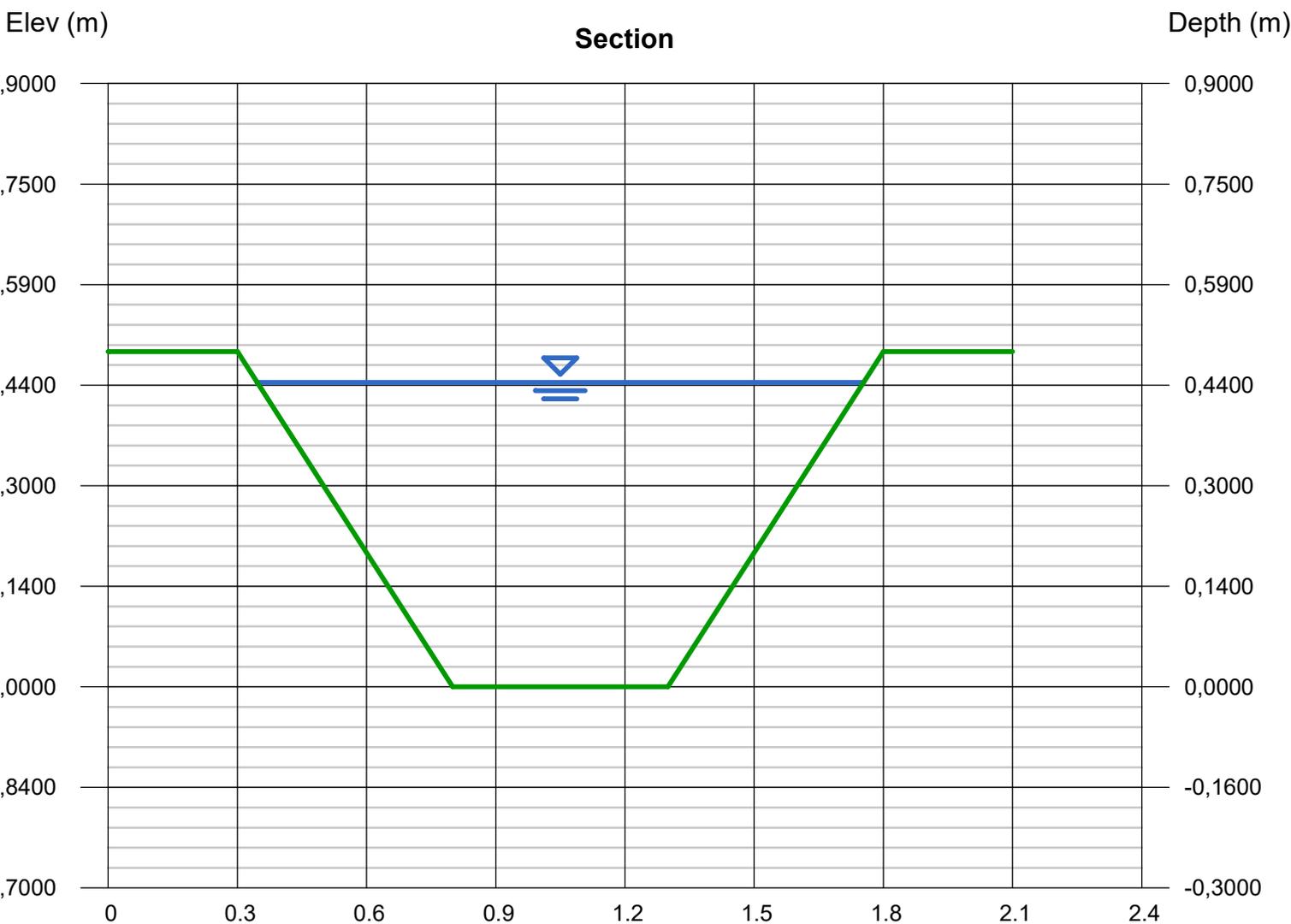
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0400
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,4542
Q (cms)	= 0,257
Area (sqm)	= 0,4333
Velocity (m/s)	= 0,5931
Wetted Perim (m)	= 1,7845
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2530
Top Width (m)	= 1,4083
EGL (m)	= 0,4721

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2570



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 651+115,5 au PK 651+338,5 RD

### Trapezoidal

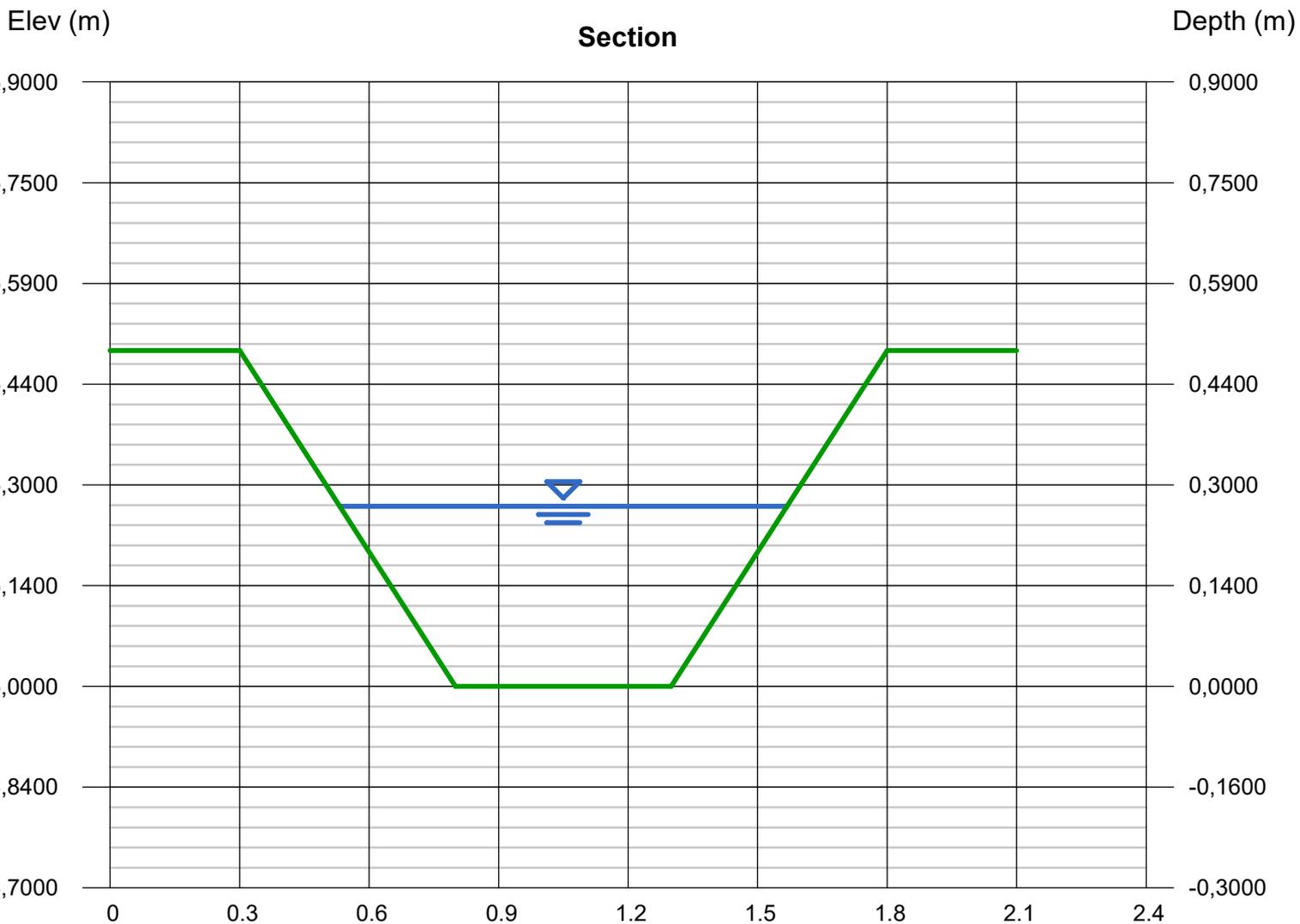
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1500
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2682
Q (cms)	= 0,180
Area (sqm)	= 0,2061
Velocity (m/s)	= 0,8735
Wetted Perim (m)	= 1,2587
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2073
Top Width (m)	= 1,0364
EGL (m)	= 0,3071

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1800



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 651+489 au PK 651+598 RD

### Trapezoidal

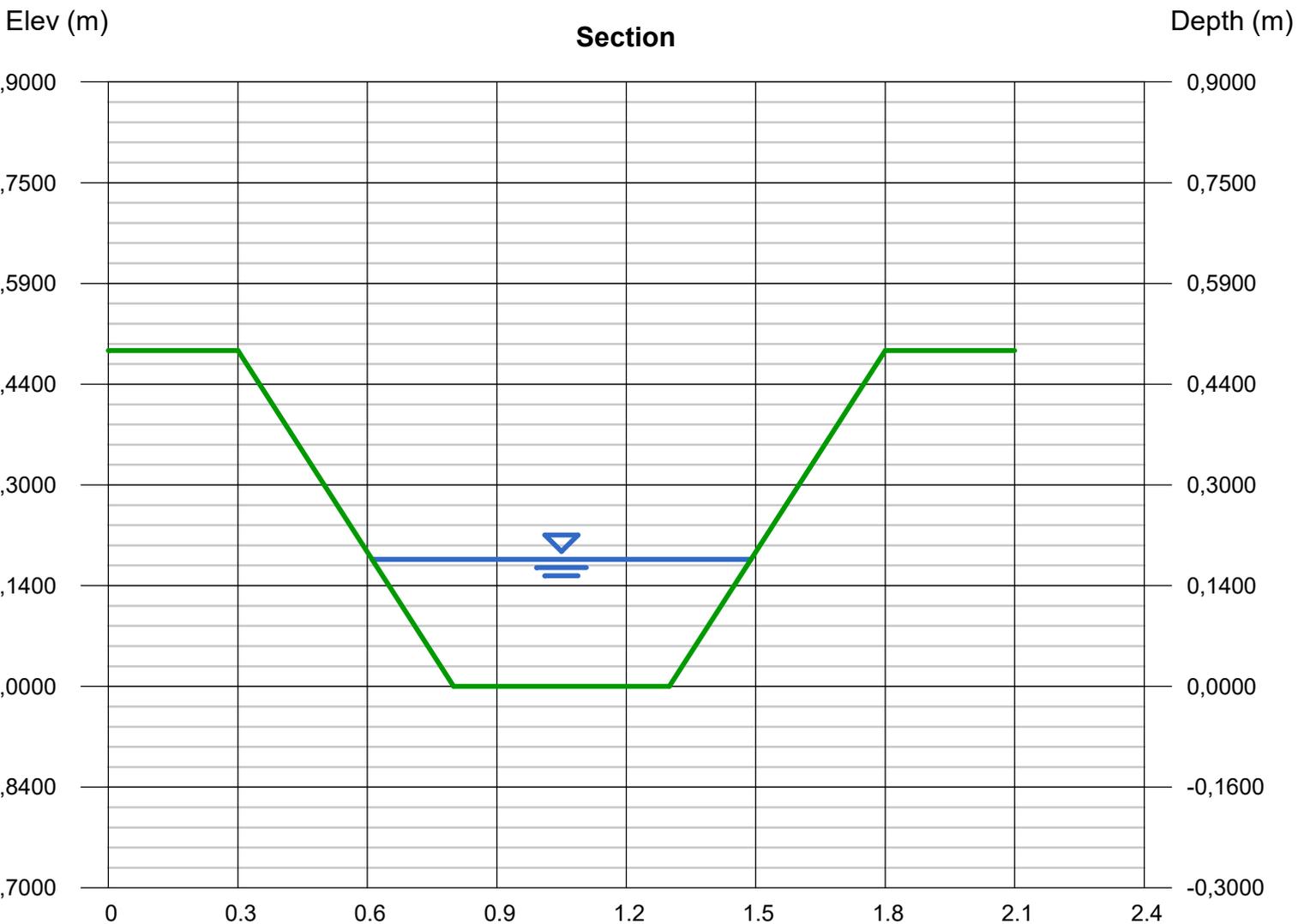
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,7300
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1890
Q (cms)	= 0,214
Area (sqm)	= 0,1302
Velocity (m/s)	= 1,6436
Wetted Perim (m)	= 1,0345
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2286
Top Width (m)	= 0,8780
EGL (m)	= 0,3268

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2140



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 652+563 au PK 652+719 RD

### Trapezoidal

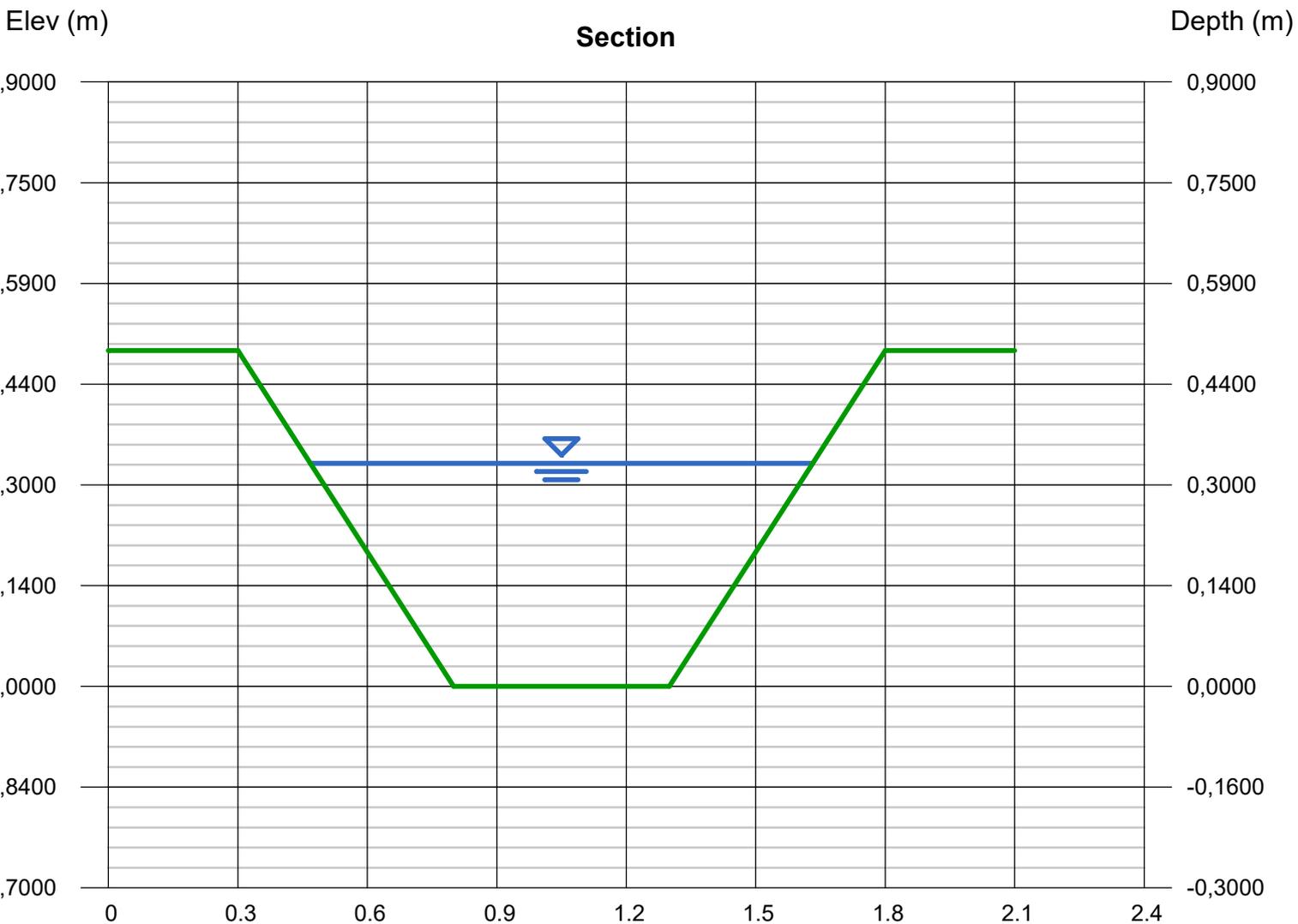
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0200
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3322
Q (cms)	= 0,100
Area (sqm)	= 0,2765
Velocity (m/s)	= 0,3617
Wetted Perim (m)	= 1,4397
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1463
Top Width (m)	= 1,1645
EGL (m)	= 0,3389

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1000



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 652+794 au PK 653+020 RD

### Trapezoidal

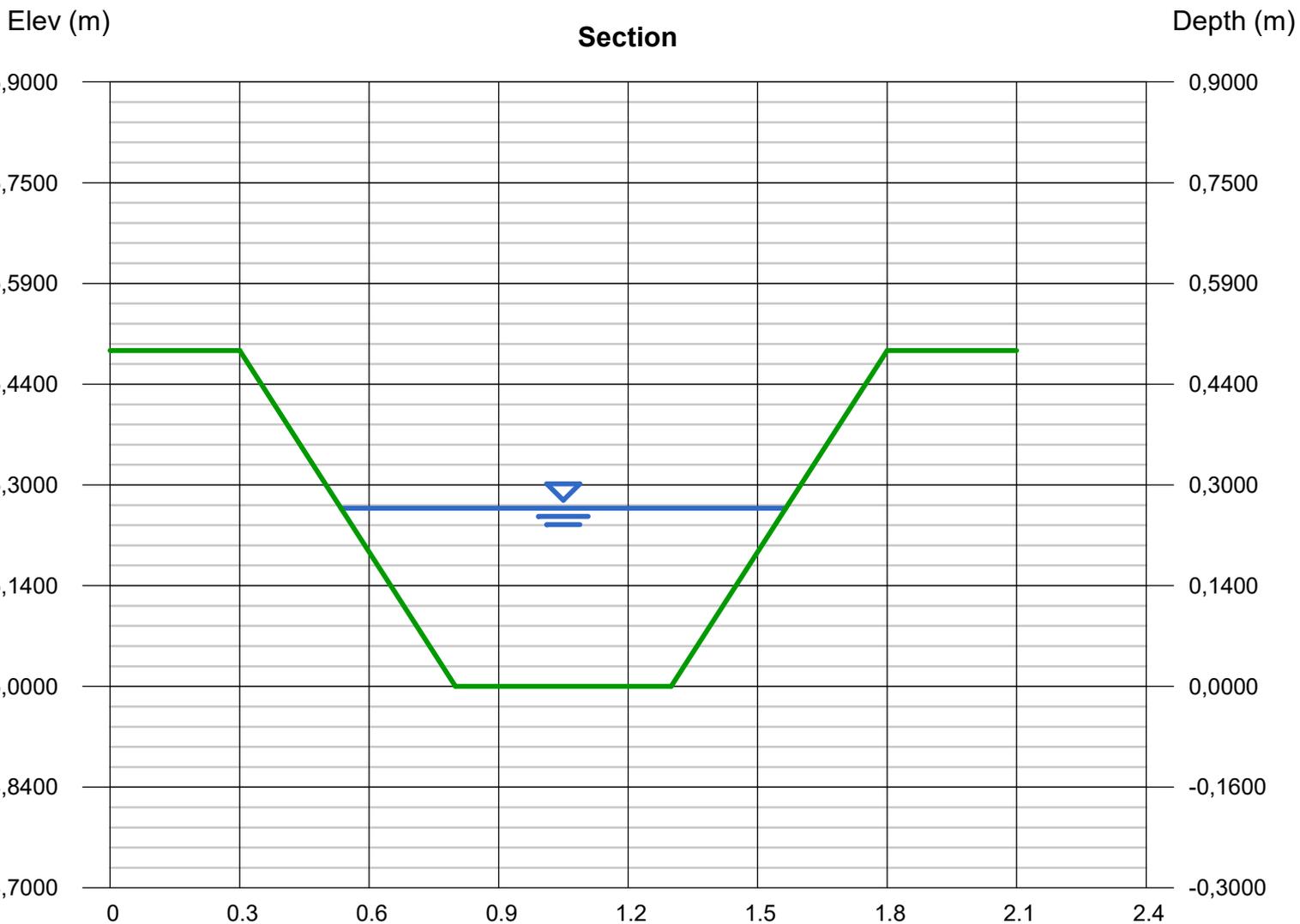
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1300
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2652
Q (cms)	= 0,165
Area (sqm)	= 0,2029
Velocity (m/s)	= 0,8132
Wetted Perim (m)	= 1,2500
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1951
Top Width (m)	= 1,0304
EGL (m)	= 0,2989

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1650



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 653+030 au PK 653+130 RD

### Trapezoidal

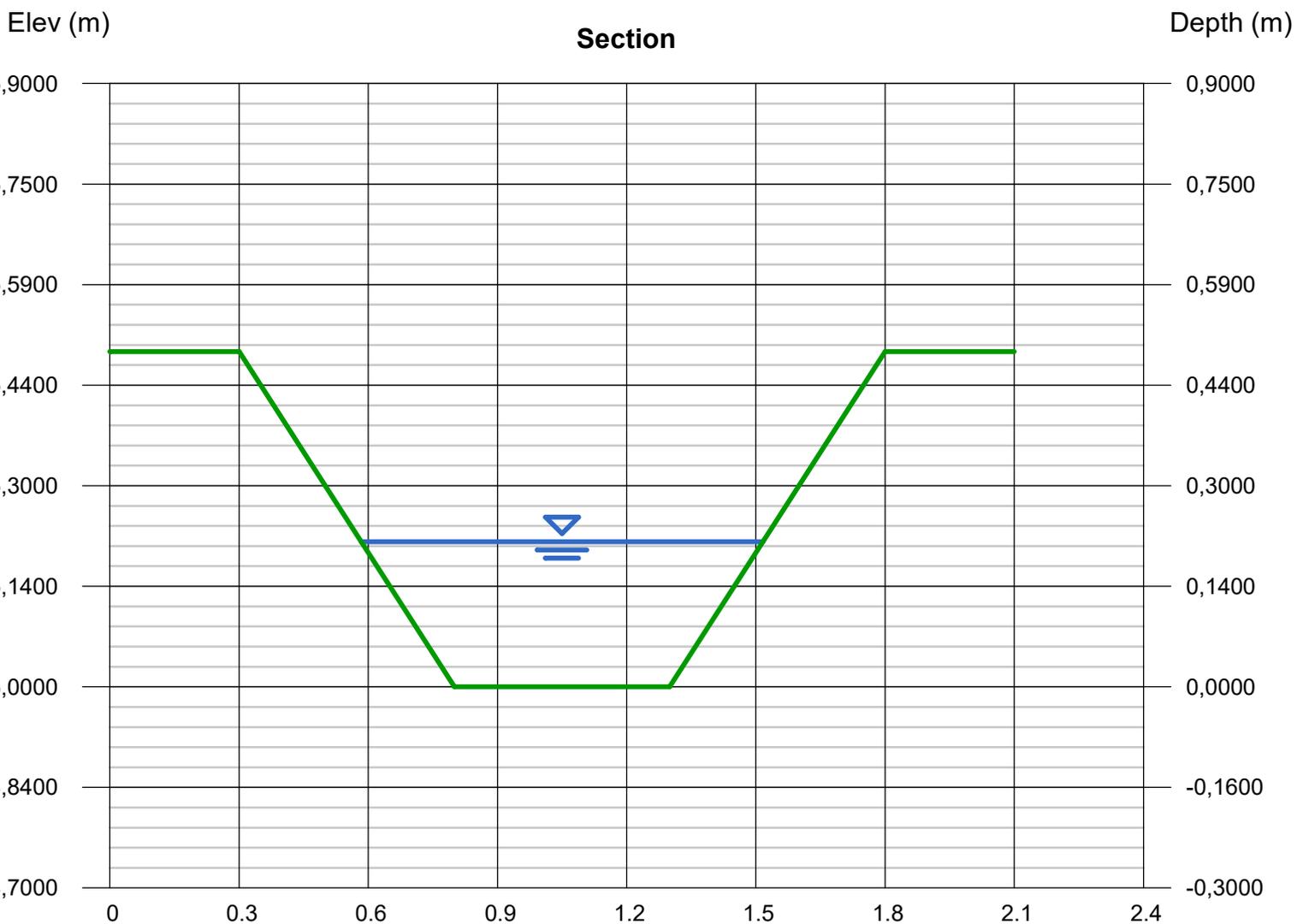
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1800
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2164
Q (cms)	= 0,134
Area (sqm)	= 0,1550
Velocity (m/s)	= 0,8643
Wetted Perim (m)	= 1,1121
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1737
Top Width (m)	= 0,9328
EGL (m)	= 0,2545

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1340



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 653+914 au PK 653+967,5 RD

### Trapezoidal

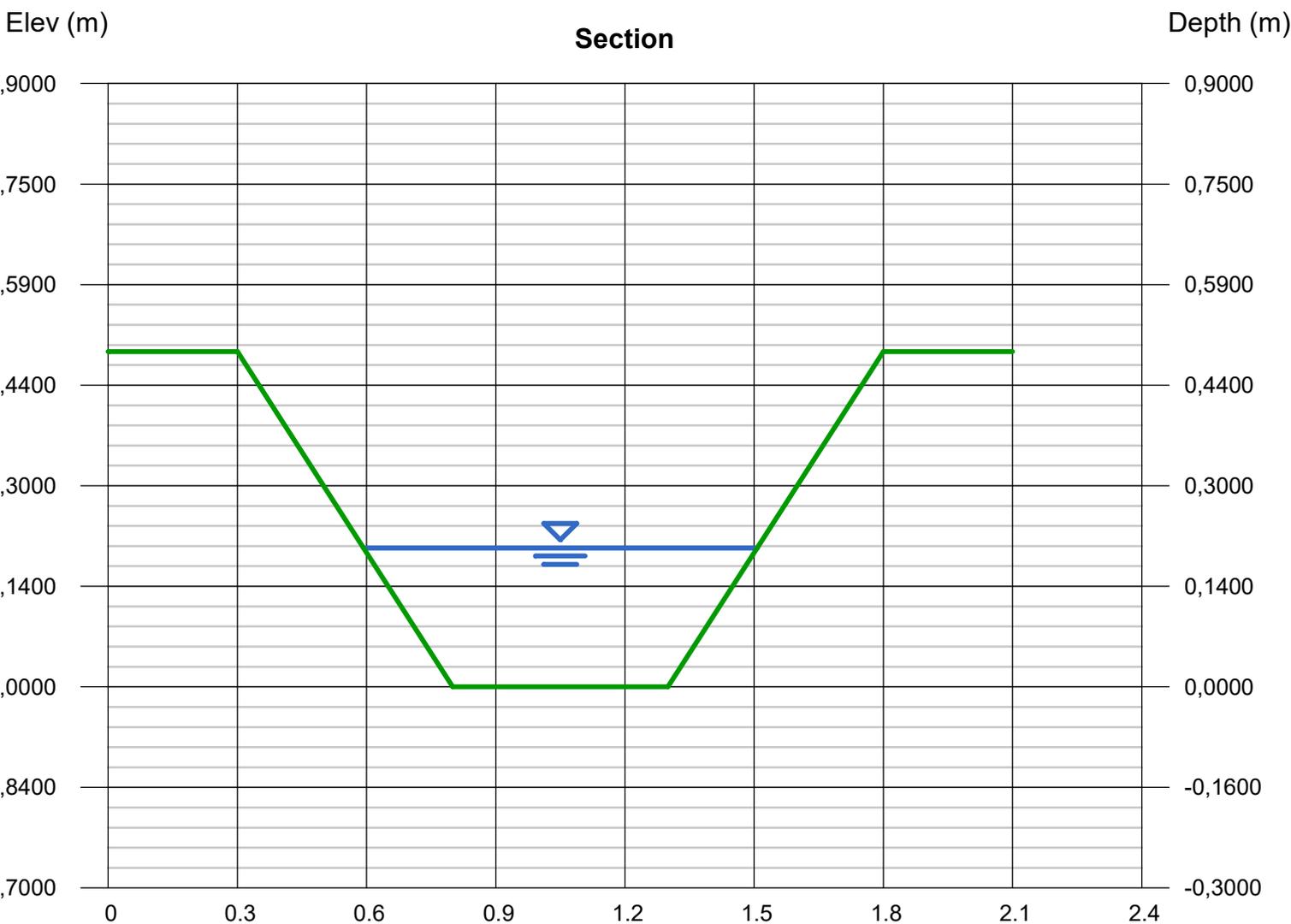
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0600
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2073
Q (cms)	= 0,071
Area (sqm)	= 0,1466
Velocity (m/s)	= 0,4843
Wetted Perim (m)	= 1,0862
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1189
Top Width (m)	= 0,9145
EGL (m)	= 0,2192

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,0710



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 654+263 au PK 654+305,5 RD

### Trapezoidal

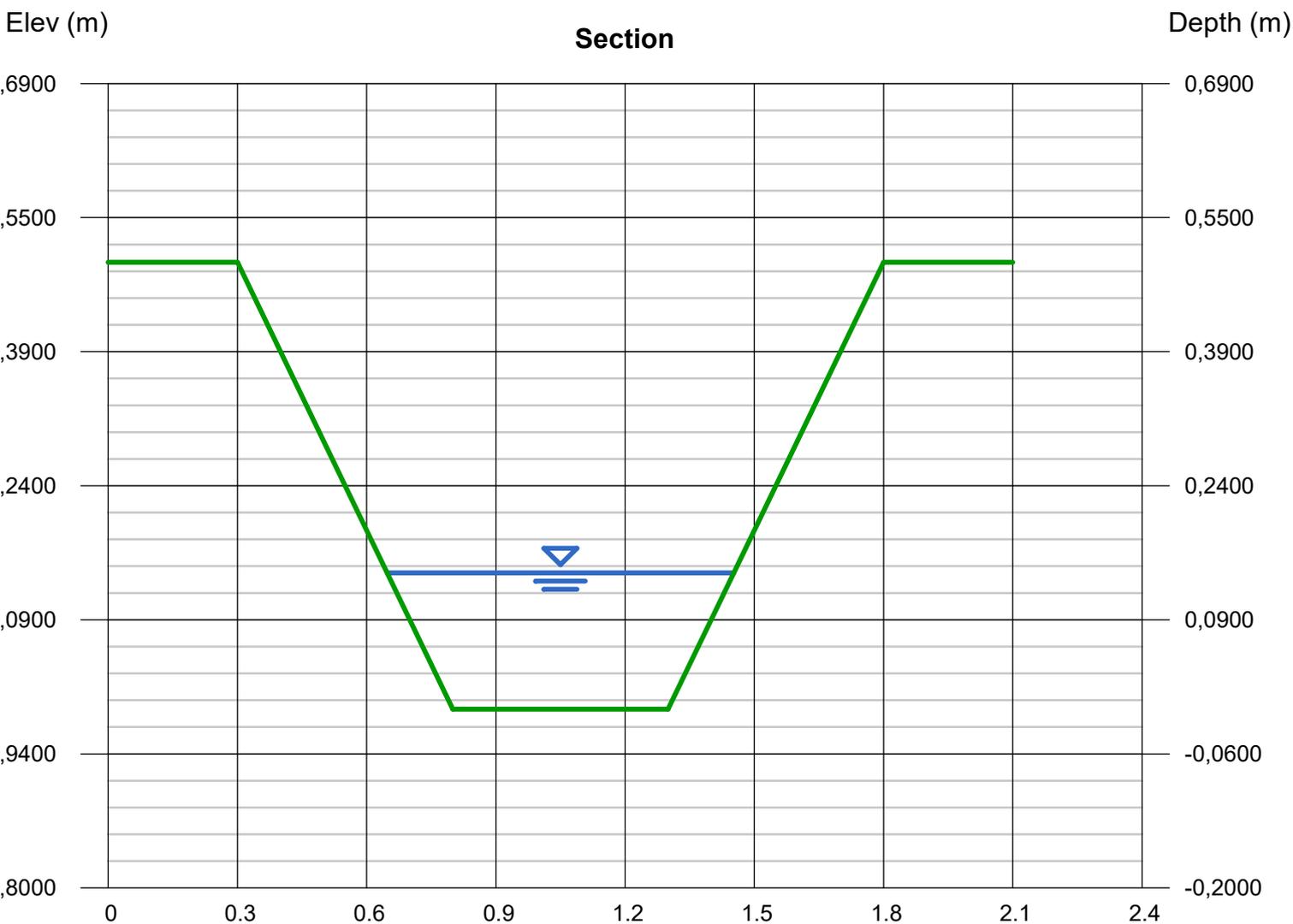
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 520,0000
Slope (%)	= 0,3800
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1524
Q (cms)	= 0,105
Area (sqm)	= 0,0994
Velocity (m/s)	= 1,0561
Wetted Perim (m)	= 0,9311
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1494
Top Width (m)	= 0,8048
EGL (m)	= 0,2093

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1050



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 655+549 au PK 655+566 RD

### Trapezoidal

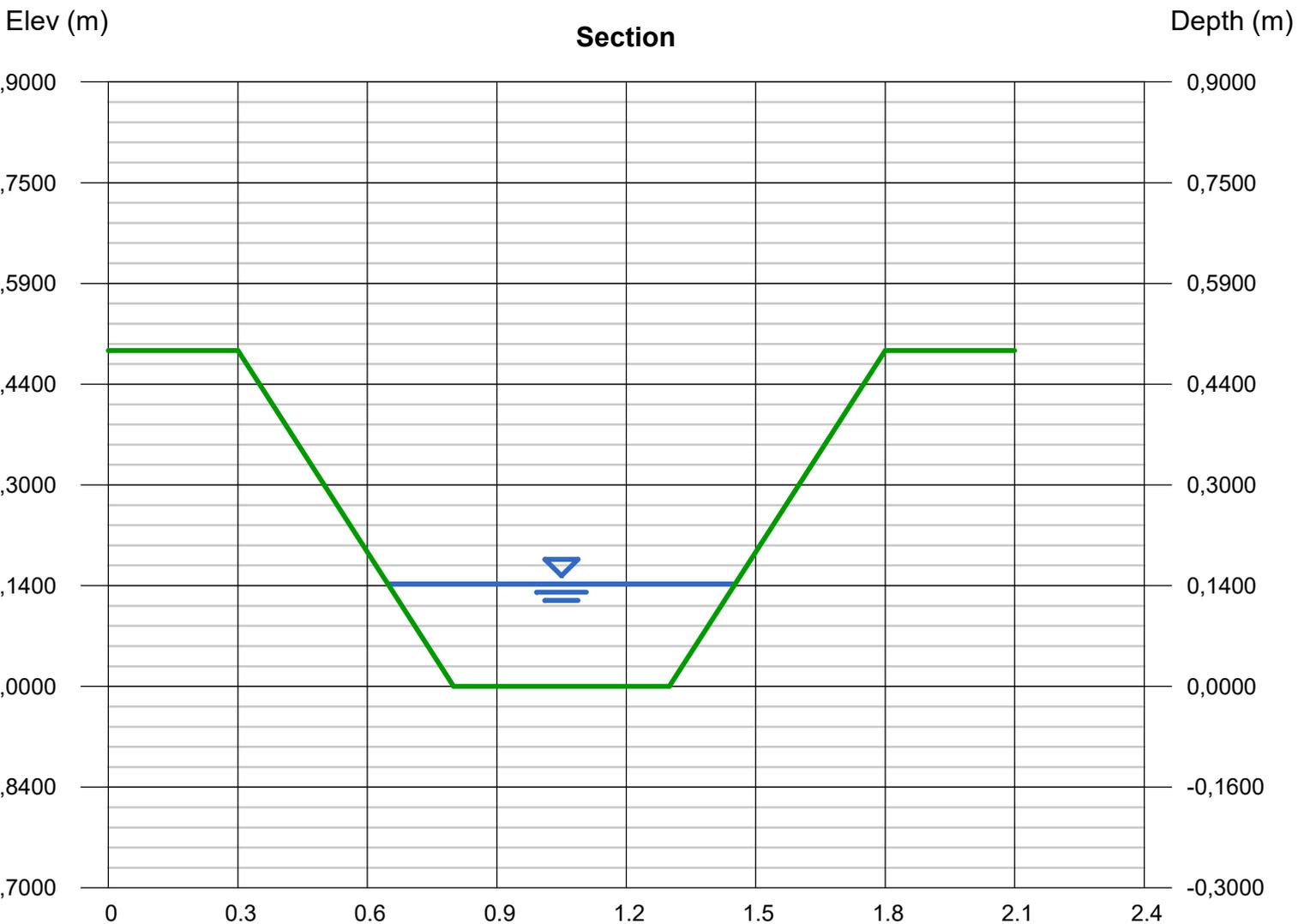
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,3700
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1524
Q (cms)	= 0,104
Area (sqm)	= 0,0994
Velocity (m/s)	= 1,0460
Wetted Perim (m)	= 0,9311
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1494
Top Width (m)	= 0,8048
EGL (m)	= 0,2082

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1040



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 659+661 au PK 659+817,5 RG

### Trapezoidal

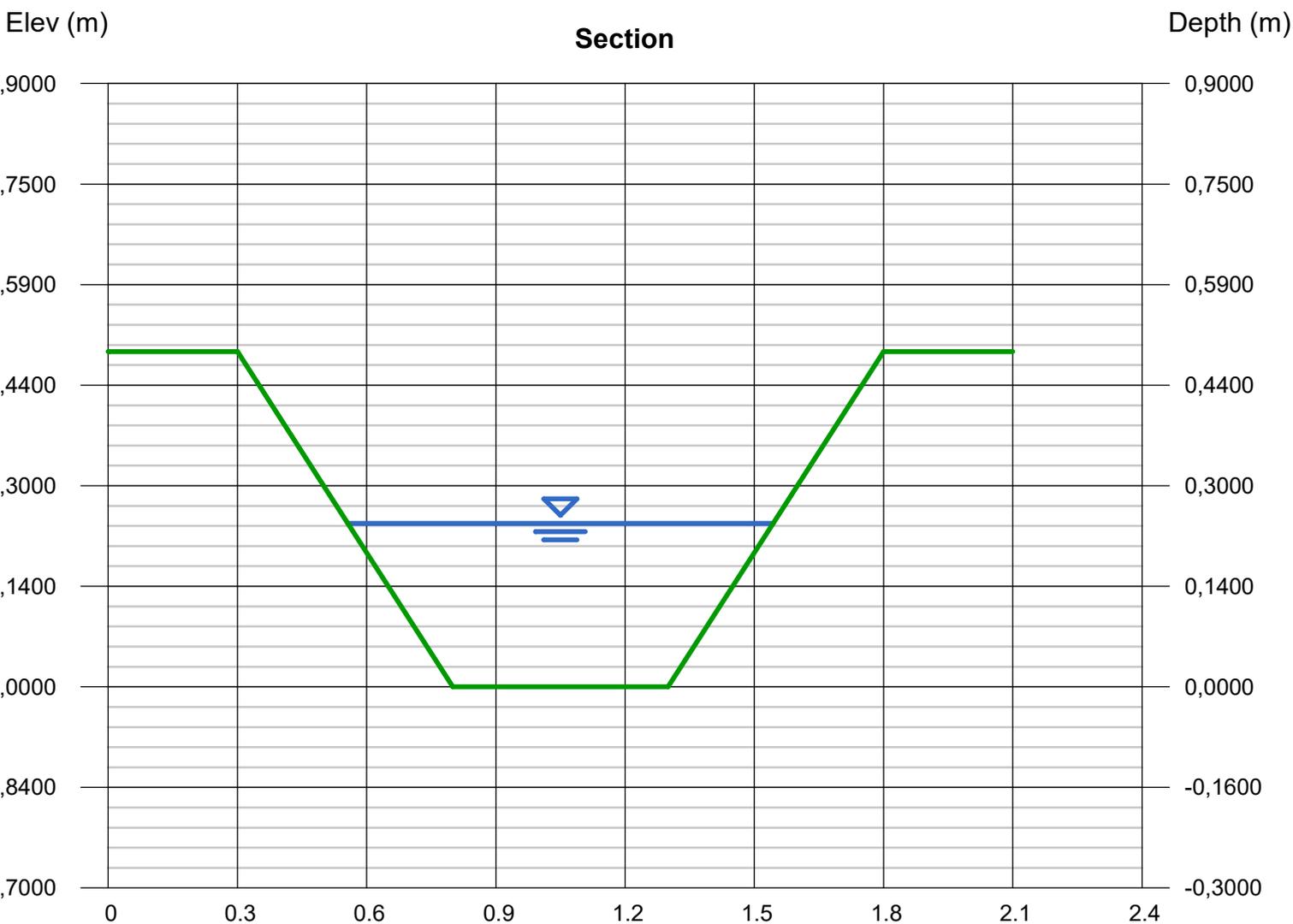
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1200
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2438
Q (cms)	= 0,135
Area (sqm)	= 0,1814
Velocity (m/s)	= 0,7443
Wetted Perim (m)	= 1,1897
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1737
Top Width (m)	= 0,9877
EGL (m)	= 0,2721

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1350



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 642+600 au PK 642+790 RG

### Trapezoidal

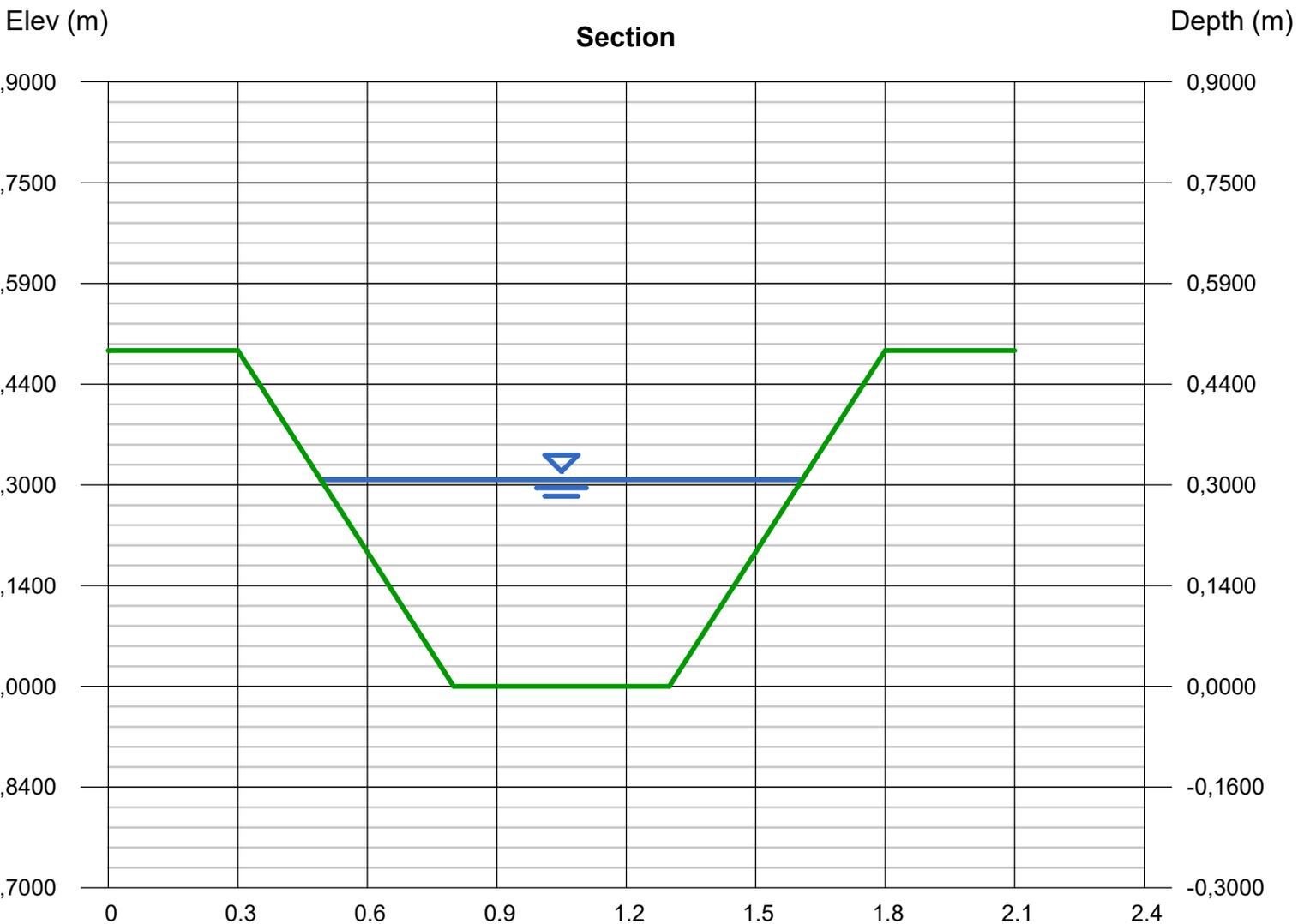
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1700
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3078
Q (cms)	= 0,249
Area (sqm)	= 0,2487
Velocity (m/s)	= 1,0012
Wetted Perim (m)	= 1,3707
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2499
Top Width (m)	= 1,1157
EGL (m)	= 0,3590

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2490



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 643+720 au PK 643+924 RG

### Trapezoidal

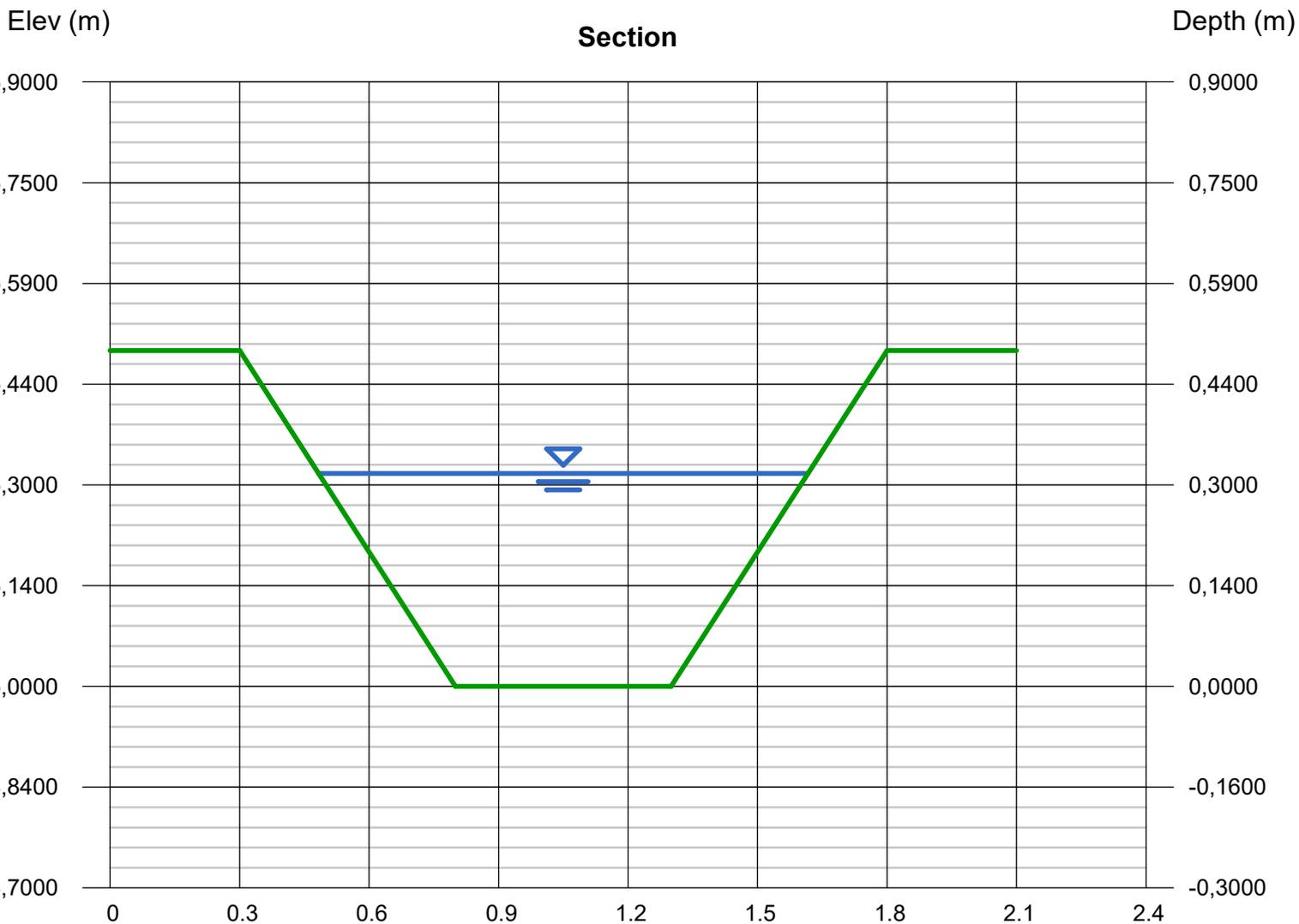
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,2100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3170
Q (cms)	= 0,2920
Area (sqm)	= 0,2590
Velocity (m/s)	= 1,1275
Wetted Perim (m)	= 1,3966
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2713
Top Width (m)	= 1,1340
EGL (m)	= 0,3818

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2920



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 644+757 au PK 644+809 RG

### Trapezoidal

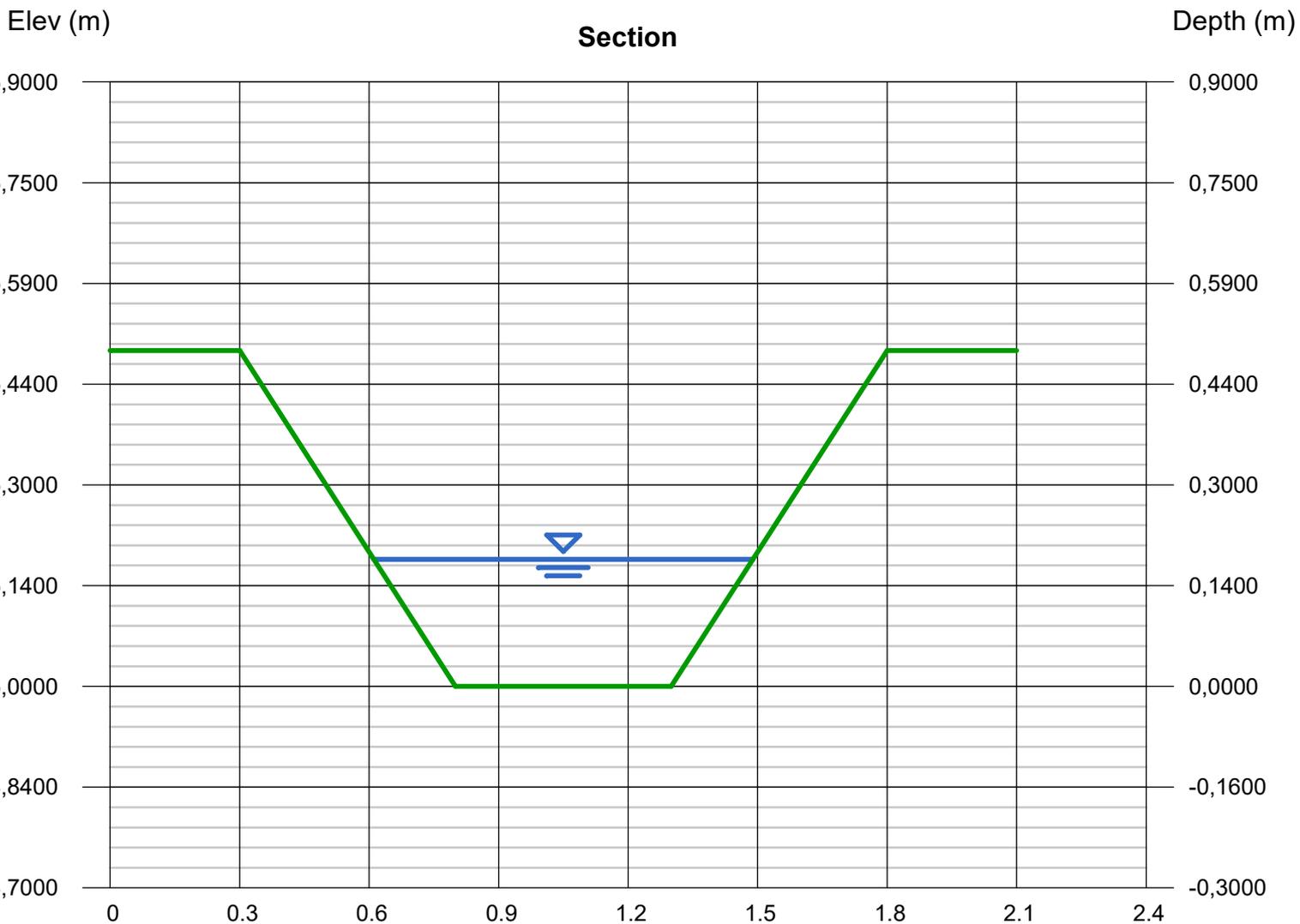
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 1,1300
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1890
Q (cms)	= 0,265
Area (sqm)	= 0,1302
Velocity (m/s)	= 2,0353
Wetted Perim (m)	= 1,0345
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2560
Top Width (m)	= 0,8780
EGL (m)	= 0,4003

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2650



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 645+330 au PK 645+411 RG

### Trapezoidal

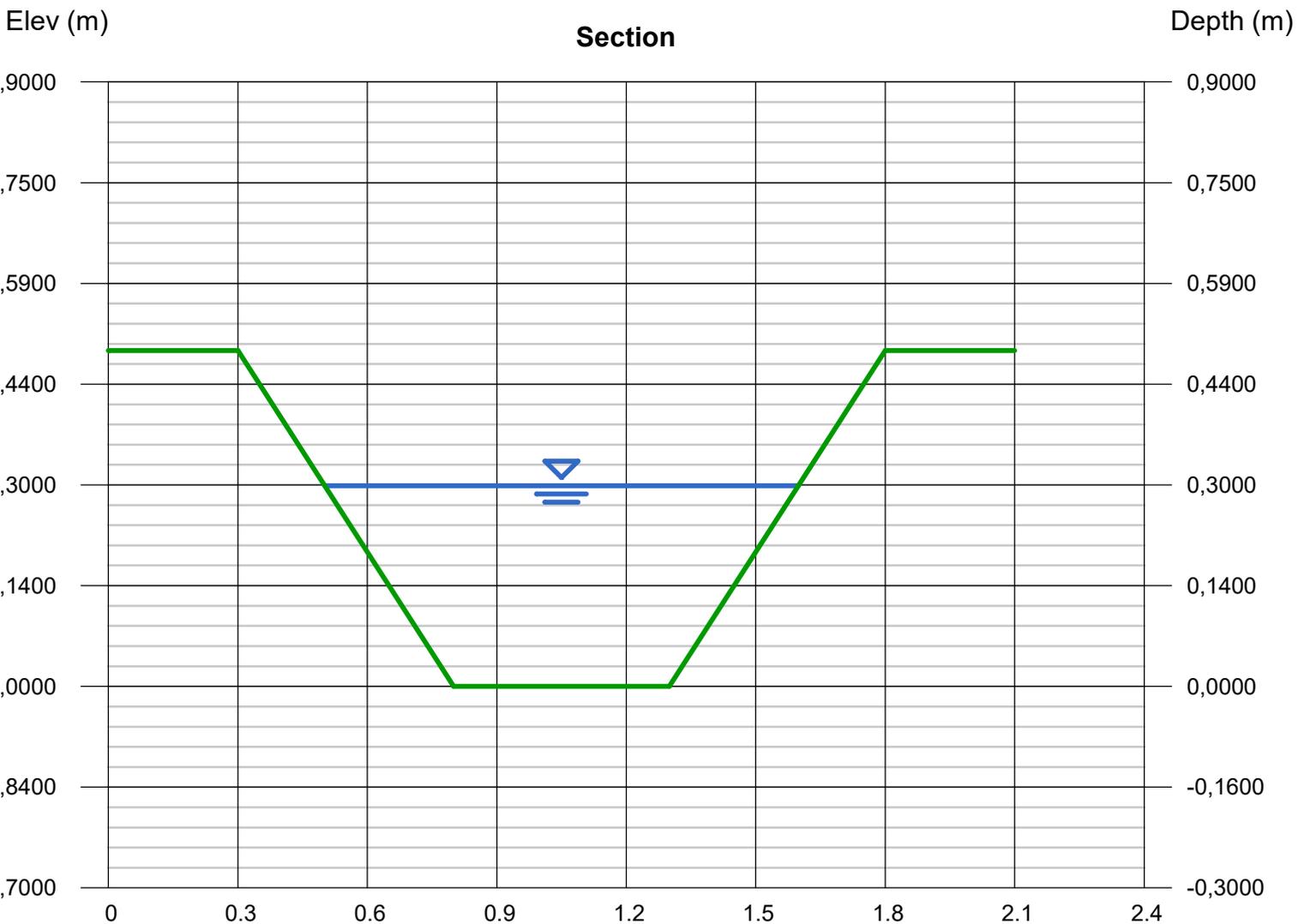
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1300
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2987
Q (cms)	= 0,205
Area (sqm)	= 0,2386
Velocity (m/s)	= 0,8593
Wetted Perim (m)	= 1,3449
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2225
Top Width (m)	= 1,0974
EGL (m)	= 0,3364

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2050



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 647+435 au PK 647+972 RG

### Trapezoidal

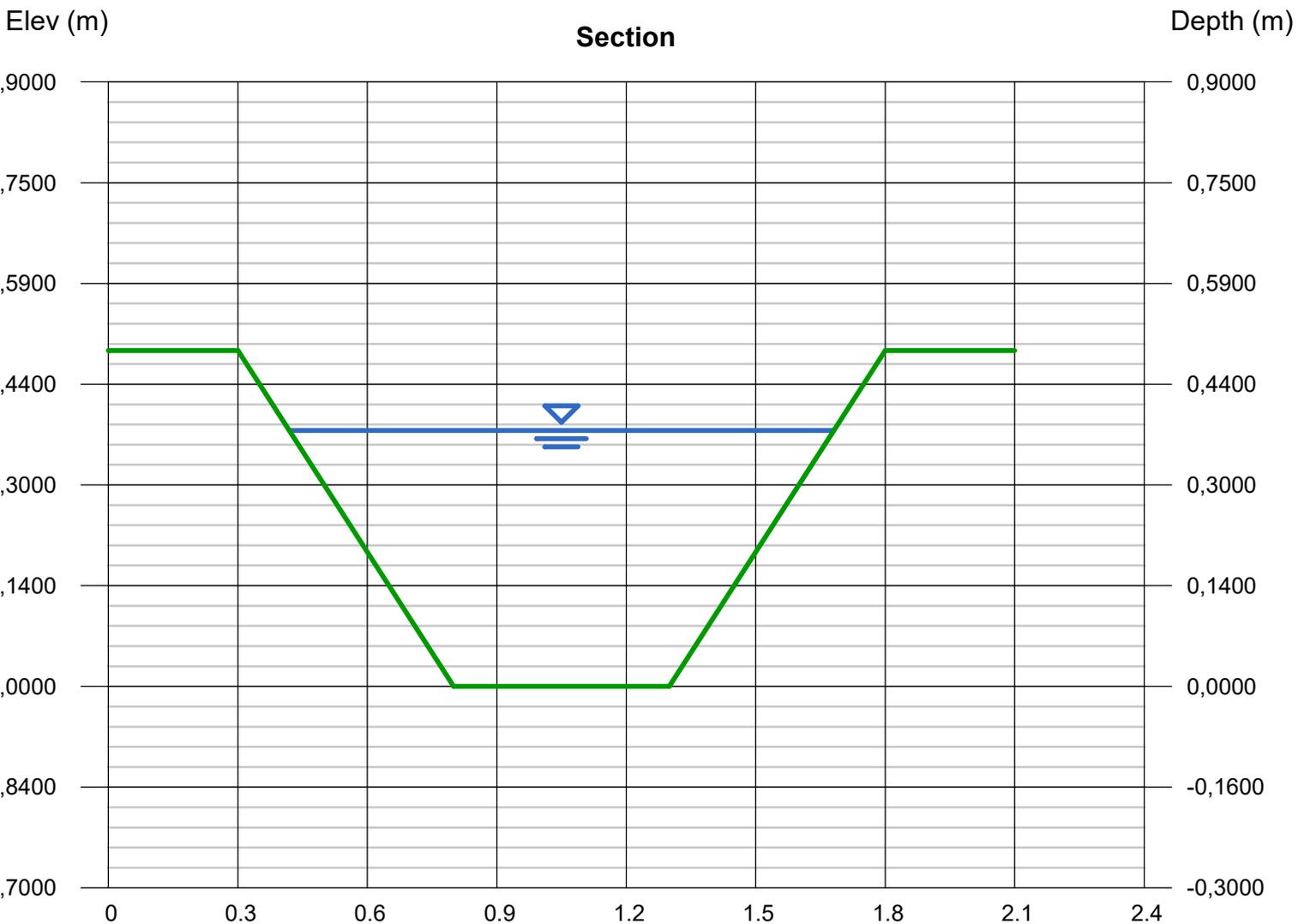
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0900
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3810
Q (cms)	= 0,274
Area (sqm)	= 0,3357
Velocity (m/s)	= 0,8163
Wetted Perim (m)	= 1,5776
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2621
Top Width (m)	= 1,2620
EGL (m)	= 0,4150

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2740



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 648+475 au PK 648+780 RG

### Trapezoidal

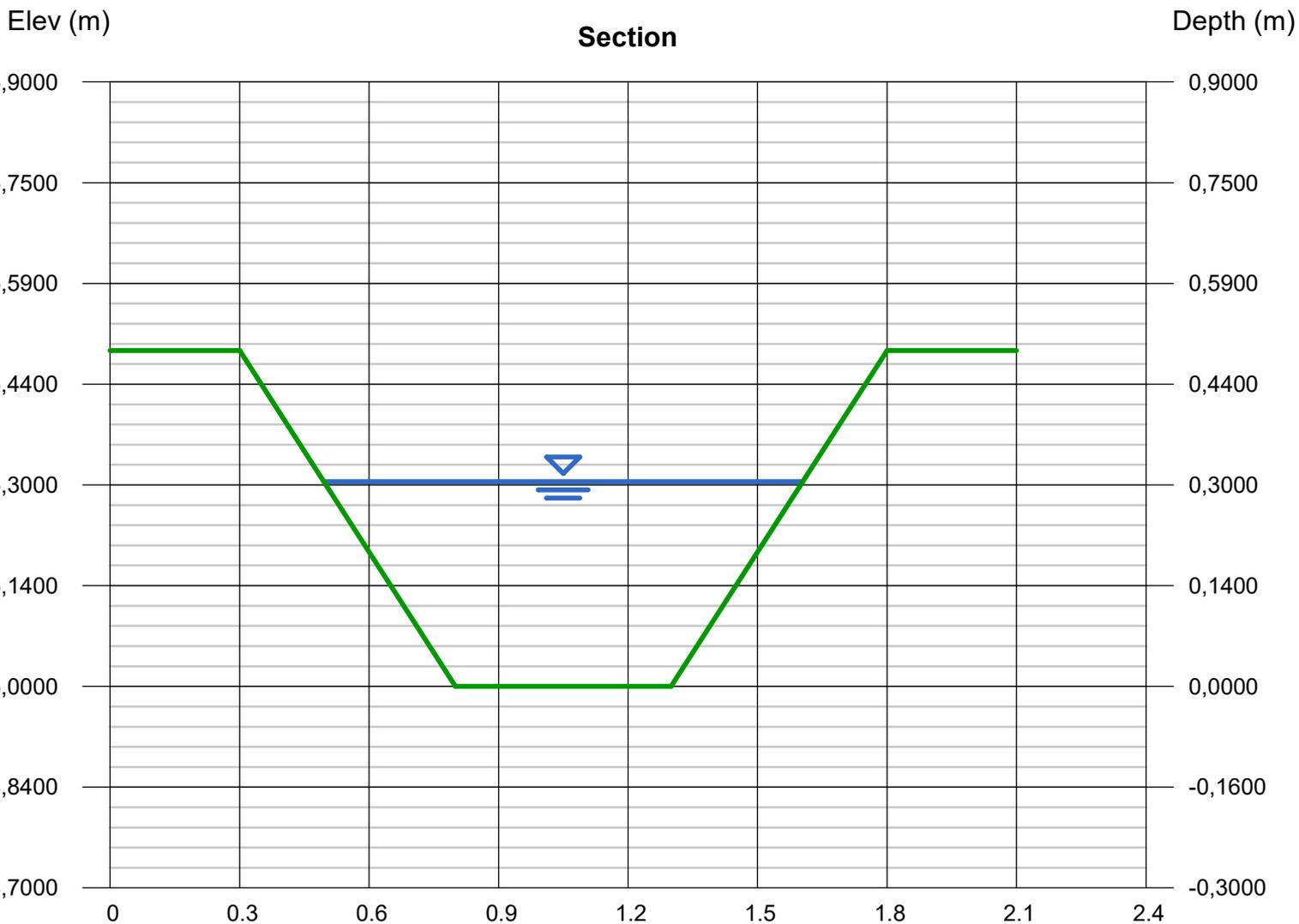
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1500
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3048
Q (cms)	= 0,231
Area (sqm)	= 0,2453
Velocity (m/s)	= 0,9417
Wetted Perim (m)	= 1,3621
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2377
Top Width (m)	= 1,1096
EGL (m)	= 0,3500

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2310



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 648+965 au PK 649+017 RG

### Trapezoidal

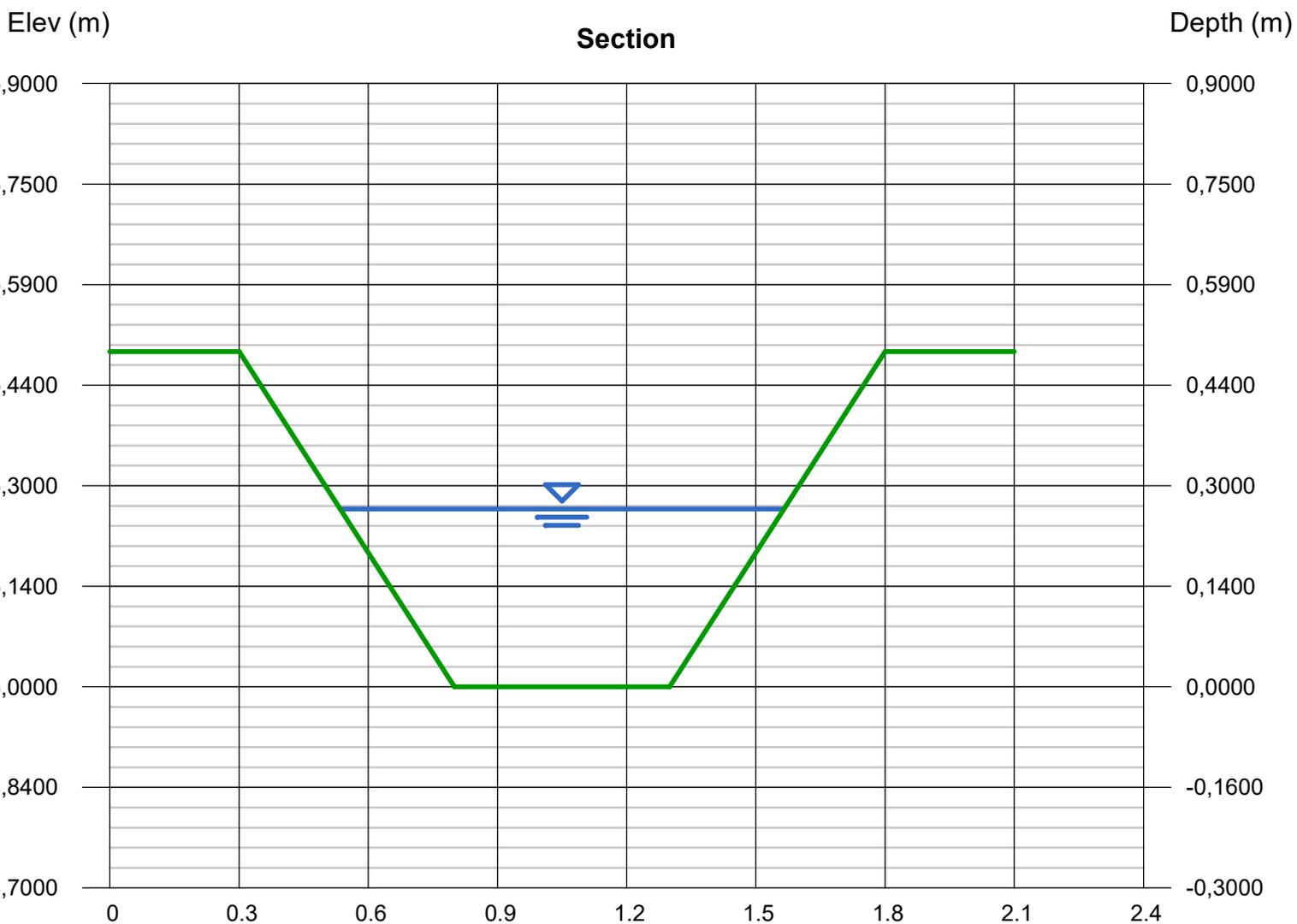
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,2100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2652
Q (cms)	= 0,209
Area (sqm)	= 0,2029
Velocity (m/s)	= 1,0300
Wetted Perim (m)	= 1,2500
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2256
Top Width (m)	= 1,0304
EGL (m)	= 0,3193

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2090



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 649+060 au PK 649+189 RG

### Trapezoidal

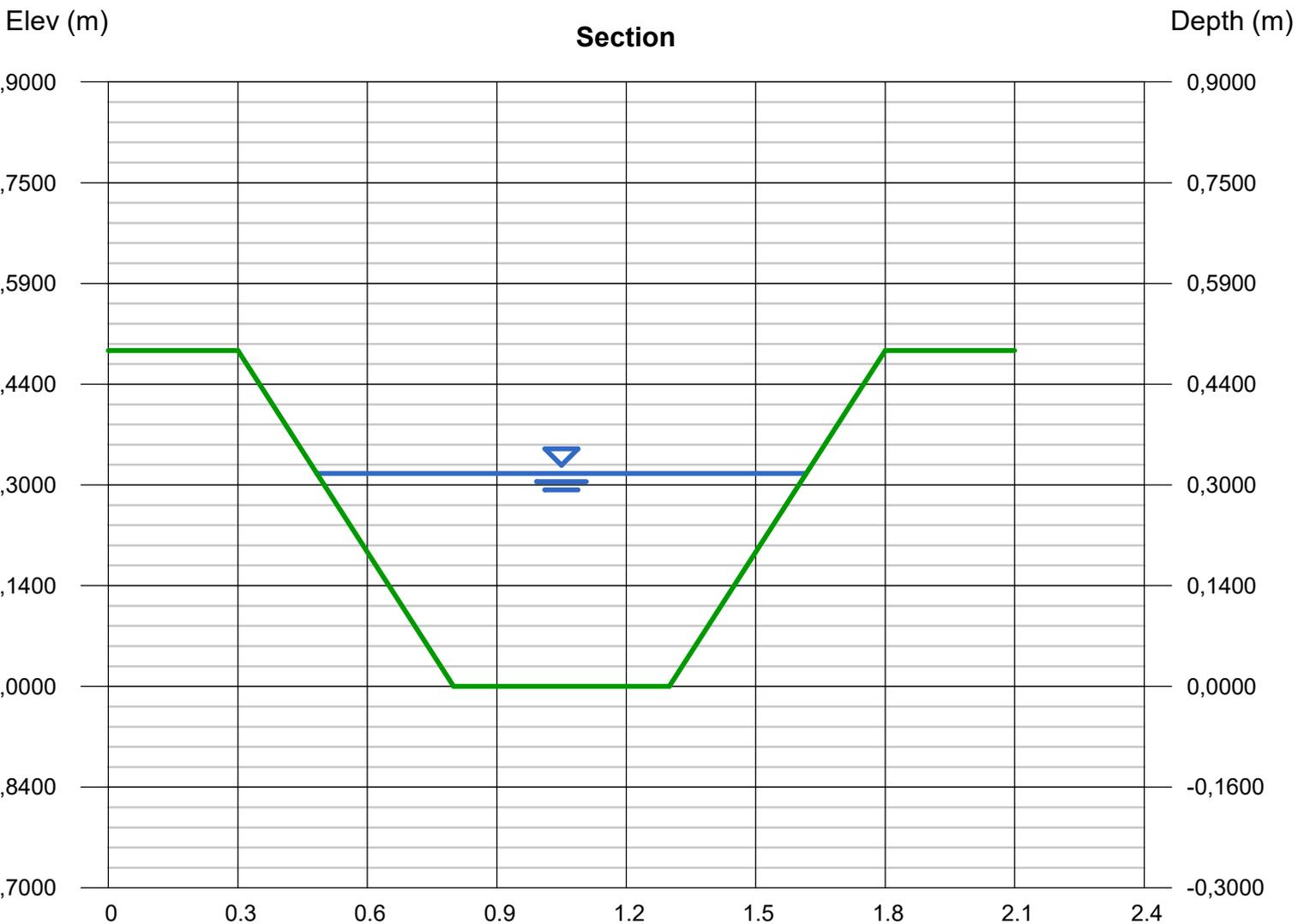
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1000
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3170
Q (cms)	= 0,203
Area (sqm)	= 0,2590
Velocity (m/s)	= 0,7838
Wetted Perim (m)	= 1,3966
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2225
Top Width (m)	= 1,1340
EGL (m)	= 0,3483

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2030



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 649+437 au PK 649+650 RG

### Trapezoidal

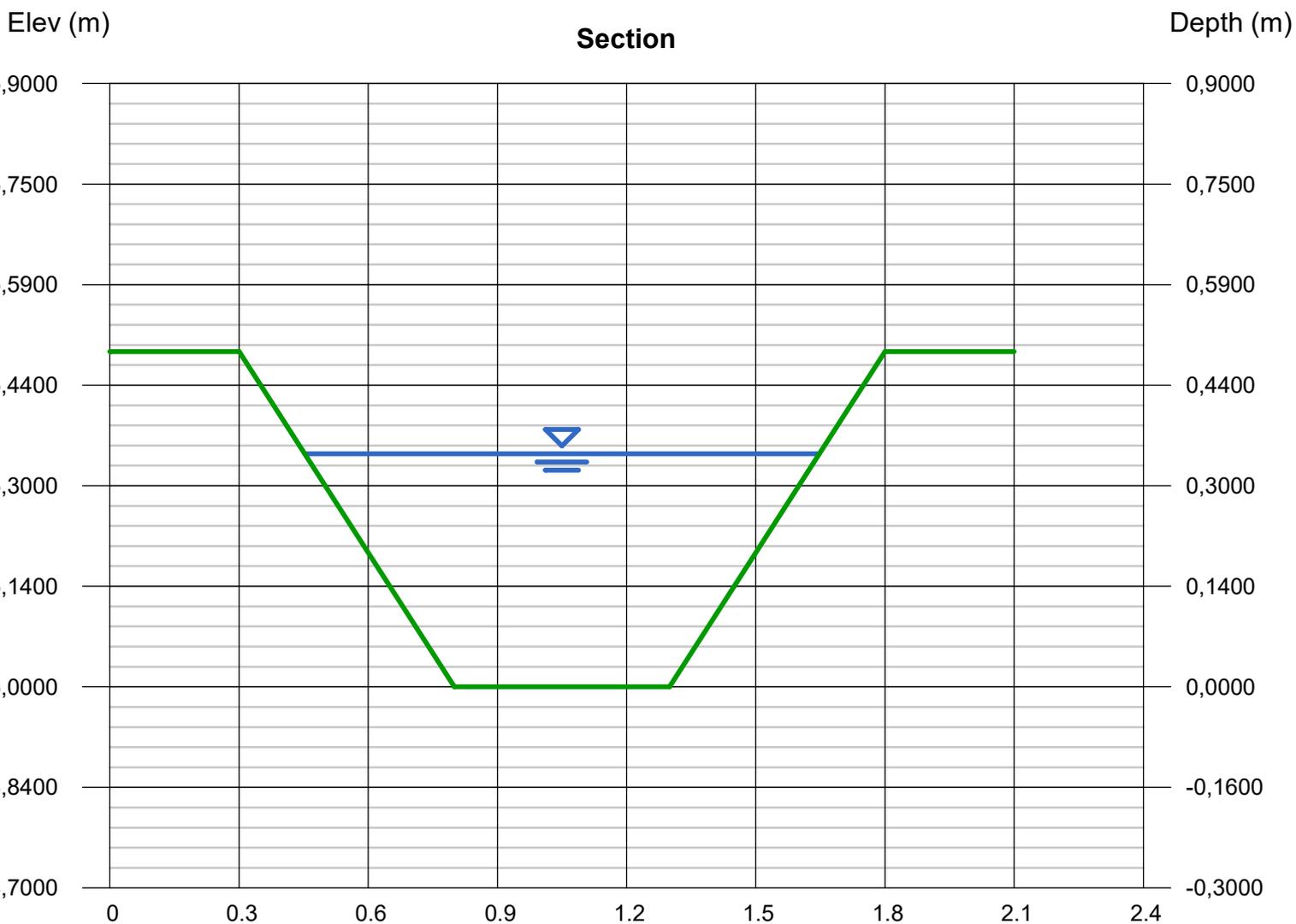
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0400
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3475
Q (cms)	= 0,152
Area (sqm)	= 0,2945
Velocity (m/s)	= 0,5162
Wetted Perim (m)	= 1,4828
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1859
Top Width (m)	= 1,1949
EGL (m)	= 0,3611

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1520



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 649+856, 5 au PK 650+874 RG

### Trapezoidal

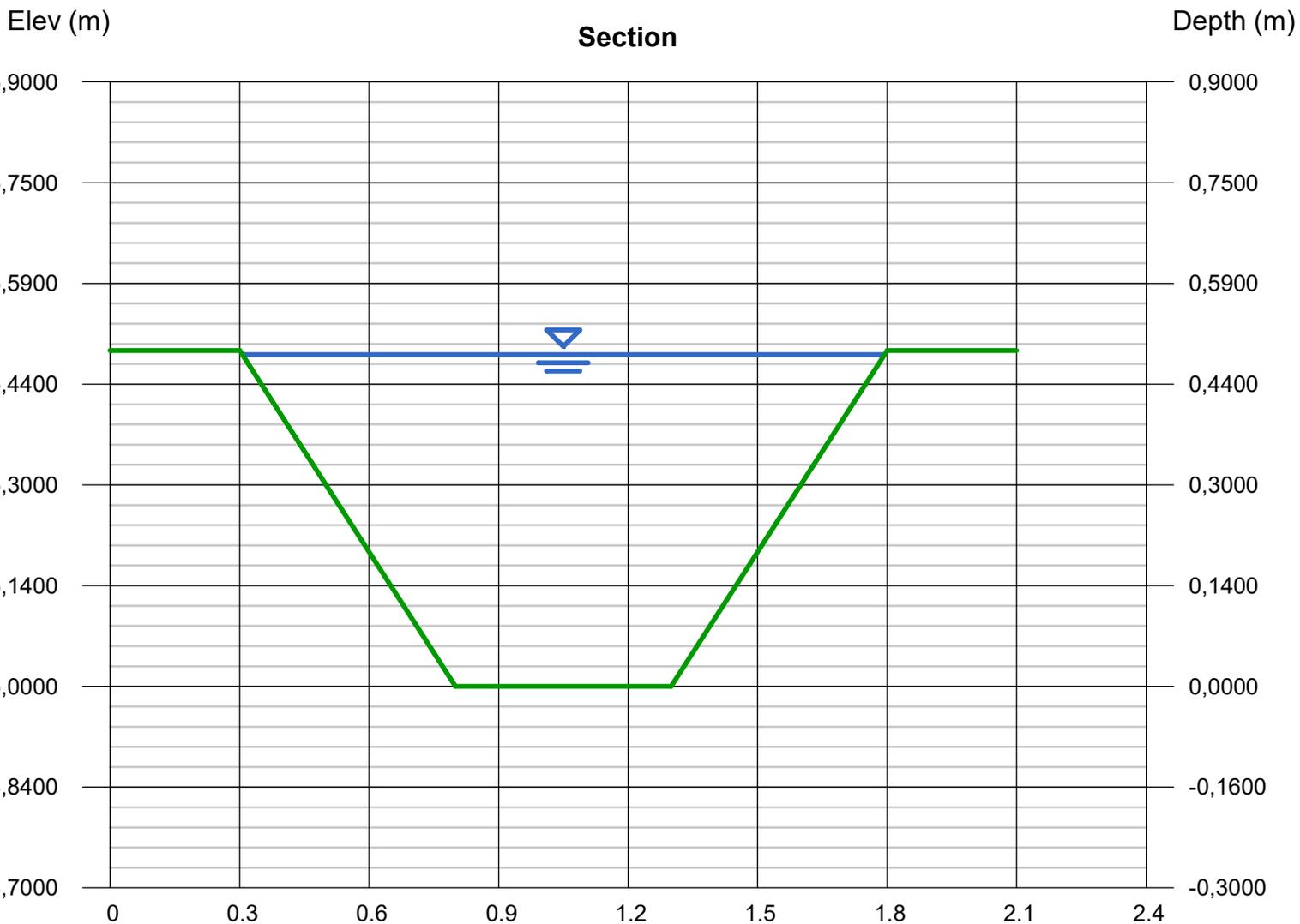
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0500
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,4938
Q (cms)	= 0,3400
Area (sqm)	= 0,4907
Velocity (m/s)	= 0,6929
Wetted Perim (m)	= 1,8966
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2957
Top Width (m)	= 1,4876
EGL (m)	= 0,5183

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,3400



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 651+105 au PK 651+338,5 RG

### Trapezoidal

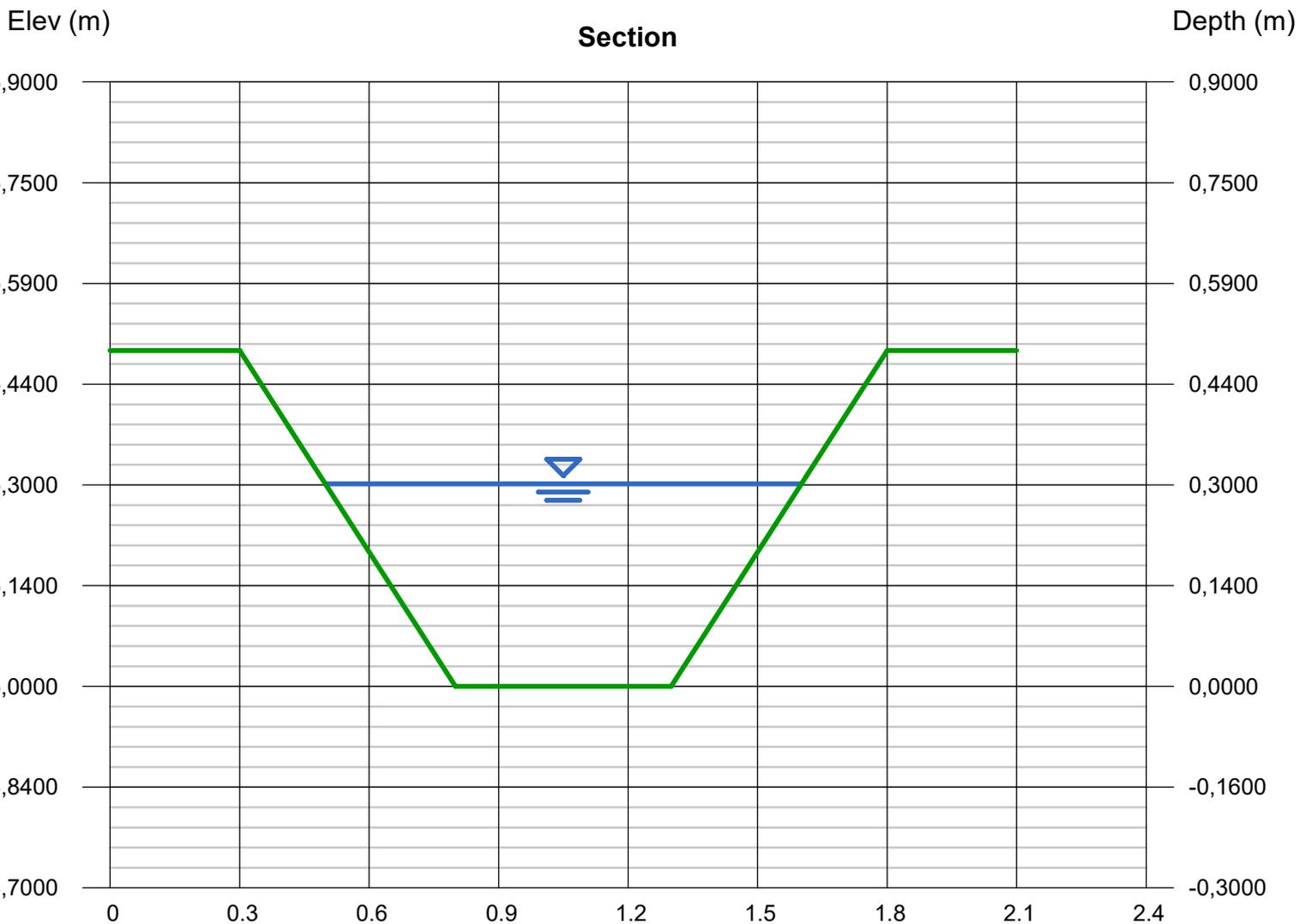
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1600
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3018
Q (cms)	= 0,236
Area (sqm)	= 0,2419
Velocity (m/s)	= 0,9755
Wetted Perim (m)	= 1,3535
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2408
Top Width (m)	= 1,1035
EGL (m)	= 0,3503

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2360



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 651+484 au PK 651+625 RG

### Trapezoidal

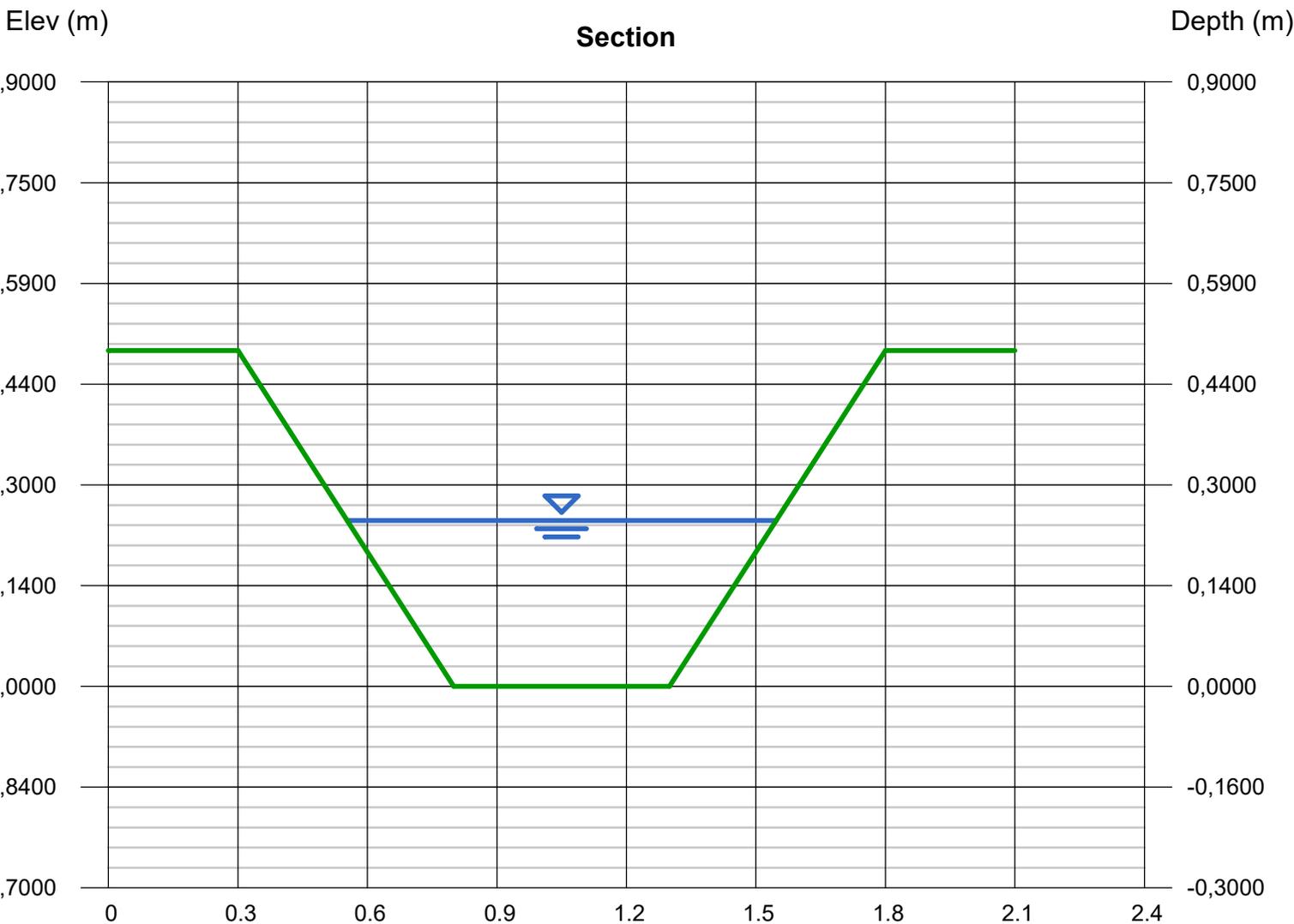
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,3600
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2469
Q (cms)	= 0,242
Area (sqm)	= 0,1844
Velocity (m/s)	= 1,3124
Wetted Perim (m)	= 1,1983
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2438
Top Width (m)	= 0,9938
EGL (m)	= 0,3347

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2420



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 652+550 au PK 652+720 RG

### Trapezoidal

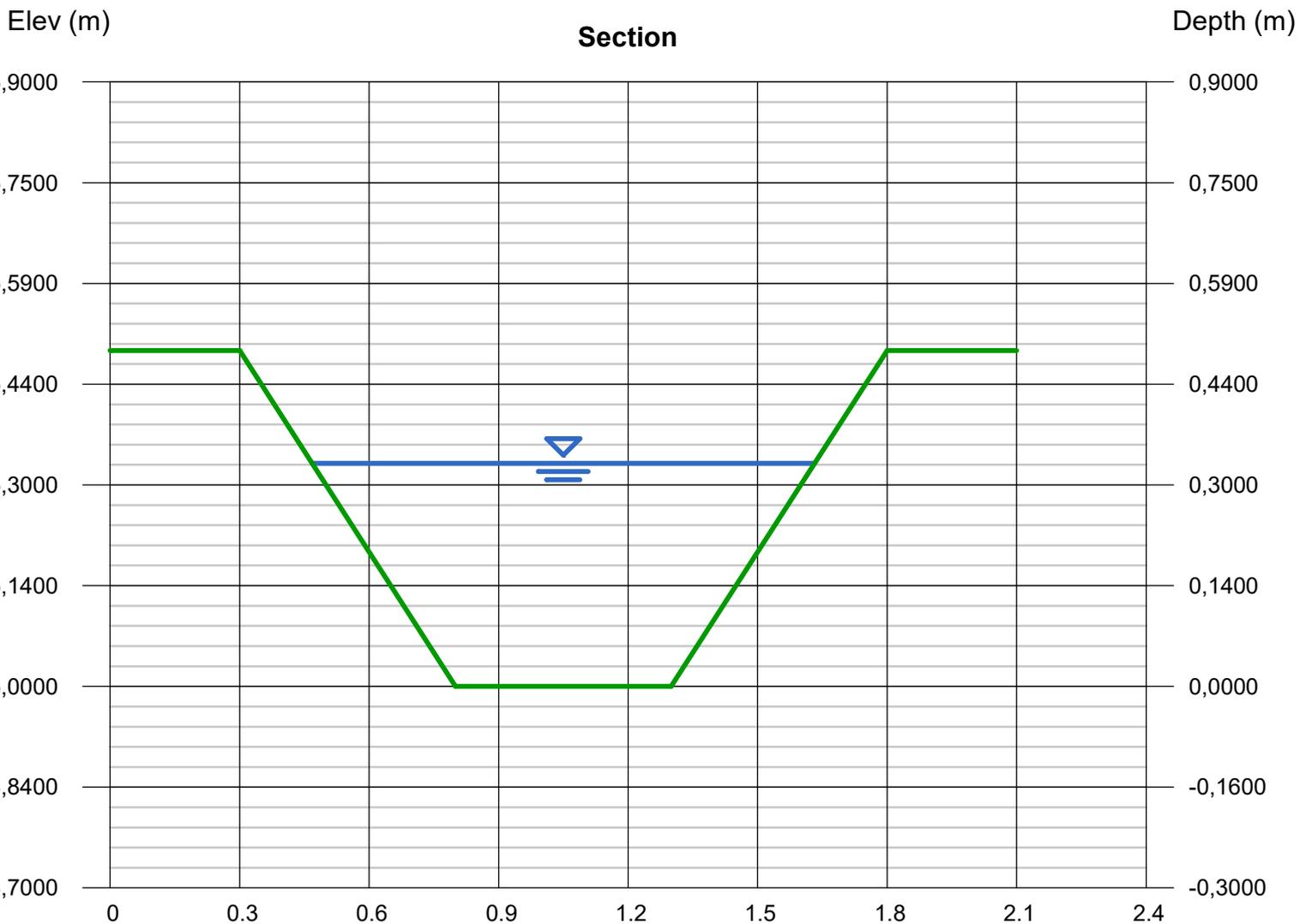
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,0100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,3322
Q (cms)	= 0,070
Area (sqm)	= 0,2765
Velocity (m/s)	= 0,2532
Wetted Perim (m)	= 1,4397
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1189
Top Width (m)	= 1,1645
EGL (m)	= 0,3355

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,0700



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 652+789 au PK 653+014 RG

### Trapezoidal

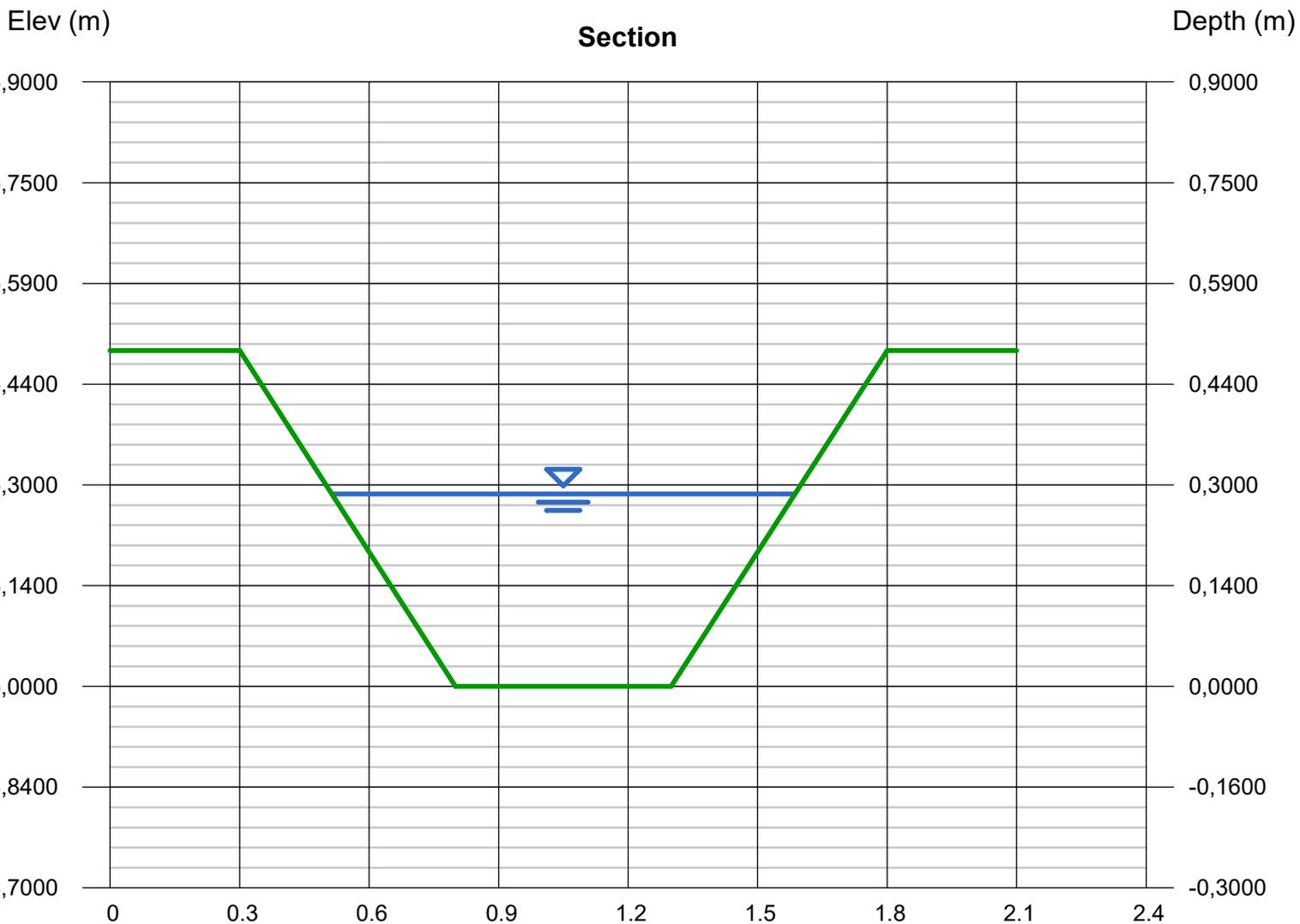
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1900
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2865
Q (cms)	= 0,232
Area (sqm)	= 0,2253
Velocity (m/s)	= 1,0295
Wetted Perim (m)	= 1,3104
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2377
Top Width (m)	= 1,0730
EGL (m)	= 0,3406

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2320



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 653+037 au PK 653+139 RG

### Trapezoidal

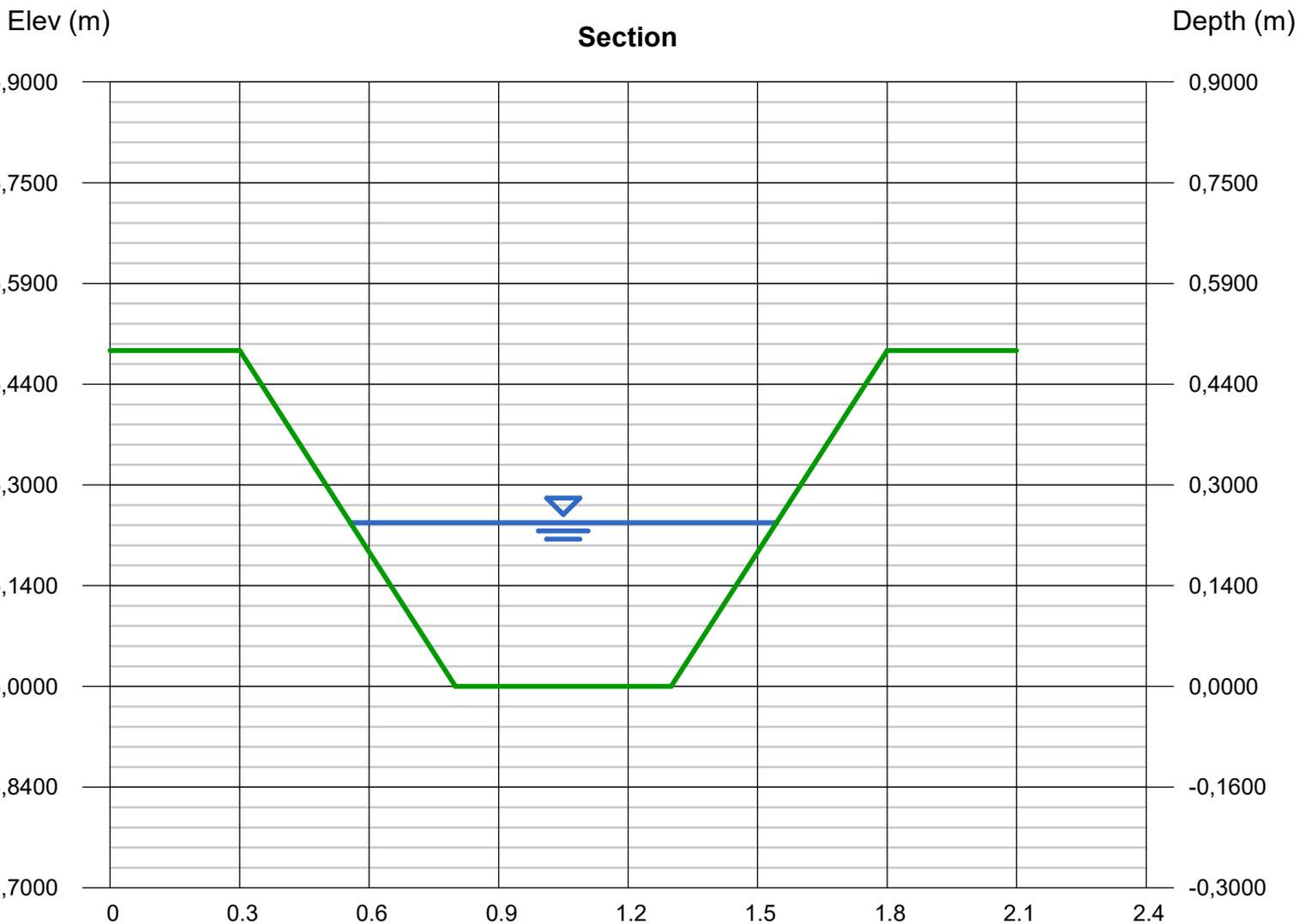
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1700
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2438
Q (cms)	= 0,164
Area (sqm)	= 0,1814
Velocity (m/s)	= 0,9042
Wetted Perim (m)	= 1,1897
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1951
Top Width (m)	= 0,9877
EGL (m)	= 0,2855

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1640



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 653+710 au PK 653+760 RG

### Trapezoidal

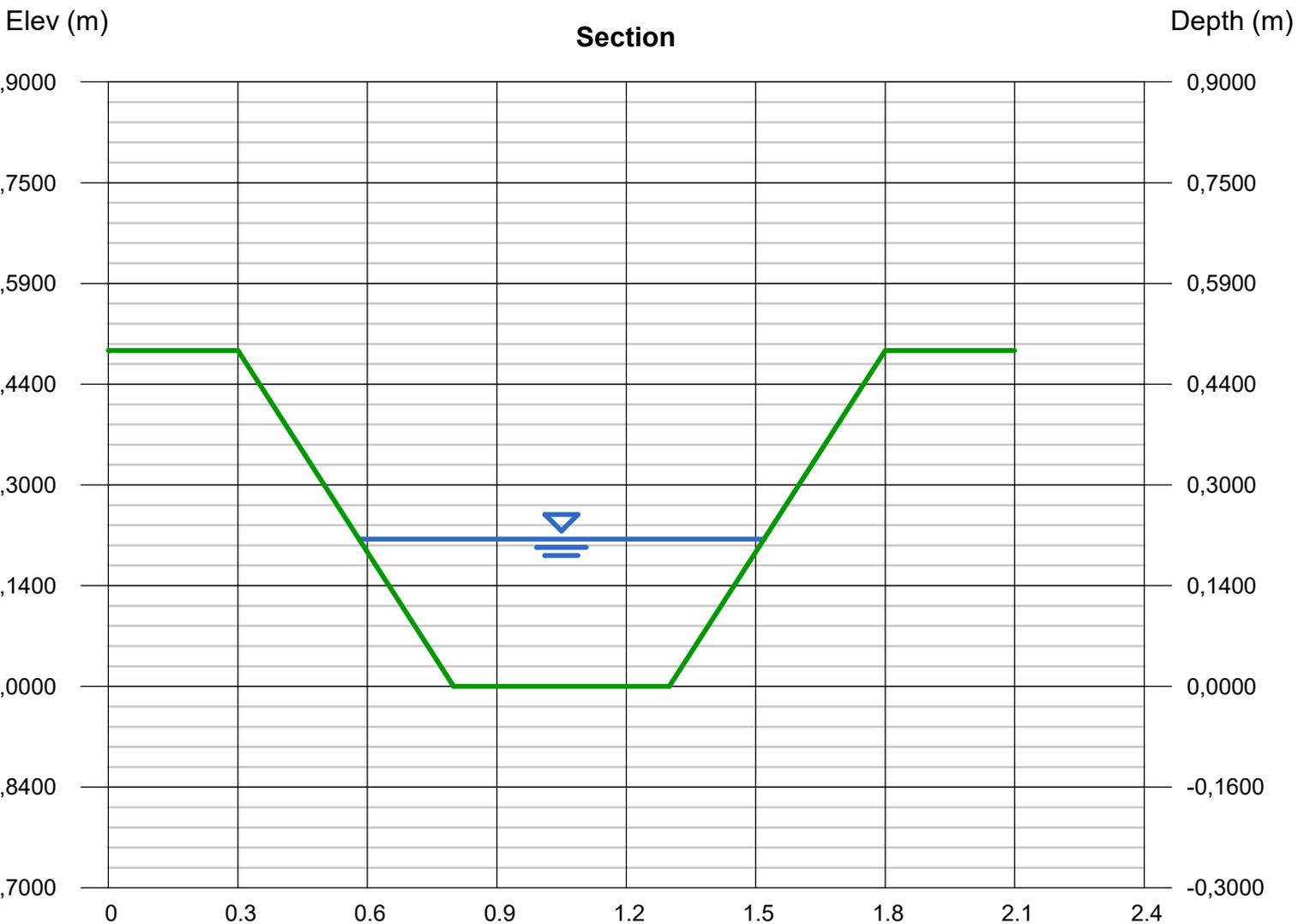
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1400
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2195
Q (cms)	= 0,121
Area (sqm)	= 0,1579
Velocity (m/s)	= 0,7664
Wetted Perim (m)	= 1,1207
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1646
Top Width (m)	= 0,9389
EGL (m)	= 0,2494

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1210



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 653+893 au PK 654+030 RG

### Trapezoidal

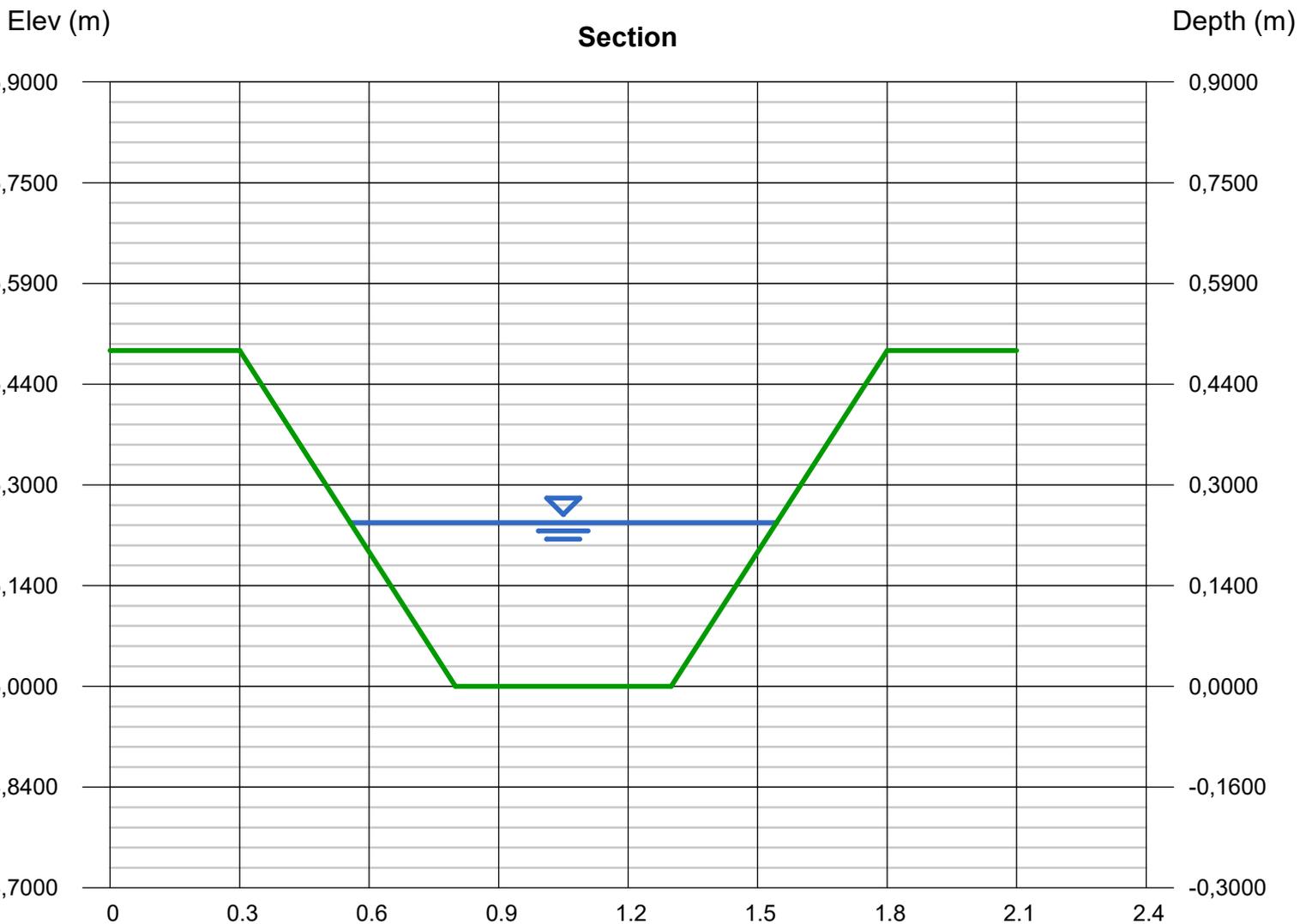
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,3200
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2438
Q (cms)	= 0,223
Area (sqm)	= 0,1814
Velocity (m/s)	= 1,2295
Wetted Perim (m)	= 1,1897
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2347
Top Width (m)	= 0,9877
EGL (m)	= 0,3209

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2230



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 654+244 au PK 654+320 RG

### Trapezoidal

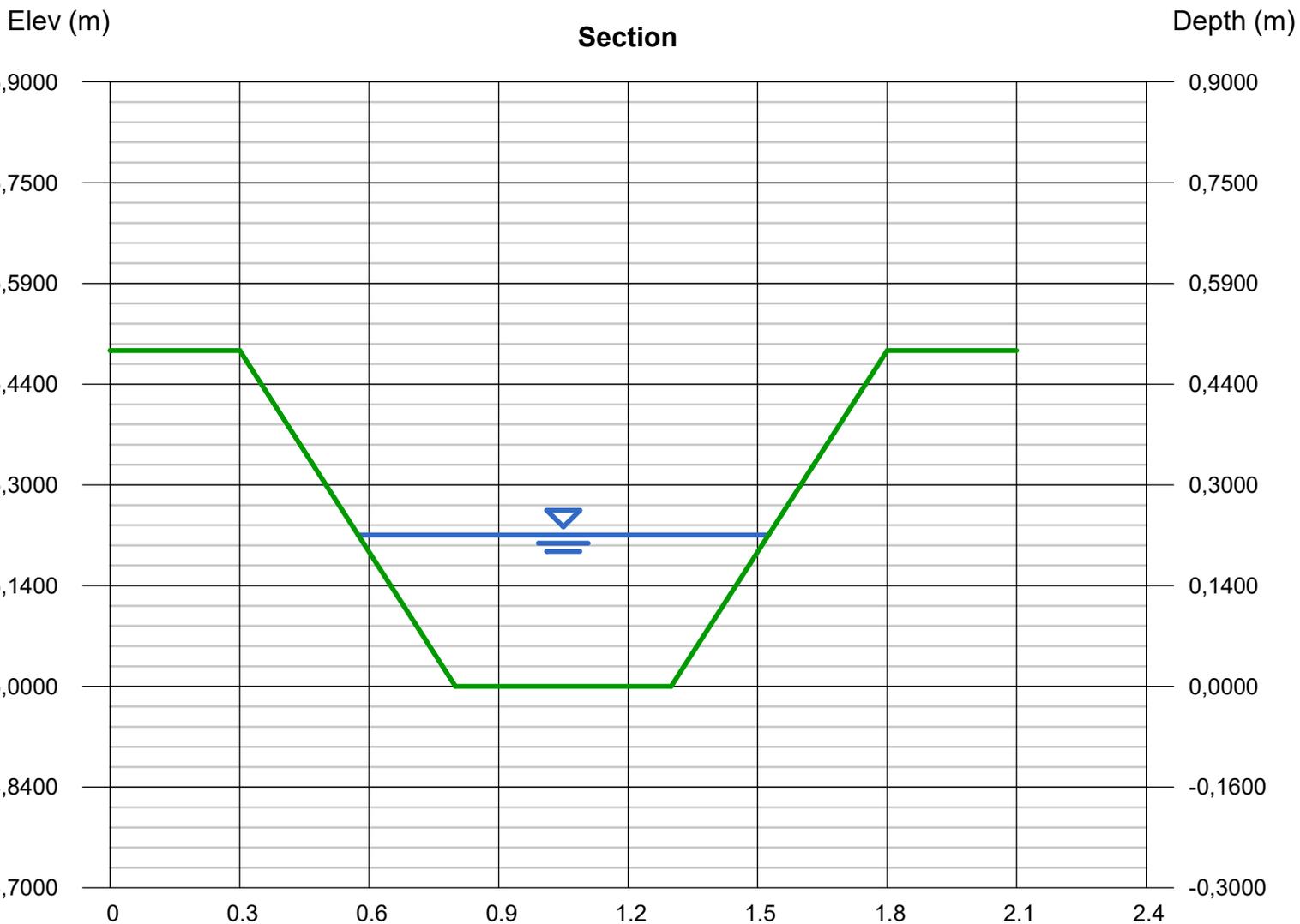
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,2100
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2256
Q (cms)	= 0,158
Area (sqm)	= 0,1636
Velocity (m/s)	= 0,9655
Wetted Perim (m)	= 1,1380
Crit Depth, Yc (m)	= 0,1920
Top Width (m)	= 0,9511
EGL (m)	= 0,2731

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1580



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 655+538 au PK 655+600 RG

### Trapezoidal

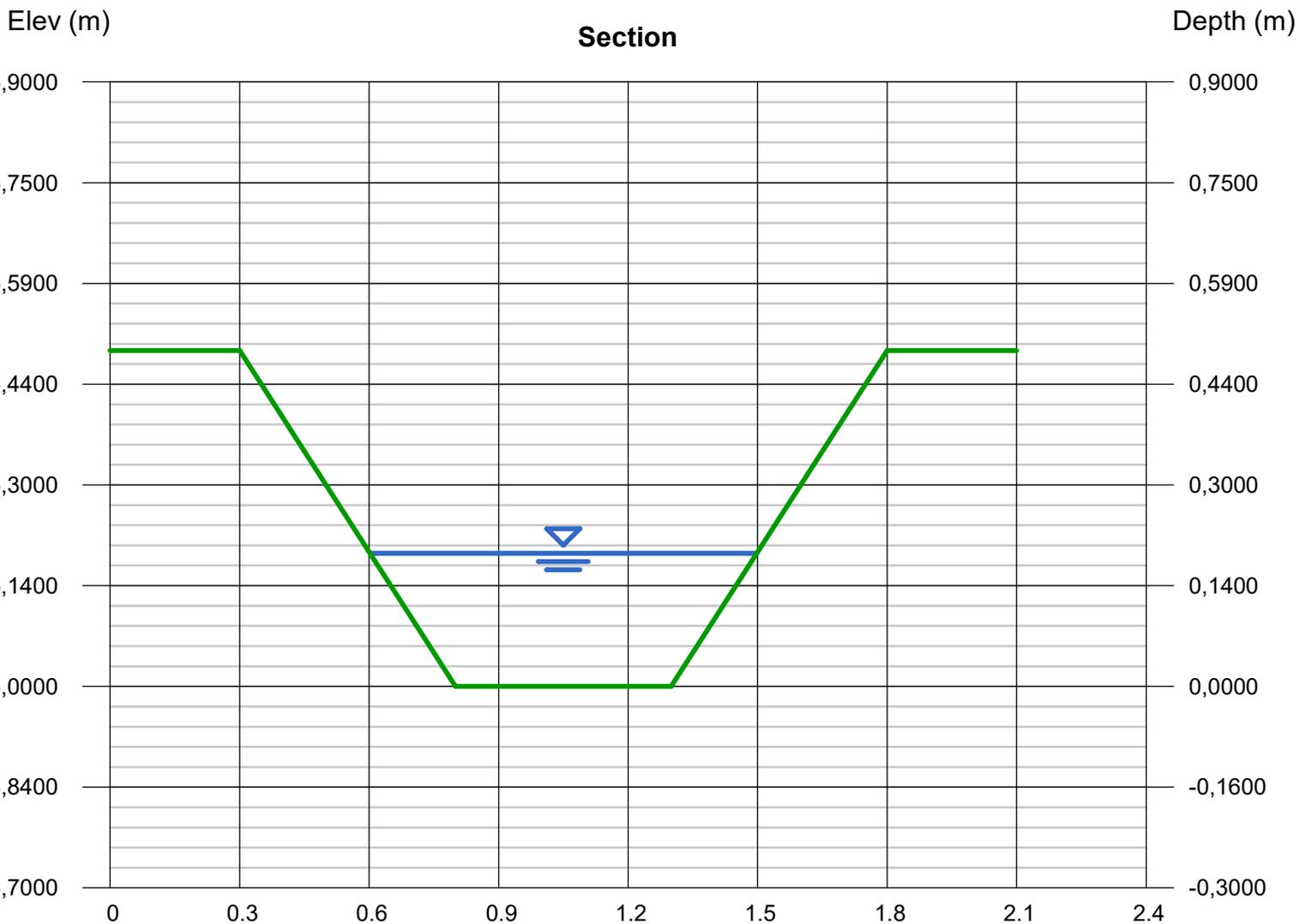
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,4800
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,1981
Q (cms)	= 0,187
Area (sqm)	= 0,1383
Velocity (m/s)	= 1,3520
Wetted Perim (m)	= 1,0604
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2103
Top Width (m)	= 0,8962
EGL (m)	= 0,2914

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,1870



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 659+635 au PK 659+880 RG

### Trapezoidal

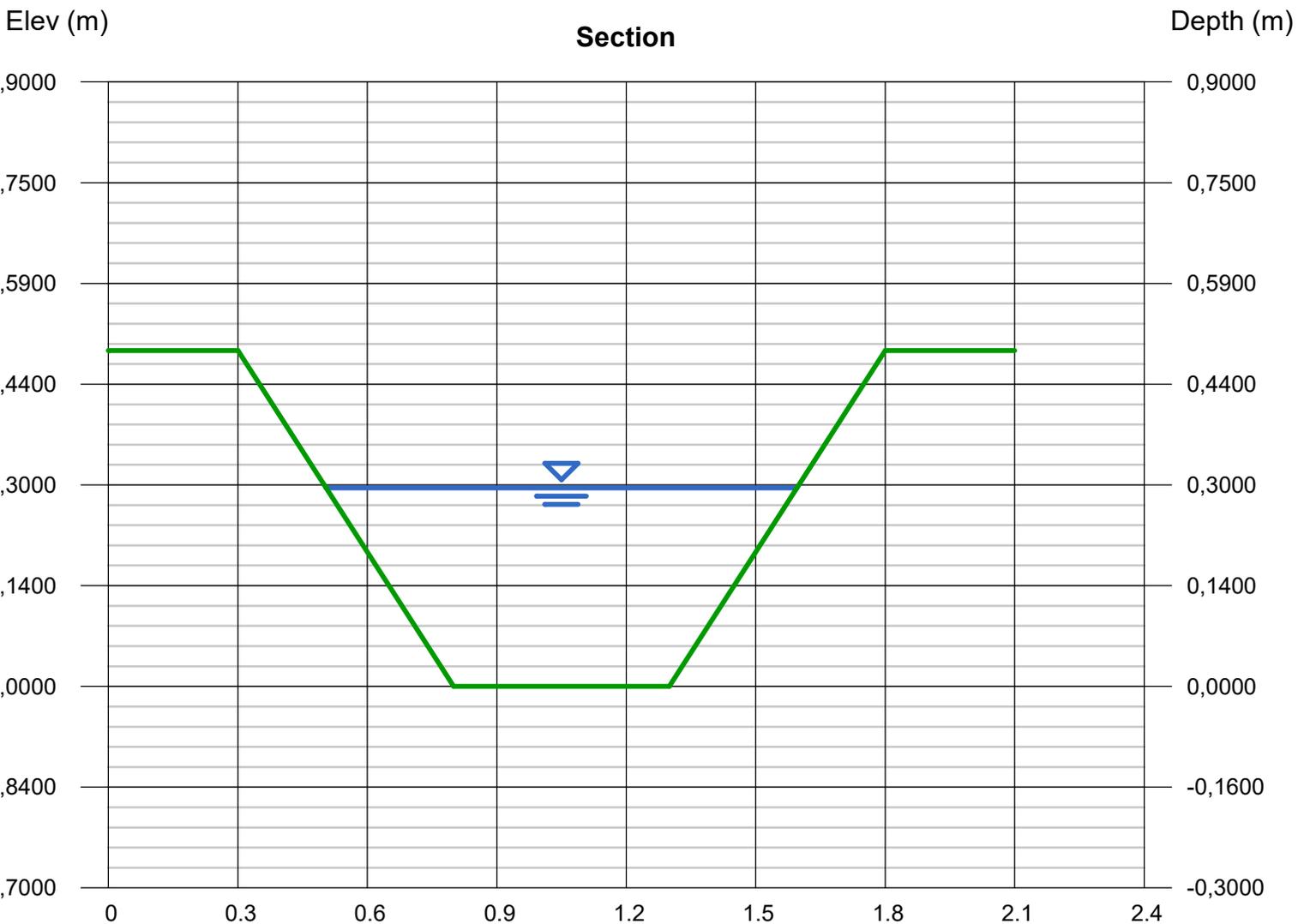
Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,1600
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2957
Q (cms)	= 0,225
Area (sqm)	= 0,2352
Velocity (m/s)	= 0,9565
Wetted Perim (m)	= 1,3362
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2347
Top Width (m)	= 1,0913
EGL (m)	= 0,3423

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2250



# Channel Report

## Fosse trapezoidale (b=0.5m,h=0.5m,1) du PK 660+000 au PK 660+072 RG

### Trapezoidal

Bottom Width (m)	= 0,5000
Side Slopes (z:1)	= 1,0000, 1,0000
Total Depth (m)	= 0,5000
Invert Elev (m)	= 525,0000
Slope (%)	= 0,2700
N-Value	= 0,013

### Highlighted

Depth (m)	= 0,2438
Q (cms)	= 0,203
Area (sqm)	= 0,1814
Velocity (m/s)	= 1,1192
Wetted Perim (m)	= 1,1897
Crit Depth, Yc (m)	= 0,2225
Top Width (m)	= 0,9877
EGL (m)	= 0,3077

### Calculations

Compute by:	Known Q
Known Q (cms)	= 0,2030

