



Mairie de BANDOL
1, place de la Liberté
83 150 - BANDOL

MAITRE D'OUVRAGE

Aménagement Quai Charles De Gaulle Commune de Bandol

Étude Hydraulique



TPF ingénierie
Direction des Opérations Nice Côte d'Azur
4, chemin du Château Saint-Pierre
CS 50531
06 359 – NICE CEDEX 4
T. 04 93 27 66 30- F. 04 93 27 66 39

INGENIERIE

	EMETTEUR	CODE AFFAIRE	TYPE DE DOCUMENT	INDICE	DATE	NB PAGES
REFERENCE DU DOCUMENT	CSo	NCA180004	AVP.EH	01	05/04/2018	85

INDICE	DATE	OBJET	PAGES
01	05/04/2018	Établissement du document	85

REDACTION	VERIFICATION	APPROBATION	DESTINATAIRES
CSo	WM 13/04/18	WM 13/04/18	Mairie de Bandol

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	4
LISTE DES TABLES	5
I - PRESENTATION	6
I.1 - LOCALISATION	6
I.2 - OBJET DE L'ETUDE	7
II - ANALYSE HYDROLOGIQUE	8
II.1 - DELIMITATION ET CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS	8
II.2 - METHODE DE CALCUL DEBITS DE POINTE	10
II.2.1 - PLUIE DE PROJET	11
II.2.2 - CALCUL DEBITS DE POINTE	12
III - SYNTHESE DONNEES TOPOGRAPHIQUES	13
IV - MODELISATION 1D - SWMM	16
IV.1.1 - CAS ACTUEL	16
IV.1.2 - CAS PROJETE	40
V - MODELISATION 2D – TELEMAT 2D	65
V.1 - PREPARATION DU MAILLAGE	65
V.2 - CONDITIONS AUX LIMITES ET « POINTS SOURCES »	65
V.3 - RESULTATS	67
V.3.1 - T = 10 ANS	68
V.3.2 - T = 20 ANS	69
V.3.3 - T = 30 ANS	71
V.3.4 - T = 50 ANS	72
V.3.5 - T = 100 ANS	74
VI - PRECONISATIONS	76
VI.1.1 - DETAIL DES PRECONISATIONS	76
VI.1.2 - HIERARCHISATION DES PRECONISATIONS	78
ANNEXES	81

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation de la commune de Bandol (Carte IGN Géoportail, 1/300 000)	6
Figure 2. Localisation du site d'étude (Plan IGN Géoportail, 1/10 000)	6
Figure 3. Délimitation du site d'étude en six zones (« Aménagement du Quai Charles De Gaulle, commune de Bandol – Mémoire de présentation – TPF-i, 27/01/2017)	7
Figure 4. Délimitation des bassins versants (carte IGN, logiciel ArcGIS)	8
Figure 5. Délimitation des sous bassins versants	9
Figure 6. Coefficients de Montana de la station d'Hyères, pour des pluies de durée de 6 minutes à 2 heures (1977-2014)	11
Figure 7. Pluie de projet utilisée, pour une période de retour T = 10 ans	11
Figure 8. Secteur Ouest Quai Charles De Gaulle	14
Figure 9. Secteur Est Quai Charles De Gaulle	15
Figure 10. Réseau cas actuel (SWMM)	16
Figure 11. Tronçon n°1, cas actuel	17
Figure 12. Profil SWMM, exutoire n°1, cas actuel	18
Figure 13. Tronçon n°2, cas actuel	19
Figure 14. Profil SWMM, exutoire n°2, cas actuel	20
Figure 15. Tronçon n°3, cas actuel	21
Figure 16. Profil SWMM, exutoire n°3, cas actuel	22
Figure 17. Tronçon n°4, cas actuel	23
Figure 18. Profil SWMM, exutoire n°4, cas actuel	24
Figure 19. Tronçon n°5, cas actuel	25
Figure 20. Profil SWMM, exutoire n°5, cas actuel	26
Figure 21. Tronçon n°6, cas actuel	27
Figure 22. Profil SWMM, exutoire n°6, cas actuel	28
Figure 23. Tronçon n°7, cas actuel	29
Figure 24. Profil SWMM, exutoire n°7, cas actuel	30
Figure 25. Tronçon n°8, cas actuel	31
Figure 26. Profil SWMM, exutoire n°8, cas actuel	32
Figure 27. Tronçon n°9 - partie 1, cas actuel	33
Figure 28. Tronçon n°9 - partie 2, cas actuel	34
Figure 29. Profil SWMM, exutoire n°9, cas actuel	35
Figure 30. Tronçon n°10 - partie 1, cas actuel	36
Figure 31. Tronçon n°10 - partie 2, cas actuel	37
Figure 32. Profil SWMM, exutoire n°10, cas actuel	38
Figure 33. Tronçon n°11, cas actuel	39
Figure 34. Réseau cas projeté (SWMM)	40
Figure 35. Tronçon n°1, cas projeté	41
Figure 36. Profil SWMM, exutoire n°1, cas projeté	42
Figure 37. Tronçon n°2, cas projeté	43
Figure 38. Profil SWMM, exutoire n°2, cas projeté	44
Figure 39. Tronçon n°3, cas projeté	45
Figure 40. Profil SWMM, exutoire n°3, cas projeté	46
Figure 41. Tronçon n°4, cas projeté	47
Figure 42. Profil SWMM, exutoire n°4, cas projeté	48
Figure 43. Tronçon n°5, cas projeté	49
Figure 44. Profil SWMM, exutoire n°5, cas projeté	50
Figure 45. Tronçon n°6, cas projeté	51
Figure 46. Profil SWMM, exutoire n°6, cas projeté	52
Figure 47. Tronçon n°7, cas projeté	53
Figure 48. Profil SWMM, exutoire n°7, cas projeté	54

Figure 49. Tronçon n°8, cas projeté	55
Figure 50. Profil SWMM, exutoire n°8, cas projeté	56
Figure 51. Tronçon n°9 - partie 1, cas projeté	57
Figure 52. Tronçon n°9 - partie 2, cas projeté	58
Figure 53. Profil SWMM, exutoire n°9, cas projeté	59
Figure 54. Tronçon n°10 - partie 1, cas projeté	60
Figure 55. Tronçon n°10 - partie 2, cas projeté	61
Figure 56. Profil SWMM, exutoire n°10, cas projeté	62
Figure 57. Tronçon n°11, cas projeté	63
Figure 58. Profil SWMM, exutoire n°11, cas projeté	64
Figure 59. Maillage de la zone d'étude (logiciel BlueKenue)	65
Figure 60. Localisation des nœuds de débordement	66
Figure 61. Localisation des conditions aux limites imposées	66
Figure 62. Hydrogrammes de débordements pour la période de retour T = 20 ans (SWMM, Excel)	67
Figure 63. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 10 ans (BlueKenue)	68
Figure 64. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 10 ans (BlueKenue)	68
Figure 65. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 20 ans (BlueKenue)	69
Figure 66. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 20 ans (BlueKenue)	70
Figure 67. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 30 ans (BlueKenue)	71
Figure 68. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 30 ans (BlueKenue)	71
Figure 69. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 50 ans (BlueKenue)	72
Figure 70. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 50 ans (BlueKenue)	73
Figure 71. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 100 ans (BlueKenue)	74
Figure 72. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 100 ans (BlueKenue)	74
Figure 73. Coupe-type ouvrage interface terre-mer (exutoires n°1 à 8)	77
Figure 74. Coupe-type ouvrage interface terre-mer (exutoires n°9 à 11)	77

LISTE DES TABLES

Tableau 1. Caractéristiques des bassins versants délimités (surface, pente et largeur moyenne, % d'imperméabilisation)	10
Tableau 2. Résultats débits de pointe, pour les périodes de retour T = 10, 20, 30, 50 et 100 ans	12
Tableau 3. Synthèse documents topographiques mis à disposition	13
Tableau 4. Récapitulatif travaux à entreprendre	76
Tableau 5. Niveaux de priorité des préconisations pour chaque tronçon	79

I - PRESENTATION

1.1 - LOCALISATION

La commune de Bandol se situe dans la zone Ouest du département du Var (83). Elle est limitrophe des quatre communes suivantes : La Cadière d'Azur, Le Castellet, Saint-Cyr-Sur-Mer et Sanary-Sur-Mer.



Figure 1. Localisation de la commune de Bandol (Carte IGN Géoportail, 1/300 000)

Le site d'étude concerne le quai Charles De Gaulle, lieu de forte influence bordant la mer Méditerranée.



Figure 2. Localisation du site d'étude (Plan IGN Géoportail, 1/10 000)

1.2 - OBJET DE L'ÉTUDE

La Ville de Bandol souhaite requalifier le quai Charles De Gaulle et ses abords. Cette requalification consiste au réaménagement des espaces publics situés entre les commerces longeant le port et les quais (trottoirs, terrasses, voiries, parkings,...).

Le marché de Maîtrise d'œuvre concernant l'aménagement du quai Charles De Gaulle a été notifié à TPF-i le 30 décembre 2016.

Pour le volet hydraulique, il a été demandé d'effectuer une analyse hydrologique et hydraulique, afin d'établir un état des lieux du réseau pluvial existant au niveau de la zone de projet. Cet état des lieux a permis d'identifier les zones de désordres hydrauliques et de préconiser des solutions pour remédier à la situation actuelle.

Le territoire concerné a été délimité en six zones, présentées sur la *figure n°3*. La présente étude concerne l'ensemble des zones énoncées.



Figure 3. Délimitation du site d'étude en six zones (« Aménagement du Quai Charles De Gaulle, commune de Bandol – Mémoire de présentation – TPF-i, 27/01/2017)

- **Zone 1** : section comprise entre le giratoire entrée de ville et le giratoire de la fontaine, rue Gabriel Péri, quai Charles De Gaulle
- **Zone 2** : section comprise entre le giratoire du parking Nord du Casino et l'intersection avec la rue du Docteur Marçon
- **Zone 3** : parking Nord du Casino
- **Zone 4** : parking Sud du Casino
- **Zone 5** : parking Central
- **Zone 6** : quais le long du port

II - ANALYSE HYDROLOGIQUE

II.1 - DELIMITATION ET CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

Le bassin versant correspond à l'unité de base en hydrologie. Cette entité peut être assimilée à un système.

L'analyse du comportement des bassins versants soumis à une averse repose essentiellement sur la connaissance et la distinction de trois types de processus :

1. Les processus pluviométriques : estimation des intensités des précipitations en fonction du temps et pour différentes probabilités ;
2. Les processus hydrologiques : transformation de la pluie en débit ruisselé ;
3. Les processus hydrauliques : détermination des hauteurs d'eau, vitesses, pressions en fonction des débits.

La délimitation des bassins versants a été réalisée à partir de la carte topographique au 1/25 000ème de l'IGN, et du logiciel ArcGIS. Cette délimitation est présentée sur la *figure n°4*.



Des sous bassins versants ont également été délimités et sont localisés sur la *figure n°5*.



Figure 5. Délimitation des sous bassins versants

Les caractéristiques de chaque bassin versant sont disponibles dans le *tableau n°1* ci-dessous.

Tableau 1. Caractéristiques des bassins versants délimités (surface, pente et largeur moyenne, % d'imperméabilisation)

Dénomination	Surface (ha)	Pente moyenne (%)	Largeur moyenne (m)	Imperméabilisation (%)
Bassins versants généraux				
BV_100	58,81	10	650	70
BV_101	45,55	12	580	60
BV_102	1,56	5	150	80
BV_103	0,84	5	120	80
BV_104	4,56	8	250	
Sous bassins versants				
SBV_01	2,68	1	50	70
SBV_02	0,38	2	50	98
SBV_03	0,19	1	30	100
SBV_04	0,27	1	25	98
SBV_05	0,24	1	40	98
SBV_06	0,15	0,5	25	98
SBV_07	0,10	0,5	20	98
SBV_08	0,06	0,5	20	100
SBV_09	0,28	0,5	25	98
SBV_10	0,08	0,5	15	100
SBV_11	0,22	0,5	50	100
SBV_12	0,12	0,5	15	100
SBV_13	0,17	0,5	25	98
SBV_14	0,13	0,5	50	98
SBV_15	0,08	0,5	15	100
SBV_16	0,10	0,5	15	100
SBV_17	0,20	0,5	30	96
SBV_18	0,13	0,5	30	97
SBV_19	0,26	0,5	40	100
SBV_20	0,11	1	25	100
SBV_21	0,75	5	90	30
SBV_22	0,51	0,5	45	98
SBV_23	0,51	0,5	60	98
SBV_24	0,23	0,5	55	60
SBV_25	0,15	0,5	25	100
SBV_26	0,20	1	50	50

II.2 - METHODE DE CALCUL DEBITS DE POINTE

Pour calculer les débits de pointe, c'est le logiciel SWMM (Storm Water Management Model) qui a été utilisé. C'est un modèle dynamique de simulation pluie-débit, développé par l'Agence de Protection Environnementale Américaine (United-States Environmental Protection Agency).

II.2.1 - PLUIE DE PROJET

Il est nécessaire de construire une pluie de projet, qui est le premier composant pour la simulation pluie-débit. Pour cela nous avons construit une pluie de type double triangle pour les périodes de retour 10, 20, 30, 50 et 100 ans.

Les coefficients de Montana utilisés pour la construction des différentes pluies de projet sont les coefficients de la station d'Hyères, station météorologique la plus proche du site d'étude (*figure n°6*).

Durée de retour	a	b
5 ans	255	0.469
10 ans	297	0.459
20 ans	338	0.449
30 ans	360	0.442
50 ans	384	0.431
100 ans	416	0.417

Figure 6. Coefficients de Montana de la station d'Hyères, pour des pluies de durée de 6 minutes à 2 heures (1977-2014)

Ces coefficients ont été calculés par ajustement statistique entre les intensités de pluie pour une période de retour donnée et des durées d'épisodes de pluie entre six minutes et deux heures. Les statistiques ont été effectuées sur un échantillon de 37 années (1977-2014).

La pluie de projet pour une période de retour 10 ans est présentée sur la *figure n°7*. Les pluies de projets pour les périodes de retour 20, 30, 50 et 100 sont disponibles en annexes.

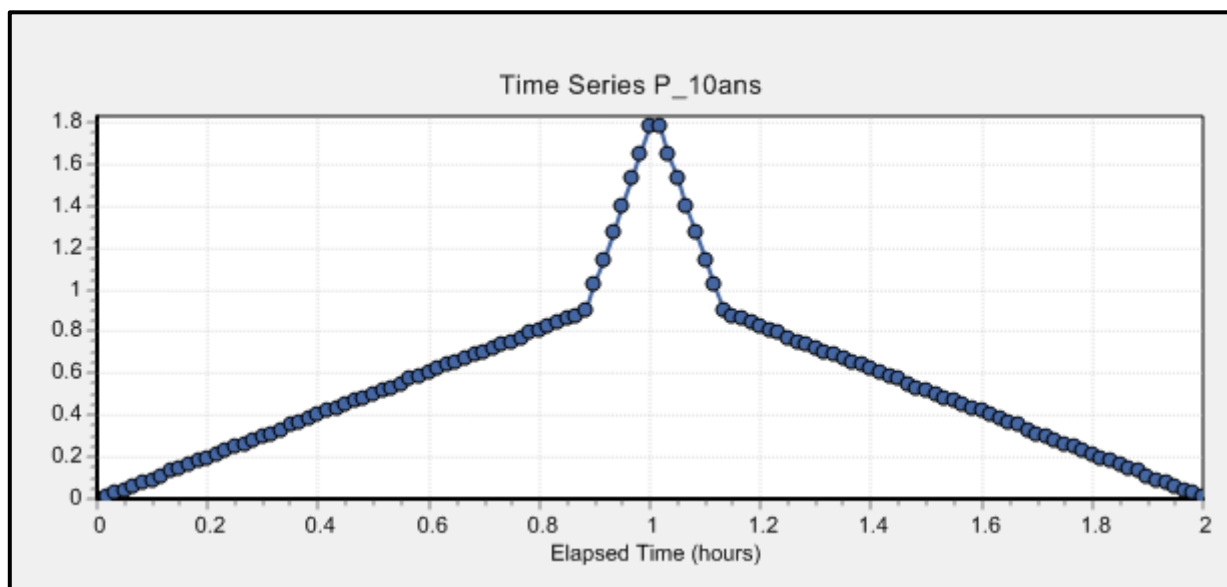


Figure 7. Pluie de projet utilisée, pour une période de retour T = 10 ans

II.2.2 - CALCUL DEBITS DE POINTE

SWMM utilise la méthode du Réservoir Non Linéaire pour calculer le débit de pointe. Il considère les précipitations, la fonte des neiges, les infiltrations et l'évaporation.

Pour l'infiltration, plusieurs méthodes peuvent être utilisées (Green-Ampt, Green-Ampt modifiée, Horton, Horton modifiée, « Curve Number »). Pour le cas étudié, nous avons utilisé la méthode d'infiltration d'Horton.

Les caractéristiques des bassins versants utilisées pour le calcul sont la surface, la pente et la largeur.

Les débits de pointe calculés pour chaque bassin versant et pour les différents périodes de retour (10, 20, 30, 50 et 100 ans) sont présentés dans le *tableau n°2*.

Tableau 2. Résultats débits de pointe, pour les périodes de retour T = 10, 20, 30, 50 et 100 ans

Dénomination	Q _{10 ans} (m ³ /s)	Q _{20 ans} (m ³ /s)	Q _{30 ans} (m ³ /s)	Q _{50 ans} (m ³ /s)	Q _{100 ans} (m ³ /s)
Bassins versants généraux					
BV_100	6,549	7,835	8,769	10,196	12,744
BV_101	5,218	6,281	7,075	8,273	10,354
BV_102	0,220	0,284	0,329	0,383	0,447
BV_103	0,126	0,165	0,190	0,217	0,248
BV_104	0,613	0,780	0,903	1,062	1,266
Sous bassins versants					
SBV_01	0,567	0,668	0,727	0,802	0,906
SBV_02	0,107	0,119	0,125	0,133	0,141
SBV_03	0,051	0,057	0,060	0,064	0,068
SBV_04	0,071	0,081	0,085	0,091	0,098
SBV_05	0,065	0,073	0,076	0,081	0,086
SBV_06	0,041	0,046	0,049	0,052	0,056
SBV_07	0,028	0,032	0,033	0,035	0,038
SBV_08	0,018	0,020	0,021	0,022	0,024
SBV_09	0,072	0,082	0,087	0,094	0,102
SBV_10	0,023	0,026	0,027	0,029	0,031
SBV_11	0,060	0,067	0,071	0,075	0,080
SBV_12	0,031	0,035	0,037	0,039	0,042
SBV_13	0,046	0,052	0,055	0,058	0,063
SBV_14	0,037	0,041	0,043	0,046	0,048
SBV_15	0,022	0,025	0,026	0,028	0,030
SBV_16	0,028	0,031	0,033	0,035	0,037
SBV_17	0,053	0,060	0,063	0,067	0,072
SBV_18	0,034	0,039	0,041	0,043	0,046
SBV_19	0,071	0,079	0,084	0,089	0,095
SBV_20	0,032	0,035	0,037	0,039	0,042
SBV_21	0,080	0,114	0,137	0,166	0,200
SBV_22	0,128	0,146	0,155	0,167	0,181
SBV_23	0,134	0,151	0,161	0,172	0,185
SBV_24	0,044	0,053	0,059	0,066	0,074
SBV_25	0,039	0,044	0,047	0,049	0,053
SBV_26	0,037	0,046	0,052	0,057	0,064

III -SYNTHESE DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Afin d'effectuer des modélisations 1D et 2D les plus représentatives du site, une importante récolte de données topographiques a été effectuée.

Les différents documents récupérés sont présentés dans le *tableau n°3*.

Tableau 3. Synthèse documents topographiques mis à disposition

N°	Dénomination	Date de création	Date de réception
1	Plan de récolement – Aménagement surfaces côté plage et côté stade	Juin 2013	7 mars 2018
2	Plan topographique – échelle 1/200 Cabinet GÉSUD Sanary	Février 2017	12 janvier 2018
3	MAJ de la topographie (pluvial)	Juillet 2017	30 janvier 2018
4	MAJ de la topographie – suite nouvelles investigations (pluvial) Complément topographique côté zone de carénage	26 février 2018	27 février 2018
5	Fourniture du plan ITV SOLTRACE Identification des puisards	2006	01 mars 2018
6	MAJ de la topographie (pluvial) – suite nouvelles investigations	-	06 mars 2018
7	MAJ de la topographie (pluvial) – suite nouvelles investigations	12 mars 2018	-
8	Rapport de visite des plongeurs Alpha Travaux Sous-Marins	-	26 mars 2018
9	MAJ de la topographie (pluvial) – suite rapport ATSM	27 mars 2018	29 mars 2018

Malgré le grand nombre de documents topographiques mis à disposition, il reste des zones d'incertitudes où il a été nécessaire d'extrapoler. Les zones sont localisées sur les *figures n°8 et 9*.

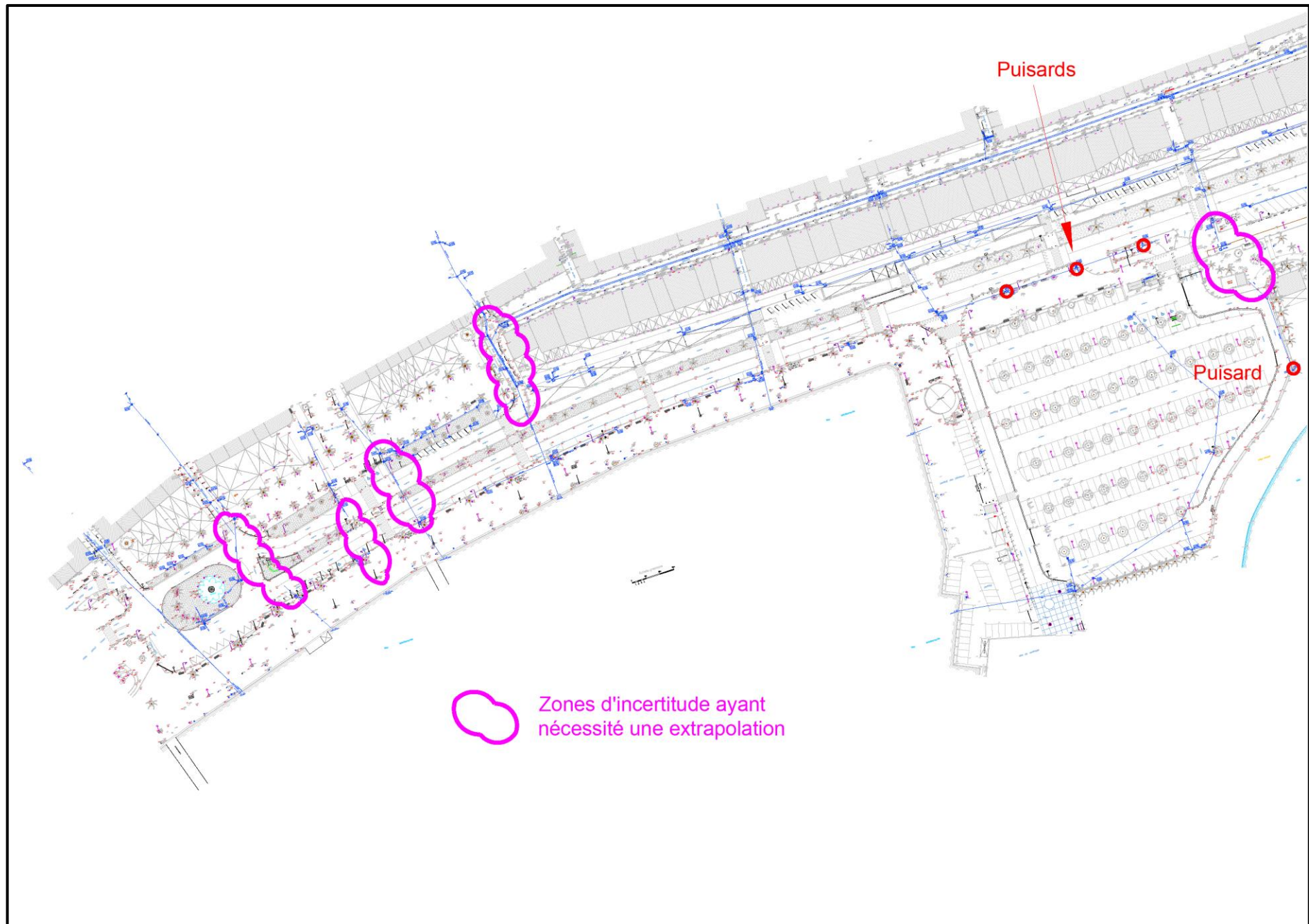


Figure 8. Secteur Ouest Quai Charles De Gaulle

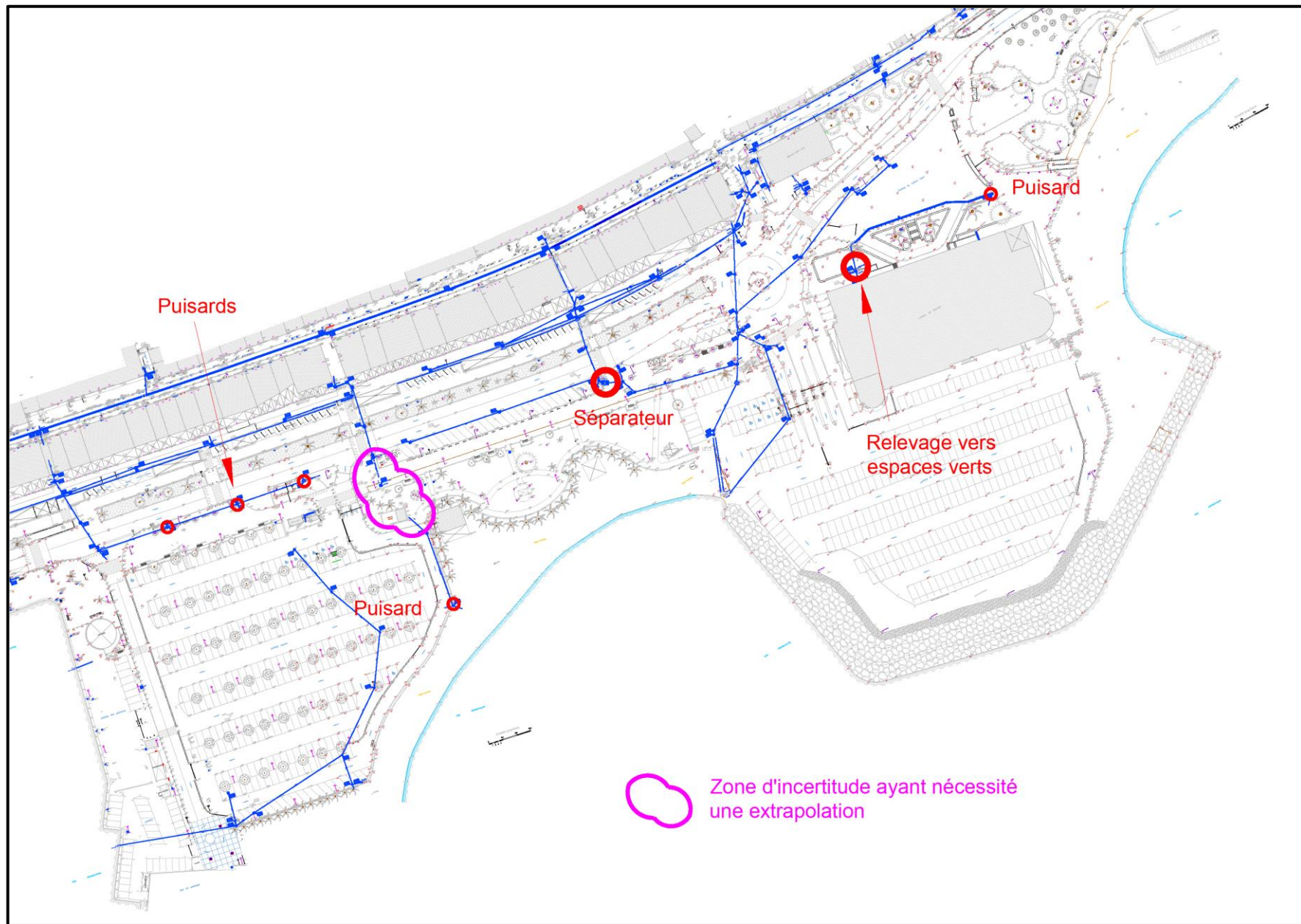


Figure 9. Secteur Est Quai Charles De Gaulle

IV - MODELISATION 1D - SWMM

Le logiciel SWMM a été utilisé pour modéliser le réseau pluvial actuel du site d'étude, afin d'observer les zones de désordres hydrauliques. Une modélisation du cas projeté, considérant les aménagements préconisés a également été réalisée.

SWMM résout les équations de Saint-Venant (équation de conservation de la masse et équation de quantité de mouvement) à une dimension, pour des régimes graduellement varié et transitoire. Trois méthodes sont utilisables pour résoudre les équations : méthode stationnaire, méthode de l'onde cinématique, et méthode de l'onde dynamique.

Pour le cas d'étude, nous utilisons la méthode de l'onde dynamique, car elle résout la forme complète des équations de Saint-Venant et qu'elle fournit les résultats les plus précis.

Les hypothèses considérées par le logiciel pour la simulation sont les suivantes :

- le flux est à une dimension ;
- la pression est hydrostatique ;
- le cosinus de l'angle de la pente du lit du canal est proche de l'ensemble ;
- les conditions de frottement peuvent être représentées de la même manière que pour un écoulement stationnaire.

IV.1.1 - CAS ACTUEL

L'ensemble du réseau pluvial localisé sur le site étudié a été pris en compte pour la modélisation 1D. Le réseau compte 11 rejets en mer. Pour considérer le niveau de la mer dans la simulation, nous avons fixé la hauteur d'eau en chaque exutoire à 0,88 m (hauteur d'eau représentative d'une période de retour décennale – réf : *Diagnostic de la digue du Casino, rapport de diagnostic – Océanide, 2015*). Le réseau actuellement en place est présenté sur la *figure n°10* et les exutoires sont encerclés en bleu.

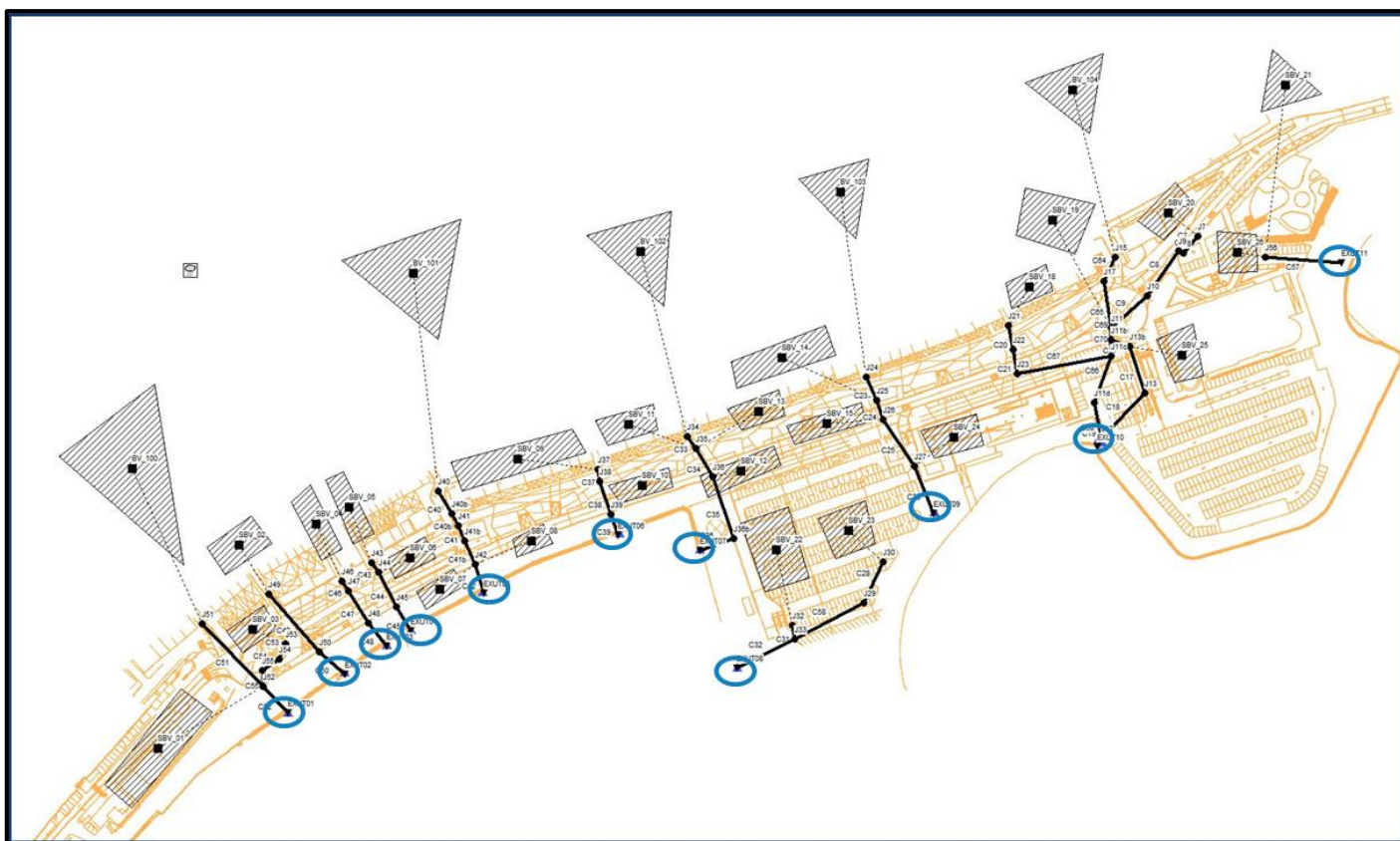


Figure 10. Réseau cas actuel (SWMM)

Chaque tronçon a été observé. Les planches sur les *figures n°11 à 33* présentent les tronçons, les débits observés et indiquent la capacité du réseau.

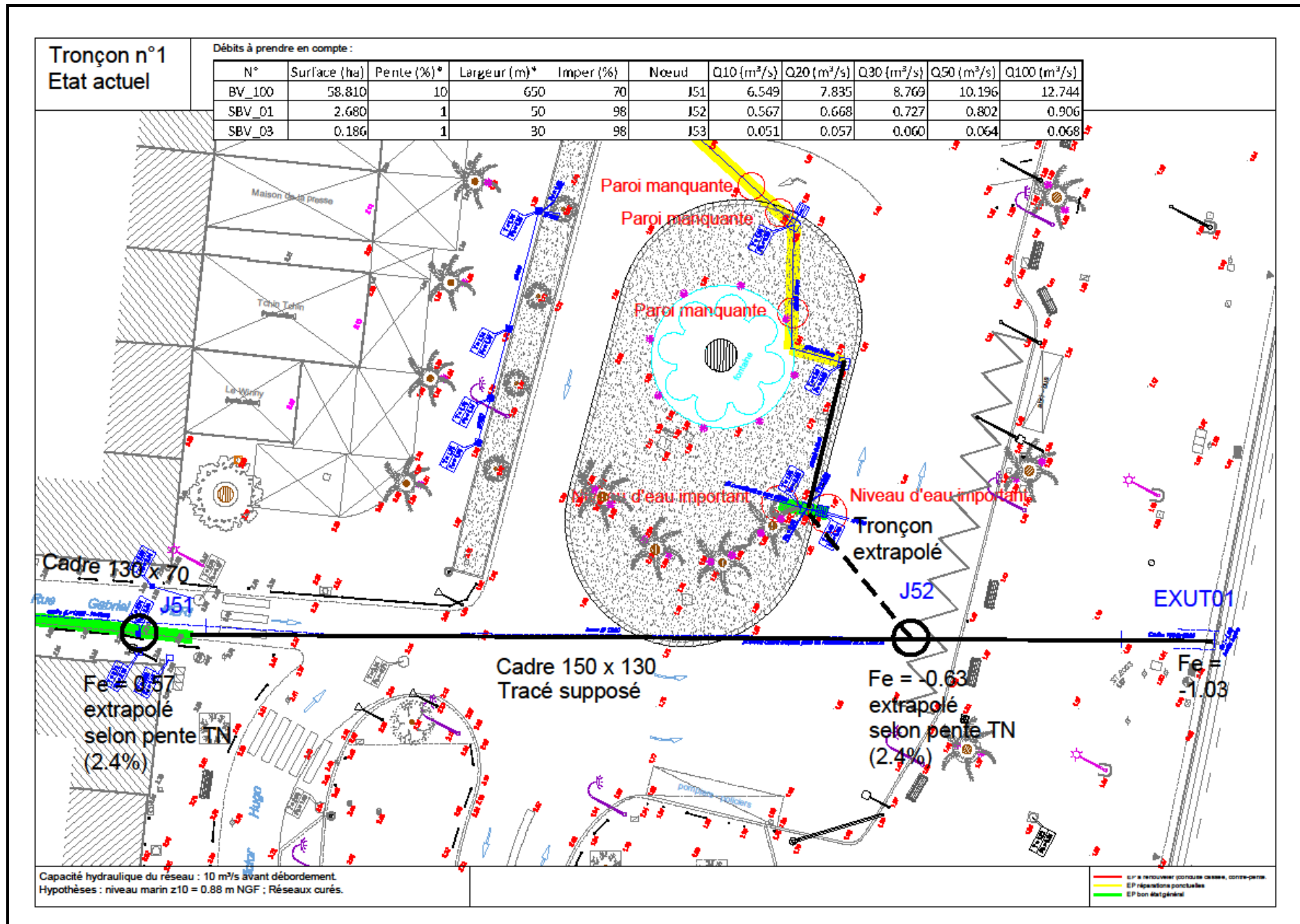


Figure 11. Tronçon n°1, cas actuel

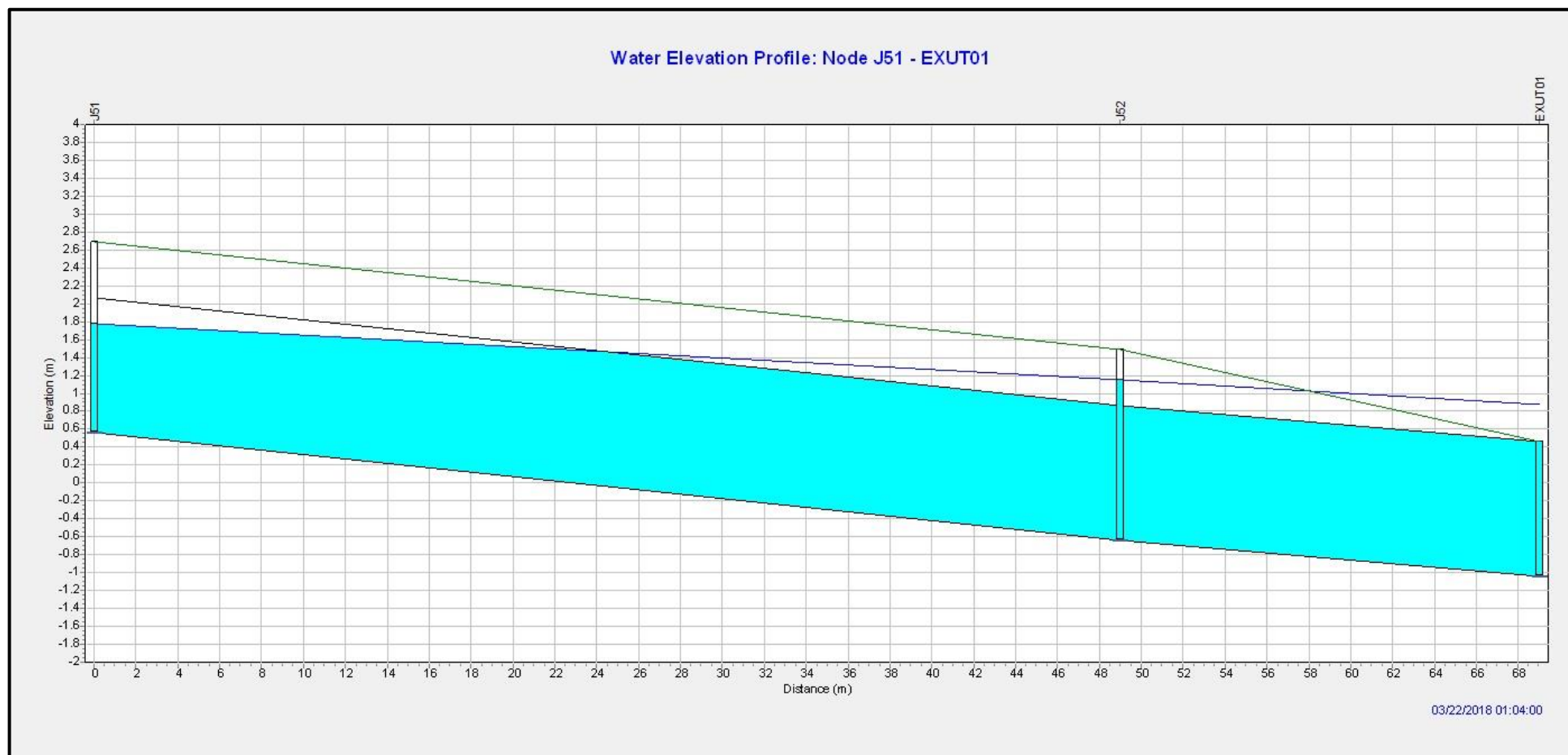


Figure 12. Profil SWMM, exutoire n°1, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°1 a une capacité de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, inférieur à la somme des débits de pointe cinquantennaux des bassins versants. Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé.

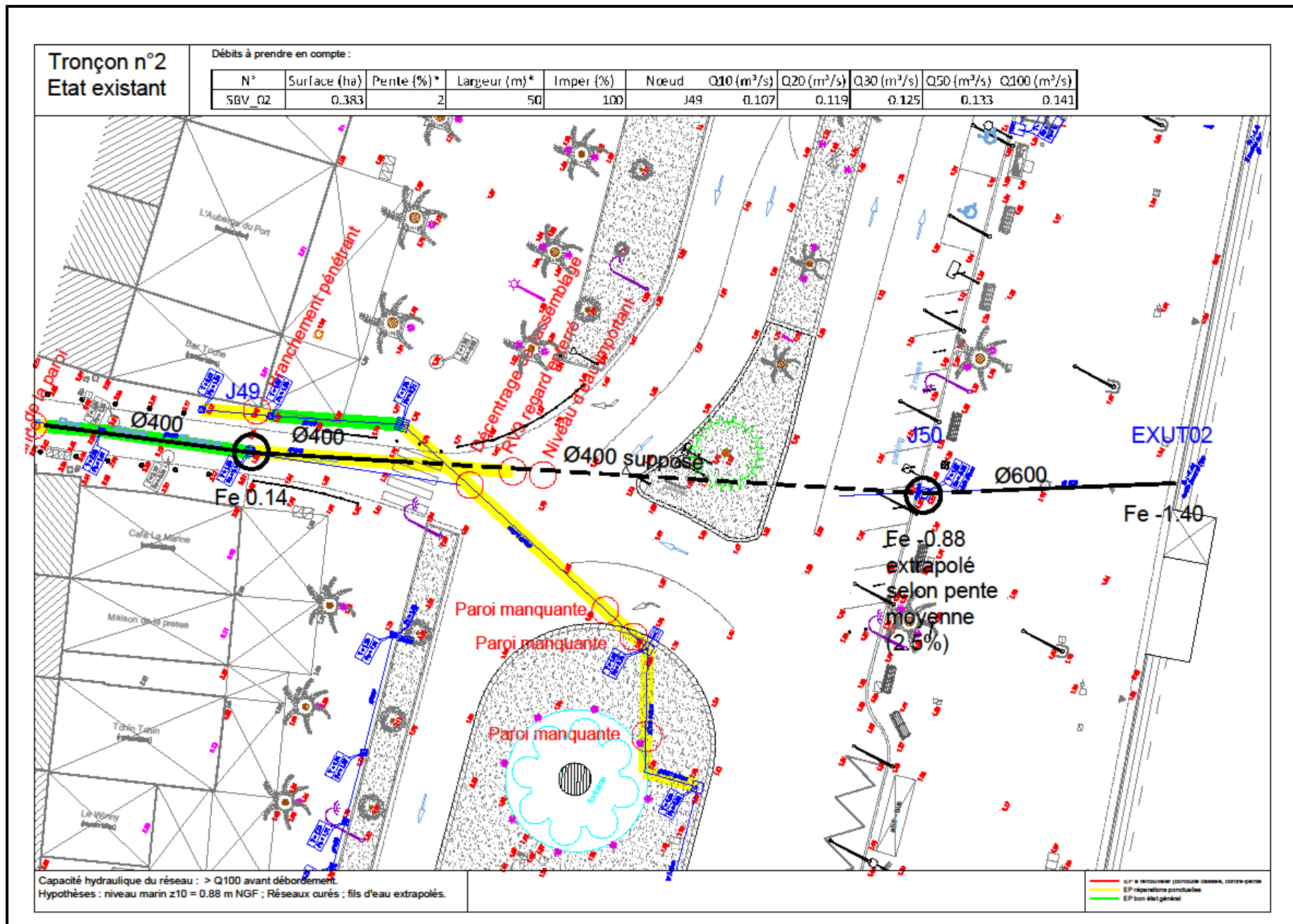


Figure 13. Tronçon n°2, cas actuel

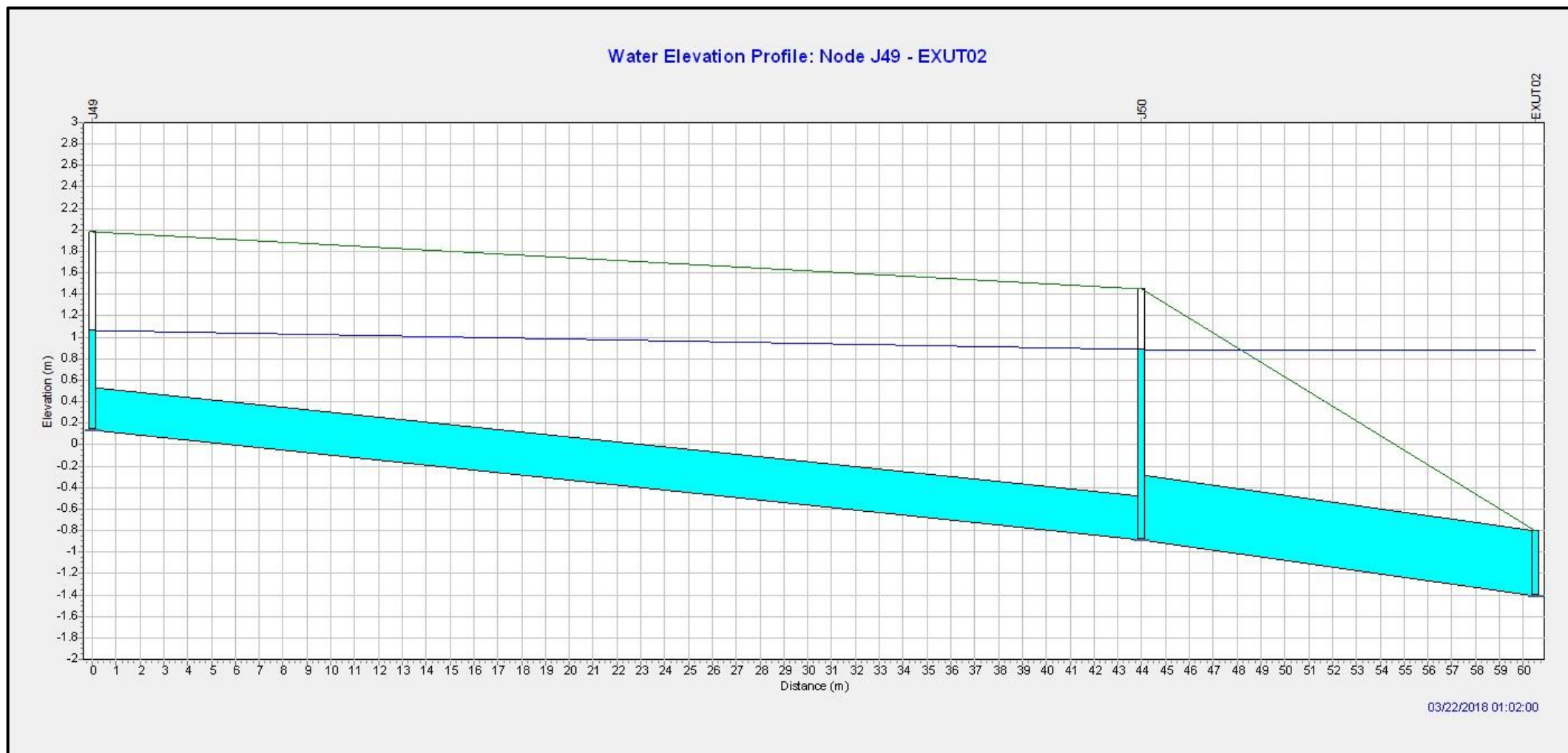


Figure 14. Profil SWMM, exutoire n°2, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°2 a une capacité supérieure à une pluie d'occurrence centennale ($Q_{100} = 0,141 \text{ m}^3/\text{s}$). Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

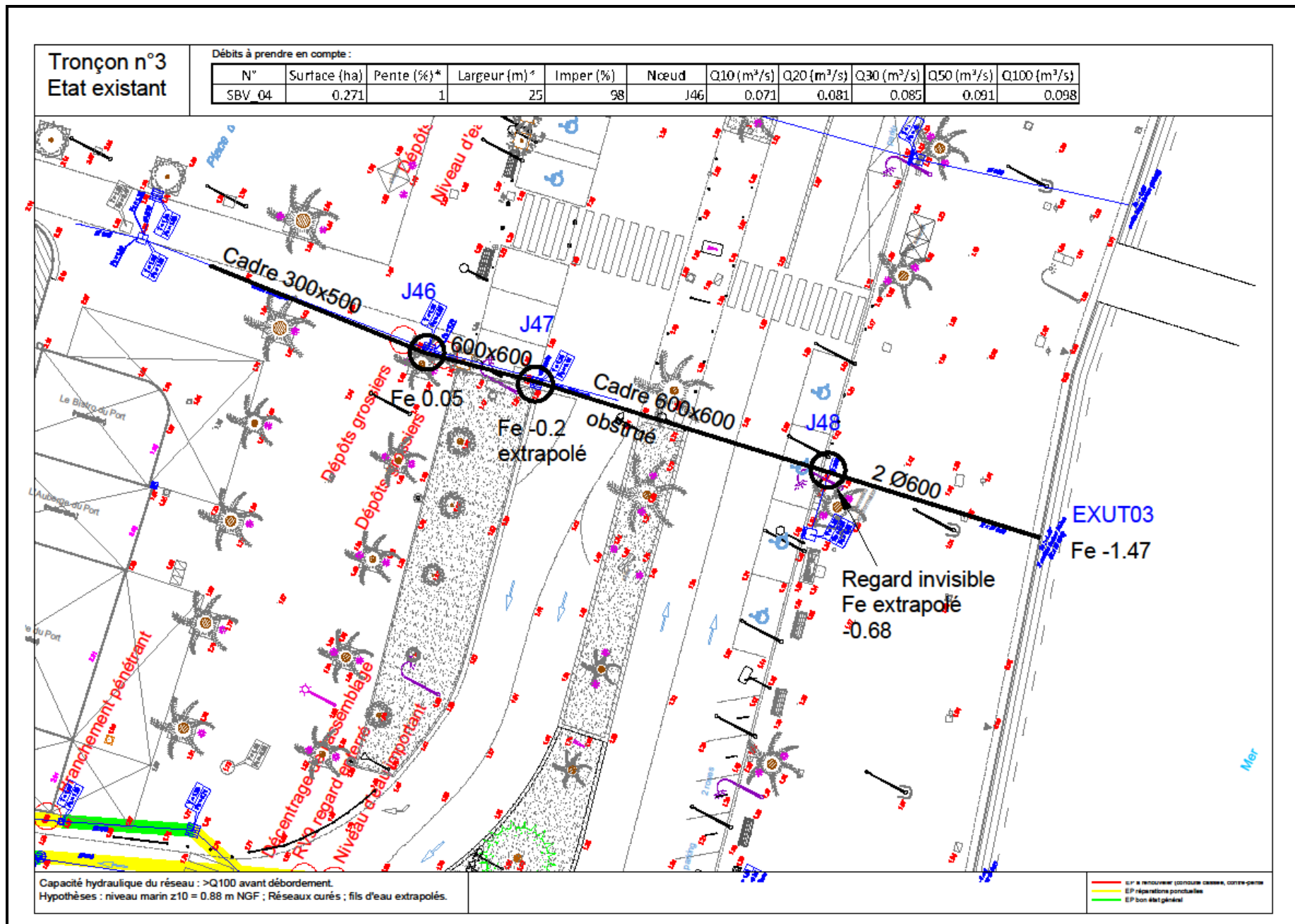


Figure 15. Tronçon n°3, cas actuel

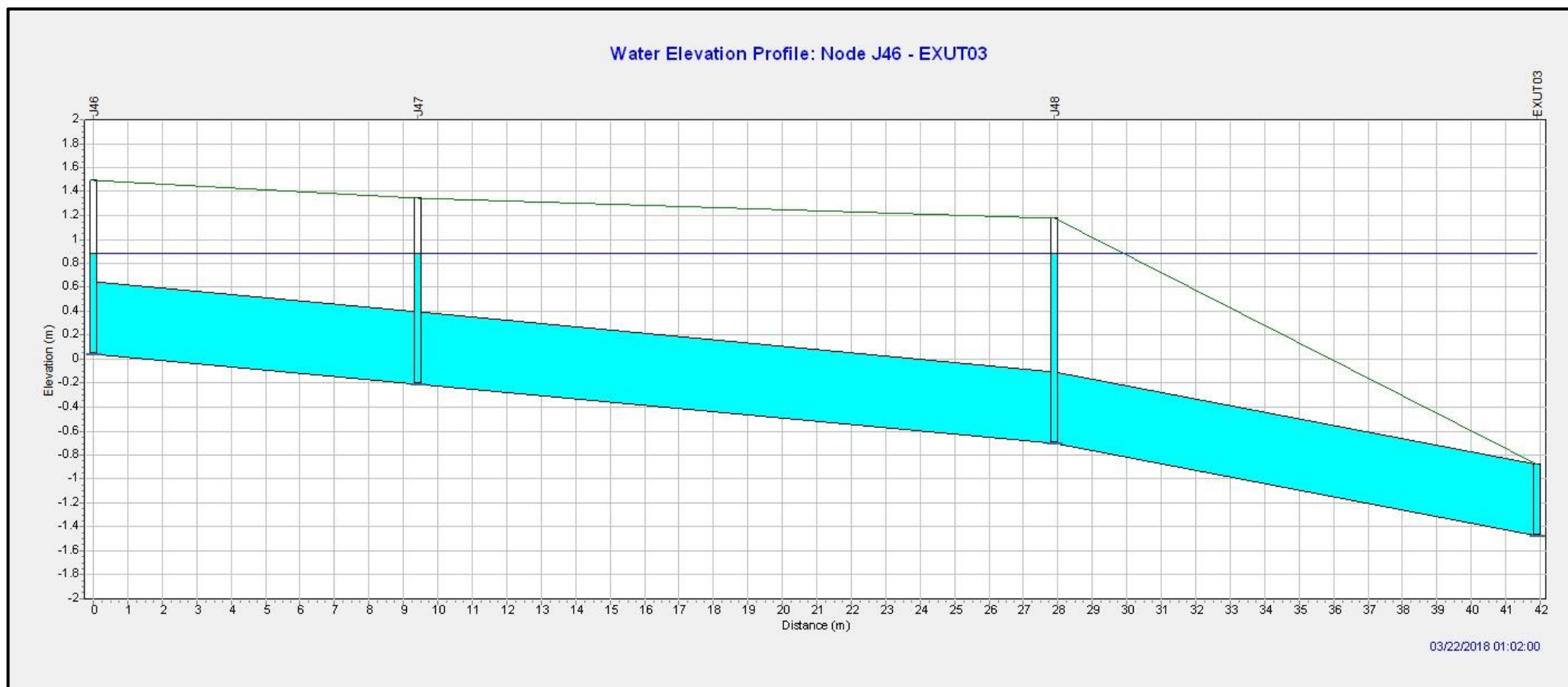


Figure 16. Profil SWMM, exutoire n°3, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°3 a une capacité supérieure à une pluie d'occurrence centennale ($Q_{100} = 0,098 \text{ m}^3/\text{s}$). Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

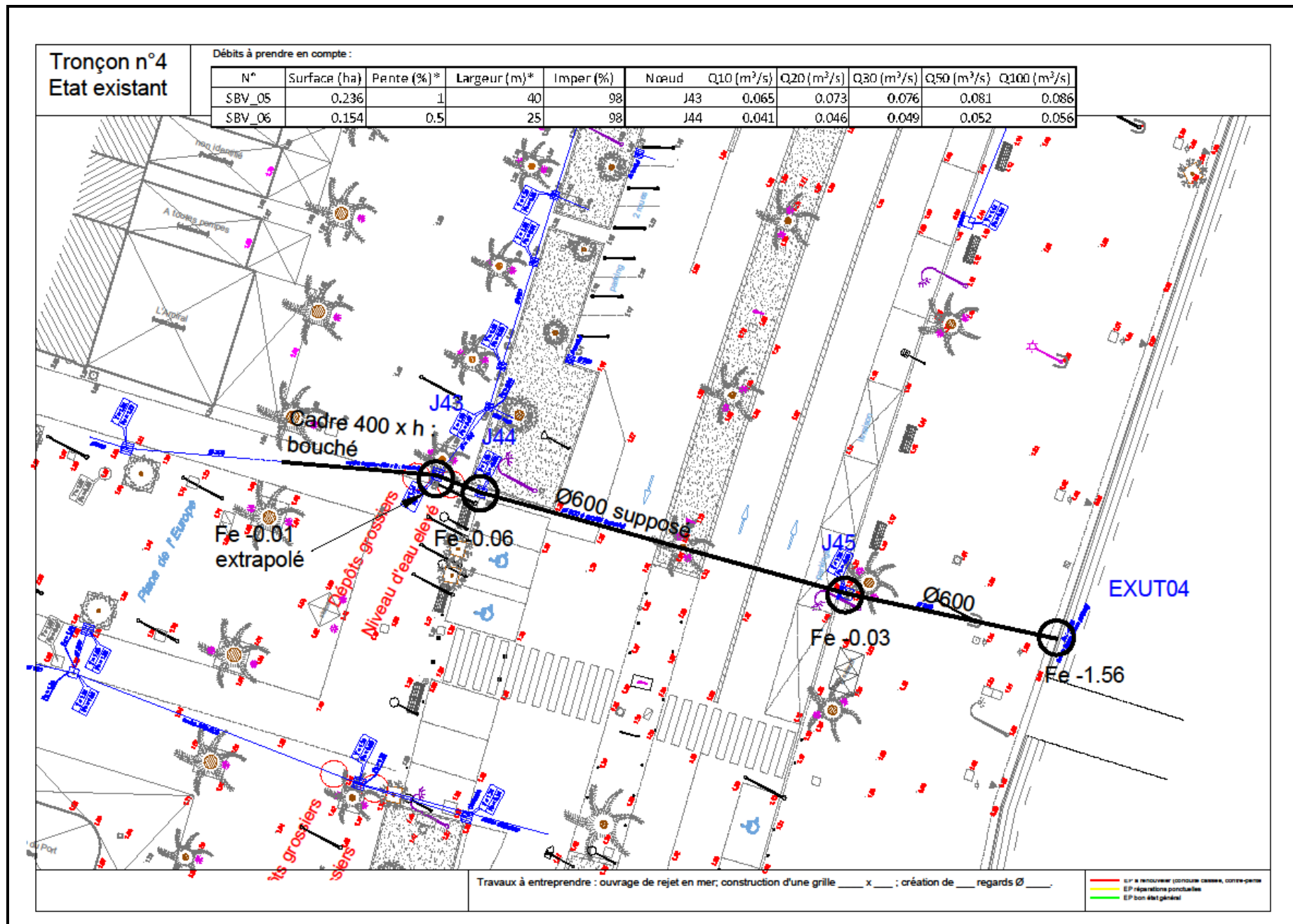


Figure 17. Tronçon n°4, cas actuel

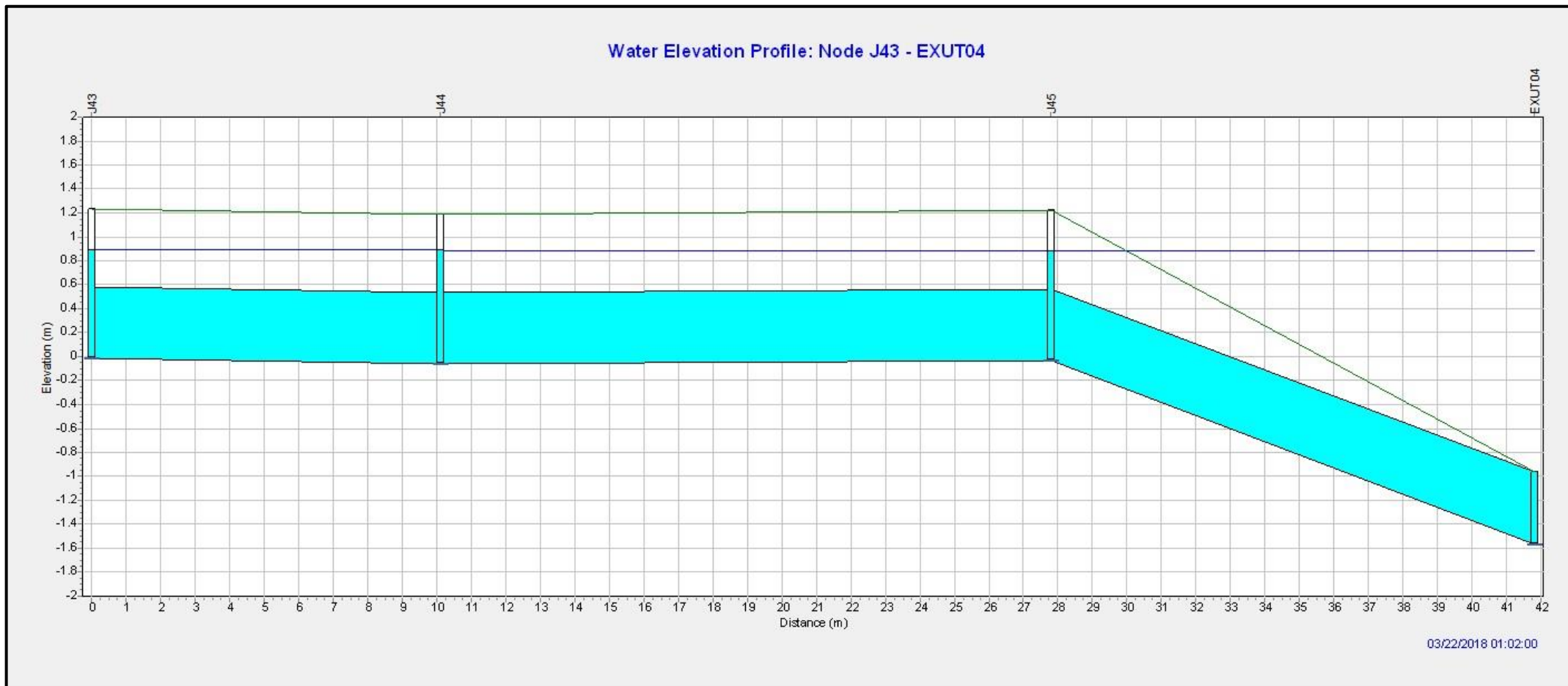


Figure 18. Profil SWMM, exutoire n°4, cas actuel

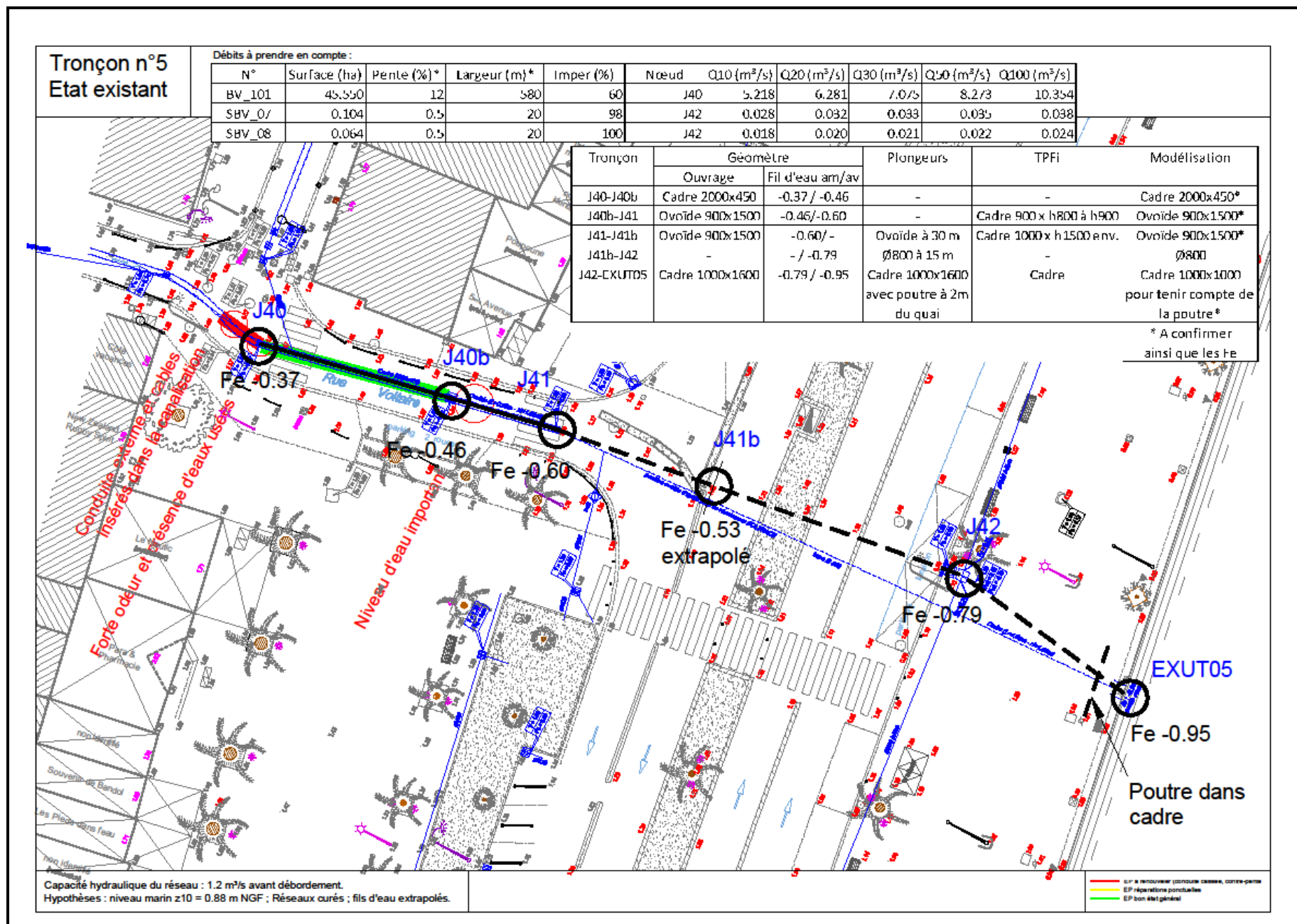


Figure 19. Tronçon n°5, cas actuel

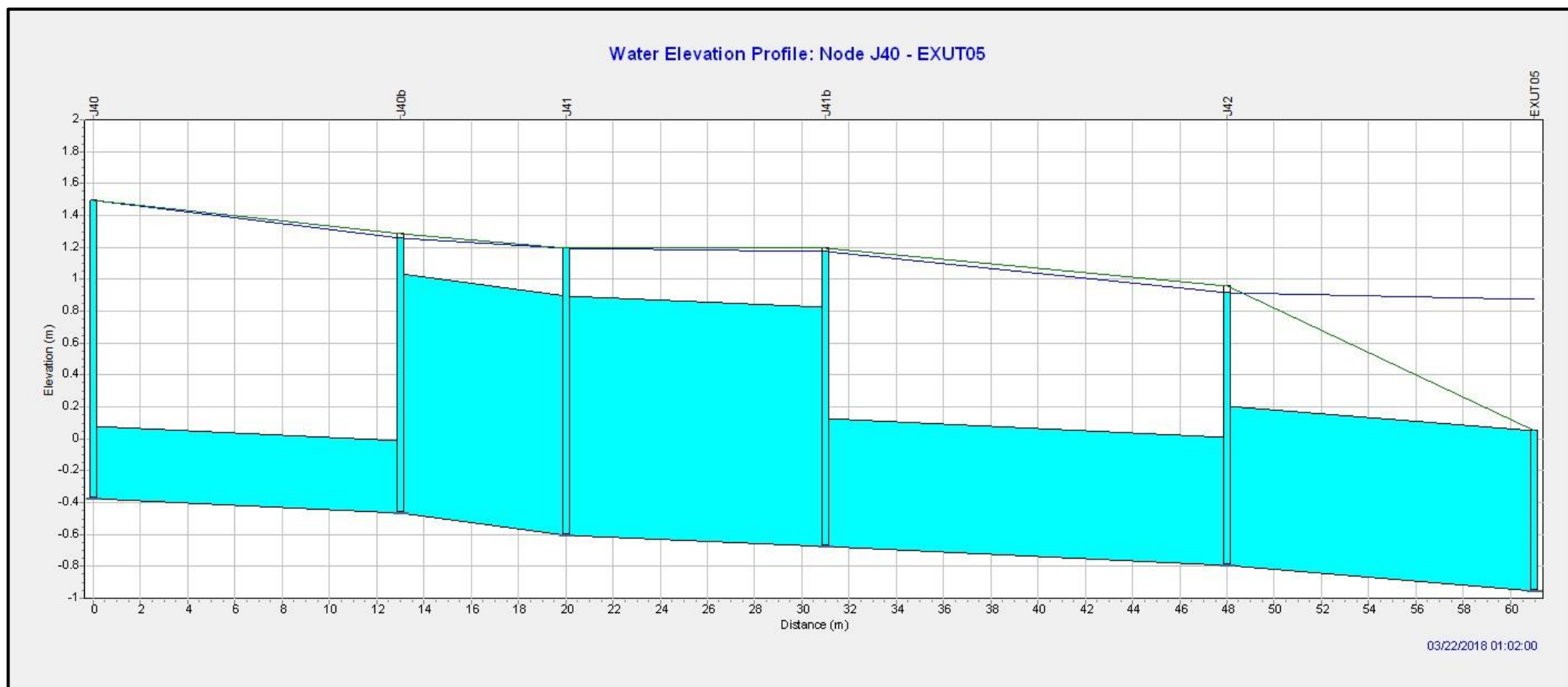


Figure 20. Profil SWMM, exutoire n°5, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°5 a une capacité de $1,2\text{m}^3/\text{s}$. Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

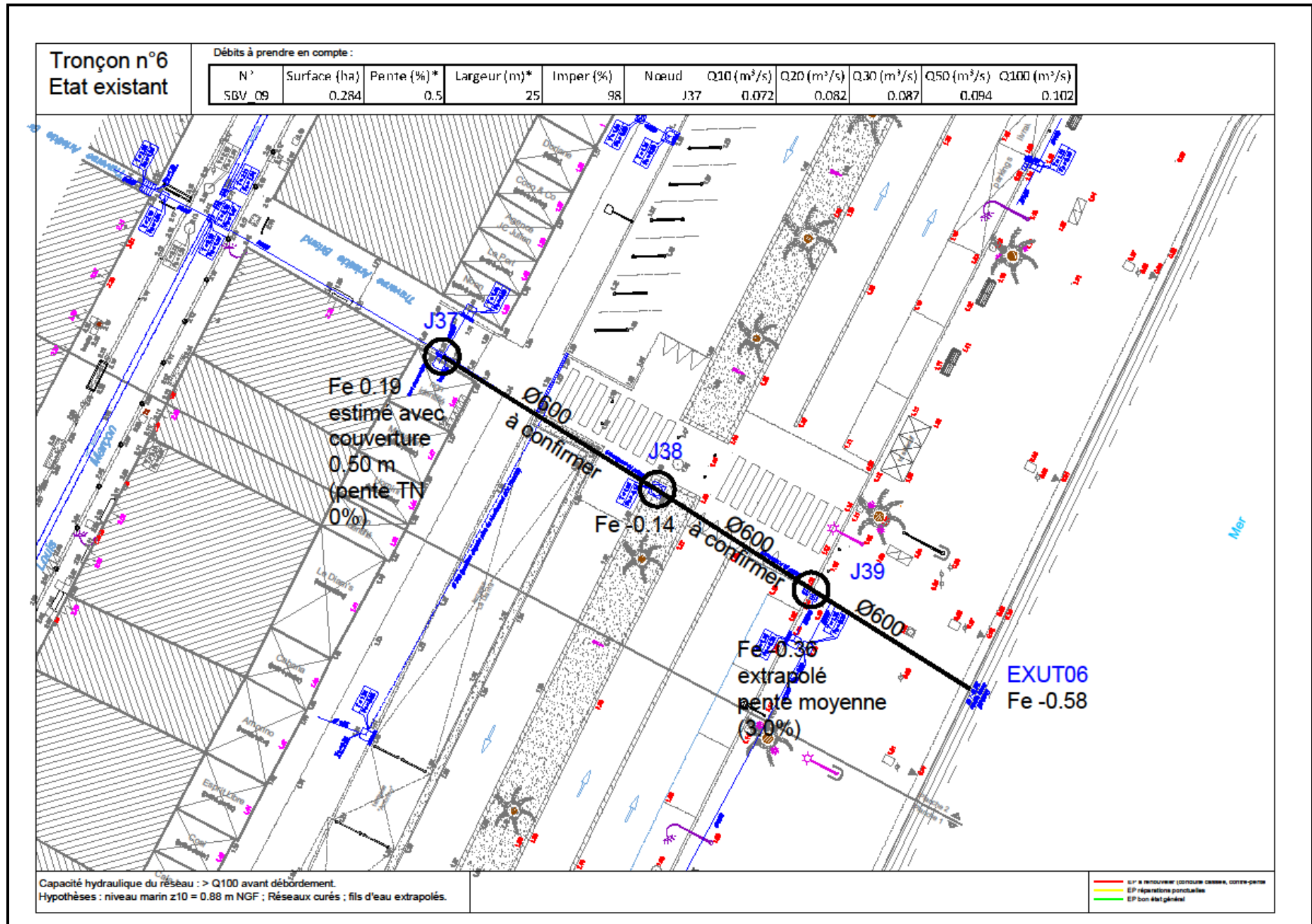


Figure 21. Tronçon n°6, cas actuel

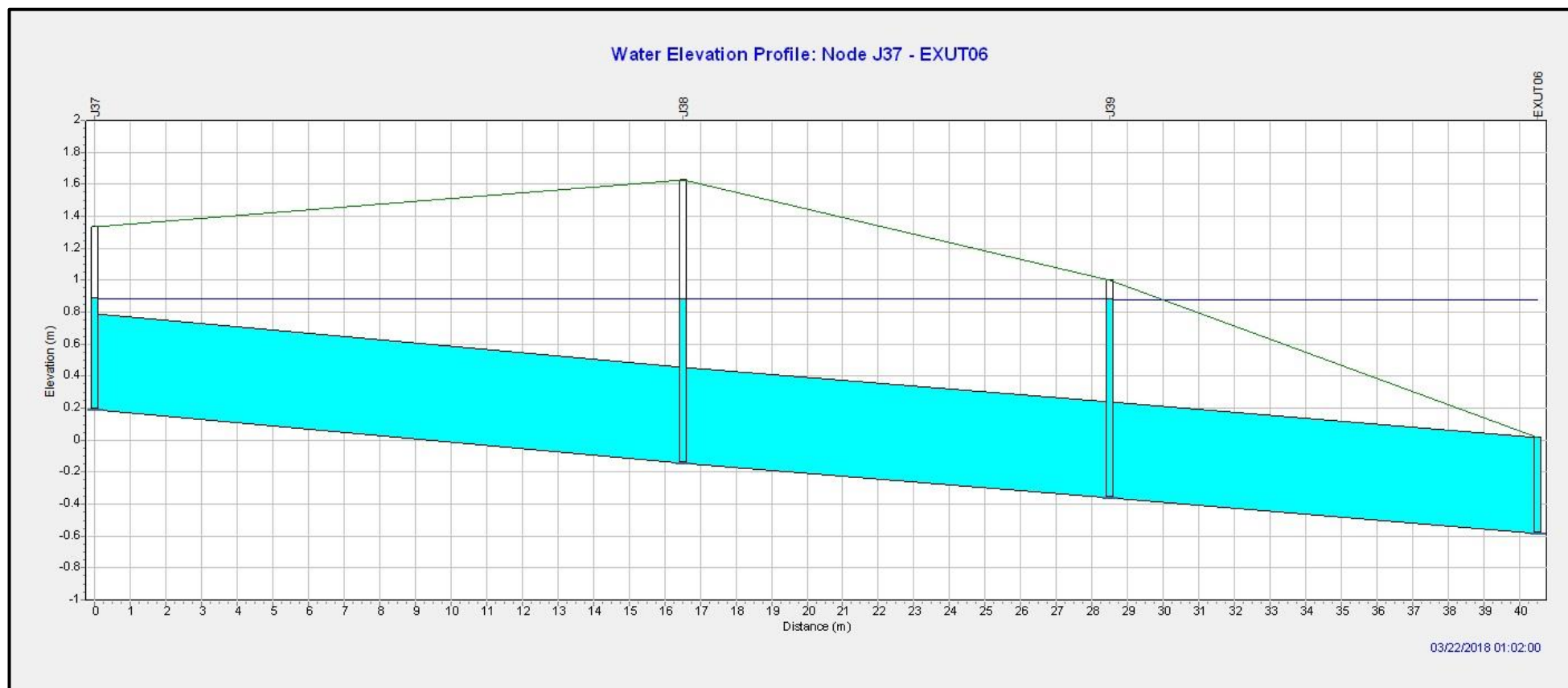


Figure 22. Profil SWMM, exutoire n°6, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°6 a une capacité supérieure au débit de pointe d'une pluie d'occurrence centennale. Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

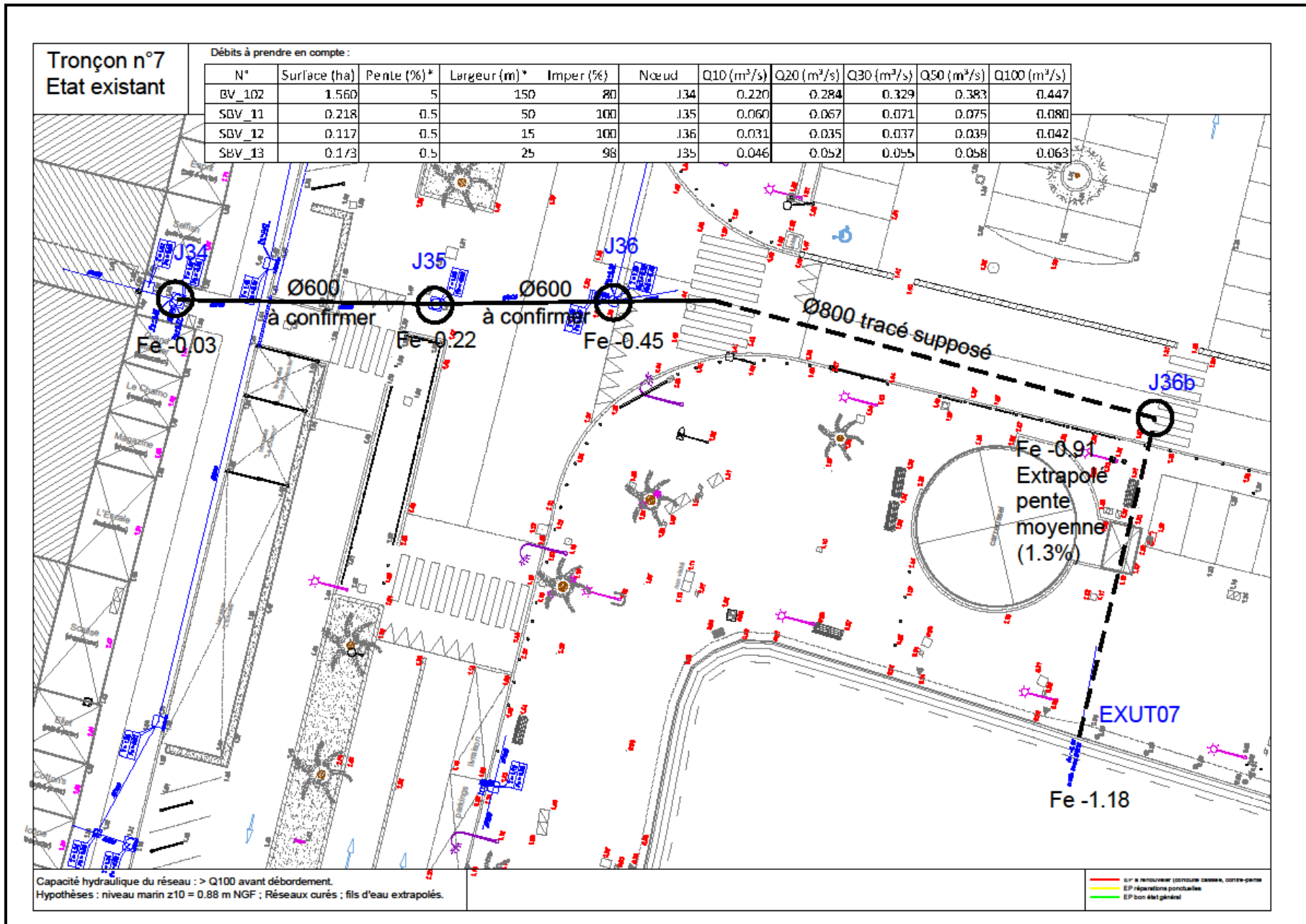


Figure 23. Tronçon n°7, cas actuel

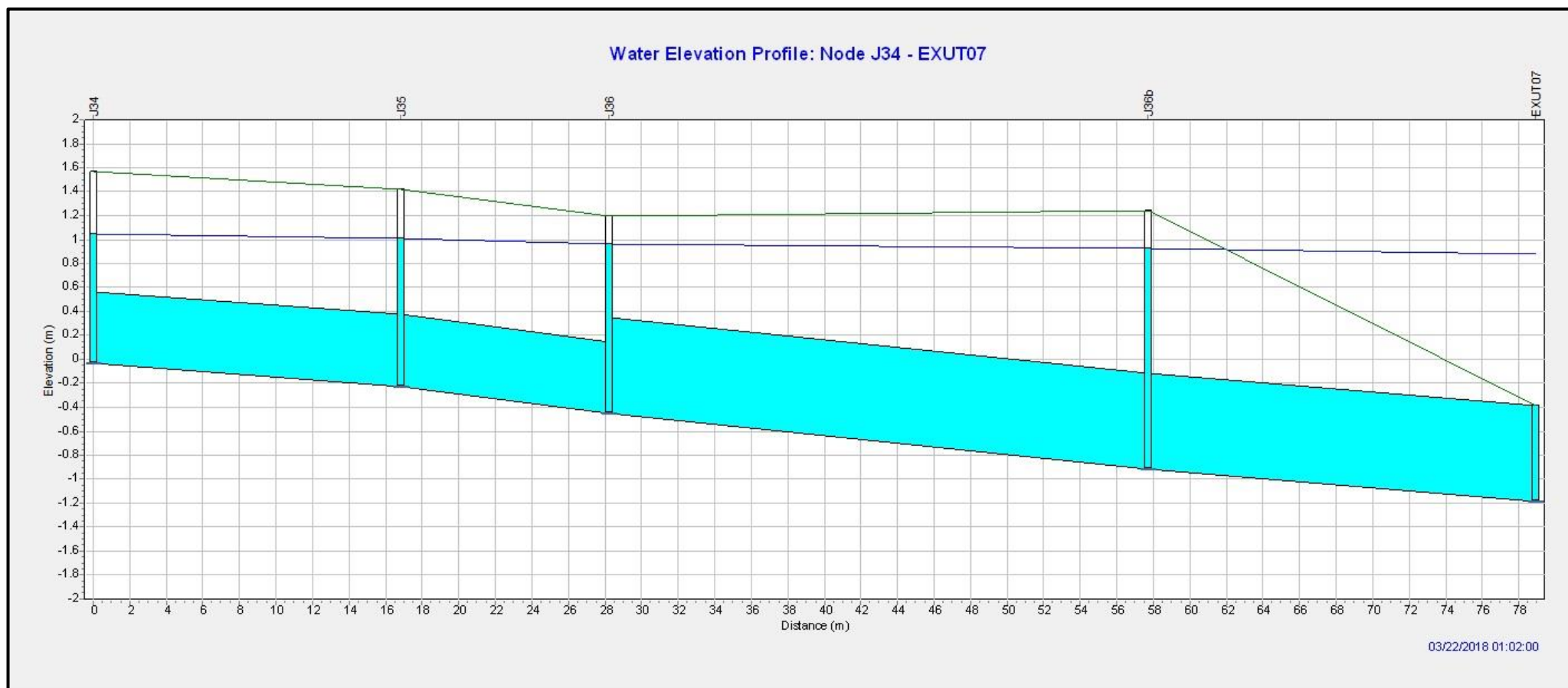


Figure 24. Profil SWMM, exutoire n°7, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°7 a une capacité supérieure au débit de pointe d'une pluie d'occurrence centennale. Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

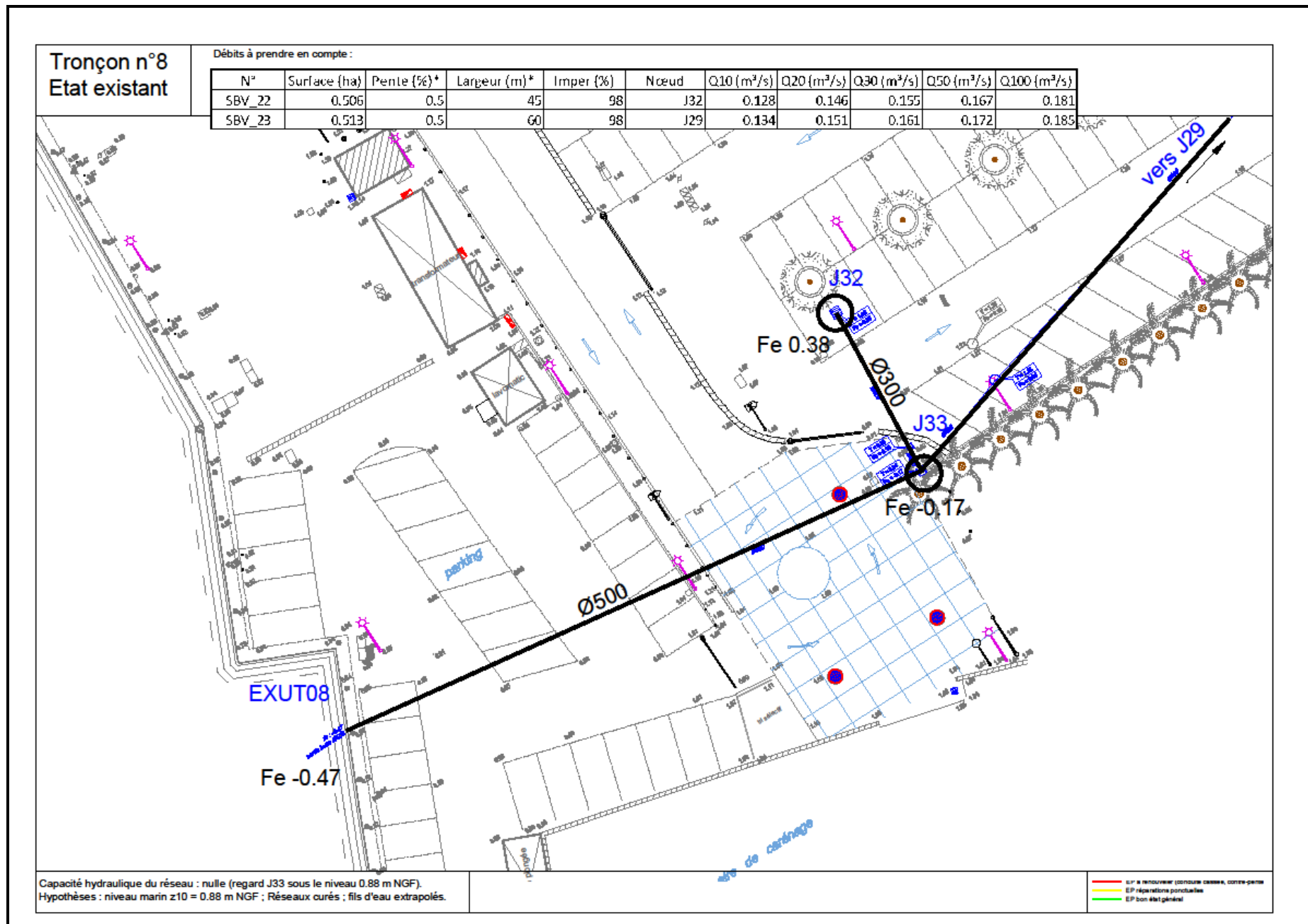


Figure 25. Tronçon n°8, cas actuel

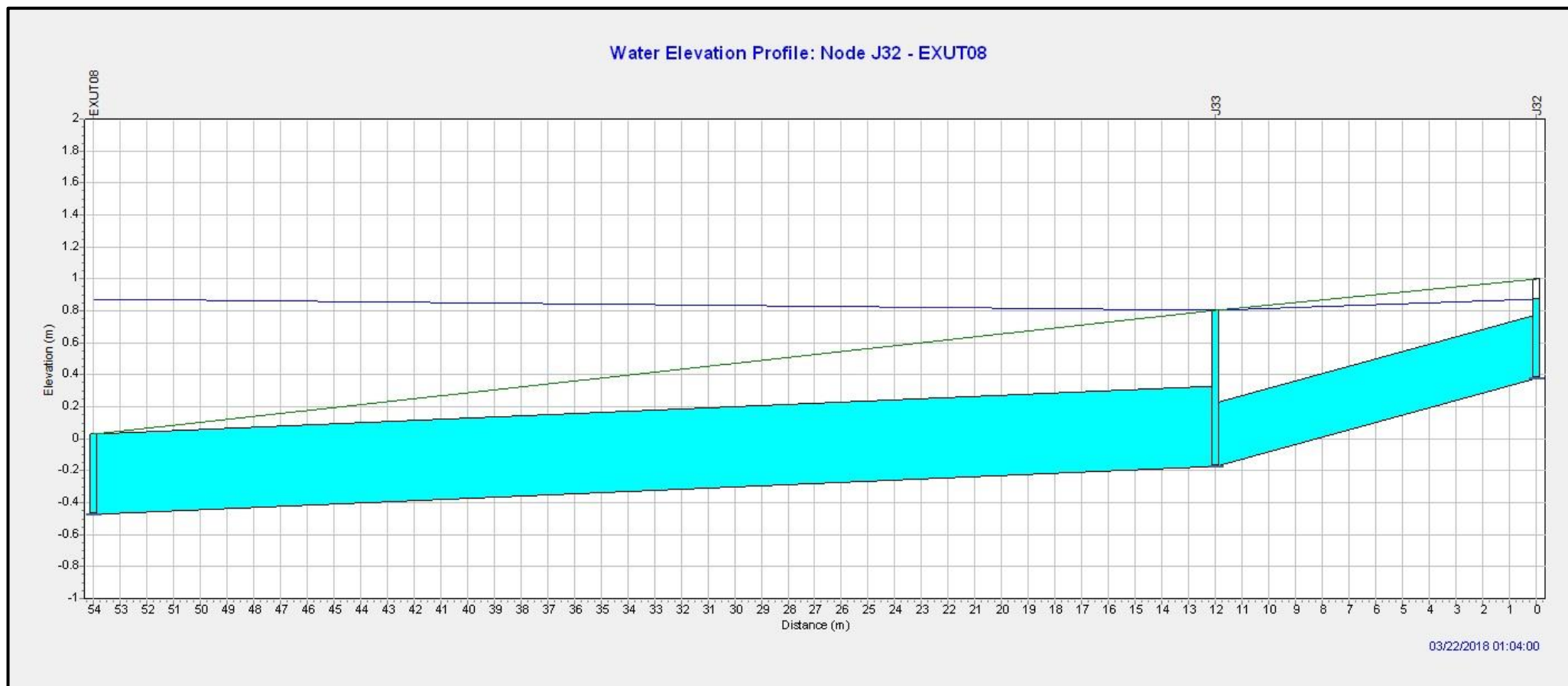


Figure 26. Profil SWMM, exutoire n°8, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°8 a une capacité insuffisante dû à la position du regard J33, situé en-dessous de 0,88 m.

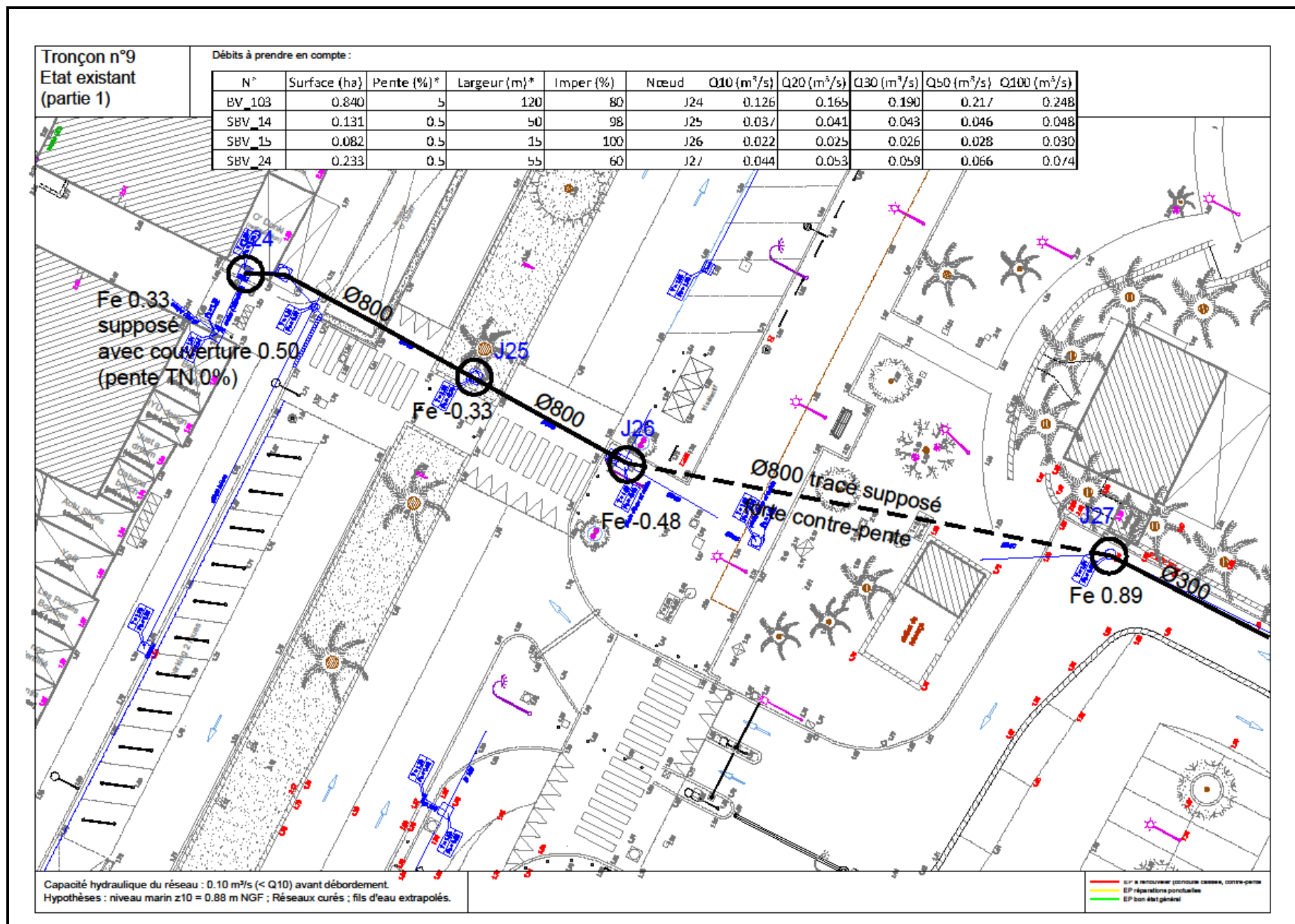


Figure 27. Tronçon n°9 - partie 1, cas actuel

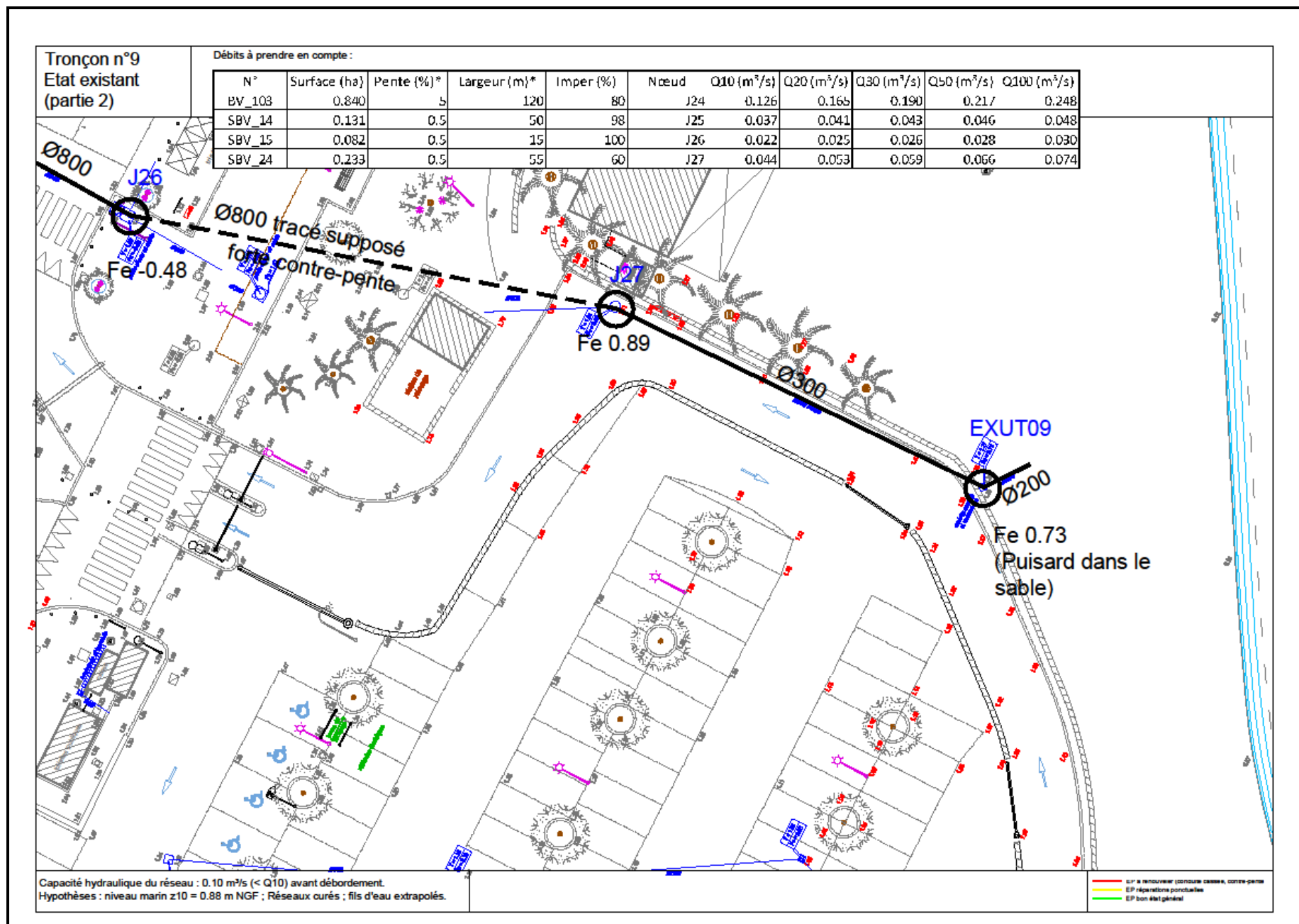


Figure 28. Tronçon n°9 - partie 2, cas actuel

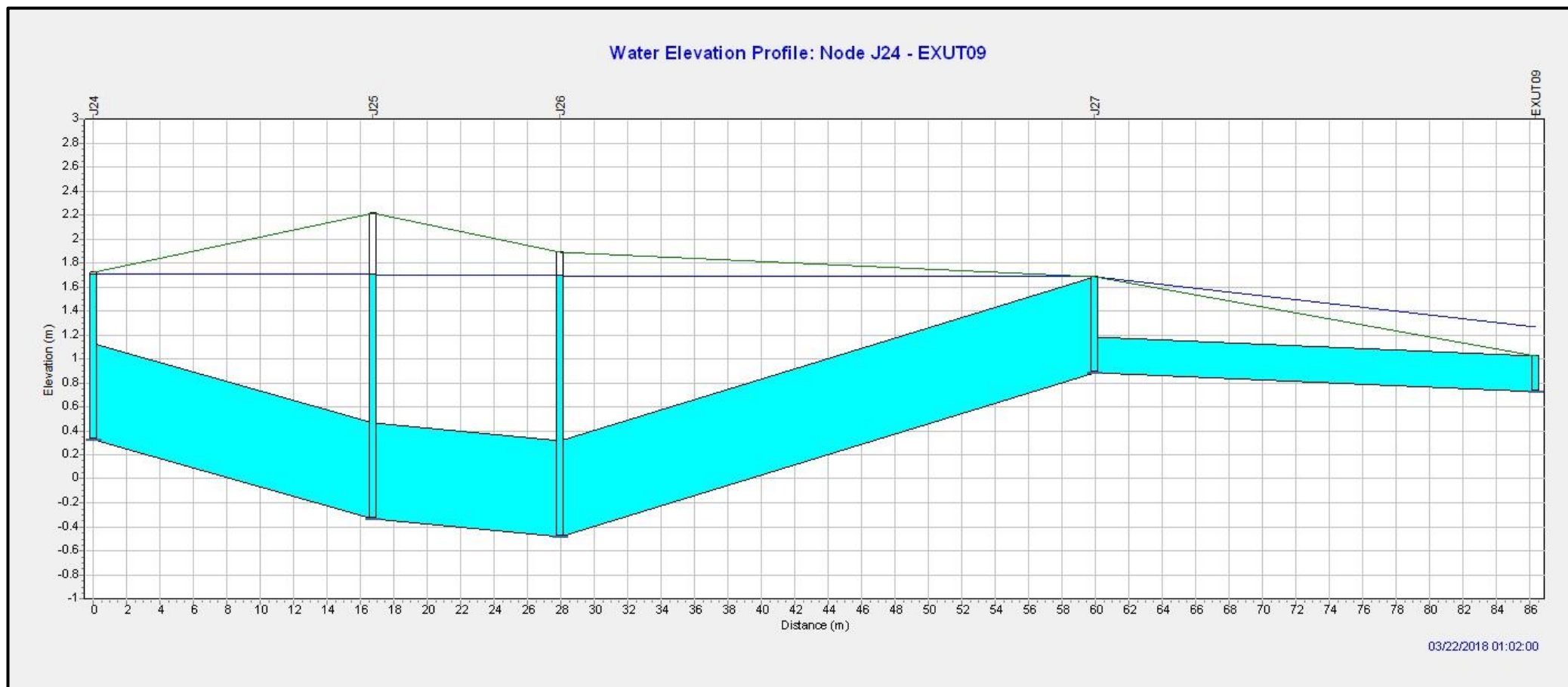


Figure 29. Profil SWMM, exutoire n°9, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°9 a une capacité inférieure au débit de pointe décennale. Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à 0,88 m et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

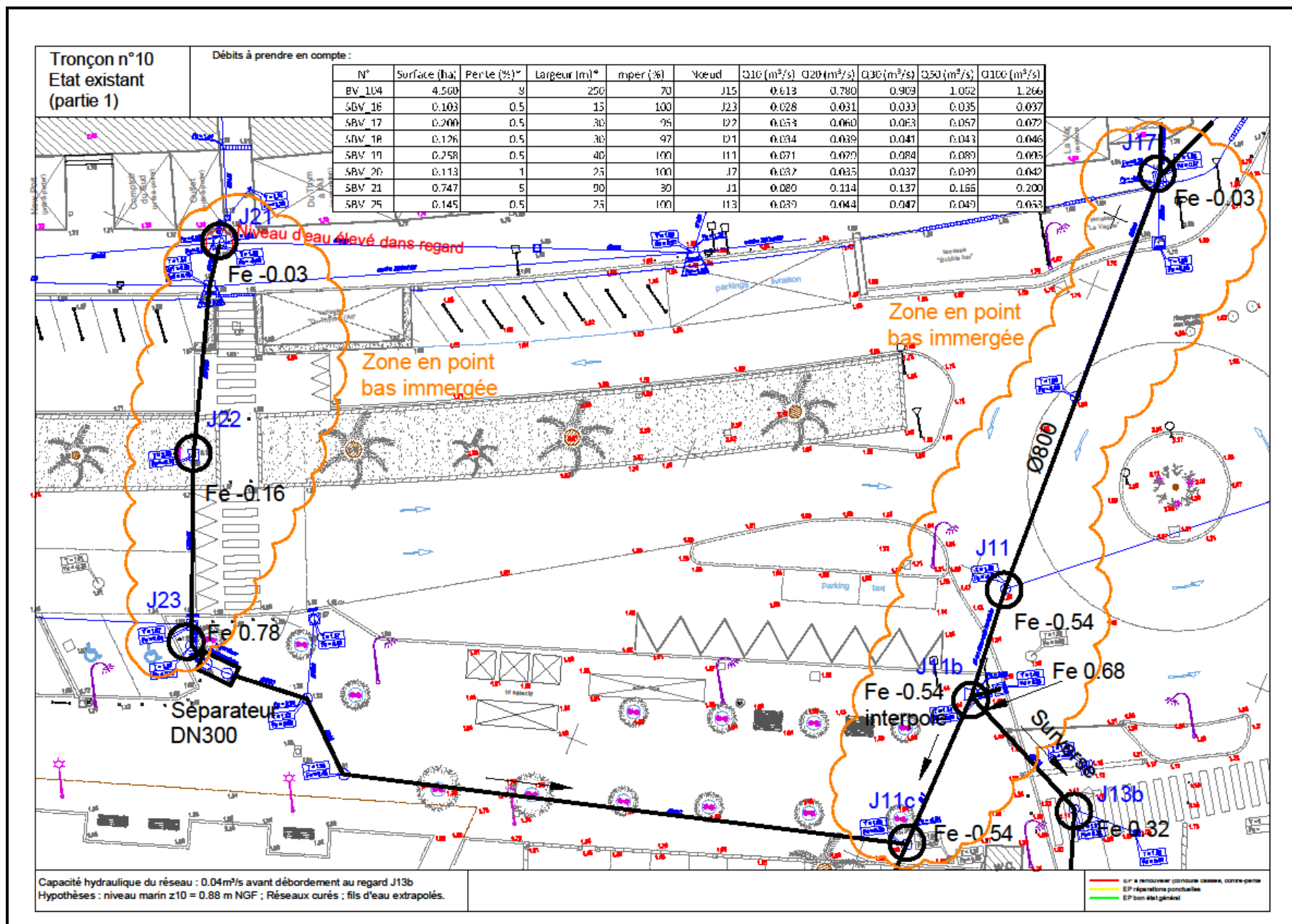


Figure 30. Tronçon n°10 - partie 1, cas actuel

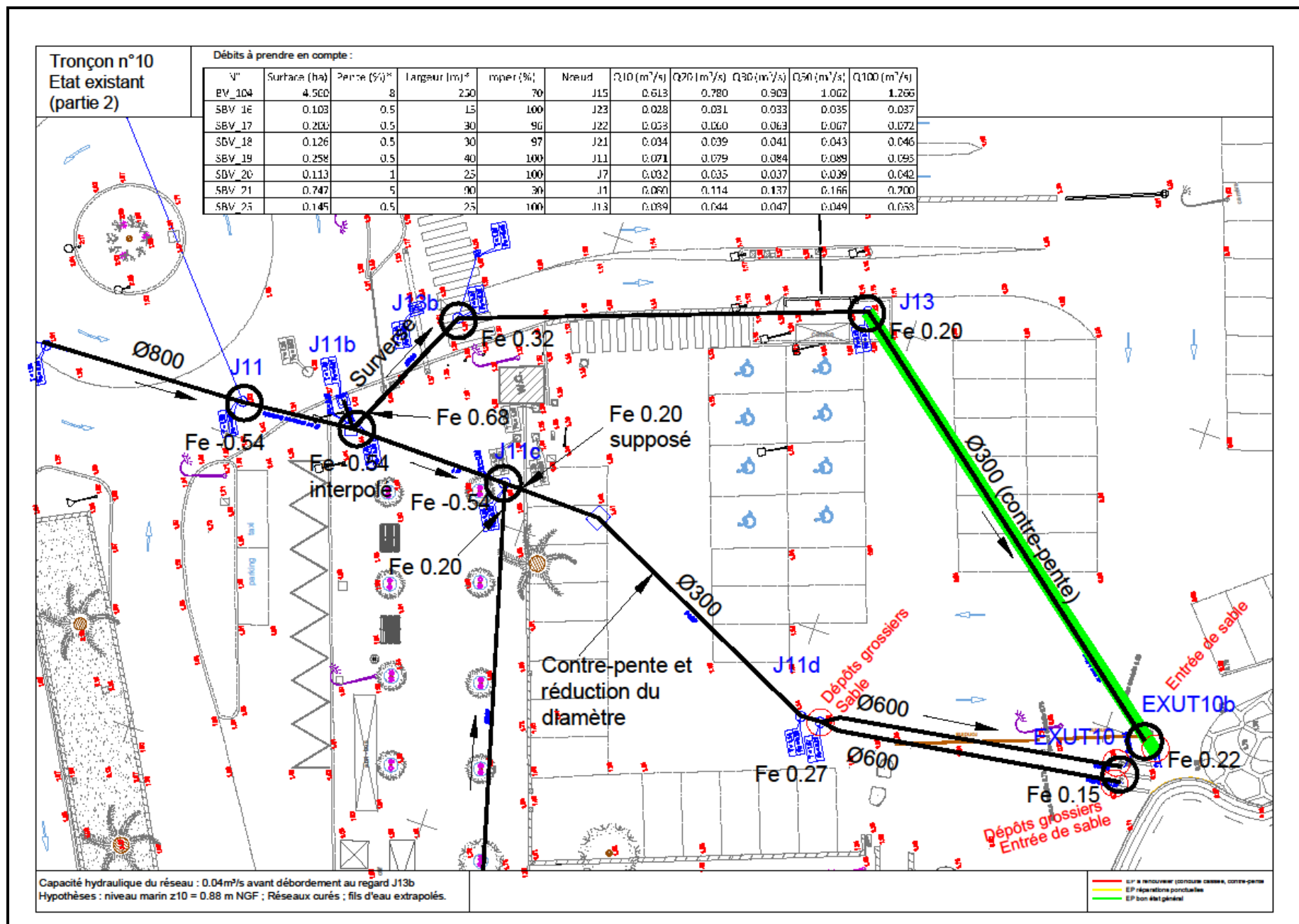


Figure 31. Tronçon n°10 - partie 2, cas actuel

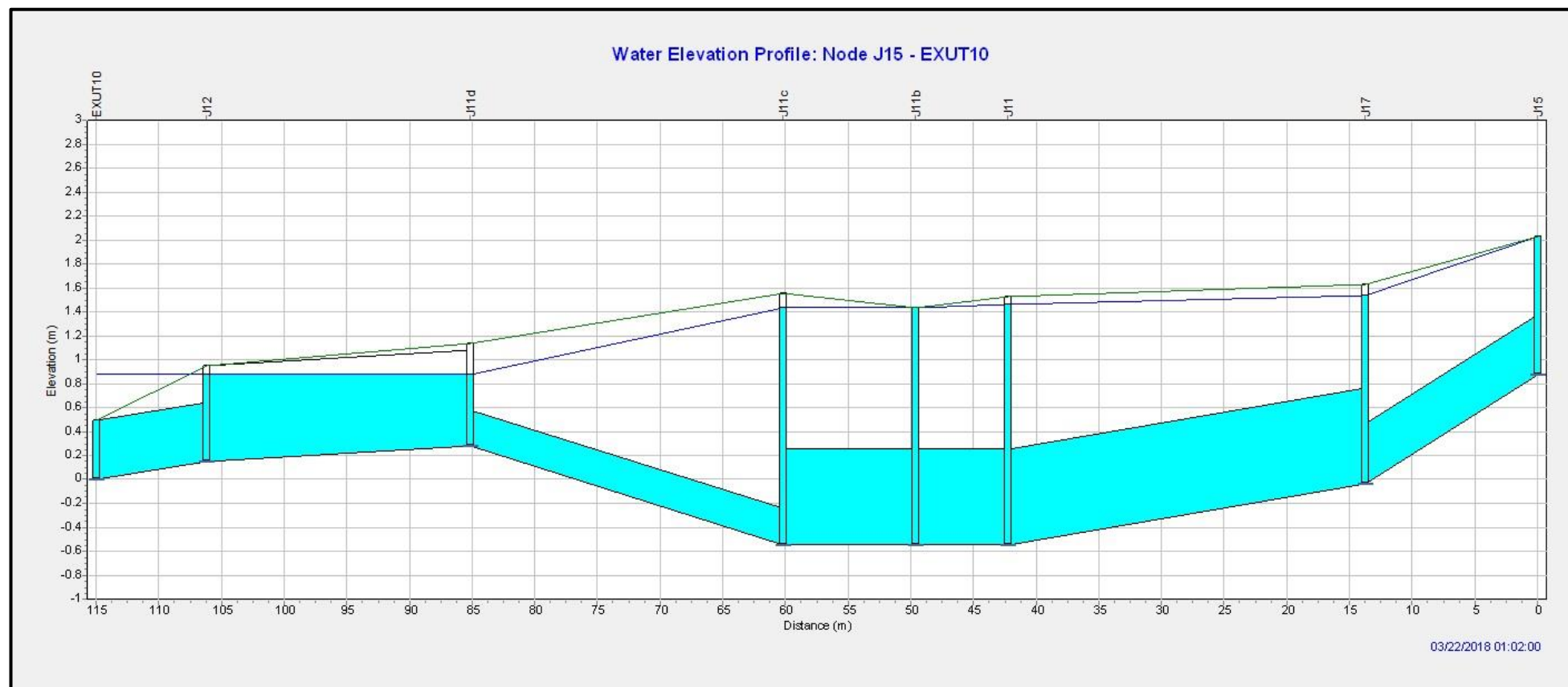


Figure 32. Profil SWMM, exutoire n°10, cas actuel

La capacité du réseau en amont de l'exutoire n°10 a une capacité de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ avant de déborder au regard dénommé J13b. Ce débit capable a été calculé en considérant le niveau de la mer à $0,88 \text{ m}$ et avec la présence d'un réseau curé. Certains fils d'eau ont également été extrapolés.

Aucun exutoire n'est identifié à l'aval du tronçon n°11.

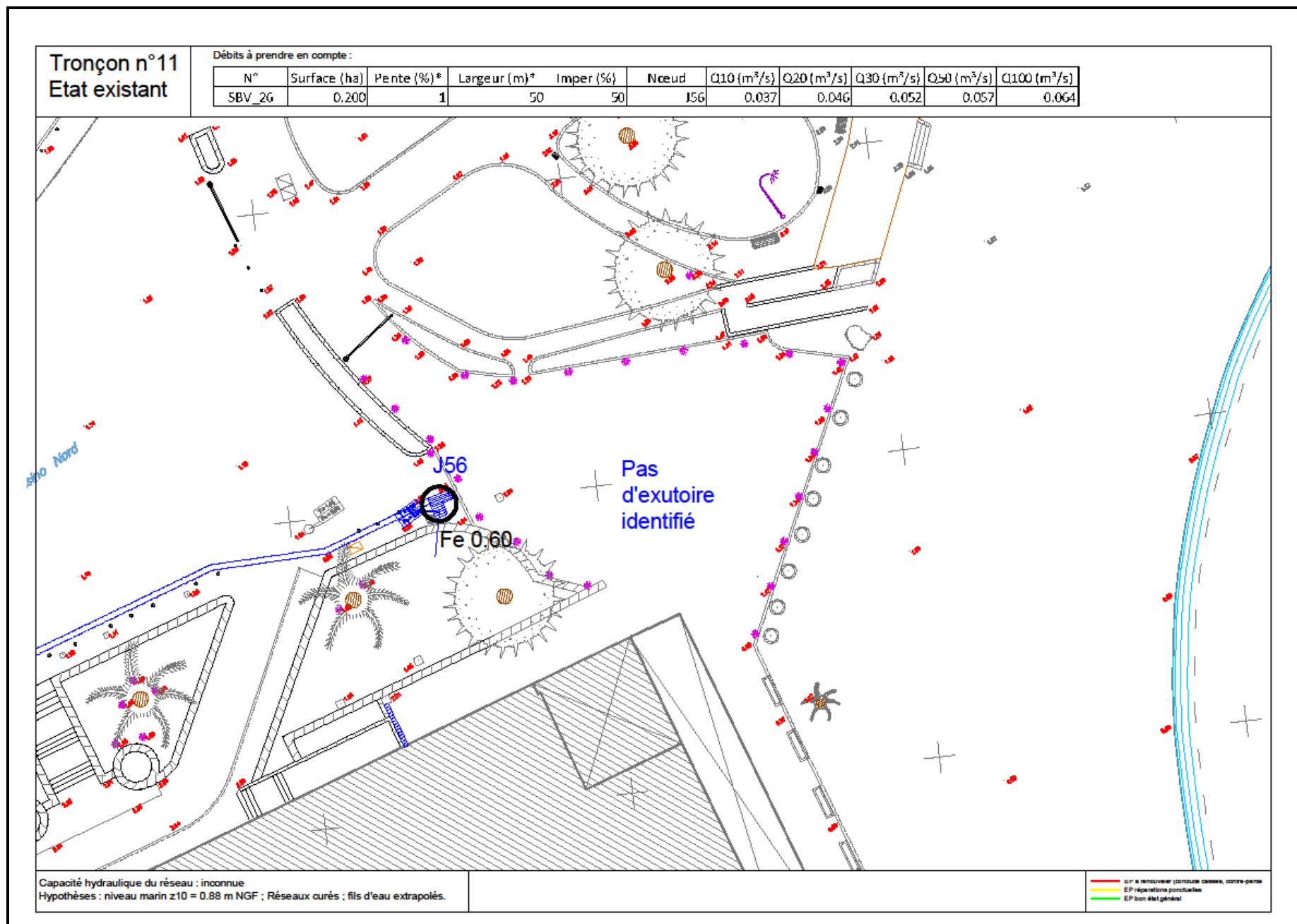


Figure 33. Tronçon n°11, cas actuel

IV.1.2 - CAS PROJETÉ

Une modélisation du cas projeté a également été effectuée, afin d'observer les impacts des futurs changements sur le réseau pluvial. Les résultats obtenus concernent une pluie d'occurrence décennale.

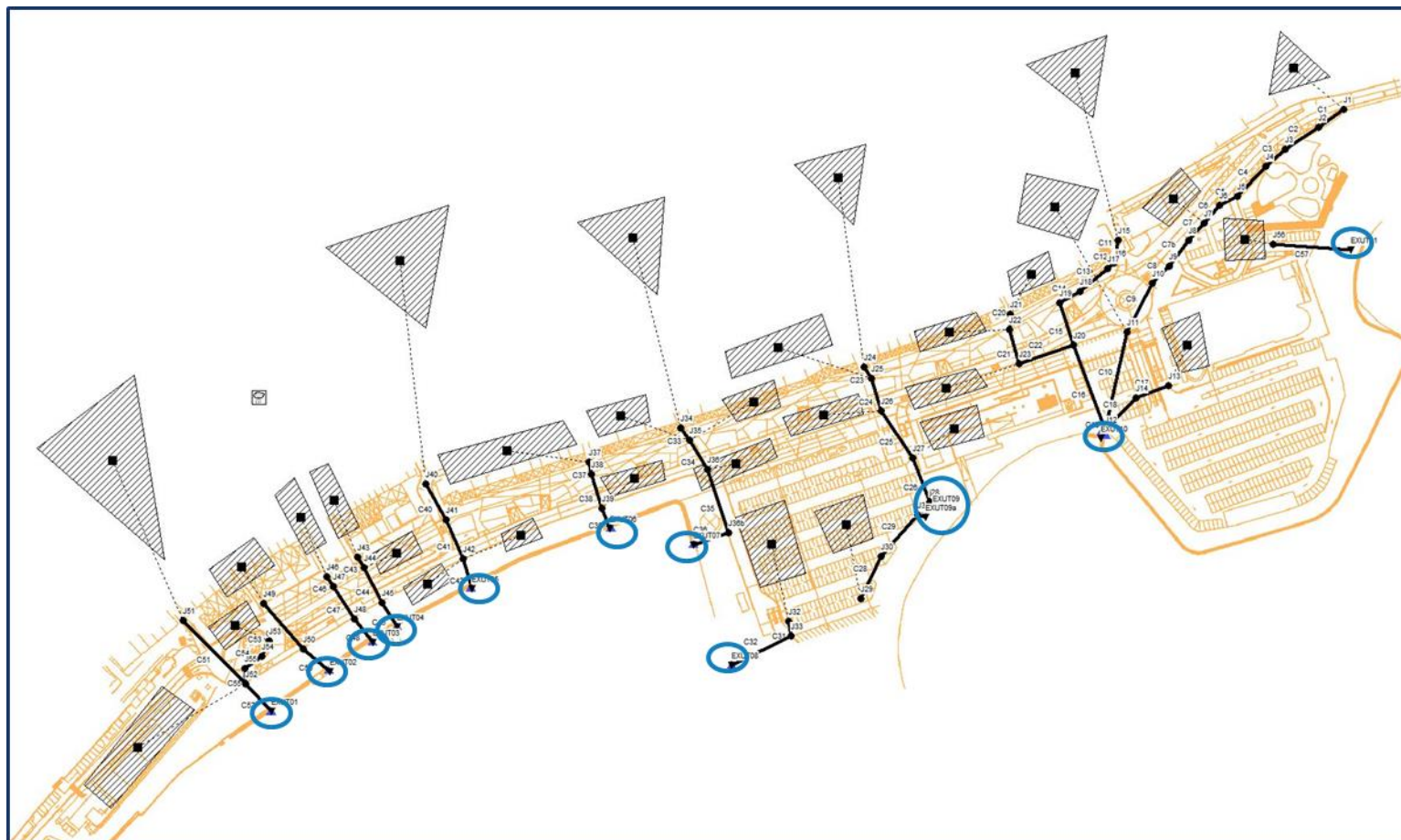


Figure 34. Réseau cas projeté (SWMM)

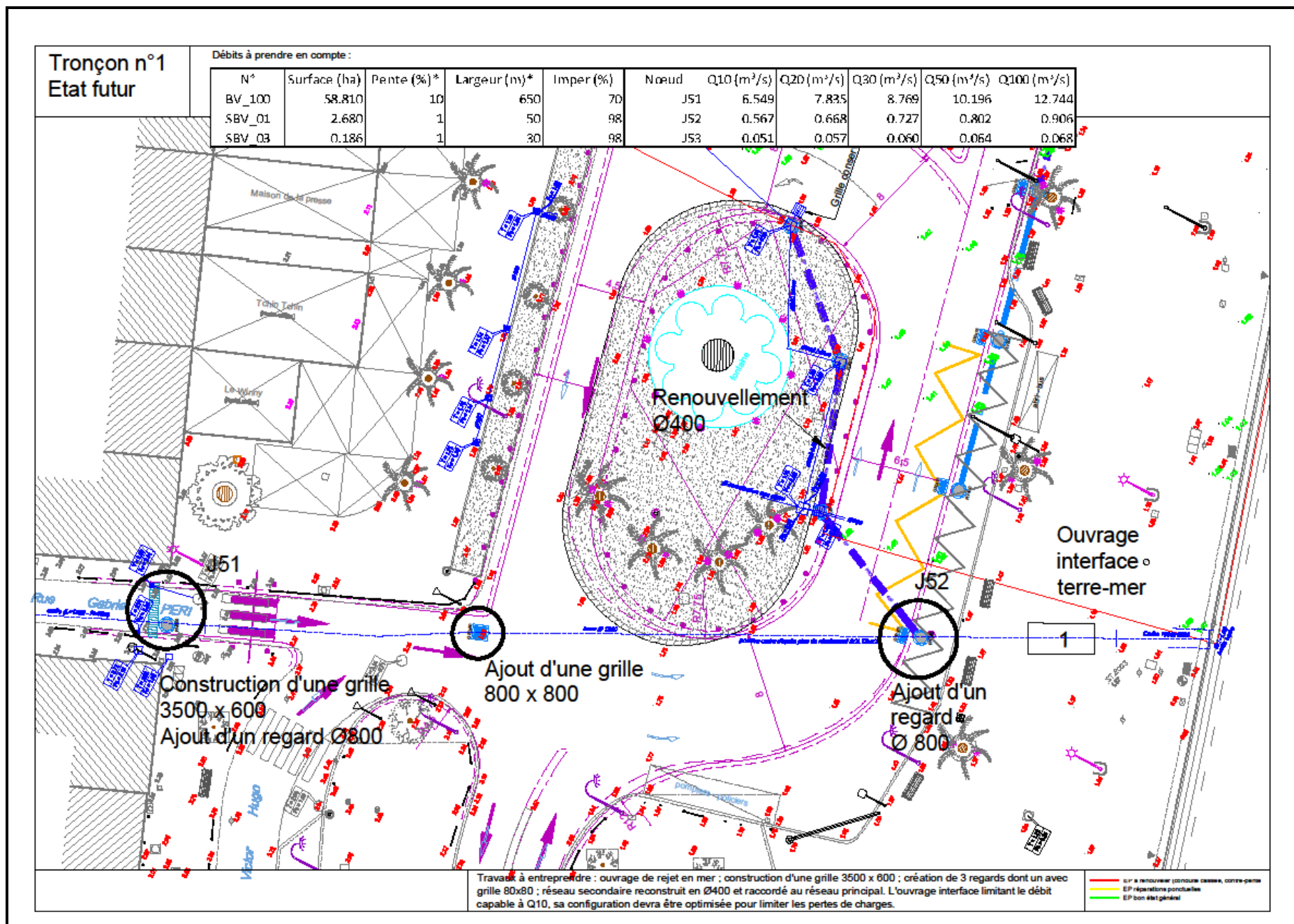


Figure 35. Tronçon n°1, cas projeté

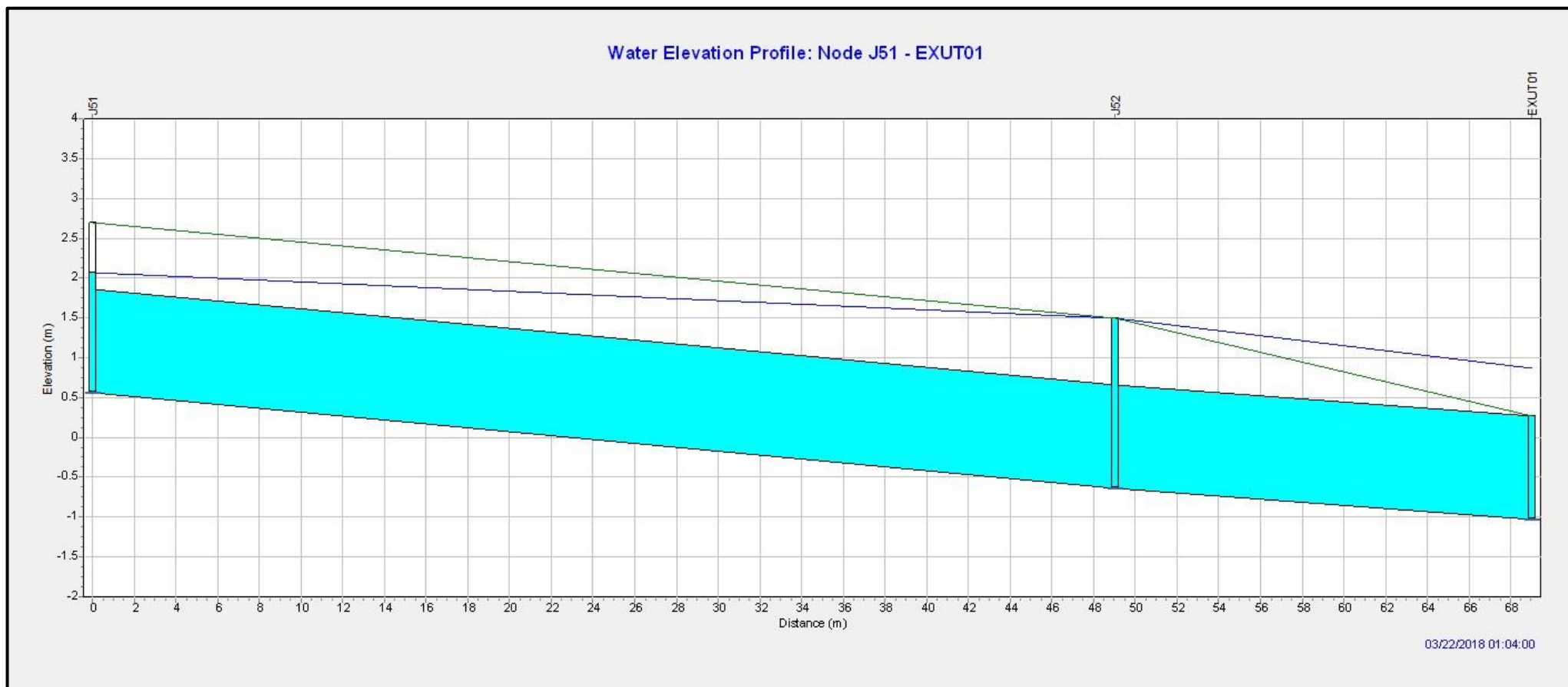


Figure 36. Profil SWMM, exutoire n°1, cas projeté

Au niveau du tronçon n°1, l'aménagement de l'ouvrage d'interface terre-mer augmente la hauteur d'eau dans le réseau en amont et le met en charge. De légers débordements sont observés au niveau du regard J52.

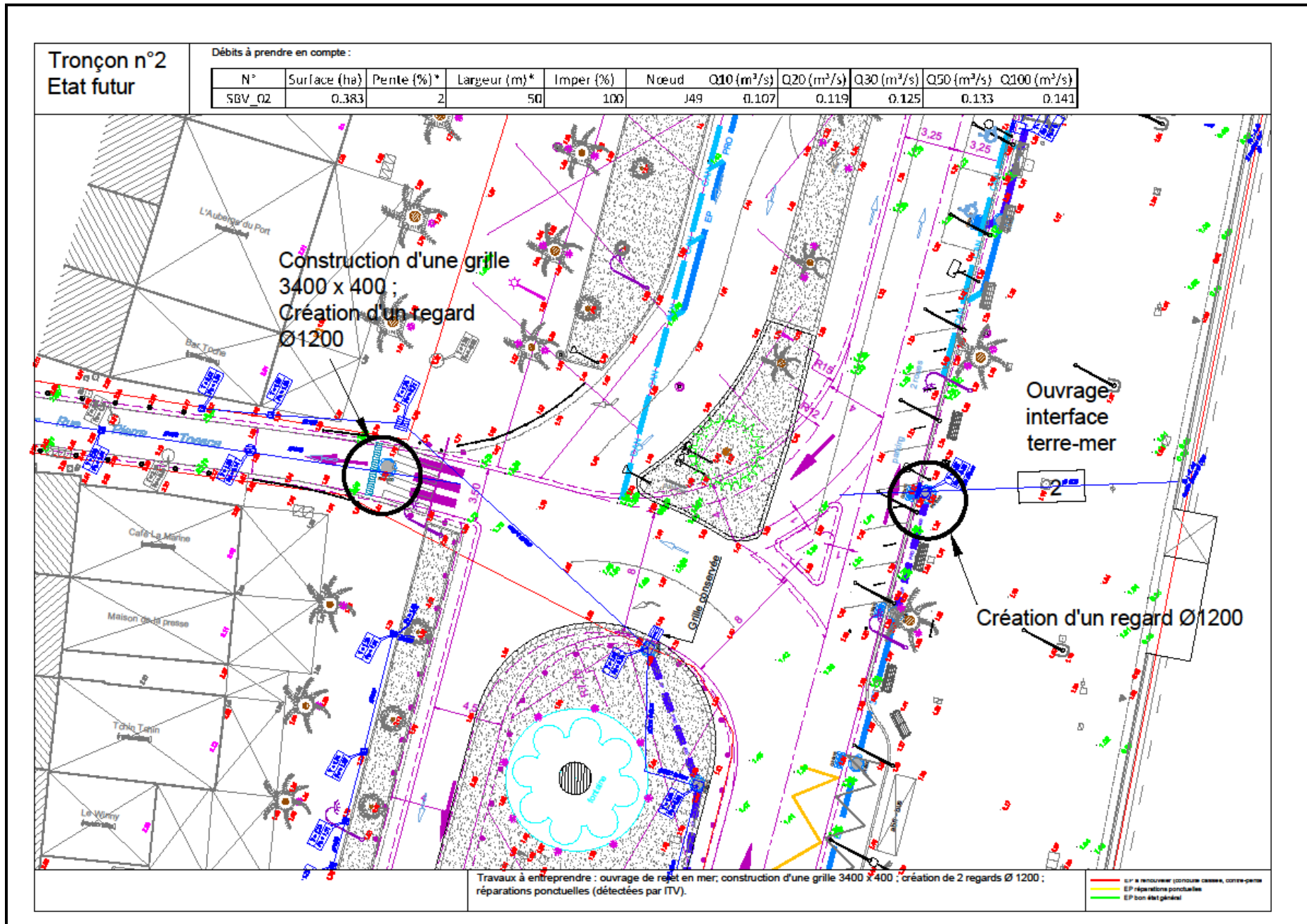


Figure 37. Tronçon n°2, cas projeté

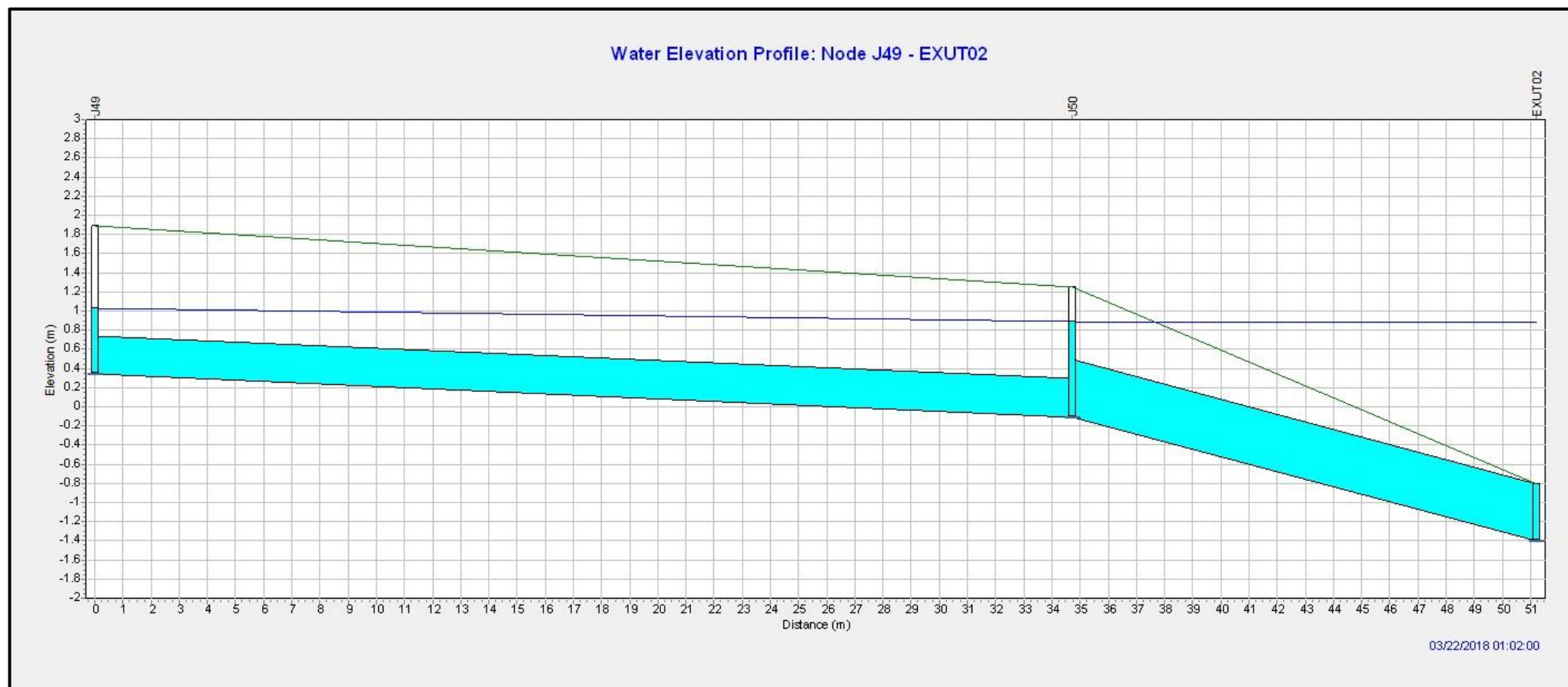


Figure 38. Profil SWMM, exutoire n°2, cas projeté

Au niveau du tronçon n°2, l'aménagement de l'ouvrage d'interface terre-mer augmente la hauteur d'eau dans la canalisation, en mettant en charge le réseau en amont. Cependant, aucun débordement n'est observé.

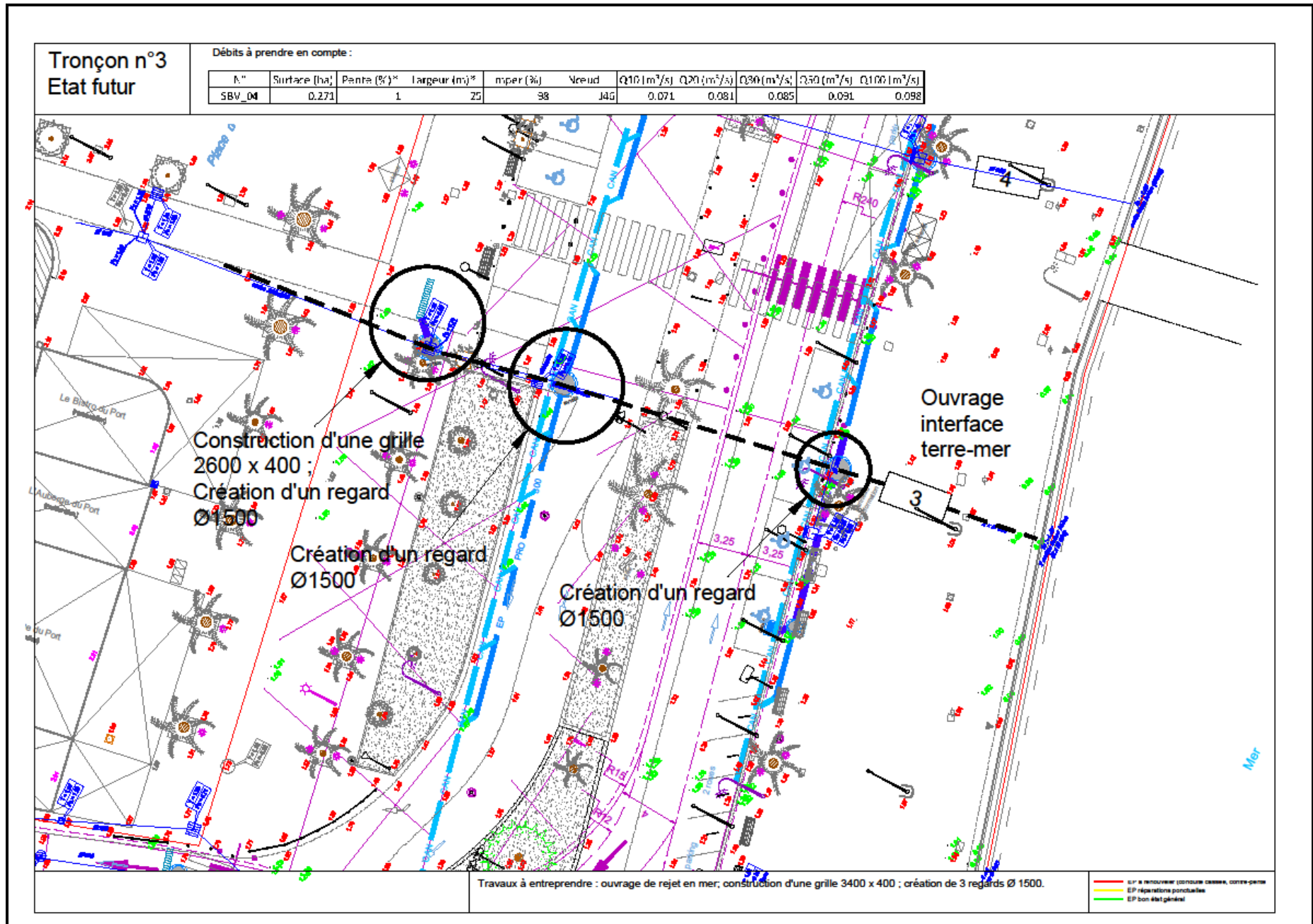


Figure 39. Tronçon n°3, cas projeté

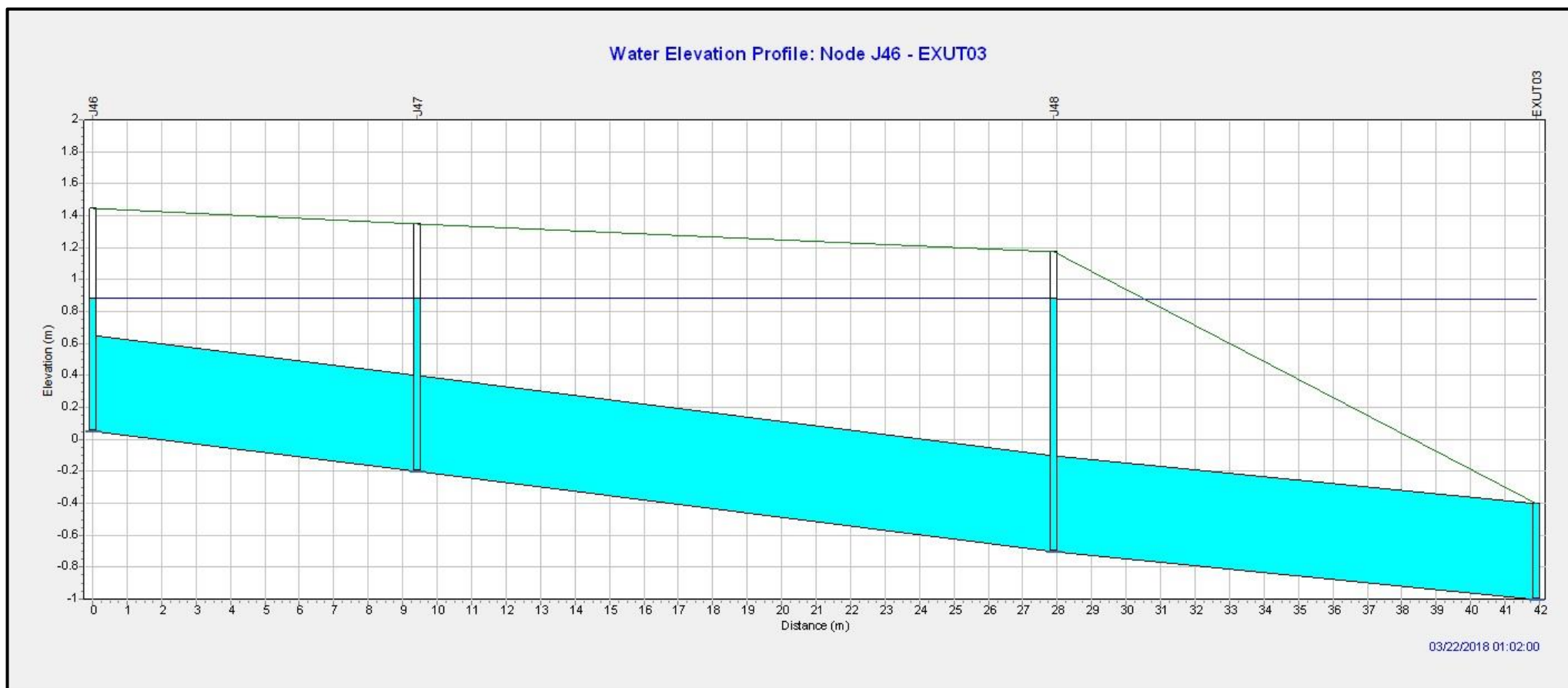


Figure 40. Profil SWMM, exutoire n°3, cas projeté

Aucun débordement n'est observé sur le tronçon en amont de l'exutoire n°3.

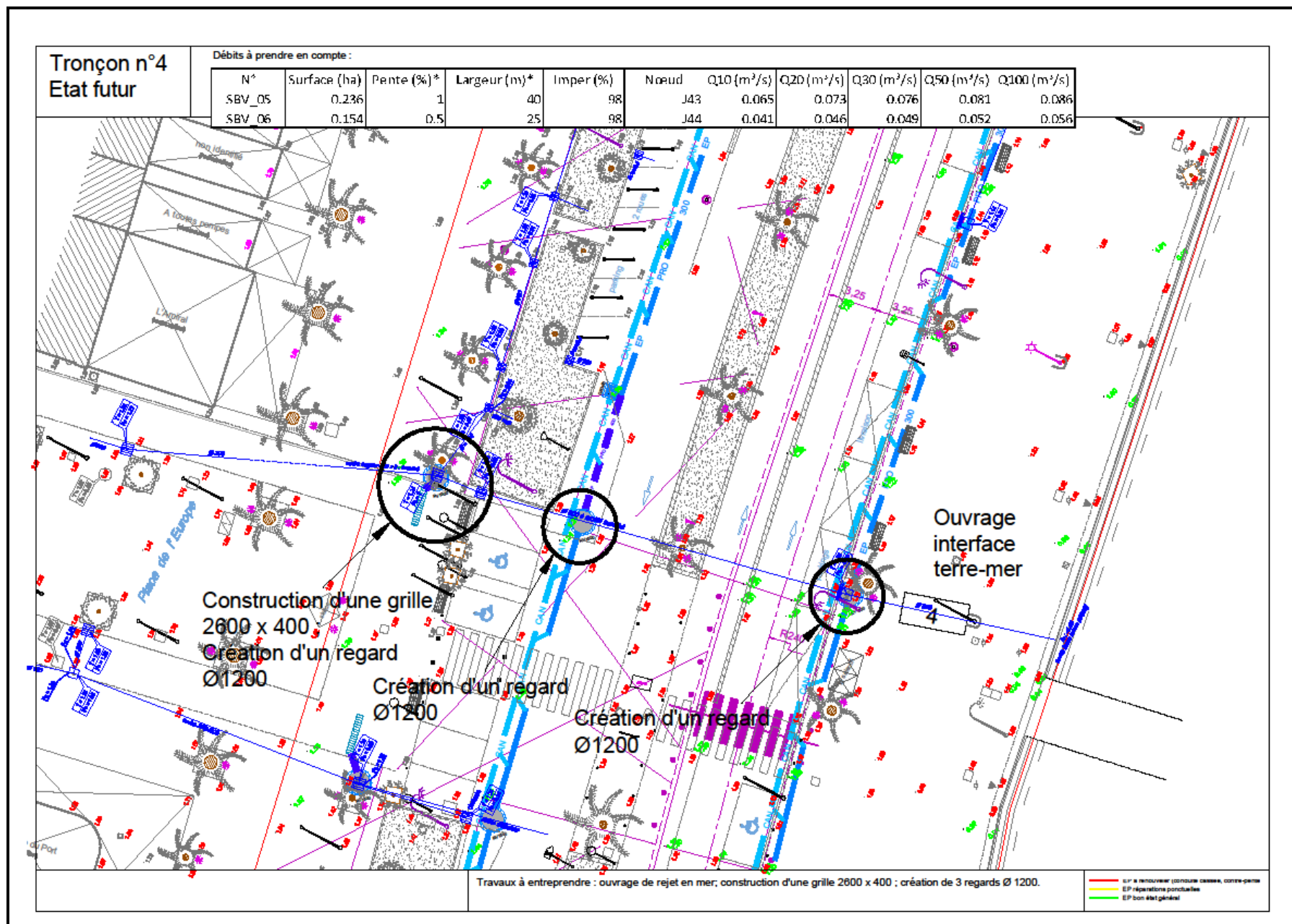


Figure 41. Tronçon n°4, cas projeté

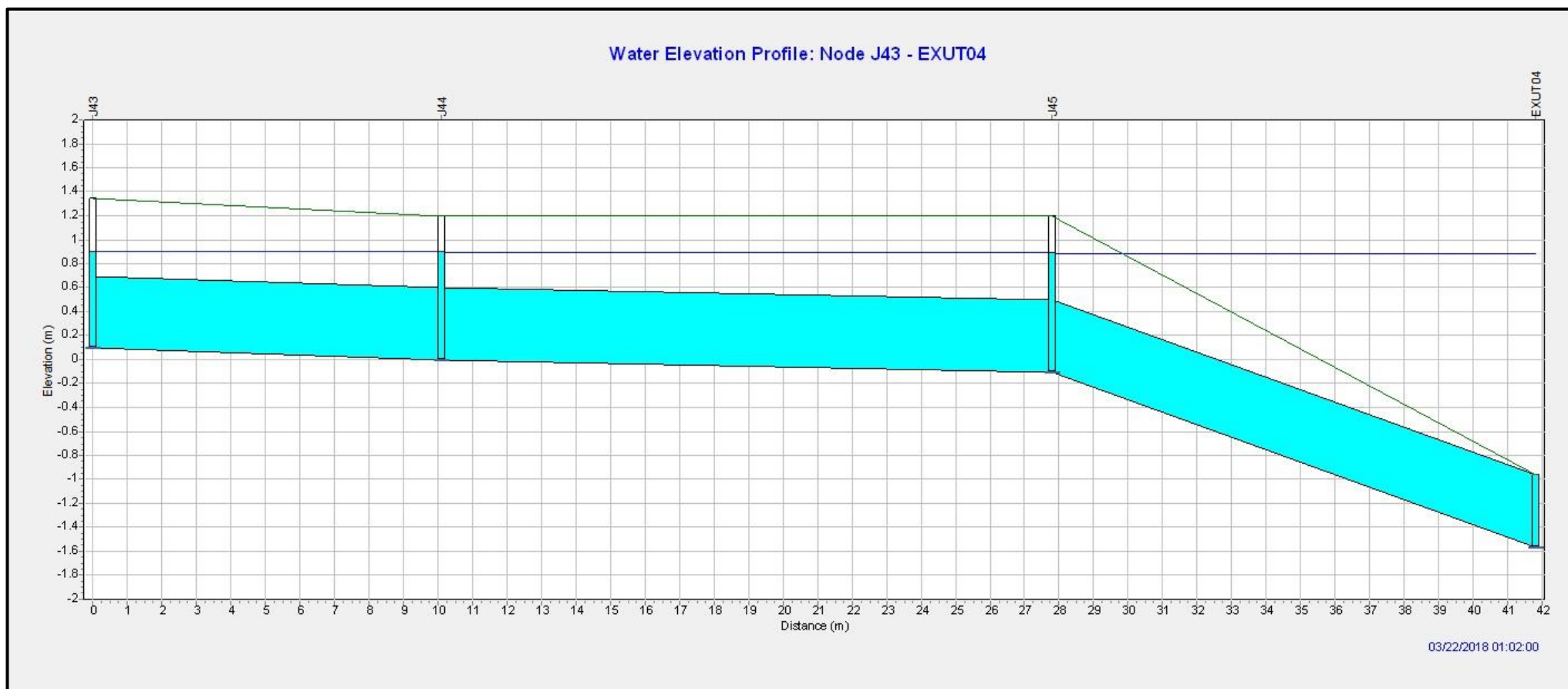


Figure 42. Profil SWMM, exutoire n°4, cas projeté

Aucun débordement n'est observé sur le tronçon en amont de l'exutoire n°4.

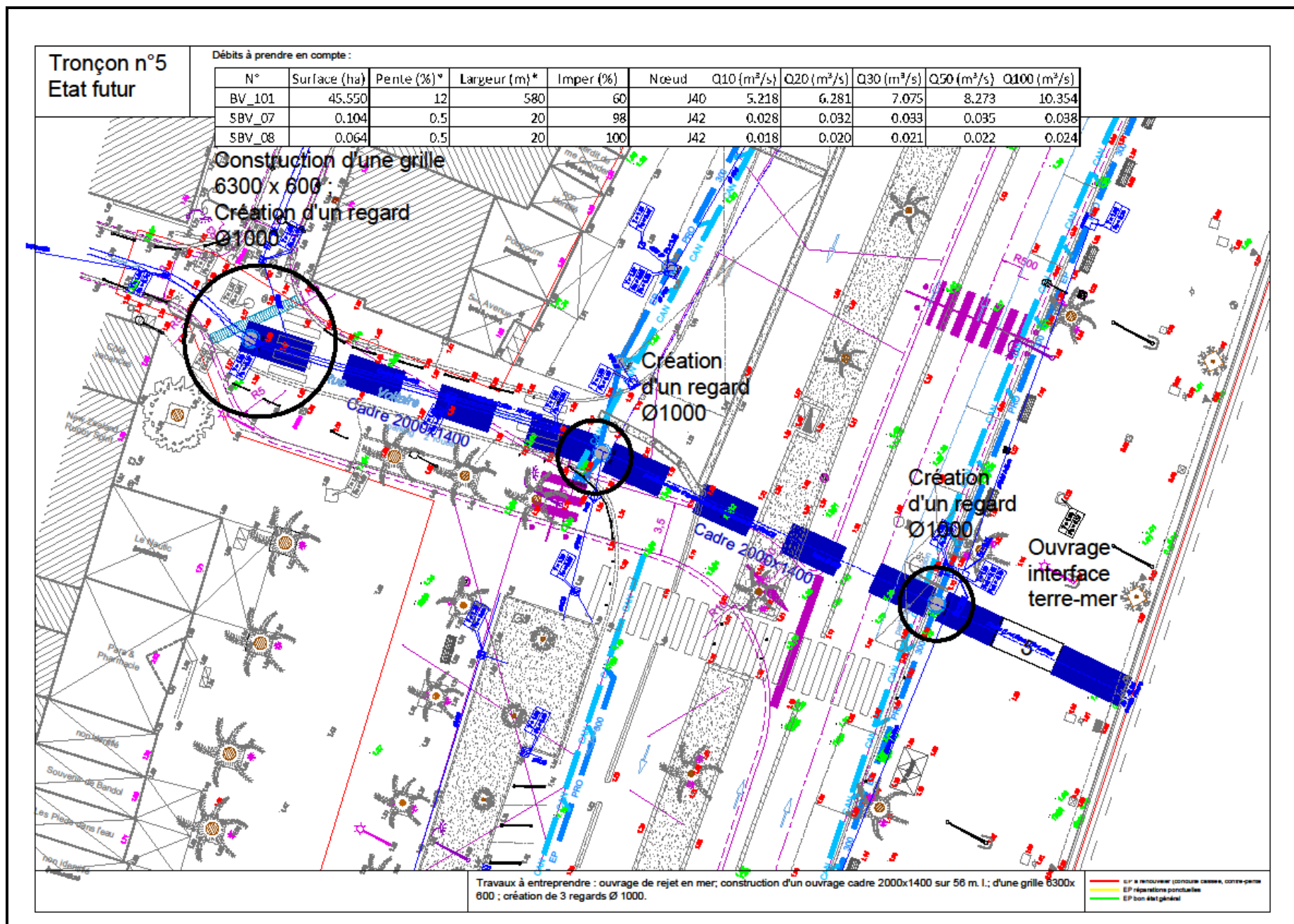


Figure 43. Tronçon n°5, cas projeté

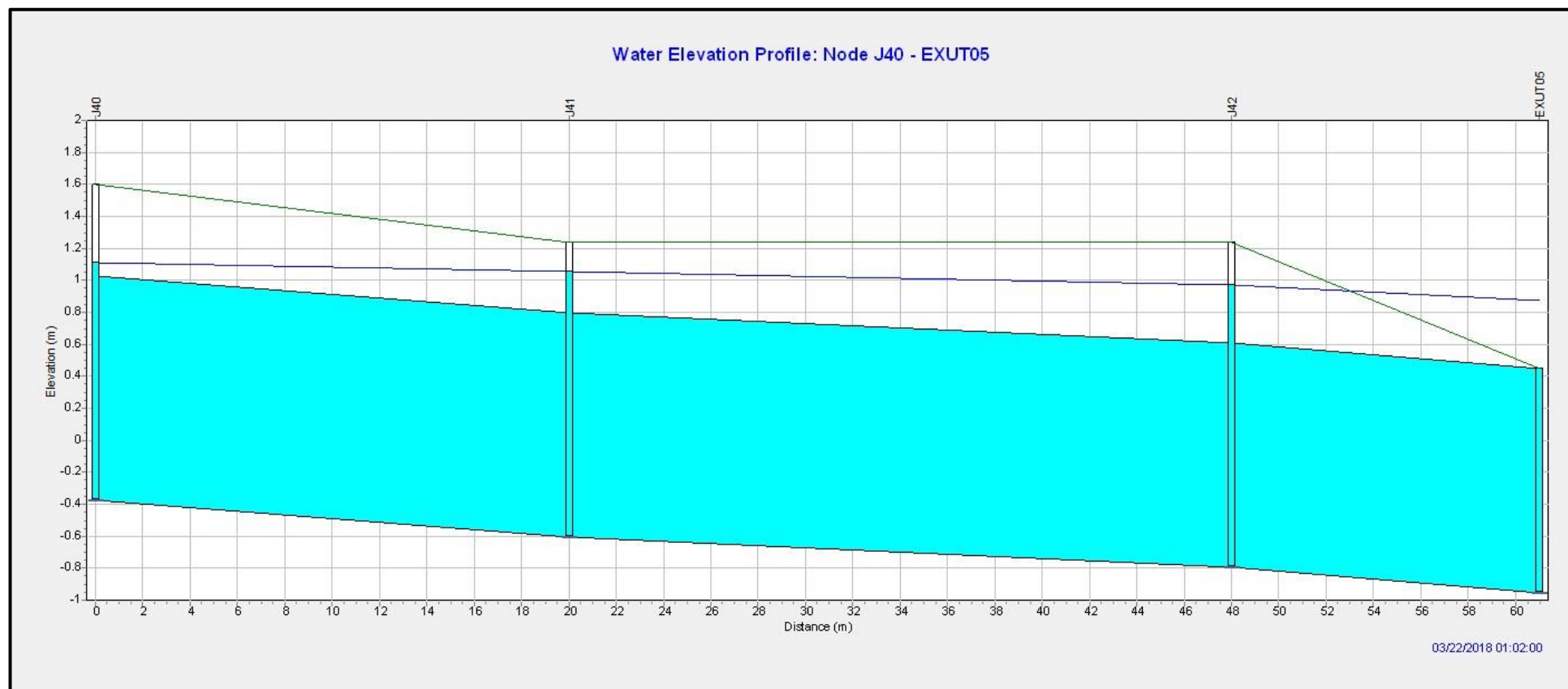


Figure 44. Profil SWMM, exutoire n°5, cas projeté

Au niveau du tronçon n°5, l'aménagement de l'ouvrage d'interface terre-mer augmente la hauteur d'eau dans la canalisation. Mais l'harmonisation du réseau en amont, avec la construction d'un ouvrage cadre de hauteur 1400 mm permet d'abaisser la hauteur d'eau observé pour l'état actuel. Aucun débordement n'est observé.

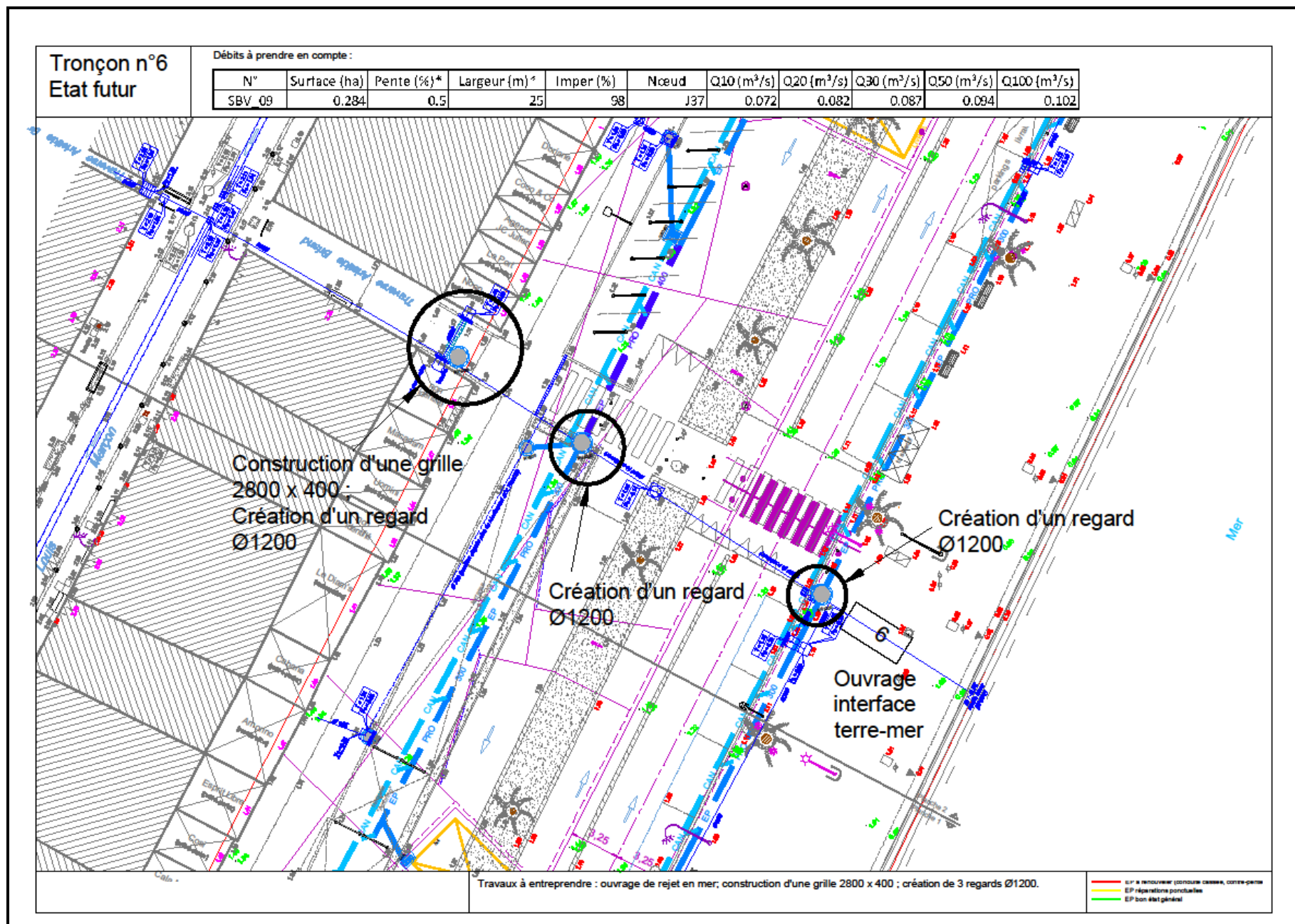


Figure 45. Tronçon n°6, cas projeté

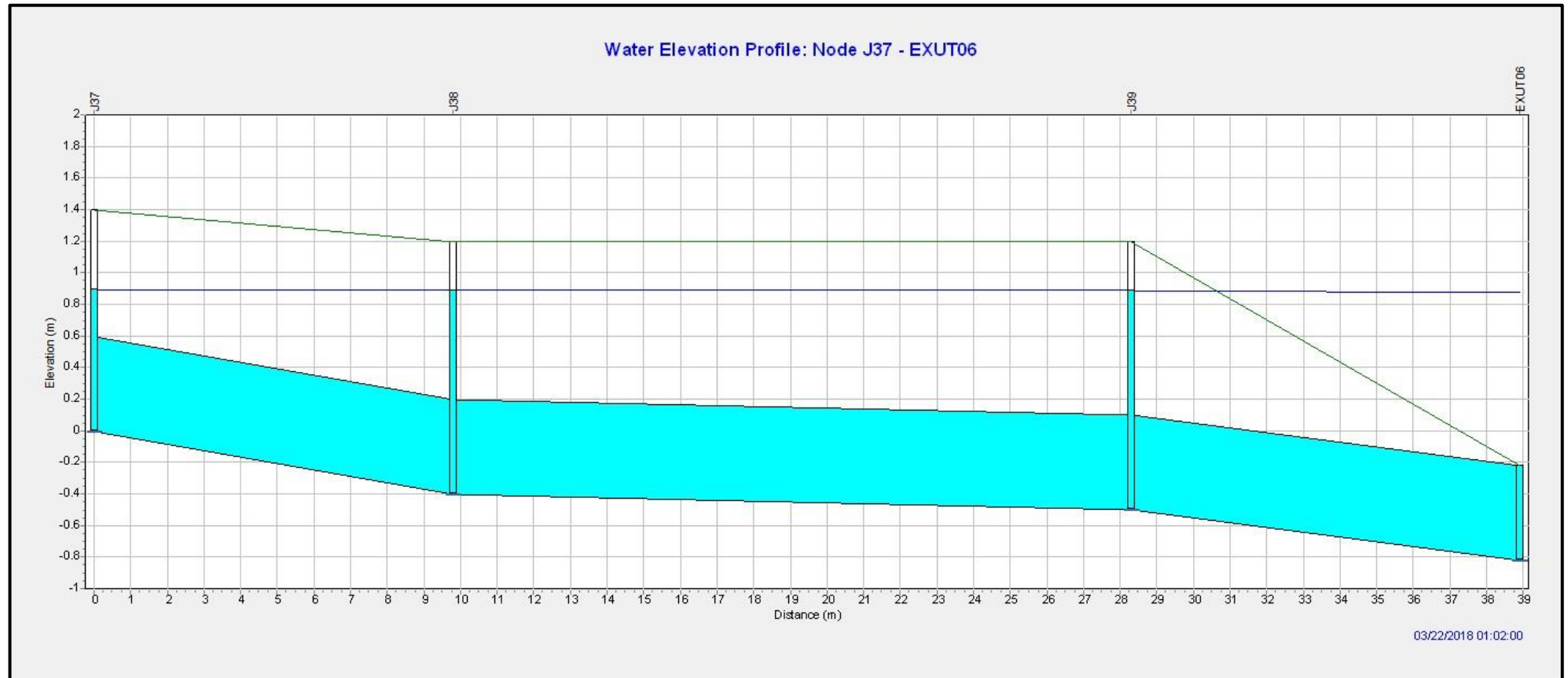


Figure 46. Profil SWMM, exutoire n°6, cas projeté

Aucun débordement n'est observé pour le tronçon en amont de l'exutoire n°6.

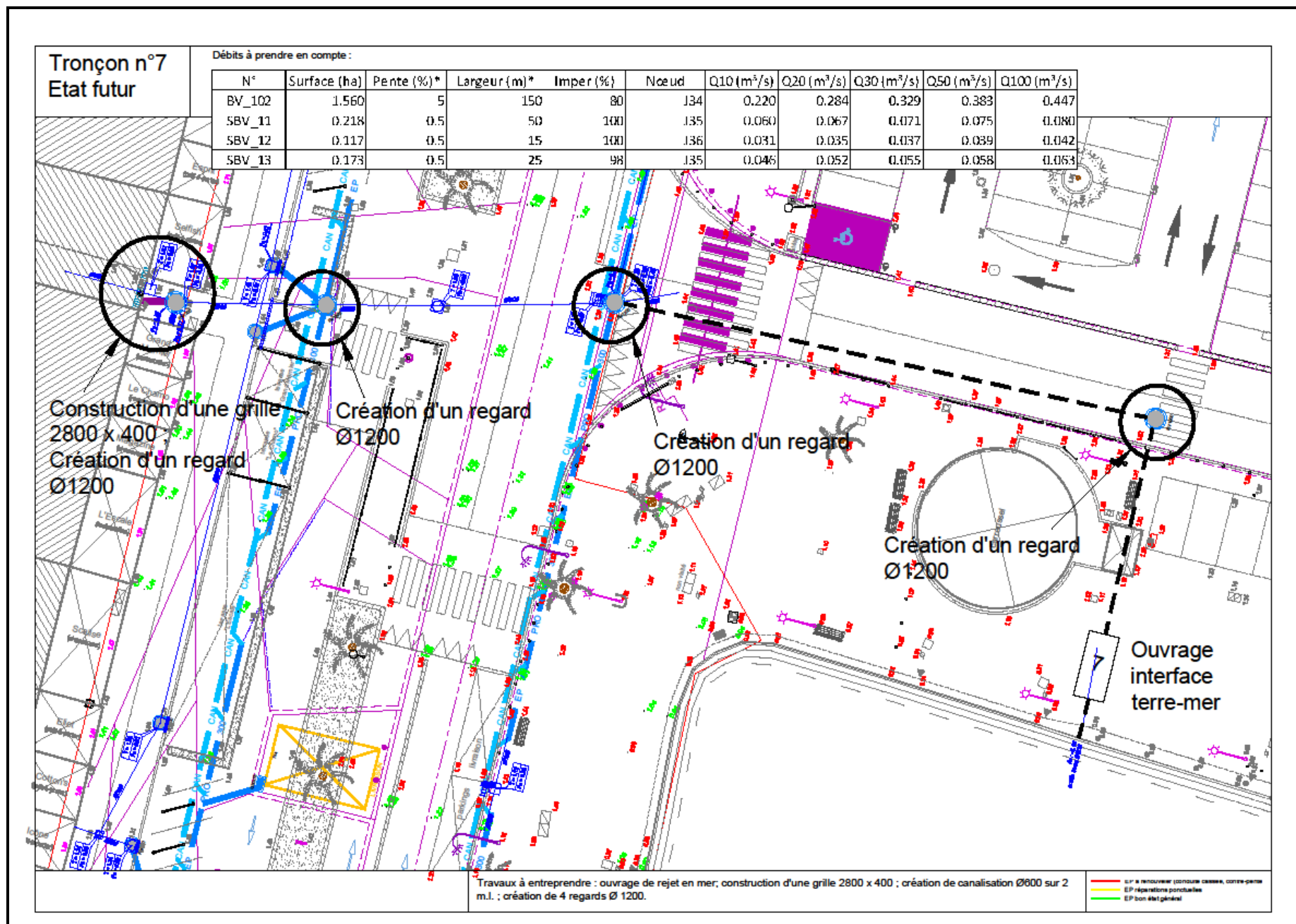


Figure 47. Tronçon n°7, cas projeté

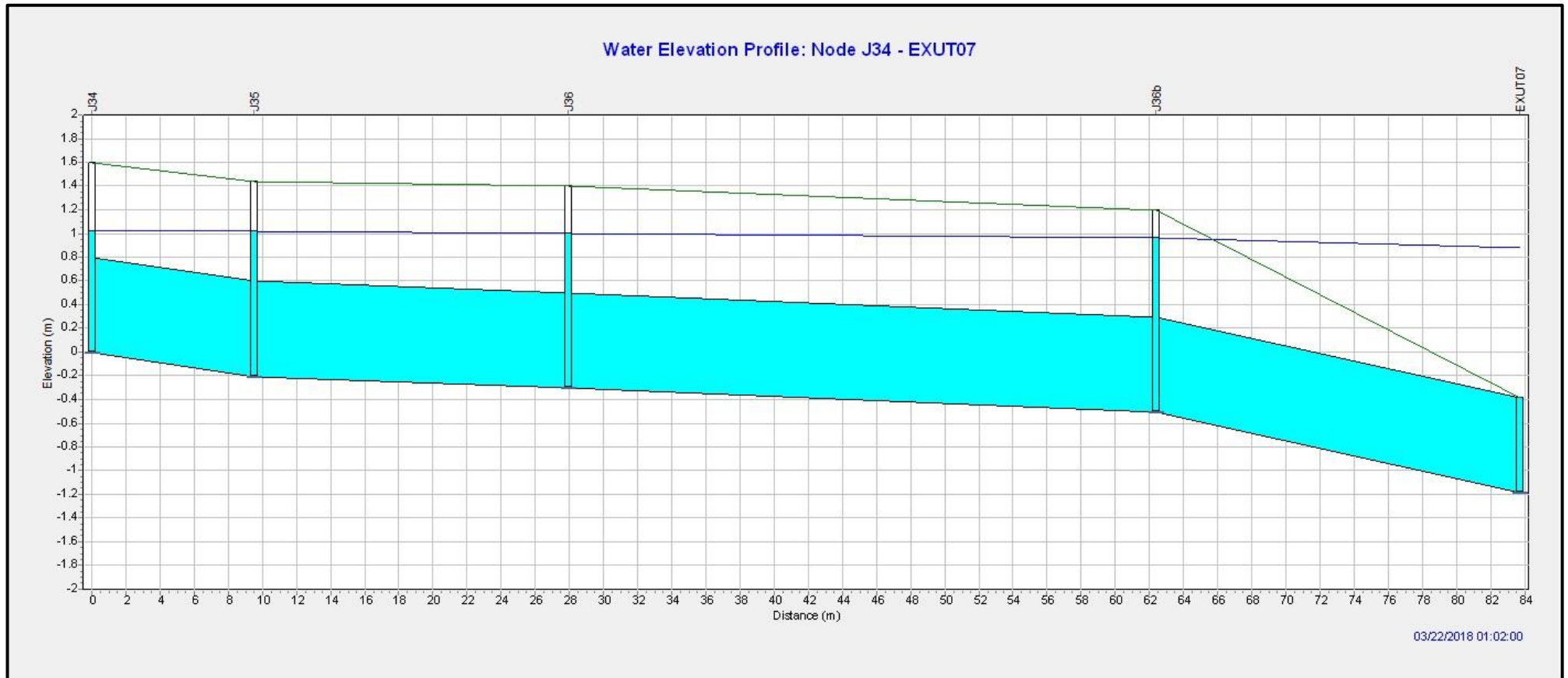


Figure 48. Profil SWMM, exutoire n°7, cas projeté

Aucun débordement n'est observé pour le tronçon en amont de l'exutoire n°7.

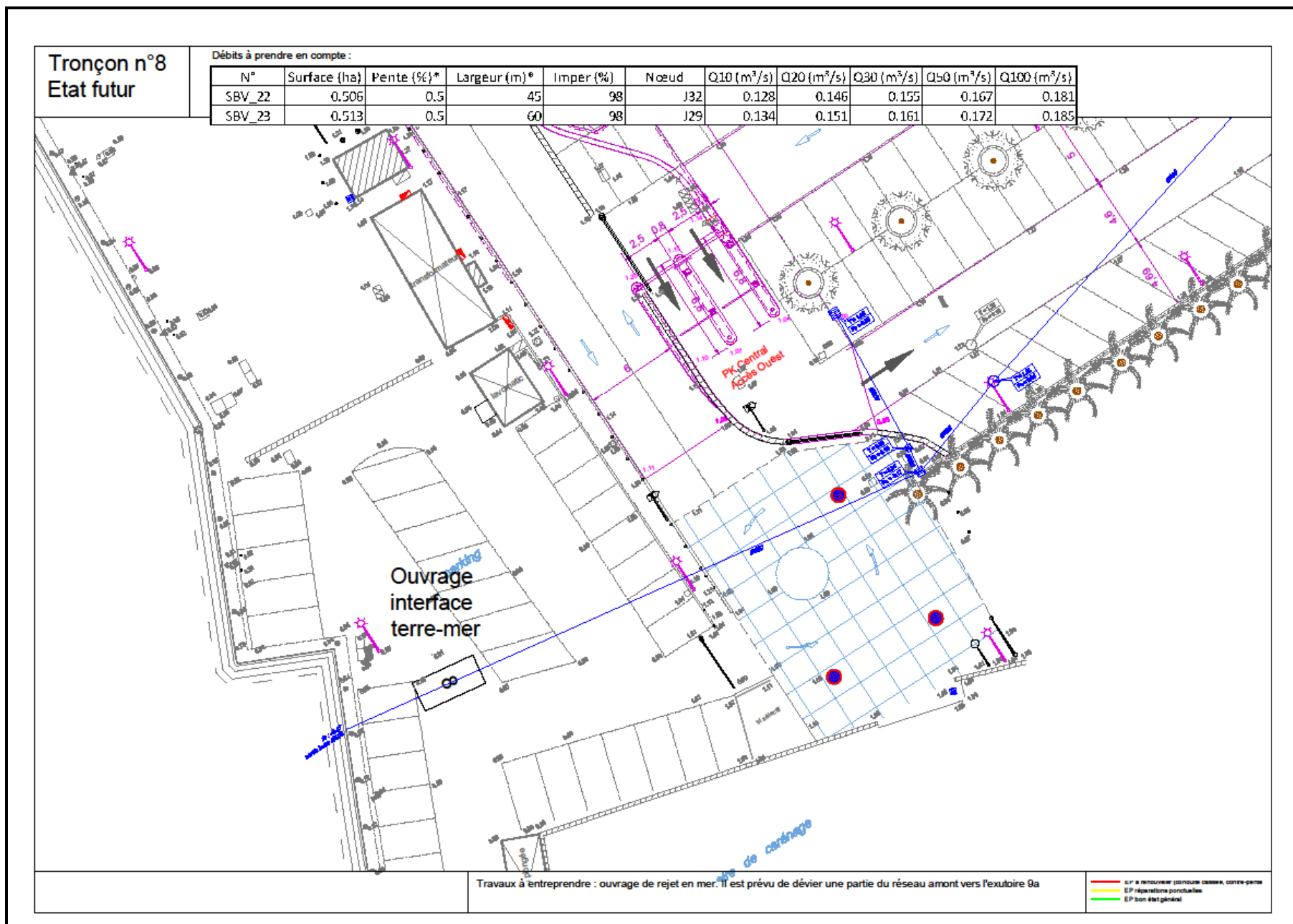


Figure 49. Tronçon n°8, cas projeté

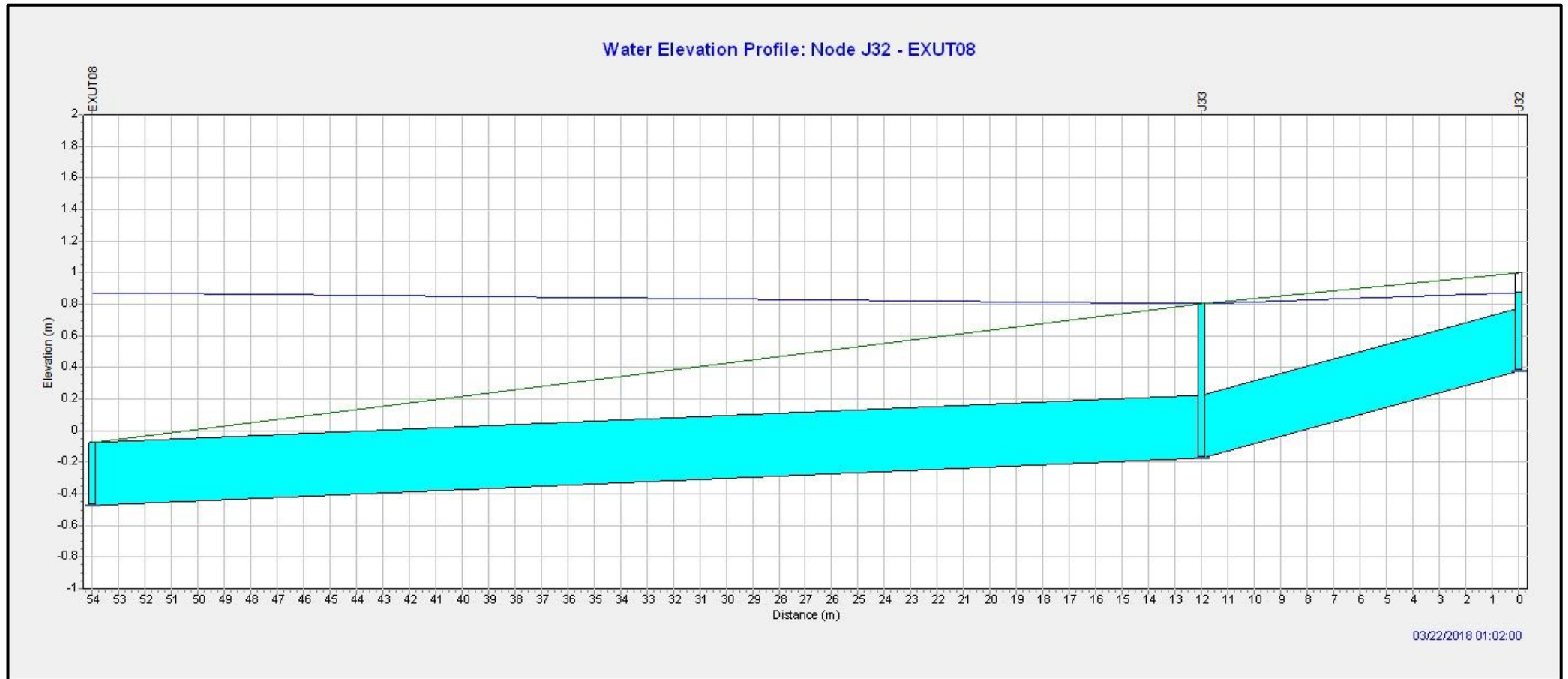


Figure 50. Profil SWMM, exutoire n°8, cas projeté

De légers débordements sont observés au niveau du regard J33.

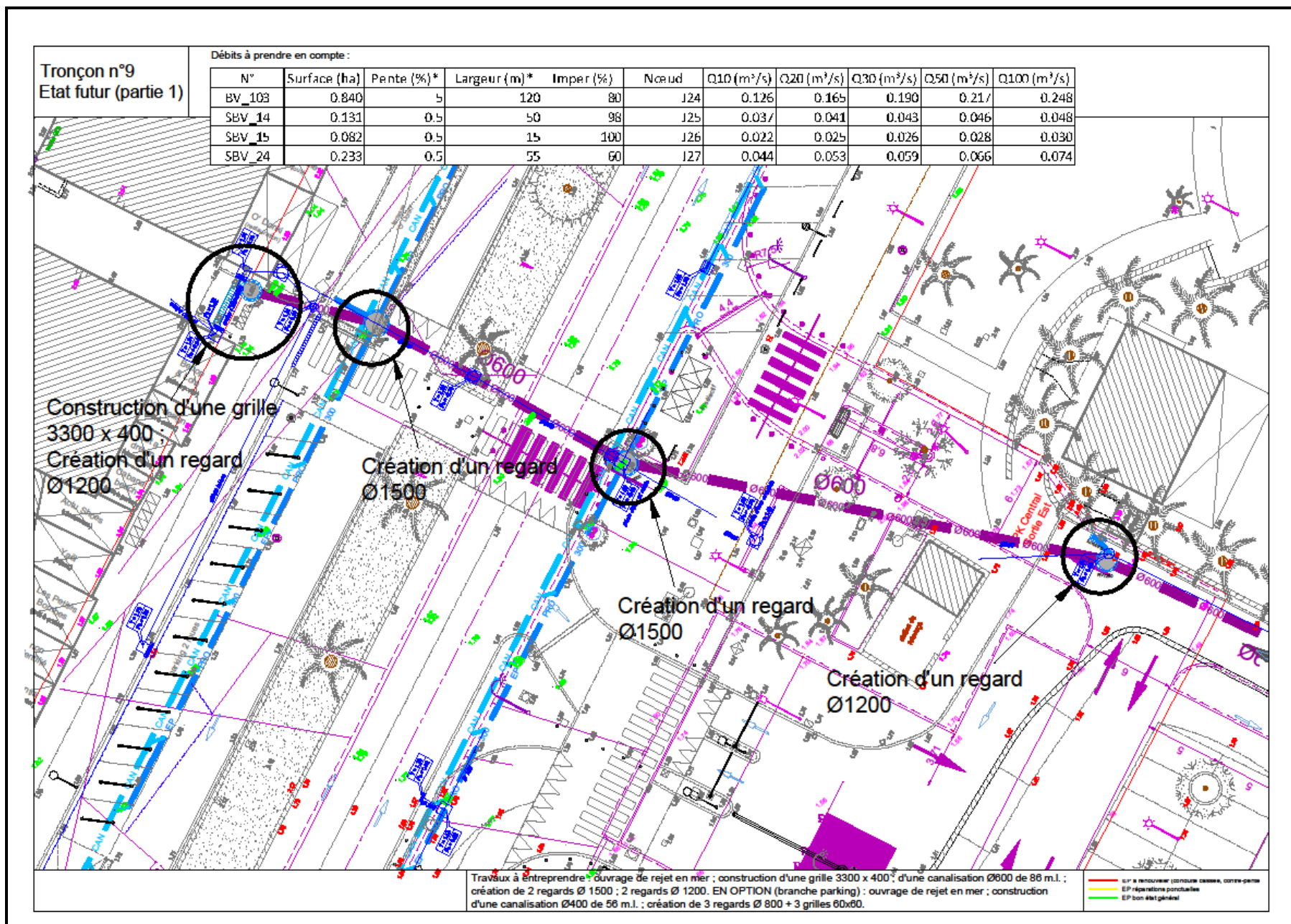


Figure 51. Tronçon n°9 - partie 1, cas projeté

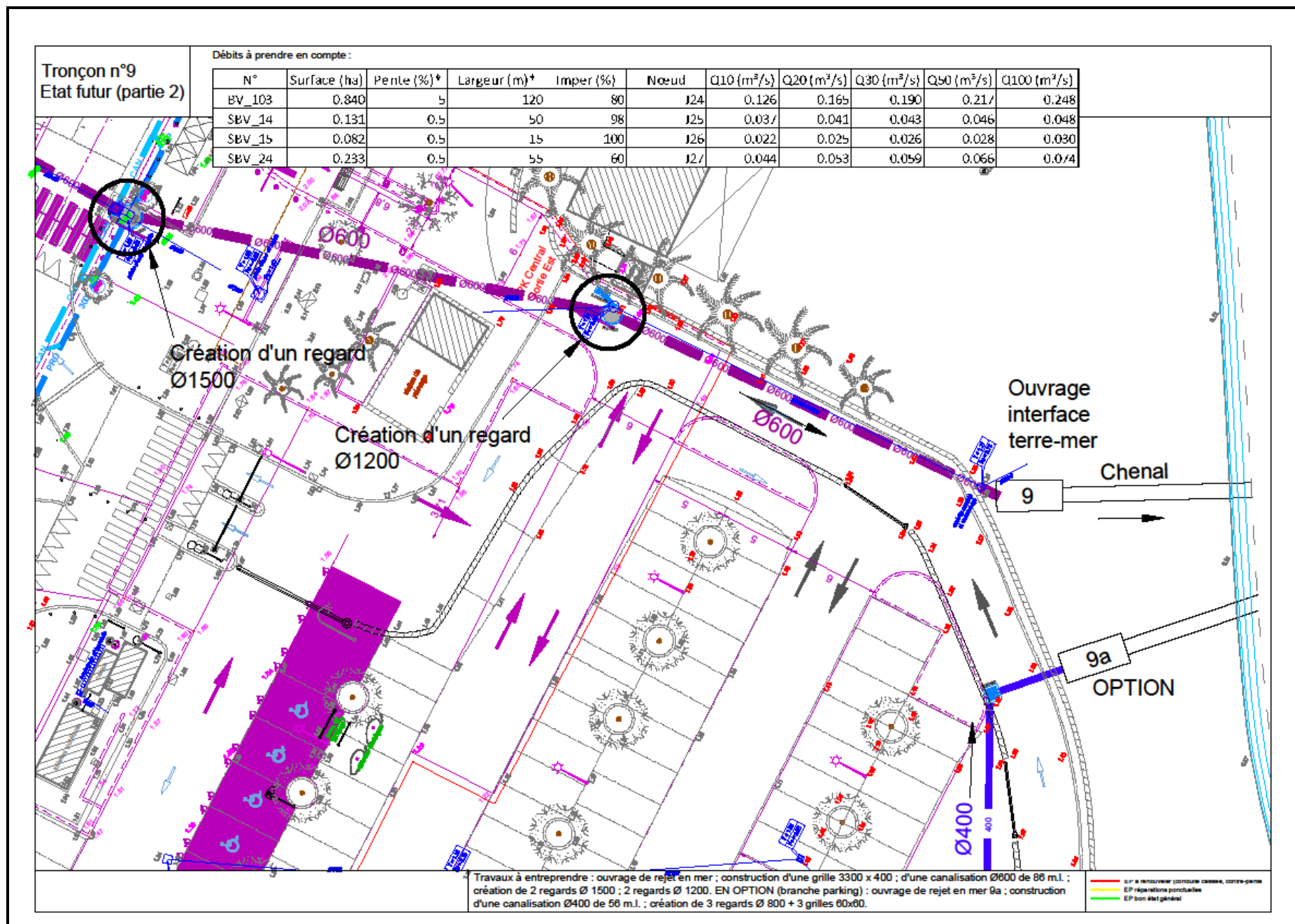


Figure 52. Tronçon n°9 - partie 2, cas projeté

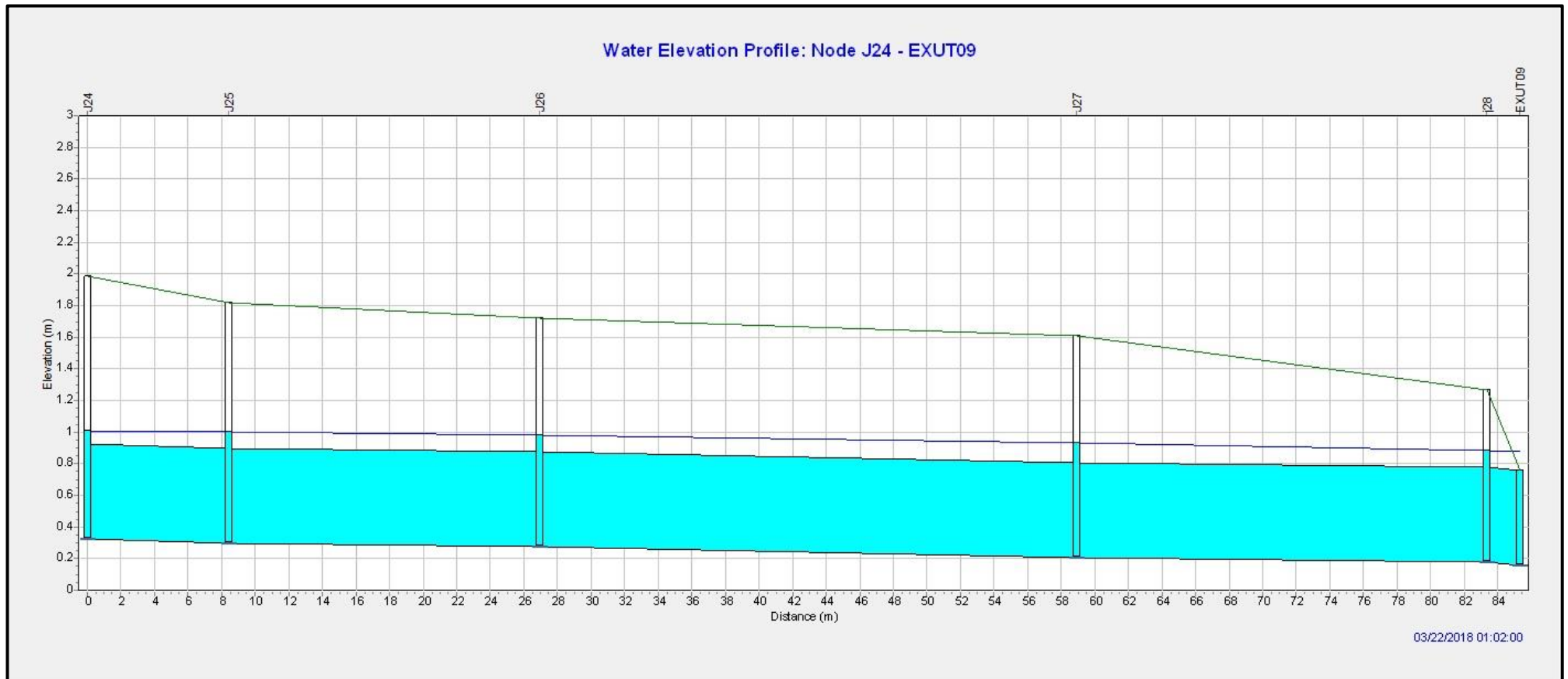


Figure 53. Profil SWMM, exutoire n°9, cas projeté

Aucun débordement n'est observé au niveau du réseau en amont de l'exutoire n°9.

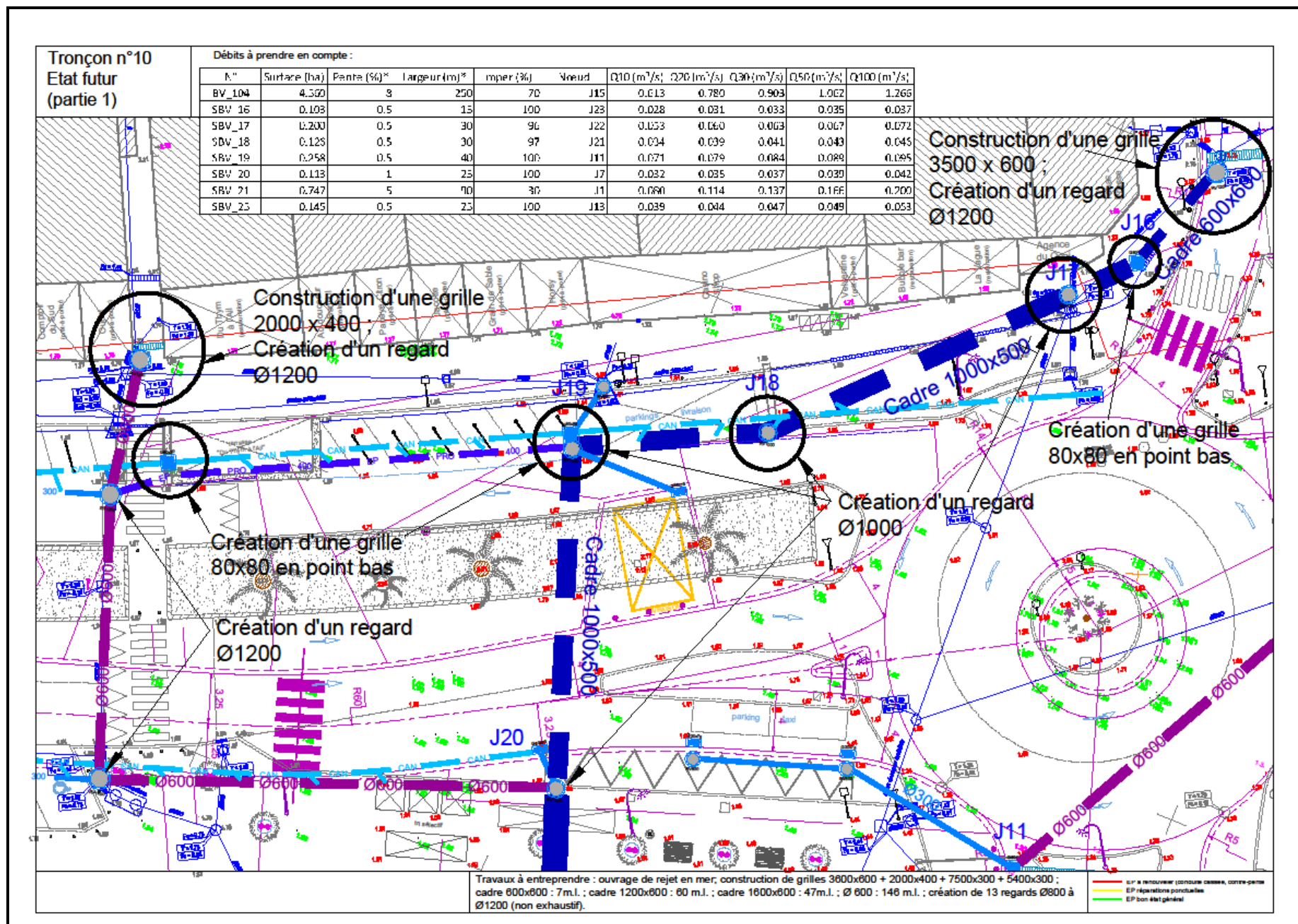


Figure 54. Tronçon n°10 - partie 1, cas projeté

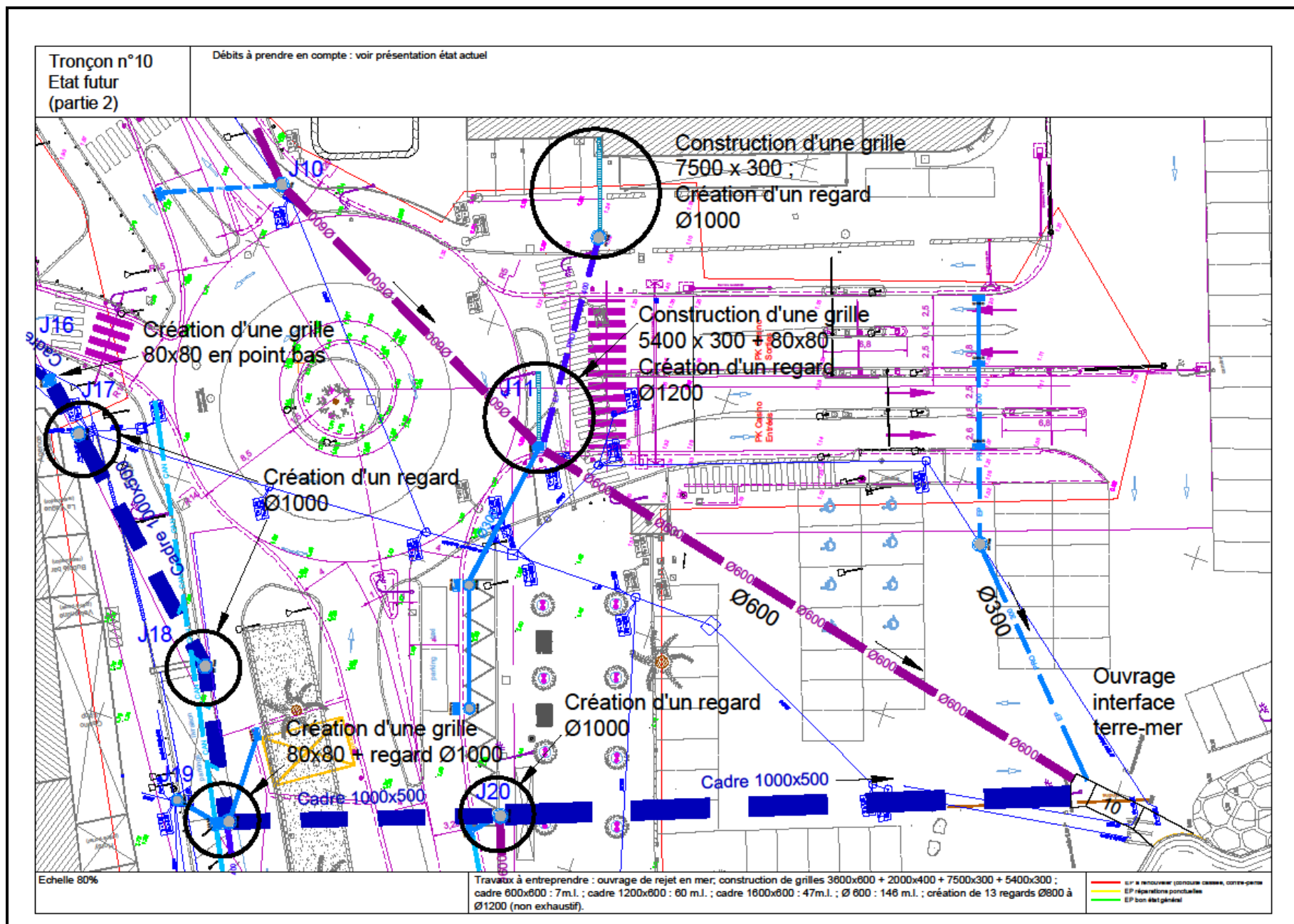


Figure 55. Tronçon n°10 - partie 2, cas projeté

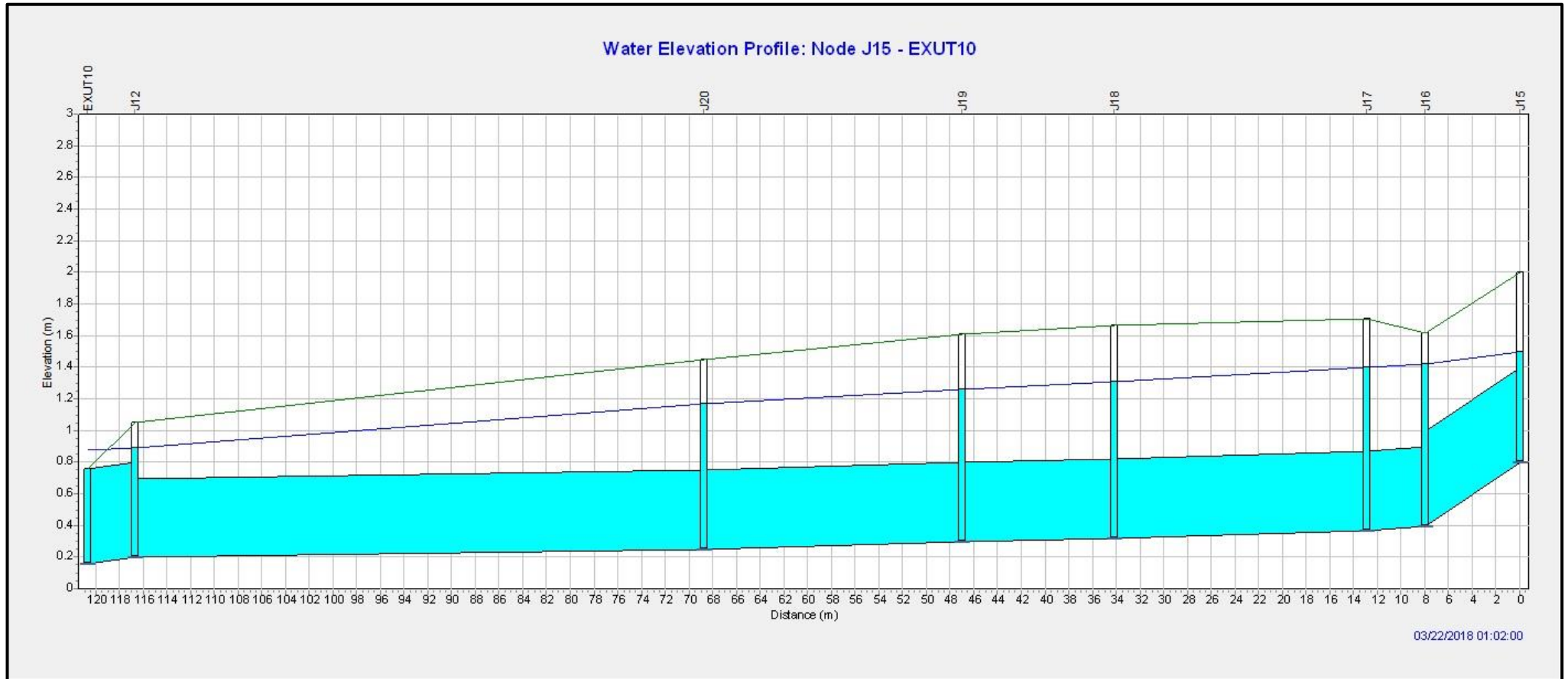


Figure 56. Profil SWMM, exutoire n°10, cas projeté

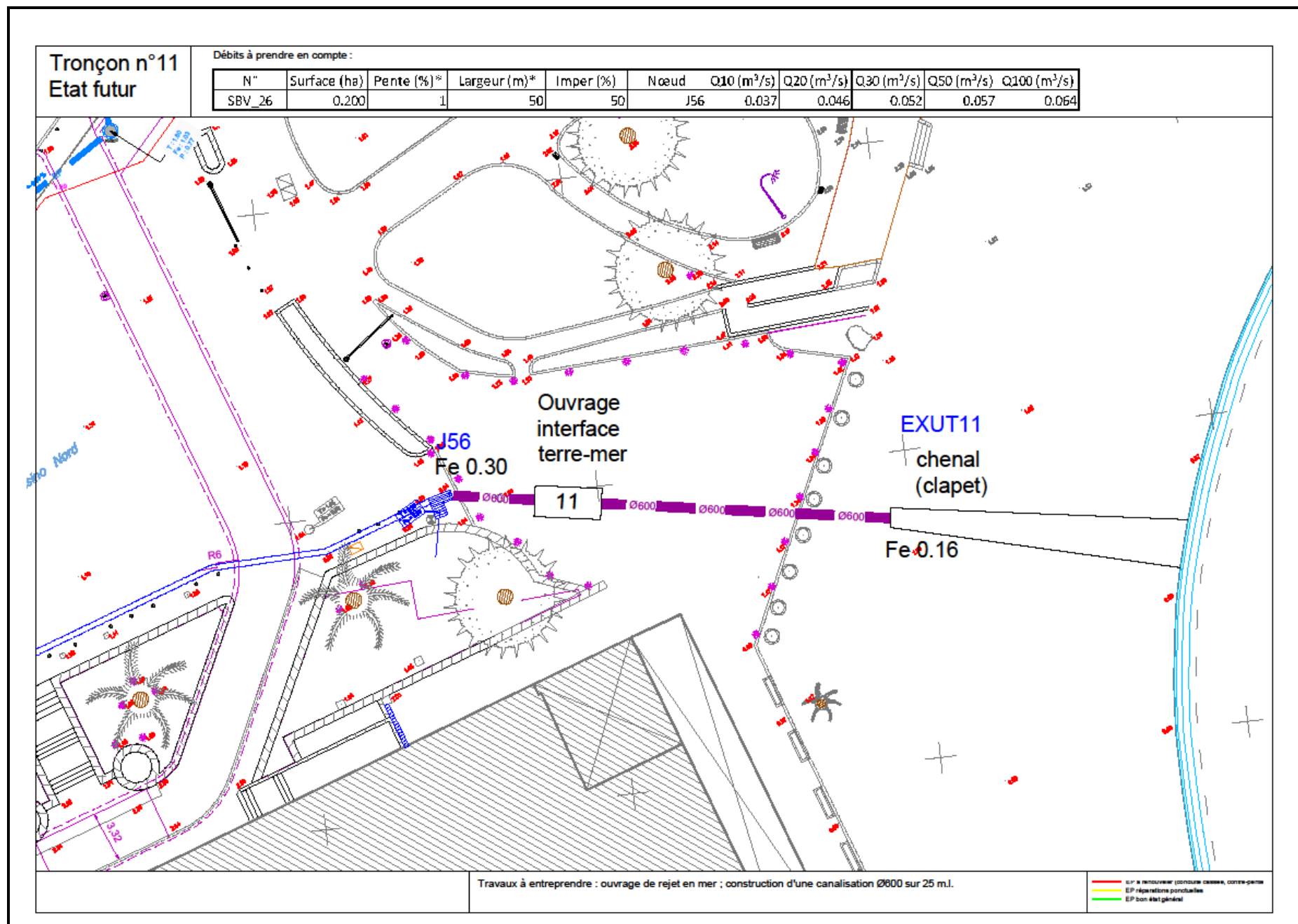


Figure 57. Tronçon n°11, cas projeté

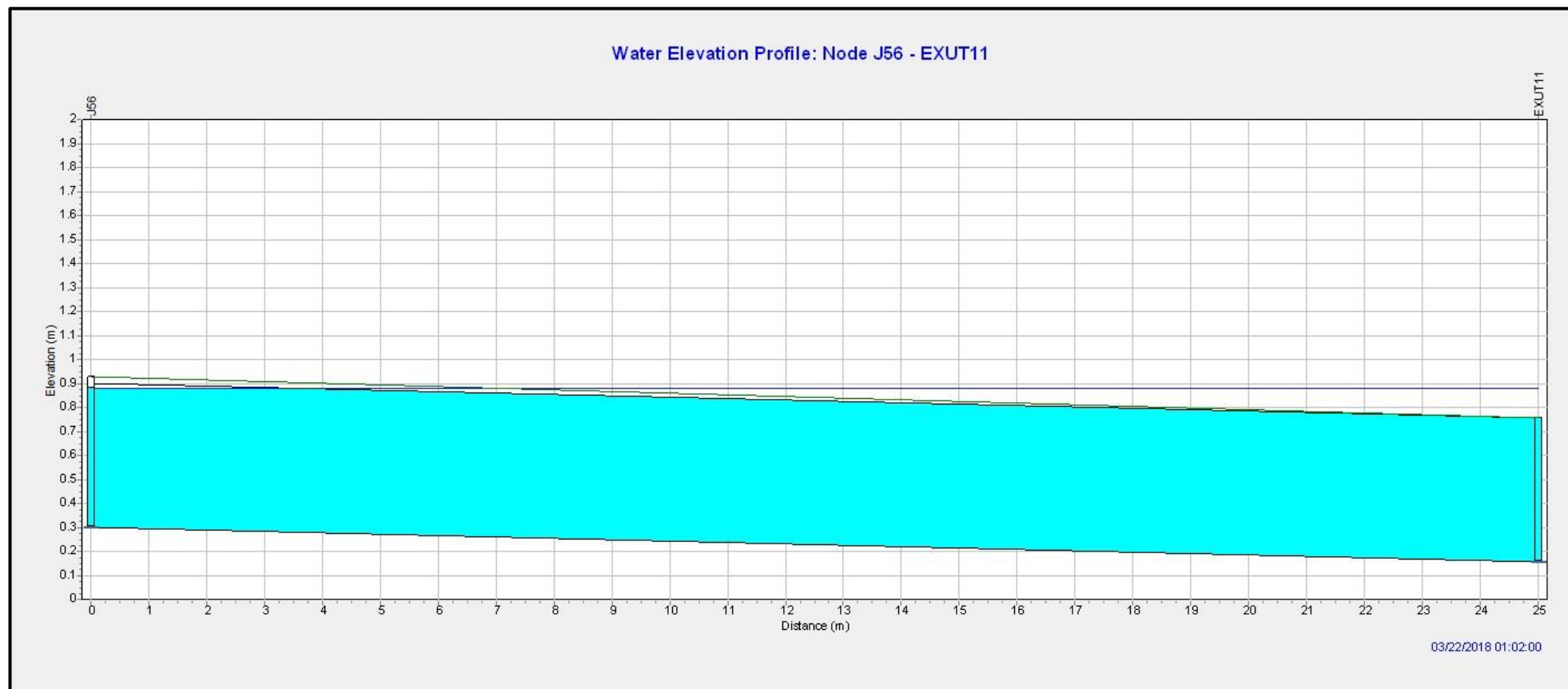


Figure 58. Profil SWMM, exutoire n°11, cas projet

Nous rappelons que les ouvrages préconisés et pris en compte dans la modélisation 1D permettent de faire transiter une pluie d'occurrence décennale. Au-delà de la décennale, des débordements seront observés, plus ou moins importants selon les zones. Afin d'avoir une vision des éventuels débordements, une modélisation 2D a été effectuée, pour visualiser les ruissellements lors des débordements du réseau pluvial.

V - MODELISATION 2D – TELEMAC 2D

Une modélisation 2D a été effectuée afin d’observer le ruissellement sur le site d’étude, lorsque le réseau pluvial projeté est mis en charge.

Pour cette modélisation, c’est le logiciel TELEMAC 2D, développé par EDF qui a été utilisé. Ce logiciel de modélisation hydraulique résout la forme en deux dimensions d’espace horizontales (x,y) des équations de Saint-Venant, en eaux peu profondes.

Les hypothèses prises en compte par le logiciel sont les suivantes :

- D’un point de vue hydrostatique, les accélérations verticales causées par la pression sont négligeables (nous supposons qu’elles sont gravitationnellement compensées),
- les vitesses verticales sont également négligeables,
- Nous avons un fluide incompressible.

Le logiciel BlueKenue, développé par le Conseil National de Recherches du Canada (CNRC), nous permet la préparation, la visualisation et l’analyse des données modélisées par Telemac 2D.

V.1 - PREPARATION DU MAILLAGE

Le maillage du cas d’étude a été construit à l’aide des points topographiques. Ce maillage est une discrétisation dans l’espace du terrain en une multitude d’éléments, et a été réalisé avec un pas de 1 mètre.

Nous observons que le terrain de la zone d’étude se situe entre 0 et 3 m.

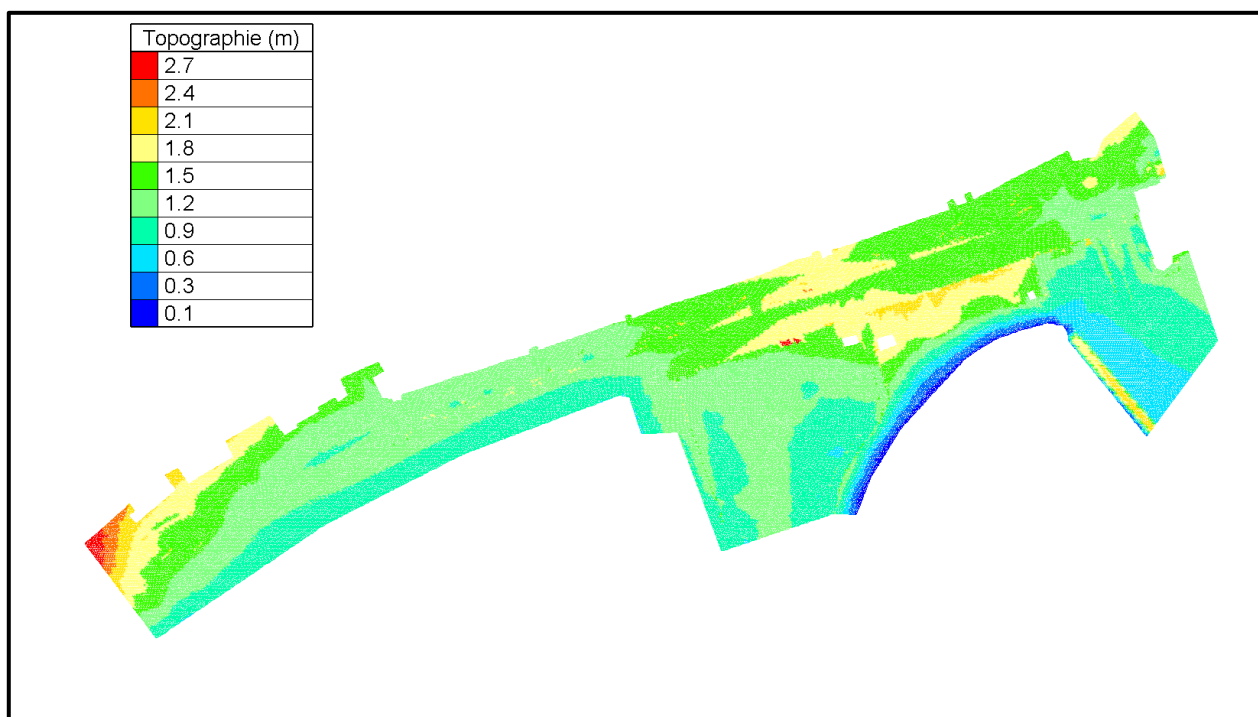


Figure 59. Maillage de la zone d’étude (logiciel BlueKenue)

V.2 - CONDITIONS AUX LIMITES ET « POINTS SOURCES »

Il est nécessaire d’imposer des conditions aux limites, pour effectuer une simulation d’un flux instable (correspondant au comportement d’une rivière ou de ruissellement).

Pour cela, nous avons observé les points de débordement pour les périodes de retour T=10, 20, 30, 50 et 100 ans, à l’aide de la modélisation 1D du cas projeté (SWMM).

Des débordements sont observés aux nœuds suivants : J1, J14, J16, J29, J33, J41, J51, J52 et J54 (localisés en rouge sur la figure n°60).

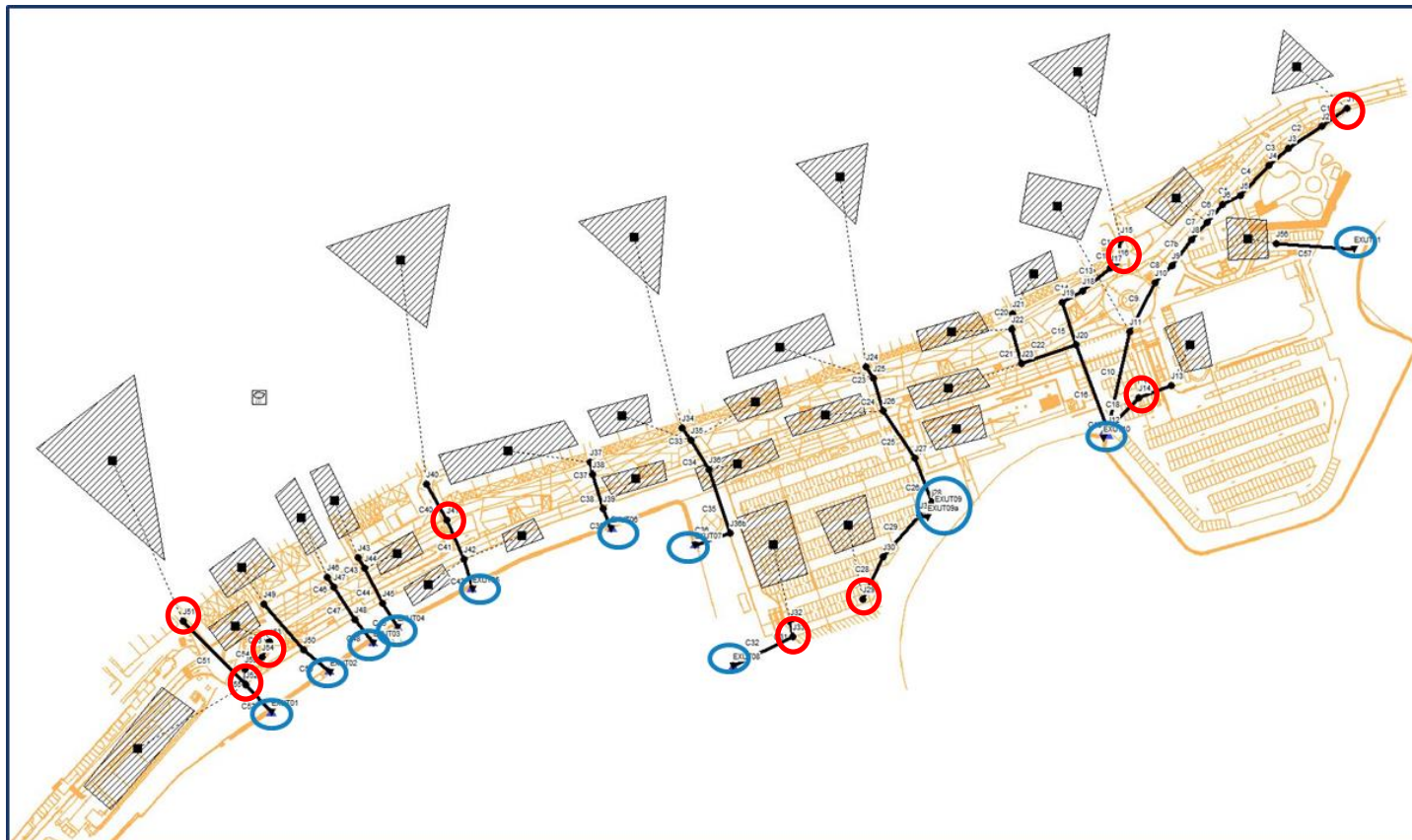


Figure 60. Localisation des nœuds de débordement

Les nœuds de débordements n'étant pas tous situés aux frontières du domaine du site d'étude, nous avons imposés deux conditions amont (bleues sur la *figure n°61*), correspondant aux nœuds J1, avenue de La Libération et J51, rue Gabriel Péri, et deux conditions aval (vert), corrélatives au niveau de la mer, fixé à 0,88 m.

Le reste des nœuds de débordements a été indiqué comme points sources pour la modélisation, et sont localisés en bleu clair sur la *figure n°61*.

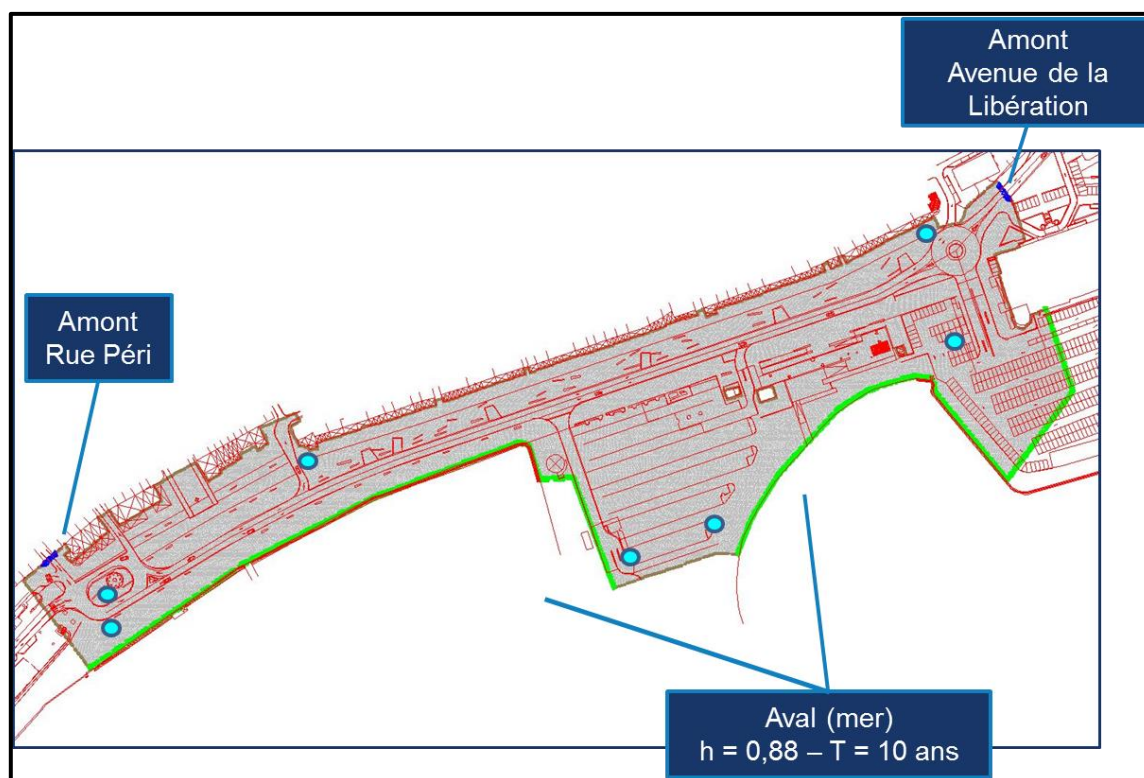


Figure 61. Localisation des conditions aux limites imposées

Pour les conditions amont et les points sources, ce sont les hydrogrammes de débordements issus de la modélisation 1D avec SWMM qui ont été injectés. Un exemple, pour la période de retour $T = 20$ ans, est représenté par la *figure n°62*. Les autres hydrogrammes sont disponibles en annexes.

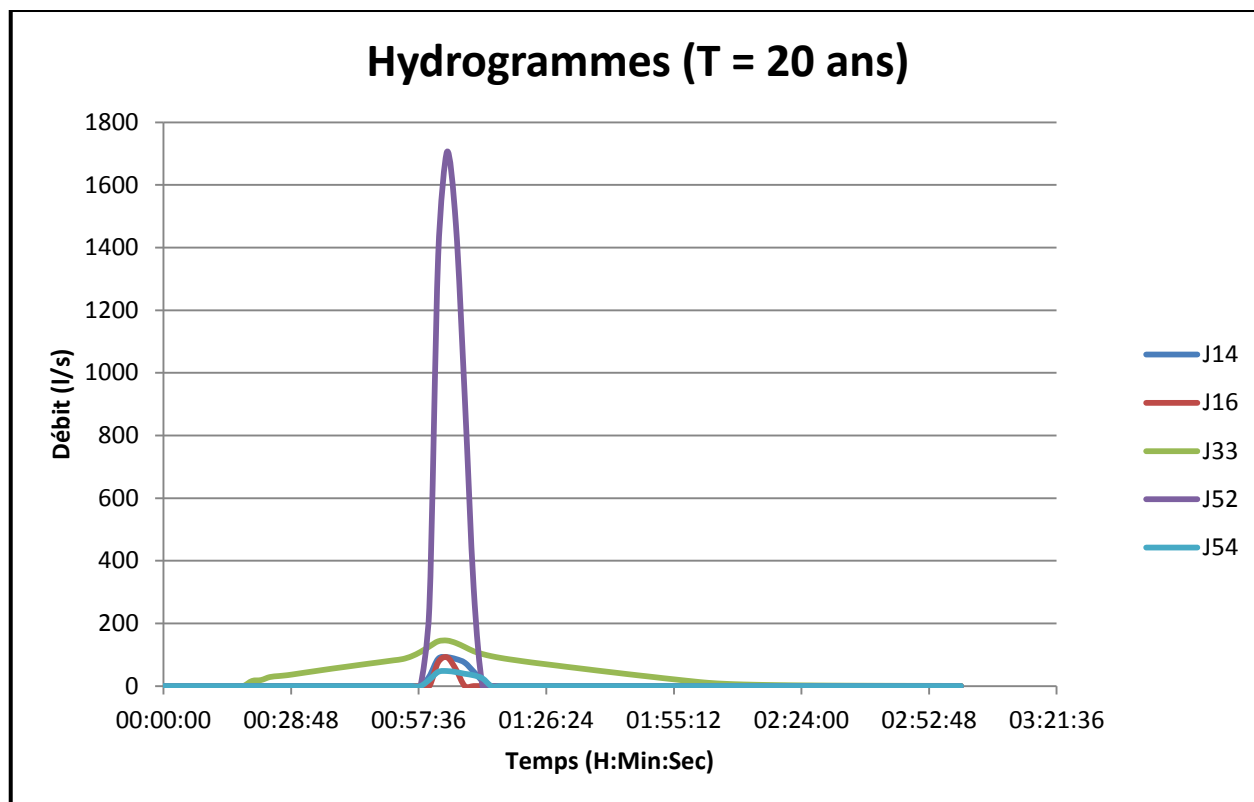


Figure 62. Hydrogrammes de débordements pour la période de retour $T = 20$ ans (SWMM, Excel)

V.3 - RESULTATS

Les résultats de la modélisation 2D obtenus sont présentés dans les sous-parties suivantes. Nous rappelons que cette modélisation ne concerne que les débordements observés pour le réseau projeté, capable de faire transiter une pluie de période de retour décennale.

La modélisation 2D réalisée fournit les hauteurs d'eau atteintes localement (m), les vitesses (m/s), la surface libre (m) et la topographie (m). Elle fournit également les résultats suivants : le nombre de Froude, le nombre de Courant, le débit scalaire (m^2/s), et le mouvement le long des axes XY (m).

Nous nous intéresserons aux principaux résultats (Hauteur d'eau et vitesse) pour l'analyse des résultats.

V.3.1 - T = 10 ANS

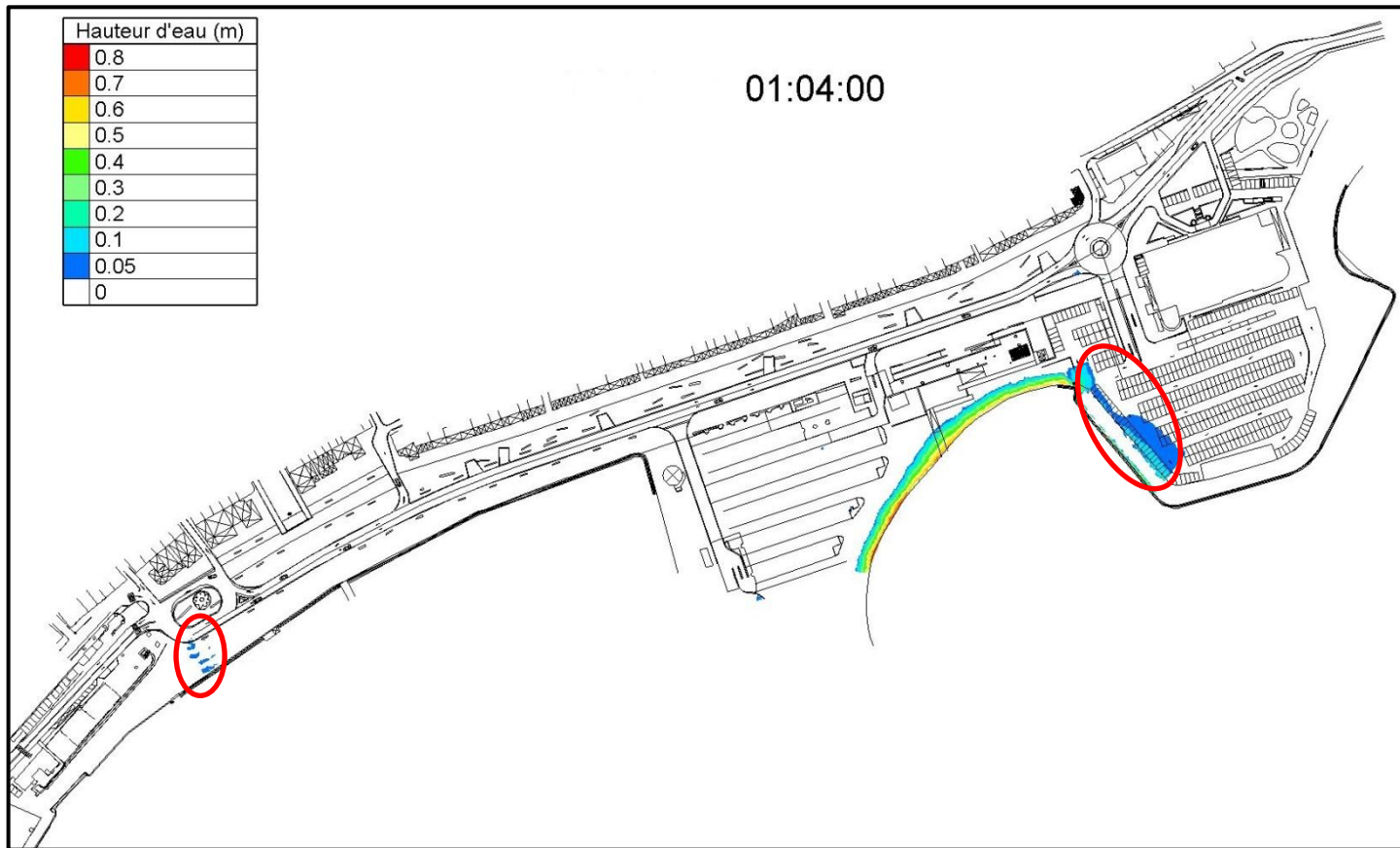


Figure 63. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 10 ans (BlueKenue)

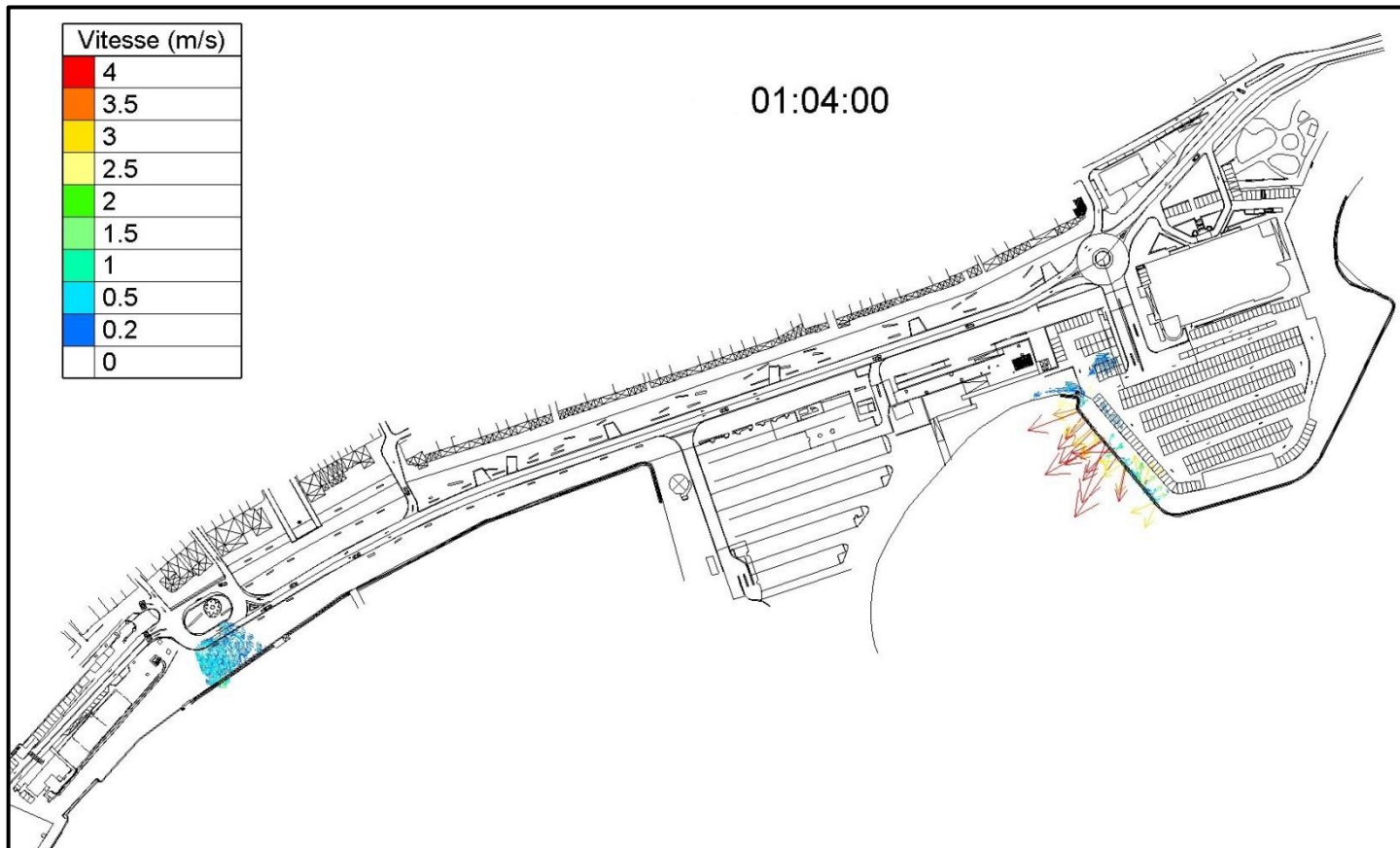


Figure 64. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 10 ans (BlueKenue)

Les figures n°63 et 64 présentent les résultats obtenus pour une pluie d'occurrence décennale. Nous observons la présence de quelques « flaques », caractérisées par une hauteur de 5 cm, au niveau du rond-point de la Fontaine. Les vitesses sont comprises entre 0,2 et 1 m/s.

Une accumulation d'eau, d'une hauteur de 5 à 10 cm, est également observée à l'arrière de la digue du Casino.

V.3.2 - T = 20 ANS

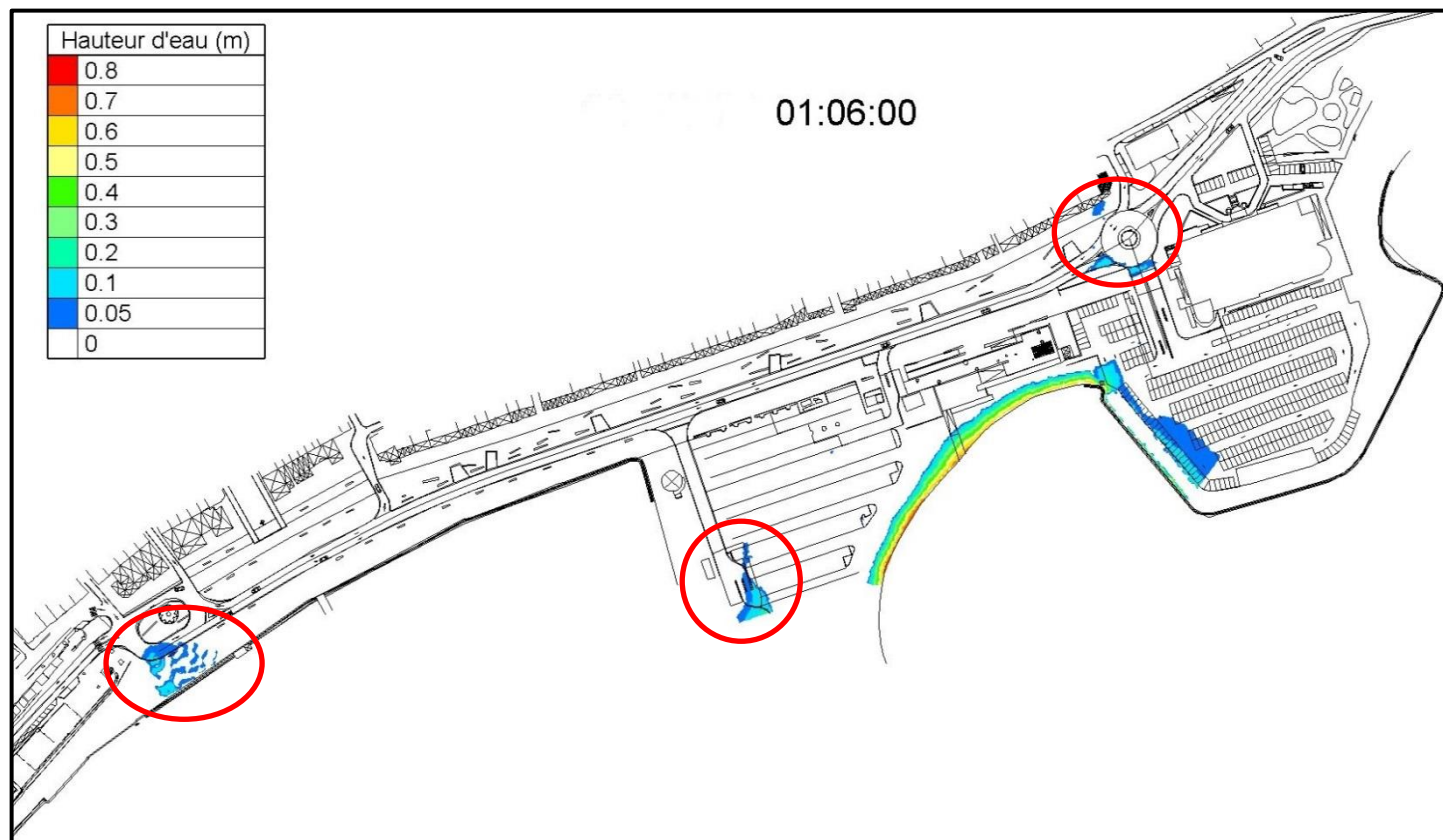


Figure 65. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 20 ans (BlueKenue)

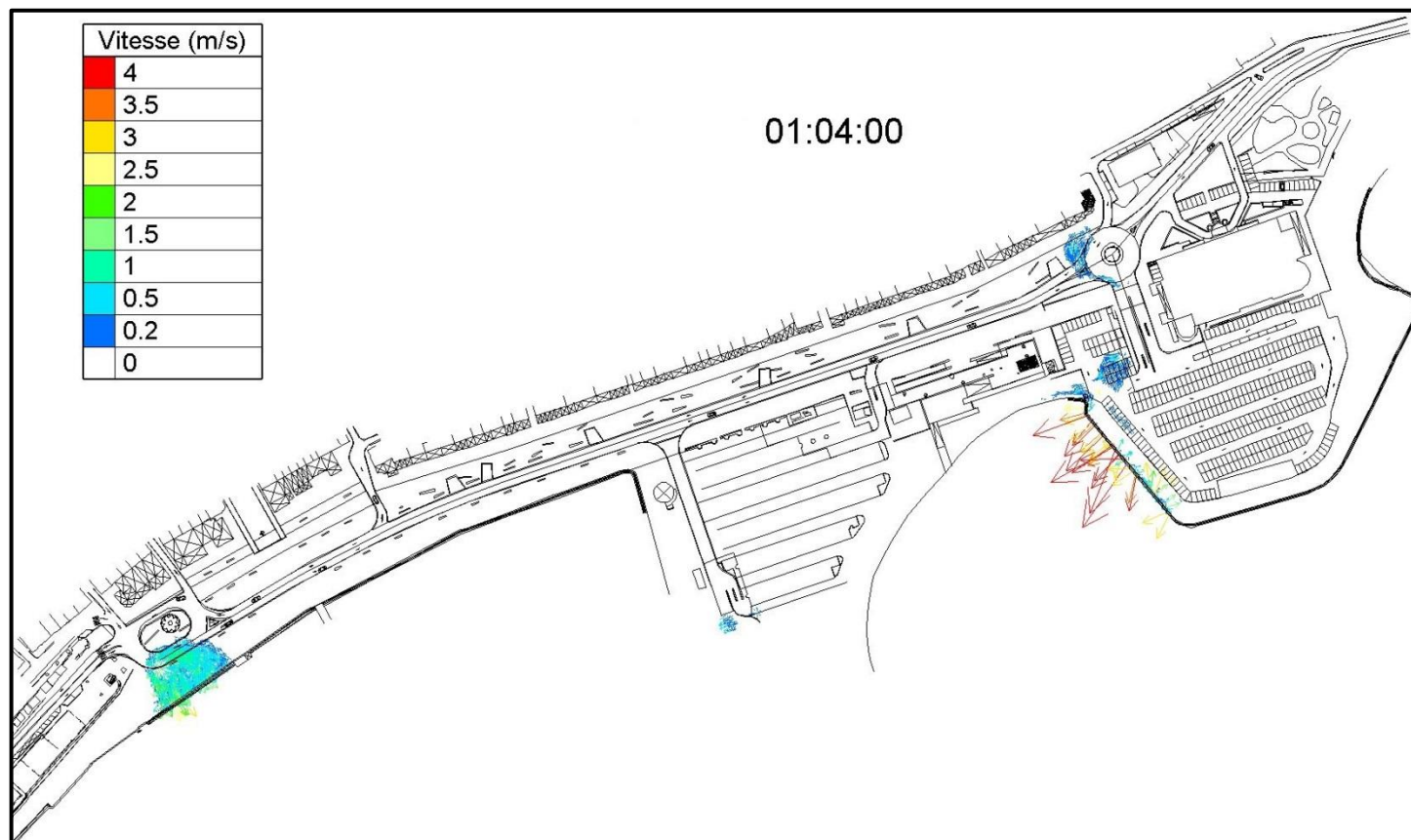


Figure 66. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour $T = 20$ ans (BlueKenue)

Les figures n°65 et 66 présentent les résultats obtenus pour une pluie d'occurrence vingtennale. Les zones d'accumulation observées sont localisées au niveau du rond-point de la Fontaine (vitesses allant jusqu'à 2,5 m/s), rond-point entrée du Casino, et la zone sud-ouest du parking Central (vitesses comprises entre 0,2 et 0,5 m/s). Les hauteurs d'eau observées sont comprises entre 5 et 10 cm.

V.3.3 - T = 30 ANS

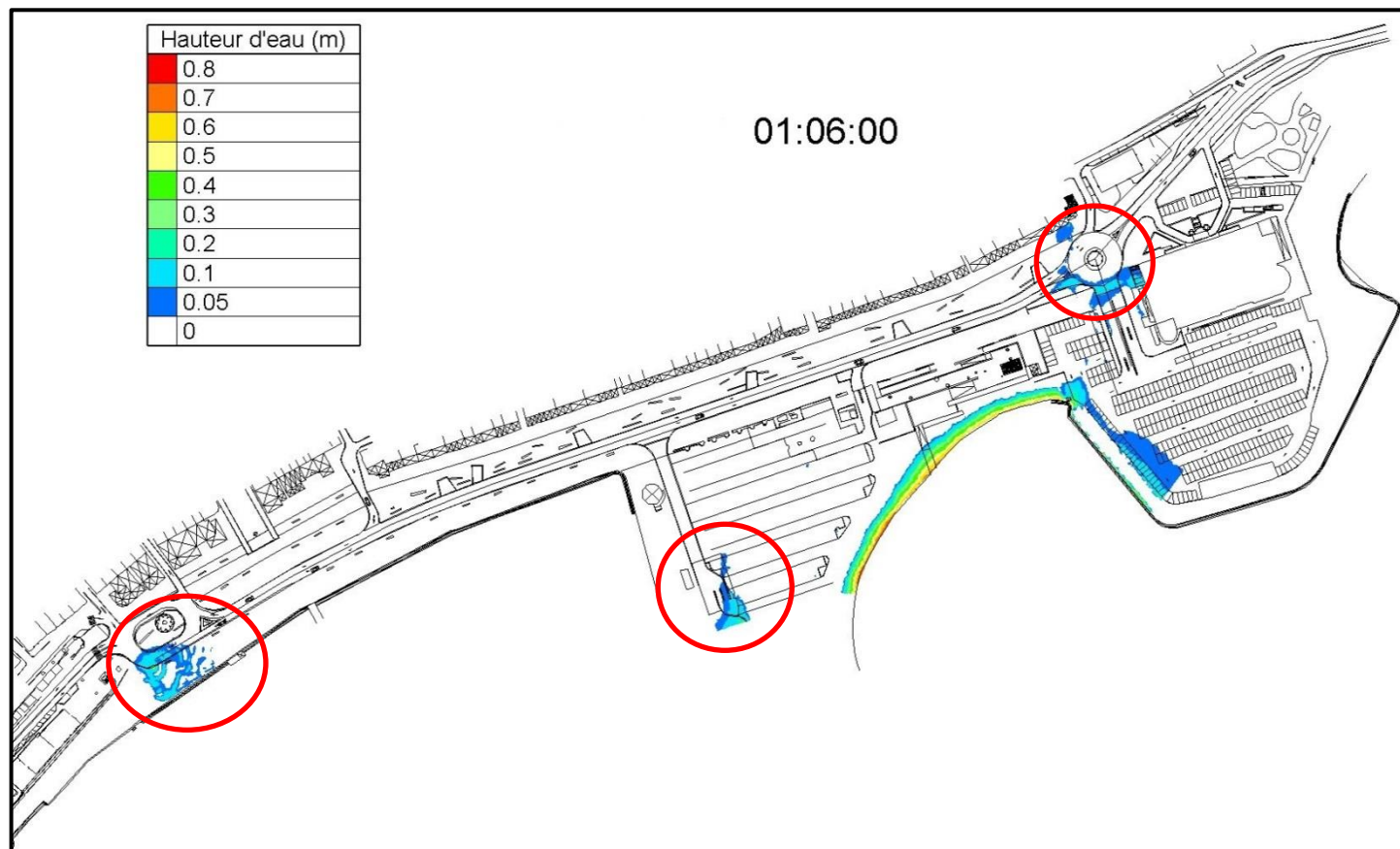


Figure 67. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 30 ans (BlueKenue)

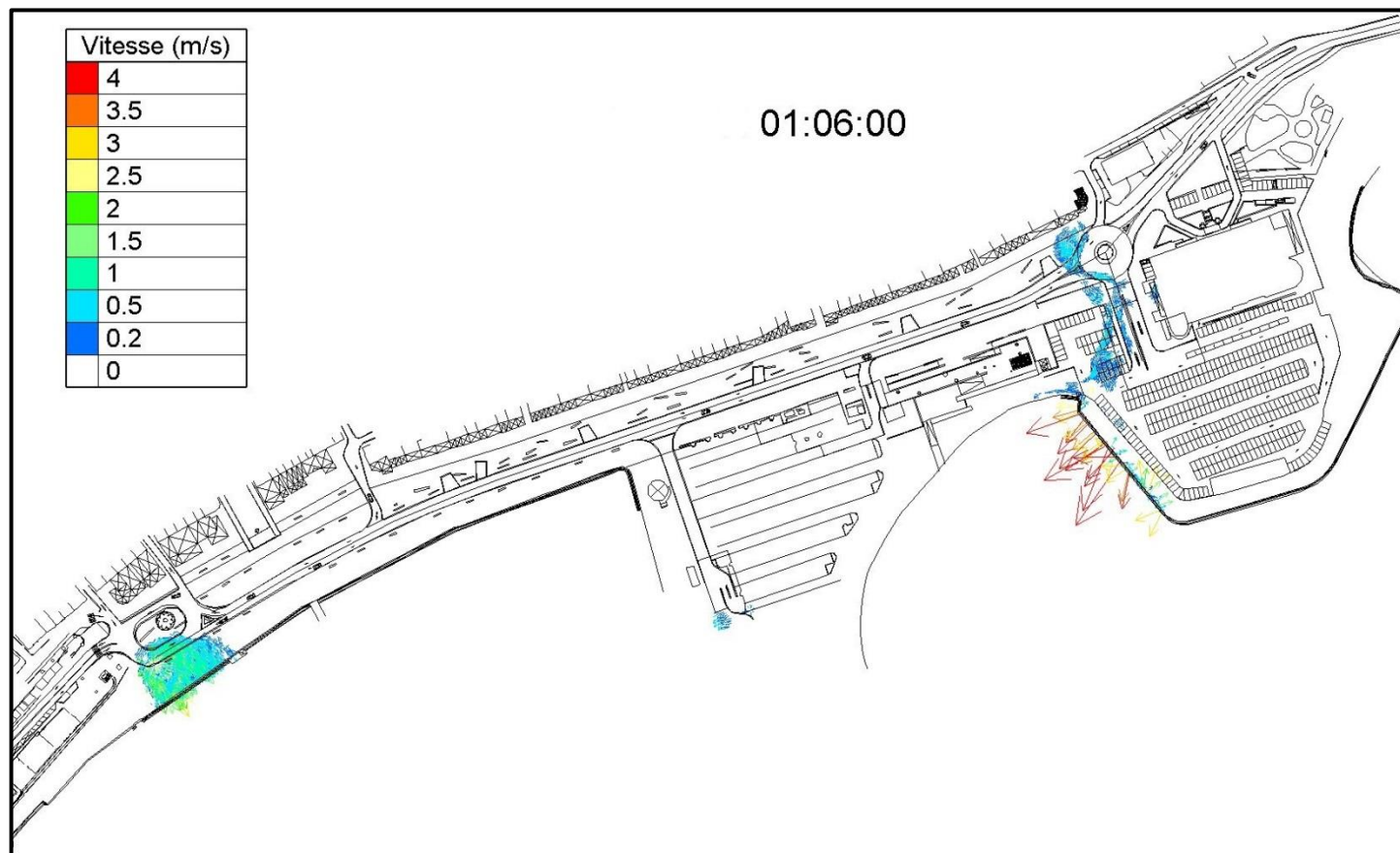


Figure 68. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 30 ans (BlueKenue)

Les figures n°67 et 68 présentent les résultats obtenus pour une pluie d'occurrence trentennale. Les mêmes zones de débordements observées lors d'une pluie vingtennale, avec des hauteurs d'eau allant de 5 à 10 cm.

V.3.4 - **T = 50 ANS**

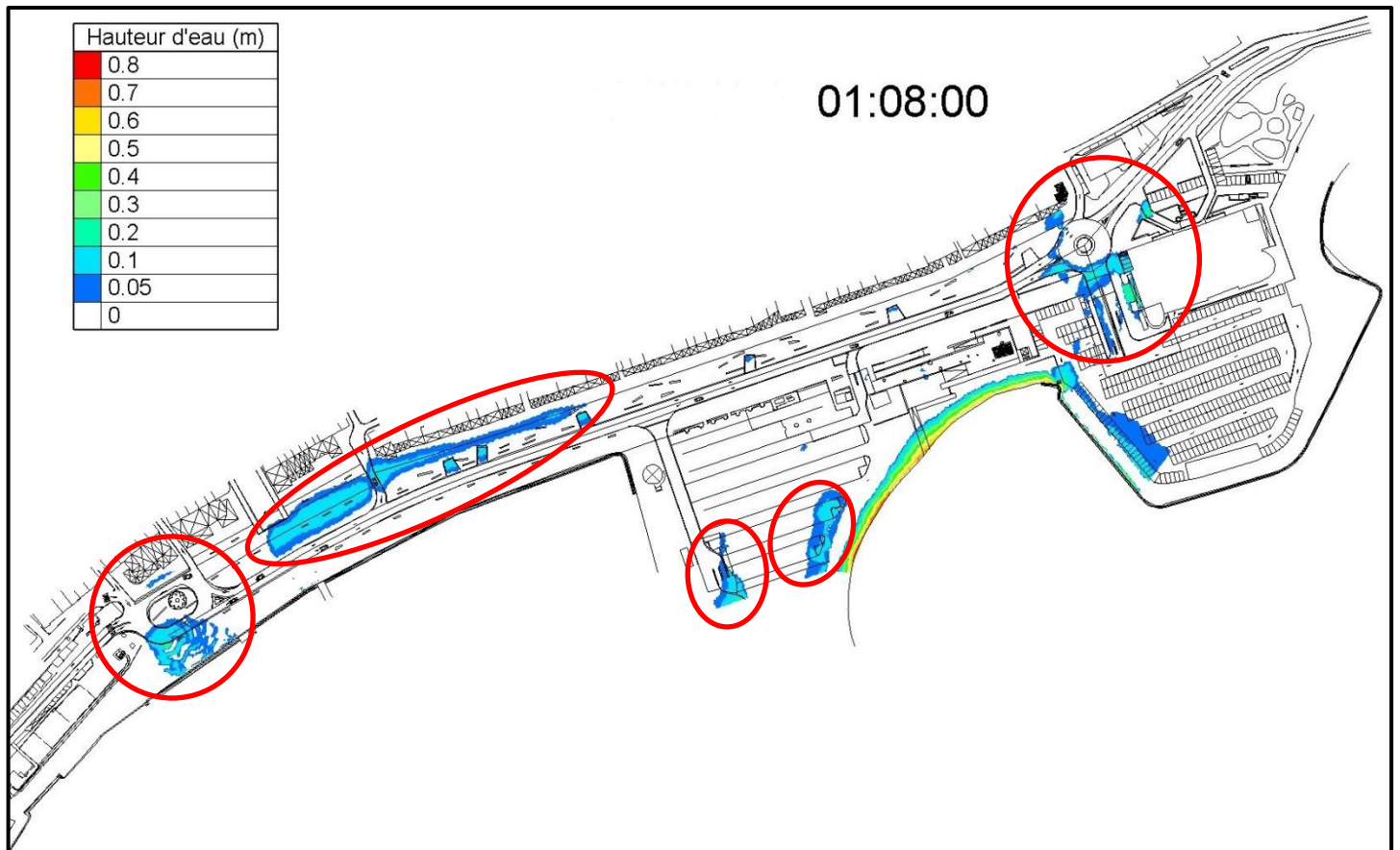


Figure 69. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 50 ans (BlueKenue)

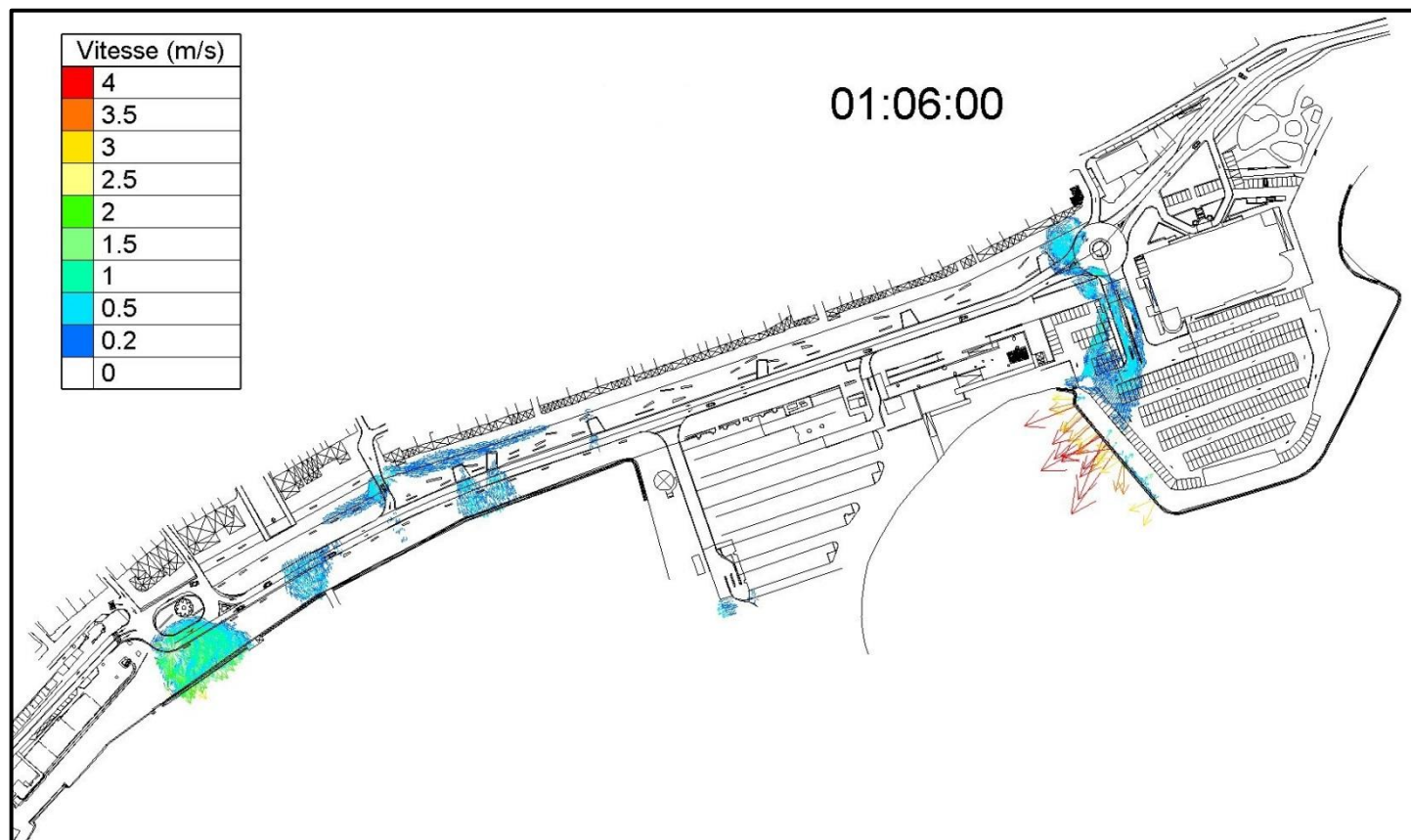


Figure 70. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour $T = 50$ ans (BlueKenue)

Les figures n°69 et 70 présentent les résultats obtenus pour une pluie d'occurrence cinquantennale. Cinq zones de débordement sont observées. Les deux zones supplémentaires par rapport à celles observées pour une pluie d'occurrence trentennale, sont situées au niveau du Quai Charles De Gaulle (hauteurs d'eau entre 5 et 10 cm, vitesses comprises entre 0,2 et 0,5 m/s) et au niveau de la zone ouest du parking Central (hauteurs d'eau entre 5 et 10 cm également, vitesses comprises entre 0,2 et 1 m/s). Au niveau du parvis du Casino, nous observons une hauteur d'eau d'au moins 20 cm.

V.3.5 - T = 100 ANS

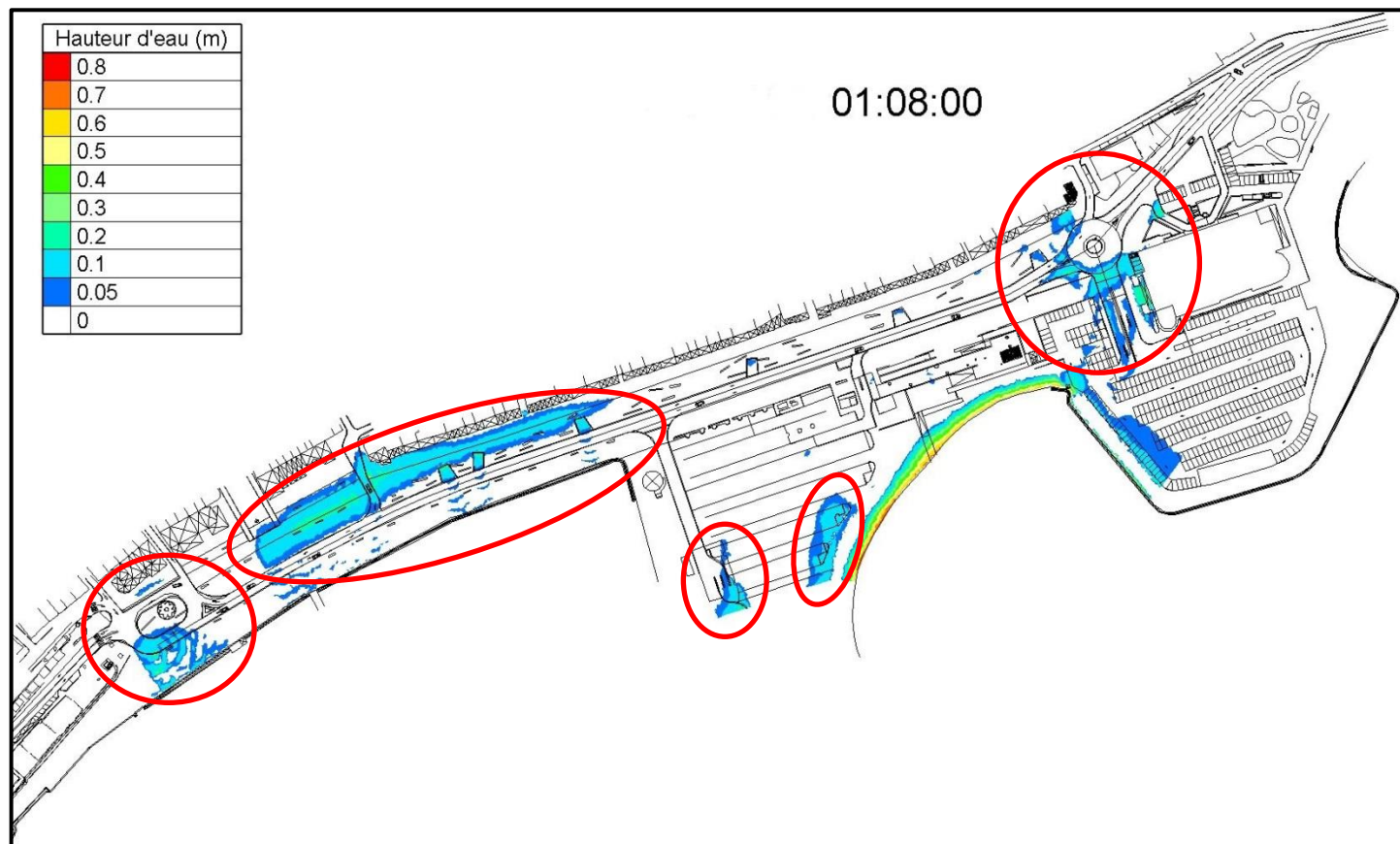


Figure 71. Hauteurs d'eau observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 100 ans (BlueKenue)

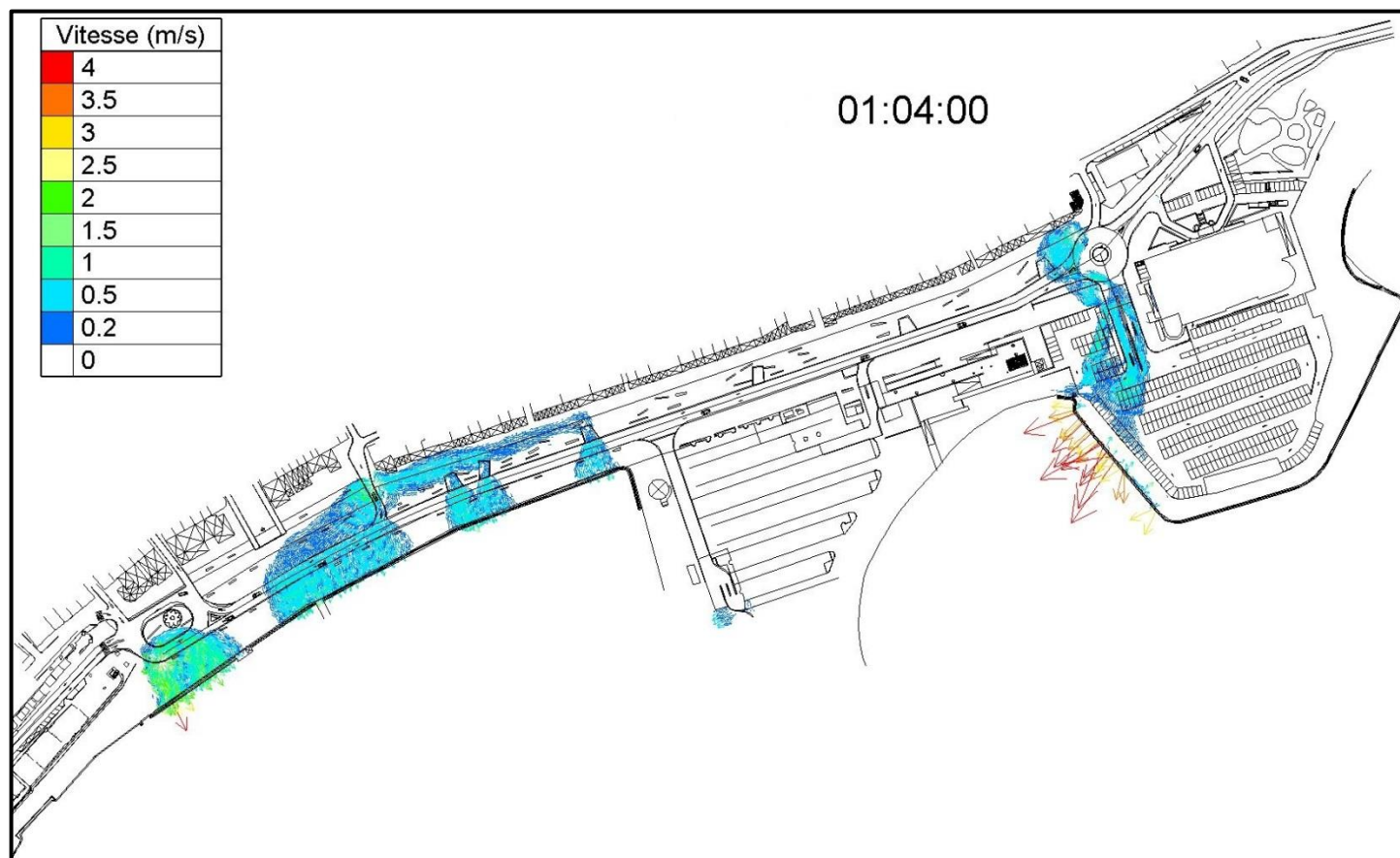


Figure 72. Vitesses des écoulements observées sur la zone d'étude, pour une pluie de période de retour T = 100 ans (BlueKenue)

Les *figures n°71* et *72* présentent les résultats obtenus pour une pluie d'occurrence centennale. Les zones inondées sont localisées au même endroit que celles identifiées pour une pluie cinquantennale. Au niveau du Quai Charles De Gaulle, les hauteurs d'eau observées sont comprises entre 5 et 40 cm.

VI - PRECONISATIONS

VI.1.1 - DETAIL DES PRECONISATIONS

Le *tableau n°4* répertorie les préconisations envisagées au niveau de chaque exutoire. Les tronçons sont désignés par leur n° d'exutoire. L'exutoire n°1 étant le tronçon le plus à l'Ouest (Rue Gabriel Perri), et le n°11 étant le plus à l'Est (arrière Casino).

Tableau 4. Récapitulatif travaux à entreprendre

Exutoire	Travaux à entreprendre
Exutoire 1	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une grille 3500 x 600mm Création de 3 regards dont un avec grille 80x80mm Réseau secondaire reconstruit en Ø400mm et raccordé au réseau principal L'ouvrage interface limitant le débit capable à Q_{10}, sa configuration devra être optimisée pour limiter les pertes de charges
Exutoire 2	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une grille 3400 x 400mm Création de 2 regards Ø1200mm Réparations ponctuelles (détectées par ITV)
Exutoire 3	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une grille 3400 x 400mm Création de 3 regards Ø1500mm
Exutoire 4	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une grille 2600 x 400mm Création de 3 regards Ø1200mm
Exutoire 5	<ul style="list-style-type: none"> Construction : ouvrage cadre 2000x1400mm sur 56 m. l. grille 6300x 600mm Création de 3 regards Ø1000mm
Exutoire 6	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une grille 2800 x 400mm Création de 3 regards Ø1200mm
Exutoire 7	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une grille 2800 x 400mm Création de canalisation Ø600mm sur 2 m.l Création de 4 regards Ø1200mm
Exutoire 8	<ul style="list-style-type: none"> Dévier une partie du réseau amont vers l'exutoire 9a (option)
Exutoire 9	<ul style="list-style-type: none"> Construction : grille 3300 x 400mm canalisation Ø600mm de 86 m.l Création de 2 regards Ø1500mm et 2 regards Ø1200mm de 56 m.l Création de 3 regards Ø800mm + 3 grilles 60x60mm
Exutoire 9a	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une canalisation Ø400mm de 56 m.l Création de 3 regards Ø800mm + 3 grilles 60x60mm
Exutoire 10	<ul style="list-style-type: none"> Construction : grilles 3600x600mm - 2000x400mm - 7500x300mm - 5400x300mm cadre 600x600mm : 7m.l cadre 1200x600mm : 60 m.l cadre 1600x600mm : 47m.l Ø600mm : 146 m.l Création de 13 regards Ø800mm à Ø1200mm (non exhaustif)
Exutoire 11	<ul style="list-style-type: none"> Construction d'une canalisation Ø600mm sur 25 m.l

Pour les exutoires n°1 à 8, la coupe-type de l'ouvrage interface terre-mer préconisée est présentée sur la *figure n°73*, et pour les exutoires n°9 à 11, sur la *figure n°74*.

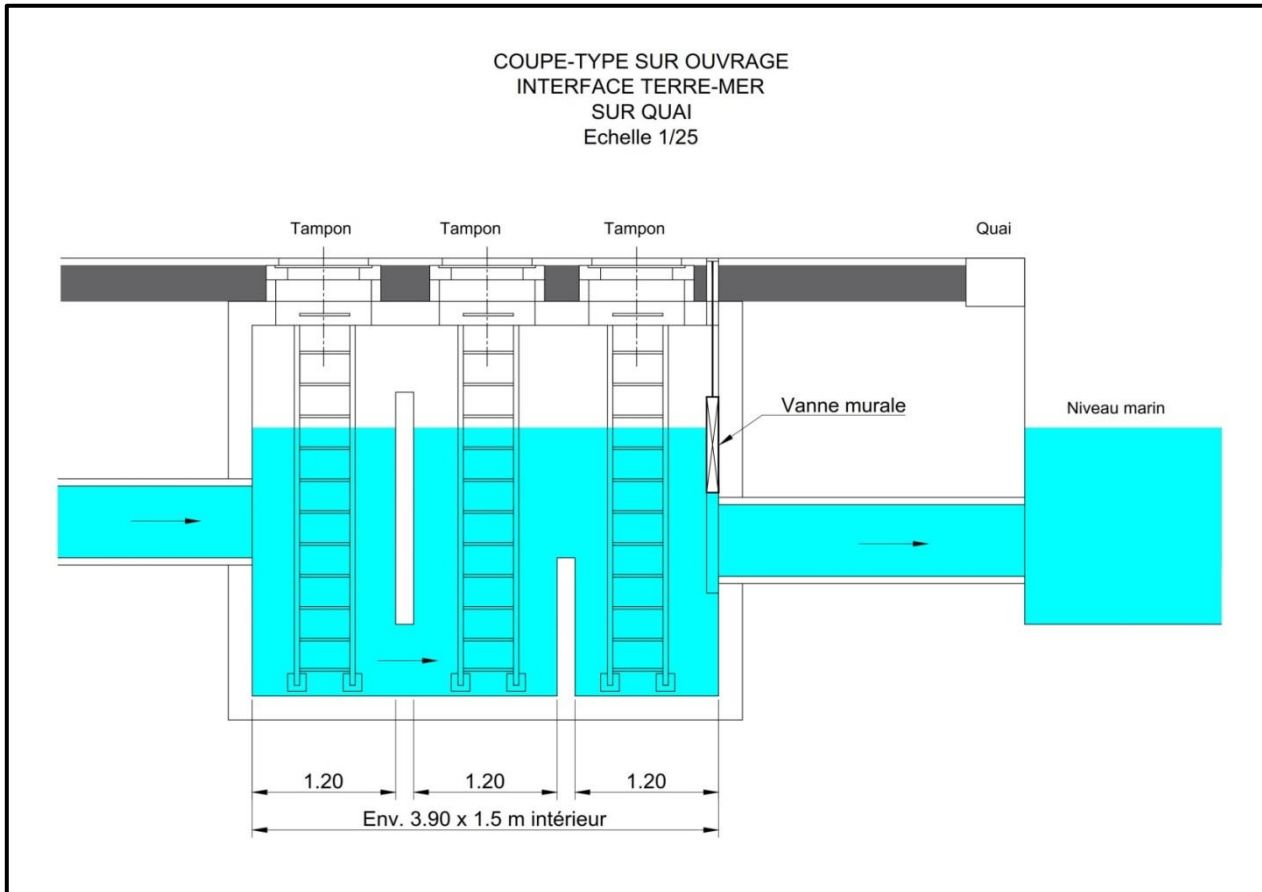


Figure 73. Coupe-type ouvrage interface terre-mer (exutoires n°1 à 8)

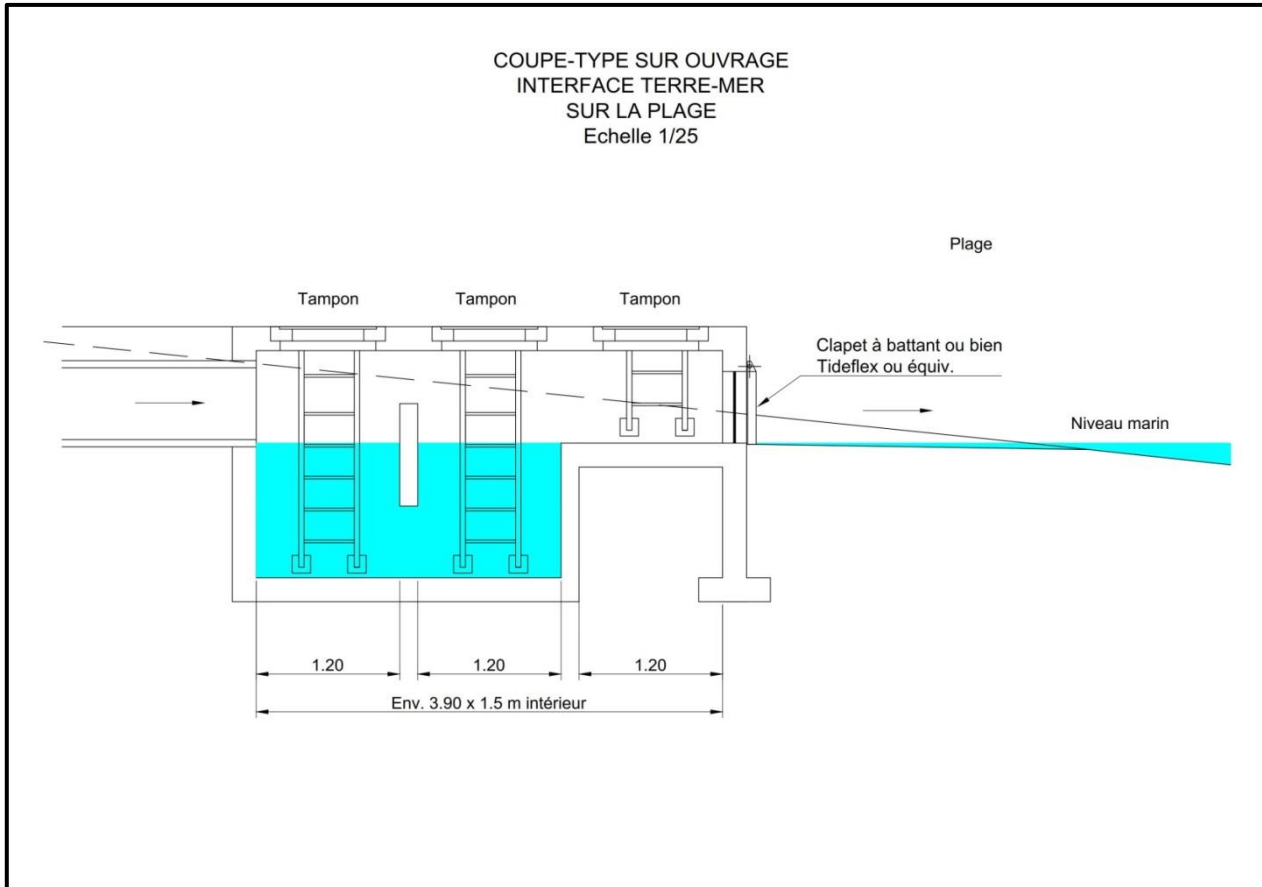


Figure 74. Coupe-type ouvrage interface terre-mer (exutoires n°9 à 11)

VI.1.2 - HIERARCHISATION DES PRECONISATIONS

Par rapport aux préconisations énoncées, des niveaux de priorité ont été définis. Ces niveaux sont les suivants :

- Priorité n°1 : travaux curatifs (à réaliser au plus tôt) ;
- Priorité n°2 : travaux d'amélioration nécessaires au fonctionnement dans la future configuration (à réaliser dans le cadre du projet d'aménagement) ;
- Priorité n°3 : travaux préventifs (à réaliser pour une meilleure exploitation du réseau).

Le tableau n°5 répertorie les tronçons, les travaux préconisés, et leur niveau de priorité.

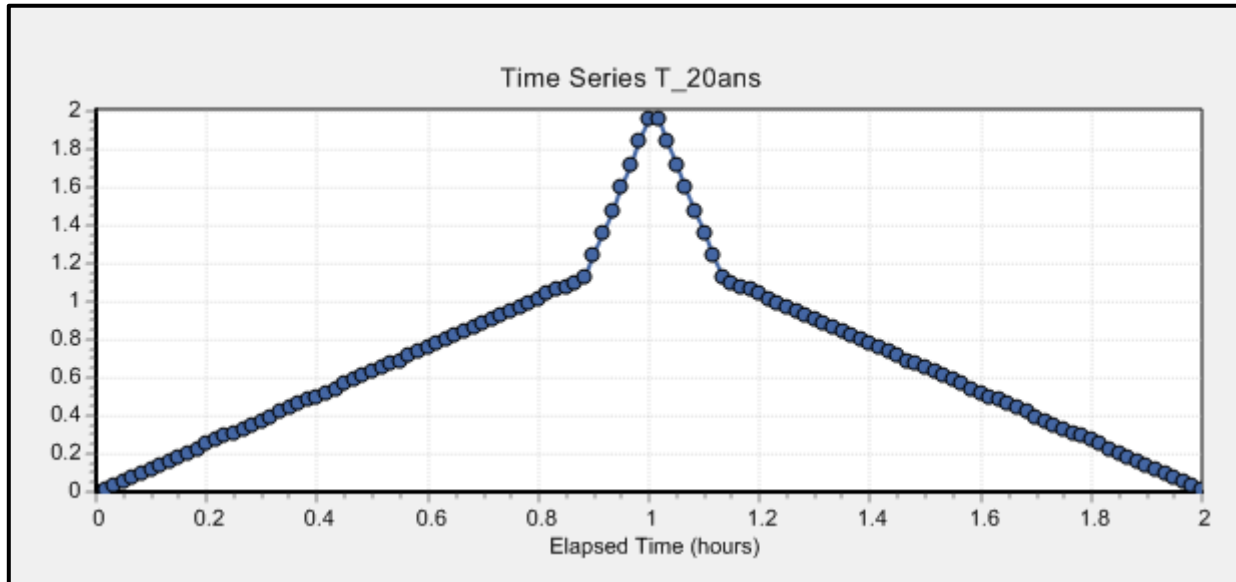
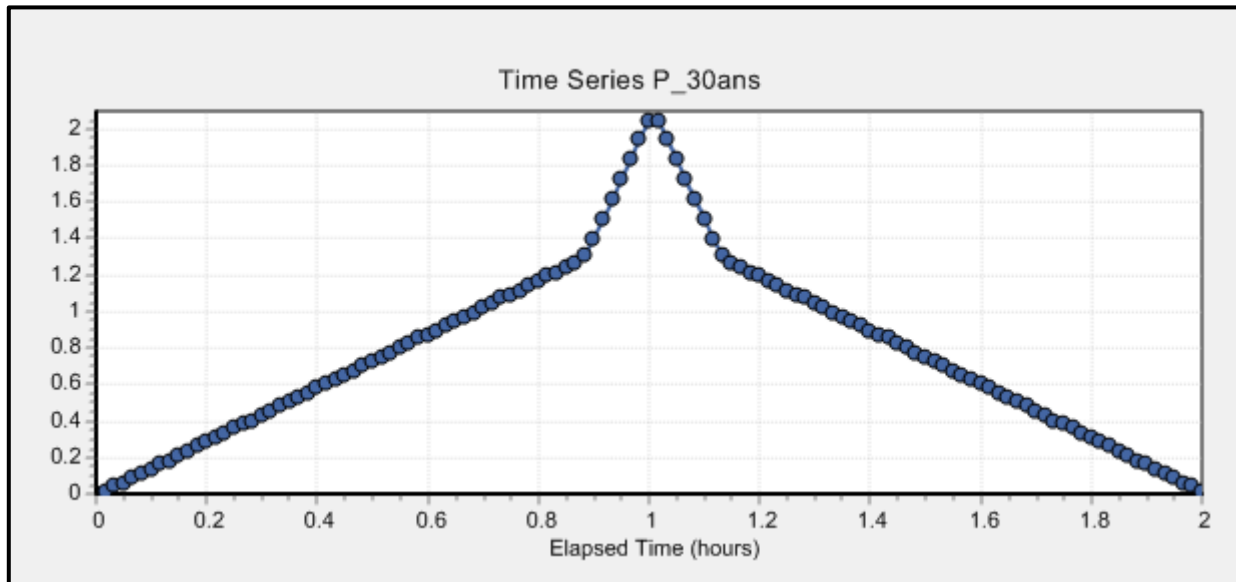
Tableau 5. Niveaux de priorité des préconisations pour chaque tronçon

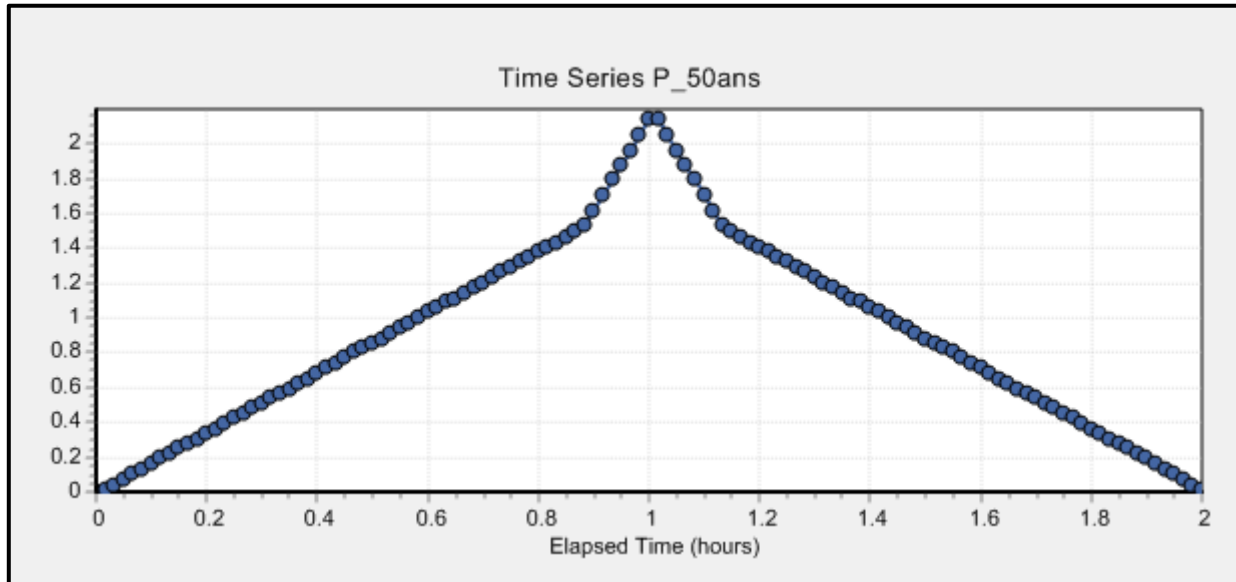
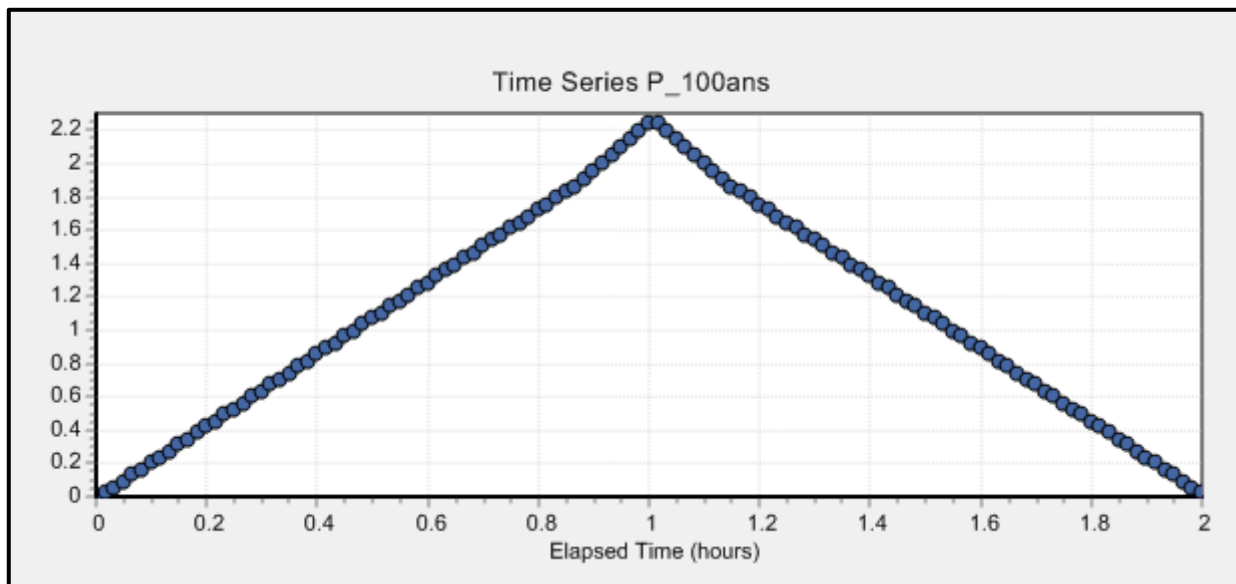
Tronçons	Travaux à entreprendre	Niveau de priorité	Remarques
Exutoire 1 Cadre 1300x500m m	Construction d'une grille 3500 x 600mm Création de 3 regards dont un avec grille 80x80mm Réseau secondaire reconstruit en Ø400mm et raccordé au réseau principal	Priorité 2	
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 2	Le dimensionnement de cet ouvrage est sensible : la perte de charge induite est limitante pour Q ₁₀ .
Exutoire 2 DN 400 mm	Construction d'une grille 3400 x 400mm Création de 2 regards Ø1200mm Réparations ponctuelles (détectées par ITV)	Priorité 2	
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 3	le regard 1200 en priorité 2 serait suffisant pour permettre un accès.
Exutoire 3 Cadre 600x600m m	Construction d'une grille 3400 x 400mm Création de 3 regards Ø1500mm	Priorité 2	
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 3	le regard 1500 en priorité 2 serait suffisant pour permettre un accès.
Exutoire 4 DN 600mm	Construction d'une grille 2600 x 400mm Création de 3 regards Ø1200mm	Priorité 2	
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 3	le regard 1200 en priorité 2 serait suffisant pour permettre un accès.
Exutoire 5 Ovoïde 900x1500m m	Construction : ouvrage cadre 2000x1400mm sur 56 m. l. grille 6300x 600mm Création de 3 regards Ø1000mm	Priorité 2	Travaux à réaliser en lieu et place de l'existant.
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 2	A réaliser dans le cadre des travaux du cadre 2000x1400.
Exutoire 6 DN 600mm	Construction d'une grille 2800 x 400mm Création de 3 regards Ø1200mm	Priorité 2	
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 3	le regard 1200 en priorité 2 serait suffisant pour permettre un accès.
Exutoire 7 DN 600 mm et 800 mm	Construction d'une grille 2800 x 400mm Création de canalisation Ø600mm sur 2 m.l Création de 4 regards Ø1200mm	Priorité 2	Tracé contournement du manège à préciser (sondages).
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 3	le regard 1200 en priorité 2 serait suffisant pour permettre un accès.
Exutoire 8 DN 500 mm	Dévier une partie du réseau amont vers l'exutoire 9a (option)	Priorité 3	Travaux hors zone projet aménagement.
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 2	Il s'agit d'une interface reprenant des eaux de parking, la cloison siphonée est justifiée.
Exutoire 9	Construction : grille 3300 x 400mm canalisation Ø600mm de 86 m.l Création de 2 regards Ø1500mm et 2 regards Ø1200mm de 56 m.l Création de 3 regards Ø800mm + 3 grilles 60x60mm	Priorité 2	
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 1	Il s'agit d'un ouvrage de rejet sur plage. Les démarches réglementaires doivent être initiées sans attendre.

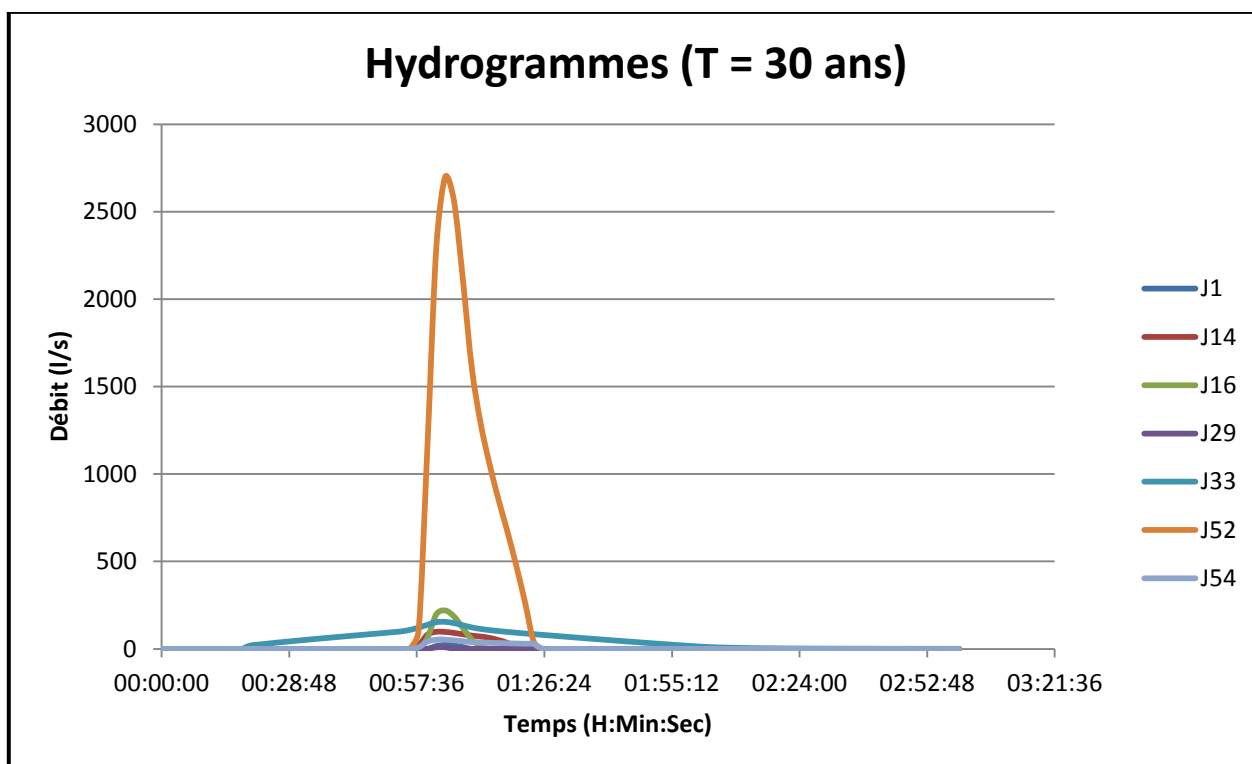
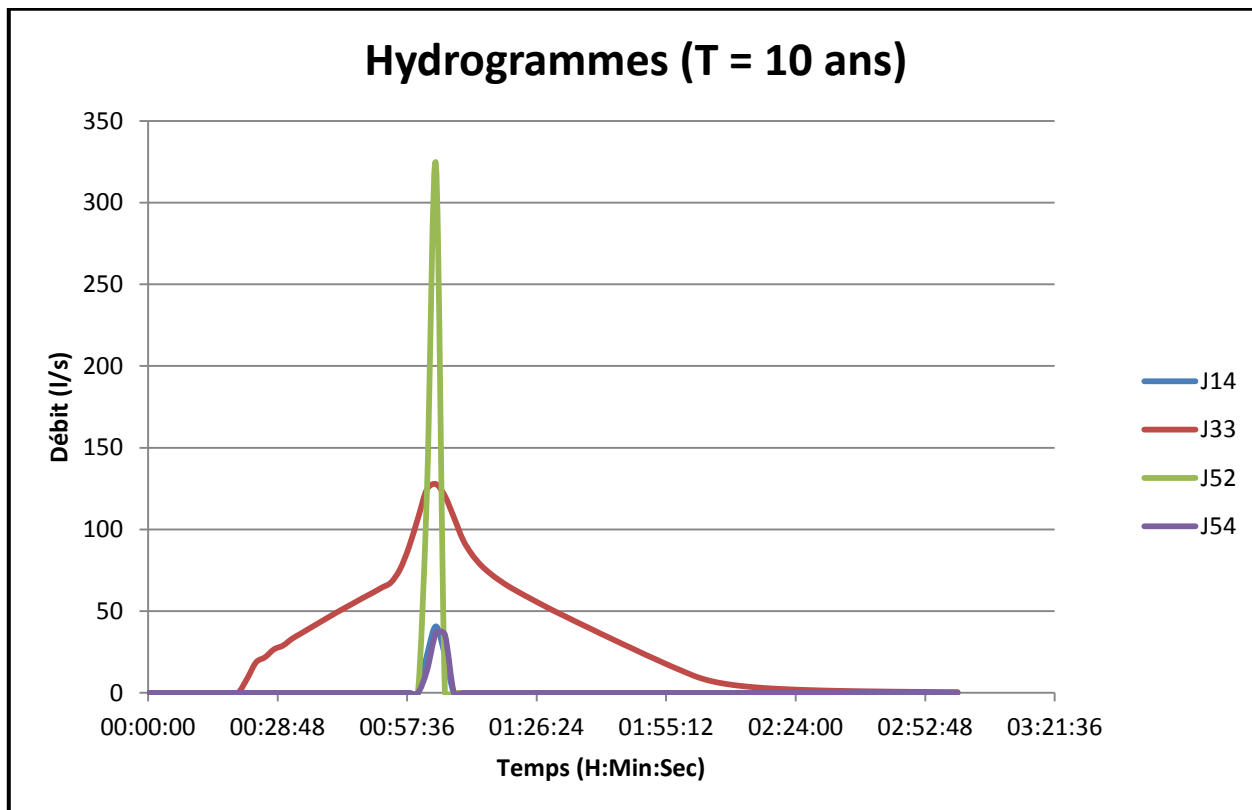
Tronçons	Travaux à entreprendre	Niveau de priorité	Remarques
Exutoire 9a	Construction d'une canalisation Ø400mm de 56 m.l Création de 3 regards Ø800mm + 3 grilles 60x60mm	Priorité 3	Il s'agit d'une optimisation du réseau du parking (exutoire n°8).
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 3	Il faudra prévoir d'inclure l'exutoire dans les démarches règlementaire de l'exutoire 9.
Exutoire 10	Construction : grilles 3600x600mm - 2000x400mm - 7500x300mm - 5400x300mm cadre 600x600mm : 7m.l cadre 1200x600mm : 60 m.l cadre 1600x600mm : 47m.l Ø600mm : 146 m.l Création de 13 regards Ø800mm à Ø1200mm (non exhaustif)	Priorité 1	Il s'agit du secteur Casino présentant de gros dysfonctionnement actuel.
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 1	Il s'agit d'un ouvrage de rejet sur plage. Les démarches règlementaires doivent être initiées sans attendre.
Exutoire 11	Construction d'une canalisation Ø600mm sur 25 ml	Priorité 1	Contribue à l'efficacité de la restructuration du projet. Travaux hors zone du projet d'aménagement.
	Ouvrage d'interface terre/mer	Priorité 1	Il s'agit d'un ouvrage de rejet sur plage. Les démarches règlementaires doivent être initiées sans attendre.

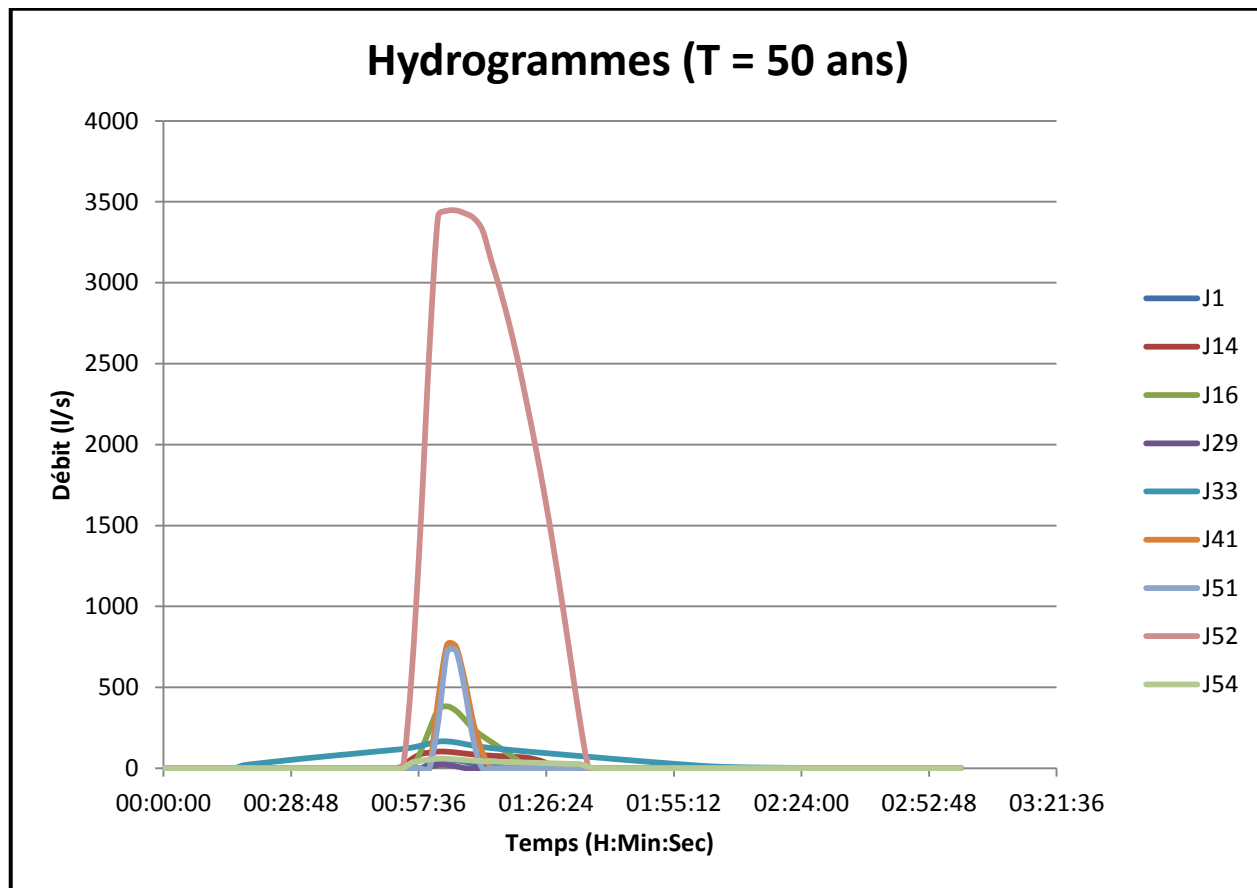
ANNEXES

Annexe 1. Pluie de projet pour une période de retour $T = 20$ ans	82
Annexe 2. Pluie de projet pour une période de retour $T = 30$ ans	82
Annexe 3. Pluie de projet pour une période de retour $T = 50$ ans	83
Annexe 4. Pluie de projet pour une période de retour $T = 100$ ans	83
Annexe 5. Hydrogrammes de débordements pour une pluie de période de retour $T = 10$ ans	84
Annexe 6. Hydrogrammes de débordements pour une pluie de période de retour $T = 30$ ans	84
Annexe 7. Hydrogrammes de débordements pour une pluie de période de retour $T = 50$ ans	85
Annexe 8. Hydrogrammes de débordements pour une pluie de période de retour $T = 100$ ans	85

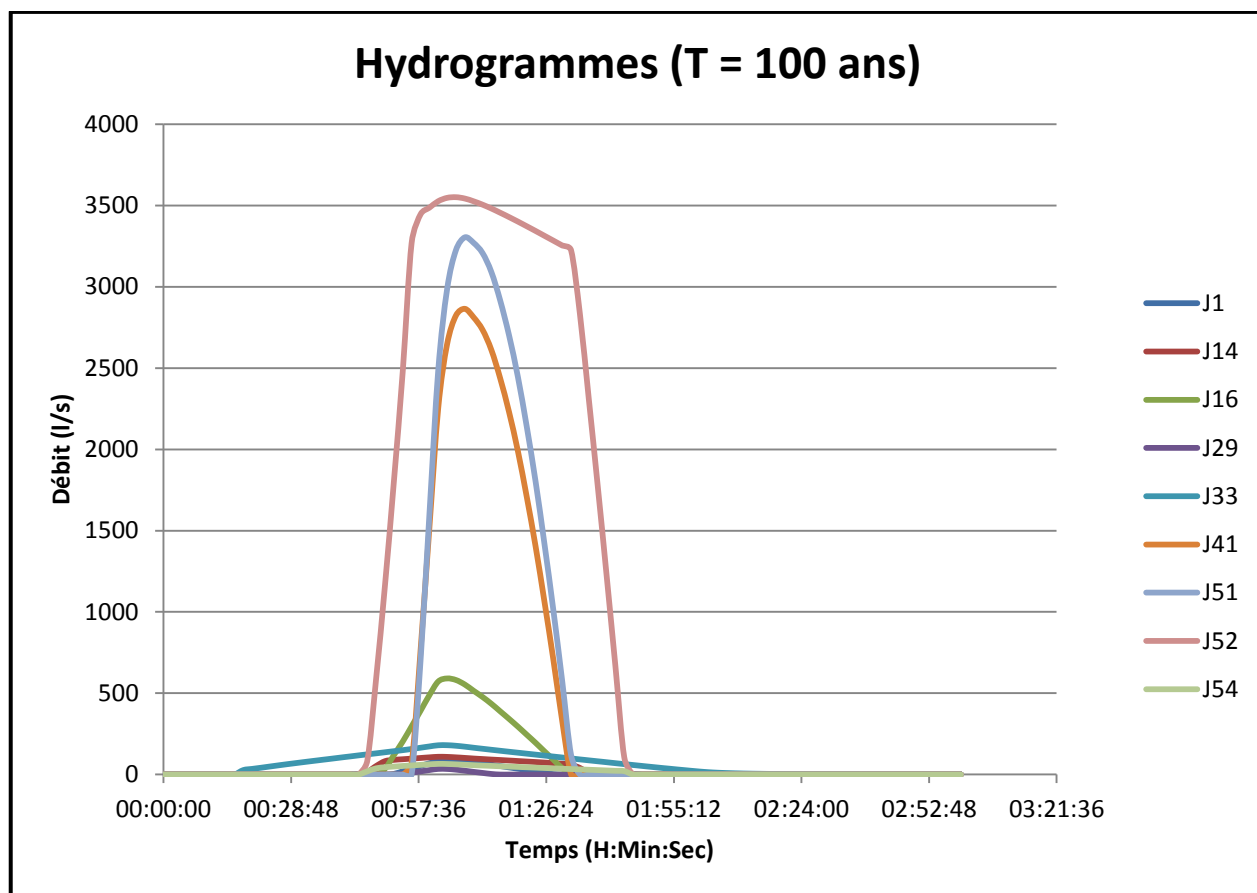
Annexe 1. Pluie de projet pour une période de retour $T = 20$ ansAnnexe 2. Pluie de projet pour une période de retour $T = 30$ ans

Annexe 3. Pluie de projet pour une période de retour $T = 50$ ansAnnexe 4. Pluie de projet pour une période de retour $T = 100$ ans





Annexe 7. Hydrogrammes de débordements pour une pluie de période de retour T = 50 ans



Annexe 8. Hydrogrammes de débordements pour une pluie de période de retour T = 100 ans