

## Aménagement du Bief d'Enfer Etude hydraulique



A.LIMANDAT

Février 2018

## Table des matières

1- Cadre de l'étude : .....	2
2- Hydrologie : .....	3
3- Construction et calage du modèle : .....	4
4- Exploitation du modèle dans l'état actuel : .....	8
5- Conditions d'écoulement après aménagement : .....	10
6- Conclusions : .....	13
7-Annexes : .....	15

## Liste des figures

Figure 1 : Bassins versants.....	3
Figure 2 : Topologie du modèle.....	5
Figure 3 : Pentes des cours d'eau.....	7
Figure 4 : Zones inondables actuelles .....	9
Figure 5 : Zones inondables après aménagement .....	12
Figure 6 : Incidences de l'aménagement sur les zones inondables.....	14

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Débits caractéristiques.....	4
Tableau 2 : Niveaux d'eau dans l'état actuel.....	8
Tableau 3 : Vitesses en lit mineur (ou vallée)-Etat actuel.....	9
Tableau 4 : Niveaux d'eau dans l'état aménagé.....	11
Tableau 5 : Vitesses en lit mineur-Etat aménagé.....	12
Tableau 6 : Incidences de l'aménagement sur les niveaux d'eau.....	13

## **1- Cadre de l'étude :**

Il s'agit de déterminer les incidences de l'aménagement projeté sur les conditions d'écoulement du Bief d'Enfer.

Cette détermination s'appuie sur la mise en œuvre d'un modèle mathématique d'écoulement simulant les conditions d'écoulement, avant, puis après aménagement.

Les calculs sont effectués pour cinq débits caractéristiques :

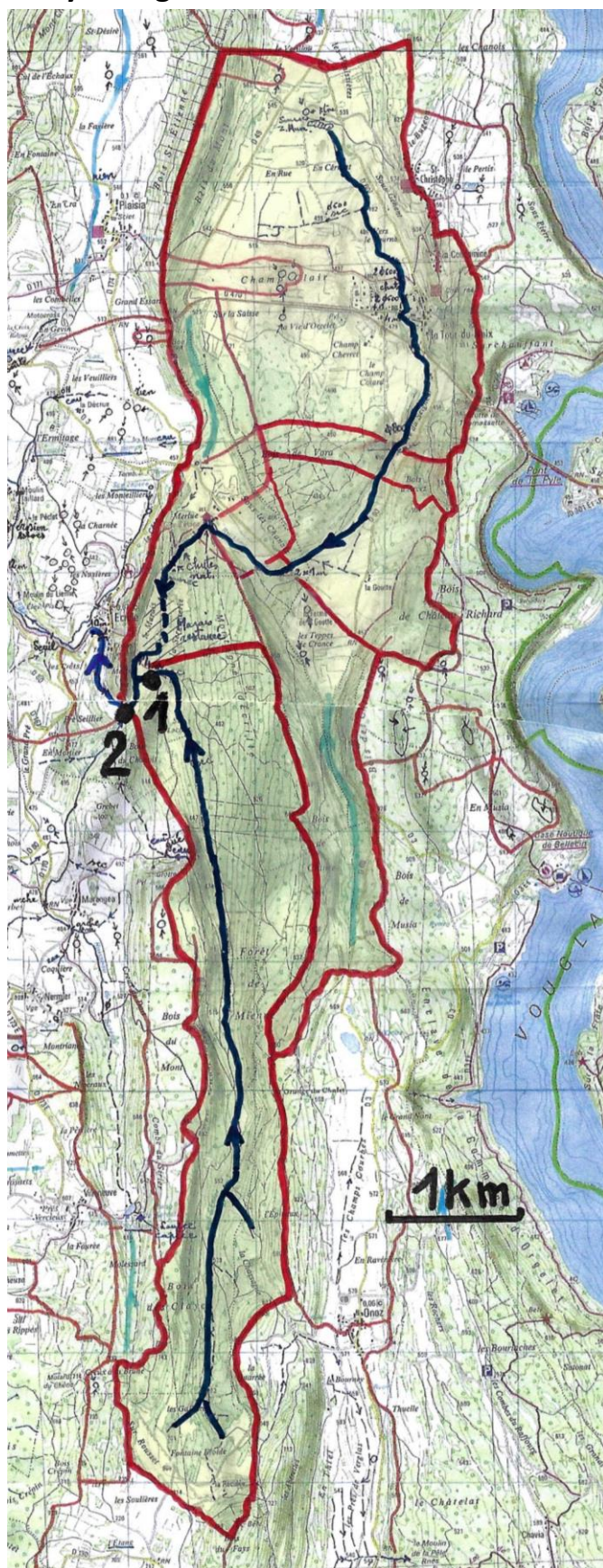
- Un débit d'étiage, assimilé au  $Q_{MNA5}$
- Le module
- Le débit de crue biennal
- Le débit de crue décennal
- Le débit de crue centennal

Ce rapport comprend cinq parties :

- L'hydrologie pour l'estimation des débits caractéristiques
- La construction et le réglage du modèle
- La simulation des conditions actuelles d'écoulement
- La simulation des conditions d'écoulement futures
- La détermination des incidences



## 2- Hydrologie :



Le bassin versant du Bief d'Enfer (voir la figure ci-contre) présente les superficies suivantes en différents points de la zone d'étude :

- 1: BV total du Bief d'Enfer : 5.45 km<sup>2</sup>
- 2 : BV Bief d'Enfer+ Merlue : 16.6 km<sup>2</sup>

La forme du bassin versant global est très allongée, avec une vallée orientée sud-nord. Les superficies annoncées ci-dessus sont les superficies topographiques apparentes. En réalité, du fait du caractère karstique du bassin (BV du Merlue surtout), les superficies réelles sont inconnues. On observe de nombreuses dolines, voire des gouffres en divers points du bassin ainsi qu'à l'extérieur de celui-ci.

Les débits de crue ont été déterminés de manière empirique, essentiellement à partir des relevés fournis par la station de jaugeage de Thoirette, dont l'analyse (période 1956-2013) a été réalisée lors de l'étude générale du bassin versant de la Valouse. Les débits caractéristiques sont ainsi estimés comme suit, sachant que la superficie du bassin versant contrôlé à Thoirette a été évaluée à 280 km<sup>2</sup> :

**Figure 1 : Bassins versants**

- Débit d'étiage, assimilé au  $Q_{MNA5}$  : le débit spécifique est de  $615/280 = 2.196 \approx 2.2$  l/s/km<sup>2</sup>. Ce débit est

appliqué aux bassins versants étudiés. En fait on a divisé tous ces débits par 2, pour les rendre cohérents avec le débit mesuré à Merlue le 29/08/2013 : 9.12 l/s.

- Module : le débit spécifique est de  $7.74/280 = 0.0276 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ . Ce débit spécifique est appliqué aux bassins versants étudiés.
- Crue biennale : elle est déduite de la crue décennale en appliquant le rapport  $Q_2/Q_{10}=0.672$ , soit le rapport existant à Thoirette entre ces débits ( $78/116=0.672$ )
- Crue décennale : elle est évaluée à l'aide de la formule Crupédix pour une pluie journalière décennale de 82 mm et un coefficient R de 1.16 (valeur déterminée à Thoirette).
- Crue centennale : elle est déduite de la crue décennale en appliquant le rapport  $Q_{100}/Q_{10}=1.405$ , soit le rapport existant à Thoirette entre ces débits  $163/116=1.405$

Les tableaux ci-dessous fournissent les résultats, bruts (A), puis simplifiés (B) pour la modélisation.

Repère	Superficie du BV km <sup>2</sup>	Etiage ( $Q_{MNAS}$ ) l/s	Module m <sup>3</sup> /s	Q pour T=... m <sup>3</sup> /s		
				2	10	100
1	5.45	12.0	0.15	3.16	4.73	6.65
2	16.60	36.5	0.46	7.73	11.53	16.20

**A : valeurs brutes**

Repère	Superficie du BV km <sup>2</sup>	Etiage ( $Q_{MNAS}$ ) l/s	Module m <sup>3</sup> /s	Q pour T=... m <sup>3</sup> /s		
				2	10	100
1	5.45	6	0.15	3.2	4.7	6.7
2	16.60	18	0.46	7.7	11.5	16.2

**B : valeurs retenues pour la modélisation**

**Tableau 1 : Débits caractéristiques**

### 3-Construction et calage du modèle :

L'étude des conditions d'écoulement actuelles a été réalisée à l'aide d'un modèle mathématique d'écoulement construit à partir de 14 profils en travers, issus des levés topographiques réalisés pour cette étude. L'implantation de ces profils est reportée sur la figure ci-dessous.



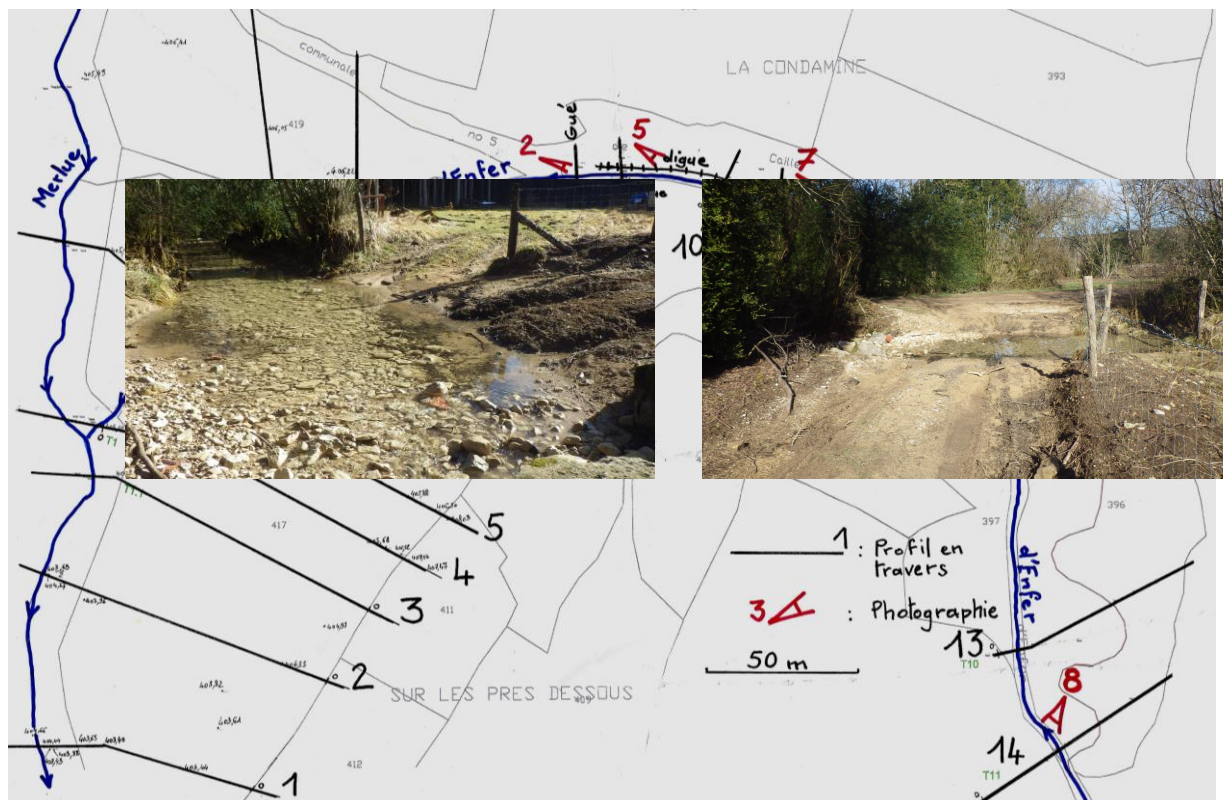


Figure 2 : Topologie du modèle

La zone directement concernée par l'aménagement (Bief d'Enfer) est située en amont du profil 4. La modélisation en aval de ce profil (BV total du Merlué) permet de déterminer les conditions d'écoulement en aval de la confluence des deux cours d'eau.

On observe trois morphologies assez distinctes sur le bief d'Enfer :

- En aval du profil 8 : le lit mineur est en situation perchée par rapport à la rive droite, constituée d'une prairie. Ce lit mineur est bordé d'une végétation rivulaire dense et buissonneuse, les matériaux du fond sont des pierres grossières peu émoussées (voir la photo 1 ci-contre).

Photo 1



- Entre les profils 8 et 11 : Un gué est situé au profil 8 (voir les photos 2 à 4), ensuite le lit, unique, longe le chemin dont il est séparé par un endiguement (photo 5). Des embryons de digue existent aussi en rive gauche.

Photo 2

Photo 3

(ph



t du profil 11 le lit, de manière encore plus nette, retrouve la situation perchée de l'aval du profil 8. La zone de débordement potentielle, en rive droite, est située entre le lit et la voie communale n° 5. Un fossé longe cette dernière (voir la photo 7) et restitue les eaux au Bief d'Enfer vers le profil 11. (photo 8). Les caractéristiques du lit mineur sont également celles de l'aval (voir les photos 6 et 8).



Photo 6



Photo 7



Photo 8

Le

logiciel mis en œuvre pour la réalisation de ce



modèle est le logiciel HEC-RAS de l'US Army Corps of Engineers. Celui-ci est exploité en régime permanent.

Il n'existe pas de singularités, telles que des ponts, buses, ou seuils sur la zone d'étude, mais la situation de lits perchés a nécessité de distinguer, assez sommairement, la répartition du débit entre le lit mineur et la vallée. Des simulations spécifiques ont donc été réalisées de manière distincte sur chaque écoulement.

Le calage du modèle n'a pas pu être réalisé en basses eaux à partir de la ligne d'eau relevée lors des travaux topographiques, le lit étant totalement à sec lors de ces travaux.

De ce fait les coefficients de Strickler ont été fixés comme suit, au vu des caractéristiques des lits : granulométrie des matériaux de fond, végétation, ... :

- Lits mineurs : entre 14 (Bief d'Enfer) et 18 (Merlue).
- Lits majeurs : entre 5 et 10 selon la densité de la végétation.

On ne dispose pas de repères de crue précis, mais des observations qualitatives ont été réalisées, après les crues de ce début d'année 2018. Ces observations ont aidé à vérifier l'ordre de grandeur des résultats obtenus.

La pente moyenne est de 7.1 pour mille environ sur le Merlue, en aval de la confluence. Sur le bief d'Enfer la pente est variable : elle est de 1.6 pour cent jusqu'au profil 11, puis de 2 pour cent en amont (voir le profil en long ci-dessous).

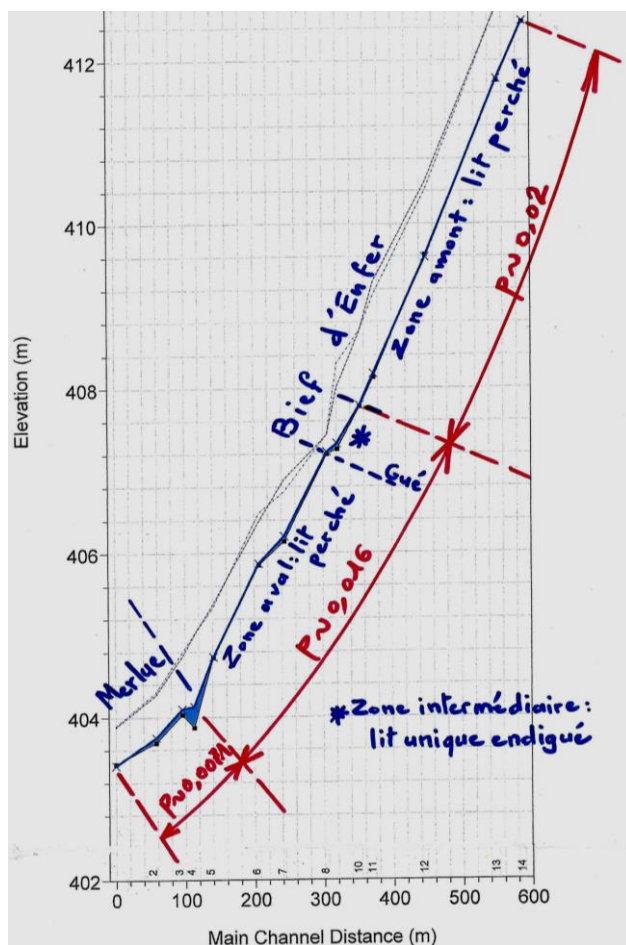


Figure 3 : Pentes des cours d'eau



#### 4- Exploitation du modèle dans l'état actuel :

Le modèle ainsi construit a été exploité pour le débit d'étiage, le module, et les 3 crues de temps de retour 2, 10 et 100 ans. La condition limite aval est fournie par les hauteurs normales.

Les résultats des simulations (tableau de calcul, ligne d'eau et cahier des profils en travers éventuel) sont respectivement reportés en annexes 1 à 5.

Les tableaux suivants fournissent, respectivement et pour chaque profil, les niveaux d'eau (NGF), et les vitesses moyennes (m/s) en lit mineur (ou en vallée).

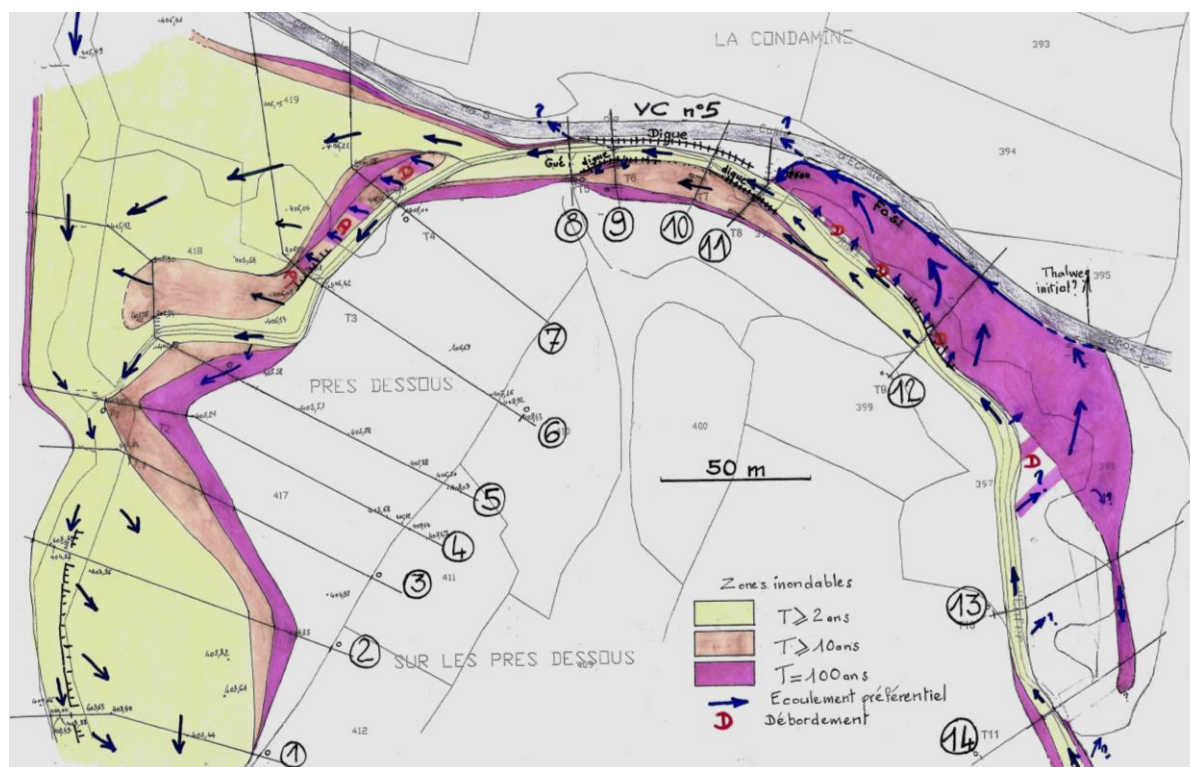
Profil	Q <sub>MNA</sub> ou étiage	Module	Crue T=					
			2		10		100	
			lit mineur	« vallée »	lit mineur	« vallée »	lit mineur	« vallée »
<b>1</b>	403.41	403.51	403.79		403.88		403.96	
<b>2</b>	403.75	403.90	404.24		404.32		404.39	
<b>3</b>	404.10	404.28	404.75		404.84		404.92	
<b>4</b>	404.13	404.40	404.95		405.08		405.19	
<b>5</b>	404.74	404.78	405.30	405.26	405.41	405.38	405.51	405.47
<b>6</b>	405.87	406.01	406.48	406.19	406.49	406.24	406.47	406.24
<b>7</b>	406.21	406.30	406.74	406.44	406.74	406.54	406.75	406.68
<b>8</b>	407.23	407.34	407.81		407.95		408.03	
<b>9</b>	407.33	407.50	408.02		408.14		408.27	
<b>10</b>	407.79	407.90	408.62		408.81		408.98	
<b>11</b>	408.18	408.30	408.89		409.07		409.24	
<b>12</b>	409.59	409.70	410.23		410.38		410.45	410.24
<b>13</b>	411.77	411.86	412.30		412.43		412.51	411.80
<b>14</b>	412.48	412.60	413.11		413.25		413.42	412.62

**Tableau 2 : niveaux d'eau dans l'état actuel**

Profil	Q <sub>MNA</sub> ou étiage	Module	Crue T=					
			2		10		100	
			lit mineur	« vallée »	lit mineur	« vallée »	lit mineur	« vallée »
<b>1</b>	-	0.23	0.61		0.69		0.80	
<b>2</b>	0.10	0.54	1.23		1.30		1.38	
<b>3</b>	0.60	0.47	1.34		1.67		1.90	
<b>4</b>	0.08	0.34	0.69		0.79		0.91	
<b>5</b>	0.48	0.99	1.57	0.97	1.59	1.01	1.53	0.95
<b>6</b>	0.36	0.28	0.42	0.23	0.25	0.34	0.26	0.52
<b>7</b>	0.08	0.34	1.25	0.23	1.69	0.24	1.63	0.32
<b>8</b>	0.34	0.44	1.02		1.14		1.42	
<b>9</b>	0.08	0.31	1.44		1.77		2.02	
<b>10</b>	0.42	0.58	1.10		1.24		1.37	
<b>11</b>	0.11	0.38	1.16		1.28		1.45	
<b>12</b>	-	0.47	1.23		1.36		1.27	0.64
<b>13</b>	0.09	0.35	1.07		1.19		1.45	01.62
<b>14</b>	0.33	0.57	1.44		1.64		1.76	0.32

**Tableau 3 : Vitesses en lit mineur ou vallée (m/s)-Etat actuel**

Les zones inondables relatives aux trois crues sont fournies par la figure ci-dessous.



**Figure 4 : Zones inondables actuelles**

Sur chacun des secteurs distingués précédemment on observe :

- Secteur en aval du profil 8 : dès la crue biennale, des débordements seraient susceptibles de se produire vers la zone inondable de rive droite, à priori plutôt entre les profils 8 et 7. Pour les autres crues, le débordement au-dessus de la berge de rive droite se généralise vers l'aval.
- Secteur intermédiaire entre les profils 8 et 11 : la digue bordant la voie communale empêcherait le débordement sur celui-ci lors des grandes crues. Cependant ce résultat est à considérer avec précaution car, aux deux extrémités de la digue, soit en aval au droit du gué (profil 8), et en amont (profil 11), les niveaux théoriques calculés sont très proches de la cote du chemin. Du fait des incertitudes inhérentes à ce type d'étude (débits, topographie, calage,...) ou, du fait d'embâcles, très probables au vu des caractéristiques du lit, des débordements semblent possibles en ces points (flèches bleues avec point d'interrogation sur le plan).

En rive gauche le débordement se produirait au-delà de la crue biennale.

- Secteur en amont du profil 11 : d'après les calculs la capacité du lit mineur est plus élevée que sur le tronçon aval, seule la crue centennale déborderait vers la vallée de rive droite (au profil 12 essentiellement). En fait, en particulier du fait des incertitudes sur la cote de la berge de rive droite sur tout le tronçon il ne faut pas exclure des débordements ponctuels pour les crues plus fréquentes. Le niveau des plus grandes crues est également proche de la cote du chemin. Ce débordement potentiel, signalé précédemment, peut, en particulier au profil 11, être provoqué par l'insuffisance, ou l'obstruction de la buse Ø 600, située en aval du fossé de collecte des débordements.

On note l'absence de tout enjeu lié à des constructions au sein des zones inondables ainsi définies.

En ce qui concerne les vitesses (sur le Bief d'Enfer), elles sont toutes inférieures à:

- 0.42 m/s à l'étiage.
- 0.6 m/s pour le module.
- 2 m/s environ en crue.

Ces vitesses sont à priori « normales » pour ce type de cours d'eau à pente élevée, où le régime d'écoulement est encore la plupart du temps fluvial, mais avec des linéaires plus ponctuels où s'établit un régime torrentiel.

## **5- Conditions d'écoulement après aménagement :**

Le modèle est modifié pour intégrer le projet d'aménagement. Les principales modifications concernent les deux secteurs où le lit mineur est perché (soit l'aval du profil 8 et l'amont du profil 11) :



- Le comblement (ou la non-activation) du lit mineur actuel.
- La mise en place d'un chenal pilote de dimensions approximatives suivantes :
  - Largeur en gueule : 2 m
  - Largeur au plat-fond : 1 m
  - Profondeur : 0.3m
- La modification des distances entre lits mineurs, par la prise en compte d'un tracé sinueux.

En ce qui concerne le tronçon intermédiaire un aménagement sur place a été testé, il constitue une option. Cet aménagement consisterait à rehausser le lit, mais en compensant la débitance ainsi perdue par la création d'un **banquette**, de quelques mètres de largeur, en rive gauche.

Le modèle modifié a été exploité à nouveau pour les mêmes cinq débits caractéristiques définis précédemment. Les résultats des simulations (tableau de calcul, ligne d'eau et cahier des profils en travers éventuel) sont respectivement reportés en annexes 6 à 10. Les tableaux suivants fournissent, respectivement, et pour chaque profil, les niveaux d'eau, et les vitesses moyennes en lit mineur (NB : le tableau débute au profil 5, les profils aval étant implantés sur le Merlue, non concerné par l'aménagement).

**Tableau 4 : Niveaux d'eau dans l'état aménagé**

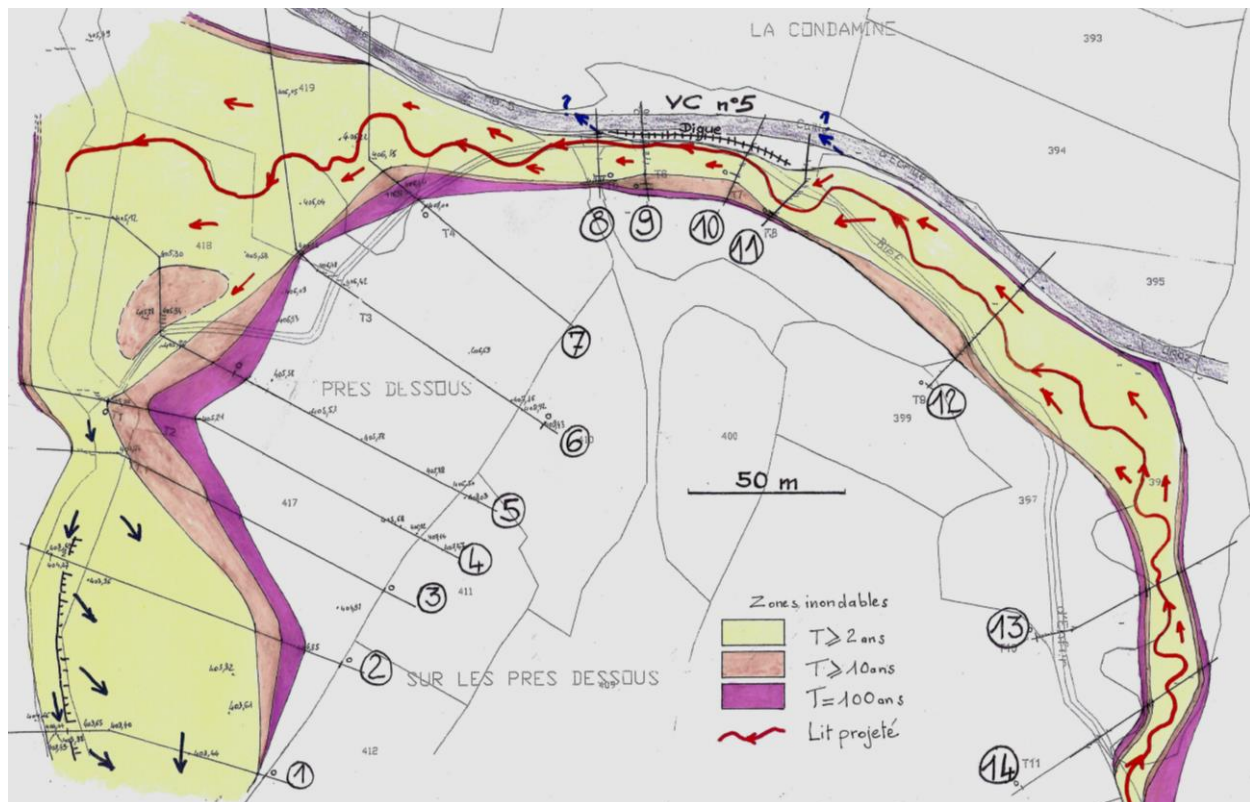
Profil	Q <sub>MNA</sub> ou étiage	Module	Crue T=		
			2	10	100
<b>5</b>	0.32	0.40	0.52	0.56	0.60

Profil	Q <sub>MNA</sub> ou étiage	Module	Crue T=		
			2	10	100
<b>5</b>	404.75	404.89	405.38	405.47	405.56
<b>6</b>	405.81	405.92	406.18	406.20	406.22
<b>7</b>	405.95	406.22	406.60	406.67	406.75
<b>8</b>	407.41	407.44	407.74	407.80	407.86
<b>9</b>	407.62	407.73	408.08	408.18	408.28
<b>10</b>	408.21	408.26	408.74	408.87	408.96
<b>11</b>	408.44	408.64	409.04	409.15	409.25
<b>12</b>	409.46	409.63	410.02	410.09	410.17
<b>13</b>	411.42	411.59	412.07	412.18	412.28
<b>14</b>	412.19	412.34	412.92	413.02	413.14
<b>6</b>	0.09	0.64	1.11	1.37	1.70

<b>7</b>	0.24	0.35	1.06	1.12	1.19
<b>8</b>	0.12	0.63	1.17	1.38	1.61
<b>9</b>	0.11	0.35	1.50	1.84	1.98
<b>10</b>	0.17	0.65	1.23	1.34	1.50
<b>11</b>	0.13	0.45	1.16	1.21	1.32
<b>12</b>	0.31	0.63	1.13	1.29	1.40
<b>13</b>	0.15	0.53	1.91	2.09	2.38
<b>14</b>	0.37	0.68	1.33	1.48	1.57

**Tableau 5 : Vitesses en lit mineur (m/s)-Etat aménagé**

Les zones inondables relatives aux trois crues sont fournies par la figure ci-dessous.



**Figure 5 : Zones inondables après aménagement**

Comme attendu l'aménagement permet de reconstituer une zone inondable significative, dès la crue biennale, en particulier en amont du profil 11.

L'aménagement optionnel proposé sur le tronçon intermédiaire conserve les conditions d'écoulement initiales, mais, bien sûr, ne supprime pas l'éventualité d'une submersion du chemin communal.

Enfin le tracé du lit projeté a été ajusté (profils 7, 13 et 14) au sein de la zone inondable.

En ce qui concerne les vitesses, elles sont toutes inférieures à:

- 0.4 m/s à l'étiage.
- 0.7 m/s pour le module.
- 2.00 m/s en crue (mais 2.40 m/s au profil 13).

## 6- Conclusions :

Le tableau ci-dessous fournit les incidences du projet d'aménagement sur les niveaux d'eau (en cm). Attention les écarts de niveau sont considérés dans la « vallée », lorsque ceux-ci sont distincts du lit mineur (état actuel). La comparaison est donc rendue délicate lorsqu'il y a déplacement du lit mineur.

On note que les niveaux centennaux sont sensiblement conservés dans la zone intermédiaire et le long de la voie communale (profils 8 à 12).

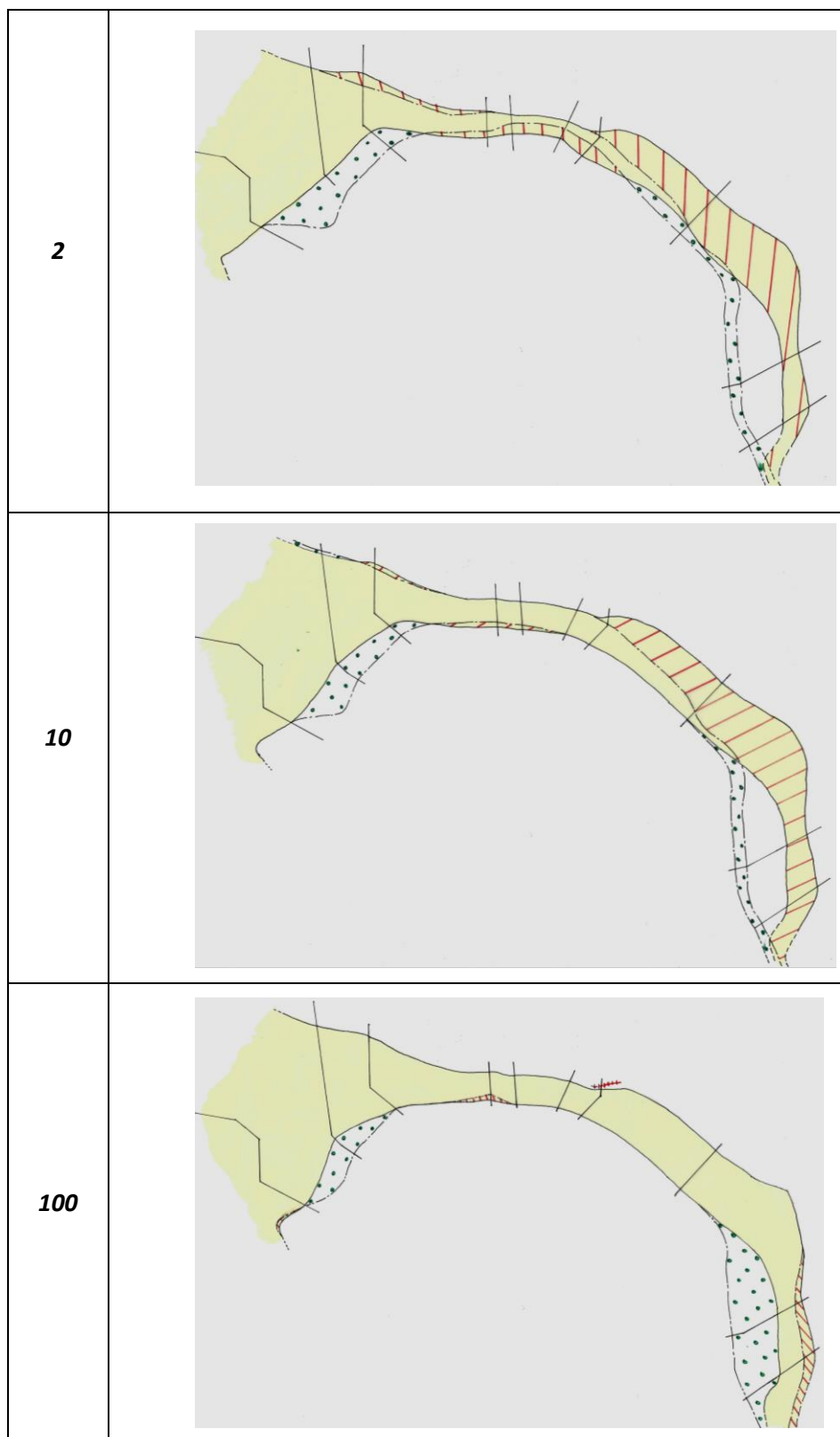
Profil	Q <sub>MNA</sub> ou étiage	Module	Crue T=		
			2	10	100
<b>5</b>	+1	+11	+12	+9	+9
<b>6</b>	-6	-9	-1	-4	-2
<b>7</b>	-26	-8	+16	+13	+7
<b>8</b>	+18	+10	-7	-15	-17
<b>9</b>	+29	+23	+6	+4	+1
<b>10</b>	+42	+36	+12	+6	-2
<b>11</b>	+26	+34	+15	+8	+1
<b>12</b>	-13	-7	-21	-29	-7
<b>13</b>	-35	-27	-23	-25	+48
<b>14</b>	-29	-26	-19	-23	+52

**Tableau 6 : Incidences (cm) de l'aménagement sur les niveaux d'eau**

Le dessin des zones inondables (en jaune) est fourni par la figure ci-dessous (hachure rouge : extension ; rond vert : réduction).

<b>T=</b>	<b>Zone inondable générale</b>
-----------	--------------------------------





**Figure 6 : Incidences de l'aménagement sur les zones inondables**

La principale incidence sur les zones inondables concerne l'amont du profil 11 pour les crues ne débordant pas, ou peu, du lit mineur. Pour les grandes crues, type crue centennale, l'incidence est limitée.

Aucun lieu habité n'est concerné par ce rétablissement de la zone inondable.

Enfin il convient de rappeler que les simulations sont réalisées dans une configuration « d'après-travaux », où le lit mineur est le chenal pilote initial. Avec le temps, et les crues, le ruisseau va adapter sa morphologie, et à priori, augmenter sa section. Les incidences présentées ici sont donc à considérer comme maximales.

On a reporté en annexe 11 le détail de l'aménagement optionnel testé entre les profils 8 et 11. En amont de ce profil la digue existante peut être prolongée éventuellement quelque peu en amont. En amont du profil 14 le raccordement au lit amont devra être aussi progressif que possible (pente inférieure ou égale à 2 %).

## **7-Annexes :**

1-Etat actuel : calculs pour le $Q_{MNA5}$ .....	16
--	----

2-Etat actuel : calculs pour le module .....	17
3-Etat actuel : calculs pour la crue biennale .....	19
4-Etat actuel : calculs pour la crue décennale.....	20
5-Etat actuel : calculs pour la crue centennale .....	21
6-Etat aménagé : calculs pour le $Q_{MNA5}$ .....	27
7-Etat aménagé : calculs pour le module .....	28
8-Etat aménagé : calculs pour la crue biennale .....	29
9-Etat aménagé : calculs pour la crue décennale.....	30
10-Etat aménagé : calculs pour la crue centennale .....	31
11-Détails de l'aménagement .....	37

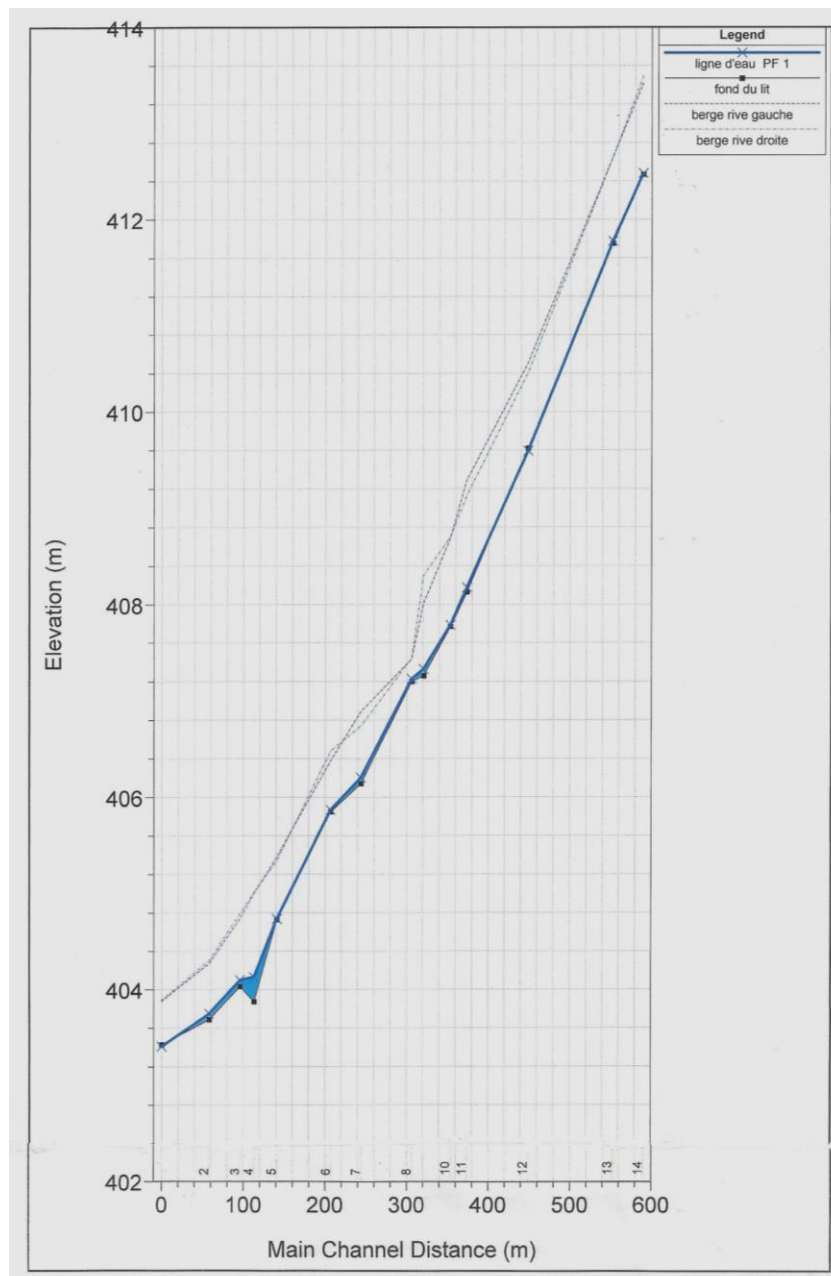
## Annexe 1

### 1-Etat actuel : calculs pour le $Q_{MNA5}$



HEC-RAS Plan: Plan 01 River: bief d'enfer Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1	PF 1	0.02	403.43	403.41	403.41	403.42	2.018359		0.04	7.59	0.00
1	2	PF 1	0.02	403.69	403.75	403.71	403.75	0.001711	0.10	0.18	3.89	0.14
1	3	PF 1	0.02	404.03	404.10	404.10	404.12	0.101708	0.60	0.03	0.90	1.04
1	4	PF 1	0.02	403.87	404.13		404.13	0.000218	0.08	0.24	1.39	0.06
1	5	PF 1	0.01	404.73	404.74	404.74	404.74	2.097293	0.48	0.02	3.40	2.57
1	6	PF 1	0.01	405.85	405.87	405.87	405.88	0.306917	0.36	0.02	1.70	1.17
1	7	PF 1	0.01	406.14	406.21	406.17	406.21	0.002665	0.08	0.08	2.19	0.13
1	8	PF 1	0.01	407.20	407.23	407.23	407.23	0.172523	0.34	0.02	1.26	0.93
1	9	PF 1	0.01	407.26	407.33		407.33	0.001969	0.08	0.07	1.54	0.12
1	10	PF 1	0.01	407.77	407.79	407.79	407.80	0.332337	0.42	0.01	1.26	1.25
1	11	PF 1	0.01	408.13	408.18	408.15	408.18	0.006174	0.11	0.06	1.98	0.20
1	12	PF 1	0.01	409.62	409.59	409.59	409.61	0.280188		0.01	0.49	0.00
1	13	PF 1	0.01	411.75	411.77		411.78	0.006946	0.09	0.07	3.67	0.20
1	14	PF 1	0.01	412.47	412.48	412.48	412.49	0.173471	0.33	0.02	1.43	0.92



Annexe 2

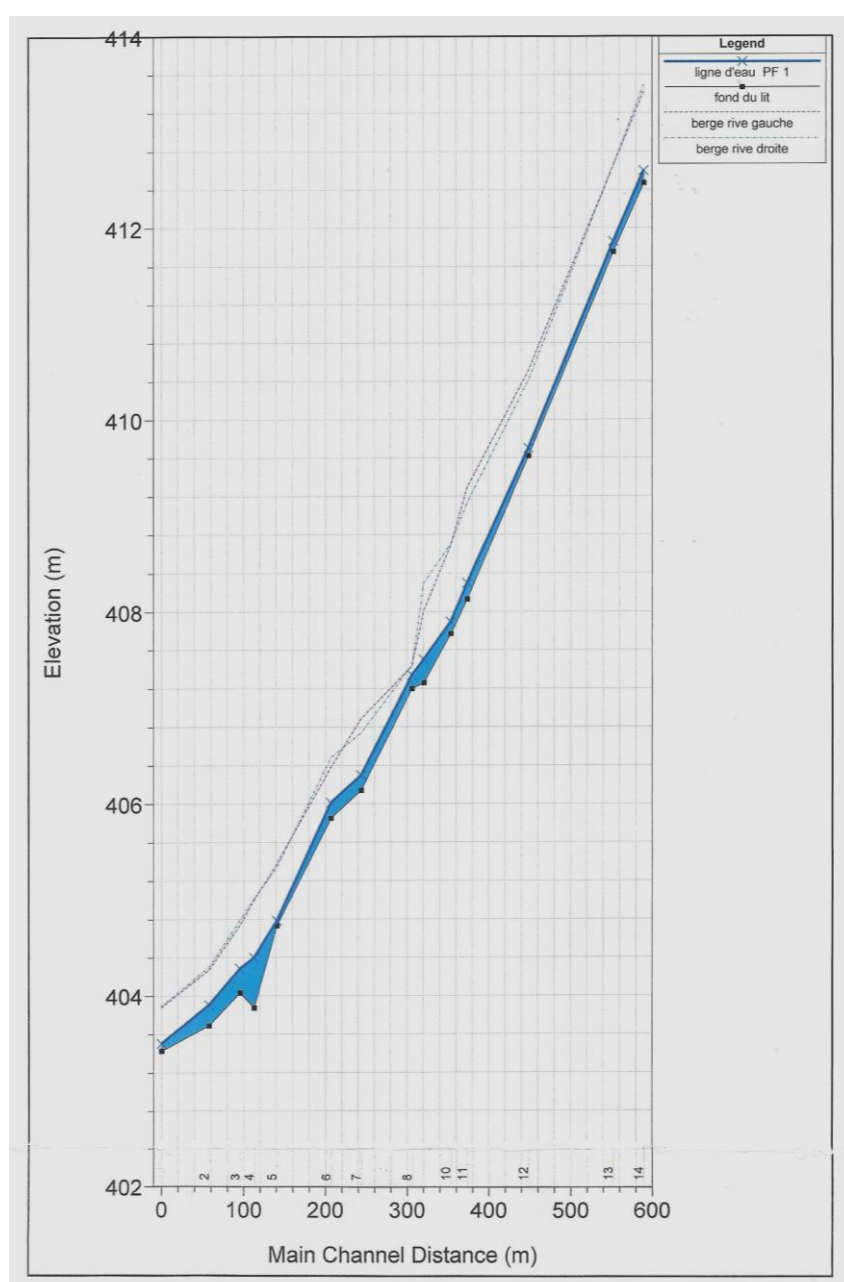
2-Etat

actuel :

## calculs pour le module

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: bief d'enfer Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1	PF 1	0.46	403.43	403.51	403.45	403.51	0.007114	0.23	3.37	53.28	0.30
1	2	PF 1	0.46	403.69	403.90	403.81	403.92	0.008848	0.54	0.86	4.84	0.41
1	3	PF 1	0.46	404.03	404.28		404.29	0.010980	0.47	0.99	8.09	0.43
1	4	PF 1	0.46	403.87	404.40		404.40	0.004214	0.34	1.34	8.01	0.27
1	5	PF 1	0.15	404.73	404.78	404.78	404.81	0.598541	0.99	0.27	7.32	1.92
1	6	PF 1	0.15	405.85	406.01	405.93	406.02	0.006048	0.28	0.54	4.17	0.25
1	7	PF 1	0.15	406.14	406.30		406.30	0.011352	0.34	0.66	11.64	0.33
1	8	PF 1	0.15	407.20	407.34		407.35	0.026058	0.44	0.34	3.98	0.49
1	9	PF 1	0.15	407.26	407.50		407.51	0.005927	0.31	0.48	3.08	0.25
1	10	PF 1	0.15	407.77	407.90		407.91	0.039160	0.58	0.26	2.75	0.80
1	11	PF 1	0.15	408.13	408.30		408.31	0.011621	0.38	0.39	3.14	0.34
1	12	PF 1	0.15	409.62	409.70		409.71	0.034893	0.47	0.35	4.51	0.55
1	13	PF 1	0.15	411.75	411.86		411.87	0.013687	0.35	0.43	4.55	0.36
1	14	PF 1	0.15	412.47	412.60		412.62	0.033031	0.57	0.26	2.50	0.56



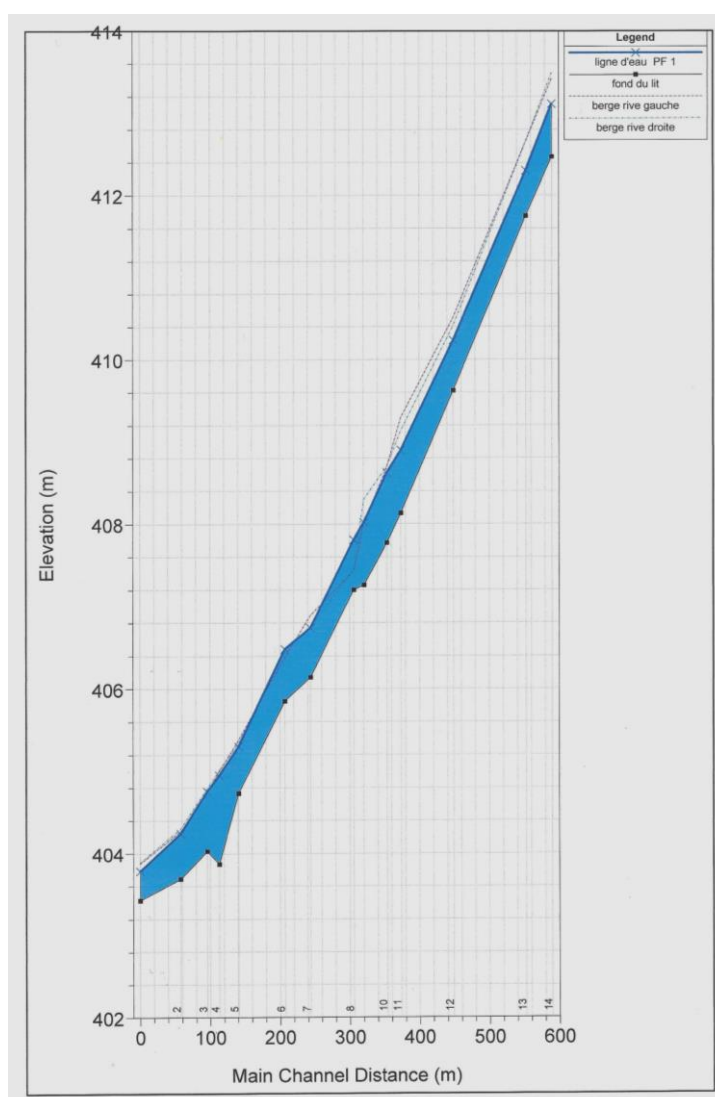
Annexe 3

### 3-Etat actuel : calculs pour la crue biennale

Mineur												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: bief d'enfer Reach: 1 Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1	PF 1	7.70	403.43	403.79	403.57	403.80	0.007107	0.61	19.67	64.26	0.37
1	2	PF 1	7.70	403.69	404.24	404.20	404.28	0.015527	1.23	14.02	74.93	0.61
1	3	PF 1	7.70	404.03	404.75		404.85	0.014328	1.34	5.78	18.48	0.61
1	4	PF 1	7.70	403.87	404.95		404.97	0.004306	0.69	11.12	24.46	0.33
1	5	PF 1	7.70	404.73	405.30		405.36	0.042601	1.57	13.12	54.52	0.78
1	6	PF 1	1.35	405.85	406.48		406.49	0.002450	0.42	3.77	107.20	0.20
1	7	PF 1	2.60	406.14	406.74		406.82	0.025521	1.25	2.07	4.84	0.61
1	8	PF 1	3.20	407.20	407.81		407.86	0.012618	1.02	3.95	11.14	0.46
1	9	PF 1	3.20	407.26	408.02		408.12	0.024704	1.44	2.22	3.68	0.59
1	10	PF 1	3.20	407.77	408.62		408.69	0.012335	1.10	2.90	4.35	0.43
1	11	PF 1	3.20	408.13	408.89		408.96	0.014961	1.16	3.43	6.31	0.47
1	12	PF 1	3.20	409.62	410.23		410.31	0.021972	1.23	2.60	5.60	0.58
1	13	PF 1	3.20	411.75	412.30		412.36	0.017773	1.07	3.00	6.98	0.52
1	14	PF 1	3.20	412.47	413.11		413.22	0.030369	1.44	2.22	4.72	0.67

" Vallée "												
1	5	PF 1	7.70	404.73	405.26		405.29	0.017692	0.97	11.25	43.38	0.50
1	6	PF 1	1.85	406.48	406.19		406.19	0.009002		7.99	66.27	0.00
1	7	PF 1	0.60	406.74	406.44		406.45	0.008662		2.64	21.96	0.00



## 4-Etat actuel : calculs pour la crue décennale

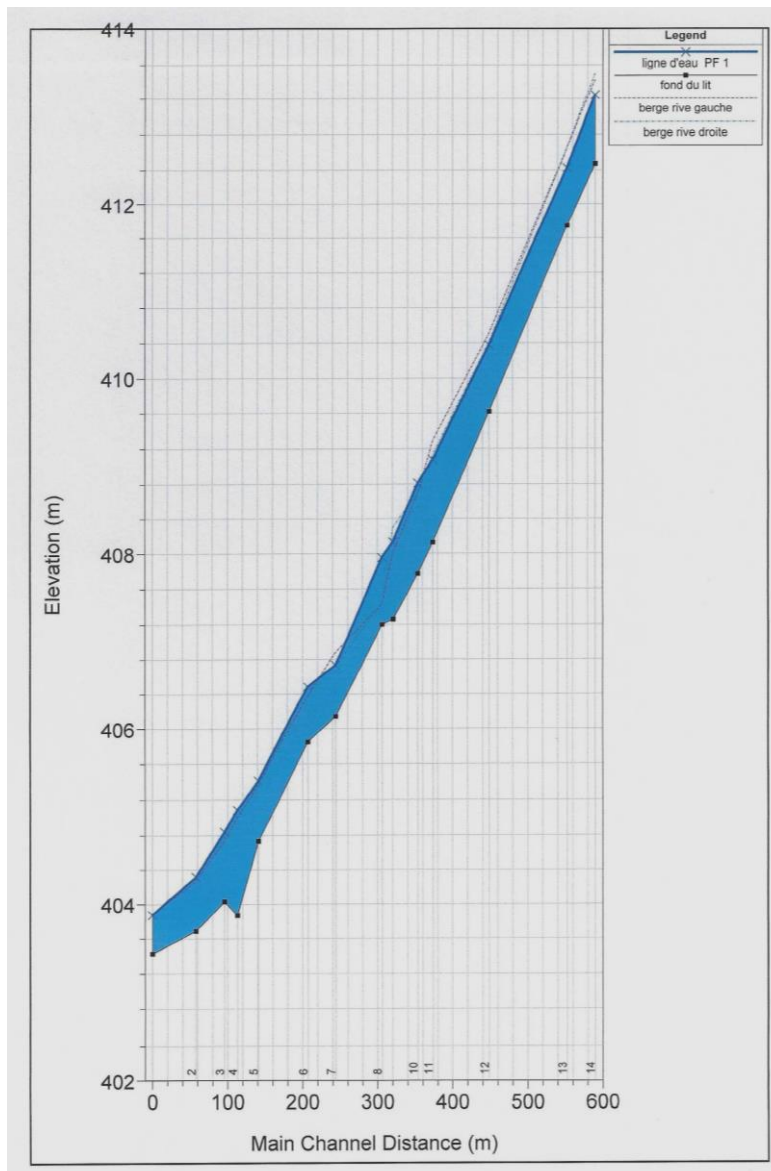
**Mineur**

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: bief d'enfer Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1	PF 1	11.50	403.43	403.88	403.61	403.89	0.007107	0.69	25.70	66.69	0.38
1	2	PF 1	11.50	403.69	404.32	404.24	404.36	0.014471	1.30	19.99	85.67	0.61
1	3	PF 1	11.50	404.03	404.84	404.72	404.97	0.018120	1.67	8.52	46.31	0.70
1	4	PF 1	11.50	403.87	405.08		405.11	0.004209	0.79	14.99	38.27	0.34
1	5	PF 1	11.50	404.73	405.41		405.46	0.033514	1.59	21.86	88.78	0.72
1	6	PF 1	0.80	405.85	406.49		406.49	0.000820	0.25	4.25	107.97	0.11
1	7	PF 1	3.50	406.14	406.74	406.68	406.88	0.046316	1.69	2.07	4.84	0.82
1	8	PF 1	4.70	407.20	407.95		408.01	0.011105	1.14	5.72	13.23	0.45
1	9	PF 1	4.70	407.26	408.14	407.95	408.29	0.030510	1.77	2.89	9.56	0.66
1	10	PF 1	4.70	407.77	408.81		408.89	0.011749	1.24	4.47	15.42	0.43
1	11	PF 1	4.70	408.13	409.07		409.15	0.014695	1.28	5.05	14.30	0.47
1	12	PF 1	4.70	409.62	410.38		410.47	0.021227	1.36	3.46	6.25	0.58
1	13	PF 1	4.70	411.75	412.43		412.50	0.017980	1.19	3.94	7.75	0.53
1	14	PF 1	4.70	412.47	413.25		413.38	0.031236	1.64	2.87	5.08	0.70

**"vallée"**

1	5	PF 1	11.50	404.73	405.38		405.40	0.014600	1.01	18.98	84.58	0.47
1	6	PF 1	3.90	406.48	406.24		406.25	0.013556		11.38	71.30	0.00
1	7	PF 1	1.20	406.74	406.54		406.54	0.005582		5.05	28.15	0.00





## 5-Etat actuel : calculs pour la crue centennale

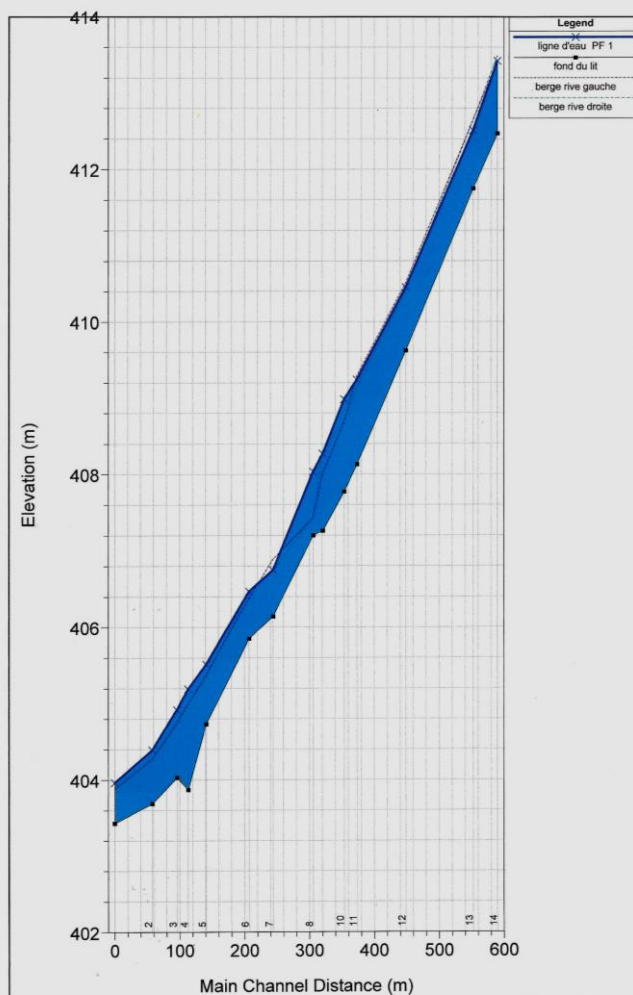
Mineur

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: bief d'enfer Reach: 1 Profile: PF 1

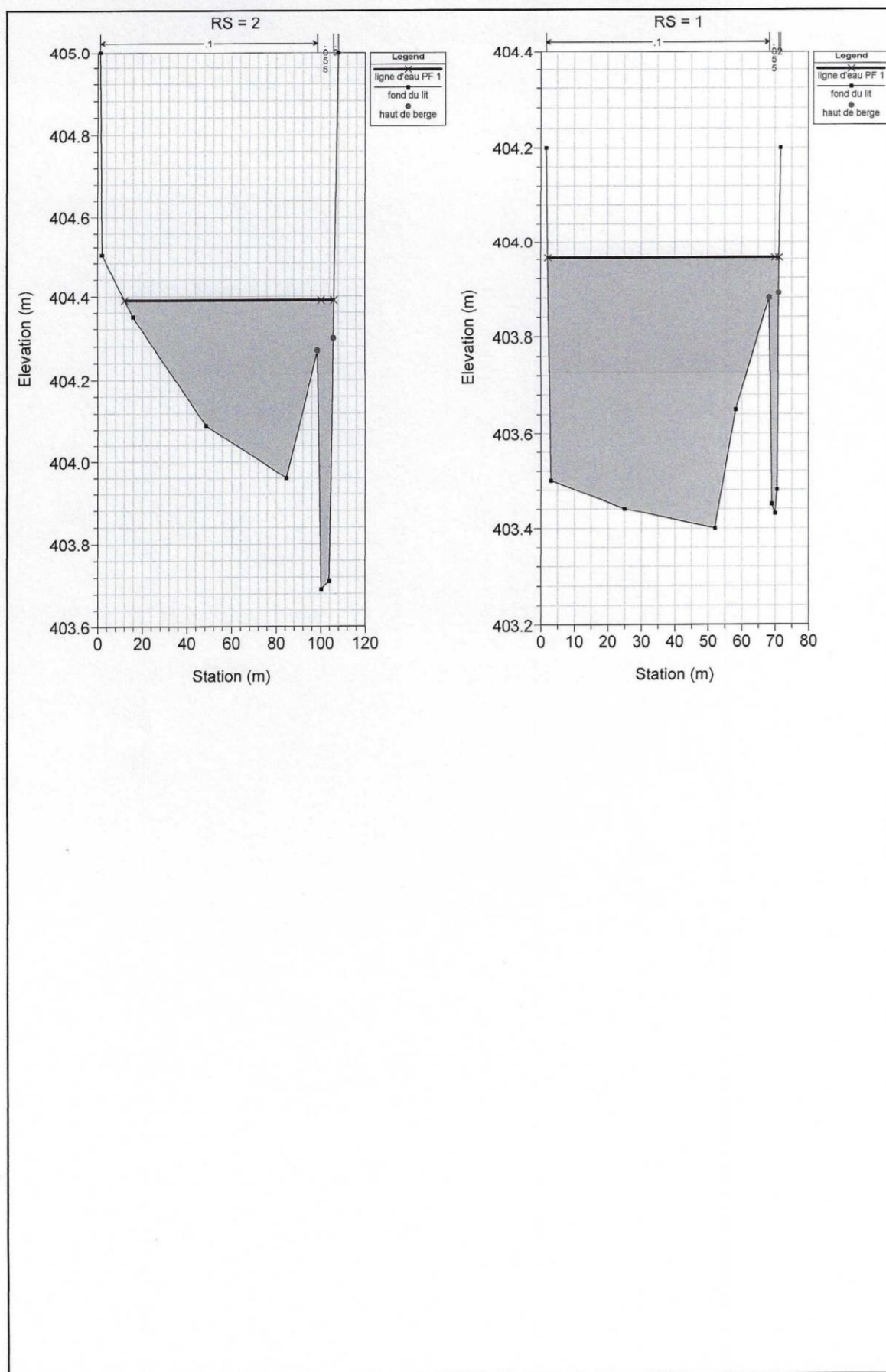
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1	PF 1	16.20	403.43	403.96	403.66	403.98	0.007105	0.80	31.61	69.13	0.40
1	2	PF 1	16.20	403.69	404.39		404.43	0.013497	1.38	26.57	93.77	0.60
1	3	PF 1	16.20	404.03	404.92	404.92	405.08	0.019671	1.90	12.81	58.23	0.75
1	4	PF 1	16.20	403.87	405.19		405.23	0.004397	0.91	20.23	55.62	0.35
1	5	PF 1	16.20	404.73	405.51		405.55	0.024071	1.53	31.60	102.89	0.63
1	6	PF 1	0.80	405.85	406.47		406.47	0.000958	0.26	3.36	16.62	0.12
1	7	PF 1	3.50	406.14	406.75	406.68	406.88	0.042009	1.63	2.49	51.35	0.79
1	8	PF 1	6.70	407.20	408.03		408.12	0.014890	1.42	6.83	14.62	0.53
1	9	PF 1	6.70	407.26	408.27		408.47	0.033202	2.02	4.71	16.46	0.70
1	10	PF 1	6.70	407.77	408.98		409.07	0.011273	1.37	7.28	17.30	0.44
1	11	PF 1	6.70	408.13	409.24		409.33	0.015551	1.45	7.60	18.74	0.49
1	12	PF 1	5.00	409.62	410.45		410.53	0.016584	1.27	3.97	8.68	0.52
1	13	PF 1	6.70	411.75	412.51		412.62	0.023332	1.45	4.63	8.29	0.62
1	14	PF 1	6.70	412.47	413.42	413.24	413.58	0.028123	1.76	3.81	5.58	0.67

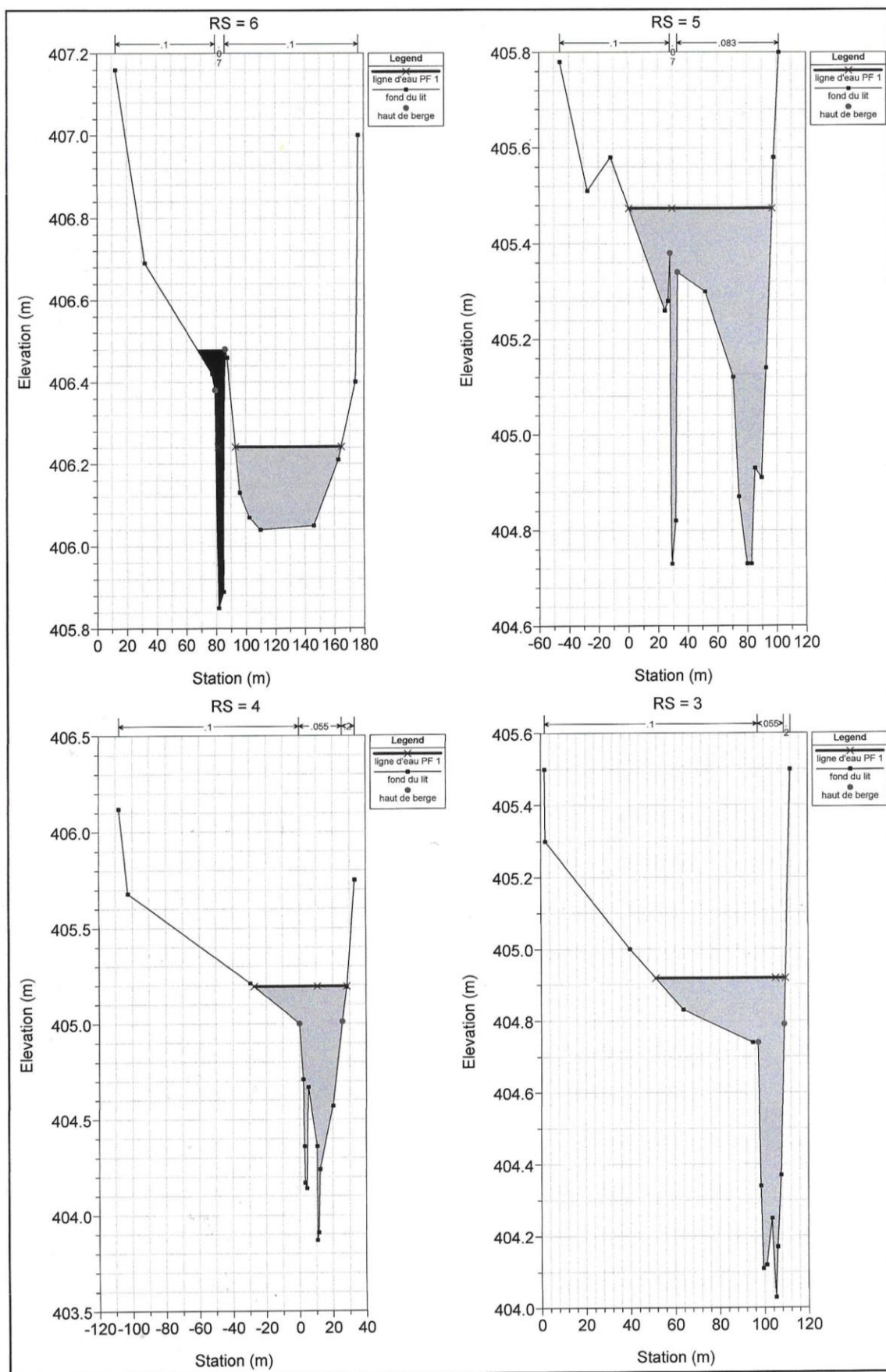
"Vallée"

1	5	PF 1	16.20	404.73	405.47		405.50	0.010279	0.95	27.55	96.50	0.41
1	6	PF 1	5.90	406.48	406.24		406.26	0.030540		11.44	71.37	0.00
1	7	PF 1	3.20	406.74	406.68		406.69	0.006582		10.15	41.82	0.00
1	12	PF 1	1.70	409.62	410.24		410.26	0.005839	0.64	2.65	5.65	0.30
1	13	PF 1	0.10	411.75	411.80	411.80	411.82	0.144657	0.62	0.16	4.10	1.01
1	14	PF 1	0.10	412.47	412.62	412.54	412.63	0.008445	0.32	0.32	2.63	0.29

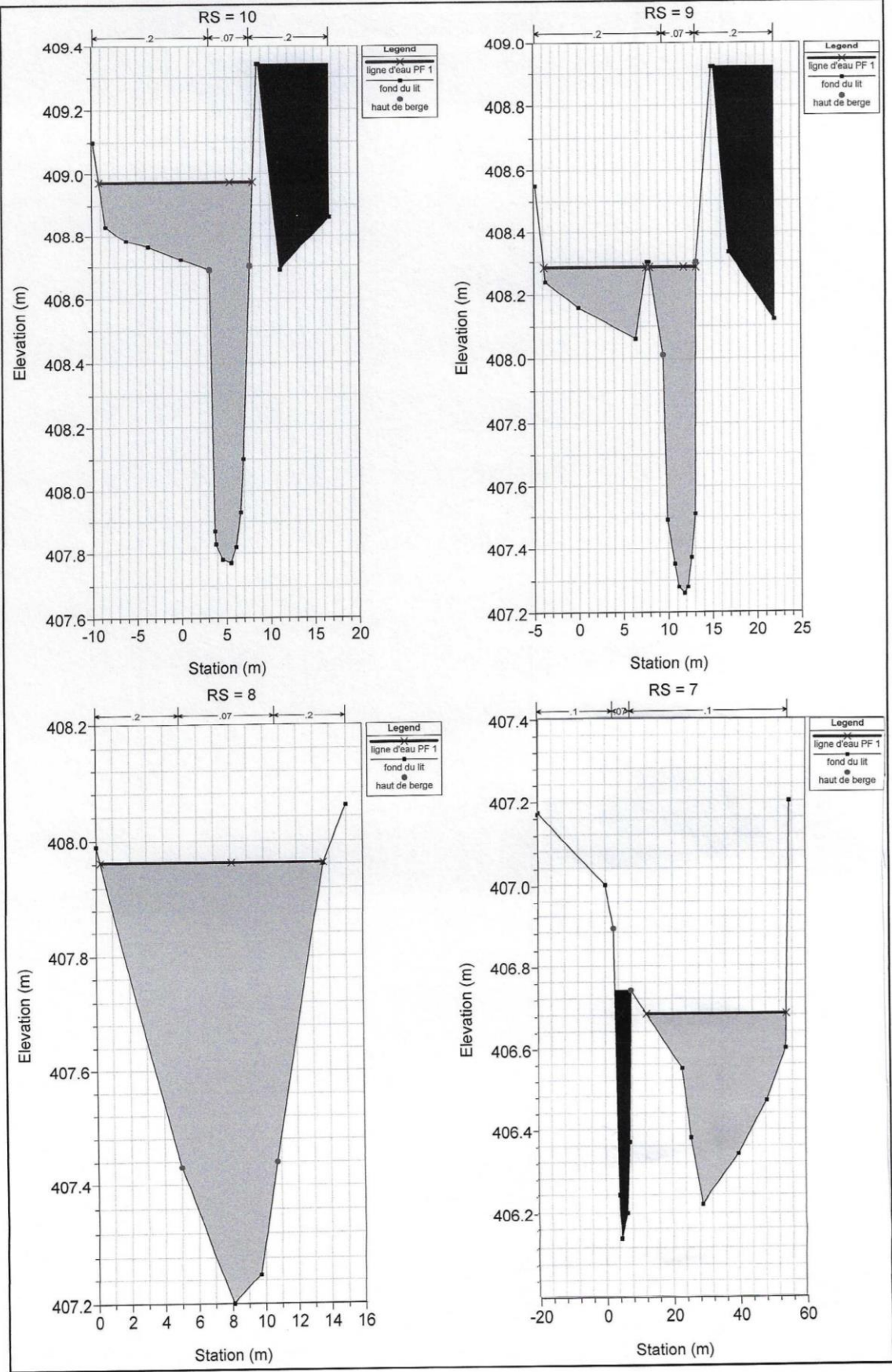




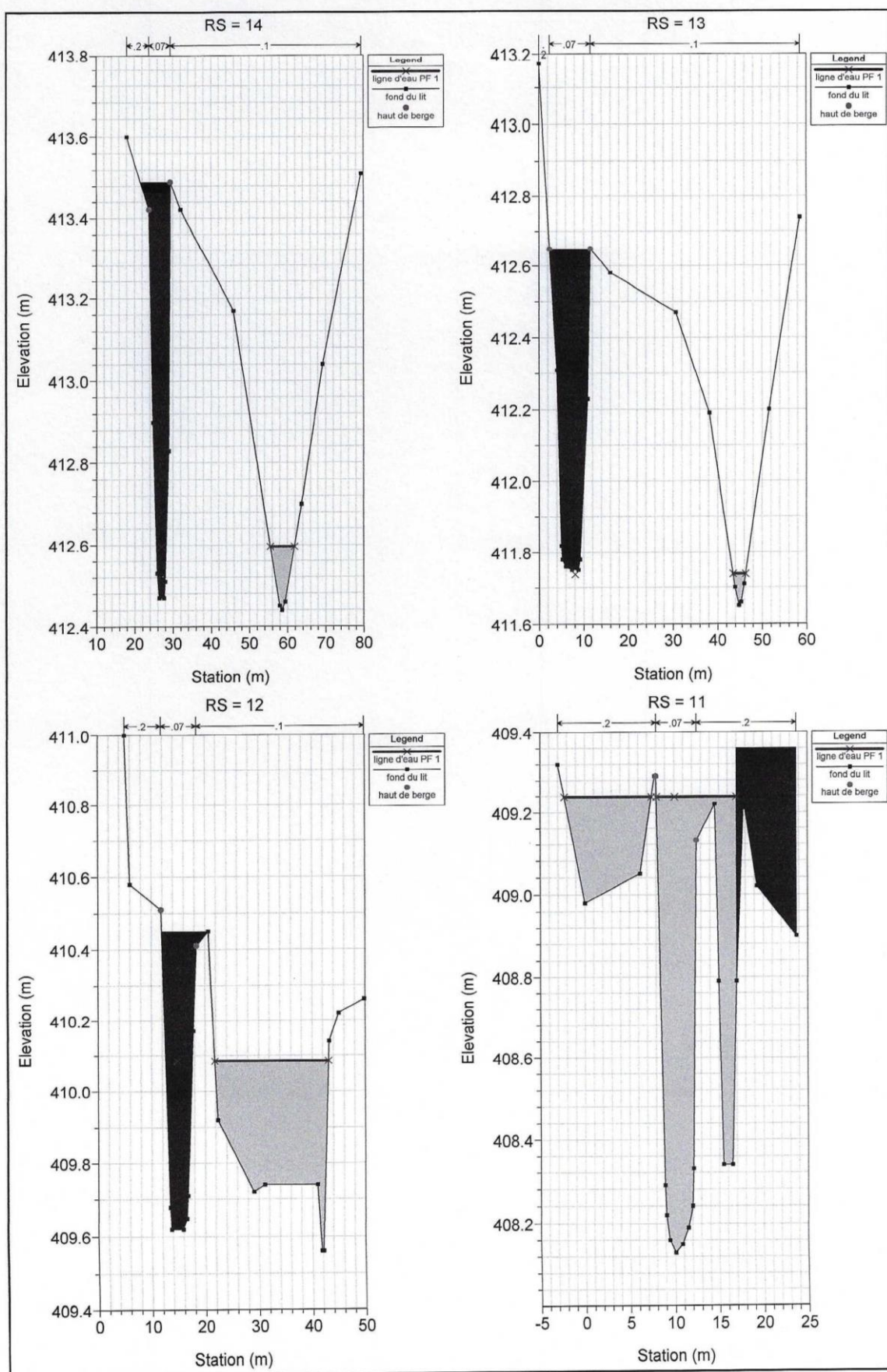








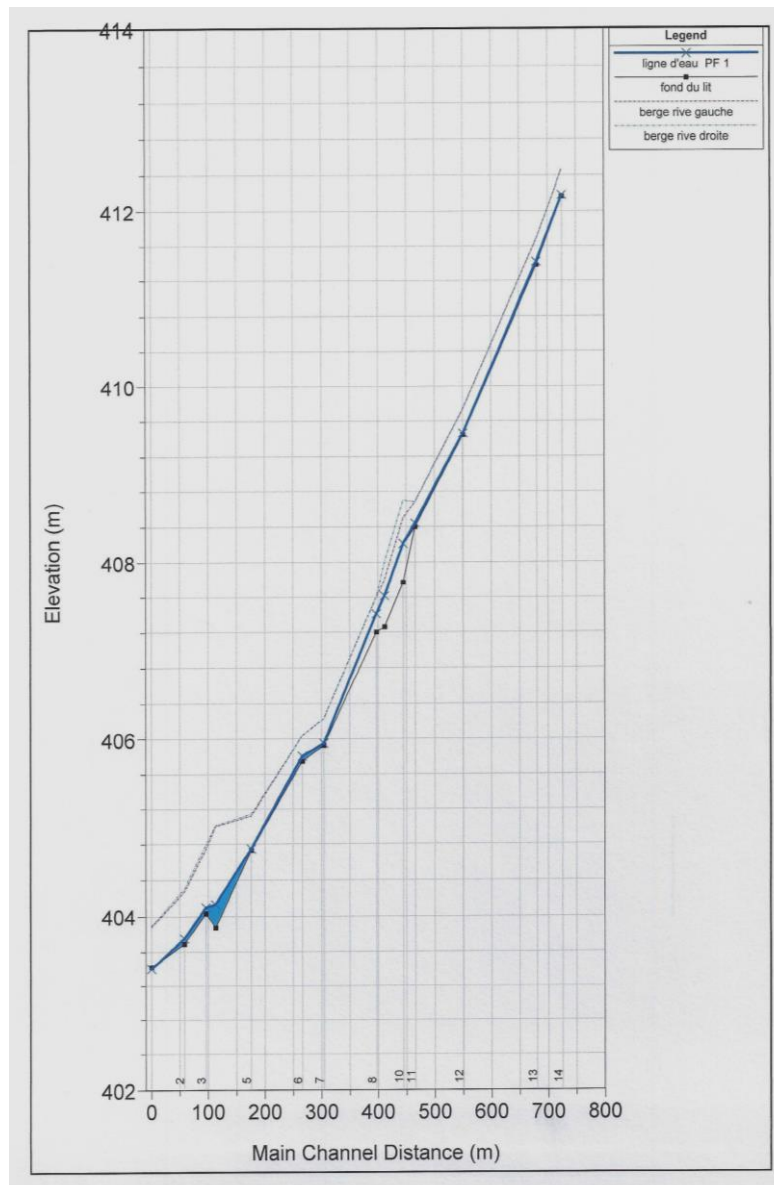




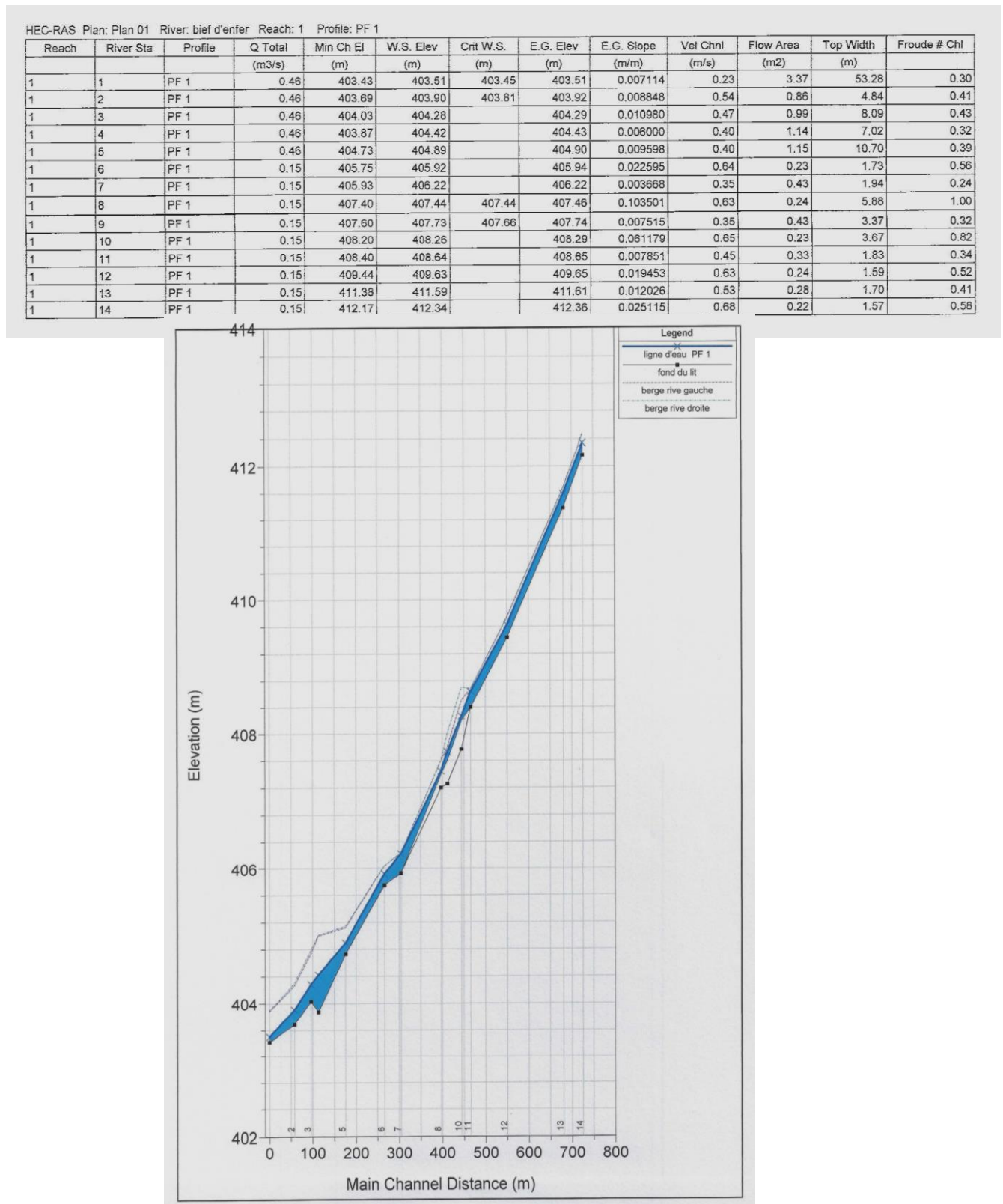
6-Etat aménagé : calculs pour le  $Q_{MNA5}$ 

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: bief d'enfer Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1	PF 1	0.02	403.43	403.41	403.41	403.42	2.018359		0.04	7.59	0.00
1	2	PF 1	0.02	403.69	403.75	403.71	403.75	0.001711	0.10	0.18	3.89	0.14
1	3	PF 1	0.02	404.03	404.10	404.10	404.12	0.101708	0.60	0.03	0.90	1.04
1	4	PF 1	0.02	403.87	404.13		404.13	0.000217	0.08	0.24	1.39	0.06
1	5	PF 1	0.02	404.73	404.75	404.75	404.75	0.083672	0.32	0.06	3.69	0.83
1	6	PF 1	0.01	405.75	405.81		405.81	0.001420	0.09	0.07	1.29	0.12
1	7	PF 1	0.01	405.93	405.95	405.94	405.96	0.034010	0.24	0.02	1.11	0.52
1	8	PF 1	0.01	407.40	407.41		407.41	0.023809	0.12	0.05	5.30	0.38
1	9	PF 1	0.01	407.60	407.62	407.61	407.62	0.009308	0.11	0.06	3.24	0.26
1	10	PF 1	0.01	408.20	408.21		408.21	0.047899	0.17	0.04	3.56	0.54
1	11	PF 1	0.01	408.40	408.44	408.41	408.44	0.004805	0.13	0.05	1.13	0.21
1	12	PF 1	0.01	409.44	409.46		409.46	0.068269	0.31	0.02	1.01	0.71
1	13	PF 1	0.01	411.38	411.42		411.42	0.006413	0.15	0.04	1.11	0.24
1	14	PF 1	0.01	412.17	412.19	412.19	412.19	0.128233	0.37	0.02	1.06	0.94

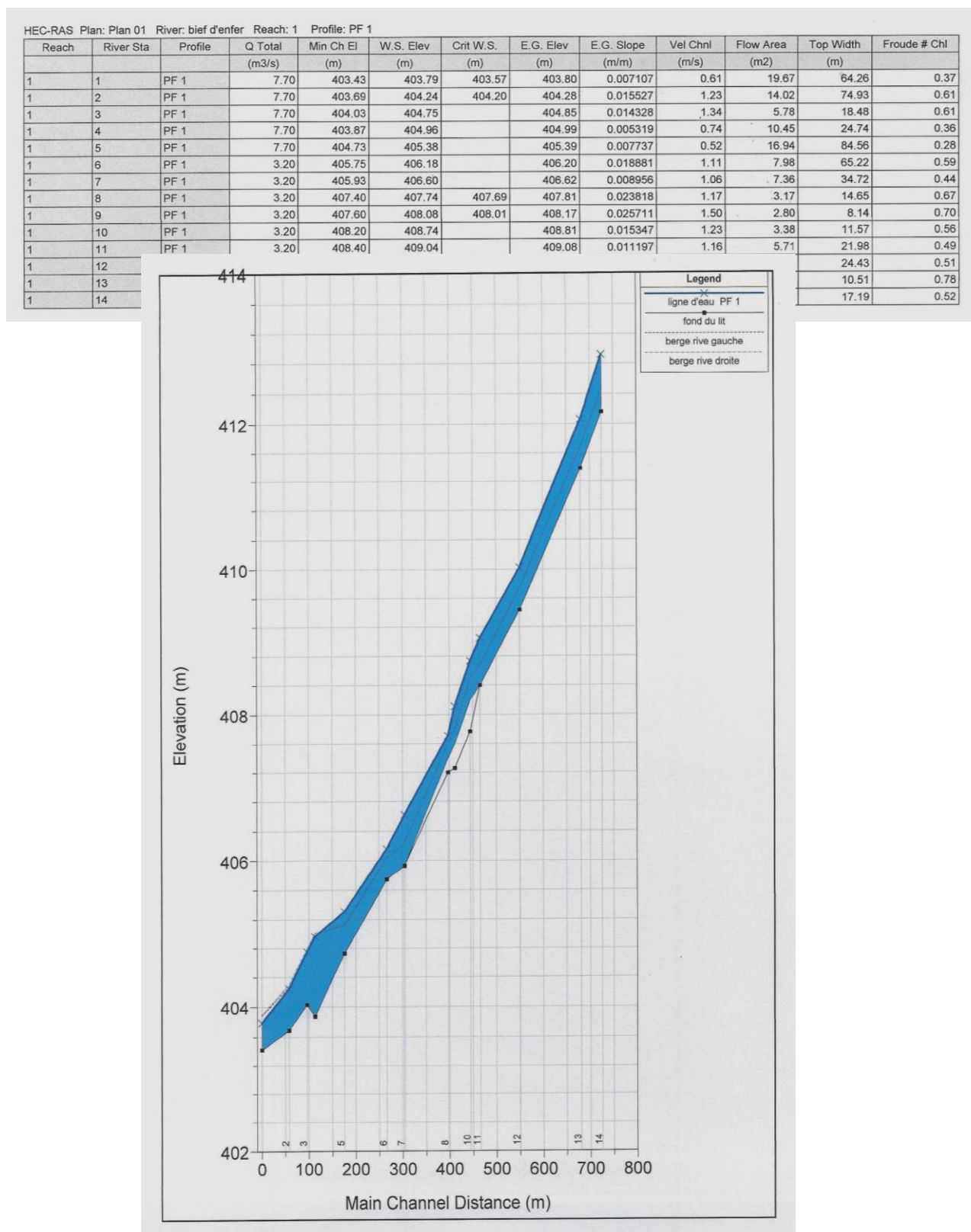


## 7-Etat aménagé : calculs pour le module

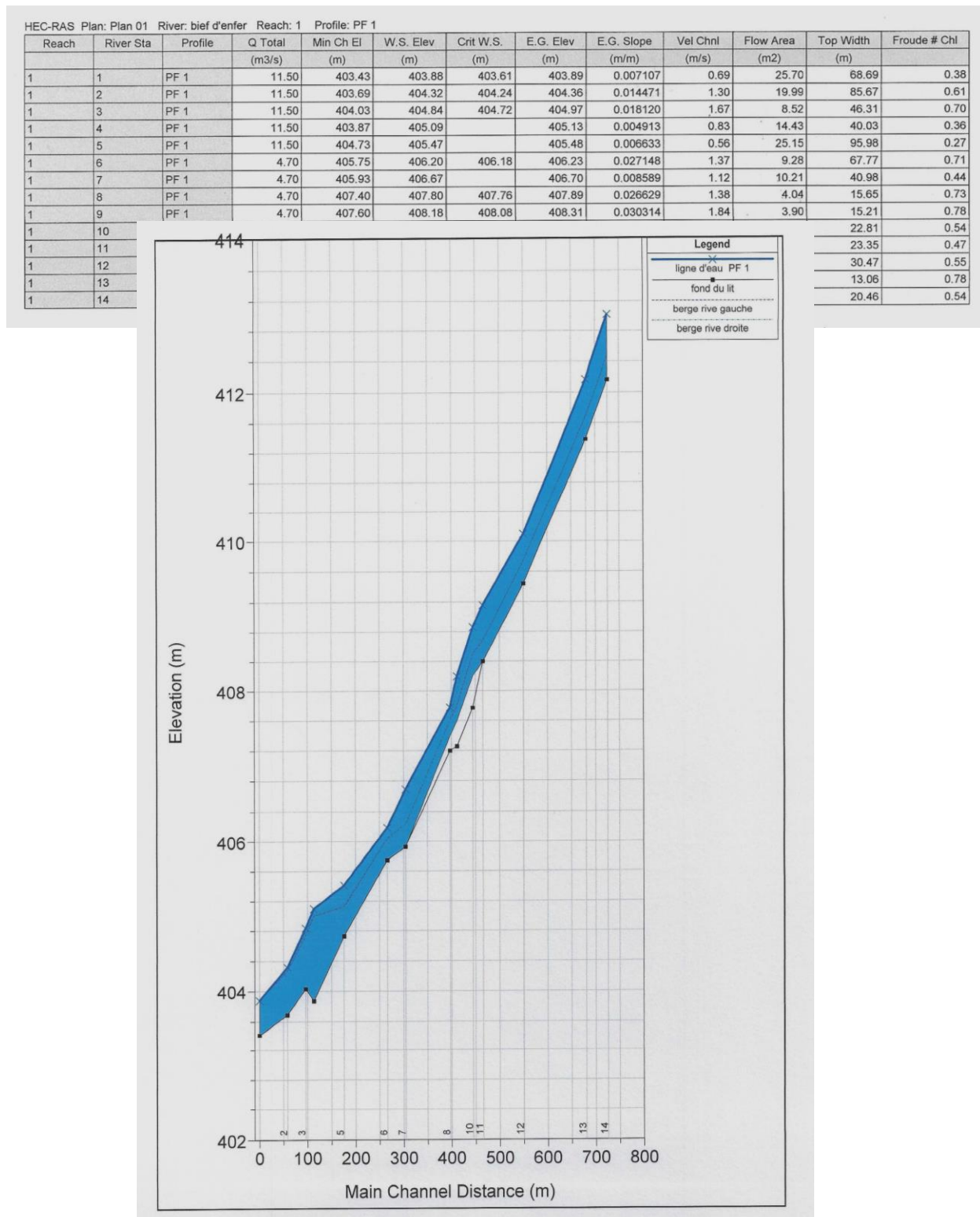




## 8-Etat aménagé : calculs pour la crue biennale

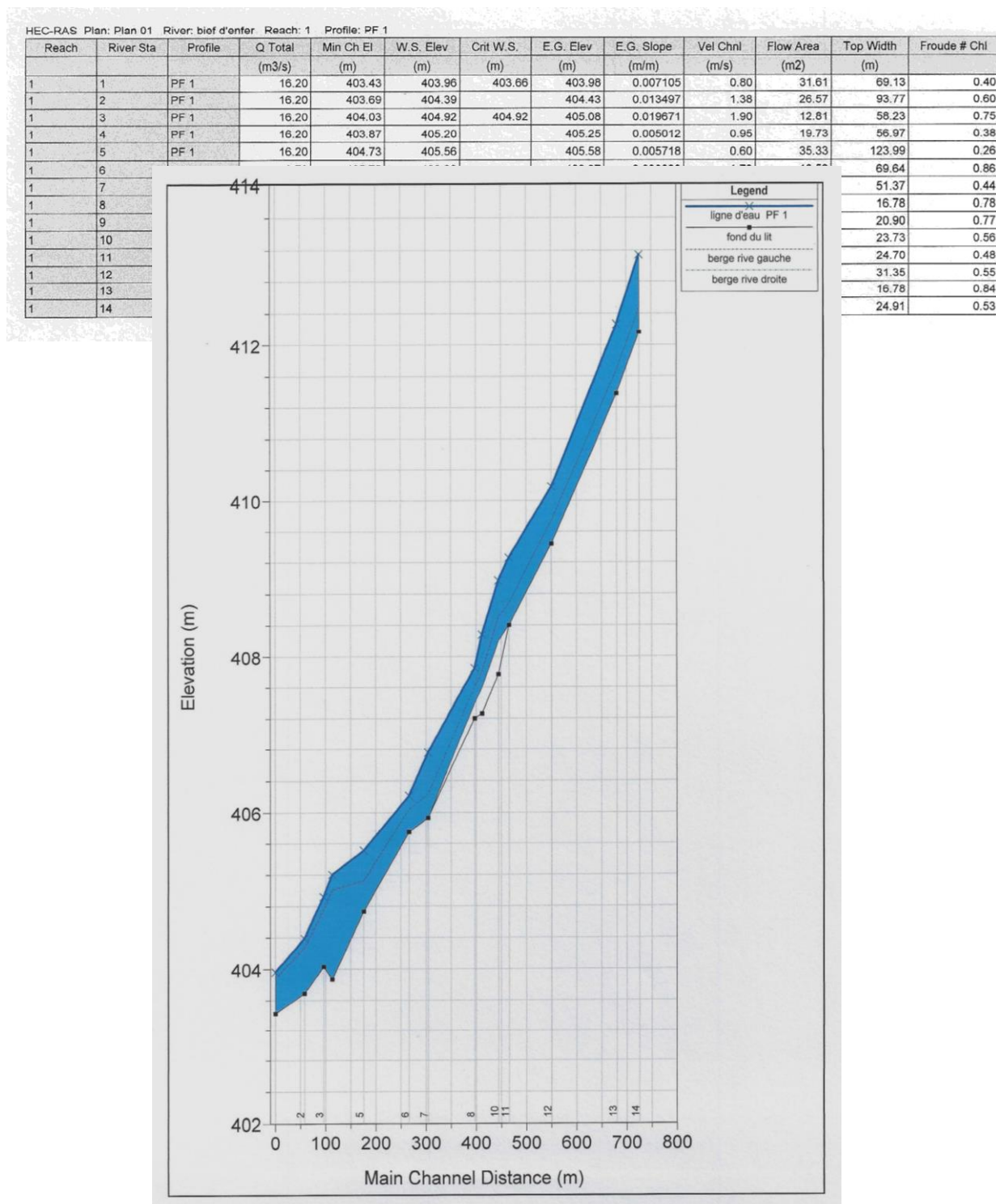


## 9-Etat aménagé : calculs pour la crue décennale

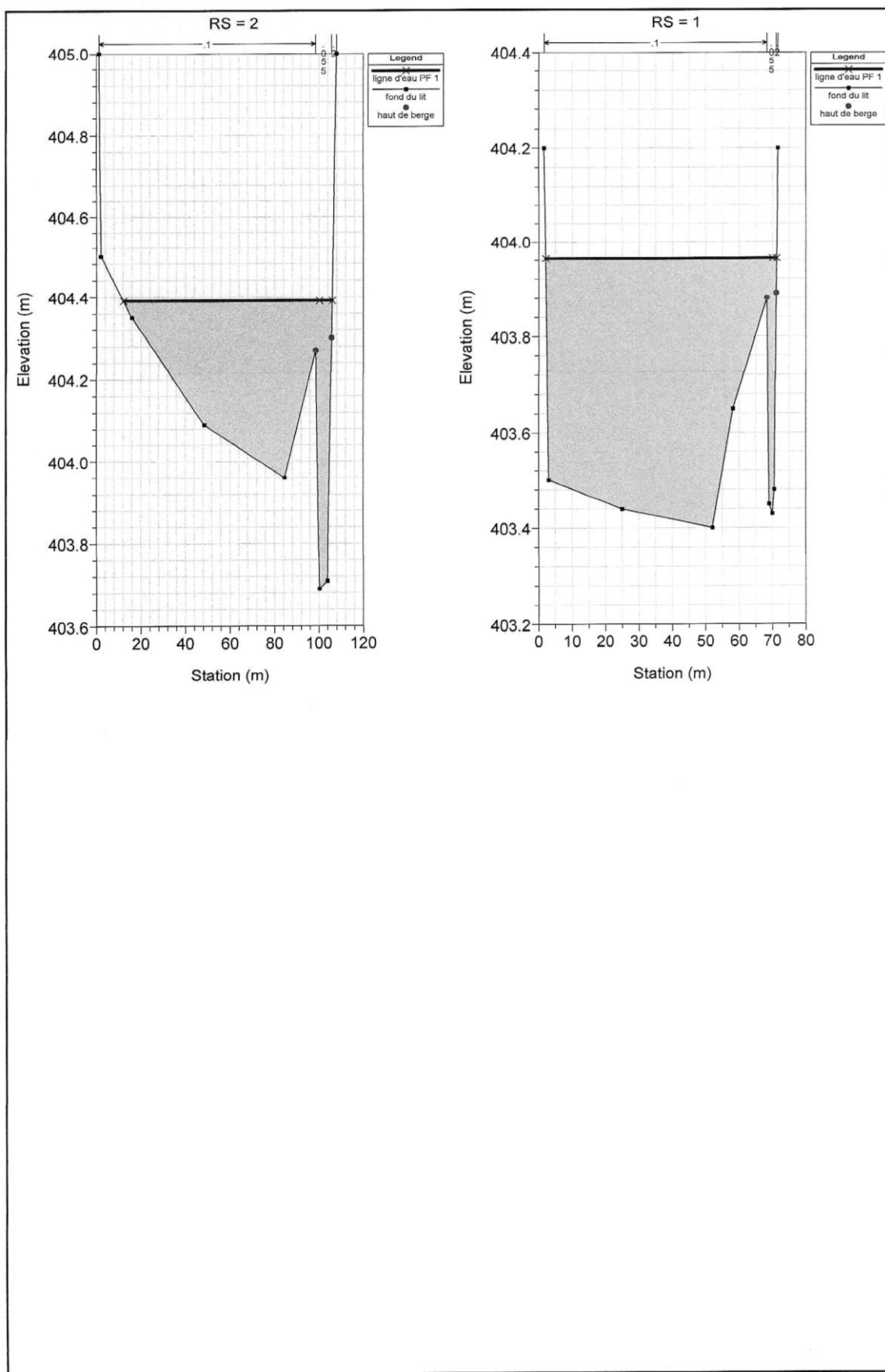


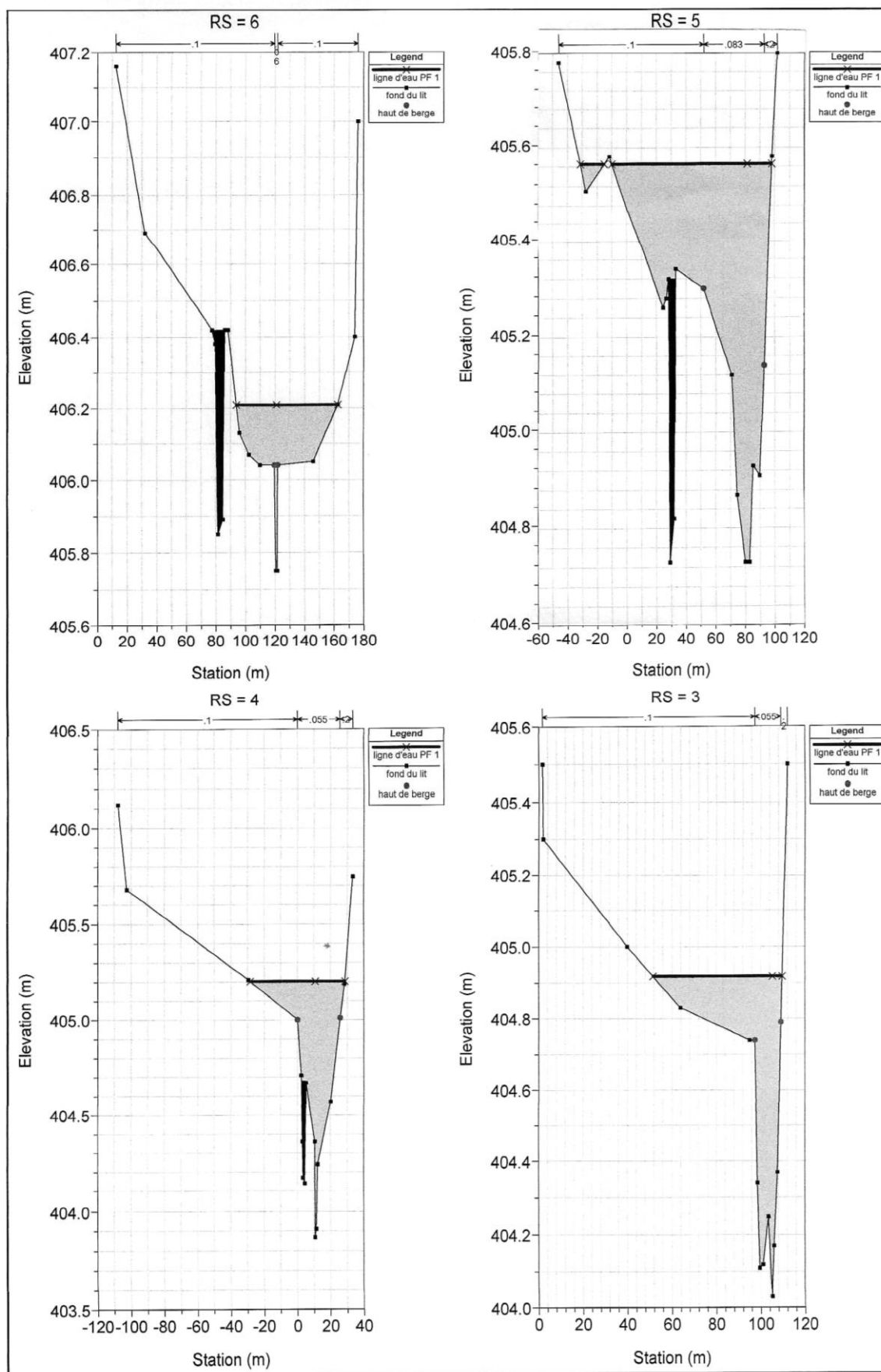


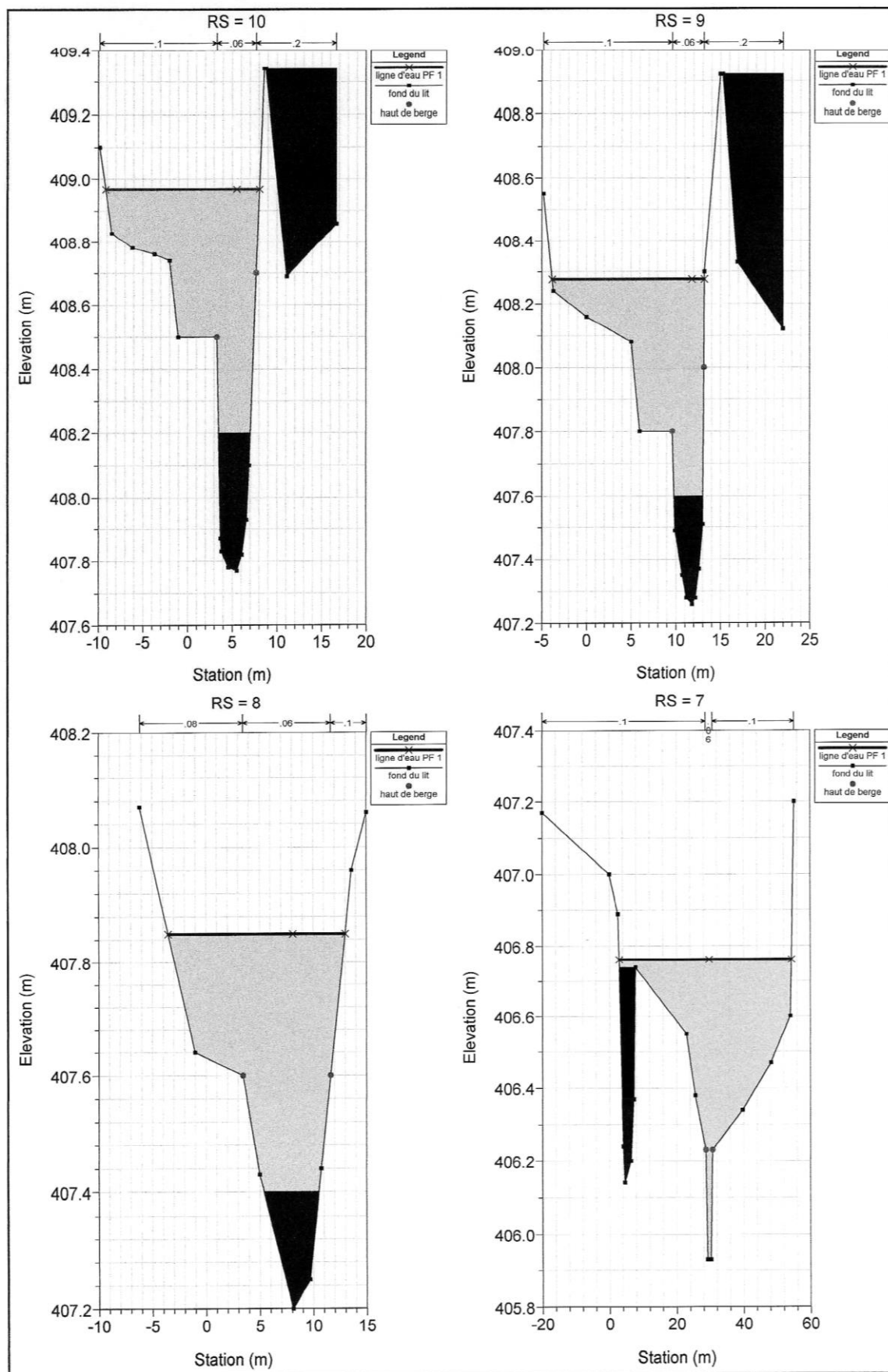
## 10-Etat aménagé : calculs pour la crue centennale



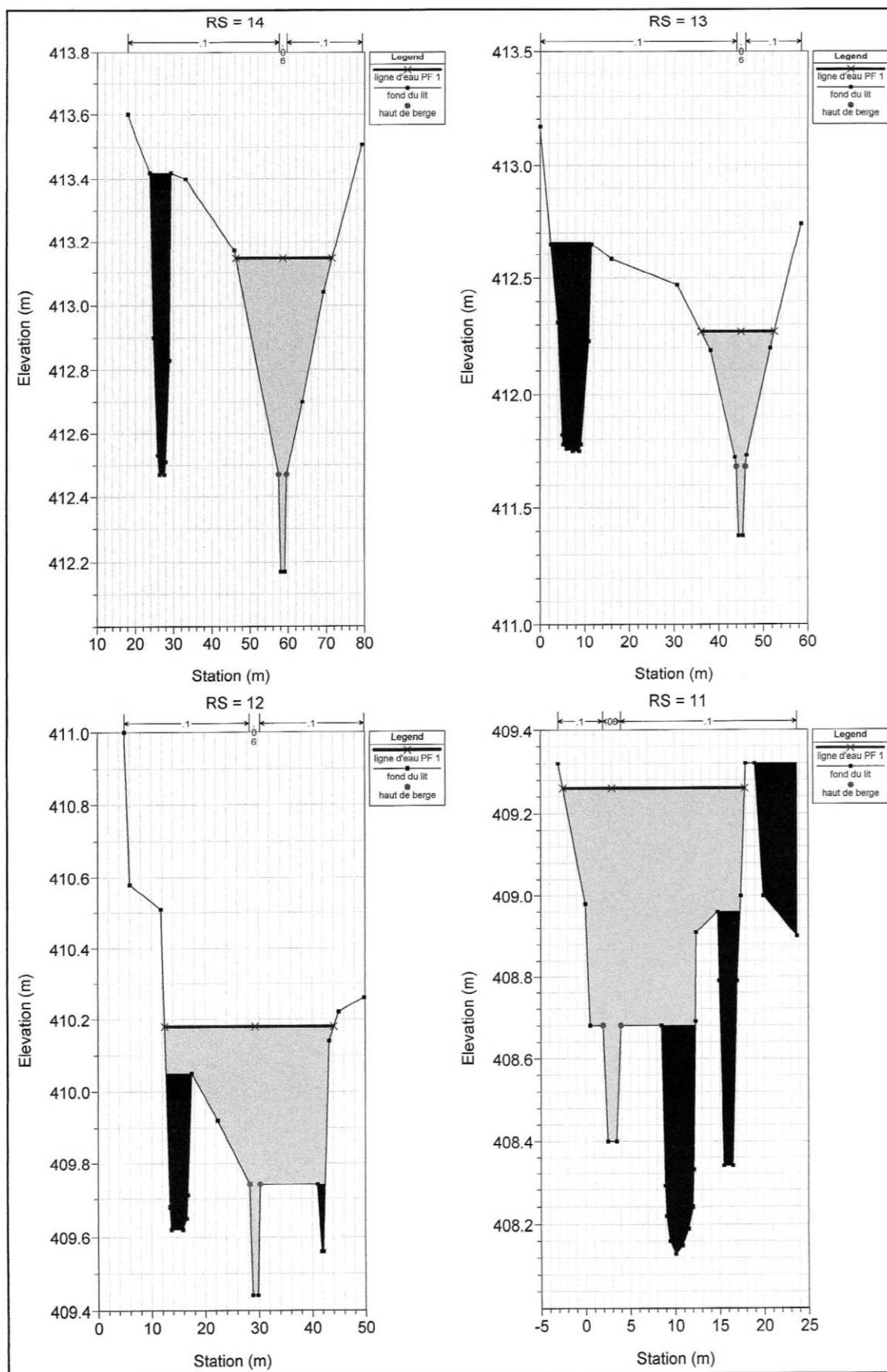












## 11-Détails de l'aménagement

